GS.KS. PHẠM KIẾN QUỐC
GS.TS. VƯƠNG ĐÔNG NGUYÊN
(Đồng Chủ biên)

CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC TRUNG QUỐC

CIVIL ENGINEERING IN CHINA'S HIGH-SPEED RAILWAY

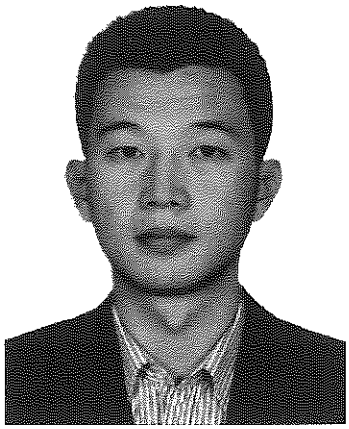
TẬP II

Tham gia biên soạn:
Trần Dung, Từ Tĩnh Mang
Tô Khiêm, Hoàng Tuấn Kiệt
Lĩnh Bằng Trân, Thân Ngọc Sinh
Lưu Đình Bân

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

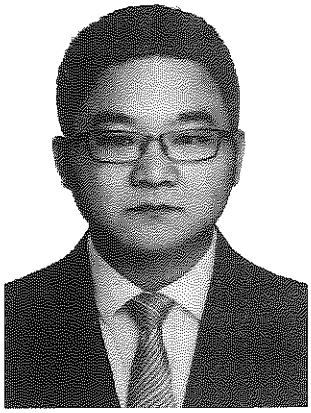
人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co.,Ltd.

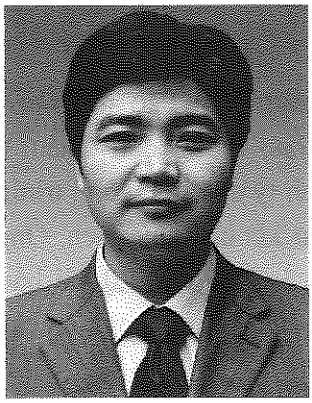
GIỚI THIỆU BAN BIÊN TẬP



Trần Dung: Tiến sĩ Kỹ thuật, Giáo sư tại Đại học Giao thông Tây Nam, đồng thời là Giáo sư hướng dẫn nghiên cứu sinh. Ông tập trung giảng dạy và nghiên cứu các lĩnh vực đường sắt tốc độ cao, tải trọng nặng và động lực học giao thông đô thị. Ông đã chủ trì gần 20 đề tài khoa học cấp quốc gia hoặc tỉnh, xuất bản 2 chuyên khảo học thuật, 2 sách dịch và hơn 100 bài báo khoa học. Với 18 bằng sáng chế và 3 bản quyền phần mềm, ông đã nhận được nhiều giải thưởng quan trọng như Giải Nhất Tiến bộ Khoa học Công nghệ của Bộ Giáo dục và Giải Đặc biệt Hội Đường sắt Trung Quốc.

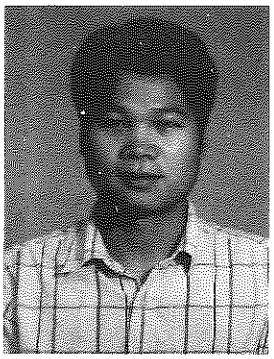
Từ Tĩnh Mang: Tiến sĩ Kỹ thuật, Giảng viên và giáo viên hướng dẫn thạc sĩ tại Đại học Giao thông Tây Nam. Những năm gần đây, ông tập trung nghiên cứu kết cấu đường ray tốc độ cao, tải trọng nặng, giao thông đô thị và cơ chế hư hỏng bánh xe-đường ray. Ông đã tham gia nhiều dự án nghiên cứu khoa học, sở hữu hơn 10 bằng sáng chế và công bố trên 30 bài báo khoa học. Ông cũng nhận được các giải thưởng uy tín như Giải Nhất và Giải Nhì Hội Đường sắt Trung Quốc.

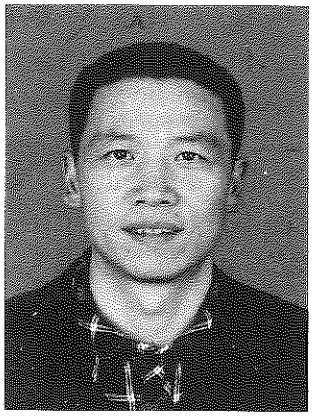




Tô Khiêm: Tiến sĩ Kỹ thuật, Giáo sư và Giáo sư hướng dẫn nghiên cứu sinh tại Đại học Giao thông Tây Nam. Chuyên gia trong lĩnh vực nghiên cứu và giảng dạy về đường sắt cao tốc và nền móng đường bộ, ông đã chủ trì nhiều đề tài cấp quốc gia và nhận các giải thưởng danh giá như Giải Đặc biệt Tiến bộ Khoa học Công nghệ Quốc gia. Ông đã công bố hơn 100 bài báo, xuất bản 1 chuyên khảo, 3 giáo trình và sở hữu hơn 20 bằng sáng chế.

Hoàng Tuấn Kiệt: Tiến sĩ Kỹ thuật, Giảng viên và giáo viên hướng dẫn thạc sĩ tại Đại học Giao thông Tây Nam. Ông chuyên nghiên cứu và giảng dạy về nền móng đường sắt và đường bộ. Ông là thành viên của các hiệp hội quốc tế và quốc gia về vật liệu địa kỹ thuật. Với hơn 10 dự án nghiên cứu khoa học và 5 bằng sáng chế, ông đã công bố trên 20 bài báo khoa học và nhận được nhiều giải thưởng danh giá.





Lĩnh Bằng Trân: Tiến sĩ Kỹ thuật, Giáo sư hướng dẫn nghiên cứu sinh tại Đại học Giao thông Lan Châu, đồng thời là một trong những "Giáo sư đặc biệt Phi Thiên" đầu tiên của tỉnh Cam Túc. Ông chuyên nghiên cứu lý thuyết thiết kế và công nghệ thi công kết cấu cầu. Ông đã nhận được hơn 10 giải thưởng lớn, bao gồm Giải thưởng Trạm Thiên Hựu và Giải thưởng Mao Dĩ Thăng. Ông đã công bố hơn 100 bài báo khoa học và tham gia biên soạn 2 chuyên khảo.

Thân Ngọc Sinh: Tiến sĩ Kỹ thuật, Phó Giáo sư, Giáo sư hướng dẫn nghiên cứu sinh tại Đại học Giao thông Tây Nam. Ông tập trung nghiên cứu và giảng dạy về hầm và công trình ngầm. Với hơn 30 đề tài nghiên cứu cấp quốc gia và các dự án lớn, ông đã công bố trên 60 bài báo khoa học, sở hữu 10 bằng sáng chế, và xuất bản 6 giáo trình. Ông cũng là người phản biện cho nhiều tạp chí khoa học uy tín.





Lưu Đình Bân: Tiến sĩ Kỹ thuật, Phó Giáo sư, giáo viên hướng dẫn thạc sĩ tại Đại học Giao thông Lan Châu. Ông chuyên về chẩn đoán và xử lý bệnh lý cấu trúc công trình, độ bền của kết cấu bê tông, và cải tạo kết cấu xây gạch. Ông đã tham gia nhiều dự án khoa học, công bố hơn 20 bài báo và đóng góp quan trọng vào lĩnh vực giảng dạy và nghiên cứu.

LỜI GIỚI THIỆU

Thực hiện Nghị quyết số 172/2024/QH15 của Quốc hội về chủ trương đầu tư Dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc-Nam với mục tiêu: Xây dựng tuyến đường sắt tốc độ cao hiện đại, đồng bộ nhằm đáp ứng nhu cầu vận tải, tạo động lực quan trọng cho phát triển kinh tế - xã hội nhanh và bền vững, phát huy lợi thế trên hành lang kinh tế Bắc - Nam, bảo đảm kết nối hiệu quả các hành lang Đông - Tây và các nước trong khu vực, gắn với bảo đảm quốc phòng, an ninh và hội nhập quốc tế, bảo vệ môi trường, ứng phó với biến đổi khí hậu, thúc đẩy tiến trình công nghiệp hoá, hiện đại hoá đất nước, góp phần hiện thực hóa mục tiêu, nhiệm vụ theo Văn kiện Đại hội đại biểu toàn quốc lần thứ XIII và các Nghị quyết của Đảng.

Với mong muốn trở thành hình mẫu về hợp tác xuất bản chuyên ngành khoa học công nghệ, mang những kiến thức mới nhất về công nghệ xây dựng và giao thông nhằm đóng góp một phần nhỏ bé vào sự phát triển của đất nước và vào kỷ nguyên mới "kỷ nguyên vươn mình của dân tộc" như lời hiệu triệu của Tổng Bí thư Tô Lâm, Nhà xuất bản Xây dựng đã đi tắt, đón đầu, thực hiện hợp tác cùng Công ty TNHH Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân Trung Quốc để xuất bản các ấn phẩm liên quan đến Công nghệ xây dựng đường sắt, trong đó cuốn sách ***Công nghệ xây dựng đường sắt cao tốc Trung Quốc*** *là ấn phẩm mở đầu cho chuỗi ấn phẩm sẽ phát hành trong năm 2025 có liên quan đến vấn đề này.*

Có thể nói Trung Quốc là một trong những Quốc gia có tốc độ phát triển giao thông vô cùng thần kỳ (đặc biệt là giao thông đường sắt cao tốc). Từ những đoàn tàu tốc độ vài chục km/h, Trung Quốc đã phát triển các tàu Hòa Hợp và tàu Phục Hưng với tốc độ 300-350 km/h, biến đường sắt cao tốc thành biểu tượng đáng tự hào trên trường quốc tế. Những kinh nghiệm trong nghiên cứu và thiết kế đường sắt cao tốc từ nhiều dự án quan trọng như tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân, tuyến đường sắt cao lạnh Cáp Nhĩ Tân - Đại Liên, tuyến vùng núi Bắc Kinh - Thẩm Dương, và tuyến đồng bằng Thạch Gia Trang - Trịnh Châu của nước bạn đáng để chúng ta ngưỡng mộ và học tập.

Cuốn sách Công nghệ xây dựng đường sắt cao tốc Trung Quốc có 6 phần, bản dịch được chia làm 2 tập:

- Tập I: Bao gồm 2 phần, trong đó: Phần 1 là Công nghệ đường ray giới thiệu về kết cấu tầng trên, đường ray không khe nối, các thành phần kết cấu và hệ thống liên kết chúng. Kỹ thuật thiết kế đường ray không ballast dạng tấm bản kết hợp công nghệ đường ray không khe nối siêu dài vượt khu gian với bộ ghi không khe nối có tốc độ cao

cho hướng rẽ đáp ứng vận hành an toàn êm thuận của đường sắt tốc độ cao hiện đại; Phần 2 là Kỹ thuật nền đường sắt với nội dung tập trung vào những kiến thức cơ bản và kỹ thuật liên quan đến nền đường sắt cao tốc, bao gồm: đặc điểm và thách thức kỹ thuật, tải trọng thiết kế và cấu trúc lớp đệm, vật liệu và chất lượng nén chặt, công nghệ kiểm soát lún, giám sát và đánh giá trạng thái nền đường.

- Tập II: Bao gồm 4 phần, trong đó: Phần 3 là Công trình cầu đường sắt cao tốc với các nội dung như tổng quan về công nghệ cầu đường sắt cao tốc, tiêu chuẩn kỹ thuật cầu đường sắt cao tốc, hệ thống kết cấu chính của cầu đường sắt cao tốc, bảo dưỡng và sửa chữa cầu trên đường sắt cao tốc; Phần 4 là Kỹ thuật thi công đường hầm tập trung vào các vấn đề như khí động học, cấu trúc giảm chấn và kỹ thuật bảo trì đường hầm đường sắt cao tốc; Phần 5 là Công trình nhà ga nhấn mạnh vào yếu tố nhân văn, thẩm mỹ và thực tiễn, tập trung vào quy hoạch, thiết kế và xây dựng, các công nghệ tiên tiến và phương pháp thi công mới cho các hạng mục như nền móng, kết cấu chính của nhà ga, mái che có nhịp lớn và không gian lớn, đồng thời đưa ra các giải pháp thi công thân thiện với môi trường; Phần 6 Giới thiệu thực tiễn kỹ thuật tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân, nội dung bao gồm các công nghệ xây dựng cơ sở hạ tầng trước ga cho đường sắt cao tốc như nền đường, cầu cạn, đường ray không ballast và các biện pháp bảo vệ môi trường, đồng thời đề xuất giải pháp xử lý kỹ thuật đối với việc lắp đặt đường ray không ballast tại những khu vực có hiện tượng lún đất.

Cuốn sách được chủ biên bởi Kỹ sư cao cấp Phạm Kiến Quốc và Giáo sư Vương Đông Nguyên, với sự hỗ trợ của các chuyên gia từ Đại học Giao thông Tây Nam và Đại học Giao thông Lan Châu. Các tác giả của cuốn sách đã có nhiều năm kinh nghiệm trong nghiên cứu và thiết kế đường sắt cao tốc, cũng như từng tham gia nhiều dự án quan trọng. Các kết quả nghiên cứu và xây dựng từ tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân đã được sử dụng làm tài liệu tham khảo cho rất nhiều các dự án quan trọng.

Cuốn sách này được biên soạn nhằm phục vụ các kỹ sư xây dựng trong lĩnh vực giao thông, sinh viên và nghiên cứu sinh chuyên ngành xây dựng dân dụng. Qua cuốn sách, đọc giả sẽ nắm được các kiến thức cơ bản về kỹ thuật xây dựng dân dụng trong đường sắt cao tốc Trung Quốc, và cuốn sách cũng có thể làm tài liệu tham khảo cho thực tiễn kỹ thuật tại Việt Nam trong quá trình xây dựng tuyến Đường sắt cao tốc Bắc - Nam thời gian tới.

Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn Ban lãnh đạo Bộ Xây dựng, Bộ Ngoại giao, Bộ Thông tin và Truyền thông, Ban Đối ngoại Trung ương, Ban Tuyên giáo Trung ương, Cục Xuất bản, In và Phát hành đã đồng thuận, cho phép và hướng dẫn, giúp đỡ Nhà xuất bản Xây dựng trong suốt quá trình Ký kết hợp tác và hoàn thiện Thoả thuận xuất bản.

Xin trân trọng cảm ơn Công ty TNHH Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân Trung Quốc và tập thể các tác giả đã trao tặng cho chúng tôi bản quyền cuốn sách này.

Xin trân trọng cảm ơn GS.TS. Phạm Văn Ký (Giảng viên Cao cấp - Chuyên gia về Đường sắt - Khoa Công trình - Trường Đại học Giao thông vận tải) đã có những góp ý quan trọng về mặt chuyên môn cho cuốn sách.

Xin trân trọng cảm ơn ThS Lê Hà Linh (Trường Đại học Giao thông vận tải) đã đồng hành và giúp đỡ chúng tôi trong suốt hành trình hợp tác giữa hai Nhà xuất bản.

Với thời gian không dài, khối lượng kiến thức rất đồ sộ và mới mẻ, mặc dù rất cố gắng dịch thuật một cách tốt nhất để truyền tải kiến thức đến đọc giả, song cuốn sách sẽ không thể tránh khỏi những thiếu sót nhất định. Nhà xuất bản Xây dựng xin trân trọng lắng nghe ý kiến đóng góp của bạn đọc để trong lần tái bản sau sách được hoàn thiện hơn!

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

LỜI NÓI ĐẦU

Năm 2016, Ủy ban Phát triển và Cải cách Quốc gia, Bộ Giao thông Vận tải, và Tổng Công ty Đường sắt Trung Quốc đã phối hợp ban hành "Quy hoạch mạng lưới đường sắt trung và dài hạn". Theo quy hoạch này, đến năm 2020, mạng lưới đường sắt sẽ đạt 150.000 km, trong đó đường sắt cao tốc chiếm 30.000 km, phủ sóng hơn 80% các thành phố lớn. Đến năm 2025, mạng lưới này sẽ mở rộng lên khoảng 175.000 km, với 38.000 km là đường sắt cao tốc. Hướng tới năm 2030, mục tiêu là hoàn thiện hệ thống kết nối nội địa và quốc tế, tăng cường liên vùng, kết nối các thủ phủ tỉnh bằng đường sắt cao tốc, và cải thiện khả năng tiếp cận giao thông ở cấp huyện.

Tính đến cuối năm 2017, tổng chiều dài đường sắt vận hành tại Trung Quốc đạt 127.000 km, trong đó 25.000 km là đường sắt cao tốc. Tỷ lệ đường sắt hai làn và điện khí hóa lần lượt vượt mốc 50% và 60%. Mạng lưới đường sắt cao tốc "Tám dọc tám ngang" đang được xây dựng nhanh chóng. Từ những đoàn tàu tốc độ vài chục km/h, Trung Quốc đã phát triển các tàu Hòa Hợp và tàu Phục Hưng với tốc độ 300-350 km/h, biến đường sắt cao tốc thành biểu tượng đáng tự hào trên trường quốc tế.

Năm 2018 đánh dấu 10 năm ngày tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên của Trung Quốc - tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân với tốc độ 350 km/h - chính thức đi vào hoạt động. Bắt đầu xây dựng từ năm 2005, Trung Quốc đã phát triển đường sắt cao tốc từ con số không, đi theo con đường đổi mới sáng tạo, tích hợp, và cải tiến từ công nghệ nhập khẩu. Tuyến Bắc Kinh - Thượng Hải, được coi là tuyến thử nghiệm, đã giúp định hình hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật đường sắt cao tốc Trung Quốc, trở thành nền tảng cho các dự án lớn sau này.

Các tác giả của cuốn sách đã có nhiều năm kinh nghiệm trong nghiên cứu và thiết kế đường sắt cao tốc, tham gia nhiều dự án quan trọng như tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân, tuyến đường sắt cao lạnh Cáp Nhĩ Tân - Đại Liên, tuyến vùng núi Bắc Kinh - Thẩm Dương, và tuyến đồng bằng Thạch Gia Trang - Trịnh Châu. Cuốn sách này gồm sáu phần: đường ray, cầu, nền đường, hầm, nhà ga, và thực tiễn kỹ thuật. Các phần này tổng kết các công nghệ xây dựng dân dụng trong hệ thống đường sắt cao tốc Trung Quốc và cung cấp tài liệu tham khảo hữu ích cho thực tiễn kỹ thuật.

Phần đường ray giới thiệu về cấu trúc đường ray, các tuyến không mối nối, và các thành phần như bộ phận đường ray và hệ thống gắn kết. Phần nền đường trình bày cấu trúc, vật liệu đắp, kiểm soát lún và kỹ thuật đánh giá. Phần cầu cung cấp thông tin về

tiêu chuẩn kỹ thuật, phân tích động lực, và công nghệ bảo trì. Phần hầm tập trung vào khí động học, cấu trúc giảm chấn, và kỹ thuật bảo trì. Những nội dung này minh chứng sự phát triển vượt bậc của kỹ thuật xây dựng từ những đoàn tàu tốc độ thấp đến hệ thống cao tốc hiện đại.

Phần nhà ga nhấn mạnh vào yếu tố nhân văn, thẩm mỹ và thực tiễn, tập trung vào quy hoạch, thiết kế và xây dựng các cơ sở liên quan. Phần cuối cùng giới thiệu thực tiễn kỹ thuật tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân, nhấn mạnh vào những công nghệ và giải pháp quan trọng cùng các kết quả đạt được.

Cuốn sách này được biên soạn nhằm phục vụ các kỹ sư xây dựng trong lĩnh vực giao thông, sinh viên và nghiên cứu sinh chuyên ngành xây dựng dân dụng. Qua cuốn sách, độc giả sẽ nắm được các kiến thức cơ bản về kỹ thuật xây dựng dân dụng trong đường sắt cao tốc Trung Quốc, và cuốn sách cũng có thể làm tài liệu tham khảo cho thực tiễn kỹ thuật.

Cuốn sách được chủ biên bởi kỹ sư cao cấp Phạm Kiến Quốc và giáo sư Vương Đông Nguyên, với sự hỗ trợ của các chuyên gia từ Đại học Giao thông Tây Nam và Đại học Giao thông Lan Châu. Các kết quả nghiên cứu và xây dựng từ tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân đã được sử dụng làm tài liệu tham khảo quan trọng. Chúng tôi chân thành cảm ơn sự hỗ trợ từ các đồng nghiệp và tổ chức liên quan.

Phạm Kiến Quốc, Vương Đông Nguyên
Thiên Tân, ngày 30 tháng 8 năm 2018

MỤC LỤC

PHẦN III. CÔNG TRÌNH CẦU

Chương I. Tổng quan về công nghệ cầu đường sắt cao tốc Trung Quốc 3

I. Đặc điểm của cầu đường sắt cao tốc 3

II. Quan điểm xây dựng cầu đường sắt cao tốc tại Trung Quốc 7

III. Các công nghệ then chốt trong xây dựng cầu đường sắt cao tốc Trung Quốc 11

Chương II. Tiêu chuẩn kỹ thuật cầu đường sắt cao tốc 19

I. Tải trọng thiết kế 19

II. Tiêu chuẩn giới hạn 25

III. Bố trí mặt cầu 30

Chương III. Hệ thống kết cấu chính của cầu đường sắt cao tốc 34

I. Cầu dầm giản đơn đường sắt cao tốc 34

II. Cầu dầm liên tục đường sắt cao tốc 45

III. Cầu vòm trên đường sắt cao tốc 69

IV. Cầu dây văng trong hệ thống đường sắt cao tốc 93

Chương IV. Phân tích động lực học cầu đường sắt cao tốc 105

I. Phân tích dao động tương tác giữa đoàn tàu và cầu trên đường sắt cao tốc 105

II. Động lực học hệ thống kết cấu đường ray - cầu trên đường sắt cao tốc dưới tác động đa nguồn lực 114

III. Phân tích phản ứng địa chấn của cầu trên đường sắt cao tốc bằng mô hình tích hợp đường ray - cầu 119

Chương V. Bảo dưỡng và sửa chữa cầu trên đường sắt cao tốc 127

I. Hệ thống quản lý vận hành và bảo trì cầu đường sắt cao tốc 127

II. Tiêu chuẩn kỹ thuật bảo dưỡng cầu đường sắt cao tốc 137

III. Chế độ bảo dưỡng và sửa chữa cầu đường sắt cao tốc 148

Tài liệu tham khảo 154

PHẦN IV. KỸ THUẬT THI CÔNG ĐƯỜNG HẦM

Chương 1. Hiệu ứng khí động học trong đường hầm cao tốc 162

I. Sự hình thành sóng nén và sóng vi áp suất 163
II. Phương pháp nghiên cứu hiệu ứng khí động học tàu-hầm 167
III. Ảnh hưởng của hiệu ứng khí động học đến hành khách - tiêu chuẩn đánh giá độ thoải mái 171
IV. Giới hạn đường sắt cao tốc 179
V. Diện tích không gian sử dụng hiệu quả trong hầm đường sắt cao tốc 196

Chương 2. Thiết kế cấu trúc đệm cho hầm đường sắt cao tốc 210

I. Các biện pháp kỹ thuật giảm thiểu hiệu ứng khí động học 210
II. Các yếu tố ảnh hưởng đến thiết kế cấu trúc đệm 216
III. Ứng dụng thiết kế công trình đệm 228

Chương 3. Bảo dưỡng và sửa chữa kết cấu lớp lót hầm đường sắt cao tốc 235

I. Hiện trạng công tác bảo dưỡng và sửa chữa lớp lót hầm 235
II. Hiện tượng và nguyên nhân suy giảm chất lượng của kết cấu lớp lót hầm 237
III. Kiểm tra trạng thái hầm đường sắt cao tốc 245
IV. Đánh giá trạng thái kết cấu lớp lót hầm 252
V. Thiết kế các biện pháp bảo trì và sửa chữa kết cấu lớp lót hầm 256

Tài liệu tham khảo 268

PHẦN V. CÔNG TRÌNH NHÀ GA

Chương 1. Tổng quan về sự phát triển của nhà ga đường sắt 272

I. Quá trình phát triển nhà ga đường sắt tại Châu Âu và Mỹ 273
II. Quá trình phát triển nhà ga đường sắt tại Nhật Bản 279
III. Quá trình phát triển nhà ga hành khách đường sắt tại Trung Quốc 285
IV. Xu hướng mới trong xây dựng nhà ga đường sắt 292

Chương 2. Quy hoạch và thiết kế nhà ga hành khách đường sắt 301

I. Quy hoạch nhà ga hành khách đường sắt 301
II. Thiết kế tổng thể mặt bằng nhà ga đường sắt 317
III. Thiết kế kiến trúc nhà ga đường sắt 325
IV. Thiết kế kết cấu nhà ga đường sắt 337
V. Ga đường sắt xanh và bền vững 357

Chương 3. Công nghệ chủ chốt trong xây dựng nhà ga đường sắt cao tốc 371

I. Công nghệ thi công hố móng sâu và xử lý nền đất yếu 373
II. Xây dựng kết cấu chính của tòa nhà nhà ga 399
III. Công nghệ thi công kết cấu thép nhịp lớn, không gian lớn 413
IV. Công nghệ xây dựng xanh 439

Tài liệu tham khảo 450

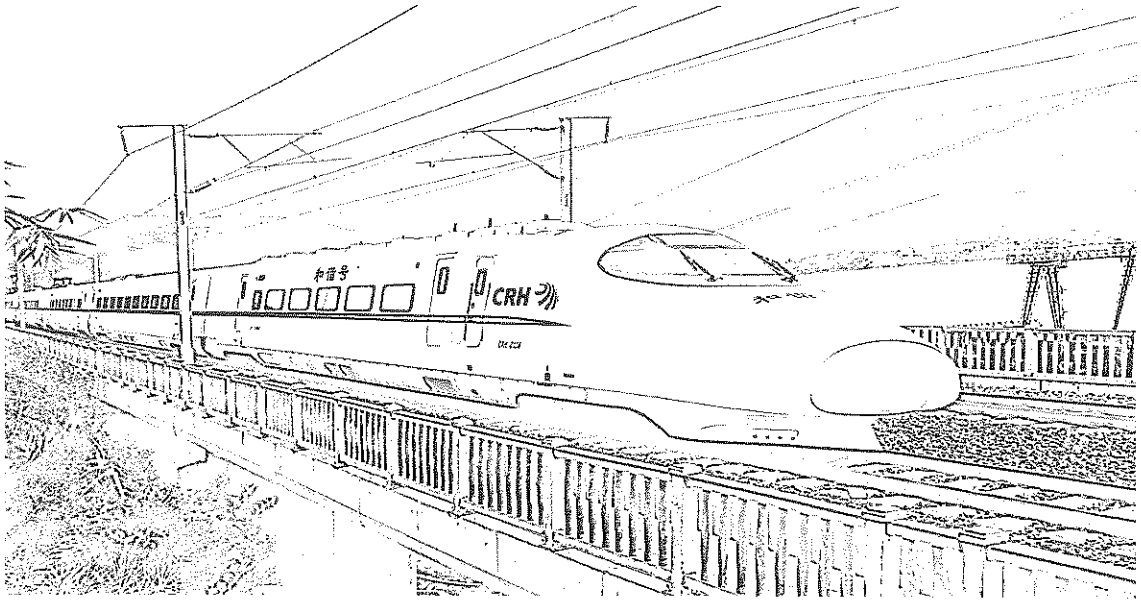
PHẦN VI. THỰC TIỄN XÂY DỰNG TUYẾN ĐƯỜNG SẮT LIÊN THÀNH PHỐ BẮC KINH - THIÊN TÂN

Chương 1. Tổng quan dự án 458

I. Đặc điểm tự nhiên 458
II. Tiêu chuẩn kỹ thuật chính của đường sắt 459
III. Nội dung công trình chính 459

Chương 2. Nghiên cứu công nghệ trọng điểm và kết quả thử nghiệm trong công trình hạ tầng trước nhà ga 466

I. Công nghệ thiết kế và thi công nền đường 467
II. Công nghệ thiết kế và thi công cầu 476
III. Thiết kế và công nghệ thi công đường ray không ballast 495
IV. Kỹ thuật thiết kế và thi công đường ray liền khối qua các khu vực 500
V. Kỹ thuật và ứng dụng đo lường chính xác 501
VI. Bảo vệ môi trường và công nghệ giảm rung, giảm tiếng ồn 508
VII. Kỹ thuật tiếp địa tổng hợp 511
VIII. Dự báo và nghiên cứu phân tích về hiện tượng lún mặt đất khu vực 513



PHẦN III. CÔNG TRÌNH CẦU

Đầu thế kỷ XXI đánh dấu thời kỳ vàng son cho sự phát triển của ngành xây dựng đường sắt Trung Quốc, đồng thời là giai đoạn tăng tốc mạnh mẽ trong việc xây dựng cầu trên các tuyến đường sắt cao tốc. Nhờ việc triển khai toàn diện các tuyến chuyên dụng chở khách, Trung Quốc đã đạt được những bước tiến thực chất trong công nghệ cầu đường sắt cao tốc. Trải qua hơn một thập kỷ phát triển nhanh chóng nhờ chiến lược nhập khẩu, tiếp thu và cải tiến công nghệ, nước này đã gặt hái nhiều thành tựu nổi bật và xây dựng thành công hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật cầu đường sắt cao tốc mang bản sắc riêng. Hệ thống này không chỉ tạo nền tảng vững chắc cho việc mở rộng mạng lưới đường sắt cao tốc nội địa mà còn góp phần phục vụ các chiến lược quốc gia lớn như "Một vành đai, Một con đường" và thúc đẩy việc đưa công nghệ đường sắt cao tốc ra quốc tế.

Trong suốt quá trình phát triển, ngành đường sắt Trung Quốc đã không ngừng học hỏi công nghệ tiên tiến và kinh nghiệm từ các nước phát triển. Sự phối hợp hiệu quả giữa các trường đại học, viện nghiên cứu, viện thiết kế, nhà thầu xây dựng và đơn vị quản lý đã giúp Trung Quốc dần dần xây dựng hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật cầu đường sắt cao tốc phù hợp với điều kiện thực tế. Bằng việc tiếp thu những công nghệ tiên tiến về thiết kế và xây dựng, quốc gia này đã đạt được những bước nhảy vọt trong các lĩnh vực thiết kế, thi công, nghiên cứu và quản lý xây dựng cầu đường sắt cao tốc.

Cấu trúc cầu đóng vai trò quan trọng trong hệ thống cơ sở hạ tầng đường sắt cao tốc Trung Quốc, với hơn 95% các cây cầu được xây dựng dưới dạng cầu dầm tiêu chuẩn. Hệ thống đã phát triển các bản thiết kế tiêu chuẩn cho dầm hộp giản đơn có nhịp 24m, 32m và dầm liên tục với nhịp chính từ 48m đến 100m. Những bản thiết kế này đã giúp giải quyết hiệu quả các thách thức về môi trường xây dựng phức tạp, quy mô lớn, tiến độ nhanh và yêu cầu kỹ thuật khắt khe. Dựa trên những thành quả đó, Trung Quốc đã xây dựng thành công nhiều công trình cầu lớn nhất thế giới như cầu treo, cầu dây văng, cầu vòm và cầu liên tục dành cho đường sắt cao tốc. Đồng thời, quốc gia này cũng thiết lập được sơ đồ tải trọng chuyên biệt cho tàu đường sắt cao tốc, xây dựng hệ thống phân tích tĩnh lực, kiểm soát độ cứng, độ bền, khả năng kháng chấn cũng như các phương pháp phân tích động lực học hệ thống tàu - đường - cầu. Bên cạnh đó, một hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật toàn diện bao gồm khảo sát, thiết kế, thi công, quản lý xây dựng và bảo trì vận hành đã được hình thành.

Để bảo đảm hiệu suất đồng nhất trên toàn tuyến, Trung Quốc đã tích cực nghiên cứu và phát triển thép có cường độ cao hơn, áp dụng các cấu trúc không gian hiện đại, chế tạo thiết bị chuyên dụng cho cầu chịu tải trọng lớn, phát triển công nghệ thi công nền móng trong môi trường nước sâu và chú trọng xây dựng hệ thống tiêu chuẩn. Những nỗ lực này đã giúp duy trì tốc độ tối ưu trên các đoạn cầu lớn của tuyến đường sắt cao tốc, đồng thời đáp ứng được các yêu cầu khắt khe về độ an toàn và hiệu suất vận hành.

Bước vào thời kỳ phát triển mới, định hướng xây dựng đường sắt cao tốc tại Trung Quốc không chỉ dừng lại ở việc tăng tốc mà còn chuyển sang tập trung vào chất lượng, hiệu quả và công tác vận hành, bảo trì. Do đó, lý thuyết và thực tiễn liên quan đến công nghệ cầu đường sắt cao tốc cần được tiếp tục hoàn thiện. Khi mạng lưới đường sắt cao tốc mở rộng ra khắp cả nước và vươn xa tới các khu vực quốc tế, việc nghiên cứu thêm về thiết kế, thi công và quản lý vận hành cầu trong điều kiện môi trường phức tạp là điều cấp thiết. Việc phát triển và ứng dụng các vật liệu tiên tiến như bê tông hiệu suất cao, thép có cường độ lớn nhằm nâng cao hiệu suất và độ bền của cầu cũng cần được ưu tiên.

Ngoài ra, Trung Quốc đang hướng tới việc hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn liên quan đến cầu đường sắt cao tốc, đồng thời tích hợp chặt chẽ các tiêu chuẩn chuyên ngành như nền móng, đường ray, hệ thống thông tin liên lạc, tín hiệu, điện lực và bảo vệ môi trường. Việc phối hợp đồng bộ trong thiết kế, thi công, vận hành và bảo trì sẽ giúp thúc đẩy sự phát triển bền vững của công nghệ cầu đường sắt cao tốc. Cuối cùng, nghiên cứu và phát triển công nghệ bảo trì, sửa chữa phù hợp với nhu cầu vận hành một mạng lưới lớn các tuyến đường sắt cao tốc sẽ góp phần xây dựng hệ thống quản lý và bảo trì cầu đường sắt cao tốc hiệu quả hơn trong tương lai.

CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC TRUNG QUỐC

I. ĐẶC ĐIỂM CỦA CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Nghiên cứu về công nghệ đường sắt cao tốc tại Trung Quốc bắt đầu từ những năm 1980. Cùng với sự phát triển liên tục của các dự án nghiên cứu hệ thống công nghệ đường sắt cao tốc trong các kế hoạch quốc gia "Kế hoạch 5 năm lần thứ 8" và "Kế hoạch 5 năm lần thứ 9", Bộ Đường sắt Trung Quốc đã phối hợp với các đơn vị liên quan, dựa trên việc tiếp thu kinh nghiệm từ các nước tiên tiến, lần lượt xây dựng các quy định thiết kế tạm thời cho các tuyến đường sắt mới với tốc độ 200 km/h, 250 km/h và 350 km/h. Năm 1999, Trung Quốc khởi công xây dựng tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên với tốc độ thiết kế trên 200 km/h - tuyến chuyên chở hành khách Tần Sơn (Tần Hoàng Đảo - Thẩm Dương), tuyến này chính thức đưa vào vận hành vào năm 2002.

Đến cuối năm 2016, tổng chiều dài đường sắt cao tốc của Trung Quốc đã đạt 22.000 km, chiếm 60% tổng chiều dài đường sắt cao tốc trên toàn thế giới, giữ vị trí số một toàn cầu và hình thành nên mạng lưới đường sắt cao tốc "Bốn trục dọc, bốn trục ngang". Trong hệ thống hạ tầng đường sắt cao tốc, cầu đường sắt là một bộ phận quan trọng của công trình dân dụng. So với cầu đường sắt thông thường, cầu đường sắt cao tốc có những khác biệt đáng kể về số lượng, quan điểm thiết kế, phương pháp thi công, yêu cầu về độ bền cũng như công tác bảo trì và sửa chữa.

(1) Tỷ lệ cầu lớn, nhiều cầu dài

Do đường sắt cao tốc có yêu cầu rất cao về độ bằng phẳng của mặt đường và độ dốc dọc tuyến, đồng thời phải xem xét đến các yếu tố như giới hạn khoảng không gian đường sắt, tiết kiệm đất đai, nên tỷ lệ cầu trong các tuyến đường sắt cao tốc cao hơn đáng kể so với đường sắt thông thường (Bảng 3-1-1). Nhiều tuyến đường sử dụng cầu dài liên tục để đảm bảo tuyến đường chạy thẳng, giảm thiểu độ dốc và khắc phục các điều kiện địa hình phức tạp.

Bảng 3-1-1: Tỷ lệ cầu

Tên tuyến	Chiều dài tuyến chính (km)	Tổng chiều dài cầu (km)	Tỷ lệ cầu trên tuyến (%)
Đường sắt khách chuyên dụng Thạch Thái	189.93	39.2	20.6
Đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân	115.2	100.2	87.7
Đường sắt Hợp Ninh	187.07	31.25	16.7
Đường sắt khách chuyên dụng Trịnh Tây	486.9	283.5	58.0
Đường sắt khách chuyên dụng Vũ Quảng	968.2	465.24	48.1
Đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải	1318	1060.9	80.5
Đường sắt Ninh Ba - Đài Châu - Ôn Châu	282.4	91.4	32.4
Đường sắt Ôn Châu - Phúc Châu	298.4	77.1	25.8
Đường sắt khách chuyên dụng Hợp Vũ	359.4	115.9	32.2
Đường sắt Phúc Châu - Hạ Môn	274.9	84.8	30.8
Đường sắt Quảng Châu - Thâm Quyến - Hồng Kông	104.4	59.2	56.7
Đường sắt liên thành phố Quảng Châu - Chu Hải	142.3	134.1	94.2
Đường sắt khách chuyên dụng Hạ Môn - Thâm Quyến	502.4	204.16	40.6
Đường sắt bốn tuyến Giao Tế	169.91	30.93	40.6
Đường sắt khách chuyên dụng Cáp Nhĩ Tân - Đại Liên	903.9	663.3	73.7
Đường sắt vòng Đông Hải Nam	308.11	102.95	33.4
Đường sắt liên thành phố Trường Xuân - Cát Lâm	96.26	30.3	31.5
Đường sắt liên thành phố Xương Cửu	91.58	31.96	34.9
Đường sắt cao tốc Bảo Lan	400.64	101.6	25.3
Đường sắt cao tốc Lan Châu - Tân Cương	1775.67	414.2	23.3
Đường sắt cao tốc Tây Thành	508.77	174.1	34.2
Đường sắt cao tốc Thành Đô - Quý Dương	632.6	151	29.7

(2) Độ cứng của cầu lớn

Khi tốc độ vận hành của tàu ngày càng cao, để đảm bảo an toàn hoạt động và mang lại sự thoải mái cho hành khách, yêu cầu về độ phẳng và ổn định của tuyến đường rất khắt khe. Do đó, cầu đường sắt cao tốc phải có đủ độ cứng chống uốn và chống xoắn. Các trụ cầu và mố cầu cần có đủ độ cứng dọc và ngang để đảm bảo sự ổn định của đường ray liền mạch trên cầu. Biến dạng lâu dài của kết cấu phần trên cầu và độ lún của phần dưới cầu phải đáp ứng được các yêu cầu về điều chỉnh đường ray. Theo "Quy phạm thiết kế đường sắt cao tốc" hiện hành của Trung Quốc (TB 10621-2014), đối với các cầu nhiều nhịp có nhịp lớn hơn 80m, tỷ lệ độ võng đứng của dầm không được vượt quá 1/1000.

(3) Cầu cạn chiếm chủ yếu

Cầu đường sắt cao tốc được phân thành các loại như cầu cạn, cầu vượt thung lũng và cầu có kết cấu đặc biệt. Thông thường, các loại cầu có độ cứng lớn như dầm giản đơn, dầm liên tục, kết cấu thép và kết cấu vòm được ưu tiên sử dụng. Hình dạng mặt cắt thường là mặt cắt hộp dành cho đường đôi. Với các nhịp nhỏ hơn, có thể sử dụng dầm chữ T nhiều nhánh hoặc dầm bản, chủ yếu là dầm bê tông dự ứng lực. Ngoài ra, kết cấu dầm kết hợp thép - bê tông và các kết cấu bê tông cốt thép nhịp ngắn cũng được sử dụng phổ biến.



Hình 3-1-1: *Cầu cạn đặc biệt đoạn Đan Dương - Côn Sơn trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải*

Trong các tuyến chuyên chở hành khách mới xây dựng và cầu đường sắt cao tốc của Trung Quốc, hơn 90% là kết cấu dầm hộp giản đơn bằng bê tông dự ứng lực, sử dụng phương pháp thi công bằng cách đúc sẵn tại chỗ và lắp ráp bằng máy cẩu dầm.

Cầu cạn dài nhất là cầu lớn Đan Dương - Côn Sơn trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, với tổng chiều dài 164,851 km, hiện là cây cầu dài nhất thế giới, như được thể hiện trên Hình 3-1-1.

(4) Việc áp dụng toàn diện đường ray không đá ballast là xu hướng phát triển của đường sắt cao tốc

Việc sử dụng đường ray không đá ballast trong đường sắt cao tốc mang lại những ưu điểm sau:

1- Độ đàn hồi đồng đều, độ ổn định của đường ray cao, cải thiện đáng kể sự thoải mái khi hành khách di chuyển.

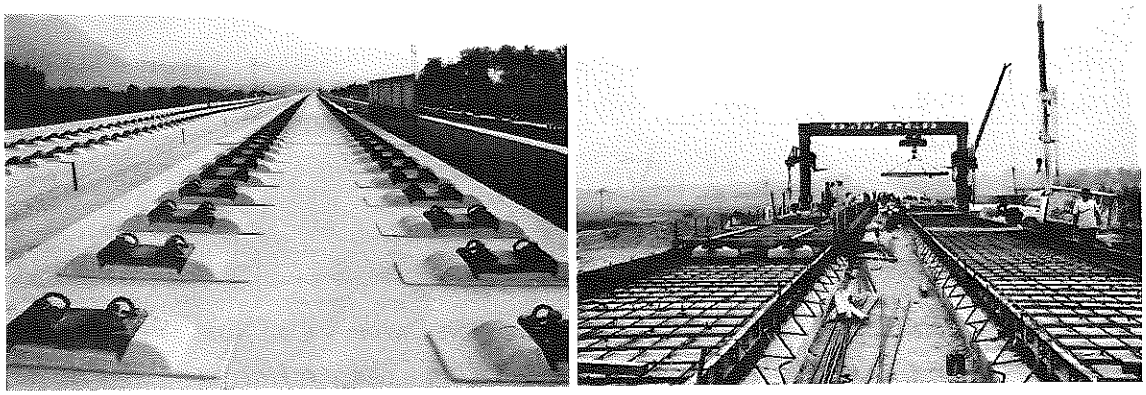
2 - Giảm đáng kể khối lượng công việc bảo dưỡng và sửa chữa.

3 - Các giới hạn về thông số của mặt cắt ngang và dọc được nới lỏng, bán kính đường cong giảm, độ dốc tăng lên.

4- Tránh tình trạng đá ballast bị bắn lên khi tàu chạy với tốc độ cao. Đối với cầu đường sắt, đường ray không đá ballast giúp giảm tải trọng tĩnh thứ cấp và hạ thấp chiều cao kết cấu, vì vậy đây là hướng phát triển chủ yếu của đường sắt cao tốc.

Tính đến năm 2003, Nhật Bản đã lắp đặt hơn 2700 km đường ray không đá ballast, trong khi Đức đã lắp đặt hơn 600 km. Tại Trung Quốc, tất cả các tuyến chuyên chở hành khách mới xây dựng với tốc độ thiết kế từ 300 km/h trở lên đều sử dụng đường ray không đá ballast. Đối với các tuyến chuyên dụng có tốc độ thiết kế 250 km/h, một phần cũng đã áp dụng loại đường ray này.

Hình 3-1-2 là ảnh chụp thi công đường ray không đá ballast trên cầu tuyến chuyên chở hành khách Đại Tây.



a) Hình dạng hoàn chỉnh *b) Hình ảnh thi công*

Hình 3-1-2: *Đường ray không đá ballast trên cầu tuyến chuyên chở hành khách Đại Tây*

II. QUAN ĐIỂM XÂY DỰNG CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC TẠI TRUNG QUỐC

1. Đảm bảo an toàn và sự thoải mái khi tàu chạy với tốc độ cao

Khác biệt lớn nhất giữa cầu đường sắt cao tốc và cầu đường sắt thông thường chính là tốc độ vận hành của tàu. Việc đảm bảo an toàn và sự thoải mái khi tàu chạy ở tốc độ thiết kế là một trong những yếu tố quan trọng hàng đầu trong xây dựng cầu đường sắt cao tốc. Điều này liên quan đến nhiều khía cạnh như phản ứng động lực học, biến dạng phi đàn hồi của kết cấu cầu, tần số dao động ổn định, chuyển tiếp độ cứng giữa nền và cầu, dao động tần số thấp của cầu có nhịp lớn, kết cấu mặt cầu và các yêu cầu về hình dạng tuyến đường.

(1) Vấn đề phản ứng động lực học là yếu tố then chốt trong thiết kế cầu đường sắt cao tốc

Khi tàu chạy trên cầu với tốc độ cao, sự tương tác giữa tàu và cầu trở nên rất rõ rệt. Vì vậy, ngoài việc đáp ứng các yêu cầu thông thường về độ bền và độ cứng của cầu, cần đặc biệt chú trọng đến đặc tính động lực học của kết cấu. Các kết cấu dạng dầm phải có độ cứng và tần số dao động riêng đủ lớn. Các dạng kết cấu như dầm hộp có độ cứng cao và tính năng động lực học tốt là lựa chọn thích hợp.

(2) Kiểm soát ảnh hưởng của biến dạng phi đàn hồi kết cấu cầu đến sự ổn định và độ phẳng của đường ray

Sự biến dạng của kết cấu cầu trong quá trình tương tác với đường ray liền mạch trên toàn tuyến và dưới các điều kiện tải trọng khác nhau sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến đường ray trên cầu, từ đó tác động đến sự an toàn và thoải mái của tàu khi di chuyển. Do đó, cần kiểm soát chặt chẽ sự chênh lệch dịch chuyển giữa dầm và đường ray, độ cứng ngang của trụ cầu, biến dạng lún của nền móng, độ võng của dầm, góc quay tại đầu dầm, cũng như biến dạng đàn hồi và co ngót, từ biến của dầm bê tông dự ứng lực nhằm duy trì độ phẳng của tuyến đường trong phạm vi cho phép.

(3) Duy trì hiệu suất động lực tốt của tuyến đường

Do yêu cầu về địa hình, thủy văn, địa chất và các nút giao thông, nhiều tuyến đường sắt cao tốc có cầu cạn kéo dài hàng chục, thậm chí hàng trăm kilômét. Việc tàu di chuyển liên tục trên các cầu cạn nhiều nhịp dạng giản đơn với khoảng cách nhịp bằng nhau có thể gây ra hiện tượng cộng hưởng tại một tần số nhất định, ảnh hưởng đến sự ổn định của tàu. Ngoài ra, do nền đất đắp có độ nén lún cao và độ cứng theo phương đứng kém hơn so với cầu, cần chú trọng giải quyết vấn đề chuyển

tiếp độ cứng giữa nền và cầu nhằm giảm thiểu tác động bất lợi đến sự an toàn và thoải mái khi tàu chạy ở tốc độ cao.

(4) Nghiên cứu ảnh hưởng của dao động tần số thấp trên cầu có nhịp lớn

Trong thiết kế cầu có nhịp lớn, ngoài các vấn đề động lực học thông thường, cần tiến hành nghiên cứu chuyên sâu và phân tích ảnh hưởng của dao động tần số thấp đến hoạt động của tàu và kết cấu cầu khi tàu chạy với tốc độ cao.

(5) Thiết kế hợp lý hệ thống kết cấu mặt cầu

Mặt cầu của đường sắt cao tốc không chỉ bố trí hệ thống đường ray mà còn bao gồm các thiết bị như hệ thống điện lực, điện khí hóa, thông tin liên lạc, tín hiệu và hệ thống chắn âm. Trong giai đoạn thi công, mặt cầu cần chịu tải trọng của các thiết bị thi công di động. Khi đi vào vận hành, ngoài các đoàn tàu cao tốc, cầu còn phải chịu tải trọng của các thiết bị bảo dưỡng cơ giới hóa. Hiện tượng hút gió do tàu chạy với tốc độ cao cũng có thể gây ảnh hưởng đến các thiết bị trên mặt cầu và ảnh hưởng đến an toàn vận hành. Do đó, cần nghiên cứu kỹ hệ thống kết cấu mặt cầu, xem xét toàn diện các yếu tố ảnh hưởng và bố trí hợp lý các bộ phận trên mặt cầu.

(6) Tối ưu hóa điều kiện vận hành của tàu cao tốc

Do đường sắt cao tốc có bán kính đường cong lớn và không thể kiểm soát tuyến đường theo khái niệm truyền thống về cầu, ngoại trừ một số cầu đặc biệt, hầu hết các cầu đều được bố trí theo yêu cầu về hình dạng tuyến đường. Để đảm bảo điều kiện vận hành ở tốc độ cao, cần áp dụng các giải pháp kỹ thuật phù hợp. Đối với các cầu đặc biệt có yêu cầu kỹ thuật cao, việc thiết kế cầu phải dựa trên nghiên cứu toàn diện về các yếu tố như thủy văn, địa chất, lòng sông, luồng tàu và các công trình giao thông đường bộ. Sau khi so sánh và lựa chọn các phương án khả thi về mặt kỹ thuật và kinh tế, cần chọn loại cầu, bố trí nhịp, kết cấu trụ và nền móng hợp lý phù hợp với điều kiện thi công nhằm rút ngắn thời gian di chuyển và nâng cao hiệu quả tổng thể.

2. Chú trọng sự hài hòa với môi trường và cảnh quan

Việc xây dựng cầu đường sắt cao tốc cần nghiên cứu kỹ các yếu tố môi trường tại khu vực xây dựng, dự đoán trước những tác động của môi trường lên cầu và đưa ra các giải pháp phù hợp về thiết kế nền móng, lựa chọn kết cấu, các biện pháp xây dựng và tính hòa hợp với cảnh quan tự nhiên.

(1) Chú trọng tiết kiệm đất đai

So với việc xây dựng nền đường, việc xây dựng cầu cạn giúp giảm diện tích đất bị chiếm dụng, đặc biệt là đất canh tác. Phần lớn tuyến đường sắt cao tốc của Trung

Quốc đi qua các khu vực miền Đông và miền Trung, nơi có mật độ dân cư cao và hệ thống giao thông chằng chịt. Việc sử dụng cầu cạn không chỉ phù hợp với quy hoạch và phát triển đô thị mà còn tạo thuận lợi cho việc đi lại của cư dân dọc tuyến đường.

(2) Giảm thiểu tác động của tiếng ồn

Khi tàu chạy với tốc độ cao, tiếng ồn phát sinh từ va chạm giữa bánh xe và đường ray, ma sát giữa bộ thu điện và dây tiếp xúc, ma sát giữa tàu với không khí, cũng như dao động của kết cấu cầu sẽ rất lớn. Do đó, cần áp dụng các biện pháp hiệu quả để giảm thiểu tiếng ồn và rung động. Hiện nay, các trụ cầu thường sử dụng gối cao su và đường ray được đặt trên lớp đệm cao su đàn hồi để giảm rung, triệt tiêu tiếng ồn và giảm tác động đến môi trường. Đối với các cầu đi qua khu vực đô thị hoặc khu dân cư, cần lắp đặt hệ thống chắn âm ở hai bên mặt cầu. Trong quá trình xây dựng và vận hành, phải kiểm soát chặt chẽ việc gây ô nhiễm nước, đất, không khí và giảm thiểu tác động đến hệ sinh thái.

Ví dụ, khi xây dựng tuyến đường sắt cao tốc Thâm Mậu, đoạn đi qua làng Thiên Mã thuộc khu Tân Hội, thành phố Giang Môn có một hòn đảo nhỏ rộng khoảng 10.000 m^2 với một cây đa cổ thụ hơn 400 năm tuổi bao phủ toàn bộ đảo. Hòn đảo này nằm giữa dòng sông Thiên Mã trong xanh và đã trở thành nơi cư trú của cò và hơn 20 loài chim thuộc danh mục bảo vệ cấp quốc gia, tạo nên một cảnh quan thiên nhiên kỳ thú. Đây cũng là địa điểm được nhà văn nổi tiếng Ba Kim ghé thăm năm 1933 và viết nên bài tản văn "Thiên đường của loài chim". Theo đánh giá của cơ quan bảo vệ môi trường, độ ồn tự nhiên vào ban ngày tại khu vực này là 49,1 dB, trong khi độ ồn khi tàu chạy với tốc độ 200 km/h ở khoảng cách 25m từ tim đường và độ cao 3,5m là 76,5 dB, còn khi chạy với tốc độ 250 km/h là 80,5 dB.

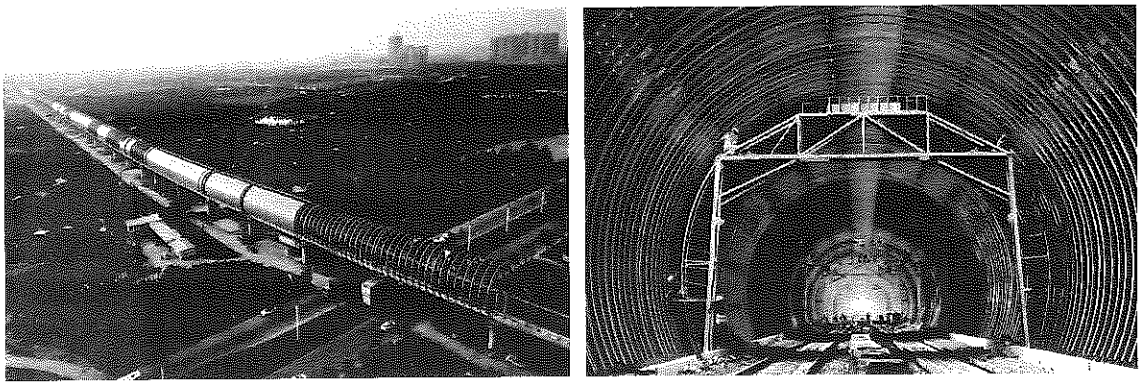
Để giảm thiểu tác động của tiếng ồn lên môi trường, các nhà nghiên cứu đã tiến hành nhiều giải pháp như lựa chọn hệ thống chắn âm dạng vòm kín toàn phần, sử dụng bê tông cốt sợi gia cường cao ECC và thực hiện các thí nghiệm giảm tiếng ồn. Cuối cùng, hệ thống chắn âm kết hợp giữa tấm hấp thụ âm kim loại và bê tông ECC cải tiến đã được lựa chọn. Hệ thống này có dạng vòm ba đoạn với hình dáng cong tròn và chỉ làm tăng độ ồn tại khu vực cốt lõi của Thiên đường của loài chim thêm 0,2 dB, mức tăng gần như không đáng kể, như thể hiện trong Hình 3-1-3.

(3) Chú trọng đến tính bền vững

Ưu tiên sử dụng kết cấu bê tông dự ứng lực và tiến hành thiết kế cũng như thi công cầu với độ bền cao dựa trên điều kiện môi trường và cấp độ tác động môi trường. Do hệ thống đường sắt cao tốc tại Trung Quốc có mạng lưới dày đặc và thời gian bảo dưỡng ngắn, việc xây dựng các công trình cầu có độ bền cao, ít phải bảo dưỡng và dễ sửa chữa là một yêu cầu cấp thiết.

(4) Tạo dựng cảnh quan cầu hài hòa với môi trường

Các cầu đường sắt cao tốc, đặc biệt là những cầu bắc qua các khu vực có cảnh quan tự nhiên đẹp hoặc đi qua khu đô thị, vừa là công trình giao thông lâu dài vừa mang tính biểu tượng. Những cây cầu này sẽ trở thành một phần trong đời sống của cư dân địa phương và tác động trực tiếp đến cảnh quan khu vực. Vì vậy, ngoài việc đảm bảo các chức năng chính về giao thông, cầu còn cần phải thể hiện được tính thẩm mỹ, hài hòa với môi trường xung quanh. Dưới nguyên tắc đảm bảo tính tiện dụng, an toàn và kinh tế, cần nhấn mạnh các yêu cầu về thẩm mỹ, tạo nên những công trình cầu độc đáo, hiện đại, thể hiện rõ nét đặc trưng của thời đại và cảnh quan khu vực.



a) Hình dáng bên ngoài *b) Kết cấu bên trong*

Hình 3-1-3: *Đường sắt cao tốc có mái vòm rào chắn cách âm khép kín*

3. Chú trọng phục vụ vận tải và tối ưu hóa hiệu quả tổng hợp

Việc thiếu hụt nguồn lực mạng lưới và năng lực vận tải là vấn đề chính hạn chế sự phát triển của ngành đường sắt Trung Quốc. Để khắc phục tình trạng này, cần đẩy nhanh tiến độ xây dựng các tuyến đường sắt chuyên dụng chở khách, sớm hoàn thành việc tách riêng các tuyến vận tải hành khách và hàng hóa, qua đó nâng cao đáng kể năng lực vận tải của hệ thống đường sắt. Rút ngắn chu kỳ thiết kế và thi công cầu đường sắt cao tốc chính là yếu tố then chốt để tăng tốc độ hoàn thành mạng lưới.

(1) Tối ưu hóa thời gian xây dựng

Để đảm bảo thời gian thi công được kiểm soát trong khoảng thời gian ngắn nhất, với những cây cầu đặc biệt có tính chất quyết định tiến độ toàn tuyến và yêu cầu kỹ thuật cao như cầu lớn Đại Thắng Quan ở Nam Kinh trên tuyến cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải hay cầu dây văng Thiên Hưng Châu dùng chung cho đường sắt và đường bộ trên tuyến khách chuyên dụng Vũ Hán - Quảng Châu, đã áp dụng phương án lập dự án riêng và khởi công sớm. Phương án này vừa giúp đảm bảo thời gian thi công hợp lý cho các công trình cầu, vừa thúc đẩy nhanh tiến độ thi công toàn tuyến.

Tại đoạn tuyến khách chuyên dụng Ngân Xuyên - Tây An thuộc tuyến cao tốc Ngân Tây, các công trình quan trọng như cầu lớn qua sông Hoàng Hà gần sân bay Ngân Xuyên và cầu lớn Ngân Xuyên Nam đã được rút ngắn thời gian thi công nhờ áp dụng các công nghệ xây dựng nhanh. Đối với dầm giản đơn 13 nhịp, mỗi nhịp dài 56 m, thay vì phương án đúc hẫng từng đoạn trên hệ đỡ, đã sử dụng phương án đúc toàn khối trên giá đỡ cố định. Đối với cầu vòm giằng nhịp đơn dài 128 m, đã chuyển sang phương án thi công đồng bộ trụ và dầm, lắp dầm trước rồi mới lắp vòm. Còn với cầu liên tục 3 nhịp dầm thép kết hợp vòm mềm, mỗi nhịp dài 168 m, sử dụng phương án lắp ráp đồng bộ dầm và vòm theo phương pháp hẫng, nhờ đó rút ngắn đáng kể thời gian thi công, đồng thời mang lại hiệu quả kinh tế lớn.

(2) Tổ chức thi công theo phương pháp công nghiệp hóa

Cầu chiếm tỷ lệ rất lớn trong tổng chiều dài các tuyến đường sắt cao tốc, có tuyến mà cầu chiếm tới hơn 80% tổng chiều dài tuyến chính, trong đó phần lớn là cầu dài với nhịp tiêu chuẩn dạng dầm giản đơn. Số lượng lớn các cầu loại này tạo điều kiện thuận lợi cho việc đúc sẵn dầm tại nhà máy và sử dụng máy cẩu dầm để lắp đặt nhanh, giúp đẩy nhanh tiến độ xây dựng cầu.

(3) Tích hợp công nghệ chuyên ngành

Để xây dựng những công trình có tuổi thọ cao, ít phải bảo trì và dễ dàng sửa chữa, ưu tiên sử dụng kết cấu bê tông dự ứng lực có độ bền cao. Ngoài ra, cần chú trọng thiết kế đồng bộ các điểm giao tiếp giữa cầu và các hệ thống chuyên ngành khác như đường ray, lưới điện tiếp xúc, hệ thống thông tin liên lạc, tín hiệu, dây cáp điện, và hệ thống tiếp đất tổng hợp. Việc tích hợp các công nghệ chuyên ngành cần đảm bảo đáp ứng nhu cầu bảo dưỡng và sửa chữa trong suốt quá trình vận hành, giúp hệ thống hoạt động ổn định và hiệu quả lâu dài.

III. CÁC CÔNG NGHỆ THEN CHỐT TRONG XÂY DỰNG CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC TRUNG QUỐC

1. Công nghệ mô phỏng phản ứng động lực giữa tàu, cầu và đường ray

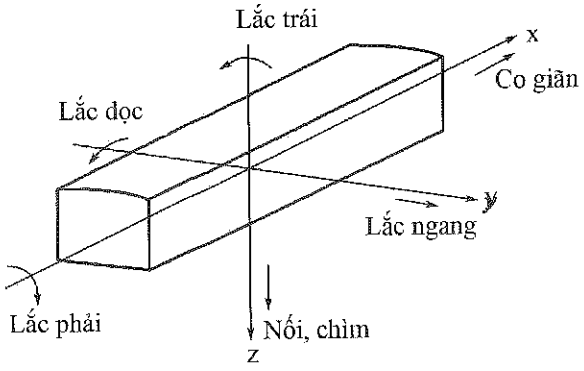
Khi tàu chạy qua cầu, kết cấu cầu sẽ bị dao động và ngược lại, dao động của cầu cũng sẽ ảnh hưởng đến dao động của tàu. Vấn đề này được gọi là sự tương tác dao động giữa tàu và cầu, hay hiện tượng dao động ghép giữa tàu và cầu. Để đảm bảo tàu có thể chạy với tốc độ cao, an toàn và êm ái, cầu đường sắt cao tốc phải có độ

cứng đủ lớn và tính toàn khối tốt nhằm tránh xảy ra tình trạng độ võng và biên độ dao động quá lớn.

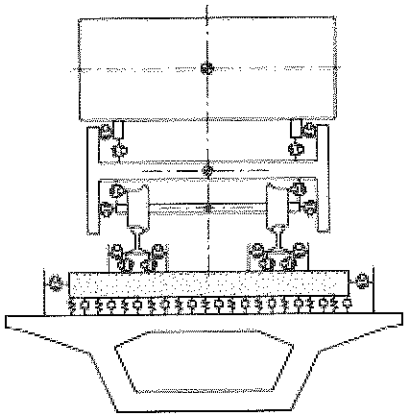
Từ đầu những năm 1980, Trung Quốc đã bắt đầu nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng về tương tác động lực giữa tàu, cầu và đường ray, đồng thời xây dựng và phát triển nhiều mô hình phân tích khác nhau, đưa ra các tiêu chuẩn đánh giá phù hợp. Trong cuộc thử nghiệm về hiệu suất động lực của cầu do Bộ Đường sắt tổ chức, đoàn tàu thử nghiệm đã đạt được tốc độ chạy vượt quá 300 km/h, qua đó kiểm chứng tính hiệu quả của phương pháp phân tích mô phỏng động lực giữa tàu - cầu - đường ray cũng như tính đáng tin cậy của các tiêu chuẩn đánh giá do Trung Quốc xây dựng.

Nhờ nhiều năm nghiên cứu chuyên sâu và thực tiễn thi công, Trung Quốc đã nắm vững cơ chế tương tác động lực giữa tàu, cầu và đường ray.

Hình 3-1-4 thể hiện 6 bậc tự do trong không gian của thân tàu khi phân tích động lực học, còn Hình 3-1-5 mô tả mô hình tương tác động lực giữa tàu - đường ray - cầu khi tàu chạy với tốc độ cao.



Hình 3-1-4: Các bậc tự do dao động không gian của tàu cao tốc



Hình 3-1-5: Sơ đồ mặt cắt mô hình tương tác động lực giữa tàu cao tốc - đường ray - cầu

2. Công nghệ thiết kế và xây dựng cầu cho đường ray không mối nối

Đường ray không mối nối trên cầu chịu lực khác biệt so với đường ray đặt trên nền đường. Sự biến dạng và dịch chuyển của cầu sẽ tạo ra ứng suất phụ bổ sung lên đường ray trên cầu. Để đảm bảo an toàn khi tàu chạy qua cầu, trong quá trình thiết kế, cần tính đến các lực bổ sung do sự tương tác giữa dầm cầu và đường ray, đồng thời áp dụng các biện pháp kỹ thuật nhằm giữ cho các lực này nằm trong giới hạn an toàn. Các loại ứng suất bổ sung trên đường ray bao gồm:

- Ứng suất do lực hãm (phanh tàu).
- Ứng suất do lực giãn nở nhiệt.
- Ứng suất do lực uốn (độ võng của cầu).

Sau nhiều năm nghiên cứu chuyên sâu, Trung Quốc đã xây dựng được hệ thống mô hình cơ học hoàn chỉnh về tương tác giữa dầm cầu và đường ray không mối nối. Các mô hình này đã được kiểm chứng qua thử nghiệm thực tế và thí nghiệm trên cầu thật, qua đó chứng minh tính chính xác và độ tin cậy của lý thuyết. Dựa trên đó, các chỉ số kiểm soát kỹ thuật liên quan đã được đưa ra nhằm đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình thiết kế cũng như xây dựng cầu cho đường ray không mối nối.

3. Công nghệ thiết kế và xây dựng cầu cho đường ray không đá ballast

Trong thiết kế cầu cho đường ray không đá ballast, mục tiêu là đạt được kết cấu đơn giản, đẹp mắt, tiêu chuẩn hóa cao, thuận tiện cho thi công, lắp đặt và bảo dưỡng, đồng thời đảm bảo cầu có độ bền cao và hiệu suất động lực tốt. Yếu tố quan trọng nhất là giải quyết các vấn đề về độ cứng và kiểm soát biến dạng của dầm cầu.

Thông qua việc nghiên cứu các thông số kỹ thuật chính như độ võng đứng, độ võng ngang, góc xoắn, và tần số dao động riêng theo phương đứng của dầm, cũng như kiểm soát hiện tượng vồng lên do từ biến của dầm bê tông dự ứng lực, kết cấu cầu đã được thiết kế để đáp ứng yêu cầu khắt khe khi lắp đặt đường ray không đá ballast.

Hiện nay, Trung Quốc đã cơ bản nắm vững công nghệ thiết kế và xây dựng cầu đường sắt cao tốc dành cho đường ray không đá ballast, tạo tiền đề cho việc thi công các tuyến đường sắt cao tốc có hiệu suất cao và ổn định lâu dài

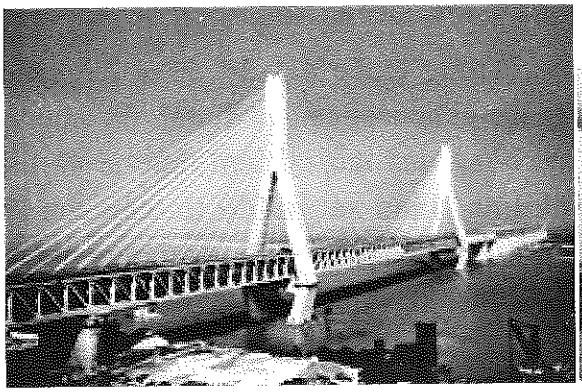
4. Công nghệ thiết kế và xây dựng cầu có nhịp lớn

Trong xây dựng cầu đường sắt cao tốc, thường ưu tiên sử dụng cầu có nhịp nhỏ. Tuy nhiên, do phải vượt qua các con sông lớn, các dòng sông sâu và thung lũng, việc xây dựng cầu có nhịp lớn cho đường sắt cao tốc là điều không thể tránh khỏi. Đặc biệt, vì tốc độ mục tiêu của tàu trên cầu nhịp lớn phải đồng nhất với các đoạn tuyến khác, nên việc thiết kế và thi công loại cầu này gặp nhiều thách thức hơn.

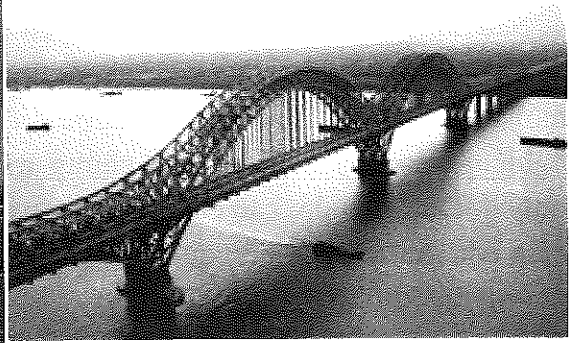
Các công nghệ chủ chốt trong thiết kế và xây dựng cầu nhịp lớn bao gồm:

- Sử dụng thép có cấp độ cường độ cao hơn.
- Áp dụng các kết cấu không gian mới.
- Phát triển các thiết bị chuyên dụng cho cầu nhịp lớn chịu tải trọng nặng.
- Áp dụng công nghệ thi công mới cho nền móng trong môi trường nước sâu.

Hình 3-1-6 và Hình 3-1-7 minh họa các ứng dụng công nghệ trong thiết kế và thi công cầu nhịp lớn cho đường sắt cao tốc.



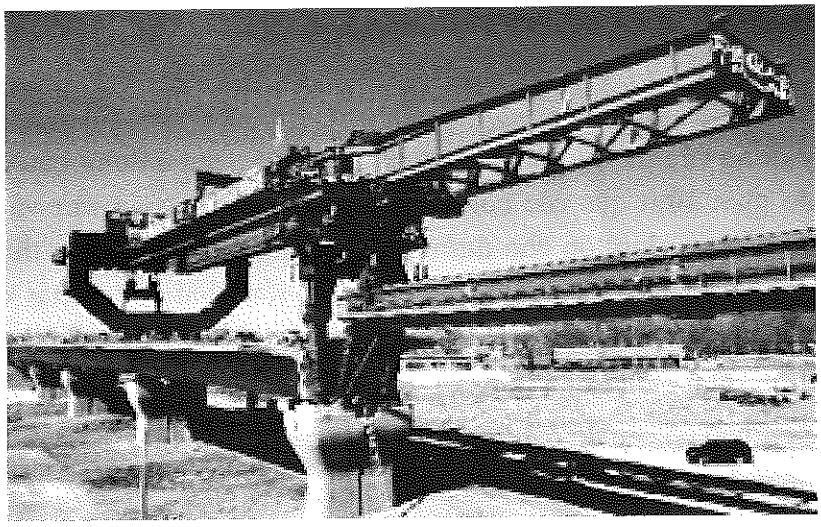
Hình 3-1-6: *Ảnh hoàn thiện cầu Thiên Hưng Châu trên tuyến khách chuyên dụng Bắc Kinh - Quảng Châu tại Vũ Hán*



Hình 3-1-7: *Cầu Đại Thắng Quan bắc qua sông Dương Tử trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải tại Nam Kinh*

5. Công nghệ thi công nhanh cầu cạn dài

Tỷ lệ chiều dài cầu trên tổng chiều dài tuyến đường sắt cao tốc đang xây dựng cao hơn nhiều so với đường sắt thông thường, xuất hiện nhiều cầu cạn siêu dài với chiều dài trên 10 km, thậm chí có những cầu dài tới hàng trăm km. Đối với các cầu dài sử dụng dầm giản đơn nhịp tiêu chuẩn, phương pháp thi công phổ biến là đúc sẵn dầm hộp tại các nhà máy đúc dầm dọc tuyến và lắp đặt từng nhịp bằng thiết bị vận chuyển và cẩu dầm chuyên dụng (Hình 3-1-8).



Hình 3-1-8: *Công nghệ thi công bằng máy cẩu dầm trên tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân*

Đối với các cầu nhịp đặc biệt như cầu liên tục, áp dụng phương pháp đúc tại chỗ. Qua thực tiễn thi công, Trung Quốc đã xây dựng được một loạt quy trình đúc, vận chuyển và lắp đặt dầm tiêu chuẩn cùng các thiết bị hỗ trợ tương ứng, nhờ đó đạt được chất lượng cao và tốc độ nhanh trong việc thi công các cầu siêu dài.

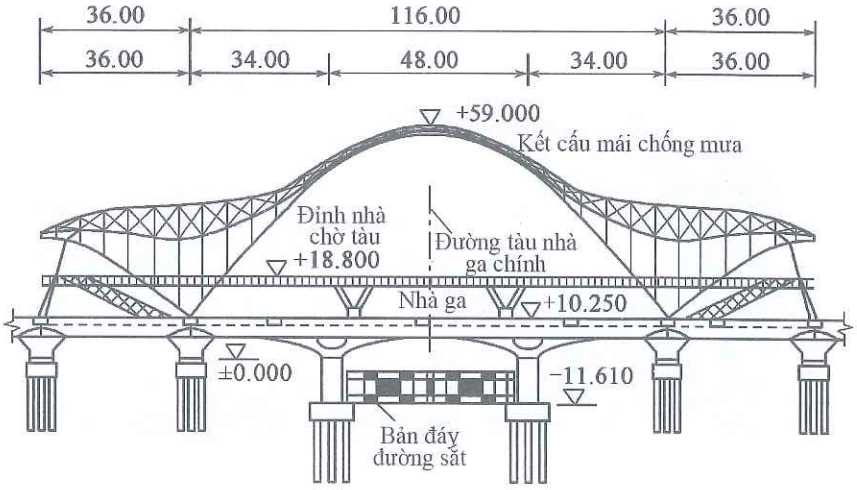
6. Công nghệ thiết kế và xây dựng cầu tại nhà ga

Các nhà ga hành khách tích hợp đường sắt, tàu điện ngầm và giao thông mặt đất là những công trình giao thông tổng hợp lớn. Xét từ góc độ cầu, các nhà ga này được chia thành hai loại chính:

- Loại nhà ga có cầu bên trong tòa nhà.
- Loại nhà ga xây dựng trên cầu.

Tại ga Bắc Kinh Nam và ga Thượng Hải Hồng Kiều, phương pháp xây cầu bên trong tòa nhà được áp dụng. Với loại hình này, cần cân nhắc toàn diện nhiều yếu tố, trong đó trọng tâm là việc bố trí khe nhiệt chống ứng suất, thực hiện phân tích tổng thể ứng suất của kết cấu, và kiểm soát khối lượng công trình một cách hợp lý.

Đối với ga Vũ Hán mới (Hình 3-1-9) và ga Quảng Châu mới, phương pháp xây nhà ga trên cầu được áp dụng, tức là nhà ga và cầu được xây dựng kết hợp thành một khối thống nhất. Trong trường hợp này, cầu phải chịu tải trọng rất lớn từ nhà ga, phần lớn là tải trọng tập trung, gây áp lực trực tiếp lên cầu. Việc thiết kế kết cấu cầu trở nên đặc biệt phức tạp, trong đó yếu tố mấu chốt là phải bố trí hợp lý giữa kết cấu cầu và nhà ga, sao cho lực từ nhà ga có thể được truyền nhanh chóng và trực tiếp xuống trụ cầu, đồng thời kiểm soát tốt biến dạng của trụ cầu nhằm giảm thiểu tác động lên kết cấu nhà ga.



Hình 3-1-9: *Sơ đồ mặt cắt kết cấu ga Vũ Hán mới (Đơn vị kích thước: m)*

7. Công nghệ thiết kế và xây dựng kết cấu cầu trong khu vực đặt đường ray phân nhánh

Cấu tạo của đường ray phân nhánh rất phức tạp, trong đó phần tâm phân nhánh là điểm yếu dễ chịu ảnh hưởng, và sự không cân bằng của ứng suất nhiệt trước và sau vị trí phân nhánh làm cho việc kiểm soát biến dạng trở nên rất khắt khe. Đối với đường ray không mối nối phân nhánh, vấn đề này càng phức tạp hơn. Tại khu vực yết hầu của các nhà ga trên cầu cao, để đảm bảo kích thước hình học của đường ray phân nhánh nằm trong phạm vi biến dạng cho phép, toàn bộ một bộ đường ray phân nhánh phải được đặt trên một dầm liên tục, với khoảng cách nhất định từ điểm đầu và điểm cuối của phân nhánh đến khe nối của dầm liên tục.

Tại các khu vực yết hầu của các nhà ga lớn trên cầu cao, thường có rất nhiều đường ray phân nhánh, có nơi lên đến hàng chục bộ. Do đó, rất khó để đặt toàn bộ hệ thống đường ray phân nhánh lên một kết cấu dầm liền khối duy nhất, mà thường phải sử dụng nhiều loại kết cấu dầm khác nhau để cùng nâng đỡ hệ thống đường ray. Tại các khe nối giữa các dầm, sẽ xuất hiện biến dạng theo phương dọc, phương ngang, phương đứng cũng như góc xoay trên mặt phẳng ngang và mặt phẳng đứng. Những biến dạng này sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến ứng suất của đường ray và đường ray phân nhánh, từ đó tác động đến an toàn và sự thoải mái khi tàu chạy, đặc biệt khi tàu chạy với tốc độ cao thì vấn đề này càng trở nên nghiêm trọng.

Do đó, việc kiểm soát ba chiều biến dạng của kết cấu cầu tại khu vực đặt đường ray phân nhánh và đảm bảo rằng biến dạng của đường ray và đường ray phân nhánh nằm trong phạm vi cho phép là công nghệ then chốt trong thiết kế cầu tại khu vực này (Hình 3-1-10).



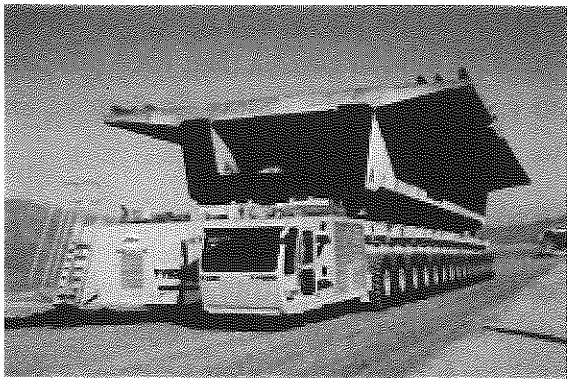
Hình 3-1-10: *Cầu trong khu vực đặt đường ray phân nhánh tại ga đường sắt cao tốc Quảng Châu*

8. Công nghệ chế tạo, vận chuyển và lắp đặt dầm giản đơn nhịp 32m loại 900 tấn

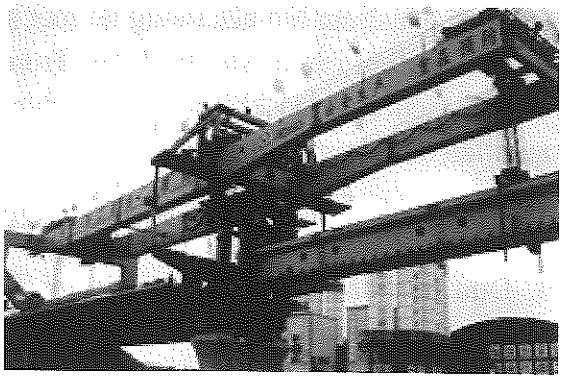
Để giải quyết vấn đề thi công lắp đặt dầm hộp bê tông dự ứng lực dài 32 mét dạng đúc sẵn nguyên khối, Trung Quốc đã tự chủ phát triển nhiều loại thiết bị chuyên dụng, bao gồm:

- Máy nâng dầm loại 450 tấn.
- Máy cẩu dầm loại 900 tấn.
- Xe vận chuyển dầm loại 900 tấn.
- Máy đúc cầu di động loại 900 tấn.

Quy trình công nghệ hoàn chỉnh từ xây dựng nhà máy đúc dầm, chế tạo dầm, vận chuyển đến lắp đặt dầm đã được xây dựng thông qua thực tiễn thi công. Hiện nay, có 95 bộ thiết bị đã được đưa vào sử dụng trên các tuyến đường sắt cao tốc, với gần 30.000 nhịp dầm được lắp đặt an toàn, đạt hiệu quả cao về tiến độ, an toàn và độ tin cậy. Những thành tựu này đã mang lại kinh nghiệm quý báu cho việc xây dựng các tuyến đường sắt chuyên dụng chở khách trong tương lai (Hình 3-1-11 và Hình 3-1-12).



Hình 3-1-11: *Xe vận chuyển dầm bánh lốp TY900*



Hình 3-1-12: *Máy cẩu dầm cố định kiểu dẫn dầm TJ900*

9. Công nghệ kiểm soát độ lún của nền móng cầu

Tại các khu vực có địa tầng là đất mềm hoặc đất yếu, độ lún là yếu tố kiểm soát chính trong thiết kế nền móng cầu và có ảnh hưởng lớn đến chi phí đầu tư xây dựng. Thông qua việc phân tích và so sánh các đường cong lún và xu hướng lún từ một lượng lớn dữ liệu đo thực tế, các phương pháp tính toán kiểm soát độ lún cho các loại nền móng cầu khác nhau đã được đề xuất như sau:

1- Đối với nền móng cầu dạng cọc: Sử dụng phương pháp "truyền biến dạng cắt" và phương pháp "tổng hợp từng lớp" để tính toán độ lún.

2- Đối với nền móng cầu đào hở và nền móng cống không xử lý: Sử dụng phương pháp tính toán độ lún theo "phương pháp tiêu chuẩn" (phương pháp tổng hợp từng lớp).

3- Đối với nền móng cống được xử lý bằng cọc xi măng phun sâu hoặc thay thế vật liệu: Áp dụng phương pháp "mô đun tổng hợp" (phương pháp EC) kết hợp với "phương pháp tổng hợp từng lớp" để tính toán độ lún.

Hiện nay, Trung Quốc đã cơ bản làm chủ công nghệ kiểm soát độ lún nền móng cầu cho đường sắt cao tốc, giúp đảm bảo an toàn kết cấu và tối ưu hóa chi phí xây dựng.

10. Công nghệ ứng dụng gối cầu trong cầu đường sắt cao tốc

Gối cầu là bộ phận quan trọng kết nối giữa kết cấu phần trên và kết cấu phần dưới của cầu. Với sự tiến bộ trong công nghệ vật liệu và kỹ thuật gia công, hiện nay Trung Quốc đã phát triển nhiều loại gối cầu tiêu chuẩn bằng các loại vật liệu khác nhau và xây dựng được quy trình đồng bộ về thiết kế, gia công, lắp đặt, bảo dưỡng và sửa chữa gối cầu.

Để đáp ứng nhu cầu về độ cứng cao của cầu đường sắt cao tốc, cũng như thích ứng với đặc điểm lún nền móng tại một số khu vực và dự phòng khả năng điều chỉnh độ cao sau khi cầu đi vào sử dụng, Trung Quốc đã nghiên cứu và phát triển gối cầu cao su kiểu chậu có khả năng điều chỉnh độ cao, giúp đảm bảo tính ổn định và an toàn lâu dài của cầu trong quá trình khai thác.

11. Công nghệ ứng dụng vật liệu bê tông hiệu suất cao

Dựa trên đặc điểm môi trường tại Trung Quốc, cũng như trình độ về vật liệu, công nghệ và thiết bị, các công trình cầu đường sắt cao tốc chủ yếu sử dụng bê tông hiệu suất cao. Đây là loại bê tông được chế tạo bằng nguyên liệu chất lượng cao, kết hợp với các phụ gia khoáng mịn và chất phụ gia hiệu suất cao, sử dụng các công nghệ hiện đại để sản xuất. Bê tông này có đặc điểm tỷ lệ nước/xi măng thấp, giúp đáp ứng tốt các yêu cầu về độ bền kết cấu và tính ổn định thể tích.

Hiện nay, Trung Quốc đã cơ bản nắm vững cơ chế hoạt động, tiêu chuẩn kiểm soát vật liệu và quy trình công nghệ của bê tông hiệu suất cao. Đồng thời, đã xây dựng được hệ thống tiêu chuẩn và quy trình đồng bộ cho công tác thiết kế, thi công và nghiệm thu, đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật trong xây dựng cầu đường sắt cao tốc.

CHƯƠNG II. TIÊU CHUẨN KỸ THUẬT CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. TẢI TRỌNG THIẾT KẾ

1. Phân loại tải trọng thiết kế

Các cầu đường sắt cao tốc tại Trung Quốc được thiết kế dựa trên đặc tính kết cấu và nội dung kiểm tra tính toán, theo tổ hợp tải trọng bất lợi nhất được liệt kê trong Bảng 3-2-1.

Bảng 3-2-1: Phân loại và tổ hợp tải trọng

Phân loại tải trọng		Tải trọng
Lực chính	Tải trọng thường xuyên (hay tải trọng tĩnh)	□ Trọng lượng bản thân của các cấu kiện và thiết bị phụ trợ □ Ứng suất trước □ Ảnh hưởng của co ngót và từ biến của bê tông □ Áp lực đất □ Áp lực nước tĩnh và lực đẩy nổi của nước □ Ảnh hưởng của sự dịch chuyển nền móng
	Tải trọng hoạt tải (hay tải trọng động)	□ Hoạt tải tĩnh theo phương thẳng đứng của tàu □ Hoạt tải tĩnh theo phương thẳng đứng của đường bộ □ Tác động động lực thẳng đứng của tàu □ Lực giãn nở và lực uốn của đường ray dài liên tục □ Lực ly tâm □ Lực lắc ngang □ Áp lực đất do hoạt tải của tàu gây ra □ Hoạt tải của lối đi bộ và người đi bộ □ Lực khí động học

Bảng 3-2-1: Phân loại và tổ hợp tải trọng

Phân loại tải trọng	Tải trọng
Lực phụ	□ Lực phanh hoặc lực kéo □ Lực gió □ Áp lực dòng nước □ Áp lực băng □ Ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ □ Lực do hiện tượng đóng băng và giãn nở
Tải trọng đặc biệt	□ Tải trọng do tàu trật bánh □ Lực va chạm của tàu thuyền hoặc bè mảng □ Lực va chạm của xe ô tô □ Tải trọng trong quá trình thi công □ Lực động đất □ Lực đứt gãy của đường ray dài liên tục

Khi tổ hợp tải trọng, cần xem xét thêm các tình huống sau:

(1) Khi cấu kiện chủ yếu chịu một loại lực phụ gia, loại lực này cần được tính như lực chính.

(2) Việc tổ hợp lực giãn nở, lực uốn, lực đứt gãy của đường ray dài liên tục với lực phanh hoặc lực kéo phải tuân theo quy định của "Quy phạm thiết kế đường ray không mối nối" (TB 10015-2012). Tác động của đường ray không đá ballast dạng tấm kiểu CRTS II cần được nghiên cứu riêng dựa trên điều kiện thực tế.

(3) Áp lực dòng nước không nên tổ hợp chung với áp lực băng.

(4) Khi xét đến tải trọng do tàu trật bánh, lực va chạm của tàu thuyền hoặc bè mảng, lực va chạm của xe ô tô và lực đứt gãy của đường ray dài liên tục, chỉ cần tính tổ hợp của một loại tải trọng đó với lực chính, và không tổ hợp với các lực phụ gia khác.

(5) Việc tổ hợp lực động đất với các loại tải trọng khác phải tuân theo quy định của "Quy phạm thiết kế chống động đất công trình đường sắt" (GB 50111-2006).

2. Tiêu chuẩn hoạt tải thiết kế

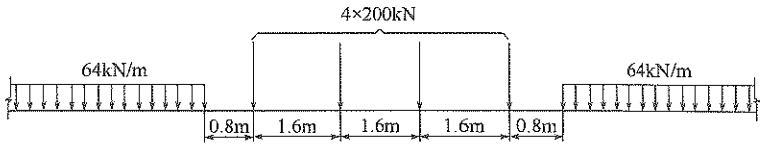
2.1. Hoạt tải tiêu chuẩn

Để đáp ứng nhu cầu phát triển của hệ thống đường sắt cao tốc Trung Quốc, hoạt tải thiết kế được lựa chọn dựa trên kết quả nghiên cứu về tốc độ khai thác và đặc

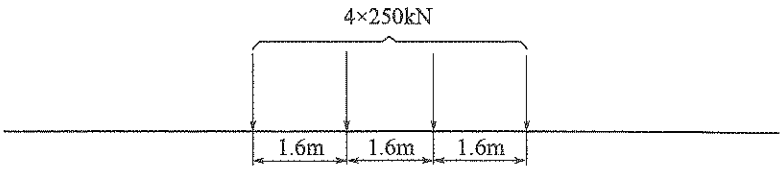
điểm tổ hợp đoàn tàu của đường sắt cao tốc Trung Quốc. Thông qua phân tích so sánh, hoạt tải được lựa chọn theo sơ đồ hoạt tải của Liên minh Đường sắt Quốc tế (UIC - International Union of Railways).

Do sơ đồ hoạt tải UIC được xây dựng để đáp ứng các loại hoạt tải khác nhau của các nước châu Âu, nên sơ đồ này có thể sử dụng theo từng cấp độ. Ngoài việc có thể phân cấp đồng đều trên toàn sơ đồ, hệ số của tải trọng tập trung và tải trọng phân bố đều cũng có thể được điều chỉnh tăng hoặc giảm tùy theo nhu cầu. Vì vậy, sơ đồ UIC với 4 tải trọng tập trung ở giữa và tải trọng phân bố đều đối xứng ở hai bên là phù hợp với điều kiện thực tế của Trung Quốc.

Hiện tại, hoạt tải thiết kế ZK cho cầu đường sắt cao tốc Trung Quốc tương đương với 0,8 lần hoạt tải UIC. Sơ đồ hoạt tải thiết kế được thể hiện trong Hình 3-2-1 và Hình 3-2-2.



Hình 3-2-1: *Sơ đồ hoạt tải tiêu chuẩn ZK*



Hình 3-2-2: *Sơ đồ hoạt tải đặc biệt ZK*

Quy định bổ sung khi tính toán hoạt tải tĩnh thẳng đứng của tàu:

(1) Đối với cầu đơn tuyến hoặc cầu đôi tuyến, cần tính tác động của hoạt tải ZK trên cả hai tuyến.

(2) Đối với cầu có từ ba tuyến trở lên, phải xem xét tình huống bất lợi nhất:

- Hai tuyến ở vị trí bất lợi nhất chịu hoạt tải ZK, các tuyến còn lại không chịu hoạt tải tàu.
- Hoặc tất cả các tuyến đều chịu 75% hoạt tải ZK tại vị trí bất lợi nhất.

(3) Khi thiết kế tải trọng, sơ đồ hoạt tải có thể được cắt tùy ý. Đối với đường ảnh hưởng nhiều dấu hiệu, có thể tải trọng trên từng đoạn của đường ảnh hưởng cùng dấu hiệu, và nếu chiều dài của đoạn đường ảnh hưởng khác dấu hiệu nhỏ hơn 15m, có thể không đặt hoạt tải. Nếu chiều dài của đoạn lớn hơn 15m, có thể đặt hoạt tải tĩnh của tàu không tải với giá trị 10 kN/m.

(4) Khi kiểm tra cầu bằng tàu không tải, hoạt tải tĩnh thẳng đứng cần được tính với giá trị 10 kN/m.

2.2. Hệ số va chạm

Khi tính toán kết cấu cầu và cống, cần xem xét tác động động lực của hoạt tải thẳng đứng từ tàu, có thể được xác định bằng cách nhân hoạt tải tĩnh thẳng đứng với hệ số động lực (1+μ). Đối với trụ cầu đặc, móng và áp lực đất, không cần xét đến tác động động lực.

Hệ số động lực của kết cấu cầu được tính theo công thức sau và không được nhỏ hơn 1.0:

$$1+\mu=1+\left(\frac{1.44}{\sqrt{L_\varphi-0.2}}-0.18\right) \tag{3-2-1}$$

trong đó:

L_ϕ - chiều dài chịu tải (m). Nếu chiều dài chịu tải nhỏ hơn 3.61 m, phải lấy bằng 3.61 m.

- Đối với dầm giản đơn, chiều dài chịu tải được lấy là chiều dài nhịp dầm.
- Đối với dầm liên tục, chiều dài chịu tải có thể được xác định bằng nhịp trung bình nhân với hệ số điều chỉnh nhịp, theo Bảng 3-2-2, nhưng không được nhỏ hơn nhịp lớn nhất.

Bảng 3-2-2: Hệ số điều chỉnh nhịp của dầm liên tục

Số nhịp	2	3	4	≥ 5
Hệ số điều chỉnh nhịp	1.2	1.3	1.4	1.5

2.3. Lực ly tâm và lực lắc ngang

Đối với cầu cong, cần tính đến tác động của lực ly tâm sinh ra bởi hoạt tải tĩnh thẳng đứng của tàu. Lực ly tâm được coi là tác động theo phương ngang hướng ra ngoài, tác động tại vị trí 1,8m phía trên đỉnh ray. Lực ly tâm được tính theo công thức sau:

- Lực tập trung N:

$$F_N=\frac{v^2}{127R}(f.N) \tag{3-2-2}$$

Hoạt tải phân bố q:

$$F_q=\frac{v^2}{127R}(f.q) \tag{3-2-3}$$

trong đó:

N - tải trọng tập trung trong sơ đồ hoạt tải ZK (kN);

q - hoạt tải phân bố trong sơ đồ hoạt tải ZK (kN/m);

v - tốc độ thiết kế (km/h);

R - bán kính đường cong (m).

f - hệ số giảm hoạt tải thẳng đứng. Nếu giá trị tính toán của f lớn hơn 1.0, thì lấy f = 1.0. Khi tốc độ thiết kế v > 250 km/h, hệ số f được tính theo tốc độ v = 250 km/h.

Hệ số f được tính theo công thức:

$$f = 1.00 - \frac{v-120}{1000}\left(\frac{814}{v} + 1.75\right)\left(1 - \sqrt{\frac{2.88}{L}}\right) \qquad (3\text{-}2\text{-}4)$$

trong đó:

L - chiều dài chịu tải của đoạn cong trên cầu (m). Nếu L > 150 m, thì lấy L = 150 m.

❖ ***Các trường hợp cần xem xét khi tốc độ thiết kế lớn hơn 120 km/h***

(1) Hoạt tải ZK không giảm và lực ly tâm tính theo tốc độ 120 km/h (f = 1.0).

(2) Hoạt tải ZK giảm ($f.N, f.q$) và lực ly tâm tính theo tốc độ thiết kế (f < 1.0).

(3) Trường hợp không có lực ly tâm, chỉ xét hoạt tải của tàu trên cầu cong.

❖ ***Lực lắc ngang***

Lực lắc ngang được tính bằng cách áp dụng 100 kN theo phương ngang tại đỉnh ray. Đối với cầu nhiều tuyến, chỉ cần tính lực lắc ngang trên một tuyến bất kỳ.

2.4. Lực phanh và lực kéo

Việc tính toán lực phanh hoặc lực kéo của tàu trên cầu phải tuân theo các quy định sau:

(1) Lực phanh hoặc lực kéo của tàu trên cầu được tính bằng 10% hoạt tải tĩnh thẳng đứng của tàu. Nếu lực phanh hoặc lực kéo được tính đồng thời với lực ly tâm hoặc tác động động lực thẳng đứng của tàu, thì lấy bằng 7% hoạt tải tĩnh thẳng đứng của tàu. Vị trí tác động cụ thể phải tuân theo quy định trong "Quy phạm thiết kế cầu và cống đường sắt" (TB 10002-2017).

(2) Đối với cầu đôi tuyến giữa các đoạn tuyến, chỉ cần áp dụng lực phanh hoặc lực kéo của một tuyến. Trong khu vực nhà ga, cầu đôi tuyến cần được thiết kế để xét đến trường hợp xảy ra đồng thời lực phanh và lực kéo trên cả hai tuyến

tùy thuộc vào hình thức kết cấu. Đối với cầu ba tuyến hoặc nhiều hơn, cần áp dụng lực phanh hoặc lực kéo của hai tuyến.

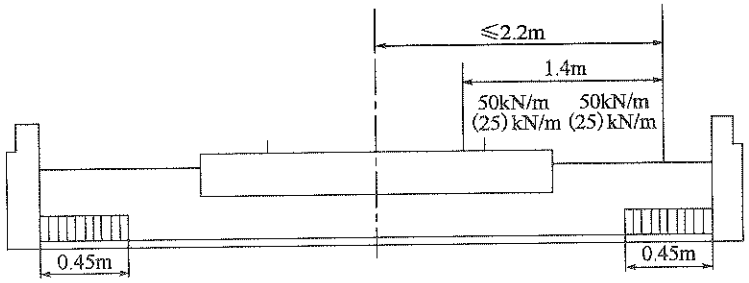
2.5. Tải trọng do tàu trật bánh

Đối với các cầu có chiều dài lớn hơn 15m, cần tính đến tải trọng do tàu trật bánh. Tải trọng này không cần nhân với hệ số động lực. Trên cầu nhiều tuyến, chỉ cần xét tải trọng trật bánh của một tuyến, và các tuyến còn lại không chịu hoạt tải của tàu. Tải trọng do tàu trật bánh được xét theo hai trường hợp sau:

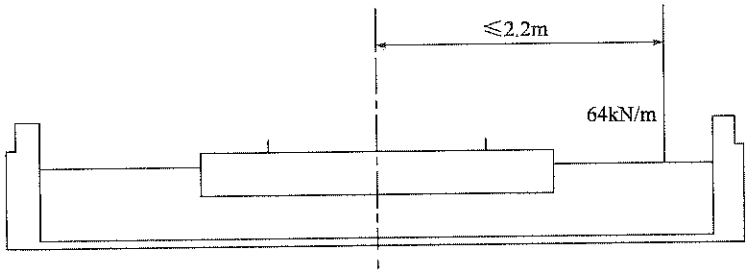
(1) Trường hợp 1:

Khi tàu trật bánh nhưng một bên bánh xe vẫn nằm trong phạm vi đường ray trên cầu, tải trọng được coi là hai đường tải trọng song song cách nhau 1,4m, tác động trong phạm vi 2,2m từ đường trung tâm của tuyến và không vượt quá mép trong của tường chắn đá hoặc tường bảo vệ, tại vị trí bất lợi nhất.

- Trên đoạn dài 6,4m, tải trọng đường là 50 kN/m, phần trước và sau đoạn này mỗi phần có tải trọng 25 kN/m, như được minh họa trong Hình 3-2-3a.



a) Biểu đồ tải trật bánh tàu hỏa (1)



a) Biểu đồ tải trật bánh tàu hỏa (2)

Hình 3-2-3: *Tải trọng do tàu trật bánh*

(2) Trường hợp 2:

Khi tàu trật bánh hoàn toàn ra khỏi phạm vi đường ray nhưng vẫn nằm ở mép cầu, cần xét cả tải trọng trật bánh theo phương thẳng đứng và tải trọng trật bánh theo phương ngang.

- Tải trọng trật bánh thẳng đứng được tính theo Hình 3-2-3b, là một đường tải trọng song song với đường trung tâm tuyến, có chiều dài 20m, tác động lên mặt trong của tường bảo vệ, với khoảng cách tối đa từ đường trung tâm tuyến là 2,2m, giá trị tải trọng là 64 kN/m.

II. TIÊU CHUẨN GIỚI HẠN

1. Giới hạn tĩnh

1.1. Giới hạn tỷ lệ độ võng trên nhịp

Tỷ lệ độ võng trên nhịp là chỉ tiêu quan trọng phản ánh độ cứng của cầu, đặc biệt là độ cứng dưới tác động của hoạt tải. Đối với cầu dầm giản đơn hai tuyến có từ 3 nhịp trở lên, giới hạn độ võng được quy định trong Bảng 3-2-3.

Bảng 3-2-3: Giới hạn độ võng thẳng đứng của dầm cầu (mm)

Thiết kế tốc độ (km/h)	Phạm vi nhịp (m)		
	$L \leq 40$	$40 < L \leq 80$	$L > 80$
250	L / 1400	L / 1400	L / 1000
300	L / 1500	L / 1600	L / 1100
350	L / 1600	L / 1900	L / 1500

Quy định về giới hạn độ võng thẳng đứng của dầm cầu:

1- Đối với dầm liên tục có từ 3 nhịp trở lên, giới hạn độ võng thẳng đứng của dầm được lấy bằng 1.1 lần giá trị trong Bảng 3-2-3.

2- Đối với dầm liên tục 2 nhịp hoặc dầm giản đơn hai tuyến có từ 2 nhịp trở xuống, giới hạn độ võng thẳng đứng được lấy bằng 1.4 lần giá trị trong Bảng 3-2-3.

3- Đối với dầm giản đơn hoặc dầm liên tục đơn tuyến, giới hạn độ võng thẳng đứng được lấy bằng 0.6 lần giá trị giới hạn tương ứng của cầu hai tuyến.

Đối với cầu vòm, cầu khung cứng và cầu dầm liên tục, ngoài việc xét đến hoạt tải tĩnh thẳng đứng của tàu, cần tính thêm ảnh hưởng của nhiệt độ. Độ võng thẳng đứng của dầm cầu được lấy theo trường hợp bất lợi nhất trong các trường hợp sau và phải thỏa mãn giới hạn quy định trong Bảng 3-2-3:

(1) Tổng của độ võng do hoạt tải tĩnh thẳng đứng của tàu và 0.5 lần độ võng do biến đổi nhiệt độ gây ra.

(2) Tổng của 0.63 lần độ võng do hoạt tải tĩnh thẳng đứng của tàu và toàn bộ độ võng do biến đổi nhiệt độ gây ra.

Các thiết bị phụ trợ trên mặt cầu của đường sắt cao tốc nên được hoàn thành trước khi lắp đặt đường ray. Sau khi lắp đặt đường ray, độ biến dạng do từ biến còn lại của dầm bê tông dự ứng lực theo phương thẳng đứng phải đáp ứng các quy định sau:

(1) Đối với dầm có mặt cầu có đá ballast, độ biến dạng thẳng đứng không được vượt quá 20 mm.

(2) Đối với dầm có mặt cầu không đá ballast, nếu nhịp cầu ≤ 50 m, độ biến dạng thẳng đứng không được vượt quá 10 mm; nếu nhịp cầu > 50 m, độ biến dạng thẳng đứng không được vượt quá L/5000 và không được vượt quá 20 mm.

1.2. Biến dạng ngang của dầm cầu

Giới hạn biến dạng ngang của dầm cầu đường sắt cao tốc phải tuân theo các quy định sau:

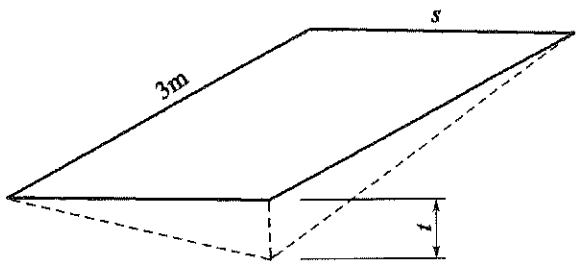
(1) Dưới tác động của lực lắc ngang, lực ly tâm, lực gió và biến đổi nhiệt độ, độ võng ngang của dầm không được vượt quá 1/4000 chiều dài nhịp tính toán của dầm.

(2) Đối với cầu đường sắt không đá ballast, độ dịch chuyển ngang tương đối giữa các điểm tựa của đường ray ở hai đầu dầm liền kề không được vượt quá 1 mm.

1.3. Giới hạn độ không bằng phẳng của mặt đường ray do biến dạng xoắn

Khi tính toán biến dạng xoắn của cầu, sử dụng hoạt tải ZK có tính đến hệ số động lực. Trong phạm vi đường ray dài 3m, cần đánh giá độ biến dạng thẳng đứng tương đối ttt giữa hai thanh ray của một tuyến để xác định giới hạn độ không bằng phẳng của mặt đường ray do biến dạng xoắn của dầm cầu dưới tác động của hoạt tải tĩnh K.

Giới hạn biến dạng xoắn của cầu đường sắt cao tốc Trung Quốc không được vượt quá 1.5 mm, như thể hiện trong Hình 3-2-4.



Hình 3-2-4: *Sơ đồ minh họa độ xoắn cho phép của mặt cầu*

1.4. Góc xoay thẳng đứng tại đầu dầm

Dưới tác động của hoạt tải tĩnh ZK theo phương thẳng đứng, dầm cầu đường sắt cao tốc sẽ xuất hiện góc xoay tại đầu dầm (Hình 3-2-5), ảnh hưởng đến độ bằng phẳng của đường ray. Giới hạn góc xoay thẳng đứng tại đầu dầm phải tuân theo các quy định trong Bảng 3-2-4.

Nếu giới hạn góc xoay tại đầu dầm của cầu đường sắt không đá ballast không thỏa mãn các yêu cầu trong bảng, cần tiến hành kiểm tra ứng suất của kết cấu đường ray và hệ thống khóa ray tại đầu dầm.

Tổng góc xoay của hai đầu dầm liền kề ($\theta_1 + \theta_2$) không chỉ phải thỏa mãn giới hạn quy định mà từng góc xoay riêng lẻ của mỗi đầu dầm cũng phải đáp ứng giới hạn góc xoay giữa trụ cầu và dầm cầu được quy định trong điều khoản này



Hình 3-2-5: Sơ đồ minh họa góc xoay tại đầu dầm

Bảng 3-2-4: Giới hạn góc xoay tại đầu dầm

Loại đường ray trên cầu	Vị trí	Giới hạn (rad)	Ghi chú
Đường ray có đá ballast	Giữa mố cầu và cầu	$\theta \leq 2.0‰$	
	Giữa hai dầm liền kề	$\theta_1 + \theta_2 \leq 4.0‰$	
Đường ray không đá ballast	Giữa mố cầu và cầu	$\theta \leq 1.5‰$	Chiều dài dầm nhô ra ≤ 0.55m
		$\theta \leq 1.0‰$	0.55m < Chiều dài dầm nhô ra ≤ 0.75m
	Giữa hai dầm liền kề	$\theta_1 + \theta_2 \leq 3.0‰$	Chiều dài dầm nhô ra ≤ 0.55m
		$\theta_1 + \theta_2 \leq 2.0‰$	0.55m < Chiều dài dầm nhô ra ≤ 0.75m

1.5. Biến dạng của trụ cầu và mố cầu

(1) Đối với dầm giản đơn bê tông trên đoạn đường ray có đá ballast thuộc khu vực cố định của đường ray không mối nối, độ cứng ngang dọc tại đỉnh trụ và mố cầu phải đáp ứng các giới hạn quy định trong Bảng 3-2-5.

Trong phạm vi chiều dài hiệu dụng của tuyến đường đón trả khách tại các nhà ga trên cầu cao, giới hạn tối thiểu về độ cứng ngang dọc tại đỉnh trụ và mố cầu của cầu đôi tuyến được lấy bằng 2.0 lần giới hạn tối thiểu của trụ và mố cầu đơn tuyến quy định trong bảng.

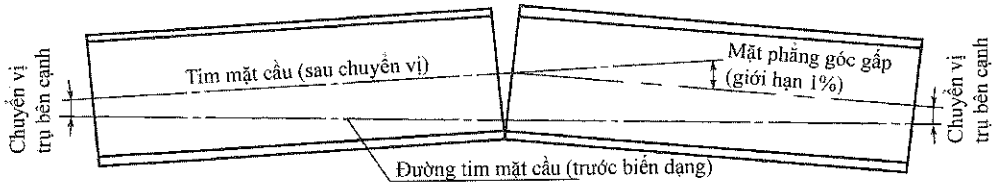
Bảng 3-2-5: Giới hạn độ cứng theo phương ngang dọc của đỉnh trụ cầu và mố cầu

Trụ cầu/Mố cầu	Nhịp cầu (m)	Độ cứng ngang tối thiểu (kN/cm)	
		Hai tuyến	Một tuyến
Trụ cầu	≤ 12	100	60
	16	160	100
	20	190	120
	24	270	170
	32	350	220
	40	550	340
	48	720	450
Mố cầu		3000	1500

(2) Độ cứng ngang theo phương ngang của trụ và mố cầu phải đảm bảo đáp ứng các yêu cầu về an toàn chạy tàu và sự thoải mái của hành khách khi tàu chạy với tốc độ cao, đồng thời cần tính toán độ dịch chuyển đàn hồi theo phương ngang tại đỉnh trụ và mố cầu dưới tác động của tải trọng bất lợi nhất.

Dưới tác động của hoạt tải ZK, lực lắc ngang, lực ly tâm, lực gió và biến đổi nhiệt độ, góc xoay ngang tại đầu dầm do dịch chuyển ngang tại đỉnh trụ cầu không được vượt quá 1.0‰ rad.

Sơ đồ minh họa góc xoay ngang tại đầu dầm được thể hiện trong Hình 3-2-6.



Hình 3-2-6: *Sơ đồ minh họa góc xoay ngang*

(3) Độ lún của nền móng trụ và mố cầu phải được tính toán dựa trên tải trọng thường xuyên, và độ lún sau khi thi công dưới tác động của tải trọng thường xuyên không được vượt quá giới hạn quy định trong Bảng 3-2-6.

Trong những điều kiện đặc biệt, nếu cầu đường sắt không đá ballast không thể đáp ứng yêu cầu giới hạn về độ lún, có thể áp dụng biện pháp dự phòng để điều chỉnh nhằm đảm bảo độ bằng phẳng của đường ray.

Đối với các kết cấu siêu tĩnh, ngoài việc phải đáp ứng quy định về sự chênh lệch độ lún giữa các trụ và mố cầu liền kề, cần tính toán và xác định thêm ảnh hưởng của ứng suất phụ do sự chênh lệch độ lún gây ra.

Bảng 3-2-6: Giới hạn độ lún sau thi công của nền móng trụ và mố cầu trong kết cấu tĩnh định

Loại độ lún	Loại đường ray trên cầu	Giới hạn (mm)
Độ lún đồng đều của trụ và mố cầu	Đường ray có đá ballast	30
	Đường ray không đá ballast	20
Chênh lệch độ lún giữa các trụ và mố cầu liền kề	Đường ray có đá ballast	15
	Đường ray không đá ballast	5

2. Giới hạn động lực học

2.1. Tần số dao động riêng theo phương thẳng đứng

Giới hạn tần số dao động riêng theo phương thẳng đứng của dầm giản đơn không được nhỏ hơn các giá trị quy định trong Bảng 3-2-7.

Bảng 3-2-7: Giới hạn tần số dao động riêng theo phương thẳng đứng của dầm giản đơn

Nhịp cầu L (m)	$L \leq 20$	$20 < L \leq 96$
Giới hạn (Hz)	80 / L	$23.58L^{-0.692}$

Khi chiều dài tàu chạy từ 24 đến 26m, đối với dầm hộp bê tông giản đơn hai tuyến có nhịp không vượt quá 32m, nếu tần số dao động riêng của dầm đạt hoặc vượt qua giới hạn trong Bảng 3-2-8, thì không cần phải tiến hành phân tích đáp ứng động lực giữa tàu và cầu trong thiết kế kết cấu dầm.

Bảng 3-2-8: Giới hạn tần số dao động riêng theo phương thẳng đứng (Hz) của dầm hộp bê tông giản đơn hai tuyến có nhịp thông dụng không cần kiểm tra động lực

Nhịp cầu (L) (m)	Tốc độ thiết kế (km/h)		
	250	300	350
20	100 / L	100 / L	120 / L
24	100 / L	120 / L	140 / L
32	120 / L	130 / L	150 / L

2.2. Đáp ứng động lực

Ngoài việc thực hiện phân tích tĩnh lực cho các loại cầu ngoài dầm giản đơn, thiết kế cầu còn phải thực hiện phân tích đáp ứng động lực kết hợp giữa tàu và cầu dựa trên điều kiện thực tế khi tàu vận hành qua cầu, và phải tuân thủ các quy định trong Bảng 3-2-9.

Bảng 3-2-9: Chỉ tiêu đáp ứng động lực kết hợp giữa tàu và cầu

Chỉ tiêu an toàn vận hành	Giới hạn	Chỉ tiêu độ êm ái vận hành	Giới hạn
Tỉ lệ trật bánh Q / P	≤ 0.8	Gia tốc dao động thẳng đứng của thân tàu a_z	≤ 0.13g
Tỉ lệ giảm tải trọng bánh xe ΔP / P	≤ 0.6	Gia tốc dao động ngang của thân tàu a_y	≤ 0.10g
Lực ngang theo phương ngang của bánh xe Q	≤ 10 + Trọng lượng trục tĩnh / 3	Chỉ số độ thoải mái của Sprenger W	Xem Bảng 3-2-10

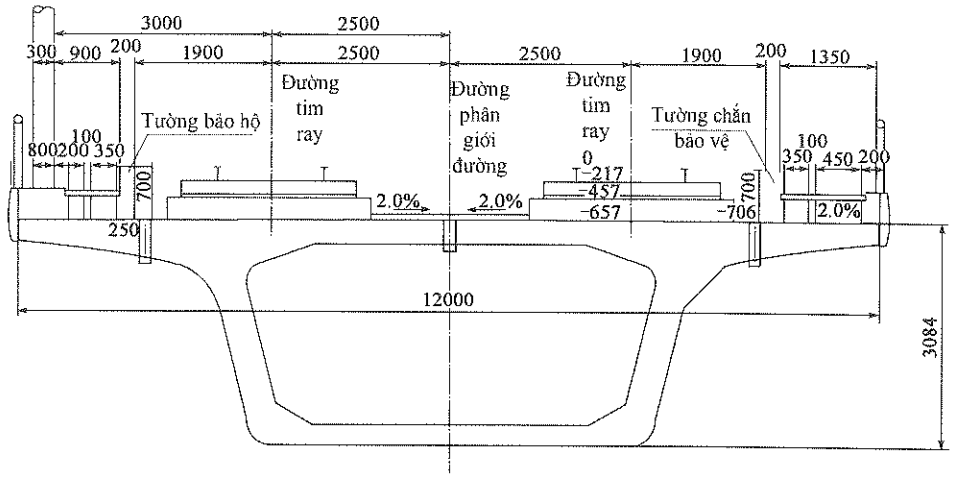
Bảng 3-2-10: Chỉ số độ thoải mái Sprenger

Chỉ số độ thoải mái Sprenger (W)	W ≤ 2.50	2.50 < W ≤ 2.75	2.75 < W ≤ 3.00
Đánh giá mức độ	Tốt	Khá	Đạt yêu cầu

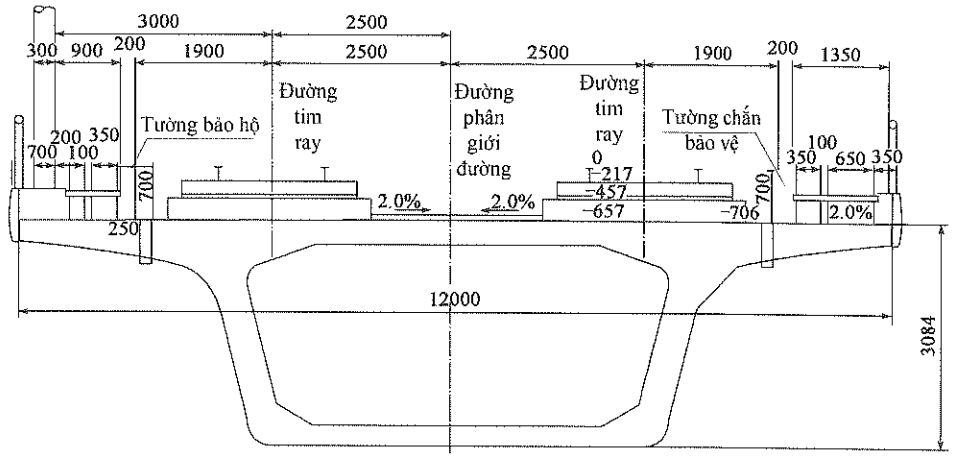
III. BỐ TRÍ MẶT CẦU

1. Mặt cầu không đá ballast

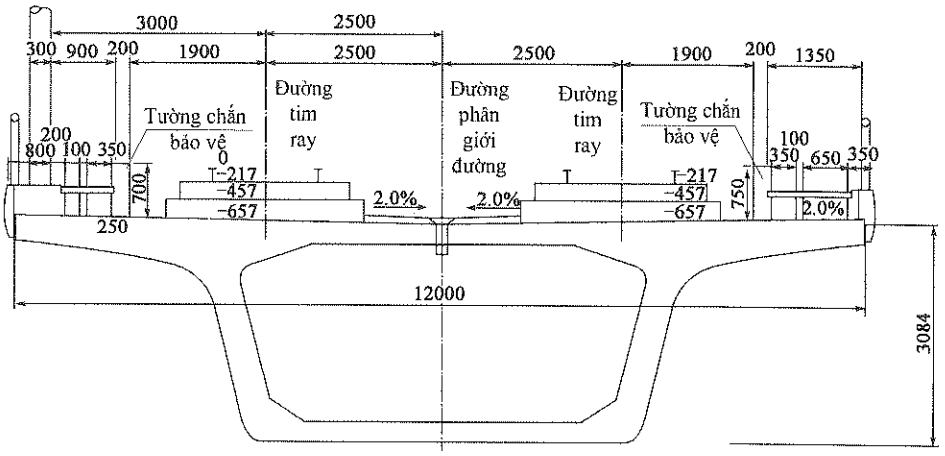
Mặt cầu không đá ballast trên cầu đường sắt cao tốc có thể được chia thành ba loại hình dựa trên phương thức thoát nước, như được thể hiện trong Hình 3-2-7.



a) Ba hàng thoát nước



b) Hai hàng thoát nước

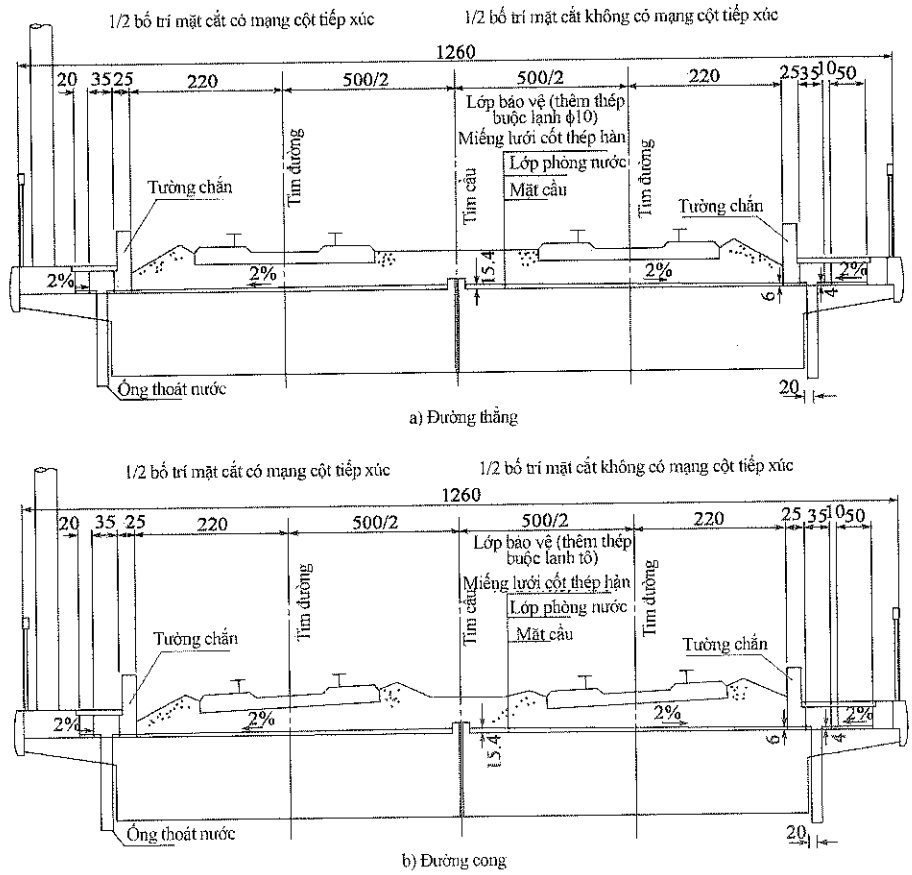


c) Thoát nước ở giữa

Hình 3-2-7: *Sơ đồ bố trí mặt cầu không đá ballast với tốc độ 350 km/h (Đơn vị kích thước: mm)*

2. Mặt cầu có đá ballast

Bố trí mặt cầu có đá ballast được thể hiện trong Hình 3-2-8.



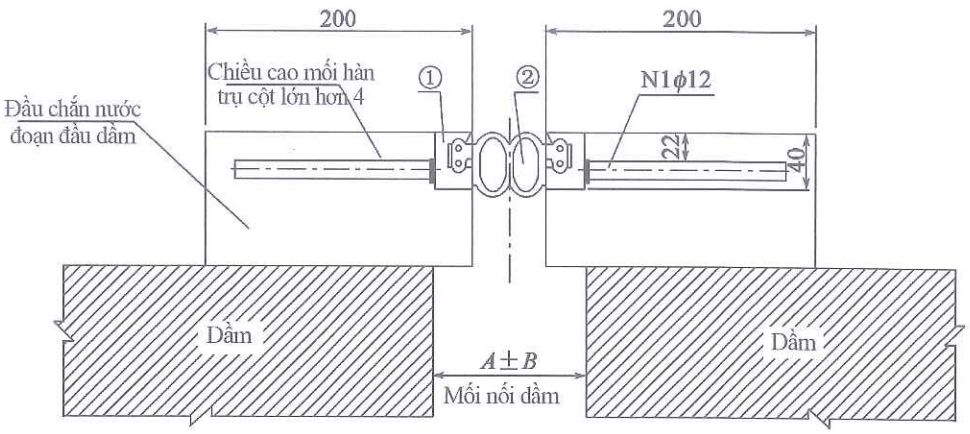
Hình 3-2-8: Sơ đồ bố trí mặt cầu có đá ballast (Đơn vị kích thước: cm)

3. Khe co giãn

Để ngăn ngừa nước mưa tràn vào đầu dầm và đảm bảo độ bền của bê tông neo, tại đầu dầm cần lắp đặt một tấm chắn nước cao hơn lớp bảo vệ bề mặt dầm. Đồng thời, một khe co giãn được lắp đặt trong khe hở của tấm chắn nước tại đầu dầm, có thể sử dụng khe co giãn bằng thép chịu thời tiết (như trong Hình 3-2-9).

Trong quá trình thi công tấm đế, bê tông của tấm chắn nước sẽ được đổ cùng lúc, sau đó tiến hành thi công mối nối co giãn. Kích thước của tấm chắn nước được xác định dựa trên loại mối nối co giãn.

Khi có cáp trung gian đi qua cầu, mối nối co giãn cần được cắt tại vị trí rãnh trên mặt cầu, nhưng phải lắp đặt tấm chắn nước để ngăn ngừa nước mưa tràn vào khu vực này.



Hình 3-2-9: *Khe co giãn bằng thép chịu thời tiết (Đơn vị kích thước: mm)*

CHƯƠNG III. HỆ THỐNG KẾT CẤU CHÍNH CỦA CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. CẦU DẦM GIẢN ĐƠN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

1. Cầu dầm giản đơn bê tông

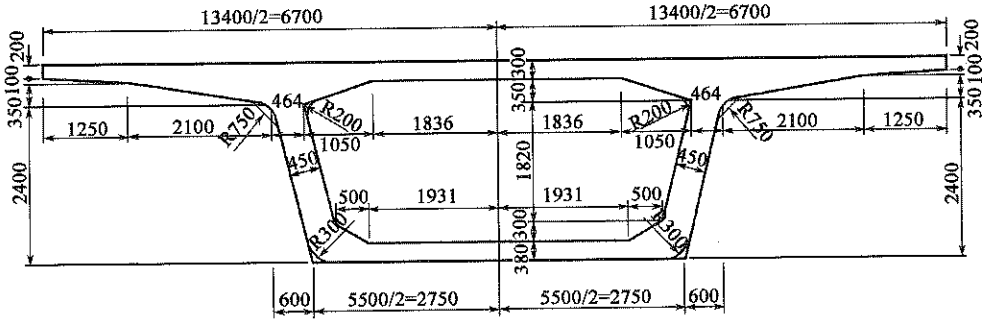
Đường sắt cao tốc ở Trung Quốc chủ yếu áp dụng chiến lược "thay đường bằng cầu", vì vậy tỷ lệ cầu trên các tuyến đường cao tốc rất cao. Trong đó, cầu dầm giản đơn bê tông dự ứng lực có nhịp 32m là phổ biến nhất, một số ít sử dụng cầu dầm giản đơn bê tông có nhịp 24m, và một số ít sử dụng cầu dầm giản đơn bê tông có nhịp 40m, 44m, 56m.

Cầu dầm giản đơn có nhịp 32m và nhỏ hơn chủ yếu được thi công bằng phương pháp tập trung chế tạo dầm tại các trạm chế tạo dầm dọc tuyến và sử dụng máy lắp đặt cầu. Cầu dầm giản đơn có nhịp 32m trở lên thường sử dụng phương pháp đổ bê tông tại chỗ hoặc lắp ráp đoạn.

Tỷ lệ cầu trong tổng chiều dài tuyến đường sắt cao tốc tại Trung Quốc có thể lên đến 82%, trong đó cầu dầm giản đơn bê tông thường dùng có tỷ lệ chiếm trong tổng chiều dài cầu là trên 80%, cao nhất có thể đạt tới 96%.

1.1. Cầu dầm giản đơn bê tông 32m

Các chỉ tiêu thiết kế chung của cầu dầm giản đơn bê tông 32m được trình bày trong Bảng 3-3-1, với kích thước mặt cắt tại vị trí giữa nhịp như thể hiện trong Hình 3-3-1.



Hình 3-3-1: *Mặt cắt giữa nhịp cầu dầm giản đơn 32m tuyến đường sắt chuyên chở hành khách Vũ Quảng (Đơn vị kích thước: mm)*

Bảng 3-3-1: Thống kê các tham số thiết kế của dầm hộp bê tông dự ứng lực nhịp 32m đường sắt cao tốc

Loại tuyến	Tốc độ thiết kế (km/h)	Hoạt tải thiết kế	Số hiệu bản vẽ tham khảo	Loại đường ray	Độ võng thẳng đứng	Góc xoay tại đầu dầm (10^{-3} rad)	Tải trọng thường xuyên giai đoạn 2 (kN/m)	Tần số cơ bản (Hz)	Giới hạn tần số cơ bản (Hz)
Tuyến chuyên chở hành khách	350	ZK Hoạt tải	Tham khảo bản vẽ: 2322A-II	Không có đá ballast	L / 5132	0.8	120.0	5.07	4.76
							140.0	4.95	4.76
							160.0	4.84	4.76
							180.0	4.73	4.76
			Tham khảo bản vẽ: 2321A-II	Có đá ballast	L / 5278	0.76	211.0	4.68	4.76
			Tham khảo bản vẽ: 2322A-VI	Không có đá ballast	L / 5298	0.7	120.0	5.33	4.76
							140.0	5.20	4.76
							160.0	5.07	4.76
							180.0	4.95	4.76
	250	Hoạt tải trung - Hoạt tải	Tham khảo bản vẽ: 2321A-II	Có đá ballast	L / 3913	1.00	206.5	4.40	3.81
			Tham khảo bản vẽ: 2322A-V	Có đá ballast	L / 4071	1.00	206.5	4.52	3.81
Tuyến đường sắt liên tỉnh	250	ZK Hoạt tải	Tham khảo bản vẽ: 2229-I	Có đá ballast	L / 3698	0.87	209.0	3.90	3.81
			Tham khảo bản vẽ: 2229-IV	Không có đá ballast	L / 3795	0.83	80.0	4.80	3.81
							100.0	4.63	3.81
							120.0	4.48	3.81
							140.0	4.35	3.81
							160.0	4.22	3.81
							180.0	4.11	3.81

Nghiên cứu cho thấy, giá trị thiết kế tần số cơ bản theo phương thẳng đứng của dầm hộp 32m cao hơn một chút so với giới hạn tần số cơ bản theo quy định của tiêu chuẩn, và độ dư của góc xoay tại đầu dầm khá cao. Giới hạn tần số cơ bản kiểm soát thiết kế của dầm hộp.

1.2. Dầm giản đơn nhịp 40m

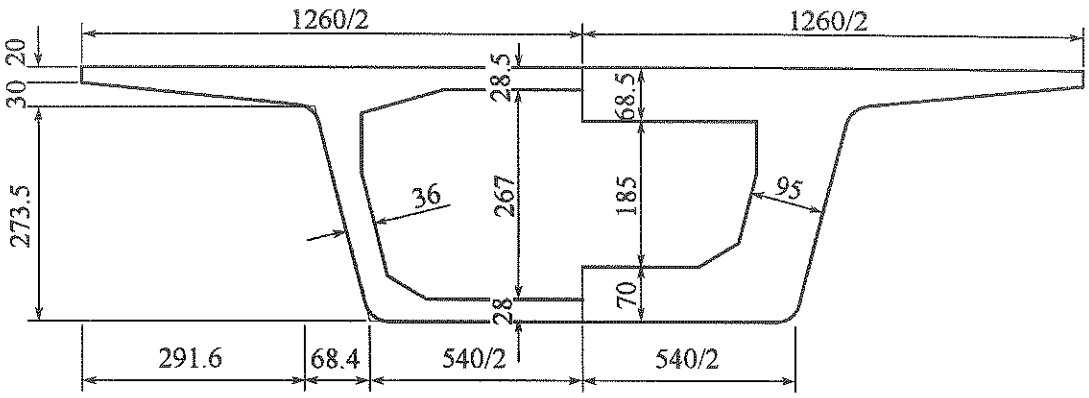
Khi nhịp cầu lớn hơn 32m, cầu thường sử dụng các loại cầu đổ tại chỗ (bao gồm dầm giản đơn, dầm liên tục, kết cấu thép liên tục, v.v.), điều này làm giảm tính kinh tế và tăng độ khó trong kiểm soát chất lượng. Nếu có thể thực hiện mô hình thi công dựa trên chế tạo dầm đúc sẵn và lắp dựng, việc ứng dụng dầm bê tông dự ứng lực giản đơn với nhịp lớn hơn sẽ có thể mở rộng phạm vi sử dụng dầm bê tông giản đơn.

Để đáp ứng yêu cầu xây dựng cầu dầm chuẩn với tốc độ vận hành cao hơn, khả năng vượt nhịp lớn hơn và điều kiện nền cao, dựa trên kinh nghiệm xây dựng đường sắt cao tốc, thử nghiệm tổng hợp và thực tế vận hành, Trung Quốc đã đề xuất phát triển dầm chuẩn đường sắt cao tốc có nhịp lớn hơn dựa trên công nghệ "chế tạo, vận chuyển, lắp đặt". Với việc xem xét hiệu suất vận hành tàu cao tốc, khả năng vận chuyển và lắp đặt, tính kinh tế, việc xác định nhịp dầm là 40m đã được chứng minh là hợp lý.

Công nghệ chế tạo dầm bê tông dự ứng lực giản đơn 40m cho đường sắt cao tốc chưa có tiền lệ trên thế giới, và những đột phá về công nghệ này có ý nghĩa quan trọng đối với sự phát triển của ngành đường sắt và chiến lược "xuất ngoại". Việc phát triển công nghệ xây dựng dầm giản đơn 40m cho đường sắt cao tốc sẽ giảm 1/5 số lượng dầm và cầu, giảm 6% trọng lượng mỗi mét cầu so với dầm 32m, từ đó nâng cao tính linh hoạt trong bố trí cầu và hiệu quả thi công, đồng thời tiết kiệm đất đai. Ngoài ra, dầm giản đơn 40m không chỉ đáp ứng yêu cầu vận hành với tốc độ 250km/h và 350km/h, mà còn có khả năng thích ứng tốt trong điều kiện tốc độ cao hơn, như 400km/h.

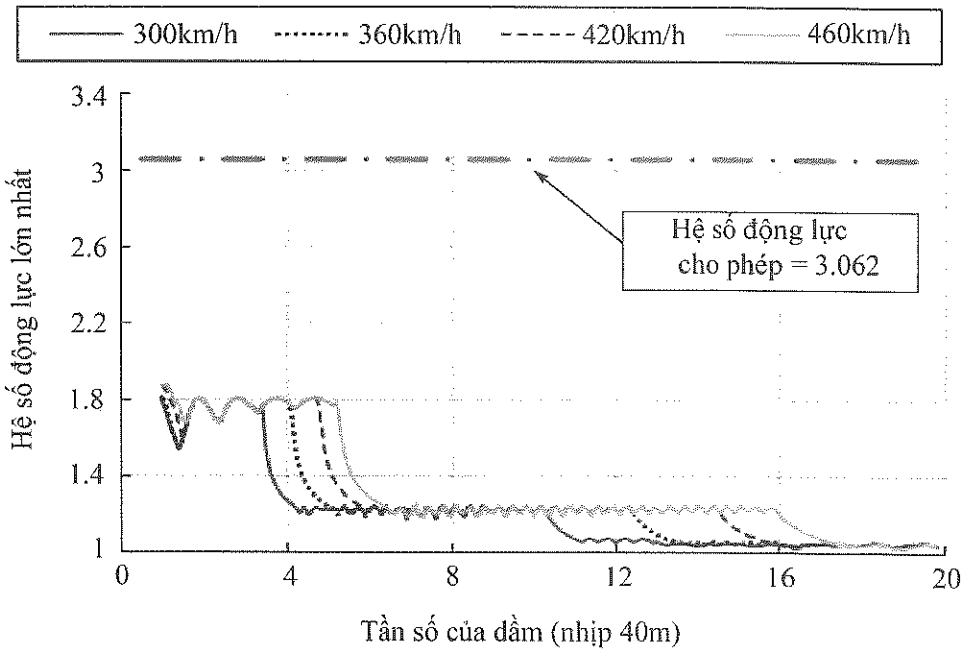
Ngày 18 tháng 5 năm 2018, Trung Quốc đã thành công trong việc chế tạo dầm hộp bê tông giản đơn 40m đầu tiên cho ứng dụng kỹ thuật trong dự án đường sắt Trịnh Kinh. tại công trường chế tạo dầm của Tập đoàn Đường sắt Trung Quốc II, đánh dấu việc chuyển giao công nghệ chế tạo dầm bê tông dự ứng lực 40m từ giai đoạn nghiên cứu sang giai đoạn ứng dụng kỹ thuật.

Dầm bê tông dự ứng lực đôi 40m (dùng thử nghiệm dầm đầy đủ) cho đường sắt cao tốc không có đá ballast, với phương pháp căng kéo, có nhịp tính toán là 39.3m, chiều cao trung tâm dầm là 3.235m, và chiều rộng mặt cầu là 12.6m. Mặt cắt của dầm giữa nhịp và tại điểm gối được thể hiện trong Hình 3-3-2.



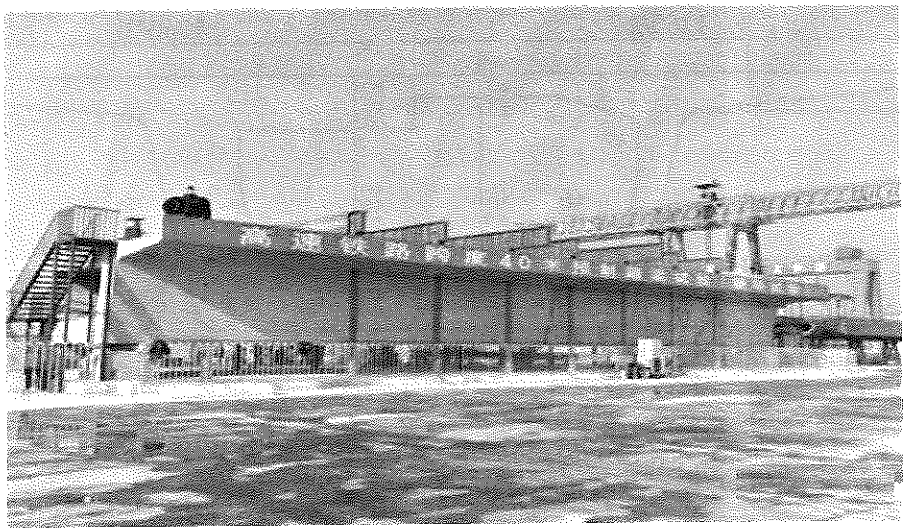
Hình 3-3-2: *Sơ đồ mặt cắt giữa nhịp và tại điểm gối*
(Đơn vị kích thước: cm)

So với dầm giản đơn có nhịp 32m, dầm giản đơn 40m có chiều dài gần bằng 1,5 lần chiều dài tàu, giúp tránh được điểm cộng hưởng bậc 1. Đáp ứng động lực giữa tàu và cầu nhỏ hơn, và hệ số động lực lớn nhất thấp hơn nhiều so với hệ số động lực cho phép (như thể hiện trong Hình 3-3-3).



Hình 3-3-3: *Hệ số động lực của dầm giản đơn 40m đường sắt cao tốc*

Vào ngày 7 tháng 12 năm 2016, Bộ Quản lý Khoa học và Công nghệ của Tổng công ty Đường sắt Trung Quốc đã tổ chức thử nghiệm khả năng phá hủy độ bền của cấu trúc dầm giản đơn 40m đường sắt cao tốc dưới tải trọng gấp 2 lần tại Phòng Sơn, Bắc Kinh (như thể hiện trong Hình 3-3-4).



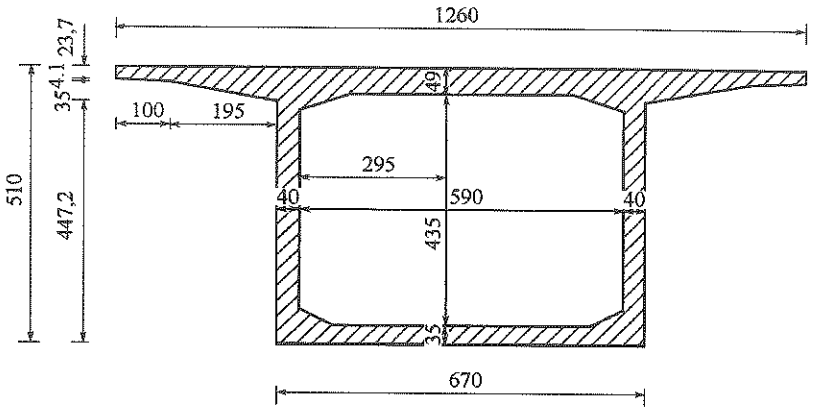
Hình 3-3-4: *Thử nghiệm tải tĩnh dầm giản đơn 40m đường sắt cao tốc*

Đây là một bước tiến quan trọng trong quá trình chuyển đổi từ thiết kế sang ứng dụng kỹ thuật trong xây dựng cầu chuẩn đường sắt cao tốc, và là phương pháp kiểm tra toàn diện các tính năng chịu lực và trạng thái thiết kế của cấu trúc. Thử nghiệm đã thành công rực rỡ, khoa học đã xác nhận mức độ thiết kế cấu trúc và kỹ thuật chế tạo dầm hộp 40m, đánh dấu bước đột phá trong công nghệ xây dựng dầm giản đơn đường sắt cao tốc có nhịp lớn tại Trung Quốc.

Dựa trên thiết kế cấu trúc dầm giản đơn 40m, khả năng của thiết bị vận chuyển và lắp đặt cần đạt 950 tấn. Vì vậy, các giải pháp thiết kế thiết bị như máy nâng dầm kiểu bánh lốp, máy nâng dầm kiểu bánh xe-đường ray, xe vận chuyển dầm và máy lắp cầu đã được đưa ra.

1.3. Dầm giản đơn nhịp 56 m

Tuyến đường sắt cao tốc Ngân Xuyên - Tây An, đoạn từ Ngân Vũ đến cầu Hồng Hà (tuyến Ngân Vũ) sử dụng dầm giản đơn 56m cho cầu dẫn (như thể hiện trong Hình 3-3-5). Dầm có tổng chiều dài 56m, chiều dài tính toán là 53.8m, mỗi dầm hộp nặng 2140 tấn. Dầm được thiết kế dưới dạng dầm hộp bê tông dự ứng lực đơn ngăn (single-box single-chamber), với chiều cao đồng nhất, bề rộng đỉnh 12,2 m, bề rộng đáy 6,7 m, khoảng cách giữa các trụ dầm tại vị trí gối là 5,2 m, và chiều cao dầm là 5,1 m. Tại mặt cắt giữa nhịp, độ dày của tấm đỉnh và tấm đáy đều là 35 cm, trong khi tấm bụng có độ dày 52 cm. Ở các vị trí gần điểm gối, tấm đỉnh, tấm đáy và tấm bụng được gia cố với độ dày tăng thêm theo yêu cầu bố trí và tính toán ứng suất. Dầm được thiết kế với độ dốc thoát nước 2,0% trên mặt đỉnh.Ở hai đầu dầm, các vách ngăn ngang có lỗ đi qua được thiết kế, với độ dày của các vách ngăn này là 150cm. Trên tấm bụng của dầm, có hai hàng lỗ thông gió.

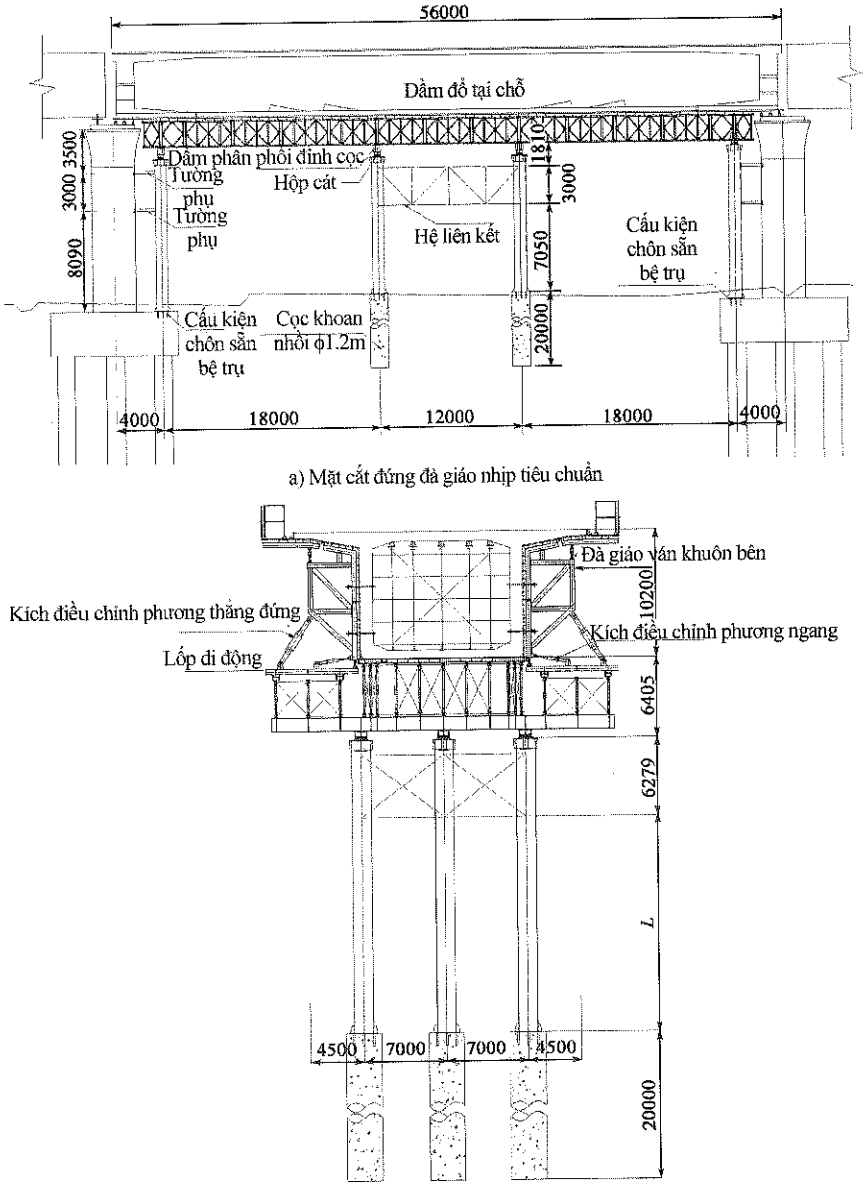


Hình 3-3-5: *Sơ đồ mặt cắt giữa nhịp dầm giản đơn 56m đường sắt cao tốc*
(Đơn vị kích thước: cm)

Ban đầu, cầu được thiết kế thi công bằng phương pháp lắp ghép dầm đúc sẵn đoạn, mỗi nhịp dầm được chia thành các đoạn lẻ, không có mối nối giữa các đoạn ở giữa nhịp, với tổng cộng 13 đoạn và 12 mối nối. Các đoạn đúc sẵn được chia thành hai loại: 3.25m cho đoạn đầu và cuối, và 4.5m cho các đoạn giữa nhịp. Tải trọng nâng lớn nhất là ở các đoạn đầu và cuối, trọng lượng mỗi đoạn là 212 tấn. Phương pháp thi công sử dụng công nghệ nối ngắn và lắp ghép đoạn. Hệ thống thi công bao gồm 2 máy cầu lắp đặt 2200 tấn, 2 xe vận chuyển dầm 250 tấn, một xe dùng để vận chuyển dầm từ bãi chế tạo tới trạm nâng, và một xe khác để vận chuyển dầm từ cầu trong phạm vi đoạn nhỏ tới đoạn lớn. Mối nối các đoạn dầm sử dụng mối nối keo, keo được sử dụng là loại epoxy hai thành phần không dung môi, độ dày và quy trình thực hiện sẽ theo các quy định trong thử nghiệm. Mức áp lực dự phòng tạm thời tại các mối nối không được thấp hơn 0.3MPa, và không được vượt quá 0.6MPa. Áp lực dự phòng tạm thời sẽ được tháo gỡ sau khi hoàn thành việc kéo căng ứng suất dọc lần đầu tiên.

Do tuyến Ngân Vũ chỉ có 13 dầm giản đơn 56m, việc trang bị máy lắp cầu và bãi chế tạo dầm không mang lại hiệu quả về kinh tế và tiến độ công trình tốt. Sau khi tối ưu và lựa chọn, phương án thi công bằng giàn đúc tại chỗ đã được áp dụng. Giàn đúc tại chỗ sử dụng hệ thống dầm đỡ trụ (dầm - trụ) (như thể hiện trong Hình 3-3-6), cấu trúc dưới là cọc khoan nhồi và cọc thép. Phần trên sử dụng kết cấu dầm thép tổ hợp có độ cứng cao và khả năng vượt nhịp lớn, khuôn mẫu tự động di chuyển theo chiều dọc, và việc di chuyển giàn đúc được thực hiện bằng phương pháp tháo dỡ, vận chuyển và lắp đặt toàn bộ theo nhóm.

Ba giàn đúc, một bộ khuôn ngoài và một bộ khuôn trong đã được đưa vào sử dụng trong công trình này.



Hình 3-3-6: *Sơ đồ bố trí giàn đúc tại chỗ dầm giản đơn 56m đường sắt cao tốc (Đơn vị kích thước: mm)*

Mặt khuôn dầm hộp sử dụng khuôn thép toàn bộ, kết hợp với khuôn trong thủy lực có dầm dọc di chuyển. Mỗi chu kỳ thi công bao gồm lắp đặt bốn bộ khuôn đáy dầm hộp, một bộ khuôn ngoài, một bộ khuôn trong thủy lực co giãn và một bộ khuôn để buộc thép. Quy trình thi công sẽ theo các bước: khuôn đáy → khuôn bên → khuôn trong → khuôn đầu. Sau khi hoàn tất việc thi công giàn đỡ, khuôn đáy và khuôn ngoài cho các lỗ từ lỗ đầu tiên đến lỗ thứ tư sẽ được lắp đặt xong, sau đó thực

hiện ép trước cho giàn đỡ lỗ đầu tiên, đồng thời lắp ráp khuôn ngoài cho lỗ thứ hai trên giàn đỡ lỗ thứ hai. Khi việc ép trước cho giàn đỡ lỗ đầu tiên hoàn thành, sẽ tiến hành điều chỉnh độ cao của khuôn đáy cho lỗ đầu tiên theo số liệu ép trước. Sau đó, khuôn ngoài sẽ di chuyển đến vị trí của lỗ đầu tiên, trong khi giàn đỡ lỗ thứ hai thực hiện ép trước. Sau khi ép trước hoàn thành, sẽ điều chỉnh độ cao khuôn đáy và tiếp tục lắp ráp khuôn trong cho lỗ thứ hai.

Khi công tác buộc thép cho bụng dầm hộp lỗ đầu tiên và việc định vị ống sóng hoàn tất, khuôn trong sẽ trượt vào vị trí, đồng thời lắp ráp khuôn thép cho lỗ thứ hai. Sau khi hoàn thành lắp ráp khuôn thép, sẽ tiến hành buộc thép cho bụng dầm hộp và định vị ống sóng của lỗ thứ hai, đồng thời giàn đỡ lỗ thứ ba sẽ bắt đầu ép trước.

Khi đổ bê tông cho dầm hộp lỗ đầu tiên xong và đạt đủ cường độ yêu cầu, khuôn thép sẽ được trượt tới giàn đỡ lỗ thứ ba. Khuôn ngoài sẽ được hạ xuống và di chuyển ra ngoài, khuôn ngoài sẽ trượt vào vị trí của lỗ thứ hai, khuôn trong sẽ thu lại và trượt vào vị trí của lỗ thứ hai. Quá trình này sẽ tiếp tục cho đến khi tất cả các dầm hộp của 13 lỗ được thi công hoàn tất.

2. Dầm giàn thép giản đơn

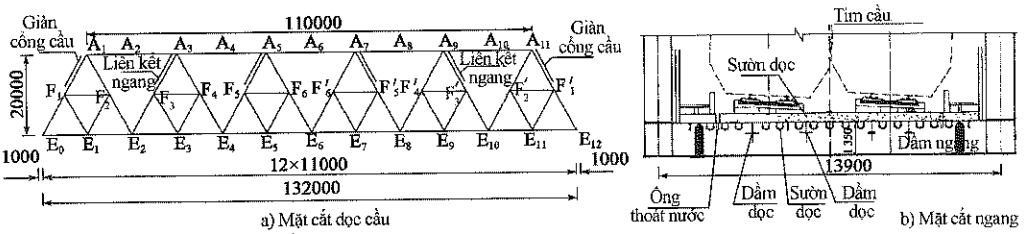
Cầu dầm thép giản đơn đường sắt cao tốc thường sử dụng các nhịp như 48m, 64m, 84m, 96m. Hiện nay, dầm thép giản đơn có nhịp lớn nhất trong hệ thống đường sắt cao tốc là dầm thép 132m, được sử dụng tại cầu vượt tuyến đường sắt khách Tây An - Bảo Kê và cao tốc sân bay Tây An. Cầu được xây dựng tại vị trí nút giao thông bốn tầng phức tạp, trong đó: tầng dưới là tuyến cao tốc Phúc Châu - Ngân Xuyên, gồm 6 làn xe hai chiều, với bề rộng mặt đường 38 m và chiều cao đắp đường khoảng 4 m, tạo góc giao 74° với cầu. Ở tầng giữa là cầu sông Vị tại thành phố Tây An Dương, thuộc tuyến đường sắt Trịnh Châu - Tây An, với góc giao 14° so với cầu mới. Tuyến đường sắt Trịnh Châu - Tây An sử dụng kết cấu dầm bê tông dự ứng lực liên tục dài (54 + 90 + 54) m để vượt qua cao tốc Phúc Châu - Ngân Xuyên, với khoảng cách từ mặt cầu đến mặt đất là 17 m.

Do vị trí cầu phải vượt qua tuyến đường sắt cao tốc Trịnh Châu - Tây An đang hoạt động và yêu cầu nhịp vượt lớn, đồng thời không gian thi công bị hạn chế trong điều kiện nút giao thông bốn tầng, thiết kế cầu cần xem xét kỹ lưỡng các yếu tố này. Sau khi phân tích và so sánh các phương án, phương án thi công dầm thép giản đơn dài 132 m bằng phương pháp đẩy ngang đã được lựa chọn.

2.1. Dầm chính và hệ thống mặt cầu

Cầu sử dụng dầm thép 132m không có trục đứng, với các nút nối tổng thể và dầm thép kiểu ba góc phân tách dưới. Chiều cao dầm là 20m, mỗi đoạn dầm dài 11m, tổng

cộng có 12 đoạn. Khoảng cách giữa hai dầm chính là 13,9m (như thể hiện trong Hình 3-3-7). Các thanh trên và dưới của dầm chính được làm từ thép hàn, với chiều cao của tấm đứng là 1300 mm, chiều rộng trong là 1100 mm, độ dày của tấm dao động từ 16 mm đến 40 mm. Các thanh bụng của dầm được làm bằng tiết diện hộp và hình chữ H, với tiết diện hộp có chiều cao 1100 mm, chiều rộng ngoài 1000 mm, độ dày tấm là từ 16 mm đến 46 mm; tiết diện hình chữ H có chiều cao 1000 mm, chiều rộng ngoài 800 mm, độ dày tấm từ 16 mm đến 24 mm. Các nút nối của dầm chính sử dụng kiểu nối tổng thể, các thanh trên và dưới được nối ngoài nút, các thanh bụng được lắp vào giữa các tấm nút, và các thanh ngang được nối toàn bộ tiết diện. Các kết nối giữa thanh ngang và thanh bụng của dầm chính sử dụng bu lông M27 có cường độ cao (với lỗ ϕ29 mm).



Hình 3-3-7: *Mặt cắt ngang dầm thép giản đơn 132m (Đơn vị kích thước: cm)*

Hệ thống mặt cầu sử dụng tấm thép mặt cầu dạng vật liệu không ballast và chéo vuông góc với đường ray, dày 16 mm, với 4 dầm hình chữ T dọc, chiều cao mỗi dầm là 600 mm, chiều rộng bản dưới là 240 mm, có 19 dầm hình chữ T dọc, chiều cao 280 mm, chiều rộng bản dưới là 180 mm. Cầu thiết kế theo hướng cầu, mỗi 2,725m có 1 dầm ngang, được chia thành dầm ngang chính và phụ. Các dầm ngang cuối cầu sử dụng dầm hộp, còn các dầm ngang còn lại có tiết diện hình đảo T, chiều cao dầm ngang đều là 1350 mm, chiều rộng bản của dầm ngang chính là 800 mm, và của dầm ngang phụ là 600 mm. Trên tấm thép mặt cầu có lớp bê tông cốt thép đúc sẵn dày 30cm, được kết nối với các dầm ngang và nút nối tổng thể thông qua các bộ phận chôn sẵn, và các bu lông kết nối, sử dụng bu lông M24 có cường độ cao (với lỗ ϕ26 mm).

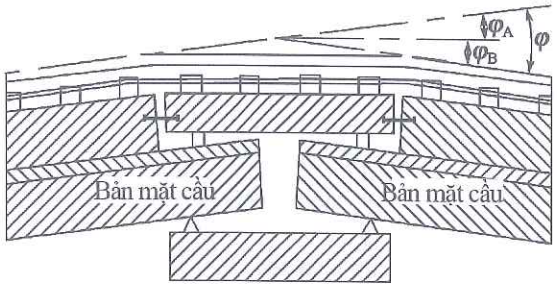
2.2. Hệ thống liên kết

Trong mặt phẳng của thanh trên, hệ thống liên kết được thiết kế theo dạng chéo ngang. Để chống lại ảnh hưởng của tải trọng lệch từ khung cầu, các thanh chéo ngang ở các điểm đầu sử dụng tiết diện hộp với độ cứng xoắn cao, có chiều cao 450 mm và chiều rộng 500 mm. Các thanh chéo ngang còn lại và các thanh chéo chéo sử dụng tiết diện hình chữ H, với chiều cao 450 mm và chiều rộng là 420 mm đối với thanh chéo ngang và 400 mm đối với thanh chéo chéo. Tất cả các thanh được kết nối bằng phương pháp chèn. Các bu lông dùng để kết nối các thanh trong hệ thống liên kết là bu lông M24 có cường độ cao (lỗ ϕ26 mm).

2.3. Cầu khung, liên kết ngang và dầm ngang đầu cầu

Tại các điểm tựa của dầm thép, cầu khung chéo được lắp đặt, mỗi hai đoạn dầm có một thanh chéo trung gian, với cầu khung và liên kết ngang đều sử dụng cấu trúc dầm thép. Các bu lông kết nối trên cầu khung và liên kết ngang sử dụng bu lông M24 có cường độ cao (với lỗ ϕ26 mm).

Dưới điều kiện không có ballast, ngoài việc đáp ứng yêu cầu về góc xoay đầu dầm theo quy định, cấu trúc trên cầu còn phải tính đến ảnh hưởng của góc xoay dọc theo chiều dọc đầu dầm, gây ra hiện tượng trồi lên hoặc bị ép xuống của đường ray tại chỗ tiếp giáp các dầm. Qua tính toán, dưới tác động của tải trọng ZK, dịch chuyển dọc theo chiều dọc của dầm tại giữa nhịp cầu là 45.5cm, tỉ lệ độ cong là 1/2900; góc xoay đầu dầm là 1.8‰. Do góc xoay đầu dầm của cầu này không đáp ứng yêu cầu nhỏ hơn 1‰, và việc tăng kích thước của các dầm và liên kết dầm để giảm góc xoay là không hợp lý về mặt kinh tế, nên để phù hợp với yêu cầu của đường ray không có ballast, cần phải thực hiện các biện pháp như lắp đặt dầm chuyển tiếp giữa cầu và các dầm lân cận (như trong Hình 3-3-8). Dầm chuyển tiếp sẽ có góc xoay đầu dầm là 0.7‰, đáp ứng yêu cầu của tiêu chuẩn.



Hình 3-3-8: *Sơ đồ lắp đặt kết cấu quá độ*

2.4. Kết cấu phần dưới

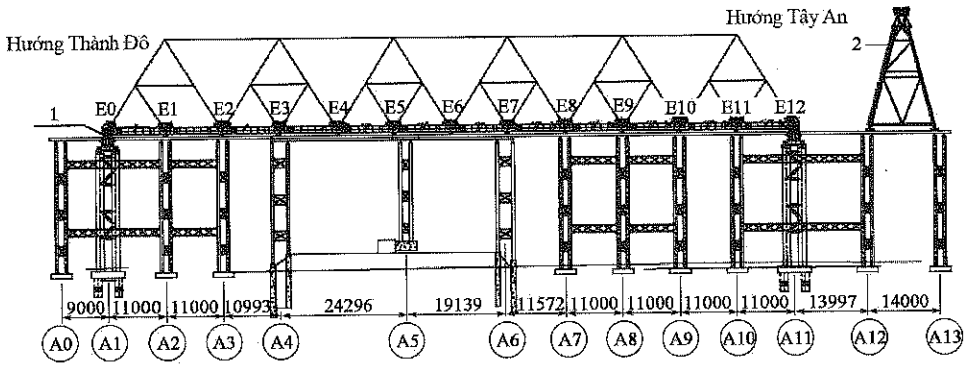
Các trụ cầu đều sử dụng trụ hình chữ nhật đặc, trong đó trụ cố định có chiều dài dọc theo chiều trụ là 5m, phần đỉnh trụ rộng 16.4m, thân trụ có chiều rộng 11.2m, độ dốc dọc theo chiều dài trụ là 42:1, còn độ dốc ngang là dốc thẳng.

2.5. Phương án thi công

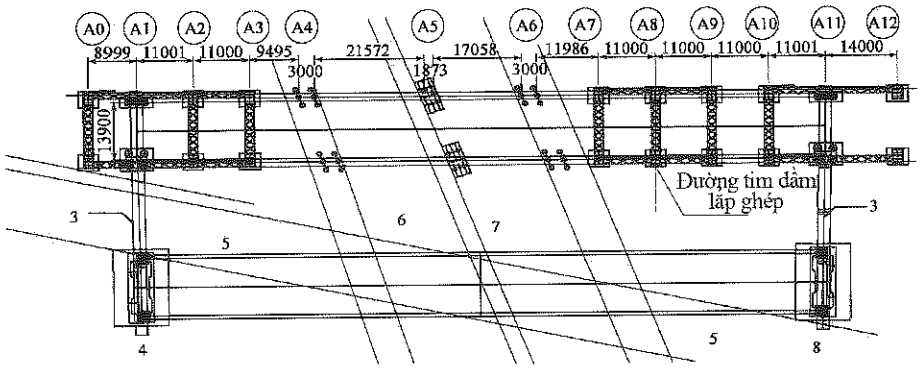
Bước đầu tiên, tiến hành thi công các trụ thép tạm thời song song với tuyến đường sắt Trịnh Châu - Tây An hiện có. Sau đó, lắp ráp dầm thép trên các trụ thép tạm, tiếp theo là thi công trụ dầm thép của cầu, và sau đó thực hiện việc đẩy ngang dầm thép qua một đường trượt thép. Cuối cùng, dầm thép sẽ được đẩy vào đúng vị trí, sau đó lắp đặt các khớp nối và thi công lớp mặt cầu.

Trên khu vực phía phải cầu, phía trên cao tốc, sẽ lắp đặt một nền tảng giàn thép. Nền tảng này dài 187m và rộng 22,5m, và sẽ bắc qua cao tốc Phúc Châu - Ngân Xuyên, tuyến đường đi đến sân bay Tây An. Sau khi dầm thép hoàn thành việc lắp

ráp, nó sẽ được di chuyển ngang 38m về phía nam đến khu vực cầu, tiếp theo là hạ dầm và hoàn thiện việc lắp đặt. Quy trình thi công di chuyển ngang dầm thép bao gồm các bước: lắp đặt nền tảng giàn thép → lắp đặt dầm trượt → lắp ráp các bộ phận → thi công di chuyển ngang → hạ dầm. Việc bố trí thi công di chuyển ngang dầm cầu được thể hiện trong Hình 3-3-9 và Hình 3-3-10.



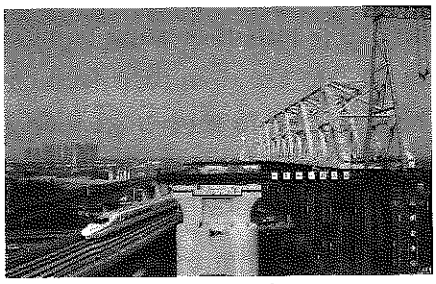
a) Mặt cắt dọc



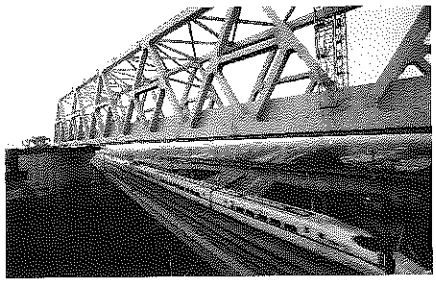
b) Mặt bằng

Hình 3-3-9: *Bố trí lắp ráp và di chuyển ngang (Đơn vị kích thước: mm)*

1- Hệ thống trượt; 2- Cẩu cổng; 3- Dầm trượt; 4- Trụ số 237; 5- Tuyến đường sắt khách Tây An – Bảo Kê; 6- Cao tốc sân bay; 7- Cao tốc hướng lên; 8- Trụ số 236.



a) Trước khi dịch chuyển ngang



b) Sau khi dịch chuyển ngang

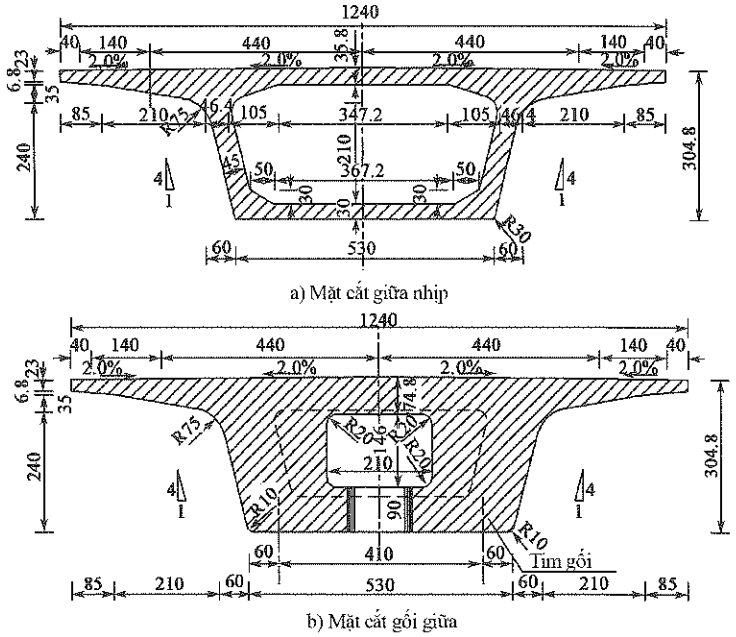
Hình 3-3-10: *Ảnh thi công di chuyển ngang*

II. CẦU DẦM LIÊN TỤC ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Cầu dầm liên tục nổi bật với các ưu điểm như độ bền tổng thể tốt, độ cứng kết cấu lớn, biến dạng nhỏ và khả năng chịu lực động đất tốt. Một trong những ưu điểm quan trọng là dầm chính có độ uốn nhẹ, ít có khe co giãn trên mặt cầu và mang lại sự thoải mái cho người sử dụng. Dầm liên tục (cấu trúc cứng) là loại cầu phổ biến trong các cầu có nhịp trung bình của hệ thống đường sắt cao tốc, đồng thời là một trong những kiểu kết cấu cầu thông dụng trong các cầu đường sắt cao tốc. Các loại cầu dầm liên tục của đường sắt cao tốc chủ yếu bao gồm dầm bê tông dự ứng lực liên tục và dầm thép kết cấu liên tục.

1. Dầm bê tông dự ứng lực liên tục

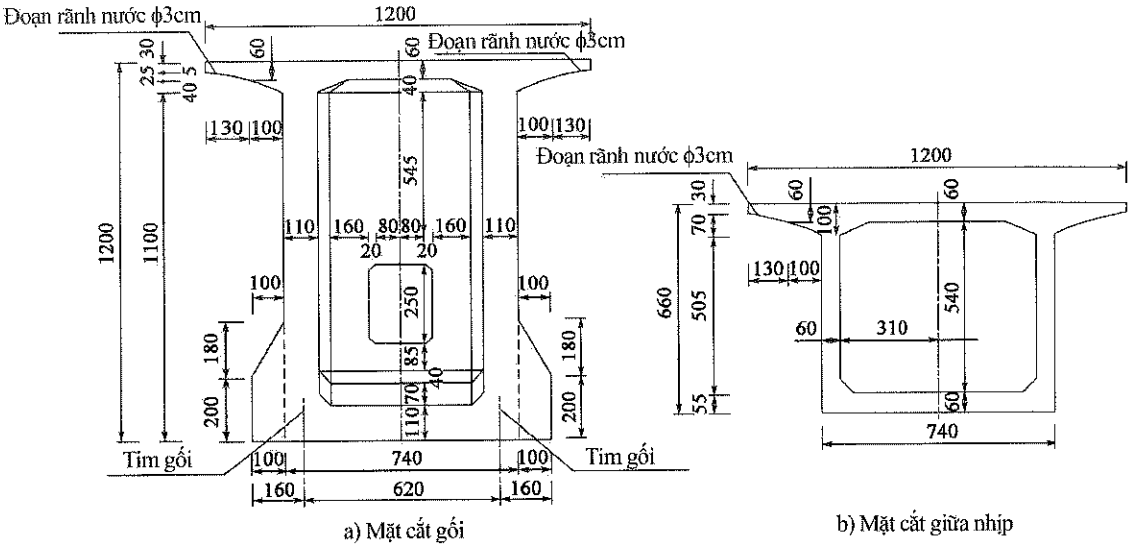
Hiện nay, kết cấu dầm bê tông dự ứng lực liên tục trong đường sắt cao tốc thường được chọn lựa dựa trên điều kiện địa hình và yêu cầu thi công của tuyến đường. Dầm liên tục có nhịp nhỏ thường được sử dụng ở các khu vực có điều kiện địa chất tốt và dễ kiểm soát sự lún nền, hoặc ở những điểm thi công cần yêu cầu đổ bê tông tại chỗ giữa cầu và hầm. Các nhịp phổ biến thường gặp là 2 × 24m, 3 × 24m, 2 × 32m, 3 × 32m và thường sử dụng dầm hộp có chiều cao đồng đều, thi công theo phương pháp giàn giá đầy đủ. Hình 3-3-11 là mặt cắt của dầm liên tục 6 × 32m của tuyến đường sắt Ngân Xuyên – Huệ Nông.



Hình 3-3-11: Mặt cắt dầm liên tục 32m của tuyến đường sắt Ngân Xuyên - Huệ Nông (Đơn vị kích thước: cm)

Dầm liên tục có nhịp trung bình thường được dùng để vượt qua các tuyến đường hiện có và các chướng ngại vật, hoặc ở các khu vực có tiến độ thi công gấp. Các nhịp phổ biến cho loại cầu này thường có các kích thước 40m, 48m, 56m, 64m, 72m, và 80m. Thường sử dụng tiết diện thay đổi chiều cao, có hình thức đẹp và phù hợp với đặc tính chịu lực của dầm liên tục. Phương pháp thi công có thể chọn lựa nhiều hình thức như đổ bê tông tại chỗ sử dụng giàn giá, đổ bê tông, hoặc lắp ráp các đoạn dầm đã được đúc sẵn, tùy vào điều kiện thực tế của công trình. Tại tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, tổng cộng có 291 nhịp dầm bê tông dự ứng lực liên tục có chiều dài từ 40m trở lên, tổng chiều dài là 42.3 km, chiếm hơn 90% tổng chiều dài cầu của tuyến đường sắt này. Thông số thiết kế được thể hiện trong Bảng 3-3-2.

Tuyến đường sắt Tây An - Thành Đô đã sử dụng cầu sông Gia Lăng với dầm bê tông dự ứng lực liên tục có kích thước (76 + 144 + 76) m. Dầm cầu có thiết kế hộp đơn, một phòng, với tiết diện thay đổi theo chiều cao. Chiều dài toàn bộ dầm là 297.8m, trong đó các đoạn dầm ở giữa nhịp chính dài 10m và đoạn dầm ở hai đầu nhịp dài 10m có chiều cao là 6.6m. Gần điểm hỗ trợ ở giữa nhịp, chiều cao của dầm là 12m tại điểm cách 9m. Các đoạn dầm còn lại có chiều cao thay đổi theo đường parabol bậc hai $y = 6.6 + x^2/7233.8$. Mặt cắt của các điểm hỗ trợ chính và nhịp cầu được thể hiện trong Hình 3-3-12, đây là nhịp dầm bê tông dự ứng lực liên tục có chiều dài lớn nhất trong các cầu đường sắt cao tốc hiện nay.



Hình 3-3-12: *Mặt cắt điểm tựa và giữa nhịp của dầm liên tục*
(Đơn vị kích thước: cm)

Bảng 3-3-2: Các thông số thiết kế chính của dầm liên tục có nhịp trung bình trong tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải

Sơ đồ nhịp (m)	Hình thức mặt cầu	Phương pháp thi công	Chiều cao dầm giữa nhịp (m)/ Chiều cao dầm tại gốc (m)	Bề rộng bản đỉnh (m)	Bề rộng bản đáy (m)	Bản đỉnh (cm)	Bản bụng (cm)	Bản đáy (cm)	Độ cứng phương thẳng đứng	Thể tích bê tông (m^3)	Tạo cấp dự ứng lực (10^4N)	Cột thép dự ứng lực (10^4N)
24.65+40+24.65	Không đá ballast	Đà giáo đổ tại chỗ	3.05/3.05	12	5.5/6.7	34	50~80	30~60	1/8000	960.6	45.3	183.9
32.5+40+32.5	Không đá ballast	Đà giáo đổ tại chỗ	3.05/3.05	12	5.5/6.7	34	50~80	30~60	1/7168	1117.3	54.6	220.9
33+40+33	Không đá ballast	Đà giáo đổ tại chỗ	3.05/3.05	12	5.5/6.7	34	50~80	30~60	1/5882	1127.3	56.4	216.6
33+40+33	Có đá ballast	Đà giáo đổ tại chỗ	3.05/3.05	12.6	5.5/6.7	39	50~80	30~60	1/7273	1146.3	56.0	230.4
32.5+2×40+32.5	Có đá ballast	Đà giáo đổ tại chỗ	3.05/3.05	12.6	5.5/6.7	39	50~80	30~60	1/6780	1570.0	90.6	310
32.12+56+32.12	Không đá ballast	Đúc hẫng	3.05/4.35	12	6.7/7.7	40	48~80	48~80	1/5333	1677.5	81.4	346.0
40.75+56+40.75	Không đá ballast	Đà giáo đổ tại chỗ	3.05/4.35	12	6.7/7.7	40	48~80	48~80	1/4956	1869.2	89.62	357.8
40.75+2×56+40.75	Không đá ballast	Đúc hẫng	3.05/4.35	12	6.7/7.7	40	48~80	48~80	1/088	2661.7	141.5	548.0
40.75+56+40.75	Có đá ballast	Đúc hẫng	3.05/4.35	12.6	6.7/7.7	45	48~80	48~80	1/4667	1903.8	98.3	383.7
40.75+2×56+40.75	Có đá ballast	Đúc hẫng	3.05/4.35	12.6	6.7/7.7	45	48~80	48~80	1/4179	2703.5	152.4	547.4
40.75+64+40.75	Có đá ballast	Đúc hẫng	3.05/6.05	12.6	6.7/7.7	43.9	48~80	48~80	1/3048	2175.4	112.2	435.5
40.75+2×64+40.75	Có đá ballast	Đúc hẫng	3.05/6.05	12.6	6.7/7.7	43.9	48~80	48~80	1/2319	3192.4	161.1	628.6
40.75+2×64+40.75	Không đá ballast	Đúc hẫng	3.05/6.05	12	6.7/7.7	40	48~80	48~80	1/2286	3152.6	167.0	649.4
40.75+72+40.75	Có đá ballast	Đổ tại chỗ phân đoạn	3.60/6.20	12.6	6.7/8.1	43.9	48~60~90	40~100	1/5088	2526.4	125.1	447.3
40.75+72+40.75	Có đá ballast	Đúc hẫng	3.60/6.20	12.6	6.7/8.1	43.9	48~60~90	40~100	1/5088	2512.3	107.6	488.75
48.75+80+48.75	Có đá ballast	Đúc hẫng	3.85/6.65	12.6	6.7/8.1	45	45~65~85	42~77.2	1/4067	2851.3	135.9	550.0
48.75+2×80+48.75	Có đá ballast	Đúc hẫng	3.85/6.65	12.6	6.7/8.1	45	45~65~85	42~77.2	1/3460	4153.0	245.5	809.3
48.75+2×80+48.75	Không đá ballast	Đúc hẫng	3.85/6.65	12	6.7/8.1	40	45~65~85	42~77.2	1/3404	4208.2	219.0	798.6
48.75+3×80+48.75	Không đá ballast	Đúc hẫng	3.85/6.65	12	6.7/8.1	40	45~65~85	42~77.2	1/2898	5546.3	294.8	1060.4

Phương pháp thi công cầu liên tục bê tông cốt thép tiền căng rất phong phú, bao gồm các phương pháp như đúc tại chỗ bằng giàn giáo, đúc dầm treo, lắp ráp dầm treo, đẩy cầu, sử dụng khuôn di động, thi công quay và thi công bằng cần trục nổi lớn. Trong số đó, phương pháp đúc tại chỗ với giàn giáo và đúc dầm treo đã được sử dụng từ sớm, có phạm vi ứng dụng rộng rãi và công nghệ thi công đã được phát triển, là các phương pháp thi công phổ biến cho cầu liên tục có nhịp trung bình và nhỏ trên các tuyến đường sắt cao tốc. Hình 3-3-13 là hình ảnh cầu sông Gia Lăng trên tuyến Tây Thành.



Hình 3-3-13: *Hình ảnh cầu sông Gia Lăng trên tuyến Tây Thành.*

1.1. Phương pháp đổ bê tông trên giá đỡ

Phương pháp đổ bê tông trên giá đỡ là phương pháp sử dụng giá đỡ xây dựng tại chỗ, cuốn thép theo từng đoạn, đổ bê tông theo từng đoạn và lớp. Quy trình thi công như sau:

- Xử lý nền móng → Lắp đặt giá đỡ → Tiền nén → Lắp đặt khuôn đáy và điểm tựa → Cuốn thép (đáy, bụng và dầm ngang) → Lắp đặt khuôn bên → Đổ bê tông đáy, bụng và dầm ngang → Lắp đặt khuôn trong → Cuốn thép tấm trên cùng → Đổ bê tông tấm trên cùng → Tháo khuôn và giá đỡ.

Phương pháp này không cần thiết bị nâng cỡ lớn và khu vực sản xuất đúc sẵn đặc biệt, bao gồm cả đổ bê tông toàn bộ và đổ bê tông theo từng đoạn. Sử dụng đổ bê tông toàn bộ, cấu trúc chịu lực rõ ràng, việc bố trí và thi công ứng suất trước tương đối đơn giản, nhưng cần sử dụng nhiều giá đỡ và chi phí đầu tư khá lớn. Còn khi sử dụng phương pháp đổ bê tông theo đoạn, có thể tái sử dụng giá đỡ, nhưng do cấu trúc dầm chia đoạn, việc bố trí và kéo căng ứng suất phức tạp, cần thiết kế và chỉ dẫn đặc biệt.

1.2. Phương pháp đổ bê tông cánh tay treo

Phương pháp đổ bê tông cánh tay treo sử dụng giỏ treo di động làm thiết bị thi công chính. Thi công bắt đầu từ đoạn trụ đã hoàn thành, dùng giỏ treo để dựng khuôn, đổ bê tông, và kéo căng các bó thép ứng suất. Quá trình thi công được thực hiện từng đoạn đối xứng từ trung tâm ra hai bên, tạo thành cầu hoàn chỉnh.

Ưu điểm của phương pháp này là không cần dựng giá đỡ hay thiết bị nâng cỡ lớn, và trạng thái chịu lực trong quá trình thi công khá tương đồng với khi cầu hoàn thành. Các bó thép ứng suất trong thi công có thể vừa là tạm thời vừa là vĩnh viễn. Phương pháp này không bị ảnh hưởng bởi địa hình, không cản trở không gian dưới cầu, và không làm gián đoạn giao thông đường thủy hay các tuyến đường sắt hiện có.

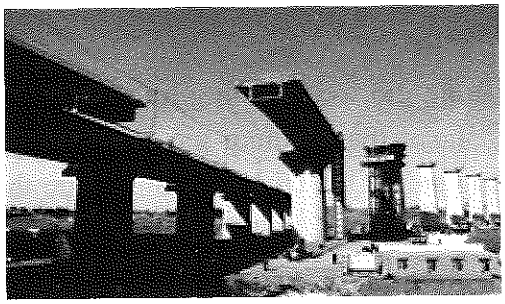
Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là việc chuyển đổi hệ thống nhiều lần trong quá trình thi công, cộng với việc cầu được thi công theo từng đoạn khiến cho thời gian xây dựng lâu hơn. Hơn nữa, trong quá trình thi công, cần giám sát và kiểm soát sự biến dạng của dầm một cách nghiêm ngặt, đòi hỏi trình độ kỹ thuật cao. Trạng thái thi công cánh tay treo của cầu sông Gia Lăng trên tuyến cao tốc Tây An - Thành Đô được minh họa trong Hình 3-3-14.



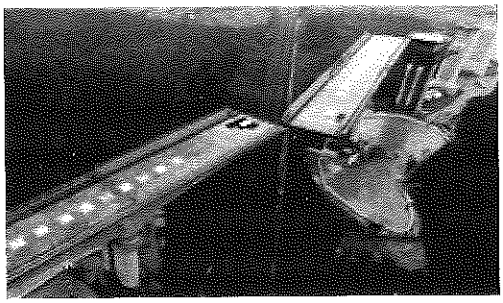
***Hình 3-3-14**: Thi công cánh tay treo cầu sông Gia Lăng đặc biệt trên tuyến Tây An - Thành Đô*

1.3. Phương pháp thi công xoay

Khi cầu đường sắt cao tốc cần vượt qua các tuyến đường cao tốc và đường sắt hiện có mà không làm gián đoạn hoạt động của các tuyến đường này, phương pháp thi công xoay là một giải pháp phổ biến (Hình 3-3-15, Hình 3-3-16). Phương pháp này bắt đầu bằng cách thi công cánh tay treo từ một vị trí lệch khỏi trục cầu, sau đó, khi đạt được chiều dài tối đa của cánh tay treo, toàn bộ cấu trúc sẽ được xoay về vị trí trục cầu, và cuối cùng, hai phần nửa của cầu sẽ được ghép nối tại điểm giữa.



Hình 3-3-15: *Thi công xoay đỉnh trụ cầu Hưng Hòa trên tuyến Chương Hồ - Khả Tuyển*



Hình 3-3-16: *Thi công xoay đáy trụ cầu liên tục trên tuyến Trường Can - Khả Tuyển.*

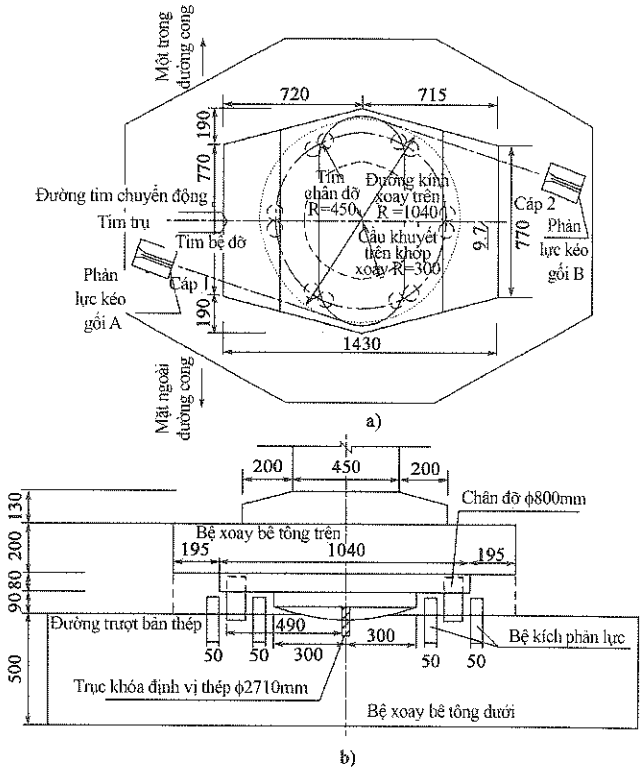
Cốt lõi của phương pháp thi công xoay là thiết kế của cấu trúc xoay. Cấu trúc này bao gồm đĩa xoay dưới, khớp cầu, đĩa xoay trên, đường ray trượt và hệ thống kéo. Đĩa xoay dưới là phần chịu toàn bộ trọng lượng của cấu trúc xoay và sẽ tạo thành phần đỡ khi xoay xong, kết hợp với đĩa xoay trên; khớp cầu là hệ thống xoay trong phương pháp thi công chuyển động và là phần quan trọng trong việc xoay cấu trúc cầu; đĩa xoay trên đóng vai trò quan trọng trong việc xoay, với các chân đỡ làm nhiệm vụ giữ cho cấu trúc xoay ổn định; hệ thống kéo cung cấp lực cần thiết để chuyển động cấu trúc, thường bao gồm các cáp kéo, giá đỡ phản lực của các thiết bị thủy lực.

Tùy theo vị trí cài đặt, có thể chọn giữa hai phương thức xoay là xoay từ đỉnh trụ hoặc xoay từ đáy trụ.

(1) Xoay đáy trụ cầu

Xoay đáy trụ cầu được thực hiện sau khi hoàn thành xây dựng móng cọc của hai trụ chính, trước khi thi công đế trụ dưới. Một khớp cầu bóng dưới sẽ được chôn sẵn trong quá trình thi công, sau đó lắp đặt khớp cầu bóng trên. Tiếp theo, thi công bệ xoay và đĩa xoay trên, chú ý đến việc chôn sẵn hệ thống kéo và các chân đỡ trượt. Các tấm thép hoặc thùng cát được đặt vào giữa các chân đỡ và đường trượt, nhằm ổn định cấu trúc trên dưới của hệ thống xoay và thuận tiện cho việc chuyển hệ thống trước khi xoay. Sau đó, thi công trụ cầu, chế tạo các đoạn dầm hình T song song với các dầm hiện đúc của tuyến đường sắt, và thực hiện các biện pháp kết nối trụ và dầm. Sau khi tháo tấm đệm, phần trên của cầu được hỗ trợ bằng khớp cầu bóng và áp dụng mô men xoay để đưa cấu trúc vào vị trí, sau đó bịt kín khe giữa các đĩa xoay. Tiến hành thi công giai đoạn nối dầm liên tục bình thường. Các yếu tố quan trọng trong phương pháp thi công xoay bao gồm thiết kế trục xoay, việc thực hiện xoay, và kiểm soát chất lượng, an toàn trong quá trình xoay.

Cầu đặc biệt Bàn Cẩm có dầm liên tục dài 128 m, được thi công bằng phương pháp di chuyển giá đỡ hiện đúc, kết hợp xoay dầm và nối sau khi xoay. Sơ đồ bố trí hệ thống xoay được thể hiện ở Hình 3-3-17.



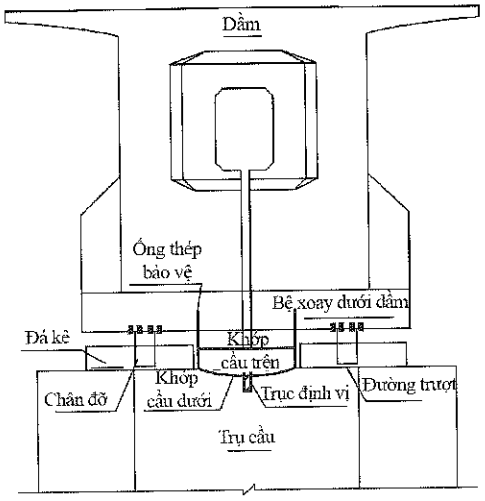
Hình 3-3-17: *Hình mặt bằng và mặt đứng của hệ thống xoay (Đơn vị kích thước: cm)*

(2) Xoay đỉnh trụ cầu

Khi chiều cao trụ cầu lớn, khả năng ổn định của cầu trong phương pháp xoay đáy trụ không thể đảm bảo. Trong trường hợp này, nên sử dụng phương pháp xoay đỉnh trụ cầu. Quy trình thi công của phương pháp này như sau: Sau khi bê tông trụ được đổ, sẽ thi công đĩa xoay dưới trụ, dựng giá đỡ khớp cầu bóng dưới và hệ thống đường trượt, đồng thời buộc thép cho nắp trụ. Để đảm bảo sự ổn định và an toàn trong quá trình xoay, tránh hiện tượng nghiêng cấu trúc, các chân đỡ, thùng cát và đường trượt sẽ được bố trí quanh đĩa xoay. Trong khi thi công bê tông dưới đường trượt, sẽ hoàn thành buộc thép của các giá đỡ phản lực và đổ bê tông. Dầm sẽ được thi công theo hình thức treo cho đến khi đạt được chiều dài treo lớn nhất. Sau khi tháo thùng cát, toàn bộ trọng lượng của dầm sẽ được chuyển vào khớp cầu bóng, sau đó tiến hành cân và bố trí tải trọng. Sử dụng dây kéo chôn sẵn trên đĩa xoay và các tời hoạt động liên tục để vượt qua mô men ma sát động giữa các khớp cầu bóng trên và dưới, và giữa các chân đỡ và đường trượt dưới, giúp dầm xoay vào đúng vị trí.

Sau khi dầm xoay vào vị trí, điều chỉnh hình dạng đường và thi công đoạn dầm đúc tiếp theo, hạ dầm và hoàn thành chuyển hệ thống, cuối cùng thi công đoạn nối giữa các dầm, hoàn thiện toàn bộ cầu.

Cầu đặc biệt trên tuyến đường sắt Trương Gia Khẩu - Hô Hòa Hạo Đặc đi qua Ga Hoài An sử dụng kết cấu cầu liên tục bằng bê tông cốt thép dự ứng lực với phương pháp thi công dầm treo hiện đúc kết hợp xoay đỉnh trụ. Các dầm này vượt qua tuyến đường sắt Bắc Kinh - Bao Đầu và giao với tuyến đường sắt đôi Bắc Kinh - Bao Đầu cũ ở góc 61°. Hệ thống xoay được mô tả trong Hình 3-3-18 và Hình 3-3-19.



Hình 3-3-18: Hệ thống xoay

Thi công xoay liên tục của dầm cầu yêu cầu thiết kế hệ thống xoay, bao gồm việc tính toán trọng lượng xoay, kiểm tra tính ổn định toàn bộ kết cấu, tính toán lực kéo và phân tích ứng suất ở những vị trí quan trọng.

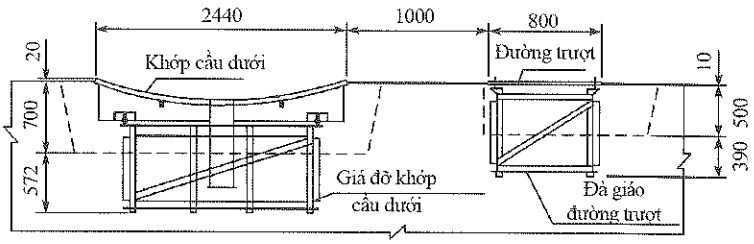
1- Trọng lượng xoay:

Trọng lượng xoay bao gồm trọng lượng của các đoạn dầm T hình, giá đỡ, trụ cầu, đĩa xoay, đĩa quay, các khớp bóng, trọng lượng chân đỡ, cùng với các biện pháp kết nối tạm thời giữa trụ cầu và dầm, cũng như các tải trọng tạm thời khác trong quá trình thi công.

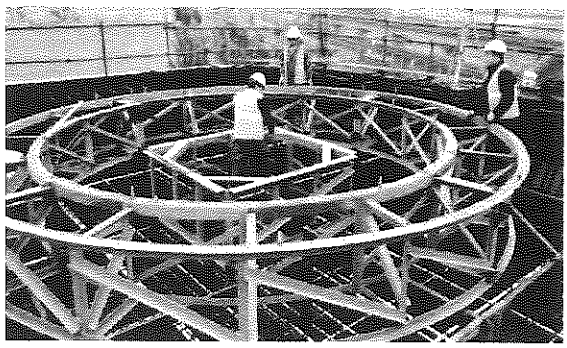
2- Cài đặt lệch tâm ngang trong hệ thống xoay:

Đối với dầm cầu cong trên các đoạn đường cong, thiết kế xoay cần phải tính đến tác động của mô men xoắn không cân bằng ngang, điều chỉnh trọng tâm của hệ thống xoay sao cho trục xoay trùng với trục của đĩa xoay, giúp hệ thống xoay hoàn toàn cân bằng. Khi cài đặt lệch tâm ngang, yếu tố chính cần xem xét là lệch tâm do trọng lượng của dầm cong gây ra. Bằng cách tính toán khoảng cách lệch tâm của từng đoạn dầm cong, ta có thể xác định cài đặt lệch tâm của hệ thống xoay, tức là sự

lệch tâm giữa đường trục xoay (đĩa xoay và khớp bóng trên và dưới) và đường trung tâm của đế trụ cầu.



a) Hình vẽ cấu tạo



b) Hình vẽ lắp ráp

Hình 3-3-19: *Hình ảnh của ổ bi dưới và đường trượt (Đơn vị kích thước: mm).*

(3) Xác định đường kính của ổ bi

Trong trạng thái lý tưởng khi chân đỡ của đĩa quay không chịu lực, ổ bi chịu toàn bộ trọng lượng của phần xoay. Nếu chọn đường kính của ổ bi quá nhỏ, có thể làm hỏng bê tông trước khi xoay; nếu chọn quá lớn, sẽ gây khó khăn trong quá trình chế tạo và lắp đặt ổ bi. Vì vậy, cần phải tính toán để xác định kích thước hợp lý của ổ bi. Việc xác định đường kính ổ bi được thực hiện dựa trên sự kiểm soát rằng ứng suất nén bê tông của ổ bi dưới tác dụng của trọng lượng tổng của cấu trúc xoay phải nhỏ hơn ứng suất nén cho phép.

(4) Tính toán độ ổn định của hệ thống xoay

Do đoạn dầm chữ T và trụ cầu có diện tích chịu gió lớn, tải trọng gió trong quá trình xoay có thể gây ra hiện tượng lật nghiêng toàn bộ phần phía trên khớp cầu. Vì vậy, cần thiết phải kiểm tra khả năng chống lật và chống trượt của kết cấu xoay. Hệ số ổn định phải không nhỏ hơn 1.2.

Công thức tính hệ số ổn định chống lật:

$$K_0 = \frac{s\sum P_i}{\sum P_i e_i + \sum T_i h_i} = \frac{s}{e} \quad (3\text{-}3\text{-}1)$$

trong đó:

P_i - các lực thẳng đứng (kN);

e_i - cánh tay đòn của mỗi lực thẳng đứng P_i đối với tâm mặt cắt kiểm tra (m);

T_i - các lực ngang (kN);

h_i - cánh tay đòn của mỗi lực ngang T_i đối với tâm mặt cắt kiểm tra (m);

s - khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt đến trục kiểm tra lật nghiêng (m);

e - khoảng cách từ điểm tác dụng của hợp lực ngoài đến trọng tâm mặt cắt (m).

Công thức tính hệ số ổn định chống trượt:

$$K_c = \frac{f\sum P_i}{\sum T_{ii}} \quad (3\text{-}3\text{-}2)$$

trong đó: f - hệ số ma sát.

Kết quả tính toán cho thấy cả K_0 và K_c đều thỏa mãn yêu cầu không nhỏ hơn 1.2 dưới tác dụng của tải trọng thi công tạm thời.

(5) Tính toán lực kéo

Lực kéo cần được tính riêng cho hai giai đoạn: khởi động và xoay. Khi khởi động, lực kéo cần phải vượt qua lực ma sát tĩnh giữa khớp cầu trên, khớp cầu dưới và giữa chân đỡ với đường trượt. Khi xoay, cần tính đến lực ma sát động. Hệ số ma sát tĩnh và hệ số ma sát động phụ thuộc vào loại vật liệu bôi trơn, áp lực chịu tải và tốc độ trượt, cần xác định thông qua thí nghiệm. Khi thiết kế, có thể sử dụng hệ số ma sát tĩnh là 0.1 và hệ số ma sát động là 0.06 để tính toán và bố trí kích nâng.

Giả sử hệ thống xoay hoàn toàn cân bằng, lúc này khớp cầu chịu toàn bộ trọng lượng của hệ thống xoay, lực xoay được tính theo công thức (3-3-3):

$$T = 2\mu V R_t / 3d \quad (3\text{-}3\text{-}3)$$

trong đó: T - lực kéo (kN);

d - khoảng cách giữa hai kích thủy lực đối đỉnh (m);

v - trọng lượng của hệ thống xoay (kN);

μ - hệ số ma sát, xác định qua thí nghiệm;

R_t - bán kính mặt phẳng khớp cầu (m).

Trong thực tế, quá trình xoay thường ở trạng thái không cân bằng. Trạng thái không cân bằng là khi trọng tâm kết cấu xoay lệch khỏi tâm xoay, tức là có tồn tại khoảng cách

lệch tâm e. Khi tính giá trị e, cần xem xét các tải trọng mất cân bằng như sự vươn dài của dầm liên tục, thiết bị thi công, vật liệu tập kết và tải trọng người.

Sau khi xác định khoảng cách lệch tâm e giữa trọng tâm kết cấu và tâm xoay, dựa vào khoảng cách đến tâm khớp cầu và trọng tâm đường trượt, có thể tính toán trọng lượng phân bổ lên khớp cầu và các chân đỡ, từ đó suy ra mô men ma sát tĩnh và động của khớp cầu

Công thức tính mô men ma sát của chân đỡ:

$$M = \mu P_2 R_c \tag{3-3-4}$$

trong đó:

M - mô men ma sát của chân đỡ (kN·m);

R_c - cánh tay đòn của lực ma sát tại chân đỡ (m);

P_2 - trọng lượng phân bổ lên chân đỡ (kN);

μ - hệ số ma sát, xác định thông qua thí nghiệm.

2. Cầu liên tục bê tông cốt thép dự ứng lực

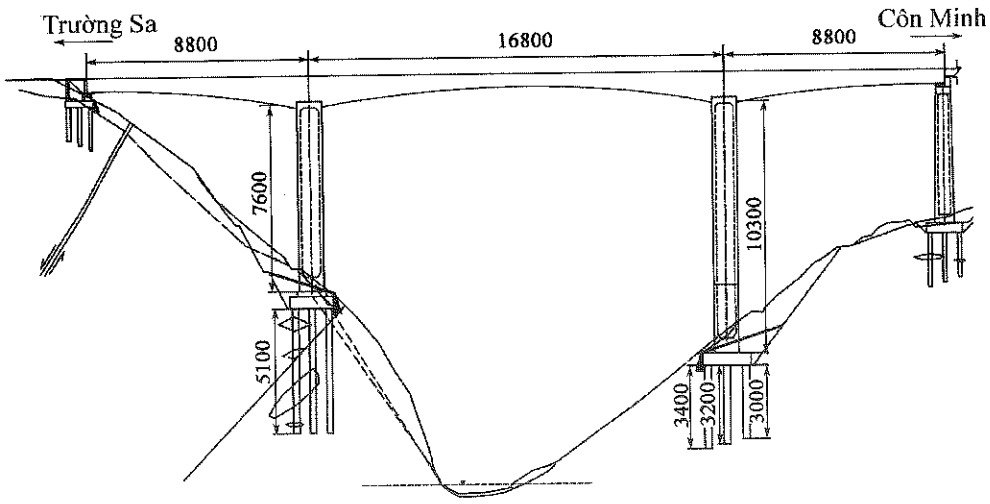
Cầu liên tục dạng kết cấu cứng (liên tục cứng) được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật cầu nhờ vào khả năng vượt nhịp lớn, thi công thuận tiện và chi phí thấp. Đặc biệt, khi mạng lưới đường sắt cao tốc mở rộng nhanh chóng vào khu vực miền núi, loại cầu liên tục bê tông cốt thép dự ứng lực với trụ cao và nhịp lớn đã phát triển nhanh chóng ở Trung Quốc.

Cầu liên tục cứng được thiết kế với kết cấu dầm và trụ liên kết cứng. Phân bố mô men giữa trụ và dầm phụ thuộc vào độ cứng tương đối của hai bộ phận này. Bên cạnh đó, các yếu tố như co ngót, từ biến của dầm và ứng suất do nhiệt độ cũng liên quan trực tiếp đến độ cứng kháng đẩy của trụ. Do đó, thiết kế loại cầu này cần đảm bảo độ cứng dọc của toàn cầu và đồng thời tối ưu hóa nội lực trong dầm. Vì vậy, độ cứng của kết cấu là yếu tố quan trọng trong việc thiết kế cầu liên tục cứng với trụ cao và nhịp lớn cho đường sắt cao tốc, và việc lựa chọn độ cứng dọc thích hợp cho trụ cầu là một nội dung quan trọng.

Hiện tại, cầu liên tục cứng có nhịp lớn nhất trên đường sắt ở Trung Quốc là cầu vượt sông Mân Giang trên tuyến đường sắt chính Nam Bình - Long Nham, với sơ đồ nhịp chính gồm (118 + 216 + 138 + 83) m, sử dụng dầm liên tục cứng đôi cho đường đôi.

Cầu lớn Khả Địch qua sông Ba Lăng trên tuyến đường sắt cao tốc hành khách Thượng Hải - Côn Minh (đoạn Trường Sa - Côn Minh) vượt qua hẻm núi Ba Lăng và đường cao tốc từ Lục Bàn Thủy đến Hoàng Quả Thụ. Cầu có chiều cao khoảng

140m và tổng chiều dài 525,7m. Khu vực cầu bắc qua có địa hình dốc đứng hai bên bờ sông hình chữ U, chênh lệch cao độ từ 200 đến 300m với độ dốc tự nhiên từ 30° đến 66°, nền đá gốc lộ thiên, thảm thực vật thưa thớt. Sau khi phân tích và lựa chọn phương án tối ưu, nhịp chính của cầu sử dụng sơ đồ (88 + 168 + 88) m dầm liên tục bê tông cốt thép dự ứng lực, được thi công bằng phương pháp đổ bê tông đối xứng dạng dầm hẫng. Chiều cao của hai trụ chính lần lượt là 76m và 103m, đây là cầu liên tục cứng bằng bê tông cốt thép dự ứng lực với trụ cao và nhịp lớn nhất thế giới cho đường sắt cao tốc có vận tốc 350 km/h đã được hoàn thành. Tổng thể bố trí của cầu chính được thể hiện trong Hình 3-3-20.

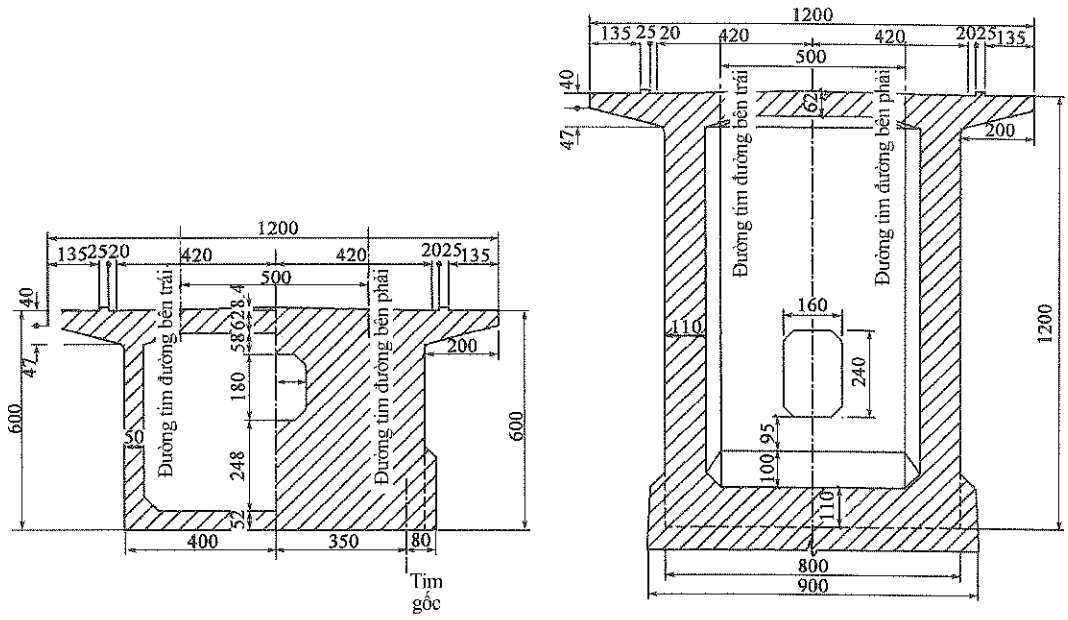


Hình 3-3-20: *Cầu lớn Khả Địch qua sông Ba Lăng (Đơn vị kích thước: cm)*

Dầm cầu là dầm hộp đơn, thành thẳng, một khoang với chiều cao và tiết diện thay đổi. Chiều rộng thông thủy bên trong tường chắn là 8,8m, và bề rộng mặt cầu là 12m. Đoạn dầm giữa nhịp trung tâm dài 18m và đoạn dầm tại đầu nhịp biên dài 13,9m là các đoạn dầm có chiều cao đồng nhất, với chiều cao dầm là 6m. Tại điểm tựa trung tâm, chiều cao dầm đạt 12m, ngoại trừ đoạn dầm số 0, đáy dầm của các đoạn còn lại thay đổi theo đường parabol bậc hai.

Bề rộng tấm mặt trên của dầm hộp là 12m, bề rộng tấm đáy là 8m. Tấm mặt trên có độ dày 62cm, và tại đoạn đầu nhịp biên, độ dày tăng dần từ 62cm lên 100cm. Tấm đáy có độ dày thay đổi từ 52cm đến 110cm, và thành dầm (thành bên) có độ dày thay đổi từ 50cm đến 110cm.

Tại vị trí gối đỡ của nhịp biên và trụ chính, dầm được bố trí các vách ngang. Toàn bộ kết cấu có 6 vách ngang, và ở giữa mỗi vách ngang có lỗ để thuận tiện cho việc đi lại bên trong dầm. Tiết diện tiêu chuẩn của dầm hộp được thể hiện trong Hình 3-3-21.



a) 1/2 mặt cắt đầu dầm tại nhịp biên và nhịp giữa b) 1/2 mặt cắt tại gối

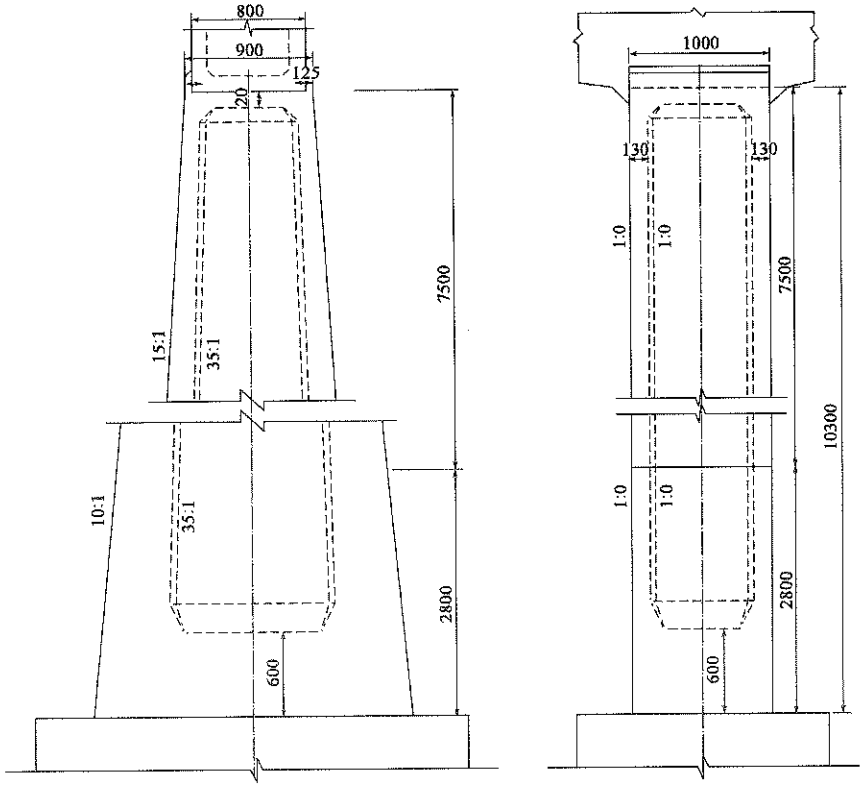
Hình 3-3-21: *Sơ đồ mặt cắt dầm (Đơn vị kích thước: cm)*

Cầu liên tục cứng có kết cấu dầm và trụ được liên kết cứng, trong đó sự phân bố mô men giữa trụ và dầm phụ thuộc vào độ cứng tương đối của hai bộ phận này. Co ngót, từ biến của dầm và ứng suất do nhiệt độ cũng liên quan trực tiếp đến độ cứng kháng đẩy của trụ cầu. Do đó, thiết kế cầu cần vừa đảm bảo độ cứng dọc toàn cầu, vừa tối ưu hóa nội lực trong dầm. Độ cứng của kết cấu là yếu tố quan trọng trong thiết kế cầu đường sắt có trụ cao và nhịp lớn bằng bê tông cốt thép dự ứng lực. Việc lựa chọn độ cứng dọc phù hợp cho trụ cầu là một nội dung quan trọng trong thiết kế.

Do trụ cầu của cầu này có chiều cao lớn (hơn 100 m), nếu sử dụng loại trụ đôi vách mỏng thì độ cứng dọc sẽ nhỏ hơn so với loại trụ rỗng hình chữ nhật, dẫn đến gia tăng chuyển vị dọc khi chịu tải trọng ngang. Đồng thời, để duy trì đủ độ cứng chống uốn tổng thể nhằm đảm bảo ổn định cho toàn bộ cầu, thiết kế sẽ phải tăng kích thước trụ, khiến khối lượng bê tông tăng lên và gây khó khăn trong việc kiểm soát hình dạng khi thi công các trụ vách mỏng cao trên 100 m. Vì vậy, sau khi so sánh tổng thể giữa trụ đôi vách mỏng và trụ rỗng hình chữ nhật, thiết kế đã chọn loại trụ chính là trụ rỗng hình chữ nhật bằng bê tông cốt thép.

Tại đỉnh trụ, bề rộng theo phương ngang cầu là 9 m với độ dày thành 1,1 m; bề rộng theo phương dọc cầu là 10 m với độ dày thành 1,3 m. Trụ chính không có độ dốc ở mặt trong và mặt ngoài theo phương dọc cầu. Tại đỉnh và đáy trụ bố trí các đoạn đặc có chiều cao lần lượt là 1,2 m và 6 m. Trụ chính số 1 có chiều cao 76 m, mặt ngoài của trụ có độ dốc theo phương ngang cầu là 15:1, và mặt trong là 35:1. Để

hợp lý hóa việc phân bổ khối lượng trụ vào phần dưới của kết cấu, hạ thấp trọng tâm của trụ, tăng độ cứng ngang, đồng thời cải thiện thẩm mỹ, trụ chính số 2 được thiết kế với hai đoạn dốc thẳng khác nhau theo phương ngang cầu. Trụ chính số 2 có chiều cao 103 m, đoạn từ đỉnh trụ xuống 75 m có độ dốc ngoài theo phương ngang cầu là 15:1, tiếp theo là đoạn dốc thẳng thứ hai với độ dốc ngoài thay đổi thành 10:1, và độ dốc trong giữ nguyên 35:1. Cấu tạo trụ chính số 2 được thể hiện trong Hình 3-3-22.



Hình 3-3-22: Cấu tạo trụ chính số 2 (Đơn vị kích thước: cm)

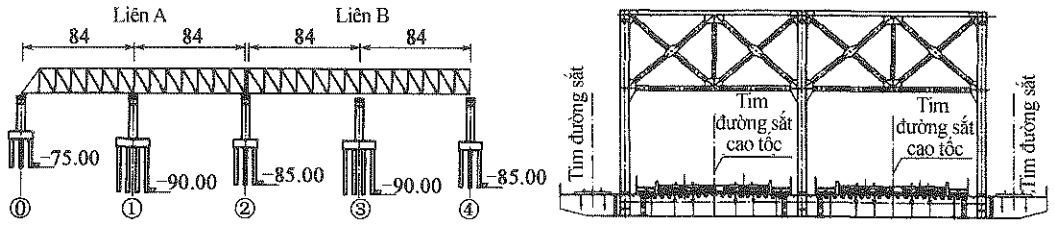
Nền móng của trụ chính đều sử dụng móng cọc khoan nhồi theo cụm. Nền móng trụ chính số 1 gồm 17 cọc có đường kính 2,5 m, bố trí theo hình hoa mai với cấu hình 6 + 5 + 6 cọc, chiều dài cọc là 51 m. Nền móng trụ chính số 2 gồm 18 cọc có đường kính 2,8 m, bố trí theo dạng hàng với cấu hình 3 × 6 cọc, chiều dài cọc từ 30 m đến 34 m.

3. Cầu dầm liên tục thép giàn

Cầu dầm liên tục thép giàn khá phổ biến trong các cầu đường sắt thông thường. Đối với cầu đường sắt cao tốc, dầm liên tục thép giàn thường được sử dụng tại các nhịp biên của cầu chính nhằm đảm bảo sự chuyển tiếp êm ái của mặt cầu với các nhịp chính cũng sử dụng kết cấu thép giàn.

Trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Quảng Châu, cầu chung đường sắt và đường bộ bắc qua sông Hoàng Hà tại Trịnh Châu có cầu chính gồm hai liên cầu. Liên thứ nhất là cầu dây văng dầm liên hợp thép giàn liên tục sáu tháp với sơ đồ nhịp (120 + 5 × 168 + 120)m. Liên thứ hai là cầu dầm liên hợp thép giàn liên tục gồm 5 nhịp, mỗi nhịp dài 120m. Tương tự, trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, cầu Trường Giang Nam Kinh Đại Thắng Quan có cầu chính gồm hai liên cầu dầm thép giàn liên tục và một liên cầu vòm thép giàn (Hình 3-3-23).

Điểm chung giữa cầu Trịnh Châu Hoàng Hà và cầu Đại Thắng Quan Trường Giang là cả hai đều sử dụng kết cấu ba dầm giàn chính để tăng độ cứng ngang của cầu, đảm bảo độ êm thuận của tuyến đường sắt. Cầu dầm liên tục thép giàn của cầu Đại Thắng Quan Trường Giang được tạo thành từ ba dầm giàn chính dạng chữ N, với chiều cao dàn là 16,0m và khoảng cách giữa các nút dàn là 12,0m. Khoảng cách giữa tâm hai dầm giàn chính bất kỳ là 15,0m.



a) Mặt cắt dọc cầu

b) Mặt cắt ngang dầm cầu

Hình 3-3-23: *Bố trí dầm liên tục 4 × 84m của cầu Trường Giang Nam Kinh Đại Thắng Quan (Đơn vị kích thước: m)*

3.1. Mặt cầu thép bản trực hướng

Cầu thép giàn thông thường được cấu tạo từ các dầm dọc và dầm ngang riêng lẻ, dẫn đến kích thước kết cấu tổng thể lớn và độ cứng chung dư thừa, nhưng tính đồng nhất của kết cấu mặt cầu kém, đặc tính động lực học không tốt, khó đáp ứng yêu cầu vận hành của đường sắt cao tốc. Để phù hợp với các yêu cầu này, cầu được thiết kế sử dụng mặt cầu thép bản trực hướng với đặc tính đồng nhất cao, độ cứng và khả năng giảm chấn lớn. Trên bề mặt cầu được phủ lớp kết cấu bê tông cốt thép liền khối dạng đá ballast. Việc sử dụng mặt cầu thép bản trực hướng kết nối với các thanh hạ dây (thanh hạ của dầm chính) nhằm giảm thiểu sự tham gia của mặt cầu vào hoạt động chịu lực của dàn giàn chính.

Các nghiên cứu cho thấy, khi bố trí thêm các dầm ngang phụ tại khoảng giữa các nút của thanh hạ dây và giảm kích thước của dầm dọc, mức độ tham gia của mặt cầu vào hoạt động chịu lực của dàn giàn chính giảm đi đáng kể.

Mặt cầu bản trực hướng đồng nhất được cấu thành từ các dầm dọc, dầm ngang và các tấm mặt cầu thép được gia cường. Dầm ngang, tấm mặt cầu và thanh hạ dây của dàn giàn chính được hàn liền với nhau tạo thành một kết cấu tổ hợp dạng bản - giàn. Tấm mặt cầu sử dụng thép chất lượng cao Q370qE với độ dày 16 mm. Các dầm dọc hình chữ U có khoảng cách 600 mm, độ dày 6 mm, bề rộng trên 300 mm, bề rộng dưới 184 mm, chiều cao 260 mm, làm từ thép Q370qE. Dưới mỗi tuyến đường ray bố trí dầm dọc dạng chữ T ngược với chiều cao 500 mm, khi gặp các dầm ngang và bản bụng của dầm ngang thì được đục lỗ để xuyên qua.

Tấm mặt cầu được hàn dọc theo phương dọc cầu với thanh hạ dây của dàn giàn chính. Để đảm bảo điều này, tấm thép ngang phía trên của thanh hạ dây được kéo dài ra thêm 400 mm so với bản đứng, sau đó hàn đối đầu có vát mép với tấm mặt cầu. Tại các vị trí nút của dàn giàn chính, tấm mặt cầu được đục lỗ để xuyên qua, và hai bên lỗ được hàn thấu hoàn toàn. Ngoài việc hàn thấu, đầu của các tấm nút còn được gia cường bằng việc sử dụng búa siêu âm để tăng khả năng chống mỏi.

Dọc theo phương dọc cầu, cứ mỗi 3,0 m bố trí một dầm ngang dạng chữ T ngược, chiều cao của dầm ngang bằng với chiều cao 1,2 m của thanh hạ dây, và cánh cũng như bản bụng của dầm ngang được hàn liền với thanh hạ dây. Tại các vị trí nút của dàn giàn chính, bố trí dầm ngang có chiều cao 2,0 m.

3.2. Thiết lập độ vồng trước

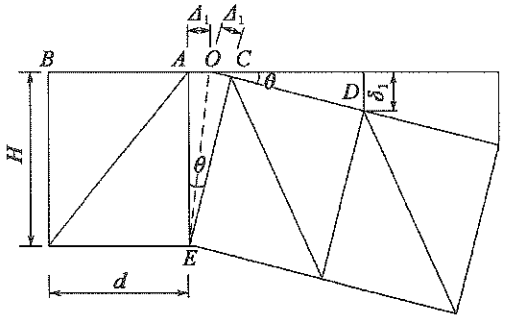
Để đảm bảo khi tàu chạy qua cầu, góc quay của tuyến đường trên cầu là nhỏ nhất có thể, giúp tàu di chuyển êm thuận hơn, việc thiết lập độ vồng trước là cần thiết. Đối với các cầu đường sắt cao tốc có nhịp lớn, việc thiết lập độ vồng trước càng quan trọng.

Đối với kết cấu thép giàn có nút liên kết toàn khối, độ vồng thường được đạt được bằng cách điều chỉnh chiều dài của các thanh dây. Đối với cầu thép giàn dầm đơn giản, để đơn giản hóa công tác chế tạo và lắp đặt, thiết kế sẽ giữ nguyên chiều dài của thanh hạ dây và thanh bụng, chỉ điều chỉnh chiều dài lý thuyết của thanh thượng dây bằng cách kéo dài chúng. Giả định rằng đường cong độ vồng trước là hình tròn, tất cả các thanh thượng dây có giá trị điều chỉnh bằng nhau, sau đó tiến hành tính thử để tìm giá trị khe nối thích hợp cho thanh thượng dây.

Đối với cầu thép giàn liên tục, tại các điểm trung gian giữa các nhịp cần thiết lập đường cong phản hướng để đảm bảo độ vồng trước giữa các nhịp được kết nối đồng đều và mượt mà. Giá trị điều chỉnh của thanh thượng dây có thể mang giá trị dương hoặc âm. Ngoài ra, để độ vồng trước thực tế tại nhà máy gần với độ vồng lý thuyết, một số thanh dây sẽ không được kéo dài hay rút ngắn. Vì vậy, giá trị điều chỉnh của

các thanh thượng dây trong kết cấu cầu thép giàn liên tục là không đồng nhất, và đường cong độ vồng trước không có nghiệm phân tích chính xác, chỉ có thể tìm được giá trị điều chỉnh thích hợp thông qua thử tính toán. Yêu cầu là độ sai lệch giữa độ vồng trước tại nhà máy và độ vồng lý thuyết phải nằm trong phạm vi chấp nhận được, do đó, việc điều chỉnh thanh dây trong kết cấu cầu thép giàn liên tục không có nghiệm duy nhất.

Phương pháp hình học để thiết lập độ vồng trước là sử dụng các quan hệ hình học đơn giản nhằm xác lập mối quan hệ giữa giá trị điều chỉnh của thanh thượng dây và độ võng của các nút ở thanh hạ dây. Như minh họa trong Hình 3-3-24, khi đường viền của hàng bu lông đầu tiên trên thanh thượng dây hai bên nút trung tâm được tăng thêm một lượng Δ, đầu dầm sẽ hạ xuống. Nếu dồn tất cả giá trị hạ xuống về một phía của nút trung tâm và giữ nguyên tại điểm B, giá trị hạ xuống δ tại điểm D có thể được tính toán dựa trên quan hệ hình học.



Hình 3-3-24: *Quan hệ hình học giữa độ vồng trước và giá trị điều chỉnh thanh thượng dây*

Từ Hình 3-3-24, có thể suy ra công thức (3-3-5):

$$\sin\theta = \frac{\delta_1}{OC + CD} \approx \frac{\delta_1}{CD} = \frac{\delta_1}{d} \tag{3-3-5}$$

trong đó: d - chiều dài giữa các nút.

Vì góc θ rất nhỏ, nên sinθ ≈ θ. Do đó, công thức tính θ là:

$$\theta = \frac{\delta_1}{d} \tag{3-3-6}$$

Từ hình AECO, có thể xấp xỉ:

$$2\Delta_1 \approx \theta \cdot AE = \theta \cdot H \tag{3-3-7}$$

Do đó:

$$\theta = \frac{2\Delta_1}{H} \tag{3-3-8}$$

Từ công thức (3-3-6) và (3-3-8), suy ra công thức (3-3-9):

$$\delta_1 = \frac{2\Delta_1}{H} \cdot d \tag{3-3-9}$$

Theo quan hệ hình học, giá trị giảm độ cao tại nút tiếp theo là $2\delta_1$. Tương tự, có thể thiết lập ma trận biểu diễn ảnh hưởng của giá trị kéo dài bất kỳ của thanh thượng dây đến độ võng của thanh hạ dây.

Bài toán có thể được giải bằng phương pháp quy hoạch phi tuyến, với hàm mục tiêu là tổng bình phương sai số giữa giá trị độ võng thực tế và giá trị độ võng lý thuyết nhỏ nhất. Các điều kiện ràng buộc được đặt ra nhằm giới hạn sai số độ võng tại các điểm trong phạm vi hợp lý. Ẩn số chính là các giá trị kéo dài của các thanh thượng dây.

Hàm mục tiêu và phương trình ràng buộc như sau:

$$\begin{aligned} &min\, R = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{m}\delta_{ij}\Delta_j - f_i\right)^2 \\ &s.t. \left|\sum_{j=1}^{m}\delta_{ij}\Delta_j - f_i\right| \le f_0 \end{aligned} \tag{3-3-10}$$

trong đó:

f_i - giá trị lý thuyết của độ vồng trước tại nút thứ i;

δ_{ij} - độ dịch chuyển thẳng đứng của thanh hạ dây tại nút i do đơn vị kéo dài của thanh thượng dây thứ j;

Δ_j - giá trị kéo dài của thanh thượng dây thứ j;

f_0 - sai số giữa độ vồng trước lý thuyết và độ vồng trước thực tế tại nhà máy.

Có thể thiết lập thêm các điều kiện ràng buộc để cải thiện kết quả, ví dụ:

- Giá trị Δ_j phải là số chẵn;
- Số thanh cần điều chỉnh càng ít càng tốt, và các giá trị điều chỉnh phải càng đồng đều càng tốt;
- Giới hạn chênh lệch giá trị điều chỉnh giữa các thanh liền kề;
- Giới hạn sai số giữa độ vồng trước thực tế và lý thuyết trong một khoảng giá trị cho phép.

3.3. Kỹ thuật thi công

Việc thi công cầu dầm liên tục thép giàn cho đường sắt cao tốc có thể áp dụng các phương pháp như lắp ghép theo phương pháp đúc hẫng, đẩy dầm, kéo dầm,... Trong đó, phương pháp lắp ghép theo phương pháp đúc hẫng là phổ biến nhất.

Khi lắp ghép cầu dầm liên tục thép giàn, ngoài việc tuân thủ thiết kế và các quy định, cần tiến hành kiểm tra nghiệm thu trước khi dầm thép giàn được đưa vào công trường, đảm bảo lưu trữ và bảo quản đúng cách, thực hiện việc lắp ghép thử cẩn thận, tiến hành thí nghiệm kiểm tra bu lông cường độ cao khi đưa vào công trường, tuân thủ nghiêm ngặt quy trình siết bu lông cường độ cao, đồng thời giám sát chặt chẽ quá trình lắp ghép dầm thép giàn. Đặc biệt, đối với dầm liên tục thép giàn ba thanh chủ cho đường sắt cao tốc, cần áp dụng một số kỹ thuật quan trọng để kiểm soát sai lệch tim, chênh lệch cao độ giữa ba thanh chủ và tuyến hình thẳng đứng của dầm thép giàn trong quá trình lắp ghép theo phương pháp đúc hẫng.

Các kỹ thuật chính bao gồm:

(1) Kiểm soát đường kính chốt tạm và số lượng lắp đặt:

Tuân thủ nghiêm ngặt quy định thi công cầu để chọn đường kính chốt tạm. Số lượng chốt tạm được kiểm soát ở mức 50% số lỗ bu lông nhằm đảm bảo lực chịu tải của các thanh giàn và tuyến hình của dầm thép giàn đáp ứng yêu cầu thiết kế.

(2) Kiểm soát tuyến hình dầm thép giàn theo nhiệt độ:

Do tuyến hình dầm thép giàn chịu ảnh hưởng lớn của nhiệt độ, đặc biệt là sự chiếu sáng của mặt trời, để kiểm soát tuyến hình, cần tiến hành đo đạc sau mỗi lần lắp ghép một nhịp. Việc đo đạc bao gồm kiểm tra độ lệch ngang, cao độ thẳng đứng và chênh lệch cao độ giữa ba thanh chủ. Mỗi lần đo đạc phải được thực hiện trong khoảng thời gian khi chưa có ánh nắng mặt trời và nhiệt độ môi trường ổn định. Chỉ khi kết quả đo đạt yêu cầu kiểm tra thì mới được phép tiến hành lắp đặt và siết bu lông cường độ cao.

(3) Lắp đặt thanh xiên bụng bằng thiết bị dẫn hướng:

Do việc lắp đặt các thanh xiên bụng yêu cầu độ chính xác cao giữa các thanh và bản nút, mà khi nâng các thanh lên thường khó đạt được độ chính xác này, để tránh làm hỏng bề mặt ma sát được phun nhôm, có thể sử dụng thiết bị dẫn hướng. Thiết bị này giúp thanh xiên bụng hạ xuống chậm và chính xác, tránh làm hư hỏng bề mặt ma sát, đồng thời đảm bảo hệ số ma sát đạt yêu cầu thiết kế.

(4) Điều chỉnh cao độ của thanh chủ giữa và thanh chủ biên:

Do thanh chủ giữa chịu tải trọng lớn hơn và nặng hơn thanh chủ biên, khi lắp ghép tạm thời chỉ sử dụng chốt tạm và bu lông thông thường, dẫn đến hiện tượng thanh chủ giữa có cao độ thấp hơn thanh chủ biên. Theo điều kiện thực tế tại công trường, cần lắp đặt thiết bị điều chỉnh cao độ để đảm bảo cao độ của ba thanh chủ đồng nhất.

(5) Khắc phục sai lệch tim dầm thép giàn:

Trong quá trình lắp ghép, do sai số trong chế tạo thanh giàn, sai số trong lắp ghép và sự bất đối xứng về trọng lượng của các thiết bị tạm thời trên công trường, dầm thép giàn có thể bị lệch tim. Khi sai lệch tim vượt quá sai số cho phép hoặc có xu hướng lệch tim liên tục, cần tiến hành khắc phục bằng phương pháp kéo thanh hạ dây ngang phía trước.

Trước tiên, lắp đặt các thanh hạ dây phía thượng lưu, thanh chủ giữa và thanh hạ dây phía hạ lưu, lắp đặt chốt tạm và bu lông thông thường như bình thường, sau đó đo đạc sai lệch tim của thanh chủ giữa. Nếu tim dầm bị lệch về phía thượng lưu, trước tiên lắp đặt tấm mặt cầu phía thượng lưu và sử dụng thanh hạ dây phía hạ lưu làm điểm neo. Lắp đặt thiết bị kéo tại đầu thanh, kéo toàn bộ thanh thượng lưu, tấm mặt cầu và thanh chủ giữa về phía hạ lưu, đồng thời theo dõi và ghi lại lượng dịch chuyển của thanh hạ dây giữa. Do có hiện tượng đàn hồi, cần kéo dịch chuyển lớn hơn khoảng 1cm so với giá trị yêu cầu khắc phục sai lệch. Sau khi cố định các nút chân bằng bu lông cường độ cao cũ, tiến hành lắp đặt tấm mặt cầu phía hạ lưu và liên kết tấm mặt cầu với thanh chủ giữa và thanh hạ lưu thành một khối, hoàn thành việc khắc phục sai lệch tim. Nếu sai lệch tim về phía hạ lưu, tiến hành khắc phục theo hướng ngược lại.

(6) Lắp đặt các thanh liên kết ngang tạm thời:

Do dầm thép giàn không có các thanh liên kết ngang cố định và không có thanh ngang trên, trong quá trình lắp ghép, để đảm bảo tuyến hình, cần lắp đặt các thanh liên kết ngang tạm thời. Nghĩa là khi lắp ghép dầm thép giàn, đồng thời tiến hành lắp đặt các thanh liên kết ngang tạm thời tại năm nhịp đầu tiên. Sau khi hoàn tất việc siết bu lông cường độ cao của thanh chủ và hàn các tấm mặt cầu thép trực hướng, đảm bảo hình dạng mặt cắt đã ổn định, các thanh liên kết ngang tạm thời ở phía sau sẽ được tháo ra và sử dụng lại ở phía trước, đảm bảo tuyến hình của dầm thép giàn trong quá trình lắp ghép đáp ứng yêu cầu thiết kế.

4. Cầu liên hợp kết cấu liên tục cứng có gia cường bằng dầm thép giàn

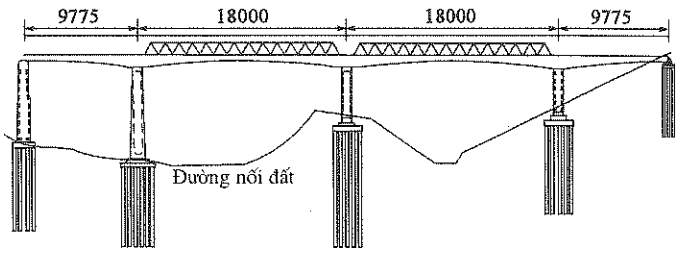
Các cầu đường sắt cao tốc có yêu cầu khắt khe về độ cứng và khả năng kiểm soát biến dạng. Cầu liên tục cứng hoặc cầu dầm liên tục bằng bê tông với nhịp lớn thường gặp hạn chế do hiện tượng từ biến trong giai đoạn sau thi công, làm giới hạn sự phát triển và ứng dụng của loại cầu này. Hiện tại, trên các tuyến đường sắt cao tốc vận tốc 350 km/h, cầu liên tục cứng bằng bê tông có nhịp lớn nhất là cầu đặc biệt vượt sông Sa Loan trên tuyến đường sắt cao tốc Quảng Châu - Thâm Quyến - Hồng

Kông (nhịp chính 2 × 168m) và cầu đặc biệt vượt sông Lưu Khê trên tuyến đường sắt cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu (nhịp đơn 168m). Đối với các nhịp vượt quá 168m, thường phải sử dụng kết cấu kết hợp có gia cố bằng vòm.

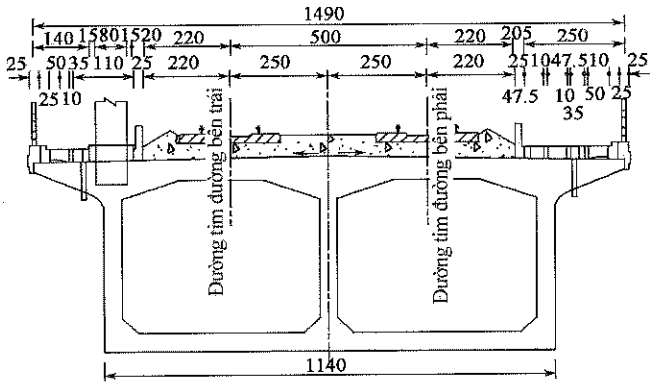
Cầu đặc biệt số 2 vượt sông Mo Gu trên tuyến đường sắt cao tốc Ngân Xuyên - Tây An nằm trong địa phận huyện Kiền, tỉnh Thiểm Tây. Khu vực đặt cầu thuộc vùng cao nguyên đất Hoàng Thổ phía bắc sông Vị, với địa hình gồ ghề, chênh lệch cao độ mặt đất gần 60 m và nhiều rãnh sâu. Chiều cao cầu chính lên tới 105 m, phía dưới là khe sâu trong nền đất Hoàng Thổ, khiến việc xây dựng trụ cầu gặp nhiều khó khăn, và nhịp chính của cầu phải được thiết kế phù hợp với cao độ tuyến đường và địa hình.

Do trụ cầu cao, đáp ứng tốt điều kiện thiết kế của kết cấu liên tục cứng, và không có giới hạn về chiều cao dầm, phần gia cường phía trên mặt cầu chủ yếu được sử dụng để kiểm soát biến dạng từ biến của dầm chính. Phương pháp thi công phần kết cấu phía trên chỉ có thể sử dụng phương pháp đúc hẫng cân bằng tại chỗ, điều này quyết định rằng kích thước của dầm chính không thể quá nhỏ. Vì vậy, phần gia cường nên được thiết kế bằng kết cấu mềm dẻo, chủ yếu để kiểm soát biến dạng, còn việc chịu tải là phụ. Mặc dù kết cấu thường thấy trong các cầu dầm - vòm liên hợp có hiệu quả gia cường tốt nhờ vào vòm bê tông cốt thép dạng ống thép, nhưng với cầu này, chiều cao trụ lớn khiến vòm trở nên quá cao, việc đổ bê tông bên trong vòm rất khó khăn, chất lượng khó được đảm bảo. Hơn nữa, việc căng và điều chỉnh dây treo mềm rất phức tạp, độ bền không cao, đồng thời công tác bảo dưỡng và sửa chữa sau này cũng gặp nhiều khó khăn và tốn nhiều công sức.

Do đó, cầu này được thiết kế với kết cấu gia cường bằng dầm thép giàn tại giữa nhịp liên tục cứng bằng bê tông dự ứng lực, nhằm giảm chiều cao phần kết cấu phía trên mặt cầu, hạ thấp độ khó thi công, tạo thuận lợi cho công tác bảo dưỡng và sửa chữa, đồng thời nâng cao hiệu quả thẩm mỹ. Cuối cùng, phương án cầu chính được xác định là kết cấu liên tục cứng gia cường bằng dầm thép giàn với sơ đồ nhịp (97 + 2 × 180 + 97) m. Mặt đứng cầu chính và mặt cắt dầm chính được thể hiện lần lượt trong Hình 3-3-25 và Hình 3-3-26.



Hình 3-3-25: *Mặt đứng cầu (Đơn vị kích thước: cm)*



Hình 3-3-26: *Mặt cắt dầm chính (Đơn vị kích thước: cm)*

4.1. Dầm chính

Để tận dụng tối đa hiệu quả gia cường của dầm thép giàn, thiết kế dầm chính giảm tối đa chiều cao nhằm tiết kiệm khối lượng bê tông đổ cho dầm. Dầm chính có tiết diện hộp đơn với hai khoang, chiều cao thay đổi. Tại đoạn dầm biên dài 27,75 m và đoạn giữa nhịp dài 40 m, dầm có chiều cao đồng nhất là 4,8 m. Tại điểm giữa trụ, chiều cao dầm đạt 12,5 m, và chiều cao dầm thay đổi theo đường parabol bậc 1,6.

Dầm chính có bề rộng mặt trên 14,9m, bề rộng mặt đáy 11,4 m. Độ dày mặt trên dao động từ 0,5 m đến 1,7 m, độ dày mặt đáy từ 0,45m đến 2,5 m, và độ dày thành dầm từ 0,45 m đến 1,5m. Tại mặt trong của tấm trên, bố trí vát mép 150 cm × 50 cm, và tại mặt đáy bố trí vát mép 40 cm × 40 cm, như thể hiện trong Hình 3-3-26.

4.2. Dầm thép giàn gia cường

Mục đích chính của việc gia cường bằng dầm thép giàn là để kiểm soát biến dạng từ biến của dầm chính tại nhịp giữa sau giai đoạn thi công. So với dầm bê tông, dầm thép giàn có độ cứng tổng thể yếu hơn và chỉ chịu một phần tải trọng tĩnh giai đoạn hai và tải trọng động từ tàu chạy. Do đó, dầm thép giàn tại điểm giữa trụ chỉ có tác dụng hạn chế trong việc giảm mô men âm của dầm chính, đồng thời làm phức tạp thêm kết cấu chịu lực. Tại đoạn biên của dầm chính, chiều cao dầm đã đáp ứng yêu cầu về góc quay của đầu dầm nên không cần gia cường thêm dầm thép giàn.

Việc tính toán với các chiều dài khác nhau của dầm thép giàn cho thấy hiệu quả giảm biến dạng từ biến rất đáng kể khi tăng chiều dài dầm gia cường. Khi chiều dài dầm gia cường đạt 156 m, biến dạng từ biến giảm xuống dưới một nửa so với trường hợp không gia cường. Khi chiều dài dầm thép giàn tăng từ 60 m lên 156 m, biến dạng từ biến tiếp tục giảm nhưng với tốc độ giảm dần. Đồng thời, dầm gia cường giúp giảm đáng kể mô men dương tại giữa nhịp, với mức giảm gần 20%, nhưng ảnh hưởng không đáng kể đến mô men âm tại điểm giữa trụ, chỉ giảm khoảng 3%. Với

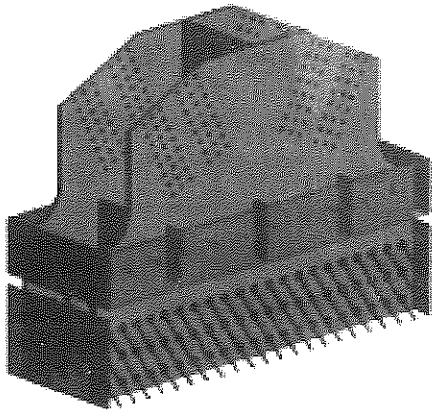
chiều dài dầm thép giàn từ 60 m đến 156 m, nội lực trong dầm chính thay đổi ít, nhưng ảnh hưởng đến ứng suất chính tại mặt cắt kiểm soát của dầm chính lại lớn, và khi chiều dài dầm gia cường đạt 156 m, ứng suất chính là nhỏ nhất. Vì vậy, chiều dài dầm gia cường được chọn là 156 m tại nhịp giữa.

Cầu được thi công theo thứ tự dầm trước, gia cường sau, dầm thép giàn chỉ chịu một phần tải trọng tĩnh giai đoạn hai và tải trọng động của tàu. Chiều cao dầm thép giàn ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả gia cường và nội lực trong dầm thép giàn. Chiều cao dầm thép giàn càng lớn thì độ cứng càng cao, giúp kiểm soát tốt hơn biến dạng từ biến của dầm chính, nhưng đồng thời làm tăng lực dọc trong thanh thượng dây khi dầm chính có cùng độ võng. Ngược lại, khi giảm chiều cao dầm thép giàn, độ cứng giảm và nội lực trong thanh thượng dây cũng giảm. Sau khi so sánh các phương án, dầm thép giàn gia cường được chọn là dầm giàn tam giác không có thanh đứng, với khoảng cách giữa các nút là 12 m. Các nút trên và dưới đều được thiết kế dạng liên kết toàn khối, trong đó nút dưới được chôn vào trong dầm chính 80cm và liên kết với dầm bằng khóa cắt PBL.

Thanh thượng dây và hạ dây có tiết diện dạng hộp hàn, bề rộng trong của tiết diện là 730 mm, chiều cao bản đứng là 880 mm, và độ dày bản từ 24 mm đến 36 mm. Thanh xiên bụng có tiết diện chữ H, cao 730 mm, bề rộng cánh là 700 mm và độ dày bản từ 16 mm đến 24 mm. Các thanh thượng dây, hạ dây và thanh xiên bụng được liên kết với nhau bằng bu lông cường độ cao M27. Dầm thép giàn gia cường chỉ có liên kết ngang phía trên, các thanh chéo và thanh giằng cũng có tiết diện chữ H, được bố trí theo dạng chữ N. Liên kết giữa thanh ngang phía trên và nút thượng dây sử dụng bu lông cường độ cao M24.

4.3. Cấu tạo nút liên kết

Liên kết giữa dầm chính và dầm thép giàn là một trong những điểm khó trong thiết kế cầu này. Độ tin cậy của liên kết trực tiếp quyết định hiệu quả của dầm thép giàn gia cường và thậm chí ảnh hưởng đến khả năng chịu lực cũng như độ an toàn của toàn bộ kết cấu. Nút dưới của dầm thép giàn được thiết kế dạng toàn khối, chôn sâu 80cm vào dầm chính và liên kết với dầm thông qua khóa cắt PBL và đinh cắt. Các thanh xiên bụng của dầm thép giàn được liên kết với nút dưới bằng bu lông cường độ cao, như thể hiện trong Hình 3-3-27.

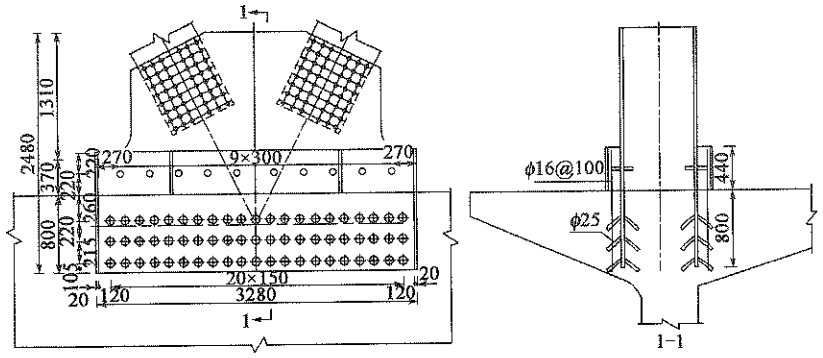


Hình 3-3-27: *Hình chiếu ba chiều của nút dưới*

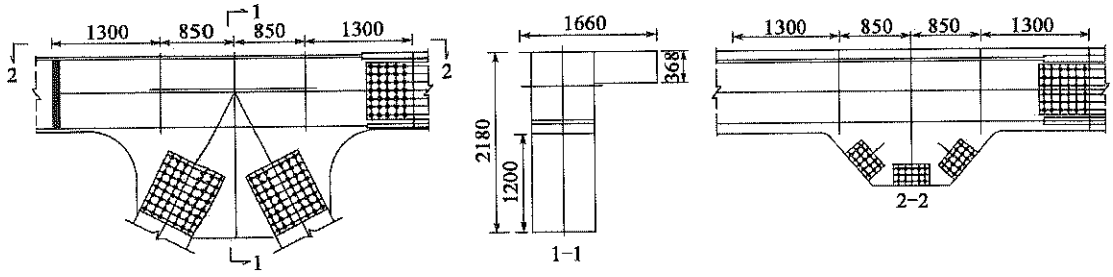
Trong quá trình thi công dầm liên tục bê tông, nút dưới của dầm thép giàn được chôn sẵn.

Sau khi tính toán, đường kính lỗ khóa cắt PBL được chọn là 65 mm, với 48 khóa cho nút tại đầu dầm và 63 khóa cho nút giữa, khoảng cách lỗ là 150 mm × 220 (215) mm. Kết quả tính toán cho thấy không cần bố trí thanh thép ngang xuyên qua. Tuy nhiên, để đảm bảo độ tin cậy của liên kết, thiết kế đã bổ sung các thanh thép uốn cong đường kính 25 mm trong lỗ khóa. Ngoài ra, trên tấm thép nhô ra tại mặt trên dầm chính, bố trí đinh cắt đường kính 22 mm nhằm tăng cường độ chắc chắn của liên kết. Cấu tạo liên kết giữa dầm thép giàn và dầm chính được thể hiện trong Hình 3-3-28.

Tại các nút chôn sẵn, các thanh thép thường trong dầm hộp được bố trí liên tục theo phương dọc. Các thanh thép ngang và thép đai tại tấm trên được cắt tại vị trí nút và xử lý bằng cách hàn lại. Đầu các thanh thép được uốn xuống theo dạng chữ L và hàn đối xứng nhằm giảm tác động nhiệt lên tấm thép. Lỗ cho các bó cáp dự ứng lực trên tấm thép chặn dọc hai bên cũng được khoan tại công trường nhằm tránh khó khăn khi xuyên cáp do biến dạng hoặc sai số trong thi công. Cấu tạo nút liên kết được thể hiện trong Hình 3-3-29.



Hình 3-3-28: *Cấu tạo liên kết giữa dầm thép giàn và dầm chính (Đơn vị kích thước: mm)*



Hình 3-3-29: *Cấu tạo nút thượng dây của dầm thép giàn (Đơn vị kích thước: mm)*

III. CẦU VÒM TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

1. Cầu vòm có dây treo bằng bê tông

Cầu vòm có dây treo thường được sử dụng khi cầu có nhịp lớn mà cầu dầm đơn giản hoặc cầu dầm liên tục không thể đáp ứng được. Các loại cầu vòm có dây treo bằng bê tông phổ biến bao gồm cầu vòm có dây treo một nhịp đơn giản và cầu vòm có dây treo liên tục.

1.1. Cầu vòm có dây treo nhịp đơn

Cầu vòm có dây treo nhịp đơn vượt qua chỉ bằng một nhịp. Loại cầu này có sơ đồ nhịp và phương pháp thi công linh hoạt, đồng thời có tính thẩm mỹ cao, thường được sử dụng cho các cầu đường sắt cao tốc ở khu vực ngoại ô thành phố. Trong cầu vòm có dây treo nhịp đơn, lực dọc trục trong dây treo tạo ra lực ngang tại chân vòm, cân bằng với lực dọc trục của dây treo trong hệ thống, khiến các trụ cầu chỉ chịu tải trọng thẳng đứng mà không chịu lực đẩy ngang, tương tự như vai trò của cầu dầm đơn giản đối với trụ cầu.

Để đáp ứng yêu cầu về độ bằng phẳng của tuyến đường và độ cứng của kết cấu, dầm chính của cầu đường sắt cao tốc vòm có dây treo nhịp đơn thường sử dụng dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực, trong đó các bó cáp dự ứng lực được bố trí trong dầm để cân bằng lực đẩy tại chân vòm. Các sơ đồ nhịp phổ biến là 64 m, 96 m, 128 m, và các loại này có thể kết hợp với cầu dầm nhịp đơn 32 m để tạo thành sơ đồ nhịp tiêu chuẩn theo mô đun.

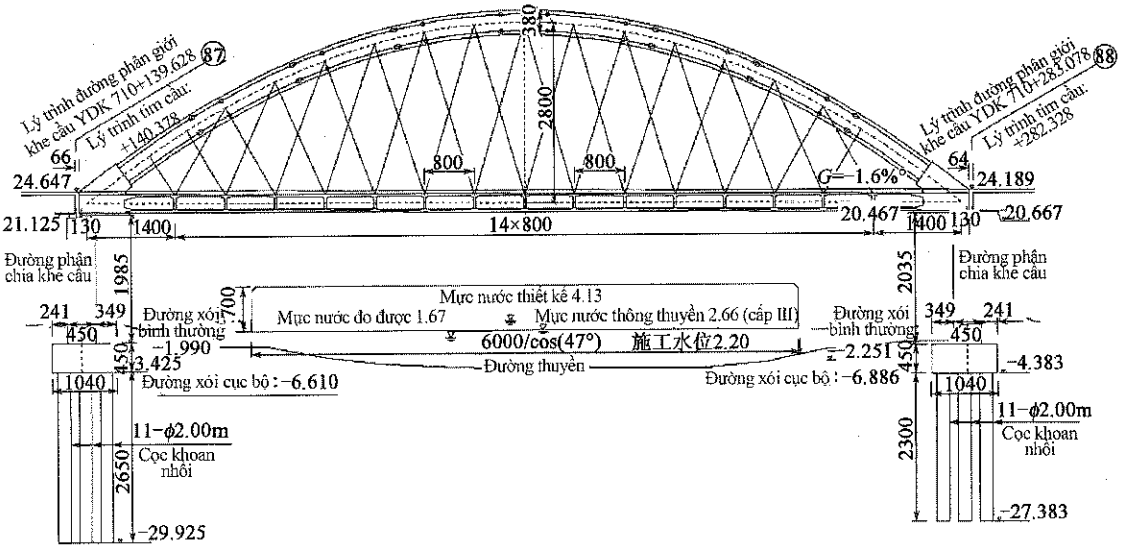
Phương pháp thi công cầu vòm có dây treo nhịp đơn thường áp dụng một trong hai phương án: thi công dầm trước, vòm sau hoặc thi công vòm trước, dầm sau. Đối với các cầu vòm bắc qua tuyến đường sắt hiện hữu, đôi khi phương án thi công dầm trước, vòm sau kết hợp xoay cầu cũng được sử dụng.

Ví dụ:

Cầu lớn Tây Thiều Khê (nhánh phải) trên tuyến đường sắt Thương Hợp - Hàng Châu cần xây dựng cầu có nhịp lớn hơn 140 m để đáp ứng yêu cầu thông thuyền hai chiều qua một nhịp. Do khu vực xây cầu có địa hình bằng phẳng, việc sử dụng cầu vòm có dây treo bằng bê tông cốt thép ống thép có thể giúp giảm chiều cao kết cấu, rút ngắn chiều dài cầu dẫn và tiết kiệm chi phí xây dựng. Vì vậy, cầu chính được thiết kế là cầu vòm có dây treo nhịp đơn 140 m.

Dựa trên điều kiện thực tế tại hiện trường và yêu cầu của cơ quan quản lý đường thủy, phương án thi công vòm trước, dầm sau được lựa chọn để tránh phải tạm

ngưng hoạt động của luồng đường thủy trong quá trình thi công, đồng thời đảm bảo khả năng thông thuyền trong suốt thời gian xây dựng. Sơ đồ bố trí mặt đứng của cầu chính được thể hiện trong Hình 3-3-30.



Hình 3-3-30: *Sơ đồ mặt đứng cầu chính cầu lớn Tây Thiều Khê nhánh phải*
(Đơn vị kích thước: cm, đơn vị cao trình: m)

(1) Thiết kế vòm

Chiều dài toàn bộ dầm là 142,6 m, chiều dài tính toán nhịp là 140 m, tỷ số độ cao vòm trên nhịp là 1/5, với độ cao vòm trong mặt phẳng là 28 m. Vòm được thiết kế theo đường cong parabol, với phương trình:

$$y = -0.005714286x^2 + 0.8x$$

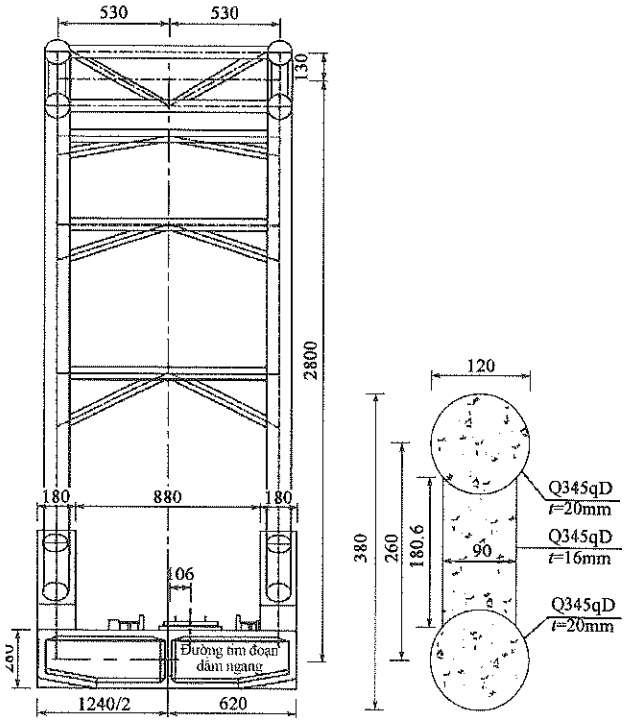
trong đó: x - khoảng cách từ đỉnh vòm đến điểm tính toán.

Tiết diện ngang của vòm có dạng hình quả tạ, là kết cấu thép ống bê tông. Chiều cao tiết diện vòm là 3,8 m và được giữ nguyên dọc theo chiều dài vòm. Các ống thép có đường kính 1,2 m, được chế tạo từ thép tấm dày 20 mm cuộn thành. Hai ống thép của mỗi nhịp vòm được kết nối với nhau bằng hai bản bụng dày 16 mm, giữa hai bản bụng có các thanh giằng được hàn để tăng cường độ cứng. Mặt cắt ngang cầu và mặt cắt vòm được thể hiện trong Hình 3-3-31.

Các ống thép trên, dưới và phần bụng đều là kết cấu tổ hợp thép - bê tông, bên trong ống thép và phần bụng được đổ đầy bê tông C55 không co ngót. Bê tông được bơm thi công theo phương pháp "bơm liên tục đẩy lên" từ chân vòm đến đỉnh vòm, thực hiện theo thứ tự: bơm vào ống thép trên trước, sau đó ống thép dưới, cuối cùng là phần bụng.

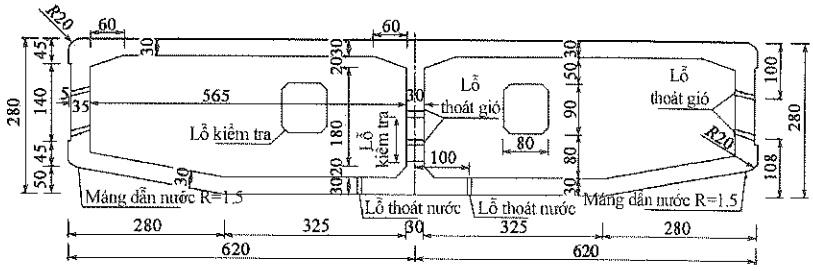
(2) Thiết kế dây treo

Dây treo được bố trí theo dạng dầm hộp đơn hai khoang, sử dụng kết cấu hộp bê tông cốt thép dự ứng lực. Do cầu nằm trên đoạn cong của tuyến đường, để thuận tiện cho việc thi công dây treo vòm, tuyến đường cong được bố trí theo dạng chia đều mũi tên trung tuyến. Dầm chính được thi công dưới dạng dầm cong thực hiện thẳng, và bề rộng mặt cầu được điều chỉnh để đáp ứng yêu cầu của tuyến đường. Sau khi mở rộng, dầm hộp có bề rộng là 12,4 m. Mặt cắt dây treo được thể hiện trong Hình 3-3-32.



a) MCN Cầu b) Mặt cắt vòm ống thép nhồi bê tông

Hình 3-3-31: *Bố trí mặt cắt ngang cầu chính cầu lớn Tây Thiều Khê nhánh phải (Đơn vị kích thước: cm)*



Hình 3-3-32: *Mặt cắt dầm hộp dây treo cầu chính cầu lớn Tây Thiều Khê nhánh phải (Đơn vị kích thước: cm)*

Chiều cao của dầm hộp là 2,8 m, độ dày đáy dầm và mặt dầm đều là 30 cm, độ dày bản thành bên là 35 cm, độ dày bản thành giữa là 30 cm. Đáy dầm được nâng lên 0,5 m trong phạm vi 2,8 m để giảm sức cản của gió. Tại các vị trí treo dây, bố trí dầm ngang với độ dày từ 0,4 m đến 0,6 m. Ở hai đầu của dầm hộp, bố trí các cửa vào cho phép kiểm tra và bảo dưỡng dây treo bên trong hộp. Mỗi khoang dầm đều có các cửa kiểm tra giúp thuận tiện cho việc kiểm tra và thay thế dây treo. Đáy dầm được bố trí các rãnh thoát nước và lỗ thoát nước, các lỗ thông gió được bố trí trên thành bên và thành giữa của dầm.

Do ảnh hưởng của việc bố trí theo đường cong, khe nối giữa cầu chính và cầu dầm đơn đạt 66 cm, phần bản mặt bên của cầu dầm đơn được thiết kế nhô ra để đảm bảo sự liên kết về giới hạn và các công trình phụ trợ giữa cầu chính và cầu dầm đơn.

Do cầu được thi công theo phương án "vòm trước, dầm sau", để giảm lực đẩy ngang tại đầu trụ cầu, trong dầm hộp có bố trí các dây treo và căng dây theo từng giai đoạn trong quá trình thi công. Toàn bộ cầu sử dụng 16 dây treo, mỗi dây gồm 19 sợi cáp dự ứng lực cường độ cao, ít giãn có đường kính 15,20 mm. Khi dây treo đi qua các bản ngăn ngang và đoạn đặc ở đầu dầm hộp, tại miệng lỗ được bố trí thêm các tấm đệm bảo vệ mềm để tránh làm hư hại vỏ ngoài của dây treo trong quá trình căng.

(3) Chân vòm

Tại vị trí chân vòm, dầm hộp trong phạm vi 7,3 m theo phương dọc cầu được thiết kế là đoạn đặc, với chiều rộng theo phương ngang cầu là 12,4 m. Tại các đoạn chuyển tiếp, bố trí vát mép hoặc đoạn đặc chuyển tiếp. Bên trong đoạn đặc bố trí các bó cáp dự ứng lực ngang, chia thành hai hàng trên và dưới, được căng từng đợt. Phần bê tông tại chân vòm được đổ làm hai lần. Trước khi đổ bê tông lần thứ nhất, cần lắp đặt các ống thép vòm và vật liệu gia cường tại vị trí. Sau khi hoàn tất thi công tải trọng tĩnh giai đoạn hai, tiến hành đổ bê tông lần thứ hai.

Theo tiêu chuẩn thiết kế đường sắt cao tốc, chỉ quy định chiều dài phần dầm nhô ra là 0,75 m và giới hạn góc xoay tại đầu dầm. Tuy nhiên, do yêu cầu về cấu tạo khung chôn sẵn tại chân vòm, chiều dài dầm nhô ra được thiết kế lớn hơn 0,75 m. Dựa trên ảnh hưởng của góc xoay tại đầu dầm đến độ bằng phẳng của đường ray và sau khi thảo luận với đơn vị thiết kế đường ray, góc xoay tại đầu dầm được kiểm soát sao cho độ nâng và độ lún của ray do góc xoay gây ra không vượt quá 1 mm. Kết hợp với các yêu cầu về cấu tạo và giới hạn tại đầu dầm, khoảng cách từ tâm gối đến đầu dầm được thiết kế là 1,3 m.

(4) Dây treo

Dây treo được bố trí theo hệ thống Nielsen, trong đó:

- Góc nghiêng của dây treo trong mặt phẳng dọc cầu dao động từ 57,166° - 72,535°.

- Góc nghiêng theo phương ngang là 90°.
- Khoảng cách dọc giữa các dây treo là 8m và khoảng cách ngang là 10,8 m.
- Khoảng cách ngang giữa tâm hai dây treo chéo là 0,34 m.

Mỗi dây treo sử dụng 127 sợi thép cường độ cao, ít giãn, có đường kính 7 mm, với đầu neo đúc nguội. Vỏ ngoài của dây treo được làm bằng vật liệu PES (FD) chống ăn mòn và được bọc thêm lớp bảo vệ bằng thép không gỉ.

(5) Giằng ngang

Giữa hai vòm được bố trí tổng cộng 7 giằng ngang. Tại đỉnh vòm, bố trí giằng hình chữ M kết hợp với hai giằng ngang dạng chữ I. Giữa đỉnh vòm và chân vòm, bố trí 6 giằng ngang dạng chữ K. Các giằng ngang được làm từ ống thép tròn có đường kính 600 mm, 500 mm và 360 mm. Bên trong ống thép không đổ bê tông và bề mặt ngoài của ống được xử lý chống ăn mòn.

(6) Phương án thi công

Cầu chính được thi công theo phương án "vòm trước, dầm sau". Ý tưởng tổng thể là đổ bê tông đoạn đặc của dầm hộp ngay tại vị trí cầu với chiều dài mỗi đoạn đổ là 16,8m. Vòm được lắp ráp từ các đoạn vòm thép chế tạo sẵn tại nhà máy và lắp ghép trên giá đỡ dựng sẵn tại bờ sông. Sau khi hoàn tất lắp ghép, tiến hành cẩu lắp toàn bộ vòm thép vào vị trí thiết kế. Dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực được đổ tại chỗ bằng phương pháp đổ hẫng cân bằng, đồng thời lắp đặt dây treo và căng cáp dự ứng lực trong dầm hộp theo từng đợt dựa trên lực đẩy ngang tại chân vòm.

➢ ***Các bước thi công chính:***

1- Thi công móng.

2- Thi công trụ cầu.

3- Dựng giá đỡ và đổ bê tông chân vòm, cố định tạm thời vòm tại đỉnh trụ.

4- Lắp ráp các đoạn vòm thép tại bờ sông.

5- Cẩu lắp từng đoạn vòm thép vào vị trí thiết kế, hàn liên kết vòm thép với chân vòm đã chừa sẵn.

6- Bơm bê tông vào ống thép trên và dưới của vòm, sau khi bê tông đạt 90% cường độ thiết kế, tiến hành căng hai dây treo.

7- Lắp đặt hệ giằng dây treo và neo tạm thời dây treo.

8- Bơm bê tông vào phần bụng của vòm, sau khi bê tông đạt 90% cường độ thiết kế, tiếp tục căng hai dây treo khác.

9- Lắp đặt hệ thống đổ hẫng cân bằng và thi công đoạn dầm hộp số 2 (2').

10- Lắp đặt và căng dây treo khi thi công từng đoạn dầm hộp tiếp theo, lần lượt hoàn thiện các đoạn dầm hộp từ số 3 (3') đến số 8 (8').

11- Sau khi bê tông dầm hộp đạt 95% cường độ thiết kế, tiến hành căng dây treo tại từng giai đoạn.

12- Đổ bê tông đoạn hợp long của dầm hộp, sau khi bê tông đạt 95% cường độ thiết kế, tháo hệ thống đổ hẫng và tháo các liên kết tạm thời tại chân vòm.

13- Căng dây treo và tháo hệ neo tạm thời, kiểm tra và điều chỉnh lực căng của dây treo theo thiết kế.

14- Căng toàn bộ các cáp dự ứng lực còn lại trong dầm hộp và bơm vữa vào ống cáp dự ứng lực.

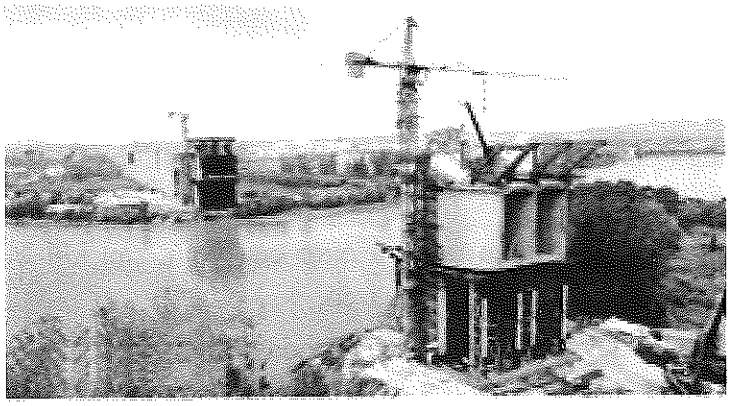
15- Lắp đặt tải trọng tĩnh giai đoạn hai và kiểm tra lại lực căng của dây treo, điều chỉnh nếu cần thiết.

16- Xử lý chống gỉ và sơn phủ các ống thép theo thiết kế.

17- Hoàn thiện thi công cầu.

1.3. Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm

Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm là một loại kết cấu mới, trong đó toàn bộ hệ thống cầu được cấu thành bởi vòm, dầm treo, dây treo, và hệ mặt cầu. Kết cấu này khắc phục được nhược điểm của cầu vòm thông thường vốn yêu cầu nền móng rất vững chắc và cầu dầm liên tục vốn yêu cầu vật liệu có cường độ cao, đồng thời cải thiện đáng kể tình trạng chịu lực lớn của mô men uốn và lực cắt trong cầu dầm liên tục. Loại cầu này phát huy tối đa ưu điểm của cầu vòm và cầu dầm liên tục bằng bê tông, với các đặc tính nổi bật như ổn định động lực học tốt, độ cứng lớn, khả năng vượt nhịp lớn, dễ thi công, tính thẩm mỹ cao, và giá trị kinh tế kỹ thuật cao.



Hình 3-3-33: *Thi công đoạn số 0 bằng phương pháp đúc hẫng cân bằng của cầu liên tục dầm - vòm vượt sông Tây Đường*

Hiện nay, cầu kết hợp liên tục dầm - vòm có nhịp lớn nhất trên đường sắt cao tốc tại Trung Quốc là cầu lớn vượt sông Tây Đường trên tuyến đường sắt cao tốc Từ Túc - Hoài Nam - Diêm Thành, với sơ đồ nhịp (100 + 200 + 100)m, dự kiến hoàn thành và đưa vào sử dụng vào năm 2019, như thể hiện trên Hình 3-3-33.

❖ ***Đặc điểm chịu lực của cầu kết hợp liên tục dầm - vòm***

Đặc điểm chịu lực của loại cầu này có thể được tóm gọn như sau: dầm và vòm cùng tham gia chịu lực.

- Dầm chính chịu mô men uốn và lực kéo.
- Vòm chịu chủ yếu lực nén dọc trục.
- Lực cắt chủ yếu được chịu bởi thành phần lực thẳng đứng của lực dọc trục trong vòm.
- Bằng cách điều chỉnh lực căng trong các dây treo, có thể đưa dầm chính vào trạng thái chịu lực tối ưu. Dựa trên phân bố nội lực của cầu kết hợp liên tục dầm - vòm, kết cấu này giúp tăng độ cứng theo phương thẳng đứng của kết cấu, giảm mô men uốn và lực cắt cực đại, từ đó giảm chiều cao tiết diện của dầm, khiến tổng thể cầu trở nên nhẹ nhàng hơn và thanh thoát hơn.

❖ ***Thống kê kết cấu cầu kết hợp liên tục dầm - vòm***

Theo thống kê, các cầu kết hợp liên tục dầm - vòm trên đường sắt cao tốc thường sử dụng kết cấu vòm thép ống bê tông, với các dạng tiết diện phổ biến như:

- Tiết diện hình quả tạ.
- Dầm giàn ba nhánh nghiêng dạng giỏ xách.
- Vòm thép hộp kép song song.

Trong đó, tiết diện hình quả tạ có chiều cao đồng nhất chiếm 84,22% tổng số công trình. Tỷ số độ cao vòm trên nhịp thường được chọn là 1:5, ngoài ra còn có một số tỷ số khác như 1:6 và 1:4. Đường cong của trục vòm ảnh hưởng trực tiếp đến phân bố nội lực trong tiết diện của vòm chính, và phân bố nội lực này lại ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng khai thác và tuổi thọ của cầu. Hiện tại, các cầu kết hợp liên tục dầm - vòm trên đường sắt cao tốc đều sử dụng đường cong parabol bậc hai cho trục vòm.

❖ ***Phương pháp thi công cầu kết hợp liên tục dầm - vòm***

Có hai phương pháp thi công chính cho cầu loại này:

1- Thi công dầm trước, vòm sau.

2- Thi công vòm trước, dầm sau.

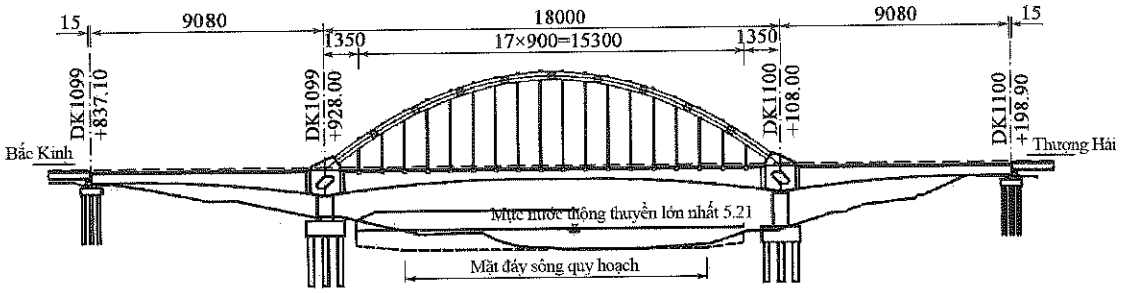
Theo khảo sát, tất cả các cầu kết hợp liên tục dầm - vòm trên đường sắt cao tốc đều được thi công theo phương pháp dầm trước, vòm sau. Trong quá trình thi công dầm liên tục, có thể sử dụng các phương pháp như:

- Đổ bê tông toàn khối trên hệ giá đỡ.
- Thi công đúc hẫng cân bằng.
- Đẩy dầm theo phương ngang.
- Thi công xoay cầu.
- Thi công lắp ghép bằng hệ cáp treo.

Phương pháp giá đỡ là dựng hệ giá đỡ tại vị trí cầu và đổ bê tông cầu trực tiếp trên hệ giá đỡ này. Phương pháp đúc hẫng cân bằng bắt đầu từ trụ cầu, sau đó thi công từng đoạn dầm hộp về hai phía. Khi bê tông đạt cường độ thiết kế, hệ khuôn đúc hẫng được đẩy về phía trước để đúc tiếp các đoạn dầm tiếp theo. Phương pháp xoay cầu là đúc sẵn hai nửa cầu tại vị trí thích hợp trên hệ giá đỡ đơn giản, sau đó dùng kết cấu cầu làm thân quay và xoay hai nửa cầu về đúng vị trí thiết kế để hợp long. Phương pháp thi công vòm chủ yếu là lắp đặt bằng hệ giá đỡ, dùng cần trục để dựng đứng hoặc lắp ráp tại vị trí khác rồi vận chuyển đến vị trí cầu để lắp đặt.

➢ **Ví dụ điển hình: Cầu lớn Kinh Hàng trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải**

Cầu lớn Kinh Hàng bắc qua kênh đào Kinh Hàng tại Trấn Giang sử dụng kết cấu cầu kết hợp liên tục dầm - vòm kiểu dưới với sơ đồ nhịp (90 + 180 + 90)m, trong đó nhịp giữa dài 180m vượt qua toàn bộ kênh đào, không chỉ đáp ứng yêu cầu thông thuyền mà còn tránh được việc xây dựng trụ cầu giữa lòng sông, giúp giảm chi phí thi công móng cọc và bệ trụ, cũng như giảm thiểu ảnh hưởng đến luồng giao thông thủy trong suốt quá trình thi công, như thể hiện trong Hình 3-3-34.



Hình 3-3-34: *Bố trí mặt đứng cầu chính cầu lớn Kinh Hàng tại Trấn Giang (Đơn vị kích thước: cm)*

Việc sử dụng kết cấu vòm thép ống bê tông giúp tăng đáng kể độ cứng và tính ổn định theo phương thẳng đứng của nhịp giữa, từ đó giảm chiều cao kết cấu dầm chính, hạ thấp cao độ mặt cầu tại giữa nhịp, rút ngắn chiều dài cầu dẫn và giảm đáng kể chi phí xây dựng. Về mặt cảnh quan, cầu lớn Kinh Hàng là một điểm nhấn trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, với kết cấu vòm tạo nên nhịp điệu

uyển chuyển, hòa quyện với cảnh quan thiên nhiên xanh tươi xung quanh, khiến cây cầu trở nên hoành tráng và ấn tượng.

(1) Cấu tạo dầm chính

Dầm chính là kết cấu bê tông dự ứng lực, sử dụng tiết diện hộp đơn hai khoang với chiều cao thay đổi.

- Tại giữa nhịp và điểm gối đỡ của nhịp biên, chiều cao dầm là 4,5m.
- Tại điểm gối đỡ giữa nhịp, chiều cao dầm là 10,0m và thay đổi theo đường cong tròn.

Bề rộng mặt trên của dầm là 14,2m, và tại điểm gối đỡ giữa nhịp, bề rộng cục bộ tăng lên 16,5m.

- Độ dày mặt trên dầm là 0,42m, tại điểm gối đỡ giữa nhịp, độ dày cục bộ là 1,02m, và tại điểm gối đỡ nhịp biên, độ dày cục bộ là 0,72m.

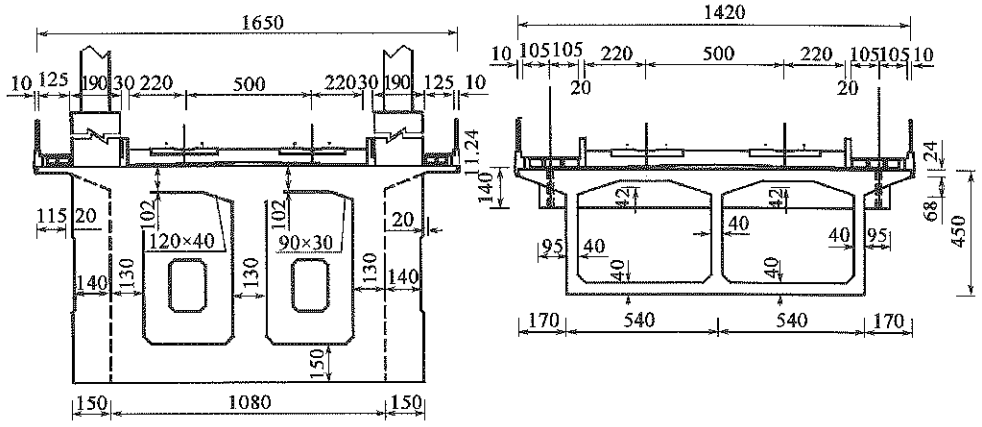
Bề rộng đáy của dầm là 10,8m, tại điểm gối đỡ giữa nhịp, bề rộng cục bộ tăng lên 13,8m.

- Độ dày đáy dầm dao động từ 0,40m đến 1,049m, tại điểm gối đỡ giữa nhịp, độ dày cục bộ là 1,50m, và tại điểm gối đỡ nhịp biên, độ dày cục bộ là 0,85m.

Thành dầm là thành thẳng, với các độ dày khác nhau: 0,40m, 0,55m, và 0,70m.

- Tại điểm gối đỡ giữa nhịp, độ dày cục bộ của thành dầm là 1,30m, và tại điểm gối đỡ nhịp biên, độ dày cục bộ là 0,85m.

Tiết diện tại vùng lân cận điểm gối đỡ giữa nhịp và tiết diện giữa nhịp được thể hiện trong Hình 3-3-35.



a) Mặt cắt gốc nhịp giữa b) Mặt cắt giữa nhịp

Hình 3-3-35: *Bố trí mặt cắt ngang cầu chính cầu lớn Kinh Hàng tại Trấn Giang (Đơn vị kích thước: cm)*

Dầm chính được bố trí tổng cộng 6 tấm ngăn ngang, với:

- Độ dày tấm ngăn ngang tại điểm gối đỡ nhịp biên là 1,6 m.

- Độ dày tấm ngăn ngang tại điểm gối đỡ giữa nhịp là 4,0 m.

- Hai tấm ngăn ngang giữa nhịp chính có độ dày 0,4 m, mỗi tấm đều có cửa vào kiểm tra.

Tại các vị trí dây treo, dầm chính được bố trí tổng cộng 18 dầm ngang treo, với chiều cao dầm ngang gồm hai loại: 1,5 m và 1,4 m, và độ dày dầm ngang là 0,4 m.

Dầm chính được chia thành 79 đoạn dầm, bao gồm:

- Đoạn dầm số 0 tại vị trí kết hợp giữa dầm và vòm, dài 17 m.

- Đoạn dầm hợp long giữa nhịp dài 3,0 m.

- Các đoạn dầm thẳng nhịp biên dài 6,8 m.

- Các đoạn dầm còn lại có chiều dài lần lượt là 3,0 m, 3,5 m, 4,0 m, và 4,5 m.

Ngoài đoạn dầm số 0 và các đoạn dầm thẳng tại nhịp biên được thi công trên giá đỡ, các đoạn dầm còn lại đều được thi công bằng phương pháp đổ hẫng cân bằng bằng xe đúc hẫng. Khối lượng lớn nhất của một đoạn dầm đúc hẫng lên tới 3374 kN.

(2) Vòm

Chiều dài tính toán nhịp của vòm là L = 180,0 m, chiều cao thiết kế f = 36,0 m, tỷ số f/L = 1:5. Trục vòm được thiết kế theo đường cong parabol bậc hai với phương trình:

$$Y = -\frac{1}{225x^2} + 0.8x$$

Tại đỉnh vòm, thiết kế độ vồng trước lớn nhất là 0,126 m, chiều cao thi công của vòm là 32,126 m, và phương trình trục vòm thi công là:

$$Y = -0.004460x^2 + 0.802800x$$

Toàn bộ quá trình gia công và lắp ráp vòm đều sử dụng trục vòm thi công.

Vòm là kết cấu thép ống bê tông, với tiết diện hình quả tạ có chiều cao không đổi là 3,1 m. Đường kính ống thép của dây trên và dây dưới là 1,1 m, được chế tạo từ thép tấm có độ dày 20 mm và 24 mm. Các ống thép được kết nối với nhau bằng bản bụng thép dày 16 mm, bên trong ống thép và bản bụng được đổ bê tông vi giãn nở. Mặt cắt ngang vòm được thể hiện trong Hình 3-3-36a.

Khoảng cách trung tâm giữa hai vòm là 11,9 m.

Các ống thép của vòm được gia công tại nhà máy và vận chuyển đến công trường để lắp ráp. Mỗi vòm được chia thành 14 đoạn vận chuyển, với chiều dài đoạn lớn nhất nhỏ hơn 15,0 m. Trên mỗi vòm, các ống thép dây trên và dây dưới được bố trí một tấm ngăn bê tông và 36 vòng thép gia cường. Bên trong bản bụng thép bố trí 3

tấm ngăn bê tông và các thanh giằng gia cường được đặt dọc theo trục vòm với khoảng cách 0,5 m.

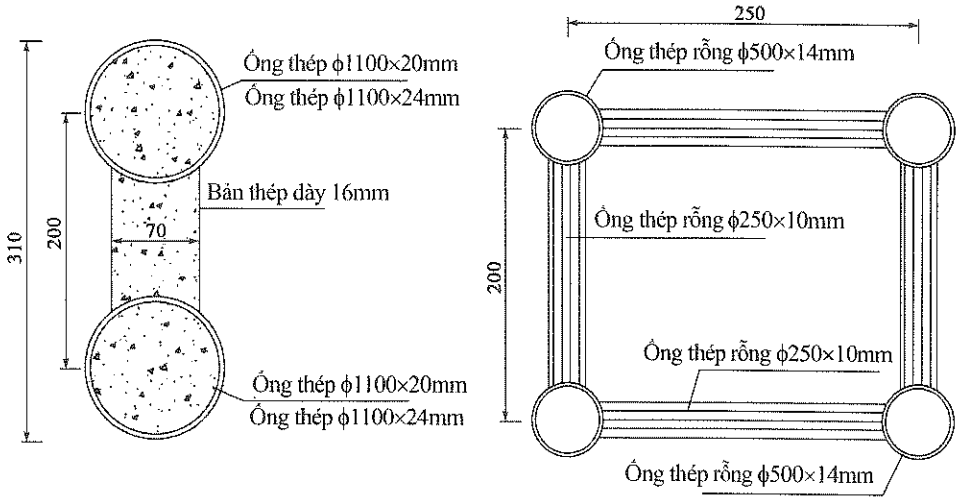
(3) Giằng ngang

Giữa hai vòm được bố trí 9 giằng ngang, tất cả đều sử dụng kết cấu giàn không gian. Mỗi giằng ngang được cấu tạo từ 4 ống thép chính có kích thước 500 × 14 mm và 32 ống thép kết nối có kích thước 250 × 10 mm. Bên trong các ống thép không đổ bê tông, mặt cắt giằng ngang được thể hiện trong Hình 3-3-36b.

(4) Dây treo

Dây treo được bố trí với khoảng cách 9m theo phương dọc cầu. Toàn bộ cầu có 18 cặp dây treo đôi, sử dụng dây cáp chống ăn mòn cường độ cao PES (FD) 7-61, bao gồm các bó dây thép song song có đường kính nhỏ. Vỏ ngoài của dây cáp được bọc ống thép không gỉ và sử dụng neo đầu đúc nguội loại LZM7-61.

- Đầu trên của dây treo xuyên qua vòm và được neo tại đế căng dây trên mép vòm.
- Đầu dưới được neo vào đế cố định phía dưới dầm ngang tại vị trí treo.



a) Mặt cắt sườn vòm

b) Mặt cắt hệ giằng ngang

Hình 3-3-36: *Mặt cắt vòm và giằng ngang*
(Đơn vị kích thước: cm)

(5) Phương án thi công

Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm truyền một phần tải trọng tĩnh và tải trọng động qua dây treo đến vòm, từ vòm truyền trực tiếp về gối trụ. Lực đẩy ngang sinh ra từ vòm được dầm chính chịu, và dầm chính đồng thời đóng vai trò là dây treo ngang. Cầu này là kết cấu kết hợp giữa dầm liên tục cứng và vòm mềm, trong đó:

- Dầm chính được thi công bằng phương pháp đúc hẫng cân bằng, tự chịu toàn bộ trọng lượng bản thân.
- Tải trọng tĩnh giai đoạn hai và tải trọng động do đoàn tàu gây ra được chia sẻ bởi cả dầm chính và vòm. Dầm chính là kết cấu chịu lực chính của toàn bộ cầu.

Khi hoàn thành, tổng trọng lượng các dây treo là 21400 kN, chiếm 63,9% tổng trọng lượng tải trọng tĩnh giai đoạn hai tại giữa nhịp (33480 kN). Khi toàn bộ cầu chịu tải trọng động do đoàn tàu chạy, vòm chịu 38,4% tổng tải trọng động theo phương thẳng đứng tại nhịp giữa.

Phương án thi công được lựa chọn là "dầm trước, vòm sau", sử dụng mặt cầu liên tục làm bề mặt thi công. Các đoạn vòm thép được lắp ráp trên giá đỡ thấp, sau đó dựng đứng vào vị trí bằng phương pháp xoay dọc trục đứng. Phương pháp này giúp hai kết cấu dầm và vòm bổ trợ lẫn nhau trong quá trình thi công, phát huy tối đa ưu điểm của cả hai loại kết cấu.

Các bước thi công chính:

1- Thi công dầm chính bằng phương pháp đúc hẫng cân bằng.

2- Hợp long dầm chính tại nhịp biên, tháo dỡ trụ tạm.

3- Hợp long dầm chính tại nhịp giữa.

4- Sử dụng mặt cầu làm mặt bằng thi công, lắp ráp các đoạn vòm thép trên giá đỡ thấp.

5- Dựng đứng các đoạn vòm thép bằng hệ cột tháp và thiết bị phụ trợ, hợp long đỉnh vòm và cố định chân vòm.

6- Lần lượt bơm bê tông vào các ống thép trên, dưới và bản bụng.

7- Căng dây treo theo trình tự chỉ định và điều chỉnh lực căng dây treo.

8- Thi công hệ mặt cầu, điều chỉnh lực căng dây treo đạt giá trị thiết kế khi hoàn thành cầu.

1.4. Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm cứng

Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm cứng là một loại kết cấu có sự kết hợp giữa cầu liên tục dầm bê tông dự ứng lực và cầu vòm có dây treo, với đặc điểm cả hai loại cầu cùng tham gia chịu lực. Loại cầu này thường được áp dụng khi yêu cầu khả năng vượt nhịp lớn mà hệ cầu liên tục dầm thông thường không đáp ứng được. Đặc điểm chịu lực cơ bản của cầu này là:

- Trọng lượng bản thân của dầm chính do hệ liên tục dầm chịu.
- Tải trọng tĩnh giai đoạn hai và tải trọng động được chia sẻ giữa vòm và dầm chính.

Vòm là bộ phận chịu nén chính, với đặc tính độ cứng lớn theo phương thẳng đứng. Khi kết hợp với dầm liên tục, dưới tác động của tải trọng thẳng đứng, một phần lực được truyền qua dây treo và vòm trực tiếp về gối trụ của dầm chính, giúp giảm đáng kể mô men tại giữa nhịp và gối trụ của dầm chính. Loại cầu này thường được thiết kế dưới hai dạng chính:

1- Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm.

2- Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm chữ V.

Phương pháp thi công chủ yếu là "thi công dầm trước, thi công vòm sau".

(1) Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm

Trong thiết kế cầu trên tuyến đường sắt cao tốc Thương Hợp - Hàng Châu, để vượt qua các điểm đặc biệt như sông Vô tại Bạc Châu và sông Nghi tại Phụ Dương, cần lựa chọn loại cầu có khả năng vượt nhịp lớn, vừa đảm bảo tính thẩm mỹ, vừa có hiệu quả kinh tế cao. Nếu áp dụng các phương án như cầu vòm có dây treo hoặc cầu liên tục dầm cứng truyền thống, sẽ dẫn đến việc xuất hiện nhiệt độ co giãn lớn, gây ra ứng suất lớn cho đường ray, đòi hỏi phải lắp đặt bộ điều chỉnh co giãn cho đường ray. Tuy nhiên, do các vị trí này đều nằm trên đoạn cong của tuyến đường, theo tiêu chuẩn không được lắp đặt bộ điều chỉnh co giãn, nên phương án cầu kết hợp liên tục dầm - vòm được lựa chọn, với sơ đồ nhịp (88 + 168 + 88)m.

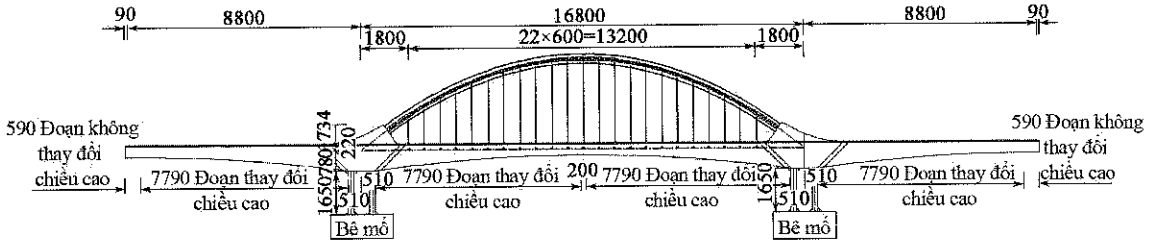
Thiết kế sử dụng dầm hộp đơn hai khoang với tiết diện thay đổi. Chiều rộng mặt cầu là 17,8 m, chiều rộng dầm hộp là 14,4 m. Chiều cao dầm thay đổi theo đường cong parabol bậc hai, tại vị trí gối trụ là 10 m, và tại vị trí hợp long giữa nhịp cũng như các đoạn đổ tại chỗ nhịp biên là 4,5 m. Độ dày thành dầm thay đổi tuyến tính từ 50 cm đến 150 cm. Đáy dầm thay đổi theo đường cong parabol bậc hai, từ 150 cm tại gối trụ giảm dần xuống còn 50 cm tại giữa nhịp. Độ dày mặt trên của dầm là 45 cm. Dầm chính sử dụng bê tông C55.

Các trụ cầu là trụ đôi tường mỏng, khoảng cách giữa tâm hai trụ là 8 m, chiều cao trụ là 16,5 m. Mỗi trụ đơn có tiết diện đặc dạng bản, với độ dày thành là 2 m và chiều rộng theo phương ngang cầu là 16,8 m.

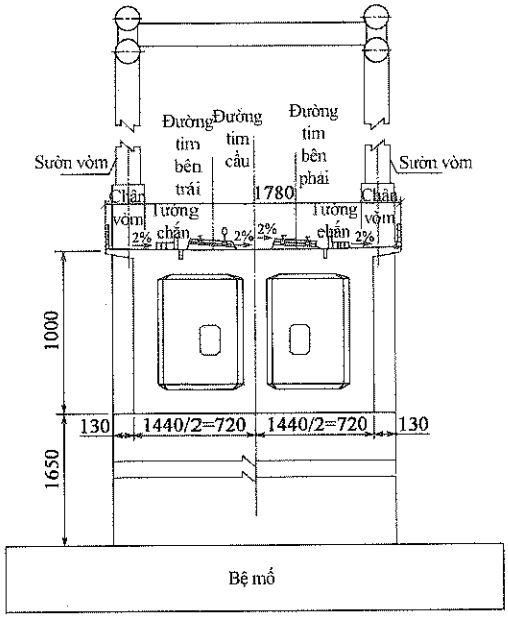
Trục vòm thép ống bê tông được thiết kế theo đường cong parabol bậc hai. Vòm có hai nhánh song song, cùng chiều cao. Tiết diện vòm dạng quả tạ, với chiều cao tiết diện là 3,0 m, đường kính ống thép vòm là 1,2 m và khoảng cách giữa hai tâm vòm là 15 m. Chiều cao vòm (f) là 34 m, với tỷ số f/L = 1:5. Bên trong ống thép vòm được đổ bê tông bù co ngót C55. Dây treo sử dụng cáp thép song song chống ăn mòn PES (FD) 7-151, với cường độ kéo tiêu chuẩn 1670 MPa. Toàn cầu có tổng cộng 23 cặp dây treo.

Để đảm bảo độ cứng và tính ổn định theo phương ngang của vòm, giữa hai vòm bố trí hệ thống giằng ngang dạng chữ I dày đặc với tổng cộng 11 giằng ngang. Giằng ngang có tiết diện hình tròn đường kính 1,2 m, chiều cao tiết diện là 1,8 m, và độ dày thành là 20 mm. Ngoài ra, cầu còn bố trí 4 giằng ngang dạng chữ K, với thanh giằng chéo dạng ống tròn đường kính 0,9 m.

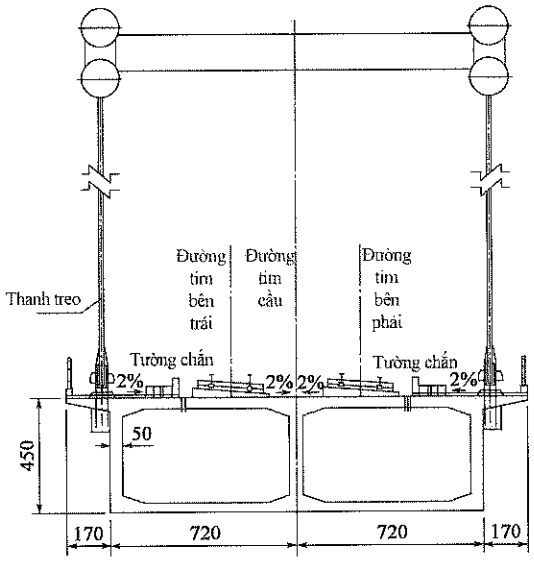
Sơ đồ mặt đứng và mặt cắt ngang của phương án được thể hiện trong Hình 3-3-37 đến Hình 3-3-39.



Hình 3-3-37: *Mặt đứng cầu kết hợp liên tục dầm - vòm (Đơn vị kích thước: cm)*



Hình 3-3-38: *Mặt cắt ngang tại vị trí gối trụ liên kết dầm và trụ (Đơn vị kích thước: cm)*



Hình 3-3-39: *Mặt cắt ngang tại đoạn hợp long giữa nhịp chính (Đơn vị kích thước: cm)*

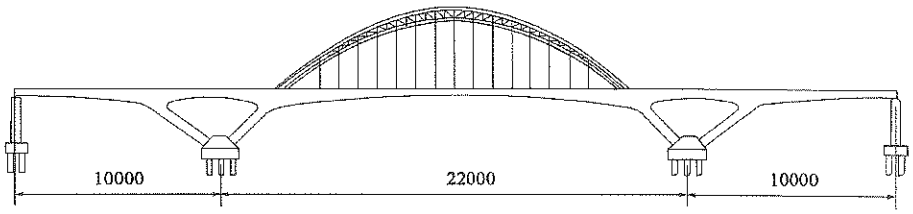
(2) Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm chữ V

Cầu kết hợp liên tục dầm - vòm chữ V sử dụng chân trụ nghiêng dạng chữ V kết hợp với vòm thép ống bê tông tại gối vòm để tạo thành một hệ thống kết cấu mới,

với đặc điểm cả dầm liên tục và vòm cùng tham gia chịu lực. Cầu loại này có tính chất kết cấu khác với cầu kết hợp dầm - vòm thông thường. Phần kết cấu trên bao gồm dầm liên tục chữ V làm bộ phận chính và vòm thép ống bê tông làm bộ phận gia cường. Loại kết cấu này giúp giảm chiều cao dầm chính, kiểm soát độ võng giữa nhịp và giảm dao động của cầu khi tàu chạy với tốc độ cao.

Trên tuyến đường sắt liên vùng Quảng Châu - Châu Hải (bao gồm đoạn Trung Sơn - Giang Môn), cầu lớn Tiểu Lãng Thủy Đạo là cầu đôi, khoảng cách giữa hai tuyến đường là 4,4 m, với tổng chiều dài cầu là 7686,57 m. Nhịp chính của cầu có sơ đồ (100 + 220 + 100) m, là cầu kết hợp liên tục dầm - vòm chữ V lớn nhất tại Trung Quốc, và là công trình đầu tiên sử dụng loại kết cấu này trên tuyến đường sắt cao tốc dành cho hành khách, như thể hiện trong Hình 3-3-40.

Dầm chính và trụ chữ V của cầu Tiểu Lãng Thủy Đạo đều có tiết diện dầm hộp đơn hai khoang. Chiều cao dầm tại gối trụ chữ V là 7,8 m, tại giữa nhịp chính và nhịp biên là 3,8m, và tại chân trụ chữ V, chiều cao dầm nhỏ nhất là 4,8 m. Vòm sử dụng kết cấu giàn dạng chữ N, với khoảng cách giữa tâm hai vòm là 12,2 m và toàn cầu có tổng cộng 15 cặp dây treo.



Hình 3-3-40: *Sơ đồ mặt đứng cầu lớn Tiểu Lãng Thủy Đạo (Đơn vị kích thước: cm)*

❖ *Phương án thi công*

Cầu Tiểu Lãng Thủy Đạo áp dụng phương pháp thi công "dầm trước, vòm sau". Thi công bệ trụ bằng cách sử dụng hệ cọc vây thép tấm, trụ chữ V được thi công bằng phương pháp kết hợp giữa trụ tạm và thanh giằng ngang. Dầm chính được thi công bằng phương pháp đúc hẫng cân bằng bằng xe đúc. Vòm thép ống bê tông được lắp ráp theo phương pháp lắp ngang tại mặt đất.

Các đoạn vòm được chia thành hai phần phía nam và phía bắc, lắp ráp từ chân vòm đến đỉnh vòm. Sử dụng cần trục tháp tại hai bờ để lắp đặt đoạn chân vòm đầu tiên, sau đó thi công tháp cáp và hệ thống cáp treo trên mặt cầu (Hình 3-3-41). Các đoạn vòm tiếp theo được vận chuyển bằng sà lan đến vị trí dưới cầu, sau đó được cẩu lên giá đỡ và lắp đặt. Sau khi lắp ráp hoàn chỉnh và hàn cố định các đoạn vòm, tiến hành dựng đứng vòm bằng hệ thống tháp cáp. Sau khi hợp long đỉnh vòm, tiến hành lắp đặt và căng dây treo, sau đó đổ bê tông vào ống thép vòm bắt đầu từ chân vòm.

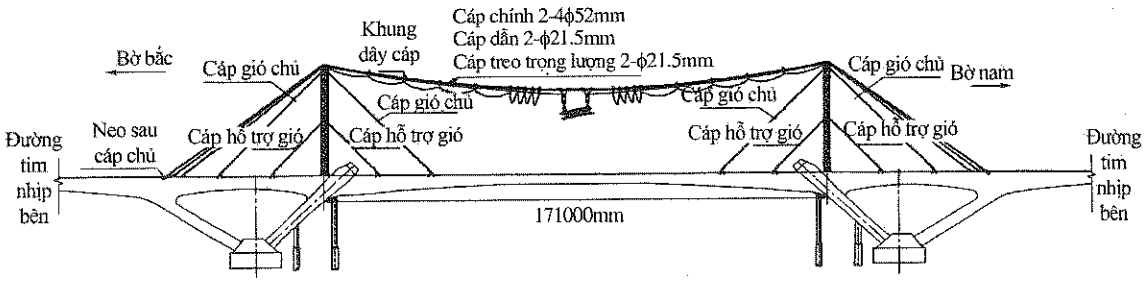
Sau khi hoàn tất toàn bộ các công đoạn thi công, tiến hành tháo dỡ tháp cáp, giá đỡ và các thiết bị phụ trợ (Hình 3-3-42).

2. Cầu kết hợp liên tục dầm giàn thép - vòm

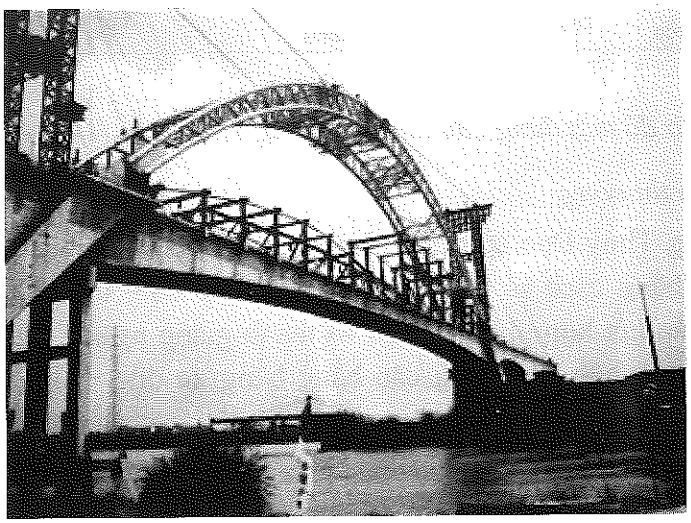
Khi nhịp cầu tăng lớn hơn nữa và dầm bê tông không thể đáp ứng yêu cầu về độ cứng để tàu chạy ổn định, có thể áp dụng hệ kết cấu kết hợp giữa dầm giàn thép liên tục và vòm.

Cầu kết hợp liên tục dầm giàn thép - vòm là một hệ thống kết cấu kết hợp, tùy theo tỷ lệ phân chia tải trọng giữa dầm và vòm, có thể chia thành hai loại:

- Vòm cứng: Chủ yếu vòm chịu lực.
- Vòm mềm: Chủ yếu dầm giàn thép chịu lực.



Hình 3-3-41: Cáp treo lắp dựng và dựng đứng vòm thép



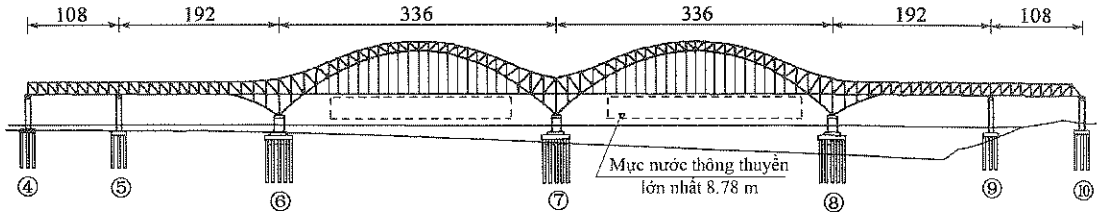
Hình 3-3-42: Cáp treo lắp dựng và dựng đứng vòm thép

2.1. Cầu liên tục dầm giàn thép - vòm

Cầu Trường Giang Đại Thắng Quan tại Nam Kinh là công trình kiểm soát quan trọng trên toàn tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, đồng thời là một

phần quan trọng trong tuyến đường sắt Thượng Hải - Hán Dung và nút giao đường sắt mới xây dựng tại Nam Kinh. Cầu này cũng tích hợp tuyến đôi tàu điện ngầm của thành phố Nam Kinh, giúp tận dụng tối đa vị trí cầu vượt sông.

Bố trí nhịp cầu chủ yếu tập trung vào việc đảm bảo khẩu độ thông thuyền phù hợp với luồng lạch quen thuộc, bao gồm cầu vượt số 3 tại Nam Kinh và thích nghi với sự thay đổi của luồng sông, đồng thời giữ gìn hình thái dòng chảy. Nhịp thông thuyền được thiết kế với khẩu độ lớn nhằm đáp ứng yêu cầu thông thuyền, cụ thể là sơ đồ nhịp (108 + 192 + 336 + 336 + 192 + 108)m cho phương án cầu dầm giàn thép – vòm, như thể hiện trong Hình 3-3-43.



Hình 3-3-43: *Mặt đứng cầu Trường Giang Đại Thắng Quan (Đơn vị kích thước: m)*

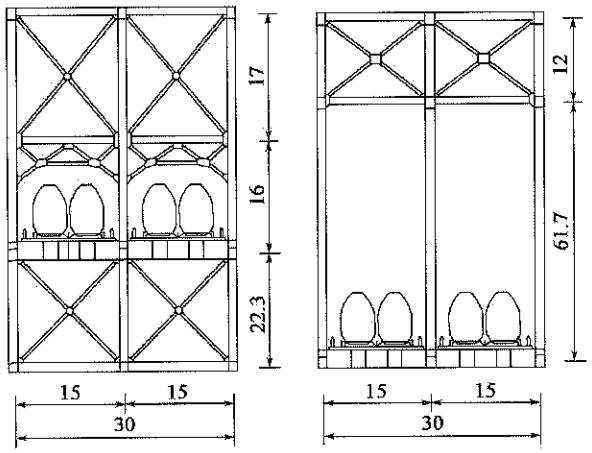
- Vòm chính có chiều cao (f) là 84,0 m, với tỷ số $f/L = 1/4$.
- Tại giữa nhịp chính, chiều cao giàn vòm là 12 m, trong khi tại chân vòm là 47,9 m.
- Kết cấu giàn vòm dạng tam giác, đồng nhất với giàn dầm biên. Khoảng cách tiêu chuẩn giữa các đoạn giàn dầm và giàn vòm là 12 m.
- Các nhịp biên (108m + 192 m) có giàn dầm cao 16m, với tỷ số chiều cao/nhịp lần lượt là 1/6,75 và 1/12.

❖ ***Kết cấu chính:***

Cầu được bố trí với 3 giàn dầm chính, cùng nhau chịu tải trọng của 4 tuyến đường sắt và 2 tuyến tàu điện nhẹ, giúp giảm chiều dài nhịp chịu tải của dầm ngang.

- Khoảng cách giữa các giàn dầm chính là 15,0 m, và tổng chiều rộng của 3 giàn dầm là 30,0 m.
- Giàn dầm chính và giàn vòm được liên kết bằng hệ thống giằng dọc và giằng ngang để đảm bảo tính toàn khối của tiết diện và sự ổn định của vòm.
- Giằng ngang được bố trí tại các mặt phẳng đứng của dầm và vòm để tăng cường độ cứng chống xoắn cho tiết diện.

Đặc điểm bố trí giằng tại gối nhịp biên và nhịp chính được thể hiện trong Hình 3-3-44. Để đáp ứng yêu cầu sử dụng của cầu Trường Giang Đại Thắng Quan, thép kết cấu Q420qE đã được phát triển cho các bộ phận thanh giằng có bề dày 60 mm.



a) Gối nhịp giữa b) Giữa nhịp nhịp giữa

Hình 3-3-44: *Mặt cắt ngang vòng vòm cầu dầm giàn thép - vòm*
(Đơn vị kích thước: m)

Mặt cầu đường sắt nằm ở phía dưới giàn dầm, với 4 tuyến đường sắt chạy song song. Ba giàn dầm chính chia mặt cầu thành ba phần:

- Phía thượng lưu là tuyến đôi đường sắt Thượng Hải - Hán Dung.
- Phía hạ lưu là tuyến đôi đường sắt Bắc Kinh - Thượng Hải.

Mặt cầu sử dụng kết cấu hộp dầm dưới kết hợp với bản thép mặt cầu chính, trong đó:

- Các dầm ngang lớn được bố trí tại các nút giàn chính, ngoài ra mỗi đoạn nhịp còn được bố trí 3 dầm ngang nhỏ, tất cả đều liên kết với dầm hộp dưới.
- Dưới mỗi tuyến đường sắt, bố trí 2 dầm dọc, bản thép mặt cầu dày 16 mm được hàn với bản trên của dầm hộp.
- Mặt cầu hoàn chỉnh bao gồm các dầm dọc, dầm ngang và bản thép mặt cầu được gia cường.
- Trên bản thép mặt cầu có rãnh bê tông chứa đá ballast, giúp tạo thành kết cấu đường ray chịu tải lớn, có khả năng chống rung tốt và có độ giảm chấn cao, mang lại sự ổn định cho đường ray.

❖ ***Mố và trụ cầu***

- Mố chính của cầu sử dụng 46 cọc khoan nhồi có đường kính 2,8 m, với chiều dài cọc lớn nhất là 112 m.
- Kích thước mặt bằng bệ trụ là 34 m × 76 m, thân trụ có tiết diện rỗng hình tròn với đường kính 12 m × 40 m, sử dụng kết cấu hộp đơn hai khoang.

❖ ***Kết quả phân tích kết cấu***

Phân tích kết cấu cho thấy:

- Tải trọng tĩnh của cầu chính (cầu dầm giàn thép - vòm) xấp xỉ 1000 kN/m.
- Phản lực lớn nhất tại gối cầu đạt 175000 kN, và lực dọc lớn nhất trong cấu kiện đạt 95000 kN.
- Dưới tác động của tải trọng tĩnh, các nhịp lần lượt có độ võng thẳng đứng là:
  - Nhịp đầu: 85 mm.
  - Nhịp biên: 159 mm.
  - Nhịp giữa: 351 mm.

Dưới tác động của tải trọng động:

- Nhịp đầu, nhịp biên và nhịp giữa có độ võng lần lượt là 68 mm, 179 mm và 157 mm, tương ứng với tỷ số 1/1581, 1/1073 và 1/2137 so với chiều dài nhịp.
- Góc xoay tại đầu dầm là 1,93‰ rad.
- Tổng chiều dài liên tục của cầu chính đạt 1272 m, tại trụ giữa bố trí gối cố định, và độ dịch chuyển ngang lớn nhất của đầu dầm là ± 390 mm.
- Kết quả phân tích đặc tính động lực học cho thấy, tần số dao động bậc 1 của kết cấu là 0,37Hz, dạng dao động là dao động thẳng đứng đối xứng, phản ánh sự chênh lệch độ cứng giữa các trụ và nền móng, đồng thời cho thấy kết cấu thượng bộ có độ cứng đủ lớn.

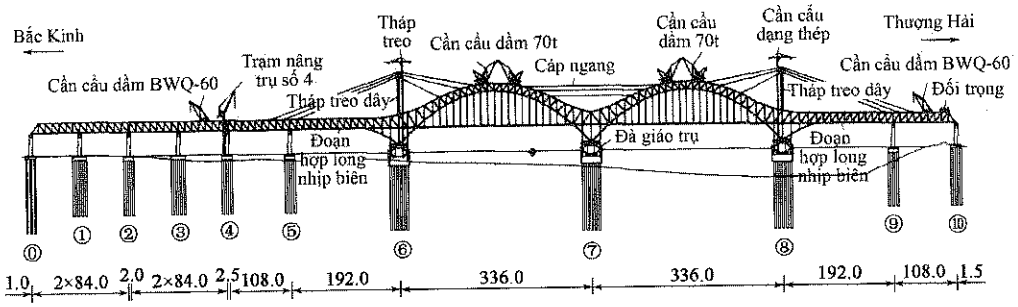
❖ ***Phương án thi công***

Thi công lắp ráp cầu liên tục sáu nhịp dầm giàn thép - vòm sử dụng phương pháp kết hợp giữa điểm, đường và mặt phẳng.

- Tại trụ số 4 và số 10 bố trí điểm khởi đầu lắp dựng, mỗi trụ bố trí 4 trụ tạm. Ba đoạn giàn dầm đầu tiên được lắp ráp bằng cần trục đứng trên trụ tạm.
- Các đoạn giàn dầm còn lại được lắp dựng bằng cần trục 60 tấn với cần nửa mở cho đến khi hợp long nhịp biên 192 m.

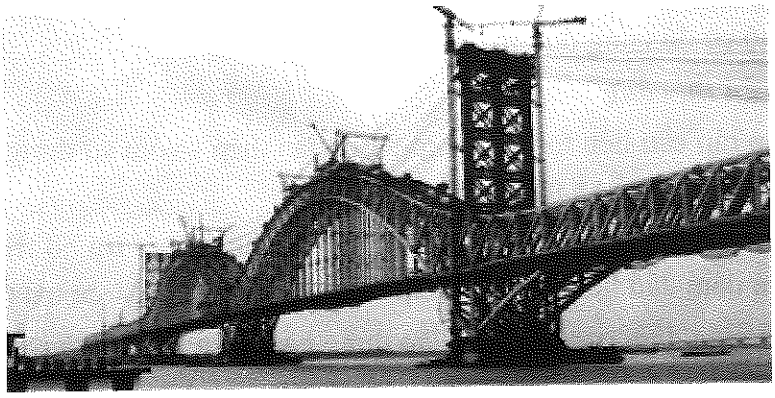
Tại các trụ số 6 và số 8, giàn dầm tại nhịp chính được lắp dựng với sự hỗ trợ của hệ tháp dây treo ba tầng. Hai đoạn giàn dầm đầu tiên được lắp dựng bằng cần trục nổi, các đoạn còn lại được lắp dựng bằng cần trục 70 tấn. Tại trụ số 7, sử dụng khung đỡ bên trụ để liên kết với giàn dầm và hỗ trợ việc lắp dựng đối xứng bằng hai cánh tay treo đôi.

Cầu có tổng cộng 4 điểm hợp long, gồm hai điểm tại nhịp biên 192 m và hai điểm tại nhịp chính 336 m. Trình tự hợp long là hợp long nhịp biên trước, sau đó hợp long nhịp chính, theo thứ tự hợp long giàn vòm trước, rồi mới hợp long dây treo, như thể hiện trong Hình 3-3-45.



Hình 3-3-45: *Thi công lắp dựng cầu liên tục sáu nhịp dầm giàn thép - vòm (Đơn vị kích thước: m)*

Do đặc điểm kết cấu ba giàn dầm, việc hợp long đòi hỏi tính toán chính xác sự dịch chuyển của các nút tại vị trí hợp long theo biến đổi nhiệt độ. Thực tế đo lường cho thấy, quá trình hợp long được thực hiện bằng cách điều chỉnh lực căng dây treo, dịch chuyển trước giàn dầm, và điều chỉnh bằng thiết bị kéo đỉnh kết hợp với biến đổi nhiệt độ để đưa kết cấu về trạng thái hợp long không ứng suất. Sau khi điều chỉnh lực dây treo để đảm bảo chênh lệch cao độ và góc xoay của các nút tại hợp long là đồng nhất, tiến hành lắp đặt chốt tròn và hoàn thiện hợp long bằng các thanh chốt dài, như thể hiện trong Hình 3-3-46.



Hình 3-3-46: *Ảnh chụp hợp long cầu*

2.2. Cầu kết hợp liên tục dầm giàn thép - vòm mềm và dây treo mềm

Cầu kết hợp liên tục dầm giàn thép - vòm mềm có bộ phận chịu lực chính là dầm giàn thép liên tục, trong khi vòm mềm đóng vai trò kết cấu phụ trợ, giúp tăng khả năng vượt nhịp và độ cứng cho dầm. Hiện tại, cầu có nhịp lớn nhất thuộc loại này ở Trung Quốc là cầu vượt luồng hàng hải Thiên Sinh Cảng trên tuyến đường sắt Thượng Hải - Thông Châu, với sơ đồ nhịp (140 + 336 + 140)m.

- Tầng trên của cầu phục vụ 6 làn xe cao tốc, tầng dưới dành cho 4 tuyến đường sắt, với tiêu chuẩn thiết kế tải trọng cao.

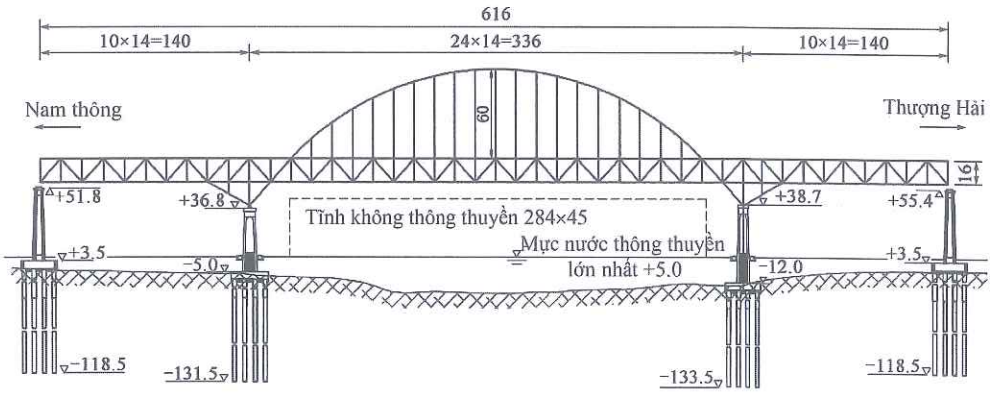
Nếu sử dụng hệ thống dầm cứng - vòm mềm - dây treo cứng, thì vòm sẽ có chiều cao lớn, yêu cầu cẩu lắp đặt với độ cao rất lớn, dẫn đến chi phí lắp đặt vòm cao. Ngoài ra, dây treo có chiều dài lên đến 60 m, do yêu cầu về tỷ số chiều dài/đường kính, dây treo cần tiết diện lớn và tự trọng lớn, không chỉ làm tăng tải trọng lên vòm và dầm, tăng chi phí xây dựng, mà còn tăng nguy cơ phá hoại do dao động gió. Nếu sử dụng hệ thống vòm cứng - dầm mềm - dây treo mềm, việc lắp đặt và cấu tạo vòm cứng phức tạp hơn, dẫn đến chi phí xây dựng cao.

Sau khi so sánh toàn diện, phương án tối ưu được lựa chọn là hệ thống dầm cứng - vòm mềm - dây treo mềm.

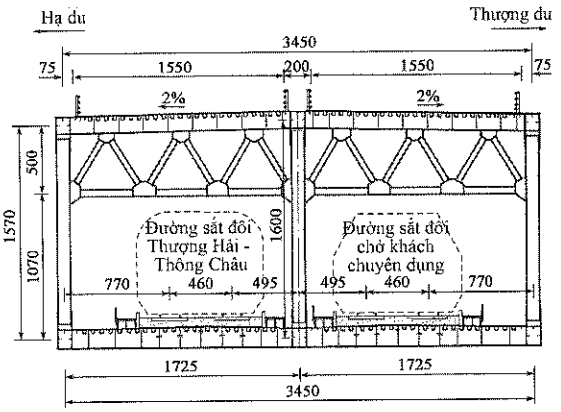
❖ ***Kết cấu chính***

- Dầm chính sử dụng kết cấu kết hợp ba giàn dầm và giàn hai lớp.
- Vòm chính có dạng hộp thép hình parabol, được liên kết với thanh trên của dầm chính thông qua các dây treo mềm.
- Khoảng cách giữa các nút giàn của dầm chính là 14,0 m, chiều rộng giàn dầm chính là 2 × 17,25 m.
- Chiều cao giàn dầm tại giữa nhịp chính là 16,0 m, và tại nhịp biên là 15,7 m.
- Tại điểm gối nhịp chính, chân giàn gia cường có chiều cao 16,0 m.
- Vòm có tiết diện dạng hộp, với chiều cao vòm tại nhịp biên là 60m và tại nhịp chính là 59,7m.

Sơ đồ mặt đứng của cầu và mặt cắt ngang tiêu chuẩn của dầm giàn chính được thể hiện trong Hình 3-3-47 và Hình 3-3-48.



Hình 3-3-47: *Sơ đồ mặt đứng cầu vượt luồng hàng hải Thiên Sinh Cảng (Đơn vị kích thước: m)*



Hình 3-3-48: *Sơ đồ bố trí mặt cắt ngang tiêu chuẩn giàn dầm chính của cầu vượt luồng hàng hải Thiên Sinh Cảng (Đơn vị kích thước: cm)*

❖ *Ưu điểm của hệ thống kết cấu*

Việc áp dụng hệ thống kết cấu dầm cứng - vòm mềm - dây treo mềm đã giúp đơn giản hóa cấu tạo của vòm, đồng thời giảm nguy cơ phá hoại dây treo do dao động gió.

Do đặc điểm của loại cầu này, phương pháp thi công được áp dụng là "thi công dầm trước, thi công vòm sau", với trình tự cụ thể như sau:

1- Lắp dựng dầm giàn chính bằng phương pháp hẫng cân đối để hoàn thành phần dầm giàn thép cứng.

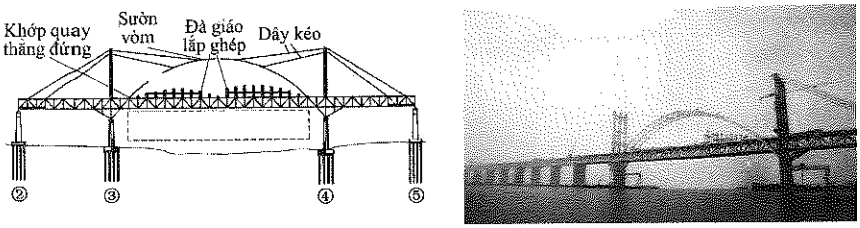
2- Lắp đặt vòm thép, vòm được chia thành 2 nửa, sau đó được hàn nối hoàn chỉnh tại mặt cầu tầng trên.

3- Sử dụng các thiết bị hỗ trợ như:

- Khớp xoay dựng đứng giữa vòm và dầm.
- Tháp dây tạm thời.
- Cáp kéo tạm thời.
- Để dựng đứng vòm vào vị trí, đồng thời hợp long tại giữa nhịp.

4- Căng dây treo mềm từ mặt cầu tầng trên để hoàn thiện việc lắp đặt kết cấu chính.

Quy trình thi công dựng đứng vòm được thể hiện trong Hình 3-3-49.



a) Bố trí mặt cắt dọc phương án

b) Ảnh quá trình thi công

Hình 3-3-49: *Phương án thi công cầu vượt luồng hàng hải Thiên Sinh Cảng*

2.3. Cầu kết hợp liên tục dầm giàn thép - vòm mềm với dây treo cứng

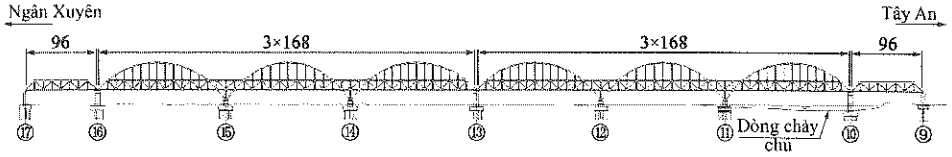
Đối với cầu dầm giàn thép - vòm mềm có nhịp nhỏ hơn, có thể sử dụng kết cấu dây treo cứng. Cầu lớn bắc qua sông Hoàng Hà tại sân bay Ngân Xuyên trên tuyến đường sắt cao tốc Ngân Xuyên - Tây An là một ví dụ điển hình. Cầu chính có kết cấu kết hợp giữa dầm giàn thép giản đơn và dầm giàn thép liên tục - vòm mềm, với sơ đồ nhịp gồm:

- 96 m dầm giàn thép giản đơn + 2 liên tiếp 3 × 168 m dầm giàn thép liên tục - vòm mềm + 96 m dầm giàn thép giản đơn, tạo thành 4 liên kết với tổng chiều dài cầu chính là 1200 m.

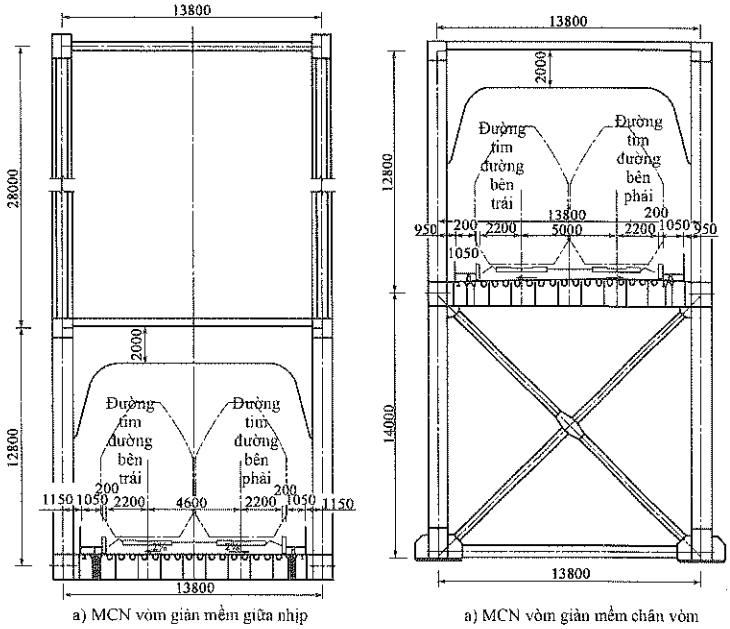
Dầm chính sử dụng kết cấu dầm giàn thép kiểu dầm dưới, với:

- Chiều cao giàn là 12,8m, chiều rộng giàn là 13,8 m.
- Mặt cầu sử dụng bản thép mặt cầu chính với kết cấu đối xứng trực giao, vòm có chiều cao (f) là 28m, và tỷ số f/L = 1/4,71.

Bố trí mặt đứng và mặt cắt ngang của cầu được thể hiện trong Hình 3-3-50 và Hình 3-3-51.



Hình 3-3-50: *Mặt đứng cầu lớn qua sân bay Hoàng Hà (Đơn vị kích thước: m)*



Hình 3-3-51: *Sơ đồ mặt cắt ngang cầu (Đơn vị kích thước: cm)*

❖ ***Kết cấu chính***

1- Giàn dầm thép liên tục - vòm mềm:

- Nhịp chính 3 × 168 m sử dụng giàn dầm thép liên tục - vòm mềm, với giàn dầm và vòm được gia cường bằng hệ thống giằng.
- Vòm chính có tiết diện hộp thép với chiều cao tiết diện là 1,3m, chiều rộng trong là 1,0 m, và bề dày từ 20 mm đến 40 mm.
- Thanh trên sử dụng tiết diện hộp thép với chiều cao 1,1 m, chiều rộng trong 1,0m, và bề dày từ 20 mm đến 36 mm.
- Thanh dưới sử dụng tiết diện hộp thép với chiều cao 1,3 m, chiều rộng trong 1,0m, và bề dày từ 24 mm đến 40 mm.
- Thanh chéo có hai dạng tiết diện: hộp thép và hình chữ I.
  - Với thanh chéo hộp thép: bề rộng 1,3m, chiều cao trong 1,0 m, bề dày 40 mm cho thanh chéo ở hai đầu. Các thanh chéo còn lại có bề rộng 1,0 m, chiều cao trong 1,0 m, và bề dày từ 20 mm đến 36 mm.
  - Với thanh chéo chữ I: chiều cao bụng 1,0m, bề rộng cánh từ 0,7 m đến 0,9 m, và bề dày từ 20 mm đến 40 mm.

2- Dây treo:

Dây treo có tiết diện hình bát giác, với:

- Chiều rộng 0,8m, chiều cao 1,0m, và bề dày 16 mm.
- Các nút kết nối giàn dầm và vòm sử dụng phương pháp hàn tạo khối tại nhà máy, với bề dày tấm nút lớn nhất là 48 mm.
- Các thanh dầm và vòm được hàn sẵn tại nhà máy, sau đó được lắp ráp nối tại công trường.
- Thanh chéo chữ I và thanh treo được nối với tấm nút bằng phương pháp ghép đối đầu, sử dụng bulông cường độ cao M30 (lỗ bulông đường kính 33 mm).

3- Hệ mặt cầu:

Hệ mặt cầu bao gồm:

- Bản mặt cầu, dầm ngang, dầm dọc dạng U và T.
- Giữa lớp đá ballast và bản mặt cầu thép là lớp đệm nhẹ, được tạo thành từ hệ thống chống thấm hiệu suất cao mmA (methyl methacrylate) và lớp bê tông cốt sợi polypropylene C40 dày 4,8 cm.
- Lượng sợi polypropylene sử dụng là 1,8 kg/m^3, được thi công và nghiệm thu theo quy trình riêng. Bê tông có thể được đổ tại chỗ hoặc đúc sẵn.

❖ *Phương án thi công*

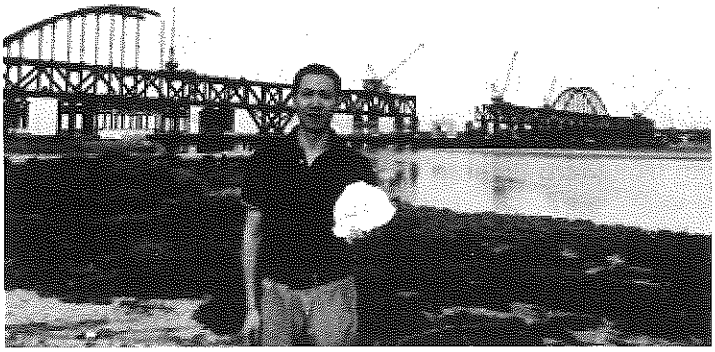
Để đẩy nhanh tiến độ thi công, phương án thi công được điều chỉnh từ kiểu "thi công dầm trước, vòm sau" sang kiểu "thi công đồng thời dầm và vòm", cụ thể như sau:

1- Lắp đặt giàn dầm thép tại giữa nhịp chính, sử dụng bệ đỡ tạm thời ở giữa nhịp.

2- Từ giữa nhịp, tiến hành lắp dựng dầm giàn thép theo phương pháp hẫng cân đối về hai phía.

3- Sau khi hoàn thành việc lắp dựng giàn dầm thép tại nhịp chính, tiếp tục lắp dựng giàn dầm thép tại nhịp biên, đồng thời tiến hành lắp dựng vòm thép và dây treo tại nhịp chính.

Quá trình thi công được minh họa trong Hình 3-3-52.



Hình 3-3-52: *Lắp ráp đồng thời dầm và vòm*

IV. CẦU DÂY VĂNG TRONG HỆ THỐNG ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Cầu dây văng là một trong những dạng kết cấu chính dành cho cầu có nhịp lớn. Những năm gần đây, Trung Quốc đã đạt được nhiều tiến bộ vượt bậc trong lĩnh vực xây dựng cầu dây văng, từ việc mở rộng chiều dài nhịp đến cải tiến kết cấu dầm chính, hệ thống dây văng và kỹ thuật thi công.

Cùng với sự mở rộng nhanh chóng của mạng lưới đường sắt cao tốc, cầu dây văng nhịp lớn ngày càng được ứng dụng rộng rãi và trở thành giải pháp lý tưởng cho các đoạn tuyến có địa hình phức tạp. Dựa trên cấu tạo dầm chính, các loại cầu dây văng trong hệ thống đường sắt cao tốc hiện nay gồm ba dạng chính:

1- Cầu dây văng dầm giàn thép.

2- Cầu dây văng dầm hộp thép - bê tông hỗn hợp.

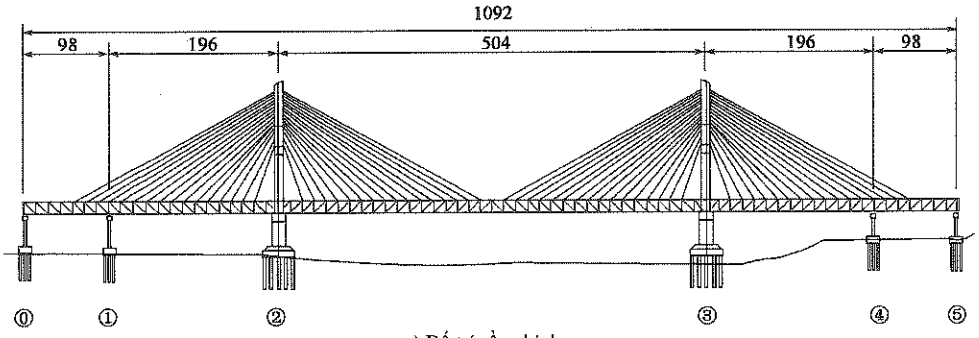
3- Cầu dây văng bê tông dự ứng lực.

1. Cầu dây văng dầm thép giàn

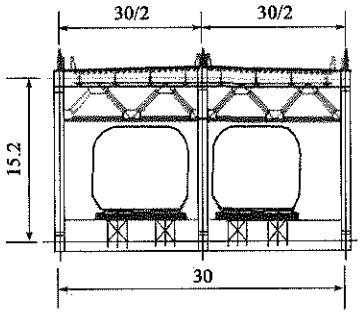
Cầu dây văng sử dụng dầm chính bằng thép giàn vừa giúp tăng độ cứng dọc của cầu, vừa tạo điều kiện thuận lợi cho việc bố trí mặt cầu chung cho cả đường sắt và đường bộ. Loại cầu dây văng này được đại diện tiêu biểu bởi cầu chính trên cầu qua sông Dương Tử tại Thiên Hưng Châu của tuyến đường sắt cao tốc Vũ Quảng và cầu Hoàng Hà trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Quảng Châu tại Trịnh Châu.

1.1. Cầu Vũ Hán Thiên Hưng Châu (cầu kết hợp đường sắt và đường bộ)

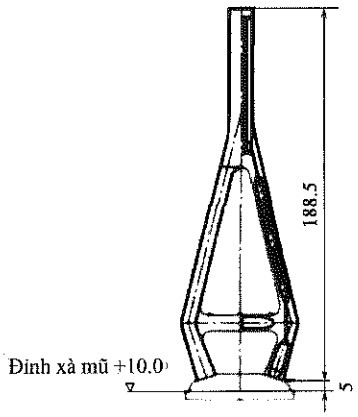
Cầu Vũ Hán Thiên Hưng Châu là cây cầu kết hợp đường bộ và đường sắt, bắc qua đoạn sông Dương Tử tại Thiên Hưng Châu, thuộc trung lưu sông Dương Tử, thành phố Vũ Hán. Đây là tuyến giao thông quan trọng theo hướng Bắc - Nam của tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Vũ Hán và theo hướng Đông - Tây của tuyến đường sắt Thượng Hải - Vũ Hán - Thành Đô. Đồng thời, nó cũng là tuyến vượt sông của tuyến vành đai trung tâm thành phố Vũ Hán (Hình 3-3-53).



a) Bố trí cầu chính



b) MCN dầm chủ



c) Kết cấu tháp chủ

Hình 3-3-53: *Kết cấu cầu Thiên Hưng Châu (Đơn vị kích thước: m)*

Việc xây dựng cây cầu này đã tiên phong trong việc phát triển nhiều công nghệ then chốt cho cầu dây văng có nhịp lớn của đường sắt cao tốc ở Trung Quốc, bao gồm:

- Đây là cầu kết hợp đường sắt và đường bộ chịu tải trọng lớn nhất thế giới với tải trọng phân bố đạt 351 kN/m.
- Là cầu dây văng có lực căng dây lớn nhất tại Trung Quốc, với lực căng tối đa của một dây đạt 12.000 kN.
- Lần đầu tiên áp dụng công nghệ kiểm soát dao động bằng bộ giảm chấn hỗn hợp với tải trọng lớn, giúp cải thiện hiệu quả khả năng chịu lực của cầu.
- Lần đầu tiên sử dụng kết cấu mới kết hợp tấm thép mặt cầu dạng chính quy với tấm mặt cầu bê tông trên cầu dầm thép giàn.
- Lần đầu tiên áp dụng công nghệ định vị bằng mố neo trong thi công móng cầu khổng lồ, sử dụng cọc khoan nhồi có đường kính lớn lên đến 3,4 m trong nền móng dưới nước.

(1) Kết cấu cầu chính

Cầu chính được thiết kế với nhịp dây văng có sơ đồ nhịp (98 + 196 + 504 + 196 + 98) m, mặt cầu phía trên là đường bộ 6 làn xe, phía dưới là tuyến đường sắt 4 làn. Dầm chính của cầu dây văng là dầm thép giàn dạng chữ N với 3 dầm chính, chiều rộng dầm là 30 m, chiều cao dầm 14,5 m, khoảng cách giữa các nhịp là 14 m, và dây văng được neo tại các nút thượng dây của dầm chính.

Giải pháp sử dụng 3 dầm chính giúp giải quyết các vấn đề thiết kế và thi công do tải trọng lớn từ 4 tuyến đường sắt, đồng thời cải thiện khả năng chịu lực của thanh ngang và tăng khả năng chống xoắn của tiết diện, giúp cầu đáp ứng tốt hơn yêu cầu vận hành của các đoàn tàu cao tốc.

(2) Tiêu chuẩn độ cứng

Dựa trên thực tế vận hành lâu dài của các cầu dây văng có nhịp lớn cho đường sắt và cầu kết hợp đường bộ - đường sắt trên thế giới, tỷ lệ độ võng dọc nhịp thường lớn hơn 1/500, tỷ lệ độ võng ngang lớn hơn 1/1300, cho thấy kết quả hoạt động ổn định. Sau khi phân tích dao động kết hợp giữa tàu và cầu, tiêu chuẩn thiết kế độ cứng của cầu này được xác định như sau:

- Khi chịu tải trọng hoạt động của cả đoàn tàu và đường bộ, tỷ lệ độ võng giữa nhịp giữa và chiều dài nhịp không vượt quá 1/500.
- Khi chỉ chịu tải trọng của đoàn tàu, tỷ lệ độ võng không vượt quá 1/550.
- Tỷ lệ độ võng ngang không vượt quá 1/4000.
- Góc xoay tại đầu dầm không vượt quá 2‰.

(3) Thiết kế dầm thép

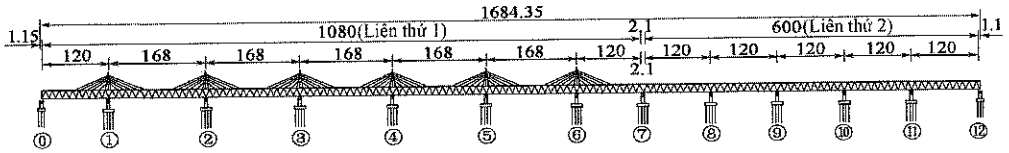
Trong quá trình lắp đặt và vận hành, phần lớn các thanh của dầm chính đều chịu lực nén, với lực lớn nhất lên tới 56 MN. Thanh dây trên của dầm chính đều sử dụng tiết diện dạng hộp. Các thanh nghiêng của dầm chính được thiết kế dưới dạng tiết diện hộp hoặc chữ H tùy theo mức chịu lực. Các nút liên kết của dầm chính được chế tạo dưới dạng nút hàn liền khối và lắp ghép bên ngoài.

Dầm thép được sản xuất theo tiêu chuẩn Trung Quốc, sử dụng thép Q370qE. Phần mặt cầu đường bộ phía trên cầu dây văng, trong phạm vi 126 m ở hai đầu cầu, sử dụng tấm mặt cầu bằng bê tông cốt thép, còn lại là tấm mặt cầu thép chính quy dạng chính quy. Phần mặt cầu đường sắt sử dụng tấm bê tông có đáy chứa đá ballast, được đỡ bởi hệ thống dầm dọc và dầm ngang.

1.2. Cầu kết hợp đường sắt và đường bộ Hoàng Hà tại Trịnh Châu

Cầu kết hợp đường sắt và đường bộ Hoàng Hà tại Trịnh Châu là cây cầu dùng chung cho tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Quảng Châu và tuyến đường bộ đô thị Trịnh Châu - Tân Hương, bắc qua sông Hoàng Hà. Vị trí cầu cách cầu qua sông Hoàng Hà của đường cao tốc Bắc Kinh - Chu Hải khoảng 6 km về phía thượng lưu. Khu vực cầu bắc qua có bề rộng giữa hai bờ đê sông Hoàng Hà là 10,5 km, trong đó lòng sông chính rộng 3,5 km.

- Tuyến đường sắt là đường đôi dành cho tàu khách, tốc độ thiết kế mục tiêu 350 km/h, tải trọng thiết kế theo tiêu chuẩn ZK.
- Tuyến đường bộ là đường cấp 1, 6 làn xe hai chiều, tốc độ thiết kế 100 km/h.
- Tổng chiều dài cầu chính là 1684 m, được chia thành hai nhịp:
  - Nhịp thứ nhất: Sơ đồ nhịp 120 m + 5 × 168 m + 120 m, kết cấu dầm liên tục thép giàn với 6 tháp, một mặt dây, có phần dây văng (còn gọi là cầu dây văng một phần hoặc cầu dây văng tháp thấp).
  - Nhịp thứ hai: Sơ đồ nhịp 5 × 120 m, sử dụng dầm thép giàn liên tục, như minh họa ở Hình 3-3-54.



Hình 3-3-54: *Sơ đồ bố trí cầu chính của cầu kết hợp đường sắt và đường bộ Hoàng Hà tại Trịnh Châu (Đơn vị kích thước: m)*

❖ ***Kết cấu dầm thép giàn liên tục***

Dầm chính sử dụng kết cấu giàn tam giác không có thanh dọc, chiều cao dầm 14 m, khoảng cách giữa các đoạn dầm là 12 m. Bố trí theo chiều ngang gồm 3 dầm giàn:

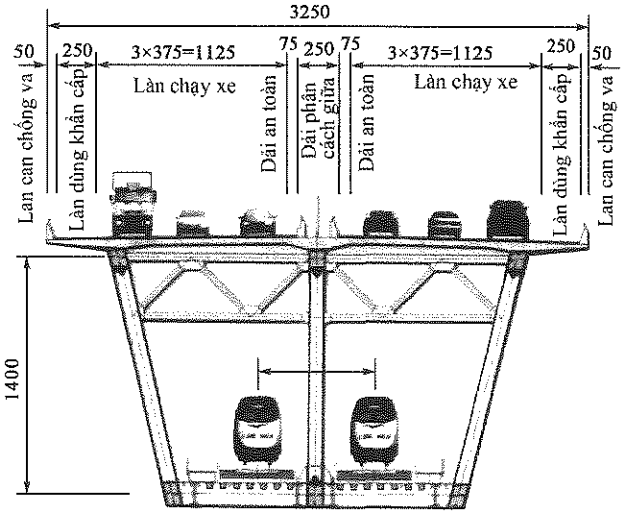
- Dầm giàn giữa thẳng đứng, hai dầm giàn biên nghiêng với góc nghiêng 14,036°.
- Khoảng cách giữa các thanh dưới của dầm là 8,5 m, chiều rộng dầm 17 m.
- Khoảng cách giữa các thanh trên của dầm là 12 m, chiều rộng dầm 24 m.
- Mặt cầu đường bộ phía trên rộng 32,5 m.

Các thanh trên và dưới của dầm giàn chính đều sử dụng tiết diện dạng hộp. Các thanh của dầm biên được thiết kế theo dạng hình bình hành để thích ứng với hình dạng của dầm nghiêng, như minh họa ở Hình 3-3-55. Dầm chính sử dụng kết cấu nút liên kết liền khối.

- Mặt cầu đường bộ sử dụng tấm bê tông rộng 32,5 m, được đúc sẵn tại công trường và lưu trữ trước khi lắp đặt, nhằm đảm bảo phần lớn quá trình co ngót và biến dạng từ từ xảy ra trước khi lắp đặt.
- Mặt cầu đường sắt sử dụng tấm thép nguyên khối dạng chính quy. Các tấm bê tông đá ballast của đường sắt được đúc sẵn và liên kết với mặt cầu thép bằng các đinh chống cắt.

❖ ***Kết cấu tháp cầu***

Ba dầm giàn chính có tháp cầu được bố trí tại dầm giàn giữa. Các tháp cầu được thiết kế bằng thép dạng hộp, cố định với dầm chính. Chiều cao tháp là 37 m, mỗi tháp có 5 cặp dây văng. Mặt đứng của tháp có hình dạng chữ "人" (nhân) nhằm tăng khả năng chịu lực.



Hình 3-3-55: *Sơ đồ minh họa dầm chính liên tục bằng thép giàn (Đơn vị kích thước: cm)*

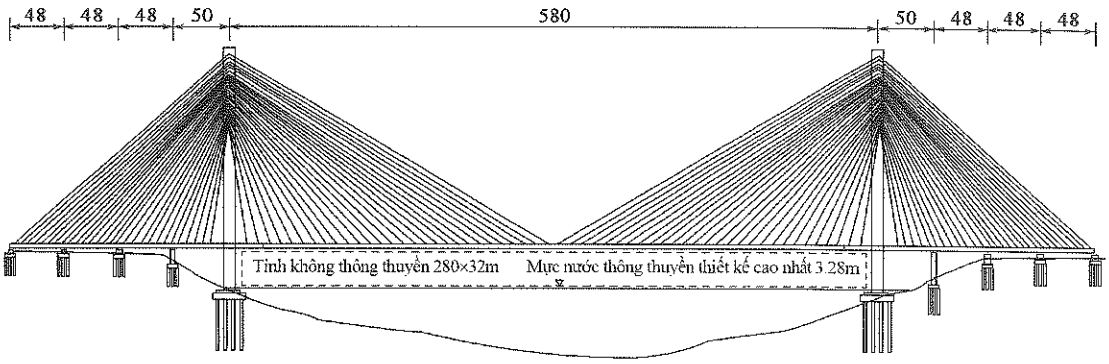
2. Cầu dây văng dầm hộp thép hỗn hợp

Cầu dây văng với dầm hộp thép hỗn hợp có kết cấu mặt cắt ngang dạng kín, nổi bật nhờ khả năng chống xoắn cao. So với dầm thép giàn, dầm hộp thép giúp giảm thiểu đáng kể số lượng bu lông cường độ cao, các đoạn dầm được liên kết bằng phương pháp hàn, rút ngắn thời gian thi công. Cầu Đào Yêu Môn thuộc tuyến đường sắt Ninh Ba - Chu Sơn đang được quy hoạch xây dựng theo phương án cầu dây văng dầm hộp thép hỗn hợp.

Tuyến đường sắt Ninh Ba - Chu Sơn (gọi tắt là tuyến Ninh Chu) nằm ở khu vực ven biển phía đông tỉnh Chiết Giang, bắt đầu từ ga Ninh Ba Đông và kết thúc tại đảo chính Chu Sơn. Cầu Đào Yêu Môn bắc qua luồng nước giữa đảo Sách Tử và đảo Chu Sơn, là công trình trọng điểm của tuyến Ninh Chu. Khu vực xây dựng cầu có địa hình đồi núi hải đảo phức tạp, với lớp phủ bề mặt dày từ 1,5 đến 2,5 m gồm đất tích tụ và đá gốc như ryolit, từ thạch kết tinh và đá dung nham, thuộc loại đá cứng. Khu vực này được xếp vào loại địa chất II, với gia tốc cực đại của dao động địa chấn cơ bản là 0,10 g và chu kỳ đặc trưng của phổ phản ứng động đất là 0,35 s.

Tuyến cầu được thiết kế cho đường sắt chuyên chở hành khách, vận tốc thiết kế 250 km/h, gồm hai tuyến đường đôi với khoảng cách giữa hai tuyến là 4,6 m. Do cầu được xây dựng song song với cầu đường bộ hiện tại tại Đào Yêu Môn, loại cầu dây văng hỗn hợp 7 nhịp liên tục hai mặt dây đã được chọn, với sơ đồ nhịp cầu là (48 + 48 + 50 + 580 + 50 + 48 + 48) m. Theo yêu cầu thông thuyền, nhịp chính của cầu đường sắt cần vượt qua toàn bộ luồng nước chỉ trong một nhịp, đồng thời phải đồng bộ với cầu đường bộ cách khoảng 50 m về phía nam. Sau khi đánh giá và lựa chọn phương án, cầu chính được thiết kế theo sơ đồ nhịp (48 + 48 + 48 + 50 + 580 + 50 + 48 + 48 + 48) m, sử dụng kết cấu dây văng dầm hộp thép hỗn hợp, với tỷ lệ nhịp biên và nhịp giữa là 0,33. Tháp cầu có kết cấu dạng kim cương gồm trụ tháp trên, trụ tháp giữa, trụ tháp dưới và dầm ngang dưới, với chiều cao tổng thể 228 m. Dầm chính là dầm hộp thép hỗn hợp, các điểm neo dây văng trên dầm chính được bố trí cách nhau 10 m, móng cầu sử dụng cọc khoan nhồi.

Cầu chính sử dụng hai tháp dây văng với nhịp chính dài 580 m. Điểm tiếp nối giữa dầm thép và dầm bê tông nằm cách tháp cầu 28,5 m về phía nhịp giữa. Nhịp giữa dài 523 m sử dụng dầm hộp thép, các nhịp còn lại sử dụng dầm hộp bê tông dự ứng lực. Tại vị trí tháp dây văng, cầu được thiết kế theo hệ bán nổi, sử dụng gối tựa trượt hai chiều. Các trụ chuyển tiếp và trụ phụ dùng gối tựa hoạt động kép theo phương dọc. Để hạn chế chuyển vị ngang, tháp cầu được lắp đặt thêm gối tựa chống gió ngang. Đồng thời, bộ giảm chấn dọc được lắp đặt tại tháp chính để giới hạn chuyển vị dọc khi cầu chịu tải trọng gió, lực hãm hoặc động đất, nhưng ở các điều kiện tải trọng thông thường, bộ giảm chấn sẽ không hoạt động.



Hình 3-3-56: *Bố trí mặt đứng của cầu (Đơn vị kích thước: m)*

2.1. Dầm chính

Dầm chính sử dụng dầm hộp thép dạng phẳng với đặc tính khí động học tốt. Ở nhịp biên, dầm chính được làm bằng bê tông hộp, còn ở nhịp giữa, dầm chính sử dụng dầm hộp thép dạng phẳng. Dầm hộp có chiều rộng 26,4 m (không tính phần chắn gió) và chiều cao 4,0 m.

❖ ***Dầm hộp bê tông nhịp biên***

Dầm hộp bê tông có mặt cắt ngang là dạng hộp đơn với 4 ngăn:

- Độ dày của tấm trên và tấm đáy tại các ngăn giữa là 42 cm.
- Độ dày của tấm trên và tấm đáy tại các ngăn biên là 35 cm.
- Độ dày của thành bên dọc là 46 cm.
- Cứ mỗi 6 - 7 m, bố trí một dầm ngang dày 36 cm, tại vị trí tương ứng với các dây văng.

Mặt cắt ngang của dầm hộp bê tông được thể hiện ở Hình 3-3-57a.

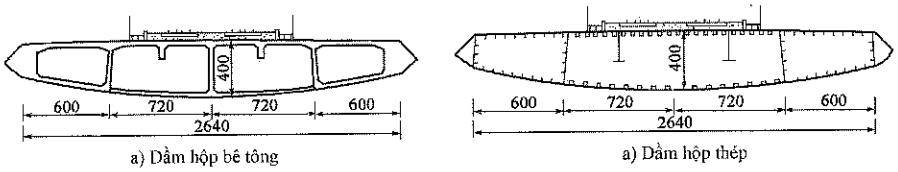
❖ ***Dầm hộp thép nhịp giữa***

Nhịp giữa sử dụng dầm hộp thép dạng phẳng, với kích thước ngoại vi tương đồng với dầm hộp bê tông. Dầm hộp thép được thiết kế với cấu trúc chính quy dạng bản mặt sàn trực giao, gồm các tấm trên và tấm đáy sử dụng hệ thống sườn tăng cường hình chữ U kết hợp với các tấm ngăn ngang. Bản mặt trực giao vừa đóng vai trò là tấm phủ trên của dầm ngang và dọc, vừa là cấu kiện chịu tải trọng từ mặt cầu truyền xuống dầm chính.

- Chiều cao sườn tăng cường hình chữ U trên tấm mặt cầu là 280 mm, dày 8 mm, khoảng cách giữa các sườn là 600 mm.
- Chiều cao sườn tăng cường chữ U ở tấm đáy là 250 mm, dày 6 mm, khoảng cách giữa các sườn là 900 mm.

- Khoảng cách giữa các tấm ngăn ngang được thiết kế là 2,5 m để tăng cường độ cứng của bản mặt cầu, giảm biến dạng và hạn chế tác động bất lợi lên lớp phủ mặt cầu.

Mặt cắt ngang của dầm hộp thép được thể hiện ở hình 3-3-57b.



Hình 3-3-57: *Mặt cắt ngang (Đơn vị kích thước: cm)*

❖ ***Chiều dài các đoạn dầm tiêu chuẩn***

- Dầm hộp thép tiêu chuẩn có chiều dài mỗi đoạn là 10,0 m.
- Đoạn hợp long tại nhịp giữa có chiều dài 5,0 m.
- Đoạn chuyển tiếp dài 4,8 m.
- Đoạn liên kết giữa dầm thép và dầm bê tông có tổng chiều dài 13,8 m, trong đó:
  - Đoạn chuyển tiếp dầm bê tông dài 3,0 m.
  - Đoạn bê tông đặc dài 2,0 m.
  - Đoạn chuyển tiếp thép - bê tông dài 4,0 m.
  - Đoạn chuyển tiếp dầm thép dài 4,8 m.

2.2. Phương pháp thi công

Dầm hộp bê tông dài 30 m ở nhịp biên và nhịp giữa được thi công bằng phương pháp đổ bê tông tại chỗ trên hệ ván khuôn. Dầm hộp thép nhịp giữa được lắp ghép bằng phương pháp thi công từng đoạn dầm. Quy trình thi công cụ thể như sau:

1- Thi công phần kết cấu bên dưới và tháp cầu bằng phương pháp thông thường.

2- Thi công dầm hộp bê tông bằng phương pháp đổ bê tông tại chỗ trên hệ ván khuôn.

3- Sử dụng cần trục trên mặt cầu để lắp ghép từng đoạn dầm hộp thép.

4- Lắp đặt và kéo căng dây văng theo thứ tự thiết kế, cho đến khi hoàn thành việc hợp long toàn bộ cầu.

5- Điều chỉnh lực căng dây văng, hoàn thiện các hạng mục phụ trên mặt cầu.

6- Thực hiện thử nghiệm tải trọng và bàn giao cầu đưa vào khai thác.

3. Cầu dây văng bằng bê tông

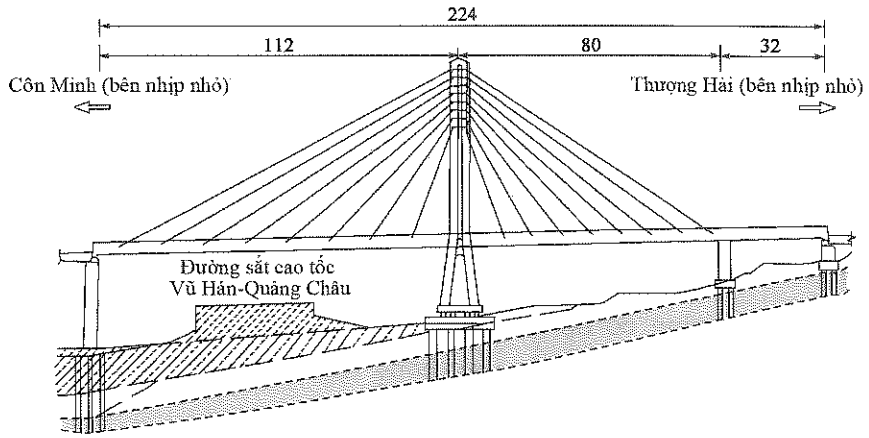
Cầu dây văng thuộc loại kết cấu có độ mềm dẻo cao. Khi sử dụng bê tông dự ứng lực làm dầm chính cho cầu dây văng, thường gặp phải các vấn đề như nứt bê tông.

Do đó, các cầu dây văng bằng bê tông cho đường sắt cao tốc thường được thiết kế với nhịp trung bình.

Cầu dây văng trên tuyến liên kết phía tây bắc nút giao thông Trường Sa của tuyến đường sắt cao tốc Thượng Hải - Côn Minh bắc qua tuyến đường sắt cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu có kết cấu cầu dạng (32 + 80 + 112) m, với kiểu cầu dây văng một tháp bất đối xứng hai mặt dây. Dầm chính sử dụng dầm bê tông dự ứng lực dạng lòng máng. Để khắc phục lực âm tại gối biên nhịp nhỏ, một nhịp phụ dài 32 m được thêm vào phía nhịp 80 m.

- Tháp chính được thiết kế dạng rỗng hình chữ nhật bằng bê tông cốt thép.
- Dầm dạng lòng máng ở nhánh biên kết nối liền khối với tháp cầu.
- Gối tựa tại trụ biên và trụ phụ được thiết kế có khả năng hoạt động theo phương dọc, đồng thời lắp thêm các khối chặn giới hạn chuyển vị theo phương ngang.

Sơ đồ tổng thể của cầu được thể hiện ở Hình 3-3-58. Vì cây cầu bắc qua tuyến đường sắt cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu, để giảm thiểu tối đa thời gian thi công tại khu vực băng qua đường sắt, phương pháp thi công quay thân cầu đã được áp dụng. Dầm cầu được xây dựng tại vị trí gần trụ cầu và sau đó được xoay vào vị trí chính xác trong khoảng thời gian ngắn khi tuyến đường sắt tạm ngưng hoạt động.



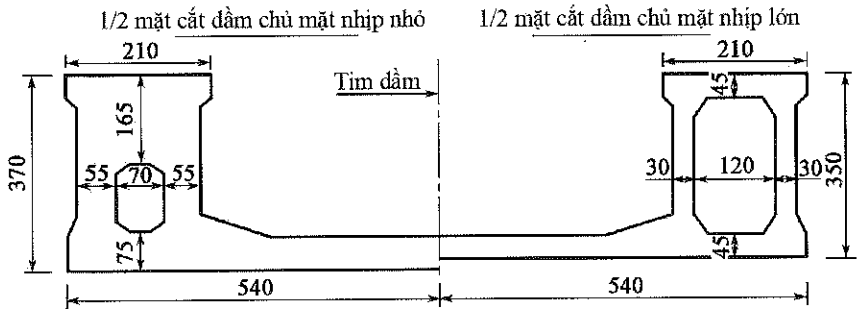
Hình 3-3-58: *Mặt đứng cầu dây văng dầm lòng máng (Đơn vị kích thước: m)*

3.1. Dầm chính

Để tránh ảnh hưởng đến việc vận hành của tuyến đường sắt cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu trong quá trình thi công, dầm chính được thiết kế theo dạng dầm lòng máng bê tông dự ứng lực. Tổng chiều dài dầm chính là 224 m, trong đó phần dầm được thi công bằng phương pháp quay thân cầu dài 196 m. Nhịp chính bắc qua tuyến đường sắt có chiều cao dầm là 3,5 m, còn nhịp phụ và nhịp biên có chiều cao dầm là 3,7 m, tại vị trí liên kết với tháp cầu, chiều cao dầm tăng lên 4 m với độ dốc 1/15.

Dầm lòng máng có tiết diện dạng hộp, với chiều rộng hộp là 2,1 m và khoảng cách giữa hai hộp là 8,7 m, tổng chiều rộng dầm là 10,8 m, như thể hiện ở Hình 3-3-59.

- Ở nhịp chính, độ dày của tấm trên và tấm đáy của hộp biên đều là 45 cm, và độ dày thành dọc là 30 cm.
- Ở nhịp phụ, tấm trên của hộp biên dày 165 cm, tấm đáy dày 75 cm, thành dọc dày 55 cm.
- Dây văng được neo tại vị trí cách mặt trên của dầm 1,3 m.



Hình 3-3-59: *Mặt cắt ngang dầm chính (Đơn vị kích thước: cm)*

3.2. Kết cấu phần dưới

Phần móng sử dụng 12 cọc khoan nhồi bằng bê tông cốt thép, đường kính mỗi cọc là 2,2 m. Đài móng được thiết kế gồm 2 lớp đài tròn với tiết diện nhỏ ở trên và lớn ở dưới:

- Đài móng dưới có đường kính 21 m và tổng chiều cao 6,5 m.
- Để chịu được lực khi quay thân cầu, đài móng trên được lắp đặt hệ thống dự ứng lực.
- Bên trong đài móng có bố trí hệ thống mâm quay và lõi mài. Sau khi hoàn thành quá trình quay thân cầu, hệ thống này sẽ được cố định vào đài móng bằng bê tông.

Các trụ biên và trụ phụ sử dụng hai loại kết cấu: trụ đặc hình chữ nhật và trụ rỗng hình chữ nhật. Các trụ phụ đều sử dụng kết cấu đặc, còn các trụ rỗng có thành dày 0,7 m.

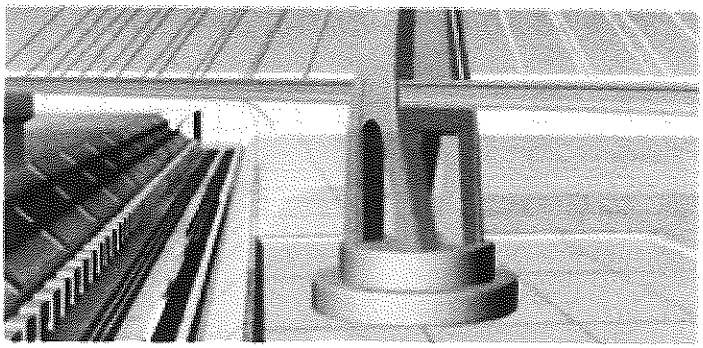
3.3. Kết cấu mâm quay

Mâm quay sử dụng hệ thống kết hợp giữa đường trượt vòng và khớp cầu trung tâm. Hệ thống quay bao gồm:

- Khớp cầu.
- Mâm quay trên và dưới.

- Đường trượt vòng.
- Chân đỡ và giá phản lực kéo.

Khớp cầu có đường kính mặt phẳng là 4 m, bán kính mặt cầu là 8 m, và ở trung tâm có lắp ống định vị. Mâm quay dưới được neo cố định vào đài móng lớp dưới, trong khi mâm quay trên được lắp đặt chân chống và tựa vào đường trượt vòng được chôn sẵn trong đài móng trên. Phần dưới của chân chống có tấm di động, với khe hở 10 mm so với đường trượt vòng. Hệ thống quay sử dụng phương pháp kéo để quay thân cầu. Mặt trên và mặt dưới của khớp cầu được làm từ các tấm thép dày 5 cm, gia cố bằng các sườn tăng cứng nhằm tránh biến dạng khi gia công và vận chuyển, đồng thời giúp việc lắp đặt và cố định với bê tông xung quanh được chắc chắn hơn. Hình ảnh hệ thống mâm quay và tháp cầu được thể hiện ở Hình 3-3-60.



Hình 3-3-60: *Hiệu quả của mâm quay và tháp cầu chính*

3.4. Phương án thi công

Công trình được thi công bằng phương pháp đúc sẵn dầm cầu song song với tuyến đường sắt Vũ Hán - Quảng Châu và đồng thời quay tháp cầu theo phương ngang. Quy trình cụ thể như sau:

1- Sau khi hoàn thành thi công cọc khoan nhồi, tiến hành đổ bê tông đài móng dưới, lắp đặt hệ thống mâm quay và đài móng trên theo thiết kế, tạm thời cố định khớp cầu.

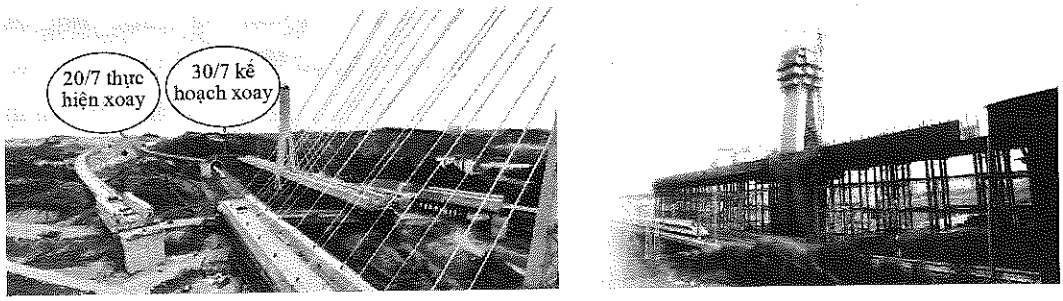
2- Tiếp tục thi công phần tháp cầu dưới, sau đó thi công vùng liên kết giữa tháp và dầm cầu, rồi thi công tháp cầu trên.

3- Đồng thời, lắp đặt hệ ván khuôn dọc theo tuyến đường sắt để thi công dầm lòng máng ở nhịp biên và nhịp chính với sơ đồ nhịp (80 + 4) m và 112 m, lắp dây văng và tiến hành điều chỉnh lực căng lần đầu.

4- Trong thời gian tạm ngừng hoạt động của tuyến đường sắt, tiến hành quay toàn bộ tháp cầu và dầm cầu vào vị trí thiết kế. Sau khi quay xong, cố định khớp cầu giữa đài móng trên và dưới, đổ bê tông đoạn hợp long dài 2 m ở nhịp biên.

5- Hoàn thiện lắp đặt các thiết bị trên mặt cầu, sau khi hoàn thành thi công tải trọng giai đoạn hai, tiếp tục điều chỉnh lực căng của dây văng để đạt trạng thái làm việc cuối cùng của cầu.

Quy trình thi công quay thân cầu được minh họa ở hình 3-3-61.



Hình 3-3-61: *Hình ảnh thi công quay thân cầu*

CHƯƠNG IV. PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG TƯƠNG TÁC GIỮA ĐOÀN TÀU VÀ CẦU TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Sự phát triển nhanh chóng của mạng lưới đường sắt cao tốc tại Trung Quốc đã khiến hiệu ứng động lực học do đoàn tàu cao tốc tác động lên cầu ngày càng rõ rệt. Do đó, tính năng động lực học của cầu trở thành một trong những vấn đề nhận được nhiều sự quan tâm. Trong lĩnh vực này, các nhà khoa học như Matsuura Akio, Zhu Guanghan, Diana, và Fryba đã xây dựng những mô hình cơ học và phương trình chuyển động khá hoàn chỉnh, tạo nền tảng cho việc nghiên cứu phản ứng động lực học của cầu dưới tác động của đoàn tàu cao tốc.

Tại Trung Quốc, các nhóm nghiên cứu từ Viện Khoa học Đường sắt Trung Quốc, Đại học Giao thông Tây Nam, Đại học Giao thông Bắc Kinh, và Đại học Trung Nam đã hợp tác thực hiện nhiều nghiên cứu hệ thống về phản ứng động lực học của cầu và đặc tính cộng hưởng khi có đoàn tàu cao tốc di chuyển qua. Đồng thời, họ cũng tiến hành các thử nghiệm động lực học trên cầu đường sắt cao tốc với tốc độ từ 200 - 250 km/h và 300 - 350 km/h, nhằm kiểm tra và tối ưu hóa khả năng chịu lực của cầu trong điều kiện vận hành thực tế.

Việc gia tăng tốc độ của các đoàn tàu hiện đại và áp dụng nhiều loại kết cấu đường ray mới, đặc biệt là các loại đường ray không đá ballast, đã làm gia tăng mức độ tương tác động lực giữa đoàn tàu và kết cấu đường ray trên cầu. Những hiện tượng như bánh xe mất tiếp xúc tạm thời với đường ray hay sự giãn nở động của khổ đường ray khiến mối quan hệ giữa bánh xe và đường ray trên cầu trở nên phức tạp hơn, ảnh hưởng trực tiếp đến tính an toàn chống trật bánh và sự ổn định khi đoàn tàu di chuyển qua cầu.

Để giải quyết vấn đề này, nhóm nghiên cứu do Giáo sư Trạch Uyên Minh tại Đại học Giao thông Tây Nam dẫn đầu đã phát triển phương pháp phân tích hệ thống tương tác động lực học giữa đoàn tàu - đường ray - cầu, trong đó xem xét cả đầu máy toa xe, kết cấu đường ray và cầu như một hệ thống tổng thể có sự tương tác

chặt chẽ lẫn nhau. Phương pháp này không chỉ giúp mô phỏng chính xác hơn các phản ứng động lực của cầu mà còn hỗ trợ đưa ra những giải pháp kỹ thuật nhằm tăng cường tính an toàn và ổn định của hệ thống đường sắt cao tốc.

1. Nguyên lý tương tác động lực học giữa đoàn tàu cao tốc - đường ray - cầu

Khi đoàn tàu cao tốc đi qua cầu, nó tạo ra tác động động lực lên kết cấu cầu, khiến cầu bị rung động. Ngược lại, sự rung động của cầu cũng gây ảnh hưởng đến an toàn và độ êm ái của đoàn tàu khi di chuyển trên đó. Điều này cho thấy giữa đoàn tàu và cầu luôn tồn tại một mối quan hệ tương tác hai chiều, và mức độ tương tác này càng trở nên rõ rệt khi tốc độ đoàn tàu tăng lên.

Bản chất của sự tương tác động lực học giữa đoàn tàu và cầu được thực hiện thông qua mối quan hệ động lực giữa bánh xe và đường ray. Lực động tác dụng lên cầu xuất phát từ bánh xe khi tiếp xúc với đường ray, sau đó lực này được truyền từ đường ray đến tà vẹt (hoặc tấm ray) và cuối cùng đến kết cấu dầm cầu. Cường độ và hướng của lực động này phụ thuộc vào hình dạng bề mặt tiếp xúc giữa bánh xe và đường ray, mức độ không bằng phẳng của bề mặt, cũng như các rung động xảy ra tại điểm tiếp xúc.

Ở tốc độ cao, sự tương tác động lực giữa bánh xe và đường ray trở nên mạnh mẽ hơn, dẫn đến các biến đổi lớn trong tải trọng thẳng đứng (khi lực giảm quá mức có thể gây hiện tượng bánh xe mất tiếp xúc tạm thời với đường ray) và gia tăng lực động ngang (khi bánh xe dao động kiểu rắn bò và va vào đường ray). Những yếu tố này không chỉ ảnh hưởng đến sự an toàn khi đoàn tàu chạy qua cầu mà còn gây ra dao động mạnh cho kết cấu cầu. Vì vậy, việc nghiên cứu vấn đề tương tác động lực học giữa đoàn tàu và cầu cần được mở rộng thành một bài toán tổng thể bao gồm cả đoàn tàu - đường ray - cầu để đưa ra giải pháp toàn diện hơn.

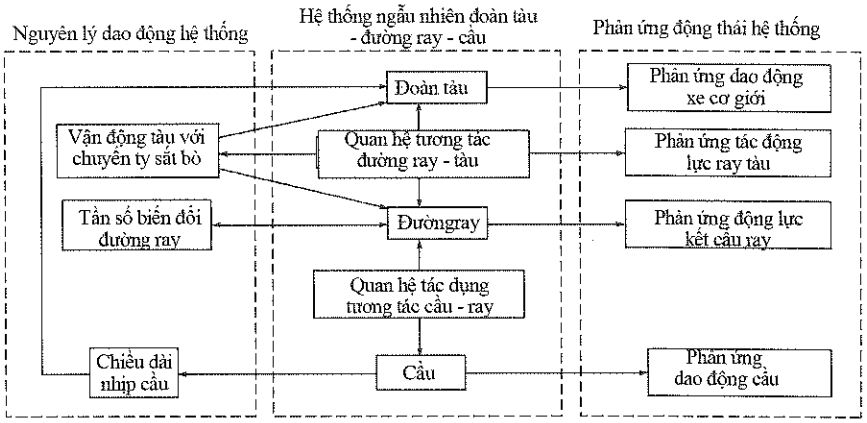
Nguyên lý tương tác động lực học giữa đoàn tàu - đường ray - cầu được minh họa ở Hình 3-4-1. Hệ thống gồm ba thành phần chính: đoàn tàu, kết cấu đường ray và cầu, được kết nối thành một hệ thống lớn thông qua hai mối quan hệ tương tác:

- Bánh xe - đường ray.
- Cầu - đường ray.

Khi chịu tác động từ bên ngoài, hệ thống này sẽ tạo ra dao động tương tác phức tạp và dẫn đến phản ứng dao động của từng thành phần. Trong hệ thống này, mối quan hệ động lực giữa bánh xe và đường ray đóng vai trò trung tâm, là yếu tố liên kết đoàn tàu với kết cấu cầu.

Nguồn kích thích dao động trong hệ thống đoàn tàu - đường ray - cầu là yếu tố quan trọng cần được nghiên cứu kỹ lưỡng khi phân tích rung động cầu dưới tác động

của đoàn tàu. Các nguồn kích thích dao động này được chia thành ba loại chính, tương ứng với ba thành phần trong hệ thống:



Hình 3-4-1: Sơ đồ nguyên lý tương tác động lực học giữa đoàn tàu cao tốc - đường ray - cầu

1- Bố trí nhịp cầu: Khi đoàn tàu di chuyển qua, nhịp cầu đóng vai trò là nguồn kích thích dao động chính. Các kiểu bố trí nhịp khác nhau (như nhịp đều hoặc không đều, nhịp dài hoặc ngắn) sẽ tạo ra những mức độ kích thích khác nhau.

2- Sự không bằng phẳng ngẫu nhiên của đường ray: Đây là yếu tố thể hiện trạng thái hình học của tuyến đường và đóng vai trò như nguồn kích thích ngẫu nhiên của hệ thống. Những bất thường về hình học trên bề mặt đường ray sẽ được đưa vào hệ thống thông qua sự biến dạng hình học tại bề mặt tiếp xúc.

3- Dao động kiểu rắn bò của bánh xe: Đây là hiện tượng tự kích thích do sự tương tác giữa hình dạng của bánh xe và đường ray. Khi tốc độ đoàn tàu tăng cao, dao động ngang tự kích thích này có thể gây ra dao động ngang mạnh cho cả hệ thống đoàn tàu - đường ray - cầu, ảnh hưởng tiêu cực đến độ ổn định và an toàn khi vận hành. Vì vậy, hiện tượng này cần được đặc biệt quan tâm trong quá trình thiết kế và khai thác các tuyến đường sắt cao tốc.

2. Mô hình tương tác động giữa tàu cao tốc - đường ray - cầu

Dựa trên các nguyên lý nêu trên, có thể xây dựng mô hình tương tác động giữa tàu cao tốc - đường ray - cầu. Đối với các loại tàu cao tốc, kết cấu đường ray và kết cấu cầu khác nhau, mô hình cụ thể sẽ có sự khác biệt, nhưng khung cơ bản là giống nhau, tức là mô hình này xem xét toàn diện cấu trúc của đầu máy toa xe, đường ray và cầu, đồng thời liên kết chặt chẽ thông qua mối quan hệ tương tác giữa bánh xe và đường ray cũng như giữa cầu và đường ray. Mô hình tương tác động giữa tàu cao tốc - đường ray không ballast dạng tấm - cầu dầm hộp giản đơn được minh họa trong hình 3-4-2 (cầu chỉ thể hiện sơ đồ 3 nhịp).

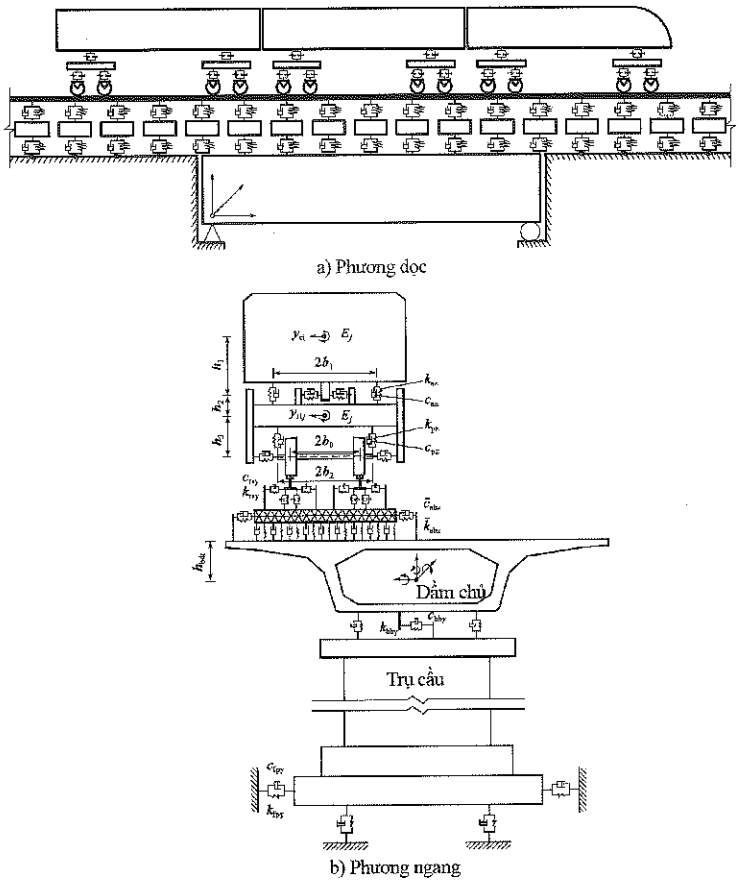
So với mô hình dao động xe - cầu cổ điển, điểm khác biệt chính của mô hình này là:

1- Xem xét dao động của kết cấu đường ray trên cầu, như trong mô hình minh họa là kết cấu đường ray không ballast dạng tấm;

2- Chi tiết hóa mối quan hệ động lực học giữa bánh xe và đường ray;

3- Tính đến đoạn đường ray trên nền đất hai đầu cầu, giúp phản ánh chân thực hơn hành vi động của tàu cao tốc khi vào và ra khỏi cầu. Thực tiễn cho thấy, khi tàu đi qua đoạn chuyển tiếp giữa đường và cầu với tốc độ cao, sự thay đổi đột ngột về độ cứng của nền móng phía dưới đường ray dễ gây ra lún không đồng đều, ảnh hưởng lớn đến độ an toàn và thoải mái khi chạy tàu. Điều này cũng khiến trạng thái ban đầu của tàu khi vào cầu có sự khác biệt so với trạng thái lý tưởng, từ đó ảnh hưởng đến đặc tính dao động của hệ thống xe – cầu tại nhịp thứ nhất và nhịp thứ hai.

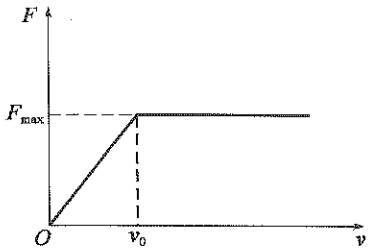
2.1. Mô hình tàu cao tốc



Hình 3-4-2: *Mô hình tương tác động giữa tàu cao tốc - đường ray - cầu*

(k - Độ cứng của các bộ phận liên quan; c - Hệ số giảm chấn; h - Chiều cao cấu trúc của các bộ phận)

Đơn vị cơ bản của mô hình tàu cao tốc là mô hình đầu máy toa xe, được xác định dựa trên thành phần đoàn tàu. Đầu máy toa xe được xây dựng bằng phương pháp động lực học hệ nhiều vật rắn, trong đó xem xét đầy đủ các bậc tự do như dao động thẳng đứng, dịch ngang, dao động dọc (gật đầu), lắc ngang và lật nghiêng của thân tàu, khung giá chuyển hướng và bánh xe. Tùy theo tình hình thực tế, có thể sử dụng đặc tính tuyến tính hoặc phi tuyến để mô tả độ cứng và độ giảm chấn của hệ thống treo sơ cấp và thứ cấp. Ví dụ, các tàu cao tốc thường được trang bị bộ giảm chấn chống dao động ngang, với đặc tính giảm chấn bão hòa phi tuyến, có thể được mô tả bằng mô hình trong Hình 3-4-3.

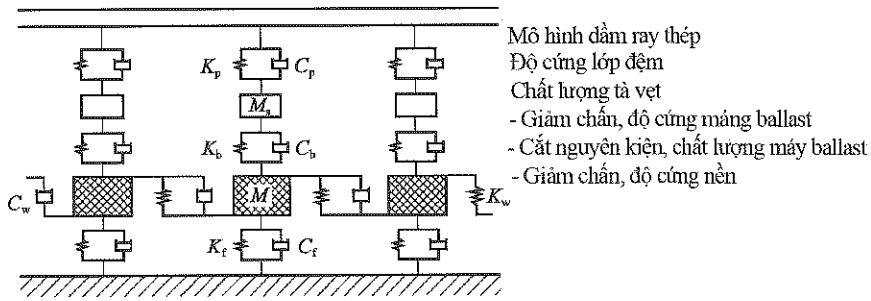


Hình 3-4-3: *Đặc tính phi tuyến bão hòa của bộ giảm chấn chống dao động ngang*

2.2. Mô hình đường ray

Đối với kết cấu đường ray có ballast thông thường, mô hình đường ray sử dụng mô hình dầm Euler liên tục được đỡ đàn hồi tại các điểm rời rạc. Nền móng dưới đường ray được rời rạc hóa theo chiều dọc, với mỗi điểm rời rạc tương ứng với vị trí của một thanh tà vẹt. Mỗi đơn vị đỡ được mô hình hóa bằng mô hình dao động gồm hai khối lượng (tà vẹt và lớp ballast) với ba lớp đàn hồi - giảm chấn (thép ray - tà vẹt - máng ballast - nền đường hoặc cầu), như được minh họa trong Hình 3-4-4.

Giữa các khối lượng của lớp ballast liền kề có các phần tử mô phỏng độ cứng và giảm chấn cắt ngang của lớp ballast, nhằm tái hiện hiệu ứng ma sát và sự lồng ghép giữa các đá ballast.



Hình 3-4-4: *Mô hình đường ray*

Đối với kết cấu đường ray không ballast dạng tấm trên cầu được minh họa trong Hình 3-4-4, điểm khác biệt nằm ở mô hình tấm đường ray. Phương trình dao động theo phương thẳng đứng của tấm đường ray được biểu diễn như sau:

$$\frac{\partial^4 w(x,y,z,t)}{\partial x^4}+2\frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial x^2\partial y^2}+\frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial y^4}+\frac{C}{D}\frac{\partial w(x,y,t)}{\partial t}+\frac{\overline{m}}{D}\frac{\partial^2 w(x,y,t)}{\partial t^2}$$

$$=\frac{1}{D}\sum_{i=1}^{N_P}P_i(t)\delta\left(x-x_{pi}\right)\delta\left(y-y_{pi}\right) \quad (3\text{-}4\text{-}1)$$

trong đó:

w - chuyển vị thẳng đứng của tấm đường ray (m);

m - khối lượng trên đơn vị diện tích của tấm đường ray (kg/m²);

C, D - hệ số giảm chấn (N·s/m) và độ cứng uốn (N·m) của tấm đường ray;

N_p - số lượng tải trọng tập trung tác dụng lên tấm đường ray;

x_{pi}, y_{pi} - vị trí tác dụng của tải trọng tập trung thứ i trên tấm đường ray (m).

Phương trình dao động của tấm đường ray có thể được giải bằng phương pháp gần đúng, sử dụng tổ hợp chuỗi các hàm dầm hai chiều:

$$w(x,y,t)=\sum_{m=1}^{N_x}\sum_{n=1}^{N_y}A_{mn}X_m(x)Y_n(y)T_{mn}(t) \quad (3\text{-}4\text{-}2)$$

trong đó:

A_{mn} - hệ số;

$X_m(x)$, $Y_n(y)$ - hàm dạng dầm bậc m và n tương ứng với điều kiện biên tại hai đầu theo phương x và y (m);

$T_{mn}(t)$ - tọa độ dao động chính quy;

N_x, N_y - số lượng mode dao động cắt theo chiều dài và chiều rộng của tấm đường ray.

2.3. Mô hình cầu

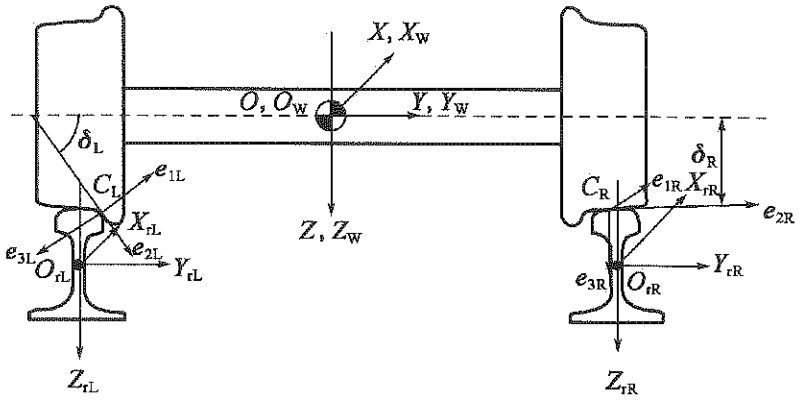
Kết cấu cầu được xây dựng bằng mô hình phần tử hữu hạn. Tùy theo hình dạng cụ thể của kết cấu cầu, có thể sử dụng các phần tử dầm không gian, phần tử thanh, phần tử tấm và các phần tử đặc biệt khác để tiến hành mô hình hóa phần tử hữu hạn.

2.4. Mô hình quan hệ tương tác bánh xe - đường ray

Mô tả quan hệ tương tác động giữa bánh xe và đường ray trên cầu được thực hiện bằng mô hình quan hệ động lực học bánh xe - đường ray. Quan hệ động lực học bánh xe - đường ray được thiết lập dựa trên việc loại bỏ giả thuyết "đường ray tĩnh" trong lý thuyết động lực học phương tiện cổ điển. Các mô hình quan hệ bánh xe - đường ray cổ điển không xem xét sự dao động của kết cấu đường ray và biến dạng đàn hồi của thép ray ảnh hưởng đến hình học tiếp xúc lăn và lực trượt giữa bánh xe và đường ray.

Trong mô hình này, các bậc tự do thực tế của đường ray trên cầu được xem xét chi tiết, bao gồm dao động thẳng đứng, dao động ngang và dao động xoắn, như được minh họa trong Hình 3-4-5.

Lực pháp tuyến giữa bánh xe và đường ray được tính toán dựa trên lý thuyết tiếp xúc đàn hồi phi tuyến nổi tiếng của Hertz, thông qua độ nén đàn hồi pháp tuyến tại điểm tiếp xúc bánh xe - đường ray tại từng thời điểm xác định.



Hình 3-4-5: *Mô hình quan hệ tương tác bánh xe - đường ray*

Phương trình tính toán lực pháp tuyến giữa bánh xe và đường ray:

$$N(t)=\left[\frac{1}{G}\delta Z_N(t)\right]^{\frac{3}{2}} \tag{3-4-3}$$

trong đó:

G - hằng số tiếp xúc bánh xe - đường ray $\left(m / N^{\frac{2}{3}} \right)$;

$\delta Z_N(t)$ - độ nén đàn hồi pháp tuyến tại điểm tiếp xúc bánh xe - đường ray (m).

Về tính toán lực trượt tiếp tuyến giữa bánh xe và đường ray, đầu tiên sử dụng lý thuyết trượt tuyến tính của Kalker:

$$\begin{cases} F_x = f_{11}\xi_x \\ F_y = -f_{22}\xi_y - f_{23}\xi_{sp} \\ M_z = f_{23}\xi_y - f_{33}\xi_{sp} \end{cases} \tag{3-4-4}$$

trong đó:

F_x, F_y - lực trượt tiếp tuyến theo phương dọc và phương ngang (N);

M_z - mômen trượt xoay (N·m);

f_{11}, f_{22} - hệ số trượt tuyến tính theo phương dọc và phương ngang (N);

f_{23} - hệ số trượt xoay/ngang (N·m);

f_{23} - hệ số trượt xoay (N·m²);

ξ_x, ξ_y, ξ_{sp} - tỷ lệ trượt không thứ nguyên theo phương dọc, phương ngang và xoay:

$$\begin{cases} \xi_x = \dfrac{V_{w1} - V_{r1}}{V} \\ \xi_y = \dfrac{V_{w2} - V_{r2}}{V} \\ \xi_{sp} = \dfrac{\Omega_{w3} - \Omega_{r3}}{V} \end{cases} \tag{3-4-5}$$

trong đó:

V_{w1}, V_{w2}, Ω_{w3} - tốc độ dao động của bánh xe tại điểm tiếp xúc theo phương dọc (m/s), phương ngang (m/s) và tốc độ xoay (rad/s);

V_{r1}, V_{r2}, Ω_{r3} - tốc độ dao động của đường ray tại điểm tiếp xúc theo phương dọc (m/s), phương ngang (m/s) và tốc độ xoay (rad/s);

V - tốc độ danh nghĩa của bánh xe trên đường ray (m/s).

Do lý thuyết trượt tuyến tính của Kalker chỉ áp dụng trong trường hợp tỷ lệ trượt nhỏ, còn trong trường hợp trượt lớn khi bề mặt tiếp xúc bánh xe - đường ray chủ yếu do vùng trượt chi phối, tỷ lệ trượt tiếp tục tăng sẽ không làm lực trượt tăng tuyến tính, mà cuối cùng sẽ đạt đến giới hạn bão hòa của lực ma sát trượt Coulomb. Vì vậy, cần áp dụng hiệu chỉnh phi tuyến bằng lý thuyết Johnson-Vermeulen, với hệ số hiệu chỉnh:

$$\varepsilon = \frac{F'_R}{F_R} \tag{3-4-6}$$

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \tag{3-4-7}$$

$$F'_R = \begin{cases} fN\left[\dfrac{f_R}{fN} - \dfrac{1}{3}\left(\dfrac{F_R}{fN}\right)^2 + \dfrac{1}{27}\left(\dfrac{F_R}{fN}\right)^3\right] & \left(F_R \le 3fN\right) \\ fN & \left(F_R > 3fN\right) \end{cases} \tag{3-4-8}$$

trong đó:

f - hệ số ma sát giữa bánh xe và đường ray;

f_N - lực pháp tuyến giữa bánh xe và đường ray.

Lực trượt và mômen trượt sau khi hiệu chỉnh được xác định như sau:

$$\begin{cases} F_x' = \varepsilon \cdot F_x \\ F_y' = \varepsilon \cdot F_y \\ M_x' = \varepsilon \cdot M_z \end{cases} \tag{3-4-9}$$

Mô hình quan hệ động bánh xe - đường ray này về bản chất đã vượt qua các giả thuyết trong mô hình cổ điển về tính cứng của bánh xe và đường ray cũng như giả thuyết tiếp xúc liên tục giữa bánh xe và đường ray. Mô hình này giúp tránh được quy trình lặp phức tạp khi tính toán lực pháp tuyến và lực trượt, đồng thời có thể xét đến các yếu tố phức tạp như dao động của đường ray, sự giãn rộng động của khoảng cách đường ray và hiện tượng bánh xe treo, nhờ đó phản ánh thực tế khách quan một cách chính xác hơn.

2.5. Mô hình tương tác giữa cầu và đường ray

Khi xét đến dao động của kết cấu đường ray đặt trên cầu, sự tương tác giữa cầu và phương tiện được cụ thể hóa thành mối quan hệ giữa bánh xe của phương tiện và đường ray trên cầu (tức quan hệ bánh xe - đường ray). Đồng thời, cần xem xét thêm mối liên kết giữa cầu và kết cấu đường ray trên cầu.

Để mô phỏng mối liên kết này, có thể tính toán trực tiếp sự phân bố lực giữa tà vẹt (hoặc tấm đường ray) và thân dầm cầu, dựa trên độ cứng và hệ số giảm chấn của lớp nền phía dưới tà vẹt (hoặc lớp vữa CA dưới tấm đường ray). Cách tiếp cận này giúp kết nối đồng bộ và chặt chẽ giữa kết cấu đường ray và cầu, tạo thành một hệ thống nhất quán.

3. Phân tích dao động ghép giữa tàu cao tốc và cầu

Dựa trên kết quả thử nghiệm động lực học của tàu thử nghiệm cao tốc "Trung Hoa Chi Tinh" khi chạy qua cầu lớn Song Hà trên tuyến đường sắt cao tốc khách vận Tần Thẩm, mô hình tương tác động giữa tàu cao tốc - đường ray - cầu được sử dụng để phân tích đặc tính dao động ghép giữa tàu và cầu.

Trong phân tích, tàu thử nghiệm cao tốc "Trung Hoa Chi Tinh" sử dụng cấu hình 2 động cơ + 4 toa kéo (2M + 4T). Khoảng cách cố định giữa các động cơ là 11,46 m, khoảng cách giữa các trục cố định là 3,0 m; khoảng cách cố định giữa các toa kéo là 18,0 m, khoảng cách giữa các trục cố định là 2,56 m. Trọng lượng trục của động cơ là 195 kN, và của toa kéo là 130 kN. Tốc độ thử nghiệm khi tàu chạy qua cầu Song Hà dao động từ 160 km/h đến 225 km/h. Kết quả tính toán mô hình các chỉ số phản ứng động lực chính của tàu, đường ray và cầu tại các tốc độ thử nghiệm chủ yếu được so sánh với kết quả đo thực tế tại hiện trường, như thể hiện trong Bảng 3-4-1.

Bảng 3-4-1: So sánh kết quả tính toán của mô hình lý thuyết và kết quả đo lường từ thử nghiệm thực tế

Tốc độ tàu (km/h)	Loại	Hệ số trật bánh	Tỷ lệ giảm tải trọng bánh xe	Chỉ số ổn định thẳng đứng của thân tàu	Chỉ số ổn định ngang của thân tàu	Phản lực tại gối thép ray (kN)	Gia tốc tấm đường ray (g)	Độ dịch chuyển thẳng đứng tại giữa nhịp cầu (mm)	Gia tốc thẳng đứng tại giữa nhịp cầu (g)
160	Tính toán	0.27	0.31	2.27	2.44	50.44	9.23	0.84	0.042
	Thử nghiệm	0.28	0.31	2.13	2.18	45.95	9.08	0.86	0.13
180	Tính toán	0.27	0.34	2.31	2.46	51.68	8.95	0.85	0.056
	Thử nghiệm	0.29	0.36	2.14	2.36	56.25	10.21	0.92	0.17
200	Tính toán	0.26	0.38	2.37	2.48	52.67	9.82	0.86	0.078
	Thử nghiệm	0.32	0.33	2.34	2.36	57.04	10.96	1.02	0.18
220	Tính toán	0.28	0.42	2.38	2.5	52.91	10.68	0.92	0.096
	Thử nghiệm	0.29	0.34	2.24	2.47	63.22	12.19	1.22	0.24

Kết quả đối chiếu cho thấy, các chỉ số phản ứng động lực chính của hệ thống tàu cao tốc - đường ray - cầu được tính toán lý thuyết tương đối khớp với kết quả thử nghiệm thực tế. Điều này chứng tỏ mô hình tương tác động giữa tàu cao tốc - đường ray - cầu có khả năng phản ánh tốt các đặc tính động lực học khi tàu cao tốc chạy qua kết cấu đường ray và cầu. Mô hình này có thể được sử dụng để đánh giá tổng thể độ an toàn, sự thoải mái của hành khách, cũng như ảnh hưởng động lực học của tàu cao tốc lên kết cấu cầu và đường ray khi tàu chạy qua cầu.

II. ĐỘNG LỰC HỌC HỆ THỐNG KẾT CẤU ĐƯỜNG RAY - CẦU TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC DƯỚI TÁC ĐỘNG ĐA NGUỒN LỰC

Hệ thống kết cấu đường ray - cầu trên đường sắt cao tốc đang đối diện với những thách thức lớn từ môi trường vận hành ngày càng phức tạp, bao gồm sự đa dạng của điều kiện địa lý và sự chênh lệch rõ rệt về khí hậu. Khi mạng lưới đường sắt cao tốc

ngày càng mở rộng, nhiều nguồn tác động ngẫu nhiên như tàu cao tốc, động đất, gió ngang và biến đổi tham số hệ thống trở thành vấn đề đáng quan tâm, khiến bài toán động lực học ngẫu nhiên của hệ thống tàu - đường ray - cầu trở nên nổi bật hơn.

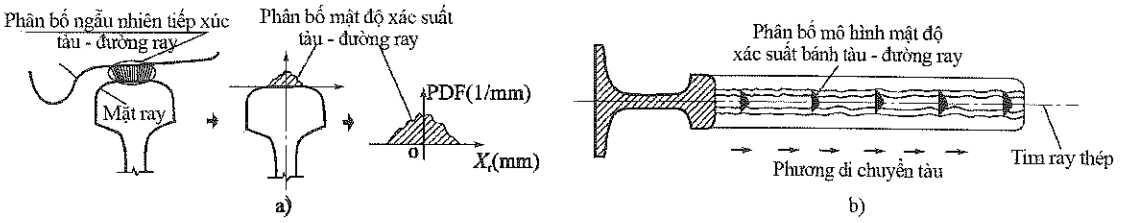
Sự tương tác phức tạp giữa các yếu tố như động đất, gió ngang, tàu và cầu khi tàu cao tốc di chuyển qua cầu đã làm cho hệ thống này thể hiện các đặc tính động lực học vô cùng khó dự đoán. Vấn đề đặt ra là làm thế nào để bảo đảm an toàn vận hành của tàu và độ bền của kết cấu cầu trong điều kiện vận hành khắc nghiệt, đồng thời giảm thiểu thiệt hại do thiên tai gây ra. Đây là một nhiệm vụ mang tính chiến lược và cấp thiết nhằm đảm bảo sự phát triển bền vững của hệ thống đường sắt cao tốc quốc gia.

Nhằm giải quyết vấn đề này, nhóm nghiên cứu của Dư Chí Vũ đã tiến hành nghiên cứu chuyên sâu về lý thuyết phân tích động lực học, công nghệ thử nghiệm, phương pháp thiết kế và các giải pháp giảm thiệt hại cho hệ thống đường ray - cầu dưới tác động đồng thời của tàu, động đất và gió ngang.

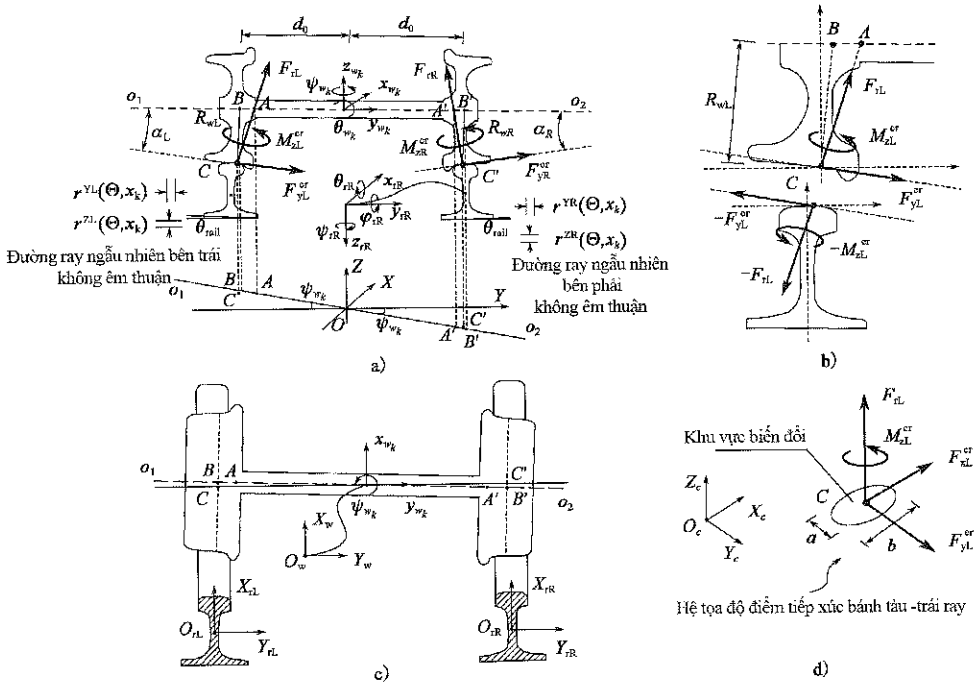
1. Phương pháp phân tích dao động ngẫu nhiên của hệ thống đường ray - cầu dưới tác động đa nguồn lực dựa trên lý thuyết mật độ xác suất tiến hóa

Phương pháp "chọn điểm theo nhiều phân phối" được đề xuất thông qua việc kết hợp kỹ thuật chọn điểm từ lý thuyết số Cs và quy tắc biến đổi Rosenblatt, cho phép lựa chọn các điểm đại diện cho tham số ngẫu nhiên có nhiều phân phối xác suất đa chiều. Đồng thời, một hàm điều hòa ngẫu nhiên mô tả độ không bằng phẳng của đường ray được xây dựng dựa trên biểu diễn phổ công suất.

Phương pháp này tập trung vào việc nghiên cứu đặc tính phân bố ngẫu nhiên của vùng tiếp xúc giữa bánh xe và đường ray, từ đó thiết lập hàm phân bố mật độ xác suất tiến hóa theo thời gian của vùng tiếp xúc này. Ngoài ra, một kỹ thuật định vị nhanh các điểm trung bình đại diện cho trạng thái tiếp xúc ngẫu nhiên tức thời giữa bánh xe và đường ray đã được phát triển. Cuối cùng, mô hình tiến hóa mật độ xác suất theo thời gian của trạng thái tiếp xúc bánh xe - đường ray được hoàn thiện, như thể hiện trong Hình 3-4-6 và Hình 3-4-7.

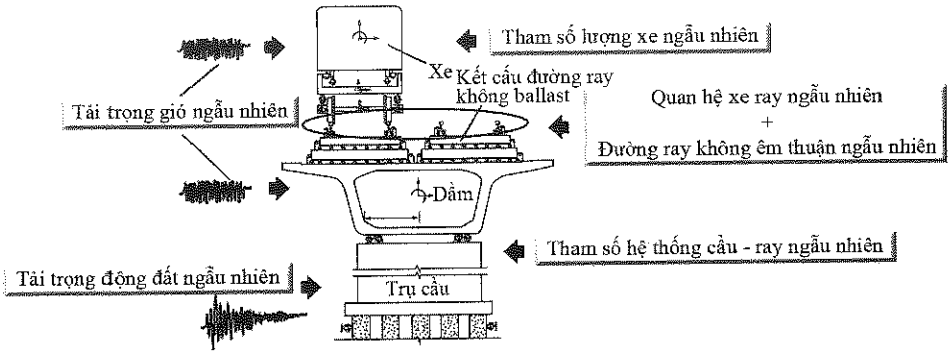


Hình 3-4-6: *Mô hình phân bố mật độ xác suất của vùng tiếp xúc ngẫu nhiên bánh xe - đường ray*



Hình 3-4-7: Mô hình tiếp xúc ngẫu nhiên bánh xe - đường ray ba chiều

2. Phương pháp phân tích dao động ngẫu nhiên của hệ thống đường ray - cầu trên đường sắt cao tốc dưới tác động đa nguồn lực dựa trên lý thuyết mật độ xác suất tiến hóa



Hình 3-4-8: Mô hình dao động ngẫu nhiên của hệ thống tàu cao tốc - đường ray - cầu

Dựa trên lý thuyết mật độ xác suất tiến hóa, một mô hình động lực ngẫu nhiên và phương pháp phân tích cho hệ thống đường ray - cầu trên đường sắt cao tốc dưới tác động đa nguồn lực đã được xây dựng, như minh họa trong Hình 3-4-8. Phương trình tiến hóa mật độ xác suất cho hệ thống tàu cao tốc - đường ray - cầu được biểu diễn như sau:

$$\frac{\partial_{p_{U\Theta}}\left(u,\xi_q,t\right)}{\partial t}+\dot{u}\left(X,\dot{X},\ddot{X},\xi_q,t\right)\frac{\partial_{p_{u\Theta}}\left(u,\xi_q,t\right)}{\partial t}=0 \qquad (3\text{-}4\text{-}10)$$

trong đó:

$p_{U\Theta}(u, \xi_q, t)$ - hàm mật độ xác suất;

u - véc-tơ trạng thái của phản ứng ngẫu nhiên từ hệ thống tàu cao tốc – đường ray - cầu;

X - tọa độ theo chiều dài đường ray;

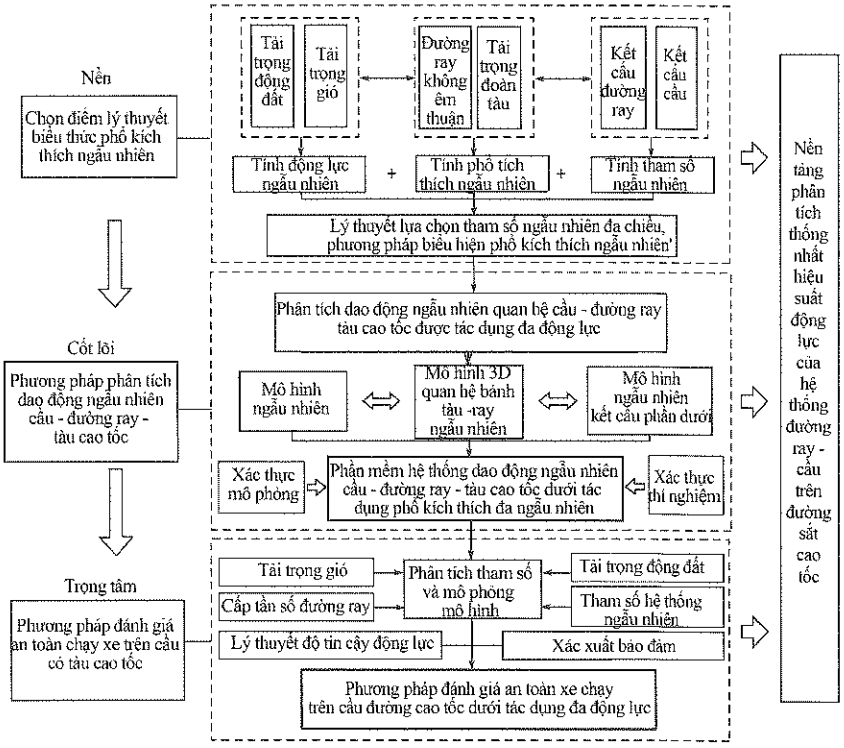
t - thời gian;

$\Theta = (\xi_1, \xi_2, ..., \xi_{npt})$ - không gian các biến ngẫu nhiên đại diện cho độ không bằng phẳng ngẫu nhiên của đường ray;

$\xi_q = (1, 2, ..., npt)$ - tập hợp các điểm rời rạc của tần số không gian ngẫu nhiên và pha ngẫu nhiên dùng để sinh mẫu độ không bằng phẳng của đường ray;

npt - tổng số của các véc-tơ ngẫu nhiên.

Dựa trên mô hình này, một phần mềm phân tích động lực ngẫu nhiên thống nhất cho hệ thống đường ray - cầu dưới tác động đa nguồn lực đã được phát triển (Hình 3-4-9). Phần mềm cho phép thực hiện phân tích dao động ngẫu nhiên của hệ thống tàu cao tốc - đường ray - cầu dưới các nguồn tác động khác nhau, giúp làm sáng tỏ các đặc tính ngẫu nhiên như giá trị trung bình, độ lệch chuẩn và quy luật phân bố tiến hóa mật độ xác suất theo thời gian của phản ứng dao động ngẫu nhiên.



Hình 3-4-9: *Nền tảng phân tích thống nhất hiệu suất động lực của hệ thống đường ray - cầu trên đường sắt cao tốc*

Phương pháp này đánh dấu một bước đột phá khi chuyển từ phương pháp phân tích động lực học mang tính xác định truyền thống sang phương pháp phân tích ngẫu nhiên, đồng thời cung cấp cơ sở lý thuyết vững chắc cho việc mô phỏng và tính toán hiệu suất động lực của hệ thống đường ray - cầu trên đường sắt cao tốc.

3. Nền tảng và công nghệ thử nghiệm đồng bộ cho hệ thống đường ray - cầu trên đường sắt cao tốc dưới tác động đa nguồn lực

Dựa trên nền tảng của Phòng thí nghiệm kỹ thuật quốc gia về công nghệ xây dựng đường sắt cao tốc tại Đại học Trung Nam, các thiết bị thử nghiệm tiên tiến đã được phát triển, bao gồm hệ thống thử nghiệm nền đường - đường ray, hệ thống bàn rung và hầm gió, cho phép tái hiện các điều kiện vận hành phức tạp của hệ thống khi chịu tác động của tàu cao tốc, động đất và gió ngang.

(1) Hệ thống mô phỏng tải trọng di động của tàu cao tốc

Với 5 bộ tác động được bố trí, hệ thống có khả năng mô phỏng chính xác tải trọng động trên đỉnh bệ đỡ ray trong điều kiện tàu chạy với tốc độ 350 km/h. Hệ thống này không chỉ tái tạo chính xác trạng thái tiếp xúc giữa bánh xe và đường ray mà còn mô phỏng đầy đủ phản ứng động lực học không gian theo phương thẳng đứng và ngang của kết cấu đường ray dưới các điều kiện tải trọng khác nhau. Đặc biệt, hệ thống tính đến hiệu ứng chồng chất tải động giữa các bánh xe của các giá chuyển hướng liền kề, khắc phục hoàn toàn những khó khăn trong việc mô phỏng tải trọng di động của tàu cao tốc ở quy mô đầy đủ.

(2) Công nghệ mô phỏng tải trọng di động tần số cao theo thời gian thực:

Hệ thống này được xây dựng dựa trên các mô hình quy mô đầy đủ của đường ray và nền đường, với khả năng đo đạc phản lực tại các điểm kẹp ray khi các bánh xe di chuyển qua. Bằng cách sử dụng phép biến đổi Fourier và kết hợp với yêu cầu của máy thử tải MTS servo, hệ thống tạo ra đường cong đầu vào cho các bộ tác động thông qua việc chồng chất các thành phần phản lực. Nhờ đó, công nghệ mô phỏng tải trọng di động tần số cao theo thời gian thực đã được phát triển, cho phép tái hiện toàn diện hành vi động lực học của kết cấu đường ray dưới tác động của tàu cao tốc, đồng thời đưa ra phương pháp thử nghiệm cụ thể.

(3) Hệ thống thử nghiệm bàn rung đa chức năng

Đây là hệ thống thử nghiệm tiên tiến với 3 bàn rung sáu bậc tự do, mỗi bàn có kích thước 4 m × 4 m, khoảng cách giữa các bàn có thể điều chỉnh từ 6 m đến 25 m. Hệ thống có khả năng mô phỏng các đặc tính động đất mạnh, bao gồm kích thích đồng nhất, không đồng nhất và động đất không gian đa chiều. Đồng

thời, một hệ thống kiểm soát an toàn chạy tàu trên cầu trong điều kiện động đất cũng được phát triển. Đây là hệ thống thử nghiệm đầu tiên trong nước và quốc tế có khả năng mô phỏng an toàn chạy tàu trên cầu khi xảy ra động đất, cung cấp cơ sở thử nghiệm quan trọng để kiểm chứng các nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng số về dao động ghép giữa tàu và cầu.

(4) Hệ thống thử nghiệm hầm gió cho đường sắt cao tốc

Hệ thống hầm gió bao gồm hai đoạn thử nghiệm:

- Đoạn thử nghiệm tốc độ thấp với chiều rộng 12 m, chiều cao 3,5 m, chiều dài 18 m, cho phép mô phỏng tốc độ gió từ 0 đến 20 m/s.
- Đoạn thử nghiệm tốc độ cao với chiều rộng 3 m, chiều cao 3 m, chiều dài 15 m, cho phép tái hiện tốc độ gió tối đa lên đến 94 m/s, đủ để mô phỏng các đặc tính khí động học của tàu cao tốc chạy ở tốc độ 350 km/h.

Thiết kế lệch tầng giữa đoạn thử nghiệm tốc độ cao và tốc độ thấp giúp giải quyết vấn đề giới hạn về chiều dài đoạn thử nghiệm khi thực hiện các thí nghiệm tàu di động - cầu. Đặc biệt, hệ thống còn phát triển công nghệ mô hình tàu di động trong hầm gió với hệ thống gia tốc tàu dạng rãnh trượt chữ U, khắc phục được các khó khăn về việc tăng, giảm tốc độ, kích hoạt và kiểm soát chuyển động của mô hình tàu trong hầm gió, đảm bảo an toàn trong suốt quá trình thử nghiệm.

III. PHÂN TÍCH PHẢN ỨNG ĐỊA CHẤN CỦA CẦU TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC BẰNG MÔ HÌNH TÍCH HỢP ĐƯỜNG RAY - CẦU

Để đảm bảo các tiêu chuẩn cao về độ êm thuận và an toàn khi vận hành, đường sắt cao tốc thường áp dụng mô hình khép kín hoàn toàn với phương thức "dùng cầu thay thế đường". Các cầu trên tuyến đường sắt cao tốc thường kéo dài hàng kilomet hoặc thậm chí hàng chục kilomet, khiến cho yêu cầu về kết cấu hệ thống đường ray trở nên khắt khe hơn. Hiện nay, hệ thống đường ray không ballast dạng tấm có kết cấu liên kết dọc qua các khe nối dầm đang được sử dụng phổ biến nhờ vào tính toàn khối cao và yêu cầu bảo dưỡng thấp hơn so với hệ thống đường ray có ballast truyền thống.

Tuy nhiên, do hệ thống đường ray không ballast dạng tấm có độ cứng dọc lớn, điều này làm tăng sự liên kết động lực giữa các nhịp cầu có đặc tính dao động khác nhau, khiến phản ứng địa chấn của hệ thống cầu trở nên phức tạp hơn nhiều. Đáng chú ý là trong "Quy phạm thiết kế kháng chấn cho công trình đường sắt" (GB 50111-2016) hiện tại, không có quy định rõ ràng về việc có nên tính đến hệ thống

đường ray không ballast dạng tấm trong quá trình phân tích phản ứng địa chấn của cầu hay không, và nếu có thì cần tính như thế nào.

Do đặc điểm của cầu trên tuyến đường sắt cao tốc bao gồm lưu lượng vận hành lớn, mật độ tàu chạy cao, tốc độ di chuyển nhanh và chi phí xây dựng cao, việc xảy ra hư hỏng khi động đất sẽ gây ra thiệt hại nghiêm trọng. Vì vậy, việc phân tích chính xác phản ứng địa chấn của cầu trên đường sắt cao tốc là một nhiệm vụ quan trọng hơn rất nhiều so với cầu trên các tuyến đường sắt thông thường.

Nhằm giải quyết vấn đề này, nhóm nghiên cứu của Trương Vĩnh Lượng đã đề xuất mô hình phân tích tích hợp đường ray - cầu dựa trên các đặc điểm kết cấu của hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II, vốn đang được ứng dụng rộng rãi trên các tuyến đường sắt cao tốc. Nhóm đã lựa chọn một số cầu dầm đơn dài 32 m và cầu liên tục có nhịp dài trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải làm đối tượng nghiên cứu. Sau đó, nhóm sử dụng mô hình tích hợp đường ray - cầu để phân tích tác động của hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II lên phản ứng địa chấn đàn hồi của cầu dầm đơn và cầu liên tục. Kết quả phân tích đã được so sánh với các mô hình truyền thống, trong đó không tính đến ảnh hưởng của hệ thống đường ray không ballast, nhằm làm rõ vai trò của hệ thống này trong việc giảm thiểu tác động địa chấn lên kết cấu cầu.

1. Mô hình phân tích tích hợp đường ray - cầu

1.1. Đặc điểm cấu trúc của hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II

Hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trên cầu bao gồm các thành phần: thép ray, bộ kẹp đàn hồi, tấm đường ray, lớp vữa điều chỉnh, tấm đế liên tục, lớp trượt và các khối chắn ngang (Hình 3-4-10). Các đặc điểm chính của hệ thống này như sau:

(1) Tấm đế và tấm đường ray được lắp đặt liên tục trên toàn bộ cầu mà không có khe nối.

Tấm đế và tấm đường ray được liên kết với nhau thông qua lớp vữa điều chỉnh CA bán cứng, lớp này giúp truyền lực dọc giữa hai thành phần.

(2) Thiết kế khe chống cắt và bu lông neo tại các gối cố định của mỗi nhịp dầm:

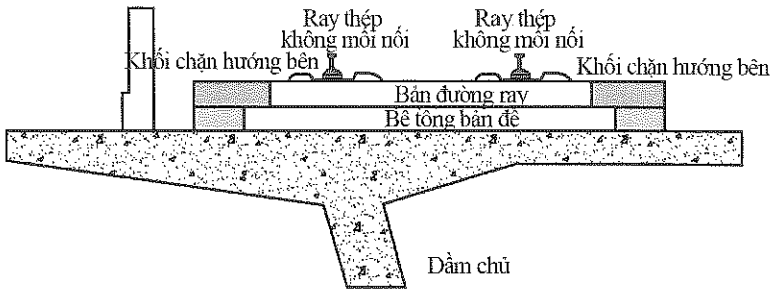
Tại các gối cố định của mỗi nhịp cầu, các khe chống cắt được thiết kế trên tấm đế để bu lông neo có thể đảm bảo liên kết dọc đáng tin cậy, giúp truyền lực dọc trực tiếp từ tấm đế xuống trụ cầu. Ở các vị trí khác, lớp trượt (hai lớp vải, một lớp màng) được bố trí để giảm bớt lực bổ sung do sự giãn nở dọc của cầu gây ra lên tấm đế.

(3) Lắp đặt tấm xốp cứng trên mặt dầm trong phạm vi 3,1 m trước và sau khe nối dầm.

Tấm xốp cứng được trải trên mặt dầm trong phạm vi 3,1 m trước và sau các khe nối dầm để giảm thiểu ảnh hưởng của góc quay tại đầu dầm lên kết cấu đường ray không ballast.

(4) Bố trí tấm ma sát, đầu neo và tấm chuyển tiếp tại nền đường phía sau mố cầu

Các tấm ma sát, đầu neo và tấm chuyển tiếp được lắp đặt trên nền đường phía sau mố cầu nhằm cố định lực dọc được truyền từ tấm đế xuống nền đường, đảm bảo không gây ảnh hưởng đến kết cấu đường ray phía trên.



Hình 3-4-10: Mặt cắt ngang của hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II

1.2. Mô hình phân tích tích hợp đường ray - cầu

Dựa trên cấu trúc của hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II, một mô hình tích hợp đường ray - cầu đã được phát triển để phân tích phản ứng địa chấn của cầu dầm trên tuyến đường sắt cao tốc. Mô hình này được xây dựng với các giả định cơ bản khi chịu tác động của động đất thường gặp như sau:

(1) Tấm đế và dầm chính chỉ liên kết thông qua khe chống cắt, bỏ qua ma sát của lớp trượt giữa hai thành phần.

(2) Không tính đến lực cản dọc của bộ kẹp ray.

(3) Gối cầu sử dụng gối thép hoặc gối cao su kiểu chậu, gối cố định được mô phỏng bằng cách ràng buộc bậc tự do chính - phụ, và bỏ qua ma sát tại các gối di động.

Những giả định trên được đưa ra với hai mục đích:

1- Tập trung phân tích phản ứng địa chấn của cầu trong điều kiện động đất thường gặp. Vì trong trường hợp này, gia tốc đỉnh của rung động mặt đất nhỏ nên ma sát giữa các thành phần ít ảnh hưởng hoặc chưa đủ phát huy tác dụng đáng kể.

2- Đơn giản hóa quá trình phân tích, chủ yếu sử dụng phương pháp phân tích đàn hồi tuyến tính. Nếu tính đến ma sát giữa các thành phần, bắt buộc phải áp

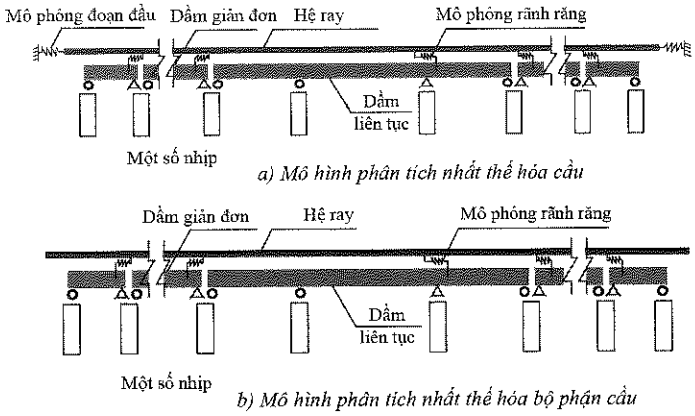
dụng phân tích phi tuyến, điều này sẽ làm tăng đáng kể khối lượng tính toán và thời gian xử lý.

Với các cầu đường sắt cao tốc nhiều nhịp, mô hình phân tích tích hợp đường ray - cầu có thể thực hiện theo hai cách, như được minh họa trong Hình 3-4-11:

- Mô hình 1: Mô hình tích hợp đầy đủ, có xét đến tác động ràng buộc dọc của đầu neo.
- Mô hình 2: Mô hình tích hợp một phần, không xét đến tác động ràng buộc dọc của đầu neo, cho phép đầu cuối của hệ thống đường ray có thể dịch chuyển tự do theo phương dọc.

2. Phân tích phản ứng địa chấn của cầu dầm liên tục trên đường sắt cao tốc

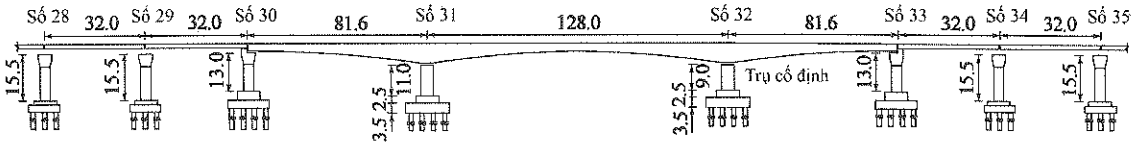
Cầu chính của một cây cầu trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải là cầu dầm liên tục hộp đôi, với sơ đồ nhịp (80 + 128 + 80) m. Dầm chính của cầu có mặt cắt dạng hộp đơn một khoang, bề rộng bản mặt trên là 13,4 m, bề rộng bản đáy là 7,0 m, và chiều cao dầm thay đổi theo hình parabola bậc hai, từ 5,6 m tại giữa nhịp đến 9,6 m tại vị trí trụ giữa. Phần trụ dưới của cầu là các trụ đặc có đầu tròn, với kích thước trụ theo phương dọc và ngang lần lượt là 4,5 m và 11,6 m, móng cầu sử dụng 24 cọc khoan nhồi có đường kính ϕ1,5 m, chiều dài mỗi cọc là 73 m. Cầu được lắp đặt gối cầu cao su kiểu chậu và trụ số 32 được thiết kế làm trụ chống chuyển vị. Tải trọng tĩnh kỳ hai trên cầu là 210 kN/m.



Hình 3-4-11: *Mô hình tích hợp đường ray - cầu*

Hai bên cầu chính là cầu dẫn dạng dầm đơn giản bằng bê tông cốt thép, mỗi nhịp dài 32 m. Trong nghiên cứu này, giả định mỗi bên cầu chính nối với 30 nhịp dầm đơn giản dài 32 m. Dầm chính của cầu dẫn có mặt cắt dạng hộp đơn một khoang với chiều cao dầm là 3,08 m. Trụ cầu dẫn là loại trụ trọng lực hình chữ nhật, có kích

thước trụ theo phương dọc và ngang lần lượt là 2,5 m và 6,0 m, chiều cao trụ là 15,5 m, móng cầu sử dụng 12 cọc khoan nhồi đường kính ϕ1,25 m, với chiều dài mỗi cọc là 40 m. Tải trọng tĩnh kỳ hai trên cầu dẫn là 120 kN/m. Sơ đồ bố trí cầu được minh họa trong Hình 3-4-12.



Hình 3-4-12: *Sơ đồ bố trí mặt đứng của cầu (Đơn vị kích thước: m)*

Bê tông sử dụng cho tấm đường ray và tấm đế trên cầu có cấp độ bền lần lượt là C60 và C30, với kích thước mặt cắt đơn tuyến của tấm đường ray và tấm đế lần lượt là 2,55 m × 0,23 m và 2,95 m × 0,19 m. Thép ray có khối lượng đơn vị là 60 kg/m. Đối với cầu đôi tuyến, độ cứng dọc tương đương của hệ thống đường ray là 8,28 × 10^7 kN/m và khối lượng tương đương là 5,8 t/m.

Để đánh giá hiệu quả của mô hình tích hợp đường ray - cầu, phản ứng địa chấn của cầu được phân tích và so sánh dưới ba mô hình:

- Mô hình 1: Mô hình tích hợp đầy đủ đường ray - cầu.
- Mô hình 2: Mô hình tích hợp một phần, không xét đến tác động ràng buộc dọc của đầu neo.
- Mô hình 3: Mô hình truyền thống, không tính đến hiệu ứng ràng buộc dọc của hệ thống đường ray không ballast.

2.1. Đặc tính dao động riêng

Để phân tích ảnh hưởng của sự liên kết phản ứng địa chấn giữa các trụ cầu do sự khác biệt về đặc tính động lực học giữa cầu dầm liên tục và cầu dầm đơn giản, trước tiên sử dụng mô hình phân tích kháng chấn truyền thống để tính chu kỳ dao động riêng theo phương dọc của cầu dầm đơn giản và cầu dầm liên tục. Sau đó, dựa trên kết quả phân tích, chiều cao trụ số 32 (trụ chống chuyển vị) của cầu dầm liên tục được điều chỉnh để đạt được hai trường hợp sau:

- Trường hợp 1: Chu kỳ dao động riêng của cầu dầm liên tục nhỏ hơn chu kỳ dao động riêng của cầu dầm đơn giản. Trong trường hợp này, các thông số khác giữ nguyên, chiều cao trụ số 32 của cầu dầm liên tục là 9,0 m.
- Trường hợp 2: Chu kỳ dao động riêng của cầu dầm liên tục lớn hơn chu kỳ dao động riêng của cầu dầm đơn giản. Trong trường hợp này, chỉ điều chỉnh chiều cao trụ số 32 của cầu dầm liên tục lên 14,0 m, các thông số còn lại giữ nguyên.

Đối với hai trường hợp trên, tiến hành phân tích dao động riêng bằng 3 mô hình khác nhau để đánh giá ảnh hưởng của hệ thống ràng buộc đường ray lên đặc tính động lực học của cầu. Chu kỳ dao động riêng bậc nhất theo phương dọc của cầu trong các mô hình được thể hiện trong Bảng 3-4-2.

Bảng 3-4-2: Chu kỳ dao động riêng bậc nhất theo phương dọc của cầu trong các mô hình khác nhau

Trường hợp phân tích	Mô hình phân tích	Chu kỳ dao động riêng bậc nhất theo phương dọc (s)	
		Cầu dầm đơn giản	Cầu dầm liên tục
1	Mô hình 1	0.689	
	Mô hình 2	0.727	
	Mô hình 3	0.747	0.653
2	Mô hình 1	0.771	
	Mô hình 2	0.774	
	Mô hình 3	0.747	0.891

Có thể thấy rằng, đối với cầu dầm đơn giản và cầu dầm liên tục có đặc tính dao động riêng khác nhau, sự tồn tại của hệ thống ràng buộc từ đường ray đã tăng cường mối liên kết dọc giữa các nhịp cầu liền kề, biến hai đơn vị dao động riêng lẻ (cầu dầm đơn giản và cầu dầm liên tục) trong mô hình truyền thống thành một đơn vị dao động tổng thể.

Đối với Trường hợp 1, khi xét đến ảnh hưởng của hệ thống ràng buộc từ đường ray, chu kỳ dao động bậc nhất theo phương dọc của cầu dầm đơn giản giảm 8%, trong khi chu kỳ của cầu dầm liên tục tăng 6%.

Đối với Trường hợp 2, chu kỳ dao động bậc nhất theo phương dọc của cầu dầm đơn giản tăng 3%, trong khi chu kỳ của cầu dầm liên tục giảm 16%.

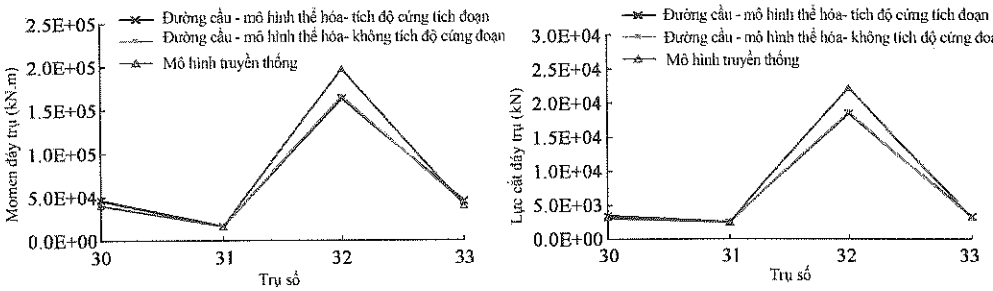
Sự hiện diện của đầu neo cũng có ảnh hưởng rõ rệt đến đặc tính động lực học của cầu, làm giảm chu kỳ dao động bậc nhất theo phương dọc của cầu.

2.2. Ảnh hưởng của các mô hình khác nhau đến phản ứng địa chấn của cầu

Để thảo luận về ảnh hưởng của sự khác biệt đặc tính động lực học giữa cầu dầm liên tục và cầu dầm đơn giản lên sự liên kết phản ứng địa chấn giữa các trụ cầu, tiến hành phân tích phổ phản ứng cho 3 mô hình dưới tác động của động đất thường gặp trong 2 trường hợp.

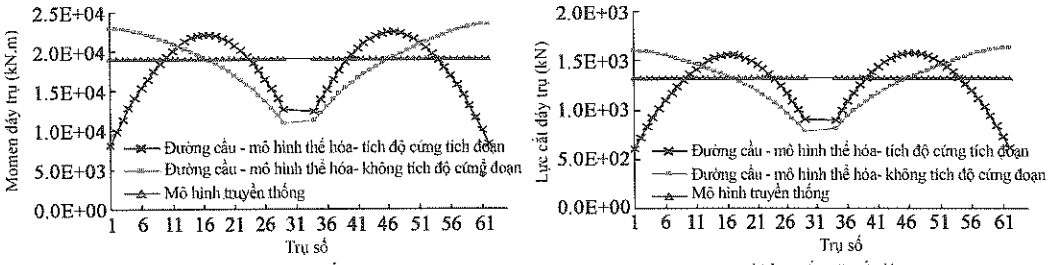
Phân tích dựa trên đường cong hệ số khuếch đại động lực β được cung cấp trong biểu đồ phổ phản ứng của "Quy phạm thiết kế kháng chấn cho cầu đường sắt" (GB 50111-2006). Loại địa chất nền được chọn là Loại II, khu vực đặc trưng chu kỳ thuộc Khu vực II, với chu kỳ đặc trưng của nền là 0,4 s. Gia tốc ngang cơ bản của động đất thường gặp là α = 0,07 g. Khi phân tích phổ phản ứng, số lượng dạng dao động được lấy là 300 dạng đầu tiên, và phương pháp tổ hợp dạng dao động được sử dụng là phương pháp CQC (Complete Quadratic Combination).

Kết quả phân tích mômen và lực cắt tại đáy các trụ cầu dầm liên tục và cầu dầm đơn giản trong Trường hợp 1 và Trường hợp 2 được thể hiện lần lượt trong Hình 3-4-13 đến Hình 3-4-16.



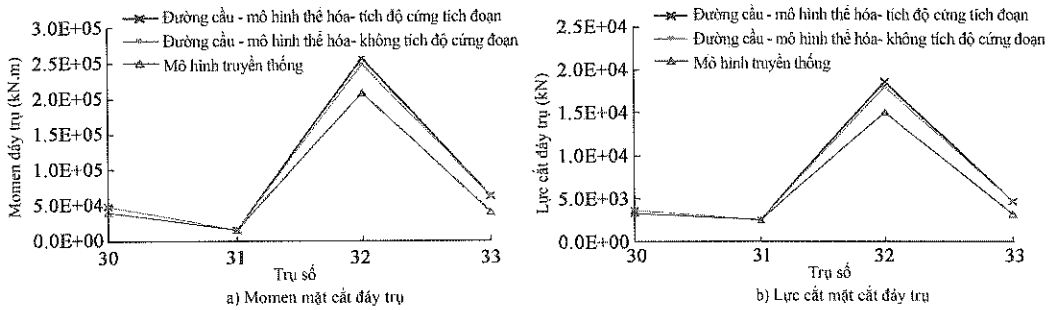
a) Momen mặt cắt đáy trụ b) Lực cắt mặt cắt đáy trụ

Hình 3-4-13: *Lực tác động tại mặt cắt đáy trụ của cầu dầm liên tục trong Trường hợp 1*



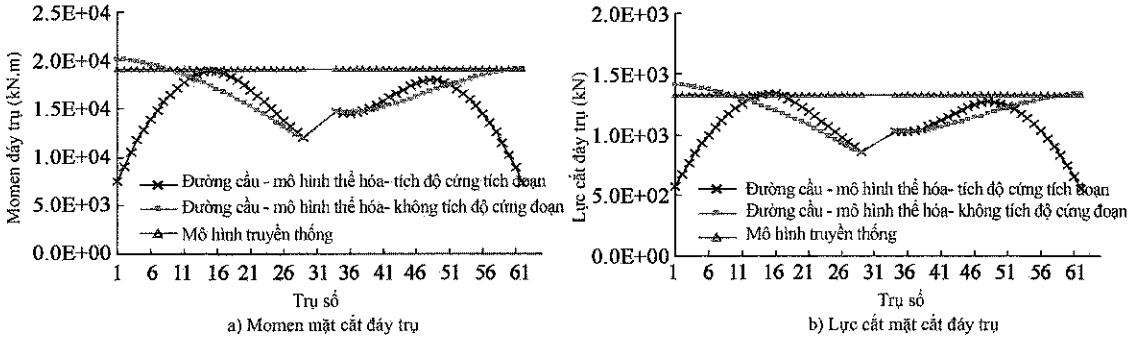
a) Momen mặt cắt đáy trụ b) Lực cắt mặt cắt đáy trụ

Hình 3-4-14: *Lực tác động tại mặt cắt đáy trụ của cầu dầm đơn giản trong Trường hợp 1*



a) Momen mặt cắt đáy trụ b) Lực cắt mặt cắt đáy trụ

Hình 3-4-15: *Lực tác động tại mặt cắt đáy trụ của cầu dầm liên tục trong Trường hợp 2*



Hình 3-4-16: *Chịu lực tại mặt cắt đáy trụ của cầu dầm đơn giản trong Trường hợp 2*

Kết quả phân tích cho thấy, với các cầu dầm đơn giản và cầu dầm liên tục có đặc tính dao động riêng khác nhau, sự hiện diện của hệ thống ràng buộc từ đường ray đã tăng cường đáng kể mối liên kết dọc giữa các nhịp cầu liền kề và ảnh hưởng rõ rệt đến đặc tính động lực học theo phương dọc của cầu. Đặc biệt, hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II cùng với các đầu neo đã tạo ra những tác động phức tạp đối với phản ứng địa chấn của cầu đường sắt cao tốc.

Phản ứng địa chấn của các trụ cầu dầm đơn giản và cầu dầm liên tục không chỉ khác nhau về mức độ mà còn về quy luật phân bố, điều này phụ thuộc vào sự chênh lệch về đặc tính động lực học giữa hai loại cầu. Đối với các cầu gồm nhiều nhịp dầm đơn giản dài 32 m và cầu dầm liên tục nhịp lớn, việc bỏ qua hiệu ứng ràng buộc dọc của hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II có thể dẫn đến đánh giá không chính xác, thậm chí là đánh giá thấp phản ứng địa chấn tại các trụ chống chuyển vị của cầu, điều này cần được đặc biệt chú ý.

Ngoài ra, đầu neo cũng có tác động quan trọng đến phản ứng địa chấn của các trụ cầu. Khi tính đến độ cứng dọc của đầu neo, phản ứng địa chấn của các trụ cầu dầm đơn giản có xu hướng phân bố theo hình parabola lồi, trong đó các nhịp cầu gần đầu neo hơn sẽ có phản ứng địa chấn giảm rõ rệt.

Do đó, để phân tích chính xác phản ứng địa chấn của cầu đường sắt cao tốc với hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II, cần phải cân nhắc đầy đủ hiệu ứng ràng buộc dọc của hệ thống đường ray. Khuyến nghị sử dụng mô hình phân tích tích hợp đường ray - cầu để thực hiện phân tích phản ứng địa chấn nhằm đảm bảo tính chính xác và đáng tin cậy của kết quả.

CHƯƠNG V. BẢO DƯỠNG VÀ SỬA CHỮA CẦU TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. HỆ THỐNG QUẢN LÝ VẬN HÀNH VÀ BẢO TRÌ CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Với sự phát triển không ngừng của công nghệ xây dựng cầu đường sắt tại Trung Quốc, cùng với việc triển khai xây dựng hàng loạt tuyến đường sắt cao tốc và các tuyến vận tải hành khách chuyên dụng, nhiều công nghệ, kỹ thuật, vật liệu và kết cấu mới đã được đưa vào ứng dụng. Những đổi mới này đã làm thay đổi đáng kể tư duy thiết kế và phương pháp thi công cầu đường sắt. Hàng loạt công trình cầu lớn với kết cấu phức tạp, đòi hỏi trình độ kỹ thuật cao như cầu liên hợp nhịp lớn, cầu vòm, cầu dây văng và cầu treo đã lần lượt hoàn thành và đưa vào khai thác.

Tuy nhiên, sự xuất hiện của những công trình này cũng khiến cho công tác quản lý, bảo trì cầu trong giai đoạn vận hành trở nên khó khăn hơn. Khối lượng công việc bảo dưỡng và sửa chữa ngày càng lớn, kéo theo những thách thức mới về quản lý vận hành và bảo trì cầu đường sắt cao tốc. Để đáp ứng yêu cầu này, Trung Quốc đã ban hành "Quy tắc sửa chữa cầu và hầm đường sắt cao tốc (thử nghiệm)" và thiết lập cơ chế bảo dưỡng, sửa chữa cầu đường sắt cao tốc nhằm đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình vận hành.

1. Thách thức trong quản lý và bảo trì cầu đường sắt cao tốc

Cầu là một thành phần quan trọng trong hệ thống kết cấu hạ tầng của đường sắt cao tốc, với tỷ lệ chiếm lớn và cấu trúc phức tạp, đòi hỏi kỹ thuật xây dựng cao. So với các tuyến đường sắt thông thường và đường sắt tải trọng lớn, đường sắt cao tốc có tiêu chuẩn nghiêm ngặt hơn về phân cấp trạng thái kết cấu và yêu cầu bảo trì. Những khuyết tật nhỏ trên tuyến đường sắt thông thường có thể không gây ảnh hưởng nhiều, nhưng trên đường sắt cao tốc lại có thể gây nguy hiểm nghiêm trọng đến an toàn chạy tàu. Điều này đặt ra thách thức lớn đối với việc đảm bảo an toàn vận hành và tuổi thọ của cầu đường sắt cao tốc, đòi hỏi các tiêu chuẩn bảo trì khắt khe hơn và quy trình kiểm soát an toàn nghiêm ngặt hơn.

1.1. Yêu cầu vận hành liên tục

Đường sắt cao tốc vận hành với tần suất cao vào ban ngày và tập trung bảo trì vào ban đêm. Để đảm bảo an toàn và đúng giờ cho các chuyến tàu, công tác bảo dưỡng được thực hiện theo nguyên tắc "không bảo trì khi chạy tàu, không chạy tàu khi bảo trì" trong khung thời gian tạm ngừng vận hành. Khung thời gian này thường kéo dài từ 0:00 đến 4:00, nhưng thời gian thực tế cho việc bảo dưỡng còn ngắn hơn do mất thời gian di chuyển đến vị trí sửa chữa. Ngoài ra, mọi hoạt động bảo dưỡng đều phải đảm bảo không làm ảnh hưởng đến việc khôi phục vận hành đúng giờ sau khi kết thúc tạm ngừng. Điều này khiến công tác bảo trì gặp nhiều khó khăn, đòi hỏi sự đổi mới về công nghệ, vật liệu và thiết bị bảo dưỡng.

1.2. Yêu cầu khắt khe về độ ổn định kết cấu

Với tốc độ vận hành cao, đường sắt cao tốc đòi hỏi tuyến đường phải có độ ổn định cao, đồng thời hạn chế tối đa biến dạng lâu dài của kết cấu cầu, bao gồm từ biến của bê tông, dịch chuyển của trụ cầu và lún không đều của móng. Bên cạnh đó, với lưu lượng hành khách lớn, mật độ tàu chạy cao, chiều dài tuyến đường lớn và địa hình phức tạp, tải trọng mỏi với tần suất cao làm gia tăng nguy cơ nứt mỏi kết cấu thép và gãy bu lông, gây nguy hiểm cho vận hành. Chẳng hạn, tại cầu Đại Thắng Quan trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, sau hơn 2 năm hoạt động, đã phát hiện 76 bộ bu lông cường độ cao bị gãy, chiếm 0,0038% tổng số bu lông được sử dụng.

1.3. Môi trường hoạt động khắc nghiệt

Đường sắt cao tốc kéo dài qua nhiều vùng địa lý khác nhau với điều kiện tự nhiên phức tạp. Các kết cấu hạ tầng phải tiếp xúc trực tiếp với đất và nước, chịu sự ăn mòn của các chất như sunfat, magiê và kiềm trong môi trường. Đồng thời, băng giá và bùn cát trong các dòng sông cũng gây mài mòn lên bề mặt bê tông. Ngoài ra, do hoạt động ngoài trời, các kết cấu cầu còn chịu tác động từ những điều kiện thời tiết khắc nghiệt như nhiệt độ cao, độ ẩm lớn, gió mạnh, mưa, tuyết và sương giá. Các công trình ở ven biển phải chịu ăn mòn bởi sương muối, khu vực Tây Nam bị ảnh hưởng bởi mưa axit, còn khu vực Đông Bắc thường xuyên chịu tác động của hiện tượng đóng băng - tan băng. Môi trường làm việc khắc nghiệt kết hợp với tải trọng mỏi liên tục và sự tương tác giữa các kết cấu khiến công tác bảo dưỡng cầu đường sắt cao tốc trở nên vô cùng khó khăn. Ngoài ra, những điều kiện cực đoan như gió mạnh và động đất cũng có thể gây ra những tác động đột ngột và nghiêm trọng đối với kết cấu cầu.

1.4. Không gian bảo dưỡng hạn chế

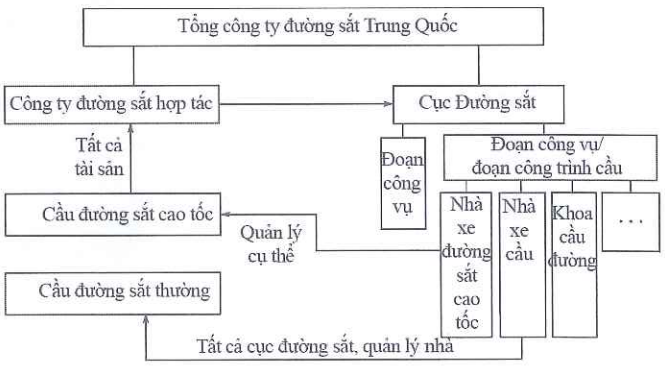
Do phải tuân thủ khung thời gian tạm ngừng vận hành, công tác bảo dưỡng cầu chỉ có thể thực hiện vào ban đêm. Việc thiếu ánh sáng là một thách thức lớn trong quá trình sửa chữa. Đối với các cầu cao, việc bảo dưỡng còn đòi hỏi phải làm việc ở trên cao với không gian hạn chế, đồng thời cần đảm bảo tuyệt đối an toàn cho nhân viên. Vì vậy, những khó khăn về điều kiện làm việc vào ban đêm, không gian hạn chế và yêu cầu bảo vệ an toàn khi làm việc trên cao là những thách thức lớn trong công tác bảo dưỡng cầu đường sắt cao tốc.

2. Quản lý và tiêu chuẩn bảo dưỡng, sửa chữa cầu đường sắt cao tốc

2.1. Hệ thống quản lý

Việc quản lý bảo dưỡng cầu trên đường sắt cao tốc tại Trung Quốc được xây dựng dựa trên tình hình thực tế, áp dụng mô hình quản lý phân cấp theo địa phương với nguyên tắc phân tách giữa "quản lý - kiểm tra - sửa chữa". Mô hình này nhằm đảm bảo chuyên môn hóa công tác bảo trì, tập trung hóa quản lý, tích hợp nguồn lực và tăng cường hiệu quả hoạt động. Công tác bảo dưỡng cầu đường sắt cao tốc tuân theo nguyên tắc "phòng ngừa là chính, kết hợp phòng ngừa và xử lý", chú trọng kiểm tra thiết bị thường xuyên, kết hợp giữa bảo dưỡng định kỳ và sửa chữa tổng hợp nhằm ngăn ngừa sự cố và duy trì tình trạng ổn định cho cầu, bảo đảm tàu có thể vận hành an toàn, ổn định và liên tục với tốc độ cao.

Công tác bảo dưỡng thiết bị công trình đường sắt cao tốc được thực hiện qua 4 cấp: Tổng công ty Đường sắt Trung Quốc, các công ty đường sắt khu vực, các phân khu công trình và các đội công trình. Hình 3-5-1 minh họa mô hình quản lý này. Chiều dài tuyến đường do mỗi đội công trình cầu phụ trách thường khoảng 300 km, không vượt quá 400 km. Đối với các khu vực miền núi, chiều dài quản lý được rút ngắn phù hợp để đảm bảo hiệu quả bảo trì.



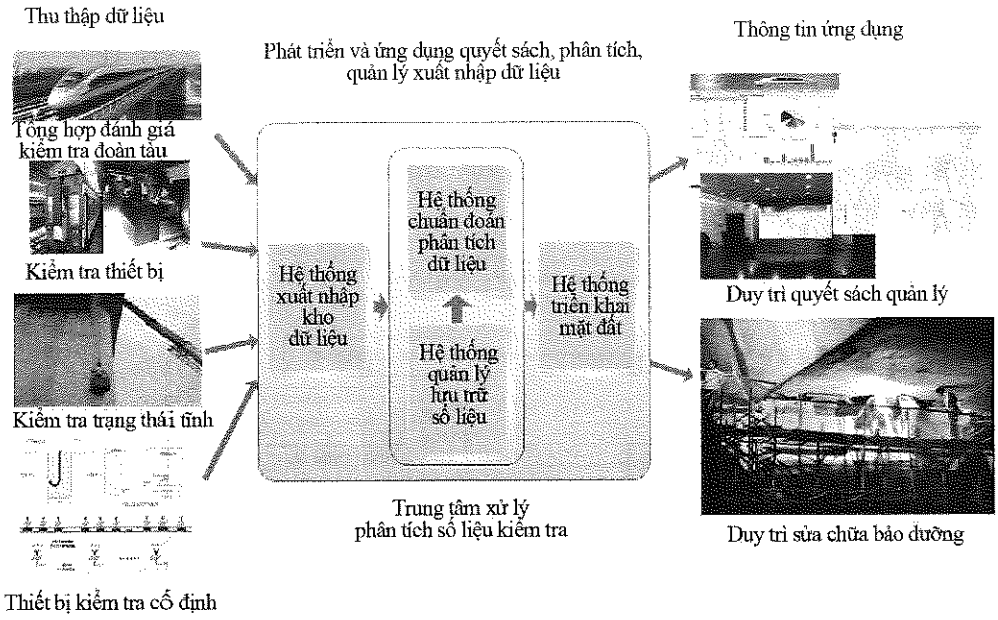
Hình 3-5-1: Sơ đồ khối mô hình quản lý cầu đường sắt cao tốc và đường sắt thông thường

2.2. Hệ thống quản lý thông tin thiết bị công trình

Trung tâm dữ liệu tổng hợp về vận hành và bảo trì thiết bị công trình đường sắt cao tốc được tổ chức theo mô hình 3 cấp gồm: Tổng công ty Đường sắt Trung Quốc - Công ty đường sắt khu vực - Các phân khu công trình. Trong một số trường hợp, mô hình có thể được thu gọn thành 2 cấp (Tổng công ty - Các phân khu công trình hoặc Tổng công ty - Công ty đường sắt khu vực), hoạt động dưới dạng nền tảng đám mây, tạo thành một trung tâm dữ liệu ảo tích hợp.

Việc xây dựng trung tâm dữ liệu tổng hợp cần tuân thủ mô hình quản lý chung, đồng thời được điều chỉnh để phù hợp với từng công ty đường sắt khu vực và phân khu công trình. Dưới sự chỉ đạo thống nhất về tiêu chuẩn của các phân khu công trình, hệ thống dữ liệu được xây dựng, nâng cấp và cải tiến nhằm đáp ứng nhu cầu quản lý của từng đơn vị.

Trung tâm dữ liệu này giúp thu thập, quản lý và sử dụng hiệu quả toàn bộ thông tin liên quan đến vận hành và bảo trì thiết bị công trình đường sắt cao tốc, bao gồm cả cầu. Hệ thống vận hành theo quy trình khép kín từ kiểm tra - phân tích dữ liệu - sửa chữa, thu thập dữ liệu kiểm tra tĩnh và động, giám sát, bảo dưỡng sửa chữa theo thời gian thực, từ đó cung cấp các phân tích thông minh và khuyến nghị bảo dưỡng khoa học. Hệ thống này giúp tối ưu hóa quá trình quản lý, kiểm tra và sửa chữa, hỗ trợ các quyết định ở mọi cấp độ, nâng cao hiệu quả bảo trì, giảm chi phí sửa chữa và đảm bảo an toàn vận hành cho tàu cao tốc.



Hình 3-5-2: *Khung hệ thống quản lý thông tin hóa về kiểm tra và bảo dưỡng thiết bị cầu đường sắt cao tốc*

2.3. Tiêu chuẩn kỹ thuật

Để nâng cao hiệu quả bảo trì kết cấu cầu đường sắt cao tốc, Trung Quốc đã xây dựng hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật toàn diện cho công tác kiểm tra, đánh giá và bảo dưỡng cầu. Hệ thống tiêu chuẩn này mang tính kế thừa, phù hợp với điều kiện thực tế và áp dụng những công nghệ tiên tiến, bao gồm các tiêu chuẩn cho nhiều loại kết cấu khác nhau như tuyến đường, cầu, hầm và nền đường.

Các tiêu chuẩn kỹ thuật này bao phủ các tuyến đường sắt với tốc độ vận hành khác nhau, từ các tuyến đường đã nâng cấp đạt tốc độ 200 - 250 km/h đến các tuyến đường sắt cao tốc mới xây dựng với tốc độ 250 km/h trở lên. Đồng thời, hệ thống cũng áp dụng cho cả hai loại đường ray: đường ray có ballast và không ballast. Bảng 3-5-1 thể hiện hệ thống tiêu chuẩn bảo trì công trình đường sắt cao tốc hiện hành tại Trung Quốc.

Bảng 3-5-1: Các tiêu chuẩn kỹ thuật áp dụng cho công tác bảo dưỡng và sửa chữa cầu đường sắt cao tốc tại Trung Quốc

STT	Tên tiêu chuẩn	Mã số tiêu chuẩn	Ghi chú
1	Quy định kiểm định hiệu năng cầu đường sắt cao tốc (Thử nghiệm)	TG/GW 209-2014	Kiểm tra, đánh giá
2	Quy trình kỹ thuật quan trắc và đánh giá lún biến dạng công trình đường sắt	Q/CR 9230-2016	
3	Điều kiện kỹ thuật tạm thời cho hệ thống kiểm tra tổng hợp công trình đường sắt	TJ/GW 127-2014	
4	Quy định quản lý sử dụng xe kiểm tra đường ray	TG/GW 217-2014	
5	Điều kiện kỹ thuật tạm thời cho hệ thống kiểm tra đường ray	TJ/GW 126-2014	
6	Quy phạm kỹ thuật nghiệm thu động công trình đường sắt cao tốc	TB 10761-2013	
7	Quy tắc sửa chữa cầu và hầm đường sắt cao tốc	TG/GW 114-2011	Bảo dưỡng, sửa chữa
8	Quy tắc bảo dưỡng thiết bị cầu trên tuyến đường sắt nâng cấp tốc độ 200 ~ 250 km/h	Số [2007] 44	
9	Quy tắc bảo dưỡng đường ray không ballast đường sắt cao tốc	TG/GW 115-2012	
10	Quy tắc bảo dưỡng đường ray có ballast đường sắt cao tốc	TG/GW 116-2013	

Ngoài các tiêu chuẩn kỹ thuật, nhiều tài liệu hướng dẫn chi tiết cho công tác bảo trì và sửa chữa cũng đã được biên soạn, như "Quy định sửa chữa cầu và hầm đường sắt cao tốc", "Sổ tay sửa chữa công trình đường sắt cao tốc", "Sổ tay kiến thức về công trình đường sắt cao tốc" và "Công nghệ công trình đường sắt cao tốc". Các tài liệu này đóng vai trò quan trọng trong việc hướng dẫn và nâng cao hiệu quả bảo trì công trình đường sắt cao tốc, đảm bảo hoạt động an toàn và liên tục cho hệ thống.

3. Kỹ thuật kiểm tra, bảo dưỡng và sửa chữa cầu đường sắt cao tốc

Công nghệ bảo dưỡng cầu đường sắt cao tốc được triển khai theo quy trình khép kín toàn diện, bao gồm các bước: sử dụng xe kiểm tra tổng hợp và xe kiểm tra chuyên dụng để phát hiện sự cố - kiểm tra thủ công để xác minh - xử lý thông tin - khắc phục kịp thời. Đối với các cầu lớn, cầu dầm liên tục dài và các công trình cầu có kết cấu đặc biệt, nhằm đảm bảo duy trì trạng thái hoạt động ổn định trong quá trình vận hành lâu dài, nhiều công nghệ tiên tiến đã được ứng dụng. Hệ thống dự báo tình trạng và quản lý sức khỏe kết cấu (PHM) được xây dựng để hỗ trợ việc đưa ra các kế hoạch bảo dưỡng và sửa chữa kịp thời, qua đó gia tăng độ bền và kéo dài tuổi thọ cho công trình cầu.

3.1. Yêu cầu đối với công nghệ kiểm tra và giám sát

Công tác kiểm tra được thực hiện theo nguyên tắc "kiểm tra động là chủ đạo, kết hợp kiểm tra động và tĩnh, chú trọng đồng đều giữa kiểm tra kết cấu và kiểm tra hình học". Việc kiểm tra định kỳ được thực hiện bằng các thiết bị kiểm tra động như tàu kiểm tra tổng hợp. Đối với kiểm tra tĩnh, áp dụng phương pháp kết hợp giữa hệ thống đo tuyệt đối và hệ thống đo tương đối.

Ngoài ra, cần áp dụng công nghệ tiên tiến để giám sát sự lún của nền móng và biến dạng kết cấu. Công tác kiểm tra cũng bao gồm việc giám sát các công trình an toàn như hàng rào bảo vệ, tường chắn tiếng ồn, cầu vượt và các đoạn tuyến đường sắt - đường bộ chạy song song. Các loại hình kiểm tra bao gồm: kiểm tra định kỳ, kiểm tra đột xuất, quan trắc thủy văn, kiểm tra chuyên đề và thí nghiệm kiểm định. Để đảm bảo chất lượng công tác kiểm tra, cần thiết lập cơ chế trách nhiệm rõ ràng cho từng loại hình kiểm tra (Bảng 3-5-2).

Bảng 3-5-2: Danh mục các loại kiểm tra cầu đường sắt cao tốc và chu kỳ thực hiện tương ứng

STT	Loại kiểm tra	Hạng mục kiểm tra	Chu kỳ kiểm tra điển hình
1	Quan trắc thủy văn	Đo mặt cắt sông	Mỗi 2 năm
2		Cầu trên sông theo mùa, khi mặt cắt sông biến đổi do lũ	Sau lũ đo 1 lần

STT	Loại kiểm tra	Hạng mục kiểm tra	Chu kỳ kiểm tra điển hình
3	Kiểm tra định kỳ	Kết cấu đặc biệt (dầm thép, cầu vòm, cầu dây văng) và thiết bị cầu quan trọng	Mỗi quý
4		Các bộ phận trên mặt cầu, lối vào hầm, thoát nước của cống, khung bảo vệ giới hạn chiều cao của cầu và cống	Mỗi năm
5		Các kết cấu dưới mặt cầu, gối cầu, hầm và cống	
6		Môi trường xung quanh cầu và hầm	
7		Các công trình phòng chống lũ lụt cho cầu và hầm	Trước mùa lũ và sau khi băng tan
8	Kiểm tra đột xuất	Cầu chịu tác động khẩn cấp từ động đất, lũ lụt, bão, hỏa hoạn và va chạm tàu xe	Kiểm tra bất cứ lúc nào
9		Các hư hỏng nghiêm trọng đột xuất	
10	Kiểm tra chuyên đề	Đo lún nền móng của cầu và cống có độ lún lớn	Năm đầu tiên sau khi vận hành, mỗi 6 tháng một lần; năm thứ hai trở đi mỗi năm một lần; nếu lún nền móng ổn định, sau 5 năm có thể ngừng đo
11		Đo độ vồng lên của các nhịp cầu tiêu biểu	Năm đầu tiên sau khi vận hành, mỗi 6 tháng một lần; năm thứ hai trở đi mỗi năm một lần; nếu độ vồng ổn định, sau 5 năm có thể ngừng đo
12	Thí nghiệm kiểm định	Kiểm định các cầu có kết cấu đặc biệt và kỹ thuật phức tạp đang vận hành	Mỗi 10 năm
13		Kiểm định cầu bị hư hại nghiêm trọng do thiên tai hoặc va chạm có nguy cơ ảnh hưởng đến an toàn giao thông	Kiểm định ngay khi cần thiết
14	Đánh giá trạng thái	Đánh giá trạng thái từng hạng mục của công trình cầu	Mỗi năm vào mùa thu

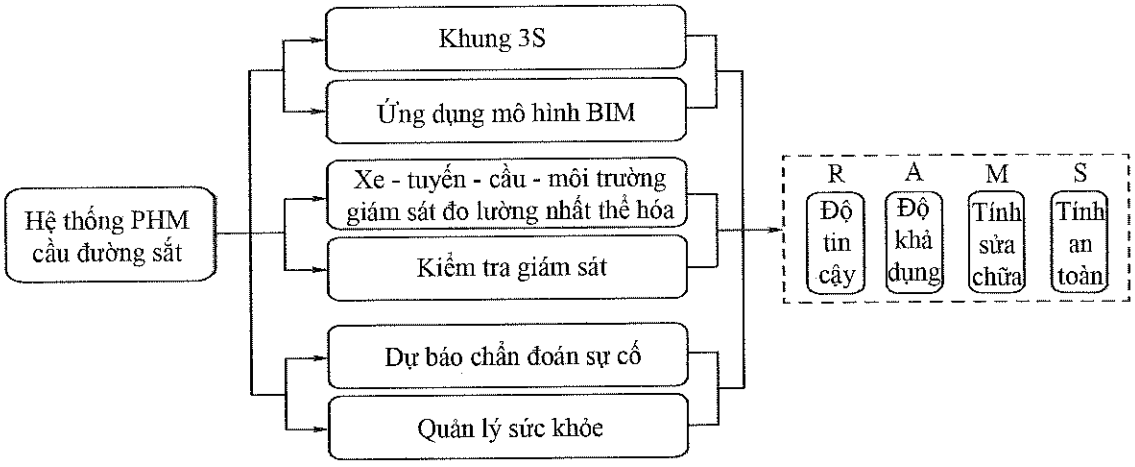
3.2. Phương pháp kiểm tra và giám sát

Để đảm bảo an toàn vận hành cầu trên tuyến đường sắt cao tốc, công tác kiểm tra hư hỏng cầu được thực hiện thông qua kiểm tra thông minh kết hợp với giám sát sức khỏe kết cấu. Phương pháp này kết hợp kiểm tra thủ công hàng ngày với kiểm tra định kỳ nhằm thu thập dữ liệu và quản lý hiệu quả việc kiểm tra, giúp xác định chính xác vị trí, loại hình và mức độ hư hỏng của các bộ phận cầu.

Trong quá trình kiểm tra thủ công, nhân viên sử dụng ứng dụng di động (APP) để hỗ trợ công tác kiểm tra. Ứng dụng này liên kết với mô hình thông tin công trình (BIM) và cơ sở dữ liệu hư hỏng của cầu, cho phép nhân viên lập kế hoạch và thực hiện các nhiệm vụ kiểm tra mọi lúc, mọi nơi. Tại hiện trường, ứng dụng giúp định vị nhanh chóng vị trí hư hỏng theo từng đơn vị quản lý, ghi nhận dữ liệu ngay tại chỗ và tự động thống kê, phân tích các loại hư hỏng một cách thông minh.

Hệ thống PHM (Quản lý sức khỏe kết cấu) của cầu trên tuyến đường sắt cao tốc cho phép chẩn đoán theo thời gian thực vị trí và mức độ hư hỏng kết cấu, đồng thời đánh giá thông minh về trạng thái hoạt động, độ bền, độ tin cậy và khả năng chịu tải của cầu. Khi xảy ra điều kiện thời tiết khắc nghiệt hoặc cầu xuất hiện những bất thường nghiêm trọng trong quá trình vận hành, hệ thống sẽ tự động phát cảnh báo, từ đó cung cấp thông tin quan trọng phục vụ cho công tác bảo trì, sửa chữa và quản lý cầu.

Hệ thống PHM cho các cầu lớn trên tuyến đường sắt cao tốc được xây dựng dựa trên kiến trúc mạng 3S (Client-Server, Browser-Server, Mobile-Server), kết hợp với mô hình BIM và phương pháp giám sát tích hợp tàu – tuyến – cầu – môi trường. Bằng cách sử dụng công nghệ tích hợp dữ liệu, hệ thống tiến hành phân tích xu hướng lịch sử và nghiên cứu mối tương quan giữa các nguồn dữ liệu khác nhau để chẩn đoán, dự đoán các hư hỏng của cầu, đồng thời đánh giá toàn diện tình trạng sức khỏe kết cấu.

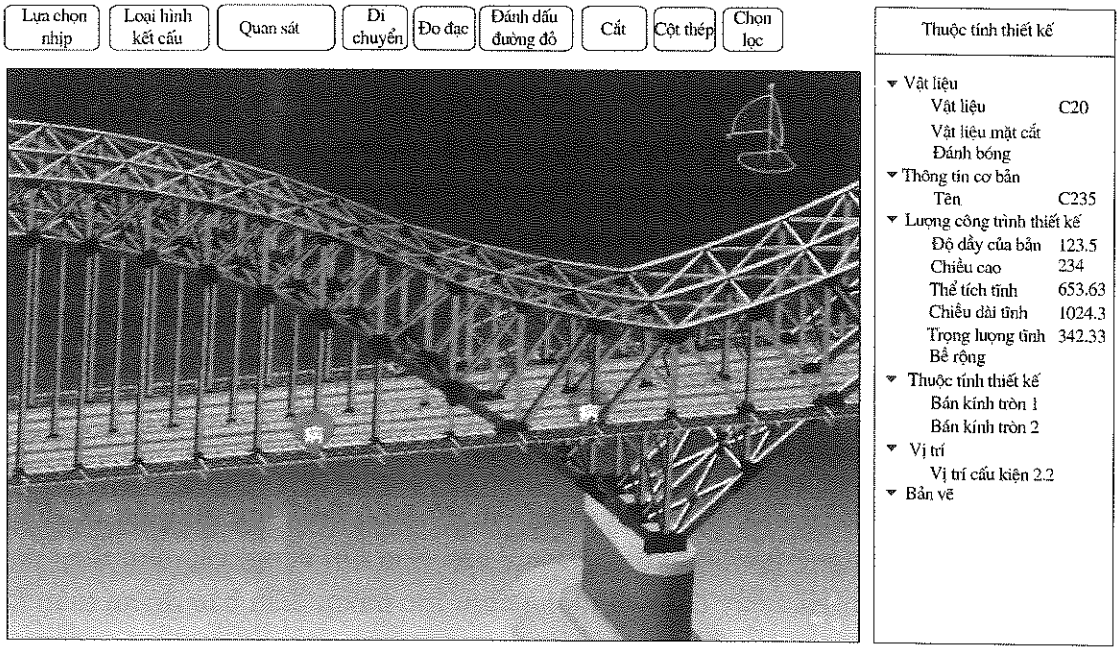


Hình 3-5-3: *Kiến trúc tổng thể của hệ thống PHM cầu đường sắt cao tốc*

Hệ thống này cho phép quản lý RAMS (độ tin cậy, tính sẵn sàng, khả năng bảo trì và an toàn) của toàn bộ hệ thống đường sắt cao tốc thông qua việc giám sát theo thời gian thực. Hình 3-5-3 mô tả kiến trúc tổng thể của hệ thống PHM này.

Hệ thống PHM đường sắt cao tốc đã được triển khai trong công tác quản lý, bảo dưỡng và sửa chữa cầu Đại Thắng Quan bắc qua sông Dương Tử trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải tại Nam Kinh (Hình 3-5-4). Hệ thống thực hiện giám sát theo thời gian thực các gối cầu được lựa chọn, ghi nhận dữ liệu về sự thay đổi vị trí của gối cầu theo thời gian, đồng thời phân tích mối tương quan giữa dịch chuyển dọc của gối cầu và nhiệt độ tổng thể của các bộ phận như dầm thép, thanh giằng, bản mặt cầu thép trực giao và máng đá ballast.

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, hệ thống tiến hành hồi quy các đặc tính tương quan tuyến tính của 4 yếu tố này. Dựa vào phân tích xu hướng lịch sử về sự dịch chuyển của gối cầu, hệ thống xác định phạm vi biến đổi theo mùa, từ đó đánh giá tổng thể và đưa ra nhận định liệu dịch chuyển của gối cầu có nằm trong giới hạn an toàn hay không.



Hình 3-5-4: *Hệ thống PHM giám sát cầu Đại Thắng Quan tại Nam Kinh*

3.3. Kỹ thuật bảo dưỡng và sửa chữa cầu

(1) Hình thức và nguyên nhân hư hỏng cầu

Cầu đường sắt cao tốc tại Trung Quốc nhìn chung có kết cấu chính hoạt động ổn định. Tuy nhiên, do các yếu tố như nhận thức chưa đầy đủ, tác động của con người

và sự thay đổi điều kiện khách quan, hư hỏng của cầu đường sắt cao tốc có thể được chia thành hai nhóm chính:

- Nhóm 1: Hư hỏng do biến dạng hoặc dịch chuyển kết cấu gây ra bởi sự thay đổi của nền móng.
- Nhóm 2: Hư hỏng phát sinh từ các công trình phụ trợ như lớp chống thấm, khe co giãn và gối cầu.

Đường sắt cao tốc có yêu cầu rất khắt khe về độ lún của nền móng. Theo quy định, độ lún của trụ và mố cầu sau khi thi công không được vượt quá 20 mm, còn sự chênh lệch lún giữa các trụ liền kề, giữa đoạn chuyển tiếp cầu - đường bộ hoặc cầu – hầm không được vượt quá 5 mm.

Có nhiều nguyên nhân dẫn đến lún nền móng cầu đường sắt cao tốc, bao gồm:

1. Các yếu tố môi trường như biến đổi nhiệt độ, hạ thấp mực nước ngầm hoặc nền đất yếu gây ra lún cục bộ, đặc biệt là hiện tượng lún không đều theo phương thẳng đứng.
2. Hoạt động của con người như chất tải hoặc đào đắp hai bên tuyến cũng có thể làm biến dạng nền móng cầu.

(2) Kỹ thuật sửa chữa biến dạng nền móng

Biến dạng nền móng của cầu đường sắt cao tốc thường gồm biến dạng lún thẳng đứng và dịch chuyển ngang. Dựa trên các nghiên cứu về biến dạng nền móng, các phương pháp kiểm tra biến dạng thẳng đứng và dịch chuyển ngang đã được xây dựng, tạo nền tảng cho việc sửa chữa nền móng cầu.

Quy trình sửa chữa biến dạng lún thẳng đứng của nền móng thường bao gồm các bước: nâng sơ bộ, nâng dầm, lắp đặt giá đỡ tạm thời, giảm tải kích và hạ dầm. Chẳng hạn, tại đoạn đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải qua Thiên Tân, vấn đề lún nền móng đã xuất hiện trong quá trình vận hành. Để khắc phục, hệ thống nâng đồng bộ PLC được sử dụng với 16 kích thủy lực 600 tấn để đồng thời nâng dầm lên đúng thiết kế với độ cao 2 cm. Sau khi nâng, các tấm thép dày 2 cm được chèn vào giữa đáy dầm và móng chịu lực nhằm đảm bảo độ an toàn tại các điểm tiếp xúc.

Trên tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân, đoạn trũng Di Trang đã ghi nhận mức lún tối đa lên tới 690 mm, trong đó có 10,5 km tuyến bị lún vượt quá 300 mm. Sự chênh lệch lún lớn xuất hiện tại 9 vị trí, bao gồm:

- 2 vị trí tại cầu dầm liên tục,
- 5 vị trí tại cầu dầm đơn giản,
- 2 vị trí tại nền đường, với mức chênh lệch lún tối đa là 1‰.

Ngoài ra, có 12 vị trí có độ không bằng phẳng sóng dài vượt quá 50 mm, trong đó 10 vị trí trên cầu và 2 vị trí trên nền đường, với độ không bằng phẳng lớn nhất đạt 150 mm. Bên cạnh đó, có 4 vị trí có độ không bằng phẳng sóng ngắn vượt quá 6 mm, gồm 2 vị trí trên cầu và 2 vị trí trên nền đường, với mức không bằng phẳng lớn nhất là 10 mm.

Trong quá trình sửa chữa, đối với cầu dầm liên tục, phương pháp bơm keo nâng dầm được sử dụng, với độ nâng lớn nhất đạt 43 mm. Đối với cầu dầm đơn giản, sử dụng phương pháp nâng kích kết hợp chèn tấm thép, với độ nâng tối đa 60 mm. Trong suốt quá trình nâng dầm, hệ thống giám sát theo thời gian thực được triển khai để theo dõi ứng suất của dầm, kết cấu đường ray không ballast và sự dịch chuyển của dầm nhằm đảm bảo an toàn và hiệu quả sửa chữa.

II. TIÊU CHUẨN KỸ THUẬT BẢO DƯỠNG CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

1. Yêu cầu kỹ thuật

"Quy định chi tiết về sửa chữa công trình cầu và hầm đường sắt cao tốc" đưa ra các yêu cầu kỹ thuật cơ bản nhằm đảm bảo hiệu quả bảo dưỡng cầu đường sắt cao tốc. Các yêu cầu này bao gồm nhiều khía cạnh quan trọng như: tải trọng chịu đựng, giới hạn xây dựng, khẩu độ và khoảng trống, độ cứng kết cấu, độ lún của nền móng, độ sâu chôn móng, tính bền vững lâu dài, khả năng chống động đất và các biện pháp phòng chống thiên tai.

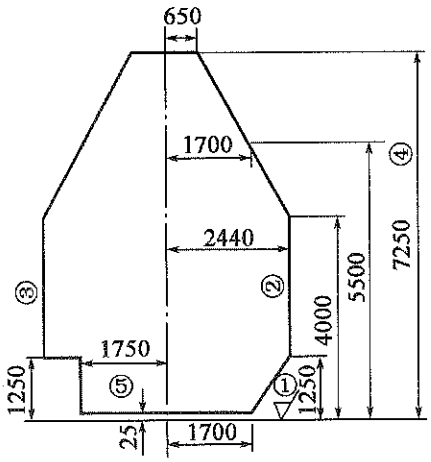
1.1. Tải trọng

Tải trọng hoạt tải theo phương thẳng đứng của tàu được áp dụng theo hoạt tải ZK. Việc kiểm tra và tính toán tải trọng của kết cấu cầu và cống phải tuân theo quy định trong "Quy phạm thiết kế đường sắt cao tốc" (TB 10621-2014). Khả năng chịu tải của cầu được tính toán theo "Quy phạm kiểm định cầu đường sắt" (số hiệu văn bản: [2004] 120), với hệ số kiểm định khả năng chịu tải được biểu thị bằng ký hiệu K (K là hệ số chỉ mức độ mà kết cấu có thể chịu được hoạt tải so với hoạt tải ZK). Kết cấu cầu và cống phải đảm bảo $K \geq 1$.

Nếu khả năng chịu tải của cầu và cống không đạt yêu cầu ($K < 1$), cần dựa vào tình trạng kỹ thuật để đưa ra biện pháp gia cố, thay thế hoặc cải tạo. Sau khi gia cố, thay thế hoặc cải tạo, cầu và cống phải đạt yêu cầu $K \geq 1$ về khả năng chịu tải.

1.2. Giới hạn xây dựng

Giới hạn xây dựng của cầu và hầm phải đáp ứng các quy định trong "Quy trình quản lý kỹ thuật đường sắt". Kích thước cơ bản và hình dạng của giới hạn xây dựng được minh họa trong Hình 3-5-5. Ở các đoạn đường cong, giới hạn xây dựng cần được mở rộng ở phía bên trong của đường cong để bù cho độ nghiêng của thân tàu do siêu cao.



Hình 3-5-5: *Giới hạn xây dựng cầu và hầm đường sắt cao tốc*
(Đơn vị kích thước: mm)

1 - Mặt ray; 2 - Giới hạn xây dựng đối với đường chính tại khu gian và trong ga (không có ke ga); 3 - Giới hạn xây dựng khi có ke ga; 4 - Chiều cao tối đa tính từ mặt ray trở lên; 5 - Khoảng cách từ tâm tuyến đường ray đến mép ke ga (không áp dụng cho đường chính)

1.3. Khẩu độ và khoảng trống

Khẩu độ của cầu và cống thoát lũ trong quá trình vận hành phải đảm bảo khả năng thoát được dòng nước ứng với tần suất lũ kiểm tra 1/100. Đối với các cầu có kết cấu phức tạp, khó sửa chữa hoặc các cầu lớn, cầu đặc biệt quan trọng, phải đảm bảo khả năng thoát lũ an toàn ở tần suất kiểm tra 1/300.

Đối với các cầu lớn và cầu trung bình, nếu tần suất của lũ quan sát (bao gồm cả lũ điều tra) nhỏ hơn 1/100, nhưng không nhỏ hơn 1/300, thì phải lấy tần suất lũ quan sát làm tần suất kiểm tra. Nếu tần suất nhỏ hơn 1/300, thì lấy 1/300 làm tần suất kiểm tra.

Khi khẩu độ thoát lũ của cầu và cống hoặc khoảng trống dưới cầu không đủ, cần có kế hoạch thực hiện mở rộng khẩu độ, nâng cao hoặc cải tạo. Sau khi thực hiện các biện pháp mở rộng, nâng cao hoặc cải tạo, các thông số phải tuân thủ các quy định liên quan trong "Quy phạm thiết kế đường sắt cao tốc" (TB 10621-2014).

1.4. Độ cứng

Kết cấu cầu và cống phải đảm bảo có độ cứng đủ lớn, khả năng chịu lực động tốt và độ bền cao, đáp ứng yêu cầu về sự ổn định và độ êm thuận của đường ray, đồng thời bảo đảm an toàn khi tàu cao tốc vận hành và mang lại sự thoải mái cho hành khách. Trong quá trình vận hành, độ cứng của cầu đường sắt cao tốc phải tuân thủ các tiêu chuẩn được nêu trong Chương II, Mục II.

1.5. Độ lún nền móng

Sau khi thi công, độ lún đồng đều của nền móng trụ và mố cầu, cũng như chênh lệch lún giữa các trụ liền kề phải đáp ứng các giới hạn nêu trong Bảng 3-2-6. Đối với các kết cấu siêu tĩnh, ngoài việc tuân thủ các giới hạn này, cần xem xét thêm ảnh hưởng của chênh lệch lún đến ứng suất bổ sung trong kết cấu.

Bên cạnh đó, ở các đoạn đường ray không ballast, chênh lệch lún sau thi công giữa các công trình như mố cầu, tường bên cống, cửa hầm và nền đường tại khu vực tiếp giáp không được vượt quá 5 mm, và góc gấp khúc do chênh lệch lún gây ra không được lớn hơn 1/1000.

Nếu độ lún vượt quá giới hạn cho phép, cần có kế hoạch sửa chữa hoặc gia cố kịp thời để đảm bảo an toàn và độ bền của kết cấu.

1.6. Độ sâu chôn móng

Độ sâu chôn móng của trụ và mố cầu đường sắt cao tốc (bao gồm móng đào mở và móng giếng chìm) cần đáp ứng các điều kiện sau:

(1) Đối với cầu bắc qua dòng sông có nền không phải là đá, không được sử dụng móng đào mở.

(2) Trong trường hợp đất chịu tác động của băng giá:

- Đối với đất có độ trương nở mạnh hoặc rất mạnh, móng phải được đặt sâu hơn đường đóng băng ít nhất 0,25 m và đồng thời đáp ứng yêu cầu tính toán lực trương nở do băng giá.
- Đối với đất có độ trương nở yếu, móng phải được đặt sâu hơn độ sâu đóng băng hoàn toàn.

(3) Tại khu vực không chịu tác động xói mòn, móng phải được chôn sâu ít nhất 2,0 m dưới mặt đất tự nhiên.

(4) Tại khu vực có nguy cơ bị xói mòn, móng phải được chôn sâu hơn đường xói mòn lớn nhất quanh trụ cầu với các mức an toàn như sau:

- Đối với cầu thông thường:

- Khi tính toán theo dòng chảy kiểm tra với tần suất lũ 1/100, độ sâu an toàn là 2 m cộng thêm 10% tổng độ sâu xói mòn (bao gồm độ sâu xói mòn chung và cục bộ tính từ đáy sông).
- Khi tính toán theo dòng chảy kiểm định với tần suất lũ 1/300, độ sâu an toàn là 1,0 m cộng thêm 5% tổng độ sâu xói mòn.

o Đối với cầu lớn, cầu quan trọng hoặc cầu có kết cấu phức tạp:

- Khi tính toán theo dòng chảy kiểm tra với tần suất lũ 1/100, độ sâu an toàn là 3 m cộng thêm 10% tổng độ sâu xói mòn.
- Khi tính toán theo dòng chảy kiểm định với tần suất lũ 1/300, độ sâu an toàn là 1,5 m cộng thêm 5% tổng độ sâu xói mòn.

(5) Đối với nền đá khó bị xói mòn, móng phải được chôn sâu ít nhất 0,5 m vào lớp đá nền cơ bản. Trường hợp nền đá là đá phong hóa, dễ bị xói mòn hoặc phá hủy, phải xem xét như chưa chôn móng vào đá.

Đối với móng cọc và đài cọc của trụ và mố cầu đường sắt cao tốc, cần đảm bảo các yêu cầu sau:

1- Nếu đáy đài cọc nằm trong đất, phải đặt sâu hơn đường đóng băng ít nhất 0,25 m hoặc sâu hơn đường xói mòn lớn nhất ít nhất 2 m (nếu không xác định rõ độ sâu chôn cọc).

2- Nếu đáy đài cọc nằm trong nước, phải đặt sâu ít nhất 0,25 m dưới đáy lớp băng thấp nhất.

3- Đối với cọc khoan nhồi hoặc cọc đào mở loại cọc trụ, phải chôn sâu ít nhất 0,5 m vào lớp đá nền cơ bản.

4- Độ sâu chôn móng cọc dưới đường xói mòn lớn nhất phải đảm bảo trụ và mố cầu ổn định, đáp ứng các yêu cầu về khả năng chịu tải, độ cứng và kiểm soát lún.

Nếu trụ hoặc mố cầu không đáp ứng một trong các điều kiện nêu trên, chúng được coi là móng nông, cần lập kế hoạch thực hiện các biện pháp bảo vệ và gia cố nhằm đảm bảo an toàn và ổn định cho công trình.

1.7. Độ bền

Kết cấu chính và các bộ phận của cầu đường sắt cao tốc phải đảm bảo độ bền cao, đáp ứng yêu cầu về thời hạn sử dụng theo thiết kế. Các bộ phận bằng bê tông như kết cấu cầu, lan can, tấm đan... cần đạt được tuổi thọ theo quy định thiết kế.

Đối với các cầu nằm trong môi trường có mức độ ăn mòn nghiêm trọng (D4, L3, H4), cần áp dụng các biện pháp chống ăn mòn đáng tin cậy. Các chi tiết bằng thép như dầm thép, vòm thép, thanh treo, lan can thép, giá đỡ và các chi tiết thép của gối cầu cần được bảo vệ bằng lớp sơn chống gỉ theo đúng tiêu chuẩn. Đối với trụ bê tông và bệ kê,

cần bố trí lớp thép bảo vệ bề mặt. Đồng thời, cầu phải được trang bị hệ thống thoát nước và chống nước hoàn chỉnh, thuận tiện cho việc vệ sinh và bảo dưỡng.

1.8. Chống động đất và phòng chống thiên tai

Cầu nằm trong các khu vực có cấp độ phòng chống động đất từ 6 độ trở lên phải được thiết kế và kiểm tra theo "Quy phạm thiết kế chống động đất cho công trình đường sắt" (GB 50111-2006). Cầu phải đảm bảo khả năng chịu động đất cho ba cấp độ: thường gặp, thiết kế và hiếm gặp, tương ứng với các mục tiêu chống động đất cấp I, II, III. Những cầu không đáp ứng yêu cầu chống động đất phải được gia cố để tăng khả năng chịu lực.

Tại các khu vực có cấp độ chống động đất từ 6 độ trở lên, cầu phải được lắp đặt hệ thống chống rơi dầm. Đối với các cầu vượt đường sắt, cầu dành cho người đi bộ hoặc cống dẫn nước bắc qua đường sắt, cần thực hiện thiết kế phòng chống động đất phù hợp với tiêu chuẩn của vị trí đó.

Ngoài ra, đối với các cầu vượt dành cho xe cơ giới có khoảng trống dưới cầu nhỏ hơn 5 m, phải lắp đặt khung giới hạn chiều cao để đảm bảo an toàn. Hình thức khung giới hạn chiều cao phải được thực hiện theo quy định của Bộ.

Đối với các cầu có chiều dài vượt quá 3 km, cần bố trí đường cứu hộ và sơ tán hai bên cầu. Các đường cứu hộ được bố trí so le ở hai bên cầu với khoảng cách giữa mỗi đường là 3 km (tương ứng 6 km cho mỗi bên). Kết cấu đường cứu hộ và sơ tán phải được thiết kế đảm bảo khả năng chịu lực và đáp ứng các yêu cầu phòng chống động đất.

2. Tiêu chuẩn kỹ thuật

2.1. Mặt cầu

Mặt cầu đường sắt cao tốc bao gồm các thành phần: đường ray, lối đi cho công nhân, tấm che, tường bảo vệ, thiết bị giãn nở khe cầu, lớp chống thấm và hệ thống thoát nước. Đối với cầu có ballast, mặt cầu còn được lắp đặt thêm tấm chắn ballast tại khe dầm và tấm che khe giãn.

Khoảng cách từ tâm đường ray đến mép trong của lan can lối đi cho công nhân được khuyến nghị là 4,1 m. Đối với cầu không ballast thuộc đoạn tuyến vận hành tốc độ 250 km/h, khoảng cách này không được nhỏ hơn 3,45 m và đối với cầu có ballast không được nhỏ hơn 3,75 m. Chiều rộng lối đi tối thiểu là 0,8 m.

Cầu phải được trang bị tường bảo vệ, không cần lắp đặt ray dẫn hướng. Trên cầu có ballast, tường bảo vệ còn đóng vai trò là tường chắn ballast. Phía ngoài tường bảo vệ cần bố trí rãnh cáp với nắp đậy chắc chắn, bằng phẳng. Tại vị trí khe dầm, cần lắp đặt thiết bị giới hạn theo phương dọc và ngang để cố định nắp rãnh cáp, đảm bảo an toàn cho người qua lại.

Độ dày của lớp ballast dưới thanh tà vẹt không được nhỏ hơn 35 cm, đồng thời không được lớn hơn 45 cm tại các đoạn đường thẳng và đoạn đường cong bên trong. Nếu lớp ballast vượt quá giới hạn này, cần tiến hành kiểm tra và điều chỉnh khi có nguy cơ ảnh hưởng đến khả năng chịu tải hoặc vi phạm giới hạn xây dựng.

Tấm che khe giãn trên cầu có ballast phải được chế tạo từ thép chịu thời tiết với cấp không thấp hơn Q345B hoặc từ hợp kim nhôm định hình, độ dày không nhỏ hơn 16 mm. Phần đầu di động của tấm che cần được gia công theo dốc nghiêng khoảng 1:4, với phần đầu mỏng nhất dày khoảng 4 mm. Chiều dài tấm che phải bằng khoảng cách từ mép trong của tường bảo vệ, và chiều rộng phải đảm bảo tiếp xúc với đỉnh dầm ít nhất 10 cm. Bề mặt tấm che phải bằng với lớp chống thấm và được cố định tại đầu dầm ít bị giãn nở (đối với cầu dầm đơn giản, tấm che được cố định tại đầu có gối cố định; đối với cầu đầu mố, cố định tại tường chắn của mố cầu).

Lan can lối đi cho công nhân phải có chiều cao ít nhất 1,0 m, với các cột trụ và tay vịn chịu được tải trọng ngang đồng đều 0,75 kN/m và tải trọng tập trung 1,0 kN. Bu lông neo để kết nối lan can và tấm che phải có đường kính không nhỏ hơn 16 mm. Độ nghiêng của cột lan can không được vượt quá 3‰ so với chiều cao cột, độ sai lệch chiều cao tay vịn không quá 10 mm trên chiều dài 10 m. Phần thép nhô ra từ tấm che và bu lông chữ U phải được xử lý chống ăn mòn bằng phương pháp thấm hợp kim đa thành phần kết hợp lớp phủ bảo vệ.

2.2. Hệ thống chống thấm và thoát nước mặt cầu

Hệ thống thoát nước mặt cầu cần được thiết kế hiệu quả, đảm bảo thoát nước nhanh chóng. Tùy theo cấu trúc đường ray, hệ thống thoát nước ngang của mặt cầu có thể áp dụng một trong các phương án sau: sáu mặt dốc với ba hàng thoát nước, bốn mặt dốc thoát nước hai bên, hoặc hai mặt dốc thoát nước ở giữa, với độ dốc thoát nước tối thiểu 2%. Tại vị trí lắp đặt ống thoát nước, cần thiết kế độ dốc tụ nước, và khoảng cách dọc giữa các ống thoát nước khoảng 4,0 m.

Hệ thống thoát nước mặt cầu bao gồm: ống thoát nước, nắp ống, ống thoát nước dọc, ống thoát nước ngang, ống thoát nước đứng, đầu nối chữ T, đầu nối ba chiều, đầu nối cong và giá đỡ ống thoát nước. Vật liệu chế tạo ống thoát nước và các đầu nối phải tuân theo các tiêu chuẩn "Ống PVC-U không áp lực dùng cho hệ thống thoát nước ngầm" (GB/T 20221-2006) và "Ống PVC-U dùng cho hệ thống thoát nước trong xây dựng" (GB/T 5836.1-2006). Giá đỡ ống phải làm bằng kim loại, và các mối nối phải chắc chắn, đảm bảo không bị rò rỉ. Giá đỡ và ống phải được cố định vững chắc để tránh sự cố trong quá trình vận hành.

Đối với cầu có ballast, lớp chống thấm của mặt cầu bê tông cần được bảo vệ bằng một lớp bê tông sợi có độ dày không nhỏ hơn 6 cm. Các khe giãn ngang cách nhau 4

m, có chiều rộng 10 mm, chiều sâu 20 mm, và được trám đầy bằng sơn chống thấm polyurethane. Giữa các tường bảo vệ nên trải lớp chống thấm dạng cuộn, bổ sung lớp chống thấm tại chân tường với chiều cao 5 cm và chiều rộng 15 cm. Các khe tiếp giáp giữa lớp bảo vệ và tường bảo vệ phải được trám kín bằng sơn chống thấm polyurethane với chiều cao mép trám không nhỏ hơn 8 cm.

Đối với cầu không ballast có kết cấu tấm đáy đường ray gắn trực tiếp với mặt cầu bê tông, cần trải lớp chống thấm dạng cuộn giữa các tường bảo vệ và bổ sung lớp chống thấm tại chân tường và tấm đáy với chiều cao 5 cm và chiều rộng 15 cm. Lớp bảo vệ bằng bê tông sợi có độ dày không nhỏ hơn 6 cm cũng được áp dụng, và các khe tiếp giáp phải được trám kín bằng sơn chống thấm polyurethane với chiều cao mép trám không nhỏ hơn 8 cm.

Đối với kết cấu có lớp cách ly giữa tấm đáy và mặt cầu bê tông, có thể áp dụng lớp chống thấm phun polyurethane hai thành phần, bao gồm lớp lót, lớp chống thấm polyurea và lớp phủ polyurethane aliphatic. Lớp lót nên sử dụng epoxy hoặc polyurethane chịu nhiệt, với độ dày màng chống thấm polyurea từ 1,6 - 2,0 mm và lớp phủ polyurethane aliphatic có độ dày không nhỏ hơn 200 μm.

Lớp chống thấm polyurea không cần lớp bảo vệ, nhưng phần chân tường và khối chặn hai bên cần được trám kín bằng sơn chống thấm polyurethane với chiều cao không nhỏ hơn 8 cm. Bên trong ống thoát nước phải phủ sơn chống thấm polyurea với độ sâu không nhỏ hơn 10 cm. Khi thực hiện phun nhiều lần, các lớp phun phải chồng lấn lên nhau với khoảng cách không nhỏ hơn 10 cm.

Tại các vị trí bê tông như mặt cầu, khung cầu hoặc đỉnh mố cầu nơi có nguy cơ thấm nước, cần trải lớp chống thấm. Nếu phát hiện các hiện tượng như bề mặt bê tông bị ẩm, rò nước, gỉ sét hoặc lớp chống thấm bị bong tróc, nứt vỡ thì phải kiểm tra, sửa chữa kịp thời hoặc thay thế khi cần thiết. Lớp chống thấm sử dụng vật liệu mới có độ bền cao, lớp bảo vệ phải dùng bê tông sợi C40 trở lên với độ dày không nhỏ hơn 6 cm. Khi sửa chữa, tiêu chuẩn lớp chống thấm mới không được thấp hơn lớp chống thấm ban đầu, và phần chồng lấn của lớp chống thấm mới phải không nhỏ hơn 20 cm.

Nếu phát hiện các sự cố như thiết bị giãn nở khe cầu bị rò rỉ, dây cao su chống thấm bị bong hoặc hỏng, thiết bị giãn nở có chiều dài không đủ hoặc bị thấm nước ở hai đầu, lỗ thoát nước bị tắc nghẽn, hệ thống thoát nước bị hỏng hoặc có nước đọng trong khoang dầm thì phải xử lý ngay lập tức để đảm bảo an toàn vận hành.

2.3. Sơn bảo vệ kết cấu thép

Các bộ phận như dầm thép, dầm liên hợp thép - bê tông, vòm hộp thép, vòm ống thép, thanh treo thép của cầu vòm, mặt cầu thép, các chi tiết thép của gối cầu, thiết

bị chống rơi dầm, lan can thép trên lối đi công nhân, cột thép, lối thoát hiểm, giàn treo, rào chắn và khung giới hạn chiều cao đều cần được sơn bảo vệ để chống gỉ sét.

Hệ thống sơn khi tiến hành sơn lại phải tuân thủ theo tiêu chuẩn "Quy phạm sơn bảo vệ cầu thép đường sắt" (TB/T 1527-2011). Trước khi sơn lớp lót, bề mặt thép phải được làm sạch hoàn toàn khỏi bụi bẩn, dầu mỡ, gỉ sét, lớp sơn cũ và lớp oxit. Phương pháp làm sạch được quy định như sau:

- Đối với các bộ phận chính như dầm thép, dầm liên hợp, vòm hộp thép, vòm ống thép, mặt cầu thép và thanh treo của cầu vòm: sử dụng phương pháp phun cát hoặc phun bi.
- Đối với các chi tiết phụ trợ như thiết bị chống rơi dầm, lan can thép, cột thép, lối thoát hiểm, giàn treo, rào chắn và khung giới hạn chiều cao: có thể dùng phương pháp làm sạch thủ công, nhưng tuyệt đối không được dùng chất ăn mòn để vệ sinh bề mặt thép.

Mức độ làm sạch và độ nhám bề mặt phải tuân theo yêu cầu cụ thể của loại sơn, phương pháp thi công và vị trí của các chi tiết.

Khi phát hiện lớp sơn bảo vệ của dầm thép trong quá trình vận hành bị bong tróc, nứt hoặc phồng rộp với diện tích vượt quá 25%, hoặc diện tích bị gỉ sét chiếm 5%, hoặc mức độ thoái hóa lớp sơn đạt cấp 4 và lớp sơn lót đã bị mất tác dụng, cần tiến hành sơn lại toàn bộ khoang dầm. Đặc biệt, tại các vị trí như dầm dưới của cầu giàn gần mặt nước, đáy dầm ngang và đáy dầm hộp thép, hoặc các dầm thép bắc qua sông bị ô nhiễm, cần bổ sung thêm một lớp sơn lót và một lớp sơn trung gian.

2.4. Kết cấu thép

Kết cấu thép của cầu đường sắt cao tốc phải đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về độ cứng, độ bền và tính ổn định. Trong quá trình vận hành, cần thường xuyên kiểm tra và bảo dưỡng các liên kết, thanh giằng, chốt, bu lông và mối hàn để đảm bảo các bộ phận này luôn trong tình trạng tốt nhất. Nếu phát hiện dầm thép không đủ khả năng chịu tải hoặc độ cứng không đạt yêu cầu, cần tiến hành gia cố hoặc cải thiện kết cấu để đảm bảo an toàn. Đồng thời, cần thường xuyên vệ sinh sạch sẽ các bề mặt thép, loại bỏ bụi bẩn và đất bùn; vào mùa đông, phải nhanh chóng dọn sạch tuyết và băng khi có hiện tượng đóng băng trên dầm thép. Tại các vị trí đọng nước trên dầm thép cần bố trí lỗ thoát nước, trước khi khoan lỗ phải kiểm tra khả năng chịu lực của thanh giằng. Nghiêm cấm việc khoan lỗ thoát nước trên dầm hộp thép.

Trong quá trình gia cố dầm thép, không được sử dụng hàn điện hoặc dùng phương pháp hàn điện để gắn thêm các thiết bị kiểm tra và tăng cường độ an toàn cho dầm chính. Khoảng cách giữa các dầm thép liền kề, cũng như khoảng cách giữa đầu dầm và tường chắn ballast ở mố cầu, phải đảm bảo đáp ứng khả năng giãn nở

theo đúng thiết kế. Thiết bị giãn nở ở đầu dầm phải đảm bảo vận hành linh hoạt, dễ bảo trì, và khoảng cách giữa các thanh tà vẹt trong phạm vi điều chỉnh không được sai lệch quá ±5 mm.

Việc thay thế bu lông cường độ cao trên kết cấu thép phải được thực hiện theo nguyên tắc:

- Đối với các nút lớn, số lượng bu lông được thay đồng thời không được vượt quá 8% tổng số bu lông tại nút đó.
- Đối với các nút ít bu lông, phải thay thế từng chiếc một để đảm bảo an toàn.

Bu lông, đai ốc và vòng đệm được thay thế phải có cùng loại vật liệu, kích thước và cấp độ bền như loại ban đầu, không được phép trộn lẫn các loại khác nhau. Sau khi bu lông cường độ cao được siết chặt, các khe giữa các tấm ghép phải được trám kín bằng bê tông để ngăn chặn nước và không khí ẩm thâm nhập. Tất cả các phần bu lông, đai ốc và vòng đệm lộ ra ngoài đều phải được sơn phủ chống gỉ.

Các trường hợp sau cần được xử lý ngay lập tức khi xảy ra trên kết cấu thép:

(1) Vết nứt ở vị trí liên kết giữa dầm ngang đầu và dầm dọc của cầu giàn dưới có chiều dài ≥50 mm.

(2) Vết nứt ở đầu tấm ốp hàn của cánh chịu kéo có chiều dài ≥ 20 mm.

(3) Vết nứt tại mép cánh chịu kéo của dầm chính, dầm ngang và dọc có chiều dài ≥5 mm, hoặc vết nứt tại mối hàn có chiều dài ≥ 10 mm.

(4) Tỷ lệ bu lông cường độ cao bị hỏng tại các nút nối của dầm chính đạt ≥ 8%.

(5) Diện tích tiết diện của thanh chịu nén bị suy giảm ≥ 15%.

Đối với các vết nứt tại mối hàn hoặc trên thép gần mối hàn, cần căn cứ vào tính chất, kích thước, số lượng và vị trí cụ thể của vết nứt để đưa ra phương án xử lý phù hợp, nhằm đảm bảo an toàn cho kết cấu thép trong quá trình vận hành.

2.5. Gối cầu và khối chắn chống rơi dầm

Cầu đường sắt cao tốc thường sử dụng gối cầu cao su chậu, gối cầu thép cầu hoặc gối cầu trượt bản lề cho các nhịp dài. Đối với những cầu có mố trụ bị lún nhiều sau khi hoàn thiện, nên lắp đặt gối cầu điều chỉnh cao độ để đảm bảo ổn định.

Quá trình lắp đặt gối cầu phải bảo đảm chắc chắn và chính xác. Bề mặt tiếp xúc giữa gối cầu, đáy dầm và đệm kê phải nằm ngang, tiếp xúc chặt chẽ, không để xuất hiện khe hở. Các lớp thành phần ngang cũng cần được lắp đặt khít, không để có khoảng trống giữa các lớp. Đối với gối cầu di động, bề mặt trượt phải luôn sạch sẽ và trơn nhẵn để bảo đảm dầm cầu có thể giãn nở và xoay tự do khi cần thiết. Việc lắp đặt gối cầu phải tuân thủ các sai số cho phép theo quy định.

Chiều cao của đệm kê gối cầu phải đủ để thuận tiện cho việc bảo dưỡng và sửa chữa, tối thiểu phải đạt 35 cm. Trong quá trình vận hành, nếu phát hiện gối cầu gặp một trong các vấn đề sau, cần xử lý ngay lập tức:

(1) Tấm PTFE bị mài mòn nghiêm trọng, phần nhô ra khỏi tấm thép không còn đủ 0,2 mm.

(2) Tấm PTFE bị trượt ra ngoài, vượt quá mép tấm thép không gỉ hơn 10 mm.

(3) Độ dịch chuyển hoặc góc quay vượt quá giới hạn thiết kế, với độ dịch chuyển lớn hơn 10 mm hoặc góc quay vượt quá 20% giá trị thiết kế.

(4) Bu lông neo bị thiếu hoặc đứt gãy.

(5) Vòng đệm cao su bị rơi ra hoặc bị lật ngược.

(6) Vật liệu trám hoặc vữa khô cứng giữa tấm đế dưới của gối cầu và đệm kê bị nứt.

(7) Đệm kê gối cầu bị nứt, đọng nước hoặc xuất hiện hiện tượng trồi vữa.

(8) Các chi tiết thép bị nứt sâu từ 10 mm trở lên hoặc mối hàn ở các vị trí chịu lực chính bị bong tróc.

Tại các khu vực có yêu cầu chống động đất, cần lắp đặt khối chắn chống rơi dầm ở đầu dầm và đỉnh mố trụ. Loại khối chắn này nên được chế tạo từ thép chữ I hàn có cấp không thấp hơn Q235, với chiều cao tối thiểu là 50 cm. Tâm của khối chắn phải trùng với tâm của gối cầu và bu lông kết nối cần bảo đảm đủ độ bền theo tiêu chuẩn chống động đất. Khối chắn chống rơi dầm cần được sửa chữa hoặc thay thế ngay khi gặp phải các tình trạng sau:

(1) Khối chắn bên cạnh gối cầu di động bị chặn cứng với đệm kê, làm cản trở dầm giãn nở.

(2) Khối chắn bên cạnh gối cầu di động bị chặn cứng với đỉnh mố trụ, ngăn không cho dầm di chuyển tự do.

(3) Các khối chắn liền kề trên đỉnh mố trụ được liên kết thành một khối, làm mất khả năng giãn nở tự do giữa các nhịp dầm.

(4) Khoảng cách giữa khối chắn và đệm kê vượt quá 40 mm, khiến khối chắn không thể thực hiện chức năng chống rơi dầm.

2.6. Dầm bê tông và mố trụ

Dầm bê tông và mố trụ phải đáp ứng các yêu cầu về cường độ, độ cứng, khả năng chống thấm, độ bền và tính ổn định tổng thể. Trong quá trình vận hành, cần thường xuyên kiểm tra và đảm bảo dầm bê tông, mố trụ luôn trong tình trạng tốt.

Giới hạn tối đa cho độ rộng vết nứt do tải trọng tĩnh của dầm bê tông và mố trụ được quy định tại Bảng 3-5-3.

Bảng 3-5-3: Giới hạn tối đa về độ rộng vết nứt do tải trọng tĩnh của dầm bê tông và mố trụ

Loại dầm	Vị trí vết nứt		Giới hạn lớn nhất của vết nứt (mm)
Dầm bê tông dự ứng lực	Thân dầm	Phương ứng suất kéo chính theo chiều dọc ở mép dưới và thành bụng	Không cho phép
		Theo phương dọc và xiên	0,2
		Tấm ngăn ngang	0,3
Dầm bê tông cốt thép, bản mặt cầu và khung	Gần cốt thép chính theo phương thẳng đứng		0,25
	Thành bụng theo phương thẳng đứng và xiên		0,3
Mố trụ	Mũ trụ		0,3
	Thân mố trụ	Thường xuyên chịu tác động của nước ăn mòn	Có cốt thép 0,2, không có cốt thép 0,30
		Ngập nước quanh năm nhưng không có tính ăn mòn	Có cốt thép 0,25, không có cốt thép 0,35
		Suối cạn hoặc sông có nước theo mùa	0,4
	Phần bị tác động bởi hiện tượng đóng băng		0,2

- ***Xử lý hư hỏng nghiêm trọng của dầm bê tông và mố trụ***

Khi dầm bê tông và mố trụ xuất hiện các hư hỏng nghiêm trọng, có thể sử dụng các biện pháp như sửa chữa, bơm vữa, đóng kín bề mặt, hoặc gia cố, đảm bảo tuân thủ đúng các tiêu chuẩn kỹ thuật. Đối với các hư hỏng liên quan đến nghiêng, lún hoặc đóng băng ở mố trụ, các giải pháp xử lý bao gồm gia cố nền móng, đào sâu hoặc mở rộng móng, thay lớp đất phía sau mố trụ, hoặc giảm tải. Cần thực hiện xử lý ngay khi phát hiện các tình trạng sau:

(1) Lớp bảo vệ bê tông bị trung hòa với độ sâu vượt quá 25 mm.

(2) Xuất hiện vết nứt trên dầm bê tông cốt thép với hiện tượng nước gỉ sắt chảy ra.

(3) Dầm bê tông bị nứt do phản ứng kiềm - cốt liệu.

(4) Vết nứt do tải trọng tĩnh trên dầm và mố trụ vượt giới hạn cho phép theo Bảng 3-5-3.

(5) Hiện tượng từ biến gây ra uốn cong dầm bê tông dự ứng lực khiến lớp đá dăm giữa nhịp không đủ 30 cm.

(6) Từ biến của dầm hoặc lún móng khiến các bộ phận kẹp ray mất khả năng điều chỉnh.

(7) Đầu dầm ở các nhịp liền kề hoặc giữa đầu dầm và tường chắn của mố trụ bị chèn ép; các thành phần như lan can lối đi kiểm tra, rãnh cáp, hoặc tấm chắn bị chèn ép, gây cản trở sự giãn nở của dầm.

(8) Dầm hoặc mố trụ bị vỡ, hư hỏng cục bộ hoặc cốt thép bị biến dạng, gãy do tai nạn bất ngờ.

(9) Bên trong mố trụ rỗng ở khu vực có khí hậu lạnh bị đọng nước, gây hư hỏng kết cấu.

(10) Hệ thống thoát nước bị hỏng, dẫn đến hiện tượng trắng hóa bề mặt dầm do muối kết tủa.

III. CHẾ ĐỘ BẢO DƯỠNG VÀ SỬA CHỮA CẦU ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

1. Bảo dưỡng định kỳ

Bảo dưỡng định kỳ cầu và hầm nhằm kịp thời xử lý các vị trí vượt giới hạn hoặc sắp vượt giới hạn, giúp thiết bị luôn ở trong trạng thái ổn định và đảm bảo an toàn cho tàu chạy. Công tác bảo dưỡng thường được thực hiện trên toàn bộ thiết bị; với những cầu hầm dài, có thể chia theo từng đoạn để tiến hành. Chu kỳ bảo dưỡng được quy định dựa trên loại thiết bị và trạng thái thay đổi của chúng. Đối với cầu thép (bao gồm dầm thép hỗn hợp, cầu vòm thép, cầu vòm hộp thép, cầu vòm ống thép bê tông, dầm liên hợp thép - bê tông...), chu kỳ bảo dưỡng là 6 tháng; các thiết bị còn lại là 1 năm. Bên cạnh bảo dưỡng định kỳ đúng thời điểm, cần tăng cường bảo dưỡng mang tính phòng ngừa để thiết bị luôn đạt chất lượng tốt nhất.

1.1. Phạm vi bảo dưỡng định kỳ

(1) Bổ sung và làm sạch các mối nối kim loại, xử lý gỉ sét và bôi dầu bu lông.

(2) Làm sạch dầm thép, siết chặt các bu lông cường độ cao lỏng lẻo, sửa chữa cục bộ lớp sơn bảo vệ.

(3) Làm sạch và bôi dầu bệ đỡ, sửa chữa độ dốc thoát nước.

(4) Bổ sung, sắp xếp các tấm đi bộ ở lối kiểm tra, sửa chữa thiết bị có nguy cơ ảnh hưởng đến an toàn.

(5) Loại bỏ rác thải, đá dăm tại đầu dầm và khe co giãn.

(6) Thông tắc các lỗ thoát nước trên mặt cầu.

(7) Sửa chữa lan can và các bộ phận khác trên mặt cầu.

(8) Siết chặt bu lông của chặn rơi dầm, đặt lại đúng vị trí và bổ sung khi cần thiết.

(9) Sửa chữa hệ thống thanh giằng và các bộ phận thép của thiết bị giãn nở tại đầu dầm của cầu nhịp lớn, điều chỉnh khi có sự cố kẹt.

(10) Bảo vệ neo cáp và neo dây treo tại cầu dây văng và cầu vòm treo, thường xuyên bổ sung mỡ, thay mới gioăng hoặc keo bịt tại các điểm nối có ren.

(11) Sửa chữa lan can lối đi cứu hộ trên cầu, xử lý vết nứt trên tường chắn và thông tắc hệ thống thoát nước.

(12) Loại bỏ đá lăn tại mái dốc đầu hầm và các mảnh bê tông bong tróc khỏi lớp vỏ hầm.

(13) Thông tắc hệ thống thoát nước trong hầm, sửa chữa rãnh thoát nước.

(14) Nạo vét cống, sửa chữa và bổ sung lưới chắn rác hoặc nắp xi phông.

(15) Làm mới và sửa chữa các biển báo, ký hiệu hướng dẫn.

1.2. Lập và thực hiện kế hoạch bảo dưỡng

Việc lập và thực hiện kế hoạch bảo dưỡng phải dựa trên kết quả kiểm tra định kỳ thiết bị. Ngoài việc kịp thời sửa chữa những vị trí vượt giới hạn, cần tiến hành bảo dưỡng định kỳ mang tính phòng ngừa đối với các vị trí có nguy cơ vượt giới hạn. Kế hoạch bảo dưỡng hàng quý cần được lập chi tiết và trình lên cấp quản lý phê duyệt trước khi thực hiện. Quá trình thực hiện phải được ghi lại đầy đủ trong kế hoạch bảo dưỡng hàng ngày và báo cáo hoàn thành công việc, bao gồm các biện pháp đảm bảo an toàn và chất lượng.

1.3. Đánh giá chất lượng bảo dưỡng cầu

Đơn vị quản lý thiết bị cần tổ chức kiểm tra và đánh giá chất lượng bảo dưỡng mỗi 6 tháng đối với cầu thép và mỗi năm đối với các thiết bị khác, kết hợp với các đợt kiểm tra vào mùa xuân và mùa thu. Chất lượng bảo dưỡng được đánh giá dựa trên mức độ các lỗi phát sinh, tuân thủ theo quy định của "Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng bảo dưỡng cầu hầm đường sắt cao tốc".

Điểm trung bình về chất lượng bảo dưỡng của mỗi thiết bị được tính bằng tổng số điểm bị trừ chia cho chiều dài thiết bị (làm tròn đến một chữ số thập phân). Nếu điểm trung bình mỗi mét không vượt quá 5 điểm và không có mục nào bị trừ 10 điểm, thiết bị được đánh giá là đạt yêu cầu. Ngược lại, nếu không đáp ứng các điều kiện này, thiết bị sẽ bị đánh giá là không đạt yêu cầu.

Mỗi lần đánh giá đều phải lập "Biên bản đánh giá chất lượng bảo dưỡng cầu hầm đường sắt cao tốc". Đơn vị quản lý thiết bị cần tiến hành kiểm tra ngẫu nhiên để xác thực chất lượng và số lượng công việc bảo dưỡng đã thực hiện.

2. Bảo dưỡng toàn diện

Việc bảo dưỡng toàn diện cầu đường sắt cao tốc cần được thực hiện theo phương pháp bảo dưỡng phòng ngừa, dựa trên kế hoạch hàng năm và được triển khai hàng tháng. Chu kỳ bảo dưỡng được quy định tùy theo loại thiết bị: cầu dầm thép (bao gồm cầu thép hỗn hợp, cầu vòm thép) là 3 năm; cầu bê tông và lối thoát hiểm là 5 năm; đối với hầm và cống ngầm, chu kỳ bảo dưỡng thường từ 5 đến 8 năm, tùy thuộc vào tình trạng thiết bị.

2.1. Nội dung công việc bảo dưỡng toàn diện

(1) Bảo dưỡng cục bộ cấu kiện thép: sơn bảo vệ, chống gỉ tại các vị trí khuất, thay thế các bu lông hỏng.

(2) Sửa chữa vết nứt và khắc phục chỗ lộ cốt thép trên dầm bê tông, sửa chữa cục bộ lớp chống thấm, bảo dưỡng hệ thống thoát nước, sửa chữa thiết bị giãn nở đầu dầm.

(3) Khắc phục tình trạng bệ đỡ trống không, sửa chữa bu lông bị gãy, bảo dưỡng thiết bị chống bụi và sơn bảo vệ các bộ phận thép, xử lý độ dốc thoát nước trên đỉnh trụ cầu.

(4) Xử lý các vết nứt, hư hỏng trên trụ cầu, sửa chữa hệ thống thoát nước và gia cố nền móng.

(5) Thay thế cục bộ lan can cầu và các lối đi làm việc bị hư hỏng.

(6) Khắc phục tình trạng rò rỉ tại mối nối và xử lý các vết nứt ở cống ngầm, tiến hành phun hoặc bơm vữa gia cố.

(7) Sửa chữa và bổ sung hệ thống thoát nước tại các cống ngầm khi cần thiết.

(8) Dọn dẹp bùn đất trong cống ngầm, sửa chữa lát đá tại cửa vào và cửa ra.

(9) Sửa chữa các công trình bảo vệ cầu và công trình điều tiết sông.

(10) Khắc phục hư hỏng tại các công trình bảo vệ, xử lý các vết nứt và hư hỏng trên tường chắn và các công trình xây gạch, đá.

(11) Bảo dưỡng cục bộ các công trình phụ trợ như tường chắn, lối đi làm việc, lối thoát hiểm, thiết bị kiểm tra an toàn, thiết bị chống động đất và thang kiểm tra trụ rỗng.

(12) Dọn dẹp bùn đất tại các khe nước có dòng chảy mạnh, khơi thông dòng chảy trong phạm vi 30m thượng lưu và hạ lưu của cầu nhỏ và cống ngầm, sửa chữa hệ thống dẫn dòng và chắn dòng.

(13) Sửa chữa cổng hạn chế chiều cao và hàng rào bảo vệ chống va chạm tại trụ cầu.

2.2. Lập kế hoạch và triển khai bảo dưỡng toàn diện

Kế hoạch bảo dưỡng toàn diện hàng năm do đơn vị quản lý thiết bị lập dưới dạng "Bảng kế hoạch bảo dưỡng toàn diện hàng năm công trình cầu hầm đường sắt cao tốc" và thực hiện sau khi được cơ quan quản lý phê duyệt. Việc thực hiện được theo dõi, thống kê hàng tháng và báo cáo lên cấp quản lý.

Kế hoạch bảo dưỡng hàng tháng được lập dựa trên khối lượng công việc thực tế, thể hiện trong "Bảng kế hoạch bảo dưỡng toàn diện hàng tháng và kết quả thực hiện". Sau khi được phê duyệt, các đơn vị thực hiện bảo dưỡng sẽ lập kế hoạch chi tiết và triển khai theo tiến độ đã đề ra. Kế hoạch bảo dưỡng hàng ngày được ghi chép trong "Bảng kế hoạch và kết quả bảo dưỡng hàng ngày công trình cầu hầm đường sắt cao tốc" và được thực hiện nghiêm túc theo đúng tiêu chuẩn.

2.3. Kiểm tra và nghiệm thu chất lượng bảo dưỡng toàn diện

Công tác kiểm tra và nghiệm thu chất lượng bảo dưỡng toàn diện phải được thực hiện chặt chẽ theo quy trình kiểm tra nhiều cấp. Việc giám sát độc lập và kiểm tra chéo nhằm đảm bảo chất lượng công việc. Trong quá trình bảo dưỡng, các đơn vị thực hiện phải tiến hành tự kiểm tra, kiểm tra chéo và kiểm tra lại cuối ngày. Khi phát hiện các hạng mục không đạt yêu cầu, phải tiến hành sửa chữa ngay lập tức để đảm bảo tiêu chuẩn chất lượng.

Sau khi hoàn thành toàn bộ công việc bảo dưỡng, đơn vị quản lý thiết bị phải tiến hành nghiệm thu chất lượng theo "Tiêu chuẩn nghiệm thu công tác bảo dưỡng công trình cầu hầm đường sắt cao tốc". Đối với cầu dài hoặc cầu hỗn hợp, có thể nghiệm thu theo từng nhịp hoặc từng đoạn. Kết quả nghiệm thu được ghi vào "Giấy chứng nhận nghiệm thu bảo dưỡng toàn diện công trình cầu hầm đường sắt cao tốc". Chất lượng bảo dưỡng toàn diện được đánh giá theo hai mức: "đạt" và "không đạt". Nếu toàn bộ các hạng mục đều đạt yêu cầu ngay từ lần nghiệm thu đầu tiên, công trình được đánh giá là "đạt". Trường hợp có hạng mục không đạt, sau khi sửa chữa và kiểm tra lại, nếu đáp ứng yêu cầu thì công trình vẫn được đánh giá là "đạt".

3. Quản lý đại tu

Việc quản lý đại tu cầu đường sắt cao tốc được phân loại dựa trên tình trạng thiết bị, tính chất công trình, mức độ phức tạp và khối lượng công việc, bao gồm ba loại: đại tu định kỳ, đại tu trọng điểm và đại tu thông thường.

- Đại tu định kỳ: Thực hiện các công việc như sơn lại toàn bộ dầm thép hoặc phủ lớp sơn bảo vệ định kỳ.

- Đại tu trọng điểm: Tập trung xử lý những vấn đề lớn như sửa chữa trụ cầu, thay gối cầu, gia cố móng hoặc gia cố dầm thép.
- Đại tu thông thường: Bao gồm sửa chữa các hư hỏng nhỏ, đảm bảo duy trì trạng thái ổn định của công trình.

3.1. Phạm vi công việc đại tu

Phạm vi công việc đại tu bao gồm :

(1) Sơn lại toàn bộ dầm thép hoặc phủ lớp sơn bảo vệ ; thực hiện sơn chống gỉ và thay thế hàng loạt bu lông cường độ cao.

(2) Gia cố dầm thép, thay thế hoặc sửa chữa các bộ phận bị hư hỏng như thanh giằng, dây cáp treo, dây cáp nghiêng.

(3) Nâng dầm, thay mới gối cầu.

(4) Nâng chỉnh và thay thế các bu lông neo bị gãy.

(5) Sửa chữa diện rộng các vết nứt trên dầm bê tông, xử lý ăn mòn cốt thép.

(6) Phục hồi lớp chống thấm trên mặt cầu không có đá ballast.

(7) Gia cố trụ cầu, móng cầu và lối thoát hiểm dọc cầu.

(8) Gia cố các thanh ngang bị hư hỏng, sửa chữa các thanh chắn ngang bị nứt, gia cố dầm, cột trụ và vòm cầu.

(9) Sửa chữa hoặc gia cố hệ thống bảo vệ và các công trình điều tiết dòng chảy.

(10) Thay mới thiết bị giãn nở, hệ thống thoát nước và tấm chắn đá ballast.

(11) Khắc phục các vấn đề đe dọa an toàn cầu tại các đoạn sông chảy qua.

(12) Thay mới toàn bộ lối đi bộ và lan can trên cầu.

(13) Khôi phục hoặc gia cố hệ thống giới hạn chiều cao và hàng rào bảo vệ trụ cầu.

3.2. Lập kế hoạch đại tu

Kế hoạch đại tu được xây dựng theo từng công trình cụ thể. Đơn vị quản lý thiết bị phải lập báo cáo chi tiết về tình trạng công trình sau khi kiểm tra định kỳ, đồng thời đề xuất danh mục các dự án đại tu cần thực hiện trong năm tiếp theo. Báo cáo này sẽ được gửi đến cơ quan quản lý cấp trên để phê duyệt.

Đối với các dự án đại tu có nguyên nhân hư hỏng phức tạp, cần tổ chức hội đồng chuyên gia thẩm định để đánh giá nguyên nhân và đưa ra phương án xử lý phù hợp.

3.3. Hồ sơ thiết kế

Mỗi dự án đại tu phải có đầy đủ hồ sơ thiết kế bao gồm :

(1) Thuyết minh thiết kế: Trình bày chi tiết tình trạng kỹ thuật, nguyên nhân hư hỏng, cơ sở thiết kế, tiêu chuẩn kỹ thuật, phương án thi công, yêu cầu về chất lượng và an toàn, cùng các lưu ý đặc biệt khác.

(2) Bản vẽ thiết kế: Bao gồm sơ đồ tổng thể khu vực cầu, các mặt cắt dọc ngang, chi tiết các kết cấu, sơ đồ địa chất móng cầu và bảng khối lượng công việc.

(3) Dự toán: Bao gồm bảng tổng hợp chi phí, bảng khối lượng vật liệu, chi phí nhân công, vận chuyển và các khoản phụ phí khác.

Hồ sơ thiết kế phải được hoàn thành trước ngày 30 tháng 6 hàng năm. Đối với các dự án dự kiến thi công trong quý I đến quý III của năm, hồ sơ phải được nộp trước ít nhất 60 ngày tính từ ngày khởi công.

3.4. Quản lý thi công

Các dự án đại tu chỉ được phép thi công khi đã có đầy đủ hồ sơ thiết kế và phương án thi công được phê duyệt. Thông thường, các công trình đại tu phải do đơn vị thi công chuyên nghiệp đảm nhận. Tuy nhiên, đối với các dự án đại tu quy mô nhỏ hoặc định kỳ, đơn vị quản lý thiết bị có thể tự thi công.

Quá trình thi công phải tuân thủ nghiêm ngặt quy trình giám sát theo "Quy định về giám sát thi công công trình xây dựng đường sắt". Mỗi ngày, nội dung công việc, tình trạng an toàn, chất lượng và các vấn đề phát sinh phải được ghi đầy đủ trong Nhật ký thi công. Đối với các hạng mục thi công khuất, cần lập biên bản kiểm tra riêng và có sự xác nhận của giám sát hoặc kỹ sư phụ trách.

Sau khi hoàn thành, đơn vị thi công phải lập đầy đủ hồ sơ hoàn công. Đối với các công trình có sử dụng công nghệ hoặc phương pháp mới, cần lập báo cáo tổng kết kỹ thuật và bàn giao cho đơn vị quản lý thiết bị.

3.5. Kiểm tra và nghiệm thu

Việc kiểm tra, nghiệm thu công trình đại tu được thực hiện nghiêm ngặt. Đơn vị thi công phải xây dựng quy trình kiểm tra nội bộ, tiến hành tự kiểm tra vào cuối mỗi ngày làm việc và lập biên bản kiểm tra theo quy định.

Việc nghiệm thu công trình đại tu được tiến hành theo từng hạng mục hoặc toàn bộ dự án. Chất lượng công trình được đánh giá theo hai mức: "Đạt" và "Không đạt". Nếu toàn bộ hạng mục đạt yêu cầu ngay từ lần nghiệm thu đầu tiên, công trình được đánh giá là "Đạt". Nếu có hạng mục không đạt, đơn vị thi công phải khắc phục và tiến hành nghiệm thu lại. Chỉ khi tất cả các hạng mục đạt yêu cầu, công trình mới được công nhận là "Đạt".

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Lương Giang, Kiều Kiện. Phát triển và thực tiễn cầu lớn đường sắt cao tốc Trung Quốc [Tạp chí]. Nghiên cứu Kinh tế Đường sắt, 2010(6): 46–50.

[2] Trần Thuận Lương, Thiệu Hoa Bình, Trần Vĩ Canh, và cộng sự. Nghiên cứu ảnh hưởng của tiếng ồn đường sắt đến các loài chim tại "Thiên đường chim" [Tạp chí]. Đổi mới Công nghệ Đường sắt, 2014(3): 80–82.

[3] Trần Tân. Thiết kế và nghiên cứu kết cấu dầm đường ray nhánh khu vực yết hầu tại nhà ga trên cao tuyến chuyên chở hành khách [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2016, 33(3): 51–54.

[4] Đái Công Liên, Lưu Dao, Lưu Văn Thạc. So sánh tương tác giữa đường ray và cầu kết hợp dầm - vòm trên cầu liên tục nhịp lớn [Tạp chí]. Tạp chí Đại học Trung Nam (Bản Khoa học Tự nhiên), 2017, 48(1): 233–238.

[5] Đái Vũ, Ngô Diệu Huy, Cung Chiếm Bân. Phát triển máy nâng dầm 900 tấn hai cửa kiểu bánh thép cho tuyến đường sắt khách Hà Đại [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2009(11): 62–64.

[6] Đái Công Liên, Tô Miểu, Lưu Văn Thạc, và cộng sự. Nghiên cứu đặc tính lực tại khu vực cố định tháp - dầm - trụ của cầu dây văng tiết diện rãnh [Tạp chí]. Tạp chí Đại học Hồ Nam (Bản Khoa học Tự nhiên), 2014, 41(1): 27–32.

[7] Đinh Đức Bằng. Nghiên cứu công nghệ thi công quay đỉnh dầm hộp liên tục bê tông tại đỉnh trụ [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Xây dựng Đường sắt, 2017(3): 56–59 + 92.

[8] Phùng Á Thành. Hệ thống gối cầu trên cầu đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Cầu Thế giới, 2011(2): 15–17 + 42.

[9] Phùng Bội. Nghiên cứu thiết lập độ võng trước cho cầu dầm thép liên tục nhịp lớn đường sắt [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2016, 60(4): 62–64.

[10] Cao Tông Dư. Cầu lớn nhịp dài trên sông Trường Giang và Hoàng Hà trên đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Khoa học Kỹ thuật Trung Quốc, 2009, 11(1): 17–21.

[11] Cao Tông Dư. Đổi mới công nghệ trên cầu đường bộ – đường sắt kết hợp Hoàng Hà tại Trịnh Châu [Tạp chí]. Xây dựng Cầu, 2010(5): 3–6.

[12] Bộ Xây dựng Cộng hòa Nhân dân Trung Hoa. Quy phạm thiết kế chống động đất cho công trình đường sắt: GB 50111-2006 [Tiêu chuẩn]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Kế hoạch Trung Quốc, 2006.

[13] Cung Tuấn Hổ, Vương Hoa Thành, Hoàng Bắc Bình. Phân tích hiệu ứng kết hợp dầm – vòm trên cầu kết hợp dầm cứng hình chữ V [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2010, 27(6): 61–64.

[14] Hầu Kiện, Bành Chấn Hoa, Trương Yến Phi. Thiết kế cầu luồng chuyên dụng cảng Thiên Sinh trên cầu Trường Giang Hỗ Thông [Tạp chí]. Xây dựng Cầu, 2015, 45(6): 53–57.

[15] Hồ Sở Đình. Nghiên cứu và ứng dụng các sơ đồ tải trọng đoàn tàu đường sắt tại Trung Quốc [Tạp chí]. Tạp chí Xây dựng Đường sắt, 2015(10): 26–30.

[16] Kim Phúc Hải, Thái Đức Cường. Thảo luận về thiết kế kết cấu cầu kết hợp nhà ga mới Quảng Châu [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2010, 27(2): 102–108.

[17] Kim Huy. Thảo luận mô hình bảo trì cầu Trường Giang Đại Thắng Quan trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải [Tạp chí]. Công nghệ Giao thông Hiện đại, 2013, 10(6): 51–55.

[18] Khang Tiểu Anh, Cao Lệ, Văn Vọng Thanh. Thiết kế cầu dầm – vòm liên tục nhịp lớn trên đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Xây dựng Đường sắt, 2009(S1): 89–93.

[19] Lý Tiểu Trân, Cường Sĩ Trung. Hiện trạng và xu hướng phát triển nghiên cứu dao động ghép tàu - cầu [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt, 2002(5): 112–120.

[20] Lý Tuấn Long, Trần Liệt, Du Lệ Huy và cộng sự. Nghiên cứu thiết kế cầu dầm cứng liên tục nhịp lớn trên tuyến đường sắt cao tốc Hồ Côn [Tạp chí]. Công nghệ Đường sắt Cao tốc, 2017, 8(3): 73–76.

[21] Lý Quế Lâm. Thiết kế kết cấu vòm dây song song bằng phương pháp dựng vòm trước, đặt dầm sau trên tuyến đường sắt Thương Hợp Hàng [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2017, 61(3): 75–81.

[22] Lưu Bồi Dũng, Giang Sáng Hoa, Tham Diễm Minh và cộng sự. Phát triển máy nâng dầm 900 tấn kiểu lốp cho cầu vượt [Tạp chí]. Tạp chí Cơ khí Công trình, 2011, 42(10): 11–14.

[23] Lưu Văn Thạc, Đái Công Liên, Hồ Nam. Thiết kế cầu dầm liên tục nhịp trung bình trên đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật Đường sắt, 2010, 7(2): 45–51.

[24] Lưu Quế Hồng, Lưu Thừa Dư, Tiêu Hải Châu. Thiết kế dầm thép liên tục 2×84 m trên cầu Đại Thắng Quan Trường Giang tại Nam Kinh [Tạp chí]. Tạp chí Khảo sát Đường sắt, 2007(S1): 27–29.

[25] Lưu Học Văn. Tổng quan công nghệ thi công cầu chính trên cầu Đại Thắng Quan Trường Giang tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải [Tạp chí]. Xây dựng Cầu, 2010(4): 1–4.

[26] Lưu Huy, Từ Cung Nghĩa. Các cầu lớn nhịp rất dài đang được thiết kế và xây dựng tại Trung Quốc cùng các đặc điểm công nghệ [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2007(9): 22–26.

[27] Lưu Bân. Nghiên cứu và thiết kế phương án cho cầu Đào Yêu Môn trên tuyến đường sắt Ninh Châu [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2017, 61(5): 77–81.

[28] Lưu Bằng Huy, Diêu Kinh Xuyên, Doãn Kinh và cộng sự. Nghiên cứu thử nghiệm tính năng động lực của cầu đường sắt tốc độ 200–250 km/h [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Xây dựng, 2013, 46(3): 96–102.

[29] Lư Xuân Phòng. Mô hình bảo trì và công nghệ then chốt cho cầu và hầm trên tuyến đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt Trung Quốc, 2017(7): 1–8.

[30] La Hạo, Mã Kiến Lâm, Chu Hồng Yến và cộng sự. Phương pháp dự báo đường cong lún - phương pháp chỉ số quá trình biến dạng [Tạp chí]. Tạp chí Cơ học Đất và Đá, 2009, 30(S2): 374–376.

[31] Mạnh Tân, Lưu Bằng Huy, Diêu Kinh Xuyên và cộng sự. Phân tích thử nghiệm tính chất động lực của dầm hộp đơn giản 32 m trên đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Xây dựng Đường sắt, 2016(1): 10–15.

[32] Mễ Triết. Thiết kế tỷ lệ pha trộn bê tông hiệu suất cao cho cầu đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Xây dựng Đường sắt, 2014(S1): 84–86.

[33] Ni Yến Bình. Đổi mới và thực tiễn thi công quay thân cầu liên tục trên đường sắt [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2013(7): 64–65.

[34] Ninh Quý Hà, Khổng Đức Diễm, Lận Bằng Trân và cộng sự. Phân tích độ võng trên dầm hộp bê tông cốt thép liền khối của cầu đường sắt song tuyến [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt, 2007(6): 123–125.

[35] Thượng Hải Thao. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp quay phẳng trong thi công cầu đường sắt [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2013, 30(1): 29–34.

[36] Sử Địch. Nghiên cứu công nghệ then chốt trong thiết kế cầu kết hợp cầu - nhà ga trên tuyến đường sắt tại ga Vũ Hán [Tạp chí]. Xây dựng Cầu, 2008(6): 34–36.

[37] Thi Thành, Lận Bằng Trân, Lưu Ứng Long và cộng sự. Phân tích phản ứng địa chấn không gian của cầu vòm thép liên tục nhịp lớn dưới tác động đồng thời [Tạp chí]. Tạp chí Xây dựng Đường sắt, 2017, 57(11): 38–40.

[38] Tôn Thụ Lễ. Công trình cầu trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2008(6): 1–4.

[39] Cục Đường sắt Quốc gia. Quy phạm thiết kế đường sắt cao tốc: TB 10621-2014 [Tiêu chuẩn]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2015.

[40] Điền Vạn Tuấn, Mã Kiến Lâm. Nghiên cứu phương pháp tính lún móng cọc cầu đường sắt cao tốc tại khu vực đất dính [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2013(4): 55–59.

[41] Cục Đường sắt Quốc gia. Quy định sửa chữa cầu và hầm trên đường sắt cao tốc: Văn bản Thiết kế Tiêu chuẩn số 131 năm 2011 [Tiêu chuẩn]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2011.

[42] Đồ Hạo, Đỗ Hải Nhược, Tu Tuệ. Nghiên cứu vấn đề lún sau khi thi công móng cầu đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Công nghệ Vận hành Đường sắt, 2013, 19(3): 19–21 + 24.

[43] Vương Húc Phương. Yêu cầu thiết kế và công nghệ ứng dụng gối cầu đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Công nghệ Đường sắt Cao tốc, 2011, 2(5): 51–54.

[44] Vương Húc Dương. Nghiên cứu phương án thiết kế cầu vượt tuyến đường sắt Hồ Thành trên tuyến khách chuyên dụng Trịnh Tây [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2016, 60(12): 65–70.

[45] Vương Ngọc Cách. Thiết kế cầu dầm liên tục bê tông dự ứng lực nhịp lớn cho đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Kiến trúc Tứ Xuyên, 2014, 34(1): 133–134.

[46] Văn Vọng Thanh, La Thế Đông. Các công nghệ then chốt trong thiết kế cầu trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Xây dựng Đường sắt, 2009(2): 30–39.

[47] Văn Cường. Nghiên cứu thiết kế cầu liên hợp dầm thép giàn liên tục trên đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2017, 61(10): 85–90.

[48] Tân Học Trung, Trương Ngọc Linh. Nghiên cứu sửa đổi tiêu chuẩn hoạt tải thiết kế cầu đường sắt [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2006(4): 1–4.

[49] Hứa Tam Bình. Thiết kế cầu đường sắt cao tốc dài nhất thế giới Đan Dương - Côn Sơn [Tạp chí]. Tạp chí Công nghệ Đường sắt Cao tốc, 2010(S1): 211–216.

[50] Diên Lực Cường. Nghiên cứu thiết kế cầu liên tục cứng - vòm nhịp lớn trên tuyến đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2016, 60(3): 56–60.

[51] Dương Mộng Thuần. Công nghệ then chốt lắp ghép dầm thép giàn liên tục cầu đường bộ - đường sắt Trịnh Châu qua sông Hoàng Hà [Tạp chí]. Tạp chí Xây dựng Cầu, 2010(3): 1–3.

[52] Dương Nghi Khiêm, Diêu Kinh Xuyên, Mạnh Tân và cộng sự. Nghiên cứu thử nghiệm tính năng động lực cầu đường sắt tốc độ 300–350 km/h [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học Đường sắt Trung Quốc, 2013, 34(3): 14–19.

[53] Diệp Dương Thăng, Ngụy Phong, Hồ Sở Đình và cộng sự. Nghiên cứu công nghệ chế tạo dầm hộp đơn giản 40 m cho đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt Trung Quốc, 2016(10): 5–10.

[54] Dịch Luân Hùng. Nghiên cứu thiết kế cầu vòm thép giàn nhịp lớn cầu Đại Thắng Quan Trường Giang tại Nam Kinh [Tạp chí]. Tạp chí Xây dựng Cầu, 2009(5): 1–5.

[55] Dư Chí Vũ, Hà Hoa Vũ, Tưởng Lệ Trung và cộng sự. Nghiên cứu động lực học và công nghệ then chốt của hệ thống cầu - đường sắt dưới tác động đa động lực trên tuyến đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Xây dựng, 2017, 50(11): 1–9.

[56] Trạch Uyển Minh, Vương Thiếu Lâm. Ảnh hưởng của độ cứng kết cấu cầu lên tính chất động lực hệ thống ghép đoàn tàu - đường ray - cầu trên đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học Đường sắt Trung Quốc, 2012, 33(1): 19–26.

[57] Trương Nam, Hạ Hà. Phân tích phản ứng động lực của cầu đường sắt dưới tác động của đoàn tàu cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Cơ học Kỹ thuật, 2005(3): 144–151.

[58] Trương Song Dương, Triệu Nhân Đạt, Chiếm Ngọc Lâm và cộng sự. Nghiên cứu thử nghiệm mô hình ảnh hưởng của co ngót và biến dạng chậm lên biến dạng cầu vòm bê tông đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt, 2016, 38(12): 102–110.

[59] Trương Vận Ba, Tống Cơ Quân, Trần Vĩ. Nghiên cứu biến dạng chậm và thay đổi độ võng lâu dài của dầm liên tục đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2015, 32(5): 49–53.

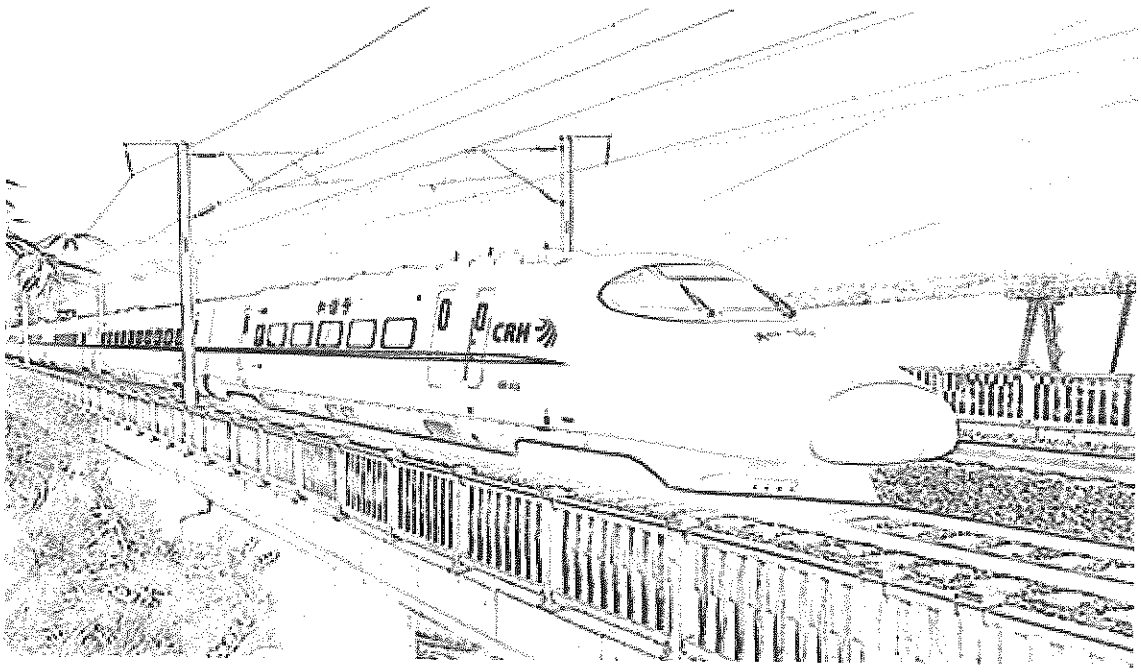
[60] Chương Khai Đông. Thiết kế cầu liên tục cứng nhịp lớn cao trụ trên cầu đặc biệt Mân Giang [Tạp chí]. Tạp chí Đường đô thị và Phòng chống lũ lụt, 2015(6): 60–62 + 10.

[61] Trương Vĩnh Lượng, Dương Thế Kiệt, Trần Hưng Xung. Phân tích phản ứng địa chấn của cầu đường sắt cao tốc dựa trên mô hình tích hợp tuyến đường - cầu [Tạp chí]. Tạp chí Xây dựng Cầu, 2016, 46(4): 23–28.

[62] Triệu Hải Nguyên, Cao Cường. Phân tích khả năng chịu tải thẳng đứng của cọc móng bằng phương pháp truyền biến dạng trượt [Tạp chí]. Tạp chí Công nghệ Địa kỹ thuật, 2007(6): 296–299.

[63] Trịnh Kiện. Các công nghệ then chốt trong xây dựng cầu đường sắt cao tốc tại Trung Quốc [Tạp chí]. Khoa học Kỹ thuật Trung Quốc, 2008, 10(7): 18–27.

[64] Trâu Lực, Ngô Hưng Tự, Bành Thanh Ứng. Nghiên cứu tính lún móng cọc nhóm có gia cố đầu cọc bằng phương pháp bơm vữa trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải [Tạp chí]. Tạp chí Nền đường, 2010(2): 51–53.



PHẦN IV. KỸ THUẬT THI CÔNG ĐƯỜNG HẦM

Cùng với sự phát triển vượt bậc của hệ thống đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, lĩnh vực kỹ thuật thi công đường hầm - một thành phần quan trọng trong hạ tầng đường sắt - đã có những bước tiến mạnh mẽ. Đường hầm cao tốc thường có đặc điểm tiết diện lớn, nhiều hầm dài, rủi ro thi công cao và yêu cầu khắt khe về độ bền, khiến chúng trở thành điểm trọng yếu và thách thức lớn trong việc quản lý tiến độ toàn tuyến.

Khác với đường hầm của hệ thống đường sắt thông thường, đường hầm cao tốc chịu ảnh hưởng lớn từ hiệu ứng khí động học khi tàu di chuyển với tốc độ cao. Hiệu ứng này tác động rõ rệt đến an toàn vận hành, sự thoải mái của hành khách, hiệu suất của tàu và môi trường khu vực cửa hầm. Do đó, việc xây dựng tiêu chuẩn hợp lý về không gian thông thoáng, hình dạng tiết diện và cửa hầm là rất cần thiết nhằm giảm thiểu những tác động của hiệu ứng khí động học. Đồng thời, các tiêu chuẩn về chống đỡ, thoát nước, cứu hộ và độ bền cũng cần được thiết lập phù hợp với điều kiện thực tế và đặc điểm riêng của đường hầm cao tốc tại Trung Quốc.

Các đặc điểm chính của đường hầm cao tốc tại Trung Quốc

(1) Phân bố khu vực và điều kiện địa chất

Trung Quốc có địa hình đa dạng, đường hầm cao tốc phân bố khắp các khu vực như Đông Bắc, Hoa Bắc, Hoa Đông, Trung Nam, Đông Nam ven biển, Tây Nam và Tây Bắc. Mỗi vùng có điều kiện địa chất đặc thù:

- Đông Bắc: Do khí hậu khắc nghiệt, các đường hầm cần giải pháp chống băng giá hiệu quả.

- Tây Bắc: Khu vực có nhiều đất hoàng thổ, cần tập trung giải quyết kỹ thuật thi công cho đường hầm có tiết diện lớn qua đất này.

- Đông Nam ven biển: Địa tầng đá núi lửa bị phong hóa không đều, đòi hỏi các giải pháp thi công đặc thù.

- Trung Nam: Khu vực có nhiều sông ngòi, thường xuyên gặp thách thức khi thi công đường hầm dài xuyên qua các con sông lớn.

- Tây Nam: Nơi có nhiều hang karst, đòi hỏi giải pháp khắc phục tai biến địa chất như bùn, nước bất ngờ tràn vào hầm.

(2) Đặc điểm tiết diện đường hầm

Tiết diện đường hầm cao tốc chủ yếu được quyết định bởi yêu cầu về không gian thông thoáng hiệu dụng. Kích thước tiết diện ảnh hưởng trực tiếp đến tiêu chuẩn thiết bị di chuyển, độ thoải mái của hành khách, yêu cầu cứu hộ và tính kinh tế. Tiêu chuẩn tiết diện của các nước khác nhau như sau:

- Nhật Bản: Đường hầm đôi có tiết diện thông thoáng hiệu dụng 64 m^2.

- Hàn Quốc: Đường hầm đôi có tiết diện 107 m^2.

- Đức: Đường hầm đôi có tiết diện 92 m^2.

- Trung Quốc:

+ Đường hầm đôi với tốc độ thiết kế 350 km/h có tiết diện thông thoáng hiệu dụng 100 m^2.

+ Đường hầm đôi với tốc độ thiết kế 250 km/h có tiết diện thông thoáng hiệu dụng 92 m^2.

(3) Phương pháp thi công và kết cấu chống đỡ

Để đáp ứng yêu cầu an toàn và độ bền cao, các đường hầm cao tốc tại Trung Quốc áp dụng nhiều giải pháp chống đỡ khác nhau, phù hợp với phương pháp thi công:

- Đối với đường hầm thi công bằng phương pháp đào ngầm: sử dụng kết cấu chống đỡ dạng lót kép (composite lining).

- Đối với đường hầm thi công bằng phương pháp đào hở: sử dụng kết cấu bê tông cốt thép dạng hầm lộ thiên.

- Đối với đường hầm thi công bằng phương pháp khiên đào (shield tunneling): sử dụng kết cấu chống đỡ bằng ống bê tông đúc sẵn.

- Phương pháp thi công chủ yếu là phương pháp đào hầm kiểu mỏ (NATM - New Austrian Tunneling Method).

(4) Kết cấu nền đường trong đường hầm

Để giảm thiểu khối lượng bảo trì trong quá trình vận hành, đường hầm cao tốc ở Trung Quốc chủ yếu sử dụng nền đường không có đá ballast (ballastless track), dễ bảo trì hơn so với nền đường có đá ballast.

- Đối với tuyến đường có tốc độ thiết kế 350 km/h, tất cả các đường hầm đều sử dụng nền đường không có đá ballast.

- Đối với tuyến đường có tốc độ thiết kế 250 km/h và đường hầm dài hơn 1 km, thường sử dụng nền đường không có đá ballast.

- Các đường hầm khác có thể sử dụng nền đường có đá ballast tùy vào điều kiện cụ thể.

CHƯƠNG 1. HIỆU ỨNG KHÍ ĐỘNG HỌC TRONG ĐƯỜNG HẦM CAO TỐC

Với sự nâng cao về hiệu suất kỹ thuật của đoàn tàu và sự cải thiện điều kiện vận hành tuyến đường, tốc độ vận hành của tàu không ngừng gia tăng. Việc vận tải đường sắt ngày càng trở nên cao tốc đã trở thành xu hướng tất yếu trong sự phát triển của giao thông vận tải. Tuy nhiên, một loạt các vấn đề liên quan đến hiệu ứng khí động học giữa tàu và đường hầm khi tàu cao tốc ra vào hầm cũng ngày càng thu hút sự quan tâm của mọi người. Nghiên cứu chuyên sâu và giải quyết các vấn đề khí động học tàu-hầm có ý nghĩa quan trọng đối với việc thúc đẩy phát triển kinh tế của đất nước và đảm bảo cung cấp dịch vụ vận tải đường sắt an toàn, nhanh chóng, tiện nghi hơn.

Trong quá trình tàu cao tốc đi vào đường hầm, những vấn đề như dao động áp suất trong khoang tàu và trong hầm, tốc độ gió trong không gian hầm tăng lên, áp suất âm tăng cao, và sóng vi áp suất phát ra tại cửa hầm... được gọi chung là hiệu ứng khí động học tàu-hầm. Các hiệu ứng chính được thể hiện qua những khía cạnh sau:

(1) Sự dao động áp suất tức thời gây khó chịu cho tai của hành khách, làm giảm độ thoải mái khi đi tàu và có thể gây hại cho nhân viên đường sắt cũng như phương tiện.

(2) Khi tàu cao tốc vào hầm, tại cửa ra của hầm sẽ xuất hiện sóng vi áp suất, gây ra tiếng nổ lớn và có thể đe dọa sự an toàn của các công trình tại miệng hầm.

(3) Lực cản khi tàu chạy tăng lên, dẫn đến những yêu cầu đặc biệt về động lực và tổng năng lượng tiêu thụ của tàu.

(4) Tiếng ồn khí động học tỷ lệ thuận với lũy thừa từ 6 đến 8 của tốc độ tàu.

(5) Tiếng ồn này chủ yếu phát sinh tại các thiết bị trên bề mặt tàu và những vị trí đặc biệt của kết cấu tàu, được chia thành hai loại chính: tiếng ồn do luồng khí đi qua bề mặt kết cấu và tiếng ồn do dòng khí rối tạo ra.

(6) Tốc độ gió gia tăng, tạo ra vùng áp suất âm lớn ở phía sau tàu, gây ảnh hưởng đến hoạt động của nhân viên trong hầm và sự an toàn của các tấm đậy rãnh nước.

(7) Lực cản khi tàu chạy tăng lên, làm tích tụ nhiệt lượng trong hầm và khiến nhiệt độ bên trong hầm tăng cao.

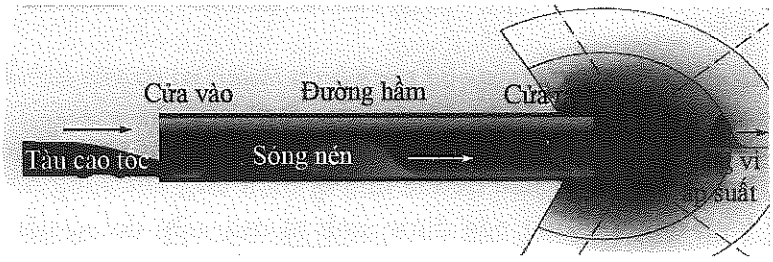
Một số vấn đề nêu trên có thể được giải quyết thông qua việc tối ưu hóa các thông số thiết kế của đường hầm và thay đổi hình thức cửa hầm. Tuy nhiên, có những vấn đề cần được khắc phục bằng cách nâng cao và tối ưu hóa hiệu suất của đoàn tàu.

I. SỰ HÌNH THÀNH SÓNG NÉN VÀ SÓNG VI ÁP SUẤT

Một sự khác biệt rất quan trọng giữa tàu cao tốc ra vào đường hầm và tàu tốc độ thấp đi qua đường hầm chính là sự hình thành của sóng nén và sóng vi áp suất. Khi tàu cao tốc chạy qua đường hầm, quá trình này giống như việc một piston tiến về phía trước trong một ống dẫn. Khi tàu với tốc độ cao đi vào đường hầm, phía trước tàu sẽ hình thành một sóng nén, sóng này sẽ lan truyền dọc theo đường hầm về phía cửa ra. Tại cửa ra của đường hầm, sóng nén sẽ phản xạ ngược lại thành sóng giãn nở, đồng thời một sóng xung áp suất sẽ được phát ra từ cửa hầm và lan tỏa đến khu vực xung quanh, gây ra một vấn đề môi trường mới, đó là ảnh hưởng đến cư dân sống gần khu vực hầm. Sóng xung áp suất này được gọi là sóng vi áp suất.

Áp suất của sóng vi áp suất tỷ lệ thuận với độ dốc áp suất của mặt sóng nén khi nó đến cửa ra của đường hầm.

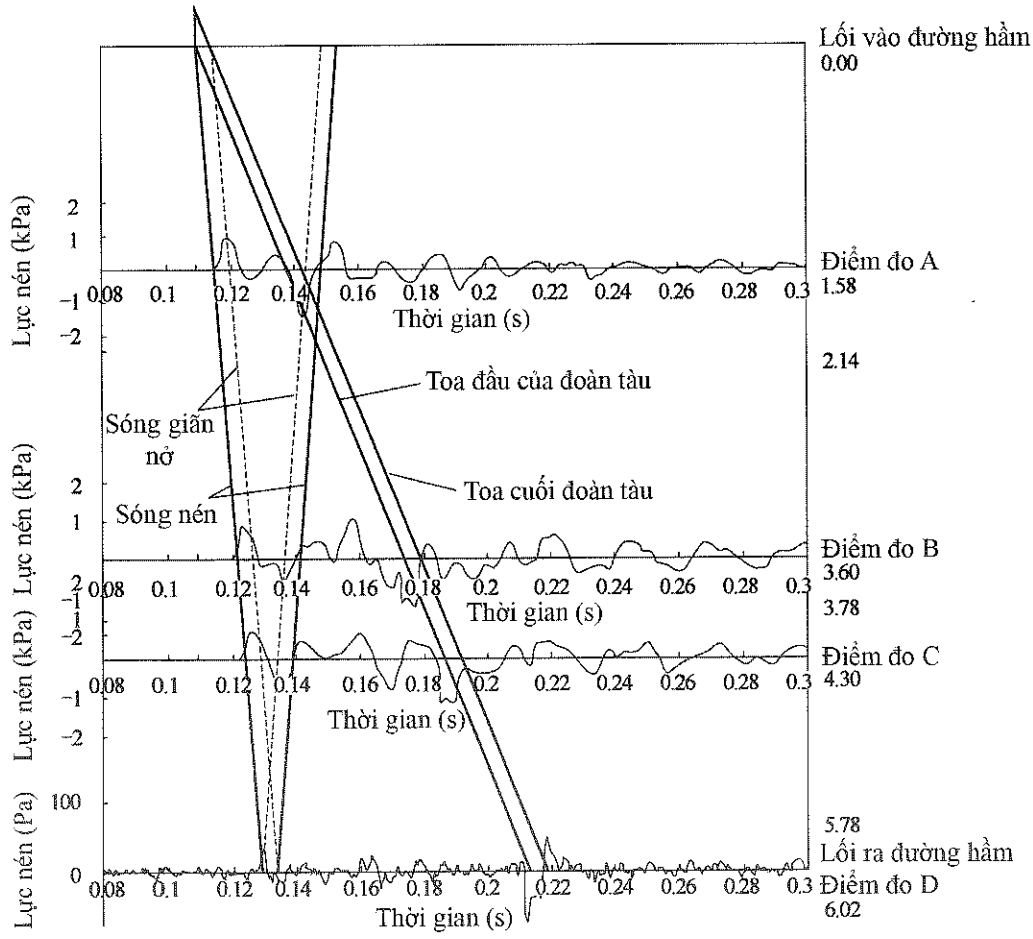
Trong hình 4-1-1, quá trình hình thành sóng nén và sóng vi áp suất trong quá trình tàu vào đường hầm được thể hiện rõ.



Hình 4-1-1: *Cơ chế hình thành sóng nén và sóng vi áp suất*

Quá trình truyền sóng áp suất dao động do tàu ra vào đường hầm diễn ra theo hướng lan truyền qua lại trong hầm. Khi tàu đi vào đường hầm, sóng nén được tạo ra và truyền đến cửa ra của hầm với tốc độ âm thanh. Tại cửa ra, một phần năng lượng của sóng nén được phát ra ngoài đường hầm, hình thành sóng vi áp suất, trong khi phần còn lại được chuyển đổi thành sóng giãn nở, tiếp tục truyền ngược về phía cửa vào của hầm.

Hình 4-1-2 minh họa quy luật hình thành và truyền sóng nén, sóng giãn nở trong quá trình tàu đơn đi qua đường hầm.



Hình 4-1-2: *Đường cong quá trình hình thành và truyền hiệu ứng khí động học tàu-hầm (đường cong kiểm tra thử nghiệm)*

Cả sóng nén và sóng vi áp suất đều là những hiệu ứng khí động học chính do tàu đi qua đường hầm tạo ra. Sóng nén được sinh ra trực tiếp do sự nén ép không khí trong không gian đường hầm khi tàu tiến vào, được gọi là sóng nguyên sinh; trong khi đó, sóng vi áp suất được hình thành khi sóng nén đến cửa ra của hầm, phát ra không gian xung quanh và tiếp tục tạo thành sóng giãn nở truyền ngược về phía cửa vào, do đó được gọi là sóng cảm sinh.

Quá trình hình thành sóng vi áp suất diễn ra qua ba giai đoạn:

1. Tàu vào hầm tạo ra sóng nén;
2. Sóng nén lan truyền trong đường hầm về phía cửa ra;
3. Sóng vi áp suất phát ra ngoài không gian khi sóng nén đến cửa hầm.

• **Trong giai đoạn đầu tiên, độ dốc áp suất cực đại của mặt sóng nén được tính bằng công thức (4-1-1):**

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\mathrm{EN,max}} = \frac{1}{2}\rho\frac{V^3}{\tau d}\frac{1-(1-R)^2}{\left(1-\frac{V}{c}\right)\left[\frac{V}{c}+(1-R)^2\right]} \qquad (4\text{-}1\text{-}1)$$

trong đó:

V - tốc độ của tàu khi vào đường hầm;

R - tỉ số diện tích mặt cắt ngang của tàu với đường hầm;

c - tốc độ âm thanh;

d - đường kính thủy lực của đường hầm;

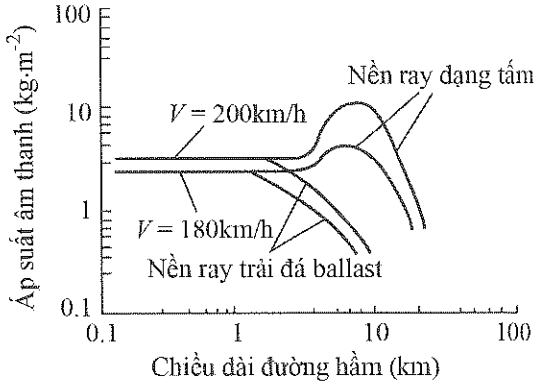
ρ - mật độ không khí;

Tham số EN biểu thị tại cửa vào đường hầm.

• **Giai đoạn thứ hai: Sóng nén truyền trong hầm**

Khi sóng nén truyền từ cửa vào đến cửa ra, do tác động của thành và đáy hầm, cường độ sóng vi áp suất tại cửa ra sẽ bị ảnh hưởng. Nghiên cứu cho thấy việc trải đá ballast trên nền đường ray có thể làm giảm cường độ sóng vi áp suất tại cửa ra, trong khi ở những đường hầm dài được lắp đặt nền ray dạng tấm, sóng nén sẽ trở nên ngày càng dốc hơn do các hiệu ứng phi tuyến như ma sát và hiệu ứng nhiệt, cuối cùng chuyển thành sóng xung kích yếu, làm tăng cường độ của sóng vi áp suất tại cửa ra.

Hình 4-1-3 mô tả mối quan hệ giữa đỉnh sóng vi áp suất tại cửa ra (được đo cách cửa hầm 20 m) với chiều dài đường hầm, khi tàu chạy với hai tốc độ khác nhau: 180 km/h và 200 km/h, trên hai loại nền ray là nền ray dạng tấm và nền ray trải đá ballast.



Hình 4-1-3: *Mối quan hệ giữa chiều dài đường hầm và đỉnh sóng vi áp suất*

Từ hình vẽ có thể thấy rằng:

- Khi sử dụng nền ray dạng tấm, ảnh hưởng của sóng vi áp suất tại cửa ra giảm rõ rệt với các đường hầm có chiều dài dưới 1,5 km và trên 13 km. Ngược lại, ở những đường hầm rất dài (khoảng 18 km), cường độ sóng vi áp suất tại cửa ra giảm đáng kể.

- Khi sử dụng nền ray trải đá ballast, chiều dài đường hầm dưới 1 km không có ảnh hưởng rõ rệt đến sóng vi áp suất. Tuy nhiên, khi chiều dài đường hầm vượt quá 1 km, do hiệu ứng hấp thụ âm thanh của đá ballast, đỉnh sóng vi áp suất tại cửa ra giảm dần theo chiều dài đường hầm, thậm chí có thể nhỏ hơn đỉnh sóng trong các đường hầm ngắn. Do đó, với các đường hầm dài từ 5 km đến 13 km, việc sử dụng nền ray trải đá ballast sẽ giúp giảm đáng kể hiệu ứng vi áp suất tại cửa ra.

• Giai đoạn thứ ba: Hình thành sóng vi áp suất

Ở giai đoạn này, khi sóng nén đến cửa ra, một phần năng lượng của nó được phát ra không gian ngoài đường hầm, tạo thành sóng vi áp suất, trong khi phần còn lại chuyển thành sóng giãn nở, tiếp tục truyền về phía cửa vào.

Yamamoto đã nghiên cứu sóng vi áp suất bằng lý thuyết âm học tuyến tính. Bằng cách áp dụng giả thuyết trường xa và tần số thấp, ông đã đưa ra công thức gần đúng để tính cường độ sóng vi áp suất P(r,t):

$$P(r,t) = \frac{2A}{\Omega cr}\left[\frac{dp}{dt}\right]_{EX} \qquad (4\text{-}1\text{-}2)$$

trong đó:

A - diện tích mặt cắt rỗng của đường hầm (m^2);

Ω - góc khối đại diện cho hình dạng cửa ra;

c - tốc độ âm thanh (m/s);

r - khoảng cách từ điểm đo đến tâm cửa hầm (m);

t - thời gian từ khi sóng đến cửa ra (s);

$\left[\frac{dp}{dt}\right]_{EX}$ - độ dốc áp suất cực đại tại cửa ra (Pa/s).

Công thức (4-1-2) chỉ ra rằng, đỉnh sóng vi áp suất P_{max} tỷ lệ thuận với độ dốc áp suất cực đại của sóng nén tới tại cửa ra $\left[\frac{dp}{dt}\right]_{EX}$ và giảm dần theo tỷ lệ $1/r$ Ozawa đã mở rộng công thức (4-1-2) để áp dụng cho trường gần và dải tần số cao.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU HIỆU ỨNG KHÍ ĐỘNG HỌC TÀU-HẦM

Nghiên cứu khí động học của tàu cao tốc được tiến hành theo 4 phương pháp chính trên thế giới: phân tích lý thuyết, thử nghiệm khí động học trên tàu thực tế, thử nghiệm mô hình (bao gồm thử nghiệm trong hầm gió, hầm nước, mô hình động), và mô phỏng số trường dòng chảy.

Khi phân tích các đặc tính khí động học của tàu ra vào hầm, do ranh giới xung quanh tàu liên tục thay đổi trong quá trình phân tích, nên các phương pháp thử nghiệm như hầm gió và hầm nước không thực sự phù hợp. Vì vậy, nghiên cứu trong lĩnh vực này chủ yếu dựa vào thử nghiệm mô hình động kết hợp với mô phỏng số trường dòng chảy ba chiều và thử nghiệm khí động học trên tàu thực tế.

1. Thử nghiệm mô hình

Phương pháp thử nghiệm tàu cao tốc phổ biến bao gồm: phương pháp hầm nước, phương pháp phóng mô hình, và thiết bị thử nghiệm mô hình tàu nhỏ.

1.1. Phương pháp hầm nước

Phương pháp hầm nước xuất hiện vào giữa thập niên 60 của thế kỷ XX tại Mỹ. Lúc đó, các kỹ sư ở Mỹ đã sử dụng tính tương đồng giữa khí nén và chất lỏng có bề mặt tự do, dùng nước làm chất lưu để nghiên cứu vấn đề tàu cao tốc đi qua hầm. Ưu điểm của phương pháp này là có thể mô phỏng tàu chạy ở tốc độ cao bằng tốc độ rất thấp.

Sau này, nghiên cứu của White và Pope cho thấy nếu giảm bớt hạn chế về độ sâu nước để tăng số Reynolds và sử dụng mô hình tàu lớn hơn, có thể thu được kết quả tốt hơn. Swarden và Wilson đã xây dựng mô hình sử dụng khí làm môi chất, với tỷ lệ mô hình là 1/50 và dùng Freon làm môi chất, đạt được số Mach lên tới 0,36.

Năm 1979, Dayman và Vardy sử dụng mô hình tỷ lệ 1/100 với không khí làm môi chất để nghiên cứu việc thay đổi các thiết bị trong hầm nhằm giảm sự dao động áp suất. Tại Trung Quốc, các nhà nghiên cứu như Gao Pinxian ở Đại học Giao thông Tây Nam đã sử dụng mô hình hầm nước để mô phỏng tàu cao tốc, kết hợp công nghệ giám sát thời gian thực. Mô hình này đã mô phỏng thành công tàu chạy ở tốc độ 500 m/s, thu được kết quả thử nghiệm khá khớp với tính toán lý thuyết.

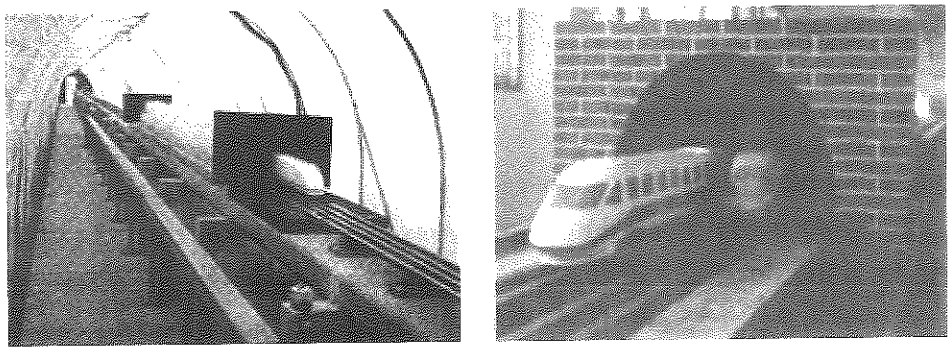
1.2. Thiết bị thử nghiệm mô hình tàu nhỏ

Để đảm bảo tính đáng tin cậy và hiệu quả của mô hình, theo nguyên tắc tương đồng Reynolds, yêu cầu kích thước mô hình không nhỏ hơn 1/36 so với kích thước thực tế. Đồng thời, tốc độ của mô hình phải bằng tốc độ của tàu thực tế. Dựa trên các yêu cầu này, C.W. Pope ở Anh đã xây dựng một thiết bị thử nghiệm mô hình tàu tỷ lệ 1/25, với tốc độ mô hình đạt 55 m/s và khối lượng mô hình là 10 kg (Hình 4-1-4a).

Thiết bị này được sử dụng để mô phỏng quá trình lan truyền sóng áp suất trong hầm ngắn, sự gia tăng áp suất tại cửa vào hầm và ảnh hưởng của các đường hầm giao nhau. Kết quả thử nghiệm cho thấy dữ liệu thu được rất phù hợp với dữ liệu đo thực tế, chứng minh rằng đây là một thiết bị thử nghiệm rất hiệu quả.

So với thử nghiệm thực địa, thiết bị này có chi phí thấp hơn, ít bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết bên ngoài, không bị giới hạn bởi hình dạng hầm và đầu tàu, đồng thời có thể mô phỏng nhiều tình huống phức tạp khác nhau.

Đại học Trung Nam đã phát triển một hệ thống thử nghiệm mô hình động khí động học tàu cao tốc, có khả năng mô phỏng nhiều trạng thái như tàu giao nhau hoặc tàu đi qua hầm (Hình 4-1-4b).



a) Vương quốc Anh *b) Đại học Trung Nam*

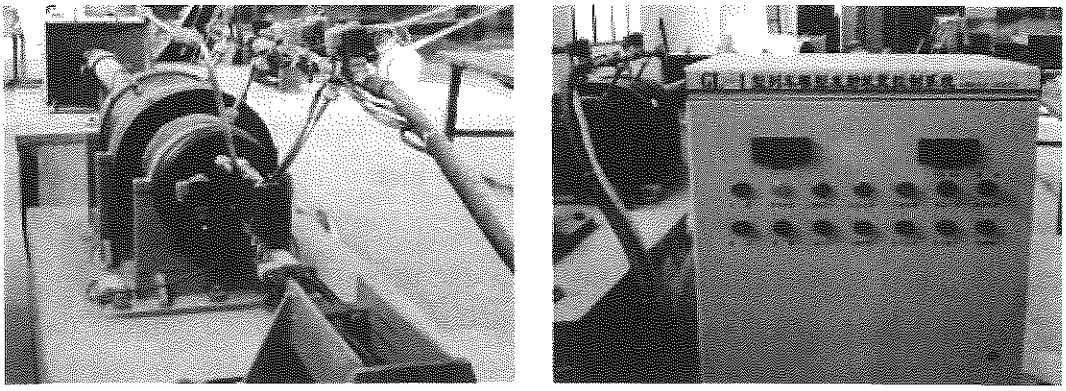
Hình 4-1-4: *Thiết bị thử nghiệm mô hình tàu nhỏ đã được xây dựng*

1.3. Thiết bị thử nghiệm mô hình tàu kiểu phóng

Thiết bị thử nghiệm mô hình tàu kiểu phóng được chia thành hai loại: phóng bằng dây cao su và phóng bằng khí nén. Thiết bị thử nghiệm phóng bằng khí nén có ưu điểm là kích thước nhỏ gọn, dễ vận hành, độ chính xác cao và chi phí thử nghiệm thấp, vì thế được nhiều quốc gia lựa chọn để nghiên cứu tàu cao tốc.

Vào thập niên 70 của thế kỷ 20, các nhà khoa học Nhật Bản như Sazono Akihiro và Ozawa Satoshi đã xây dựng hệ thống thử nghiệm mô hình sử dụng khí nén làm động lực, với tốc độ phóng đạt 100 m/s. Đến năm 2001, Đại học Giao thông Tây Nam hoàn thành hệ thống thử nghiệm mô hình tàu cao tốc, dự án tiêu biểu trong công trình "211" (Hình 4-1-5).

Hệ thống này được sử dụng để phân tích các quy luật hiệu ứng khí động học tàu-hầm và tối ưu hóa các biện pháp giảm hiệu ứng khí động học. Tốc độ phóng của mô hình tàu đạt từ 50 đến 100 m/s, trở thành một trong những thiết bị thử nghiệm quan trọng phục vụ nghiên cứu hiệu ứng khí động học tàu-hầm, góp phần đảm bảo sự phát triển an toàn và bền vững cho hệ thống đường sắt cao tốc của Trung Quốc.



Hình 4-1-5: *Thiết bị thử nghiệm phóng mô hình tàu cao tốc của Đại học Giao thông Tây Nam*

2. Mô phỏng số

Việc nghiên cứu các vấn đề khí động học của tàu cao tốc bằng phương pháp số đã trải qua 3 giai đoạn. Ban đầu, do hạn chế về khả năng tính toán của máy tính, phương pháp đặc tuyến một chiều được sử dụng để nghiên cứu sóng nén sinh ra khi tàu vào đường hầm. Sau đó, nhà nghiên cứu Nhật Bản Iida Masanobu đã đơn giản hóa vấn đề tàu cao tốc và đường hầm thành mô hình đối xứng trục để phân tích và tính toán. Hiện nay, với sự ra đời của các máy tính hiệu năng cao đáp ứng nhu cầu phân tích và tính toán các bài toán dòng chảy lớn, phương pháp mô phỏng ba chiều đã trở thành lựa chọn ưu tiên để nghiên cứu hiệu ứng khí động học tàu-hầm trong các điều kiện khác nhau như kiểu tàu và thiết bị giảm chấn.

2.1. Mô hình một chiều

Khi chiều dài của đường hầm và tàu lớn hơn nhiều so với đường kính thủy lực của đường hầm, dòng chảy sinh ra khi tàu vào đường hầm có thể được coi là dòng chảy xấp xỉ một chiều. Mô hình dòng chảy một chiều có thể đáp ứng yêu cầu cơ bản của các ứng dụng kỹ thuật thực tế.

Trong mô hình dòng chảy không nhớt một chiều mà Yamamoto sử dụng, giả định rằng diện tích mặt cắt của đường hầm và tàu là không đổi, đồng thời bỏ qua các thành phần đối lưu trong phương trình cơ bản. Với giả định này, việc tính toán sai phân trở nên không cần thiết, và có thể thu được các biểu thức giải tích đơn giản.

Woods và các cộng sự đã sử dụng phương pháp đặc tuyến một chiều để tính toán quá trình tàu vào đường hầm. Mô hình giả định đường hầm là ống dẫn có mặt cắt không đổi, nhưng có tính đến các yếu tố phi tuyến như ma sát thành hầm, truyền nhiệt và các tổn thất áp suất ở đầu và cuối tàu dựa trên dữ liệu thực nghiệm.

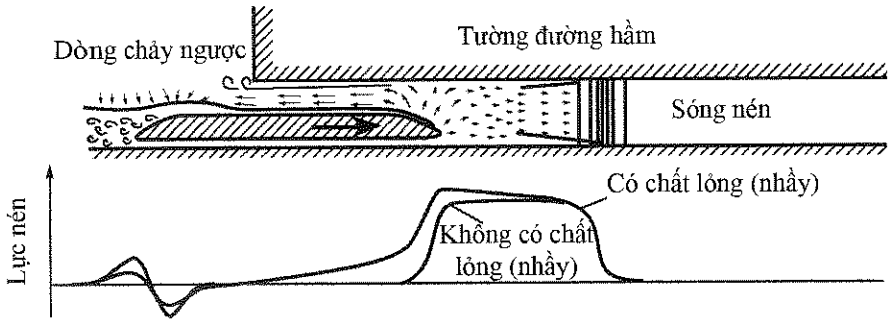
Kage và cộng sự đã tiến hành nghiên cứu sóng nén trong đường hầm bằng cách coi diện tích hiệu dụng, tức là chênh lệch diện tích giữa đường hầm và tàu, là một hàm số của không gian và thời gian, qua đó thiết lập hệ phương trình cơ bản và tránh được việc xử lý biên di động. Tại Đại học Giao thông Tây Nam, các nhà nghiên cứu như Dư Nam Dương và Triệu Hải Hồng đã thực hiện nhiều nghiên cứu cải tiến và lập trình hóa phương pháp này.

Phương pháp số một chiều (phương pháp đặc tuyến) đơn giản và dễ vận hành. Kết quả thử nghiệm cho thấy phương pháp này khả thi khi nghiên cứu các đặc tính khí động học của thân hầm. Tuy nhiên, tại các vị trí cửa vào và cửa ra của hầm, do trạng thái dòng chảy phức tạp và cấu trúc đa dạng, phương pháp một chiều không đáp ứng đầy đủ yêu cầu về độ chính xác.

2.2. Mô hình hai chiều đối xứng trục

Năm 1993, nhà nghiên cứu Nhật Bản Iida Masanobu đã đơn giản hóa vấn đề tàu cao tốc và đường hầm thành mô hình đối xứng trục, sử dụng tọa độ trụ và phương trình Euler để tiến hành mô phỏng số giả ba chiều các vấn đề khí động học khi tàu cao tốc đi qua hầm. Một số kết quả nghiên cứu có giá trị đã được thu thập, như mô tả trong Hình 4-1-6.

Tuy nhiên, do việc đơn giản hóa đối tượng nghiên cứu, chẳng hạn như việc mô hình hóa thành bài toán đối xứng trục và bỏ qua ảnh hưởng của góc tán xạ đến cường độ sóng vi áp suất tại cửa ra, phương pháp này không thể đưa ra kết quả chính xác cho các vấn đề liên quan đến đường hầm đơn với hai đường ray.



Hình 4-1-6: *Kết quả mô phỏng số giả ba chiều đối xứng trục (Nhật Bản)*

2.3. Mô hình ba chiều

Nhà nghiên cứu người Pháp S. Aita và cộng sự đã xây dựng mô hình số ba chiều dựa trên phương trình Euler, coi khí là môi chất không nhớt, để giải quyết các vấn đề khí động học trong đường hầm đơn với hai đường ray mà không có thiết bị giảm chấn. Nghiên cứu này cũng thu được một số kết quả có giá trị tham khảo.

Để mô phỏng chính xác hiệu ứng khí động học tàu-hầm, cần phải giải phương trình Navier-Stokes. Hiện nay, nhiều nhà nghiên cứu đã bắt đầu sử dụng các phần mềm phân tích dòng chảy kết hợp với phát triển phần mềm thứ cấp để tiến hành phân tích ba chiều các vấn đề khí động học tàu-hầm.

3. Thử nghiệm thực địa

Thử nghiệm trên tàu thực tế yêu cầu tuyến đường sắt cao tốc đã được xây dựng và đáp ứng các điều kiện cần thiết để tiến hành thử nghiệm. Ngoài ra, chi phí cho các thử nghiệm thực địa khá cao và điều kiện thử nghiệm bị hạn chế, tuy nhiên, kết quả thu được có độ tin cậy cao hơn.

Hiện nay, cả trong và ngoài nước đã thực hiện nhiều thử nghiệm thực địa về đặc tính khí động học tàu-hầm của tàu cao tốc, thu thập được một lượng lớn dữ liệu thực tế quý giá. Ở nước ngoài, Liên minh Đường sắt Châu Âu đã tiến hành nhiều thử nghiệm thực địa quy mô lớn. Tại Trung Quốc, các thử nghiệm thực địa về hiệu ứng khí động học tàu-hầm ở tốc độ 200 km/h và hiệu quả của các thiết bị giảm chấn đã được tiến hành tại hầm Pháo đài Rừng Thông và hầm Đèo Tre Gai trên tuyến Tùy Ninh - Trùng Khánh. Sau đó, các thử nghiệm thực tế cũng được thực hiện trên các tuyến Thạch Gia Trang - Thái Nguyên và Vũ Hán - Quảng Châu, cung cấp dữ liệu quan trọng cho sự phát triển của hệ thống đường sắt cao tốc Trung Quốc.

III. ẢNH HƯỞNG CỦA HIỆU ỨNG KHÍ ĐỘNG HỌC ĐẾN HÀNH KHÁCH - TIÊU CHUẨN ĐÁNH GIÁ ĐỘ THOẢI MÁI

Những biến đổi đột ngột của áp suất có thể tác động đáng kể đến hành khách, đặc biệt là màng nhĩ. Khi tàu cao tốc di chuyển qua đường hầm, áp suất thay đổi nhanh khiến nhiều hành khách cảm thấy khó chịu. Hiện tượng này trở nên rõ rệt hơn khi tàu vào hoặc ra khỏi hầm, do sự chồng lấn của các sóng áp suất tạo ra ở đầu và cuối tàu. Tác động của các sóng này đến hành khách có thể tích cực hoặc tiêu cực, tùy thuộc vào tốc độ của tàu, hệ số chắn của đường hầm (β) và một số yếu tố khác.

1. Các yếu tố cần cân nhắc khi xây dựng tiêu chuẩn độ thoải mái

Các chỉ số áp suất ảnh hưởng đến độ thoải mái của hành khách bao gồm áp suất tức thời biến đổi và chỉ số kín khí của phương tiện.

1.1. Chỉ số đánh giá độ thoải mái về áp suất - Áp suất tức thời biến đổi

Trong nhiều trường hợp, mặc dù biên độ dao động áp suất lớn, nhưng nếu thời gian tăng áp kéo dài, con người sẽ dần thích nghi với sự thay đổi áp suất bên ngoài và ít bị ảnh hưởng. Ngược lại, nếu biên độ dao động áp suất nhỏ nhưng thời gian tăng áp ngắn, con người phải nhanh chóng thích nghi với sự thay đổi áp suất, điều này có thể gây khó chịu hoặc thậm chí tổn thương cho hành khách.

Hiện tại, có hai phương pháp chính để đánh giá mức độ thoải mái của con người trong môi trường thay đổi áp suất:

- *Phương pháp thứ nhất*: Dựa vào biên độ dao động áp suất và tốc độ thay đổi áp suất.
- *Phương pháp thứ hai*: Đánh giá dựa trên biên độ dao động áp suất trong một khoảng thời gian nhất định. Khoảng thời gian này được xác định dựa trên thời gian mà tai người cần để thích nghi với sự thay đổi áp suất bên ngoài.

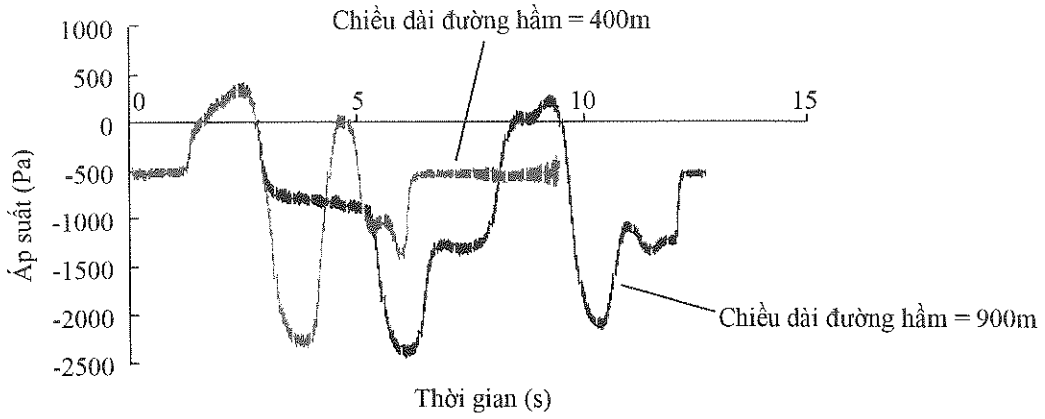
Phương pháp thứ hai không chỉ xem xét biên độ và tốc độ thay đổi áp suất mà còn tính đến yếu tố sinh lý của con người, do đó được sử dụng phổ biến tại nhiều quốc gia.

Biên độ dao động áp suất lớn nhất là chênh lệch giữa áp suất dương lớn nhất và áp suất âm lớn nhất, đơn vị tính là Pa. Áp suất tức thời biến đổi lớn nhất là chênh lệch áp suất lớn nhất trong một khoảng thời gian nhất định, đơn vị là Pa/ns (n là hằng số). Hiện nay, trong các tiêu chuẩn đánh giá độ thoải mái liên quan đến áp suất, khoảng thời gian để tính áp suất tức thời biến đổi thường được chọn là 1 giây, 3 giây hoặc 4 giây.

- *Lý do chọn khoảng thời gian 3 giây hoặc 4 giây*

Nguyên nhân chính để chọn khoảng thời gian 3 giây hoặc 4 giây là do khi áp suất bên ngoài tăng, áp suất trong khoang mũi và họng không thể ngay lập tức truyền đến tai giữa. Điều này gây ra chênh lệch áp suất giữa hai bên màng nhĩ. Trong tình huống này, con người có thể thực hiện các động tác như nuốt, ngáp hoặc bóp mũi và thổi để mở ống tai và cân bằng áp suất giữa hai bên màng nhĩ. Thời gian trung bình để thực hiện các động tác này thường nằm trong khoảng 3 đến 4 giây, do đó, biên độ dao động áp suất trong khoảng thời gian này được chọn làm thông số đặc trưng cho áp suất tức thời biến đổi.

Để minh họa ảnh hưởng của chiều dài đường hầm đến áp suất tức thời biến đổi, dưới đây là đồ thị dao động áp suất của thân tàu khi đi qua hai đường hầm có chiều dài khác nhau, được thể hiện trong hình 4-1-7.



Hình 4-1-7: *Đường cong dao động áp suất thân tàu ở các chiều dài đường hầm khác nhau (v = 300 km/h, tỷ lệ tắc nghẽn = 0,13)*

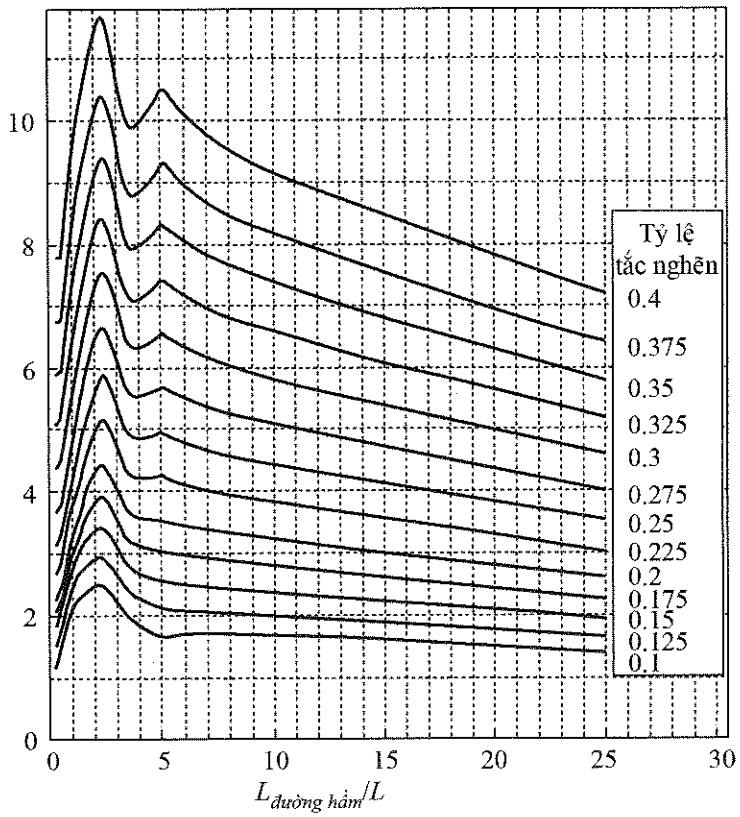
Áp suất đỉnh và áp suất tức thời biến đổi tương ứng của hai đường cong được thể hiện trong Bảng 4-1-1.

Bảng 4-1-1: Bảng so sánh ảnh hưởng của chiều dài đường hầm đến dao động áp suất thân tàu

Tham số trạng thái hoạt động			Áp suất đỉnh (kPa)		Áp suất tức thời đỉnh (kPa)	
Chiều dài đường hầm (m)	Chiều dài tàu (m)	Tốc độ tàu (km/h)	Áp suất dương (kPa)	Áp suất âm (kPa)	Trong 1 giây (kPa)	Trong 3 giây (kPa)
400	100	300	0.38	2.3	2.6	2.8
900			0.38	2.3	1.6	2.7

Có thể nhận thấy rằng, mặc dù đỉnh áp suất của hai điều kiện vận hành gần như tương đương, nhưng khi so sánh áp suất tức thời trong 1 giây, áp suất trên đường cong 1 (chiều dài đường hầm 400 m) lớn hơn đáng kể so với đường cong 2 (chiều dài đường hầm 900 m). Điều này cho thấy mức độ thoải mái về áp suất của hành khách trên đường cong 1 thấp hơn nhiều so với đường cong 2. Ví dụ này minh chứng rõ ràng rằng chiều dài đường hầm có ảnh hưởng lớn đến áp suất tức thời.

Theo tiêu chuẩn UIC (779-11) của Liên minh Đường sắt Quốc tế, đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa chiều dài đường hầm và đỉnh áp suất tức thời được thể hiện trong hình 4-1-8.



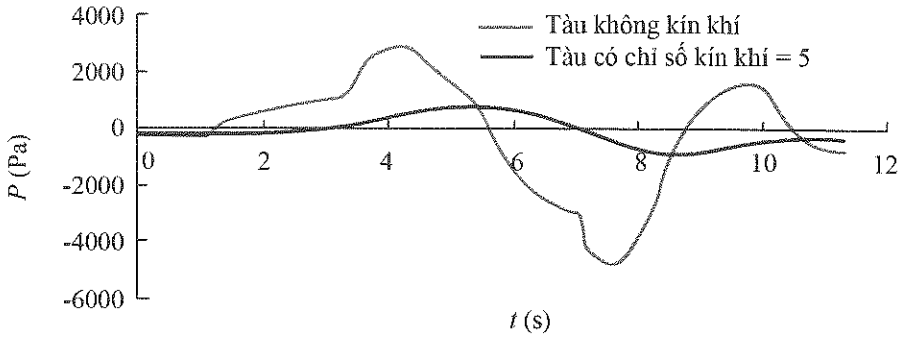
Hình 4-1-8: *Đường cong mối quan hệ giữa đỉnh áp suất tức thời của tàu cao tốc và chiều dài đường hầm - chiều dài tàu, tỷ lệ tắc nghẽn (đường hầm đơn, v = 300 km/h)*

1.2. Chỉ số kín khí

Mức độ kín khí của tàu quyết định tốc độ truyền áp suất từ bên ngoài vào bên trong toa tàu cũng như mức độ dao động áp suất trong toa. Trên nhiều tuyến đường chính, các loại tàu có chỉ số kín khí cao thường được sử dụng. Những loại tàu này tuy có chi phí bảo trì cao và giá vé tương ứng cũng cao hơn, nhưng yêu cầu về tiêu chuẩn thoải mái cũng cao hơn. Ngược lại, các loại tàu có chỉ số kín khí thấp thường được sử dụng trên các tuyến phụ, với chi phí bảo trì và giá vé thấp hơn, vì vậy tiêu chuẩn thoải mái cũng không yêu cầu cao.

Do đó, khi xây dựng tiêu chuẩn về độ thoải mái cho hành khách, cần cân nhắc đến mức độ kín khí của tàu và loại tuyến đường mà tàu hoạt động để đưa ra tiêu chuẩn áp suất phù hợp.

Hình 4-1-9 thể hiện đường cong dao động áp suất trên thân tàu khi hai đoàn tàu đồng thời tiến vào đường hầm với tốc độ 300 km/h, chiều dài đường hầm 978 m, và tỷ lệ tắc nghẽn $\beta = 0,13$.



Hình 4-1-9: Đường cong dao động áp suất thân tàu (v = 300 km/h, β = 0,13)

Có thể thấy rằng, trong hai điều kiện khác nhau - tàu có chỉ số kín khí là 5 giây và tàu không kín khí - sự chênh lệch áp suất trên thân tàu rất rõ rệt. Điều này chứng tỏ rằng việc nâng cao chỉ số kín khí của tàu có hiệu quả rõ rệt trong việc giảm thiểu dao động áp suất bên trong toa tàu.

• ***Phân tích sự ảnh hưởng của đặc tính kín khí đến độ thoải mái của tàu***

Để làm rõ ảnh hưởng của mức độ kín khí đến sự thoải mái của hành khách, ta tiến hành phân tích quy luật truyền áp suất giữa bên trong và bên ngoài toa tàu.

- Trường hợp tàu hoàn toàn không kín khí: Nếu tàu không kín khí, tức là không có sự cản trở trong quá trình trao đổi không khí giữa bên trong và bên ngoài, thì áp suất trong toa tàu sẽ luôn bằng với áp suất bên ngoài.

- Trường hợp tàu hoàn toàn kín khí: Nếu tàu kín khí hoàn toàn, tức là không có sự trao đổi không khí giữa bên trong và bên ngoài, và thân tàu có độ cứng lớn, thì sự thay đổi áp suất bên ngoài sẽ không ảnh hưởng đến áp suất bên trong.

Trong thực tế, hầu hết các loại tàu đều có mức độ kín khí nhất định. Theo thời gian, áp suất giữa bên trong và bên ngoài tàu sẽ dần đạt trạng thái cân bằng. Thời gian cần để áp suất cân bằng phụ thuộc vào mức độ kín khí của tàu.

Để đơn giản hóa, có thể giả định rằng tốc độ thay đổi áp suất bên trong toa tàu tỷ lệ thuận với chênh lệch áp suất giữa bên trong và bên ngoài toa tàu. Dựa trên giả định này, sử dụng mô hình rò rỉ tuyến tính, áp suất bên trong thay đổi theo phương trình:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -C_0\left[P_i(t) - P_e(t)\right] \tag{4-1-3}$$

trong đó:

P_i - áp suất bên trong toa tàu;

P_e - áp suất bên ngoài toa tàu;

C_0 - hằng số liên quan đến mức độ kín khí của toa tàu.

Giả sử P_e = const, và tại $t = 0$, $P_i = 0$ là điều kiện biên. Tích phân phương trình (4-1-3) thu được:

$$P_i = P_e(1 - e^{-C_0 t}) \tag{4-1-4}$$

Từ phương trình (4-1-4) có thể thấy rằng, theo mô hình này, nếu áp suất bên trong toa tàu bằng không (tức là tạo chân không), áp suất bên trong sẽ tăng dần theo quy luật hàm mũ và cuối cùng cân bằng với áp suất bên ngoài. Đây là công thức mô tả sự suy giảm áp suất bên trong được sử dụng rộng rãi trong các tài liệu quốc tế. Trong đó, hằng số $\tau = 1/C_0$ có đơn vị thời gian và được gọi là chỉ số kín khí.

Trên thực tế, mức độ kín khí của tàu thường được kiểm tra thông qua các thử nghiệm nạp khí. Khi tích phân phương trình (4-1-4) với điều kiện biên tại $t = 0$, $P_i - P_e = P_0$, ta có:

$$P_i - P_e = P_0(1 - e^{-\frac{1}{\tau}}) \tag{4-1-5}$$

$$\tau = \frac{t}{\ln \dfrac{(P_i - P_e)_f}{(P_i - P_e)_0}} \tag{4-1-6}$$

trong đó:

t - thời gian rò rỉ áp suất bên trong toa tàu;

$(P_i - P_e)_0$ - chênh lệch áp suất ban đầu giữa bên trong và bên ngoài;

$(P_i - P_e)_f$ - chênh lệch áp suất giữa bên trong và bên ngoài sau khi rò rỉ.

Từ phương trình (4-1-6), có thể dựa vào dữ liệu thử nghiệm để tính toán và phân tích chỉ số kín khí của toa tàu. Giả sử $(P_i - P_e)_f = 0.38(P_i - P_e)_0$, ta thu được $t_{0.38} = 0.97\tau$. Điều này có nghĩa là thời gian cần thiết để chênh lệch áp suất giữa bên trong và bên ngoài giảm xuống 38% so với giá trị ban đầu chính là chỉ số kín khí.

Theo quy định tạm thời năm 2001 của Bộ Đường sắt Trung Quốc, thời gian cần thiết để chênh lệch áp suất trong toa giảm từ 3600 Pa xuống 1350 Pa được định nghĩa là chỉ số kín khí. Có thể dễ dàng chứng minh rằng hai cách định nghĩa này về bản chất là giống nhau.

Các toa tàu không kín khí truyền thống có hằng số thời gian $\tau = 0{,}4 \sim 0{,}8$ giây, trong khi các toa tàu kín khí thế hệ mới có $\tau = 3{,}0 \sim 8{,}0$ giây, cho thấy công nghệ sản xuất và kỹ thuật kín khí của toa tàu hiện đại đã có sự cải tiến đáng kể. Chỉ số kín khí của các loại toa tàu ở nước ngoài được liệt kê trong Bảng 4-1-2.

Bảng 4-1-2: Mức độ kín khí của phương tiện

Loại phương tiện	Chỉ số kín khí	Loại phương tiện	Chỉ số kín khí
Phương tiện không kín khí (ví dụ dùng cho tuyến phụ)	$\tau < 1s$	Kín rất tốt (ví dụ ICE3, Transrapid)	$\tau < 10s$
Mức kín khí tối thiểu (ví dụ Eurocity)	$1s < \tau < 6s$	Hoàn toàn kín khí	$\tau < \infty$
Kín khá tốt (ví dụ ICE1, TGV)	$6s < \tau < 10s$		

2. Tổng hợp tiêu chuẩn độ thoải mái về áp suất trong nước và quốc tế

Hiện nay, nhiều quốc gia trên thế giới đã xây dựng các tiêu chuẩn về độ thoải mái liên quan đến áp suất trong tàu. Thông qua các thí nghiệm thực tế khi tàu chạy và các thí nghiệm mô phỏng áp suất trong toa tàu, nhiều kết luận đã được đưa ra, có thể tóm lược như sau:

(1) Phản ứng của con người đối với cùng một mức thay đổi áp suất có sự khác biệt lớn.

(2) Cùng một người nhưng phản ứng với cùng mức thay đổi áp suất tại các thời điểm khác nhau cũng khác nhau. Điều này cho thấy phản ứng của con người phụ thuộc vào các yếu tố như tình trạng sức khỏe, mức độ mệt mỏi, tâm trạng và môi trường. Tuy nhiên, sự khác biệt này thường nhỏ hơn so với sự khác biệt giữa các cá nhân.

(3) Khi áp suất tăng, con người cảm thấy khó chịu hơn nhiều so với khi áp suất giảm, điều này liên quan đến đặc điểm sinh lý của cấu trúc tai người.

(4) Mức độ khó chịu do áp suất thay đổi nhanh trong toa tàu chủ yếu liên quan đến biên độ dao động áp suất, nhưng yếu tố quan trọng hơn đối với độ thoải mái của con người là tốc độ thay đổi áp suất.

(5) Ngoài đặc điểm áp suất tức thời, tính liên tục hoặc sự lặp lại của dao động áp suất trong thời gian dài cũng rất quan trọng. Trên một hành trình, nếu số lượng đường hầm ít, mức độ khó chịu của hành khách sẽ thấp hơn so với hành trình có nhiều đường hầm. Do đó, các tuyến có nhiều đường hầm cần có tiêu chuẩn giới hạn áp suất khắt khe hơn.

(6) Có bằng chứng cho thấy con người có khả năng ghi nhớ ngắn hạn về áp suất. Trong suốt hành trình, cảm giác khó chịu do áp suất gây ra ở giai đoạn trước có thể nhanh chóng bị thay thế bởi cảm giác áp suất ở các giai đoạn sau.

(7) Đối với tàu kín khí cũng có một số vấn đề cần quan tâm. Mặc dù mức độ thoải mái đã được cải thiện đáng kể, nhưng hành khách cũng trở nên nhạy cảm hơn với những trường hợp áp suất thay đổi đột ngột. Nói cách khác, khi hành khách được cung cấp môi trường thoải mái hơn, họ sẽ có yêu cầu cao hơn đối với bất kỳ điều kiện bất lợi nào xảy ra trong môi trường đó.

Các tiêu chuẩn về độ thoải mái liên quan đến áp suất trong nước và quốc tế được trình bày chi tiết trong Bảng 4-1-3 và Bảng 4-1-4.

Bảng 4-1-3: Giá trị ngưỡng dao động áp suất được áp dụng ở nước ngoài

Quốc gia/Cơ quan	Loại đường sắt	Tuyến đơn/ Tuyến đôi	Giá trị ngưỡng				Tốc độ xe (km/h)	Phương tiện	Ghi chú
			ΔP (kPa)	Tỷ lệ thay đổi (kPa/s)	[p] (kPa/ns)				
			-	-	kPa	ns			
Anh	Đường sắt liên tỉnh	Tuyến đôi	-	-	3.0	3	160 200	Không kín	Trước 1986
			-	-	4.0	4			1986
	Đường hầm biển	Tuyến đơn	-	-	2.0	4	225 ~ 300	Không kín	-
		Tuyến đôi	-	-	3.5	4			
Mỹ	Tàu điện ngầm	-	-	0.41	0.7	1.7	80 ~ 100	Không kín	-
Nhật Bản	Shinkansen	Tuyến đôi	1	0.2	-	-	210, 240, 270	Kín	Bình thường
				0.3 - 0.4					
Ý	FS	-	1.5	0.5	-	-	Cao tốc	Kín	-
Hàn Quốc	-	Tuyến đơn	-	-	0.8	3	Cao tốc	-	-
		Tuyến đôi			1.25	3			
Thụy Sĩ	Rail 2000		-	-	1.5	4	-	-	-
ERRI C218 / RPI	-	Tuyến đơn	-	-	3.0	4	-	Không kín < 0.5	-
		Tuyến đôi			4.5	4			

Trong bảng: P là giá trị lớn nhất của sự thay đổi áp suất; $[p]$ là áp suất tức thời, tức là $\Delta p/\Delta t$.

Dựa trên kinh nghiệm quốc tế, Viện Khoa học Nghiên cứu Tây Nam Đường sắt Trung Quốc đã đề xuất các tiêu chuẩn về độ thoải mái cho đường sắt cao tốc của Trung Quốc.

Bảng 4-1-4: Tiêu chuẩn về độ thoải mái của đường sắt cao tốc Trung Quốc (Đề xuất)

Loại đường sắt		Chiều dài đường hầm (Tỷ lệ trên tuyến)		Mức độ tập trung đường hầm (Số đường hầm/km)	Áp suất tức thời (kPa/3s)
A (Đồng bằng)	Tuyến đơn	< 10%	AND	< 4	2.0
B (Đồng bằng)	Tuyến đôi	< 10%	AND	< 4	3.0
C (Đồi núi)	Tuyến đơn	> 25%	OR	> 4	0.8
D (Đồi núi)	Tuyến đôi	> 25%	OR	> 4	1.25

IV. GIỚI HẠN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Giới hạn đường sắt cao tốc là một trong những tiêu chuẩn cơ bản quan trọng đối với đường sắt cao tốc. Nó liên quan đến việc đảm bảo tàu hỏa vận hành an toàn với tốc độ cao trên tuyến đường sắt, đồng thời liên quan đến an toàn của các công trình và con người xung quanh tuyến đường. Hơn nữa, giới hạn này còn ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí đầu tư xây dựng và hiệu quả vận tải đường sắt.

Các tiêu chuẩn giới hạn đường sắt hiện hành, bao gồm "Giới hạn phương tiện đầu máy đường sắt khổ tiêu chuẩn" (GB 146.1-1983) và "Giới hạn xây dựng đường sắt khổ tiêu chuẩn" (GB 146.2-1983), đã được xây dựng dựa trên các điều kiện cơ bản như tốc độ tối đa của tàu là 140 km/h.

Hiện nay, Trung Quốc đang dự kiến xây dựng các tuyến đường sắt cao tốc với tốc độ 250 km/h. Các điều kiện kỹ thuật chính của các công trình cố định như tuyến đường, cầu và hầm sẽ được thiết kế theo tiêu chuẩn của tuyến chuyên chở hành khách cao tốc với tốc độ dự trữ lên đến 350 km/h.

1. Đặc điểm của giới hạn đường sắt cao tốc Trung Quốc

Giới hạn đường sắt cao tốc bao gồm ba thành phần chính: giới hạn đầu máy toa xe, giới hạn xây dựng cơ bản, và giới hạn xây dựng hầm đường sắt.

(1) Giới hạn đầu máy toa xe

- Đường sắt cao tốc Trung Quốc cần có một xuất phát điểm cao và mang những nét đặc trưng riêng biệt. Do đó, các tiêu chuẩn giới hạn phải phù hợp với thực tế trong nước.

- Tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải dài 1320 km, tốc độ tối đa hiện tại là 250 km/h và sẽ được nâng lên 350 km/h trong tương lai.

- Do điều kiện thực tế và nhu cầu vận tải, trên tuyến đường sắt cao tốc vẫn sẽ vận hành các đoàn tàu khách trung và thấp tốc từ các tuyến đường sắt hiện hữu, dẫn đến mô hình khai thác kết hợp giữa tàu cao tốc và tàu trung tốc là điều tất yếu trong một thời gian dài.

+ Vì lý do này, giới hạn đầu máy toa xe cho đường sắt cao tốc phải bằng hoặc lớn hơn giới hạn hiện hành.

+ Các đoàn tàu trung và thấp tốc chạy vào đoạn đường sắt cao tốc phải tuân thủ các tiêu chuẩn thiết kế về kết cấu bền vững, tính kín khí, đồng thời giải quyết các vấn đề liên quan đến khí động học do các tàu cao tốc chạy trên tuyến gây ra. Ngoài ra, cần nghiên cứu và xây dựng giới hạn động lực học của toa xe từ góc nhìn động lực học phương tiện.

(2) Giới hạn xây dựng cơ bản

- Khi xác định giới hạn xây dựng, cần quan tâm đến các vấn đề khí động học như dao động áp suất, áp suất tức thời, và sức cản không khí mà tàu cao tốc gây ra.

- Việc lựa chọn cấu trúc lớp lót hầm phù hợp với các loại tải trọng khác nhau và áp dụng công nghệ xây dựng tiên tiến là yếu tố quan trọng để xác định giới hạn xây dựng hầm đường sắt.

- Đồng thời, cần chú ý đến việc bố trí các thiết bị trong hệ thống bảo đảm vận hành hầm, bao gồm:

+ Hệ thống phòng chống thiên tai;

+ Các thiết bị cống, máng và đường ống;

+ Độ cao của lưới điện tiếp xúc trong hệ thống cung cấp điện kéo;

+ Cách bố trí các điểm neo khi điện khí hóa.

- Để giảm sức cản không khí trong hầm, ngoài việc tối ưu hóa cấu trúc lớp lót và tăng độ nhẵn bề mặt bên trong, cần lựa chọn hợp lý loại đáy đường ray, cách bố trí các cống và máng, qua đó giảm sức cản và xác định kích thước giới hạn đáy hầm một cách phù hợp.

(3) Tiêu chuẩn giới hạn khi tiếp thu công nghệ nước ngoài

- Trong quá trình tiếp thu công nghệ tiên tiến từ các nước khác và xây dựng tiêu chuẩn giới hạn cho đường sắt cao tốc, cần xem xét đồng thời chi phí xây dựng, giá thành thiết bị, và hiệu quả kinh tế của dự án.

- Mục tiêu là đảm bảo rằng tiêu chuẩn giới hạn của đường sắt cao tốc phải đáp ứng các yêu cầu:

+ Tiên tiến về mặt kỹ thuật;

+ An toàn và phù hợp với thực tế vận hành;

+ Hiệu quả về chi phí và kinh tế.

2. Nghiên cứu giới hạn đầu máy toa xe từ quan điểm động lực học phương tiện

Giới hạn đầu máy toa xe hiện hành đã tính đến các yếu tố như dung sai trong sản xuất, sai lệch tĩnh do hao mòn và biến dạng lò xo. Tuy nhiên, chưa tính đến sự dịch chuyển động khi tàu chạy ở tốc độ cao, và các dịch chuyển này đều được quy về hệ số an toàn trong giới hạn xây dựng, dẫn đến giới hạn xây dựng bị mở rộng quá mức.

(1) Kết hợp phân tích động và tĩnh khi xây dựng giới hạn đầu máy toa xe

- Giới hạn đầu máy toa xe đường sắt cao tốc cần được xây dựng dựa trên đường bao động của toa xe. Ngoài việc tính đến các yếu tố tĩnh, cần xem xét thêm các yếu tố dịch chuyển do rung động, lắc ngang, nghiêng khi tàu chạy ở tốc độ cao, và các yếu tố này phải được kết hợp trong điều kiện bất lợi nhất để tạo thành đường bao giới hạn.

- Theo dữ liệu thử nghiệm của tàu khách cao tốc Quảng Châu - Thâm Quyến:

+ Theo tiêu chuẩn hiện hành "Giới hạn đầu máy toa xe đường sắt khổ tiêu chuẩn" (GB 146.1-1983), độ võng động của lò xo cấp 1 (giữa bánh xe và khung xe) là 10 mm. Tuy nhiên, khi tàu chạy với tốc độ 170 km/h, độ võng động lớn nhất đo được trên đoạn đường thẳng là từ 11,33 mm đến 28,57 mm và khi qua đoạn đường cong có bán kính từ 1400 m đến 1600 m, độ võng động đo được là 18,13 mm đến 36,40 mm.

+ Giới hạn hiện hành quy định độ võng động của lò xo cấp 2 (giữa khung xe và thân toa) là 20 mm, nhưng khi tàu chạy với tốc độ 170 km/h, độ võng động đo được lên tới 26,14 mm trên đoạn đường thẳng và 37,61 mm trên đoạn đường cong có bán kính từ 1400 m đến 1600 m, vượt xa giới hạn quy định là 20 mm. Khi tốc độ tàu tăng lên trên 250 km/h, rõ ràng độ võng động ở phần dưới của đầu máy toa xe sẽ tăng lên đáng kể.

- Giới hạn đầu máy toa xe hiện tại chỉ phù hợp với tàu trung và thấp tốc độ dưới 140 km/h. Qua nhiều năm sử dụng, một số vấn đề đã được phát hiện:

+ Phần vai trên của giới hạn quá hẹp.

+ Phần an toàn ở đỉnh và xung quanh không được phân bố đều, hạn chế phạm vi hoạt động của bộ thu điện trên đầu máy điện.

+ Phần dưới của giới hạn bị hạn chế do các công trình như sân ga, nhà ga, khi khoảng cách từ mặt ray lên đến 350 - 1250 mm chỉ cho phép giới hạn rộng 2 × 1600 mm, điều này làm hạn chế khả năng thiết kế toa xe với chiều rộng tối đa là 2 × 1700 mm.

- Giới hạn đầu máy toa xe của Trung Quốc lớn hơn so với các nước như Nhật Bản, Pháp, Đức, nhưng do những vấn đề trên nên khó áp dụng cho đường sắt cao tốc.

Theo nguyên lý động lực học phương tiện, khi tàu chạy ở tốc độ cao sẽ phát sinh rung động, bao gồm:

- Rung động tự do;

- Rung động cưỡng bức ổn định theo chu kỳ;

- Rung động ngẫu nhiên do sự không đều của đường ray kích thích.

Các loại rung động tổng hợp này thay đổi tùy thuộc vào kết cấu đường ray, kết cấu toa xe và tốc độ chạy tàu. Khi xây dựng giới hạn động của đầu máy toa xe, cần dựa vào điều kiện kỹ thuật của phương tiện và tuyến đường, kết hợp với trạng thái rung động và lực tác động bất lợi nhất để tính toán. Bằng cách tổng hợp các dạng rung động chính và kết hợp chúng theo dạng rung động có biên độ lớn nhất, từ đó xây dựng đường bao giới hạn động cho đầu máy toa xe.

(2) Kết hợp nhiều phương pháp nghiên cứu để xây dựng giới hạn động phù hợp với điều kiện Trung Quốc

- Hiện nay, hầu hết các quốc gia có đường sắt cao tốc đều sử dụng phần mềm mô phỏng động lực học tổng hợp của hệ thống đầu máy toa xe trên máy tính để nghiên cứu các thông số kỹ thuật trong sản xuất và vận hành, cũng như đánh giá hiệu suất và độ tin cậy của các thiết bị, bộ phận trên toa xe. Một số quốc gia cũng áp dụng phương pháp xây dựng giới hạn tĩnh và thêm hệ số an toàn để hình thành giới hạn động của phương tiện.

- Tuy nhiên, việc phát triển phần mềm mô phỏng tổng hợp động lực học ở Trung Quốc vẫn còn nhiều hạn chế và cần được nghiên cứu sâu hơn.

- Chiều rộng của thân toa xe khách đường sắt tại Trung Quốc dao động từ 3004 mm đến 3106 mm. Đối với tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, tài liệu khuyến nghị chiều rộng toa xe là 3104 mm, với chiều cao từ 4050 mm đến 4433 mm tính từ mặt ray. Trong khi đó, ở các quốc gia khác:

+ Tàu cao tốc tại Nhật Bản có chiều rộng thân toa lớn nhất là 3380 mm.

+ Tàu tại Anh có chiều rộng nhỏ nhất là 2730 mm.

- Trước khi nghiên cứu giới hạn đầu máy toa xe, cần dựa trên trình độ kỹ thuật sản xuất phương tiện trong nước, khả năng nhập khẩu và đồng bộ công nghệ để xác định tiêu chuẩn kỹ thuật, lựa chọn loại phương tiện tiêu chuẩn, từ đó xây dựng giới hạn hợp lý cho đầu máy toa xe.

Do có nhiều phương pháp khác nhau trong việc xây dựng đường bao động của đầu máy toa xe, dẫn đến sự khác biệt trong cách tính toán dịch chuyển do rung động. Vì vậy, cần thiết phải tổ chức các cuộc nghiên cứu chuyên sâu với sự kết hợp giữa đo đạc thực tế tại hiện trường, thí nghiệm mô phỏng và mô phỏng số để xây dựng giới hạn động phù hợp với điều kiện thực tế của Trung Quốc.

3. Nghiên cứu giới hạn kiến trúc đường sắt từ quan điểm khí động học

Tiêu chuẩn giới hạn kiến trúc đường sắt hiện hành được xác định dựa trên giới hạn của đầu máy toa xe (trạng thái tĩnh), sau đó thêm vào các hệ số an toàn bằng cách tăng dư lượng bảo đảm. Trong trường hợp tàu chạy ở tốc độ cao, khái niệm về dư lượng an toàn này có sự khác biệt so với khi tàu chạy ở tốc độ trung bình hoặc thấp. Các yếu tố như đường ray, cầu, và đặc biệt là trong hầm, hàng loạt vấn đề phát sinh do hiệu ứng khí động học trở thành yếu tố kiểm soát để xây dựng giới hạn kiến trúc. Những yếu tố chính bao gồm khoảng cách an toàn cho hành khách và nhân viên vận hành, khoảng cách giữa các đường ray, tốc độ gió ngang tối đa cho phép, ảnh hưởng của trường áp suất không khí biến đổi tức thời trong hầm, luồng gió tàu, và tỷ lệ chắn hầm.

Khi tàu đi vào hầm, điều kiện khí động học thay đổi hoàn toàn so với bên ngoài. Tàu cao tốc giống như một piston lớn, khiến không khí bị nén mạnh trong không gian một chiều, tạo ra sự biến đổi áp suất lớn, nhanh chóng lan truyền đến phía trước tàu và vào bên trong toa xe, gây cảm giác khó chịu cho tai hành khách. Khi hai đoàn tàu chạy ngược chiều gặp nhau trong hầm đôi, dao động áp suất càng tăng mạnh hơn.

Theo dữ liệu thử nghiệm liên quan đến đường sắt cao tốc của Pháp, khi đầu tàu chạy với tốc độ 350 km/h, tại vị trí cách bề mặt toa xe 2 mét, lực hút của luồng khí đo được trong mô phỏng là 100 N; khi đuôi tàu chạy qua, tại vị trí cách toa xe 2,4 mét, lực hút do hiệu ứng xoáy tăng lên khoảng 150 N. Tốc độ tàu càng cao thì sự thay đổi áp suất tức thời càng lớn. Theo tài liệu của Đức, khi hai đoàn tàu khách chạy với tốc độ 300 km/h gặp nhau, vận tốc tương đối đạt 600 km/h, khoảng cách giữa hai đường ray là 5 m, sự dao động áp suất nằm trong khoảng 4,5 - 5,5 kPa và khi trong hầm, mức dao động này tăng lên gấp đôi. Nếu không có biện pháp kiểm soát,

áp suất tức thời quá lớn có thể làm tổn thương màng nhĩ của hành khách, gây ra hiện tượng quá tải hoặc mỏi cho tấm chắn của toa xe, dẫn đến hư hỏng kết cấu và nguy hiểm cho các công trình cũng như người ở gần đó.

Theo phân tích và dự báo của các cơ quan liên quan, tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải sẽ vận hành hỗn hợp giữa tàu tốc độ cao và trung bình. Khi tính toán cường độ sóng áp suất lúc hai tàu có tốc độ cao 250 km/h và trung bình 160 km/h gặp nhau, dù cả hai đoàn tàu đều có thiết kế khí động học lý tưởng, dao động áp suất vẫn đạt trên 2,8 kPa. Do đó, bên cạnh việc nghiên cứu khoảng cách giữa các đường ray, cần phải tăng cường độ bền tổng thể của kết cấu toa xe, tăng khả năng kín khí của toa, giảm tối đa lực cản của tàu, và tối ưu hóa thiết kế khí động học của đầu và đuôi tàu để kiểm soát dao động áp suất bên trong toa xe trong khoảng 0,5 - 1 kPa. Các cơ quan liên quan đề xuất rằng độ bền bề mặt toa xe của tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải nên được thiết kế theo tiêu chuẩn ±6 kPa để bảo đảm an toàn kết cấu của tàu và sự thoải mái cho hành khách trong toa.

Các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ biến đổi áp suất chủ yếu gồm năm yếu tố:

1. Tốc độ của đoàn tàu.
2. Khoảng cách giữa các đường ray.
3. Hình dạng của đầu và đuôi tàu.
4. Kích thước và hình dạng mặt cắt ngang của hầm.
5. Tỷ lệ giữa chiều dài của hầm và chiều dài đoàn tàu.

Các quốc gia khác nhau áp dụng những tiêu chuẩn khác nhau cho biến đổi áp suất. Đường sắt Pháp lấy tiêu chí "độ thoải mái của màng nhĩ" làm chuẩn, tức khi tốc độ biến đổi không vượt quá 500 Pa/s, hành khách cảm thấy dễ chịu, và tiêu chuẩn này được dùng để xác định khoảng cách giữa các đường ray và diện tích mặt cắt ngang của hầm. Đường sắt Anh áp dụng tiêu chuẩn "độ thoải mái thính giác", quy định rằng trong vòng 4 giây, mức thay đổi áp suất bên trong toa không được vượt quá 4 kPa. Tiêu chuẩn về "độ thoải mái" của Mỹ quy định rằng trong 3 giây, mức thay đổi không được vượt quá 1242 Pa. Tại Trung Quốc, hiện vẫn chưa có tiêu chuẩn thống nhất cho biến đổi áp suất trên đường sắt cao tốc, tuy nhiên Viện Khoa học Đường sắt Trung Quốc - chi nhánh Tây Nam đã đề xuất giới hạn mức thay đổi không vượt quá 3 kPa trong 3 giây.

Khi tàu cao tốc di chuyển trên đường ray, luồng khí xung quanh bị cuốn theo tạo thành trường áp suất mạnh. Ở Tây Âu, hiện tượng này được gọi là "dòng trượt" hoặc "dòng bao quanh", còn ở Nhật Bản gọi là "gió tàu". Theo tài liệu nước ngoài, khi cách đường ray một khoảng nhất định, ứng suất do dòng trượt tạo ra sẽ giảm dần, và thông thường ở vị trí cách đường ray hơn 3 m, giá trị ứng suất tối đa không còn tăng thêm khi tốc độ tàu tăng.

Tuy nhiên, trong hầm, tình hình khác hẳn. Ngoài hiệu ứng đòng trượt, do không gian hẹp của hầm kết hợp với "hiệu ứng piston" của đoàn tàu, sự biến đổi áp suất do dòng trượt vẫn tiếp diễn trong một thời gian dài sau khi tàu đã đi qua, tạo ra trường khí hỗn loạn đáng kể. Trường khí này không chỉ ảnh hưởng đến các thông số an toàn khi thiết lập giới hạn kiến trúc mà còn là một yếu tố quan trọng trong thiết kế hệ thống thông gió khi vận hành.

Tàu cao tốc khi vào hầm còn tạo ra hiệu ứng sóng vi áp suất tại lối ra của hầm, gây biến đổi áp suất không khí và phát sinh tiếng ồn, ảnh hưởng đến an toàn của các công trình ở cửa hầm. Vấn đề này đã được đề cập trong nhiều tài liệu và cần được xem xét khi xác định giới hạn kiến trúc. Tại các vị trí có sự thay đổi diện tích mặt cắt ngang của hầm, chẳng hạn như khu vực mở rộng để lắp đặt các thiết bị điện hóa, trường khí kết hợp tạo ra sẽ ảnh hưởng lớn đến thiết bị và các vật treo bên trong hầm (chẳng hạn như hệ thống tiếp xúc mạng). Vì vậy, cần áp dụng các biện pháp an toàn về kết cấu, giảm thiểu hoặc tránh đặt các thiết bị trong hầm tại các khu vực mở rộng nhằm giảm lực cản không khí và sự biến đổi của trường khí.

Để giải quyết vấn đề sóng vi áp suất, Nhật Bản đã xây dựng các kết cấu giảm áp tại cửa hầm, trong khi Ý, khi xây dựng đường sắt cao tốc vào năm 1970, đã bổ sung các đoạn hầm thoáng có lỗ tại cửa hầm do diện tích mặt cắt ngang của hầm khá nhỏ (53,5 m^2 cho hầm đôi). Ngoài ra, việc xây dựng các đoạn hầm ngang giữa hai hầm đơn hoặc mở rộng diện tích mặt cắt ngang hầm cũng là những biện pháp hiệu quả để giảm thiểu các vấn đề phát sinh từ hiệu ứng khí động học.

*** Các phương pháp chính để giải quyết vấn đề khí động học khi nghiên cứu giới hạn kiến trúc hiện nay trên thế giới gồm hai hướng tiếp cận:**

1. ***Phương pháp của Nhật Bản*** (đại diện là tuyến tàu Shinkansen), chủ yếu giải quyết bằng cách xây dựng kết cấu giảm áp tại cửa hầm, mở rộng diện tích mặt cắt ngang của cửa hầm và tăng cường khả năng kín khí của toa tàu.

2. ***Phương pháp của Đức*** (đại diện là tuyến NBS), chủ yếu bằng cách mở rộng diện tích mặt cắt ngang của hầm và tăng khoảng cách giữa các đường ray. Trong hầm, việc giảm tỷ lệ chắn hầm (diện tích mặt cắt ngang của tàu/diện tích mặt cắt ngang của hầm) cho hiệu quả đáng kể. Theo dữ liệu thử nghiệm của Đức và Pháp, khi tỷ lệ chắn hầm dưới 0,15, các vấn đề do hiệu ứng khí động học gây ra khi tàu cao tốc chạy trong hầm cơ bản được giải quyết. Tuy nhiên, việc mở rộng diện tích mặt cắt ngang của hầm sẽ làm tăng đáng kể chi phí xây dựng. Vì vậy, việc xác định khoảng cách giữa các đường ray và tỷ lệ chắn hầm phù hợp với điều kiện của Trung Quốc là một vấn đề quan trọng trong nghiên cứu giới hạn kiến trúc.

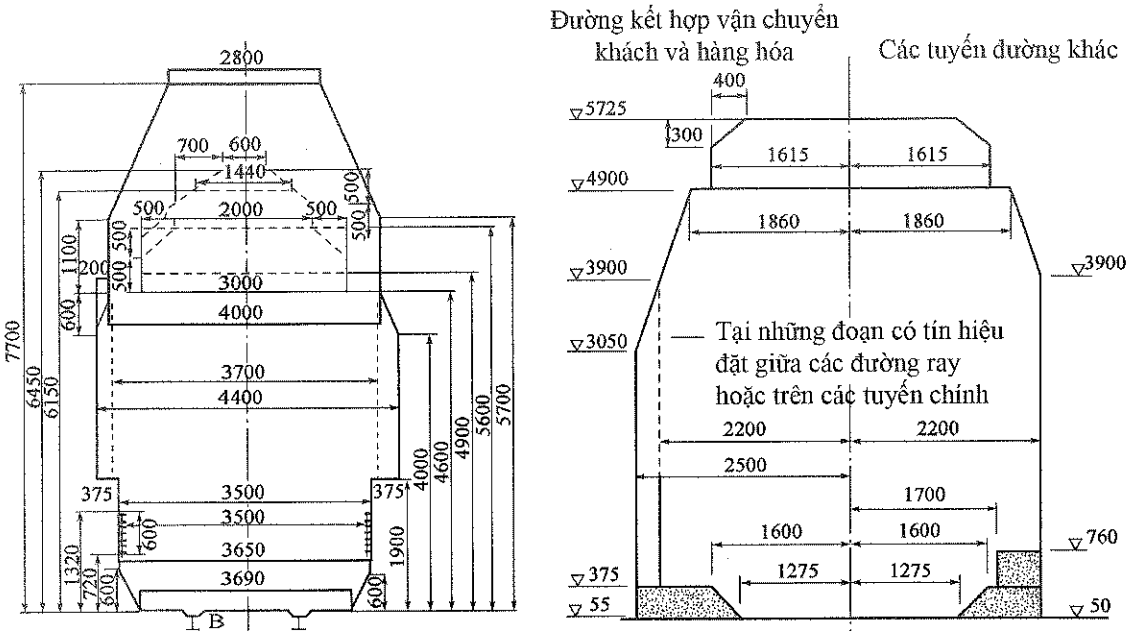
Dưới đây là giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc của Nhật Bản và Đức dùng để tham khảo:

- Giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc Nhật Bản (xem Hình 4-1-10a)

Tuyến tàu Shinkansen chủ yếu phục vụ vận tải hành khách, với tốc độ tối đa từ 250 đến 270 km/h và chiều rộng toa xe lớn nhất là 3380 mm. Giới hạn kiến trúc (bao gồm hầm, cầu, cầu vượt và mái che sân ga) có chiều cao tối đa là 6450 mm, chủ yếu để đáp ứng yêu cầu về chiều cao dây tiếp xúc, chiều cao kết cấu, chiều cao của các bộ phận hỗ trợ và khoảng cách cách điện giữa dây chịu lực với mặt đất. Chiều rộng tối đa là 4400 mm, để bảo đảm có đủ khoảng trống an toàn khi tính đến giới hạn của đầu máy toa xe và độ lệch ngang tối đa của phương tiện. Ngoài ra, giới hạn kiến trúc của sân ga, nơi có hoặc không có tàu chạy qua, có chiều rộng lần lượt là 1800 mm và 1760 mm, trong đó việc mở rộng giới hạn kiến trúc trên đoạn cong chỉ tính đến yếu tố độ lệch hình học của thân tàu.

- Giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc Đức (xem Hình 4-1-10b)

Đường sắt cao tốc Đức kết hợp vận chuyển hành khách và hàng hóa, với tốc độ tối đa của tàu khách đạt 250 km/h và tàu hàng là 120 km/h. Chiều rộng toa xe dao động từ 2,9 m đến 3,0 m.



a) Khổ giới hạn kiến trúc đường sắt Shinkansen của Nhật Bản

b) Khổ giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc ở Đức

***Hình 4-1-10:** Khổ giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc Nhật Bản và Đức (Đơn vị kích thước: mm)*

Chiều cao giới hạn kiến trúc của đường sắt cao tốc Đức được quy định ở mức 5725 mm, chủ yếu dành cho không gian lắp đặt dây tiếp xúc. Trong các hầm đơn hoặc hầm đôi mới xây dựng, phạm vi lắp đặt hệ thống treo dây tiếp xúc có các tiêu chuẩn riêng biệt.

Tại những đoạn có tín hiệu đặt giữa các đường ray hoặc trên các tuyến chính, giới hạn kiến trúc phía trong đường ray có nửa chiều rộng là 2200 mm. Ở phía ngoài đường ray, để tăng cường an toàn, giới hạn kiến trúc được bổ sung thêm một khoảng không gian phụ, nâng nửa chiều rộng lên 2500 mm. Trên các tuyến khác, chiều rộng tối đa của giới hạn kiến trúc được xác định là 4400 mm.

Việc mở rộng giới hạn kiến trúc theo độ lệch hình học chỉ áp dụng khi bán kính của đoạn cong nhỏ hơn 250 m. Đối với độ nghiêng của toa xe do siêu cao, độ mở rộng tương ứng sẽ được lập thành bảng tra cứu, trong đó thể hiện rõ các khoảng cách ngang và dọc từ các góc của giới hạn kiến trúc theo từng giá trị siêu cao cụ thể.

Qua so sánh sơ bộ các kích thước giới hạn kiến trúc đường sắt hiện hành của Trung Quốc với giới hạn kiến trúc của tuyến Shinkansen tại Nhật Bản và tuyến mới của đường sắt cao tốc Đức, có thể thấy rằng chiều cao giới hạn kiến trúc của đường sắt điện khí hóa chủ yếu phụ thuộc vào phương pháp treo dây tiếp xúc, chiều cao kết cấu, chiều cao dây dẫn, khoảng cách cách điện với mặt đất, cũng như kích thước mặt cắt ngang của các hầm và cầu. Trong khi đó, chiều rộng giới hạn kiến trúc chủ yếu được xác định dựa trên chiều rộng giới hạn của đầu máy và toa xe, độ lệch ngang do rung động khi tàu chạy, tình trạng đường ray, và các hệ số an toàn bổ sung.

4. Một số vấn đề trong nghiên cứu giới hạn kiến trúc của hầm đường sắt

(1) Tỷ lệ chắn tối ưu là điểm kết hợp giữa mặt cắt ngang nhỏ nhất của hầm và chi phí xây dựng hầm thấp nhất để giải quyết các vấn đề về hiệu ứng khí động học. Dựa trên cơ sở đó, giới hạn kiến trúc được xây dựng sẽ đạt mức hợp lý nhất

Lấy ví dụ về hầm đôi, mặt cắt ngang hầm của tuyến đường sắt cao tốc mới ở Đức khá lớn (82 m^2 cho thành thẳng, 94 m^2 cho thành cong), tiếp theo là Pháp (71 m^2), Nhật Bản với tuyến Shinkansen có diện tích mặt cắt ngang từ 60,5 đến 63,4 m^2, và nhỏ nhất là Ý với diện tích 53,8 m^2.

Theo tiêu chuẩn bản vẽ hiện hành về hầm đôi của đường sắt điện khí hóa ở Trung Quốc (Đường hầm đặc biệt [93] 0030), đối với loại hầm có lớp phủ kiểu IV, khi mở rộng tối đa diện tích không gian bên trong, diện tích mặt cắt ngang đạt 81,8 m^2 (khoảng cách giữa các đường ray là 4 m). Nếu điều chỉnh đường viền bên trong phù hợp và khoảng cách giữa các đường ray tăng lên 4,5 m, diện tích không gian bên trong sẽ đạt 85 m^2.

Dựa trên tính toán diện tích mặt cắt ngang của toa tàu theo tiêu chuẩn tàu cao tốc Quảng Châu - Thâm Quyến (toa điều hòa loại 25Z, kích thước 3104 × 4050 mm), tỷ lệ chắn được xác định là $\beta = 0,147$, tương đương với tỷ lệ chắn của tuyến đường sắt cao tốc Đức khi khoảng cách giữa các đường ray là 4,7 m (xem Bảng 4-1-5).

Bảng 4-1-5: Đường hầm đường sắt cao tốc của một số quốc gia

Tên quốc gia và tuyến đường	Nhật Bản				Pháp		Đức		Ý
	Tokaido	Sanyo	Tohoku	Joetsu	Đông Nam	Đại Tây Dương	Mannheim -Stuttgart	Hanover- Würzburg	Rome- Florence
Chiều dài tuyến (km)	515	554	496	270	426	284	99	327	236
Tốc độ thiết kế (km/h)	210	260	260	260	270	300	300	250	250
Khoảng cách giữa các đường ray (m)	4,20	4,30	4,30	4,30	4,20	4,20	4,70	4,70	4,0
Chiều rộng hầm (m)	9,60	9,60	9,60	9,60	-	10,00	12,50	12,50	9.44
Mặt cắt ngang hầm (m^2)	60,5	63,4	63,4	63,4	-	71,0	Thành thẳng 82, thành cong 94	Thành thẳng 82, thành cong 94	53,8
Tỷ lệ chắn	0,2 ~ 0,22	0,2 ~ 0,21	0,2	0,2	-	0,13 ~ 0,15	0,13	0,13	0,15

(2) Khoảng cách giữa các đường ray và tỷ lệ chắn

Nếu khoảng cách giữa các đường ray và tỷ lệ chắn được thiết kế quá lớn, sẽ dẫn đến việc tăng chi phí mua đất và đầu tư xây dựng cơ bản. Trong nghiên cứu giới hạn kiến trúc, chúng tôi đã xem xét ba loại giới hạn động của đầu máy toa xe, ba khoảng cách giữa các đường ray ($a = 4,5$ m; 4,6 m; 4,7 m), và ba tỷ lệ chắn ($\beta = 0,11$; 0,13; 0,15). Dựa trên các thông số này, các giới hạn kiến trúc khác nhau đã được xác định và tính toán mặt cắt ngang hầm đôi dành cho đường sắt cao tốc với lớp phủ kiểu IV. Theo giá thành trung bình trong định mức xây dựng (100 nhân dân tệ/m^3), chi phí xây dựng 1 km hầm sẽ tăng thêm khoảng 1,1 triệu nhân dân tệ khi khoảng cách giữa các đường ray tăng thêm 10 cm. Vì khoảng cách giữa các đường ray trên toàn tuyến, bao gồm cả đoạn tuyến và nhà ga, là thống nhất, việc tăng khoảng cách này thêm 10 cm sẽ làm tăng đáng kể chi phí xây dựng. Tuy nhiên, việc tăng khoảng cách giữa các đường ray có thể giảm chi phí chế tạo phương tiện và thiết bị liên quan.

(3) Chiều cao kết cấu của hệ thống cung cấp điện tiếp xúc

Chiều cao kết cấu của dây tiếp xúc (tức là khoảng cách thẳng đứng từ điểm neo dây chịu lực đến dây tiếp xúc) là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến chiều cao giới hạn kiến trúc.

Hiện nay, các tuyến đường sắt cao tốc trên thế giới chủ yếu sử dụng đầu máy điện. Nhật Bản sử dụng hệ thống treo dạng kép nặng, còn Pháp sử dụng hệ thống treo dây đơn. Hệ thống treo dây toàn bù dạng chuỗi hiện nay của Trung Quốc chưa phù hợp với đường sắt cao tốc. Do đó, cần giảm chiều cao kết cấu, nâng cao tính cách điện của vật liệu, giảm các điểm cứng trên dây tiếp xúc, sử dụng dây tiếp xúc và dây chịu lực cường độ cao, cải thiện công nghệ lấy điện, và nâng cấp cơ cấu bù (ví dụ như sử dụng phương pháp neo song song). Những biện pháp này sẽ bảo đảm an toàn và ổn định trong điều kiện độ thoáng thấp và tốc độ cao.

(4) Khoảng cách an toàn giữa các công trình phụ trong hầm và giới hạn đầu máy toa xe

Khoảng cách an toàn giữa các công trình phụ trong hầm như rãnh, ống, hốc và máng với giới hạn đầu máy toa xe cũng là một yếu tố quan trọng khi xác định giới hạn kiến trúc. Tất cả các loại cáp phải được đặt trong rãnh (trừ cáp đồng trục có rò rỉ). Hệ thống tín hiệu điều hành trong điều kiện đường sắt cao tốc không còn sử dụng tín hiệu mặt đất để truyền lệnh, mà thay bằng hệ thống kiểm soát tự động đặt trên tàu để điều chỉnh tốc độ. Tuy nhiên, nếu trên tuyến đường sắt cao tốc có tàu trung tốc, việc bố trí tín hiệu trong hầm vẫn cần được xem xét.

Ngoài ra, việc có cần thiết thiết lập các hốc tránh tàu và các hốc thiết bị hay không vẫn cần được nghiên cứu thêm.

Trong các nghiên cứu giới hạn kiến trúc trước đây, các yêu cầu đảm bảo vận hành thường ít được xem xét. Chỉ những yếu tố như dư lượng an toàn và bố trí hợp lý thiết bị mới được đề cập, trong khi các yếu tố như giới hạn áp suất gió, phòng chống thảm họa trong hầm, và nhu cầu bảo trì thường bị bỏ qua. Ví dụ, giới hạn kiến trúc hiện hành của hầm có hai bên dưới nghiêng về phía đường ray, gây khó khăn cho việc thiết lập rãnh nước hai bên trong hầm.

Đối với đoạn đường sắt cao tốc, phương pháp bảo trì hệ thống tiếp xúc và đường ray khác nhau, điều này ảnh hưởng đến việc bố trí các công trình phụ trong hầm như hốc cho xe thang, lối đi làm việc, và các thiết bị khác. Ngoài ra, vị trí của thiết bị chữa cháy, hệ thống chiếu sáng, và các thiết bị trong hầm khác (như quạt thông gió dạng tia để vận hành) cũng cần được xem xét khi xác định giới hạn kiến trúc của hầm.

5. Giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc ở Trung Quốc

Việc xác định giới hạn kiến trúc đường sắt phải bắt đầu từ việc thiết lập giới hạn đầu máy toa xe. Trên thế giới, các quốc gia có cách tiếp cận khác nhau: Trung Quốc, Nhật Bản, Mỹ và Liên Xô cũ áp dụng giới hạn tĩnh, trong khi Đức, Pháp và các quốc gia Tây Âu khác tuân theo tiêu chuẩn động của UIC trong vận tải quốc tế.

Giới hạn đầu máy toa xe đường sắt cao tốc của Trung Quốc về cơ bản tương đồng với tiêu chuẩn "Giới hạn đầu máy toa xe đường sắt khổ tiêu chuẩn" (GB 146.1-1983), chỉ có một số điều chỉnh nhỏ. Chiều cao giới hạn vẫn duy trì ở mức 4800 mm, chưa tính đến yêu cầu trong tương lai cho toa khách hai tầng tốc độ cao. Chiều rộng cũng giữ ở mức 3400 mm, không tính đến khả năng thay đổi bố trí ghế từ dạng 2+2 sang 2+3, điều này có thể làm tăng chiều rộng toa xe. Vì vậy, giới hạn này vẫn nằm trong phạm vi tĩnh.

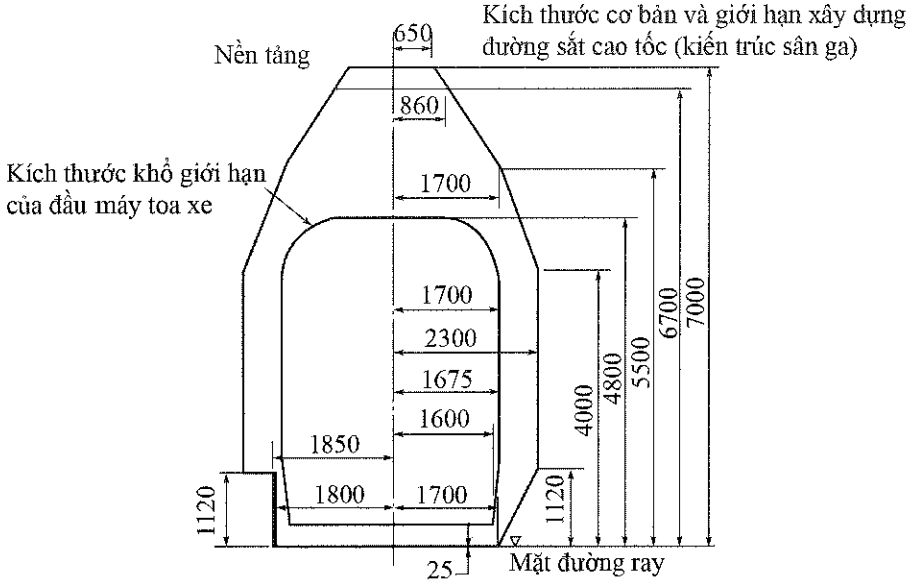
Trên cơ sở giới hạn tĩnh, giới hạn động đã được tính toán, bao gồm:

- Độ lệch ngang và dọc do lắc ngang, dao động ngang, và rung ngẫu nhiên khi tàu chạy ở tốc độ cao.

- Độ lệch do trạng thái tuyến đường, bao gồm sự mất cân bằng và thay đổi độ rộng của đường ray.

- Độ lệch ngang do sai số chế tạo và khoảng cách giữa các bộ phận của toa xe.

Các yếu tố lệch này được tính toán trong các trường hợp bất lợi nhất để xác định tổng độ lệch do dao động của đầu máy toa xe trên đường thẳng và đường cong (tham khảo Hình 4-1-11).



Hình 4-1-11: *Bản vẽ phác thảo giới hạn xây dựng đường sắt cao tốc (Đơn vị kích thước: mm)*

Ngoài ra, các yếu tố khác như phương pháp treo dây tiếp xúc, độ cao dây dẫn, chiều cao kết cấu, khoảng cách cách điện, cùng các yếu tố chưa xác định (như sai số xây dựng, dao động lắc đầu, rung đầu toa xe, và áp suất sóng khi hai đoàn tàu gặp nhau) cũng được cân nhắc, tạo ra dư lượng an toàn.

Bằng cách tham khảo giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc quốc tế, Trung Quốc đã xác định kích thước cơ bản và thiết kế đường viền của giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc, bao gồm cả giới hạn kiến trúc cho sân ga.

5.1. Chiều rộng của giới hạn kiến trúc

(1) Chiều rộng phần trên của giới hạn kiến trúc

Tham khảo các quy định của Đức, đề xuất chiều rộng phần trên của giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc ở Trung Quốc là 1300 mm. Giá trị này được xác định bằng cách cộng thêm khoảng cách cách điện 300 mm vào hai bên phạm vi lắp đặt dây treo thông thường (660 mm) trong hầm của Đức và làm tròn số.

(2) Chiều rộng khu vực làm việc của bộ thu điện (pantograph)

Khu vực làm việc theo chiều dọc của bộ thu điện nằm trong khoảng 5300-5500 mm. Theo thông tin, chiều rộng bộ thu điện được sử dụng trên đường sắt cao tốc tương tự như trên đường sắt hiện tại, do đó chiều rộng nửa khu vực làm việc vẫn giữ nguyên ở mức 1700 mm.

(3) Chiều rộng tối đa của giới hạn kiến trúc

Dựa trên các tính toán lý thuyết về đường viền tổng độ lệch của đầu máy toa xe trên đường cong, khoảng cách lớn nhất từ các điểm trên đường viền đến tâm đường ray là 2146,1 mm. Khi tính đến sai số trong xây dựng đường ray, sự dịch chuyển ngang do bảo trì lớn, áp suất sóng do hai đoàn tàu gặp nhau, và độ lệch ngang do lắc ngang hoặc rung lắc của toa xe, dư lượng an toàn được đề xuất là 150 mm.

Vì vậy, nửa chiều rộng tối đa của giới hạn kiến trúc bằng tổng khoảng cách lệch tối đa và dư lượng an toàn, làm tròn là 2300 mm. Do đó, chiều rộng tối đa của giới hạn kiến trúc đường sắt cao tốc được đề xuất là 4600 mm.

(4) Chiều rộng phần dưới của giới hạn kiến trúc

Dựa trên đường viền tổng độ lệch của toa xe, đề xuất nửa chiều rộng phần dưới của giới hạn kiến trúc là 1700 mm.

5.2. Chiều cao của giới hạn kiến trúc

(1) Chiều cao tối đa của giới hạn kiến trúc

Theo kết quả nghiên cứu từ "Điều kiện kỹ thuật cho hệ thống dây tiếp xúc và cấp điện kéo của tàu cao tốc", chiều cao tối đa của giới hạn kiến trúc được xác định dựa trên:

- Độ cao dây tiếp xúc của đường sắt cao tốc: 5300 mm.
- Chiều cao kết cấu của dây tiếp xúc: 1300 mm.
- Khoảng cách cách điện với trần hầm: 300 mm.
- Sai số lắp đặt dây tiếp xúc (dây chịu lực...): 50 mm.
- Dư lượng an toàn: 50 mm.
- Tổng chiều cao được xác định là 7000 mm.

(2) Chiều cao giới hạn kiến trúc khi sử dụng độ võng của dây chịu lực

Khi đường sắt cao tốc băng qua các công trình khác trong điều kiện khó khăn, có thể tận dụng độ võng của dây chịu lực tại điểm giữa khoảng cách dây tiếp xúc để giảm chiều cao giới hạn kiến trúc xuống còn 6700 mm.

(3) Chiều cao phần dưới của giới hạn kiến trúc

Đường sắt cao tốc Trung Quốc sử dụng công tắc số 18, với ray phụ bảo vệ bên cạnh ray chính. Mặt ray phụ cao hơn mặt ray chính 12 mm. Vì vậy, chiều cao phần dưới của giới hạn kiến trúc được đề xuất giữ nguyên ở mức 25 mm.

5.3. Kích thước chính của giới hạn kiến trúc tại nhà ga đường sắt cao tốc

(1) Chiều cao của giới hạn kiến trúc tại nhà ga

Để thuận tiện cho hành khách lên và xuống tàu, cũng như giảm thời gian tàu dừng tại ga, đường sắt cao tốc sử dụng sân ga cao 1100 mm, ngang với chiều cao sàn tàu. Với dự phòng cho sự lún của đường ray là 20 mm, chiều cao giới hạn kiến trúc của sân ga được xác định là 1120 mm.

(2) Chiều rộng của giới hạn kiến trúc tại nhà ga

① *Chiều rộng giới hạn kiến trúc của sân ga trên tuyến chính*

Khi tàu chạy thẳng với tốc độ 350 km/h, độ lệch ngang tối đa tại độ cao 1120 mm so với mặt ray là khoảng 151,7 mm. Nửa chiều rộng giới hạn của đầu máy toa xe tại điểm này là 1664 mm, dẫn đến tổng độ lệch ngang là 1816 mm tính từ tâm đường ray. Với một mức dự phòng nhất định, chiều rộng được làm tròn thành 1850 mm.

② *Chiều rộng giới hạn kiến trúc của sân ga trên tuyến nhánh*

Tại các nhà ga, tốc độ qua công tắc số 18 trên tuyến nhánh thấp hơn, dẫn đến độ lệch ngang khi tàu vào ga nhỏ hơn. Do đó, chiều rộng giới hạn kiến trúc tại sân ga tuyến nhánh có thể nhỏ hơn so với tuyến chính, được đề xuất là 1800 mm.

5.4. Mở rộng giới hạn kiến trúc trên đường cong của đường sắt cao tốc

(1) Công thức tính mở rộng giới hạn kiến trúc trên đường cong

Kích thước cơ bản của giới hạn kiến trúc đường sắt được thiết lập dựa trên đường thẳng ngang. Khi tàu chạy qua đường cong, thân tàu sẽ xuất hiện độ lệch hình học và độ nghiêng do siêu cao, do đó cần mở rộng giới hạn kiến trúc trên đường cong.

Với chiều dài thân toa khoảng 26,0 m và khoảng cách giữa tâm các giá chuyển hướng là 18,0 m, đường sắt cao tốc Trung Quốc tiếp tục sử dụng công thức mở rộng theo tiêu chuẩn "Giới hạn kiến trúc đường sắt khổ tiêu chuẩn" (GB 146.2-1983):

- Mở rộng phía trong đường cong:

$$W1 = \frac{40500}{R} + \frac{H}{1500} \cdot h \tag{4-1-7}$$

- Mở rộng phía ngoài đường cong:

$$W2 = \frac{44000}{R} \tag{4-1-8}$$

trong đó:

R - bán kính đường cong (m);

h - siêu cao của ray ngoài (mm);

H - khoảng cách từ điểm tính toán trên giới hạn kiến trúc đến mặt ray (mm).

Đối với tuyến đường sắt cao tốc Trung Quốc, bán kính đường cong nhỏ nhất thường là 7000 m, trong điều kiện khó khăn là 5500 m. Với bán kính lớn, độ lệch hình học của thân tàu trên đường cong rất nhỏ, việc mở rộng không còn ý nghĩa. Khi tàu đi vào nhà ga hiện có, bán kính nhỏ nhất là 1000 m, và trong một số trường hợp là 600 m. Mặc dù độ lệch tại phần giữa và đầu toa lớn hơn, nhưng do tốc độ tàu thấp, độ lệch do rung động ngang không đáng kể. Vì vậy, với các trường hợp đã cộng thêm 150 mm dư lượng an toàn khi xác định chiều rộng tối đa của giới hạn kiến trúc, không cần thiết mở rộng thêm do độ lệch hình học.

Đề xuất:

Chỉ cần mở rộng giới hạn kiến trúc trên đường cong do độ nghiêng siêu cao:

$$W = \frac{H}{1500} \cdot h \tag{4-1-9}$$

trong đó, giá trị h được lấy theo siêu cao đơn nhất cho tàu cao tốc trong tương lai.

(2) Phương pháp mở rộng giới hạn kiến trúc trên đường cong

Khi tàu di chuyển từ đường thẳng vào đường cong hoặc từ đường cong trở lại đường thẳng, một phần thân tàu vẫn có thể nằm trên đường cong, dẫn đến độ lệch hình học và độ nghiêng siêu cao nhỏ. Vì vậy, phạm vi mở rộng không chỉ áp dụng cho toàn bộ đường cong tròn mà còn bao gồm đoạn đường cong chuyển tiếp và một phần đường thẳng.

** Đường sắt Trung Quốc sử dụng phương pháp mở rộng bậc thang giảm dần:*

1- Từ điểm nối cong-tròn đến giữa đoạn cong chuyển tiếp (cách nửa chiều dài toa xe, tức 13,0 m): Mở rộng phía trong đường cong bằng giá trị mở rộng của đường cong tròn.

2- Từ giữa đoạn cong chuyển tiếp (cách 13,0 m) đến đoạn đường thẳng ngoài (cách 22,0 m): Áp dụng một nửa giá trị mở rộng của đường cong tròn.

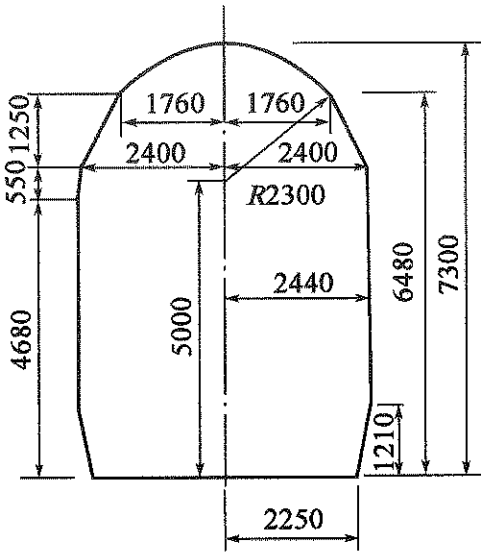
** Giới hạn kiến trúc hầm đường sắt cao tốc ở Trung Quốc được chia thành ba loại:*

1- Tuyến khách-hàng với tốc độ 200 km/h.

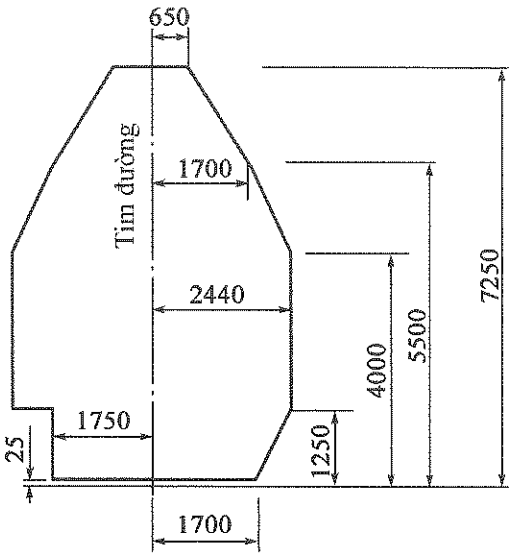
2- Tuyến chuyên chở hành khách với tốc độ 200 km/h trở lên.

3- Tuyến khách-hàng vận chuyển container hai tầng với tốc độ tàu khách 200 km/h và tàu hàng 120 km/h.

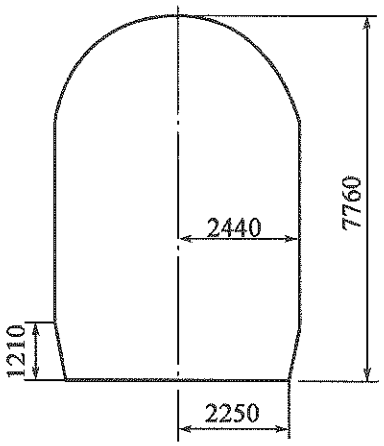
Các loại giới hạn này được minh họa trong Hình 4-1-12 đến Hình 4-1-14.



Hình 4-1-12: *Tuyến khách-hàng với tốc độ 200 km/h*
(Đơn vị kích thước: mm)



Hình 4-1-13: *Tuyến chuyên chở hành khách với tốc độ 200 km/h trở lên, đường sắt chuyên dụng KH-200, giới hạn kiến trúc cầu hầm và giới hạn tiếp cận, kích thước cơ bản và đường viền (Đơn vị kích thước: mm)*



Hình 4-1-14: *Tuyến khách-hàng điện khí hóa kéo tàu, vận chuyển container hai tầng, giới hạn kiến trúc (Đơn vị kích thước: mm)*

Hình 4-1-12: Dùng cho thiết kế đường hầm điện khí hóa khách-hàng với tốc độ thiết kế là 200 km/h.

Hình 4-1-13: Dùng cho thiết kế đường hầm chuyên chở hành khách với tốc độ thiết kế là 200 km/h hoặc cao hơn.

Hình 4-1-14: Dùng cho đường hầm điện khí hóa khách-hàng, với tốc độ thiết kế của tàu khách là 200 km/h, tàu hàng là 200 km/h, và tàu hàng (bao gồm container hai tầng) có tốc độ thiết kế là 120 km/h.

V. DIỆN TÍCH KHÔNG GIAN SỬ DỤNG HIỆU QUẢ TRONG HẦM ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Diện tích không gian sử dụng hiệu quả trong hầm đường sắt cao tốc là diện tích mặt cắt ngang của không gian phía trên bề mặt ray, tính từ viền trong của lớp phủ hầm. Dựa trên các mục tiêu tốc độ vận hành khác nhau và giới hạn của các đoàn tàu chạy, cùng với các yếu tố tác động như hiệu ứng khí động học, các tiêu chuẩn về diện tích không gian sử dụng hiệu quả trong hầm đã được đề xuất và được thể hiện trong bảng 4-1-6.

Bảng 4-1-6: Tiêu chuẩn diện tích không gian có hiệu quả trong hầm đường sắt cao tốc của Trung Quốc (m^2)

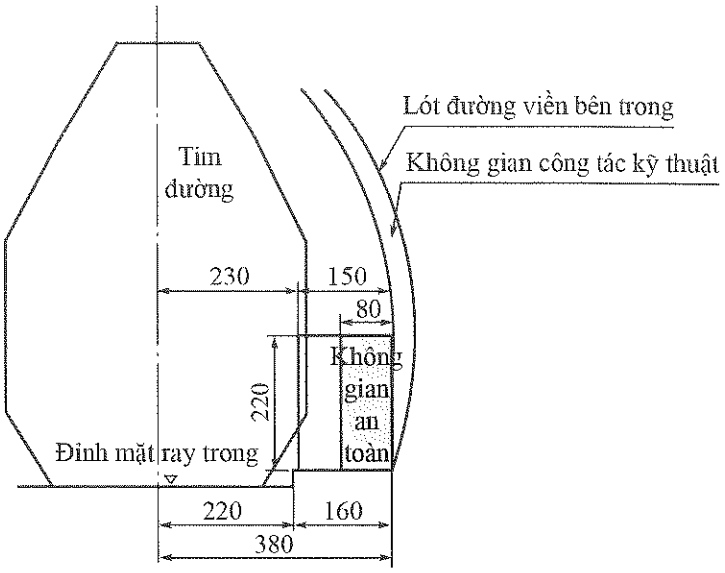
STT	Loại	Đơn tuyến	Tuyến đôi
1	Tuyến cao tốc khách vận kết hợp vận chuyển hàng hóa thông thường 200 km/h	52 (53.6)	80 (85)
2	Tuyến cao tốc 250 km/h	58	92
3	Tuyến cao tốc 300 ~ 350 km/h	70	100

1. Cấu trúc các không gian chức năng trong mặt cắt không gian hầm

Như đã đề cập trước đó, hiệu ứng khí động học do tốc độ cao của tàu chạy trên đường sắt cao tốc có ảnh hưởng lớn đến sự thoải mái của hành khách và môi trường xung quanh. Một mặt, các công trình hầm được thiết kế để đảm bảo tuổi thọ vĩnh cửu trong suốt 100 năm sử dụng; mặt khác, tất cả các đoàn tàu trên tuyến chuyên chở hành khách đều là tàu khách. Khi tàu gặp sự cố trong hầm, mất động lực hoặc không thể kịp thời kéo tàu ra ngoài, vấn đề sơ tán hành khách, thoát hiểm và cứu hộ sẽ trở thành yếu tố cực kỳ quan trọng. Do đó, khi thiết kế mặt cắt không gian hầm đường sắt cao tốc, cần phải dự trù các không gian cần thiết.

1.1. Không gian an toàn

Không gian an toàn (hay còn gọi là khu vực an toàn) là khu vực được dành riêng cho nhân viên đường sắt và các nhân viên bảo trì trong các tình huống khẩn cấp. Khu vực này bao gồm không gian để đặt các thiết bị thi công gần bức tường của hầm (rộng 0.3m) hoặc các tủ điện (rộng 0.4m, dài 1.3m), như minh họa trong hình 4-1-15. Khu vực an toàn được xác định so với khu vực nguy hiểm. Khi tốc độ chạy tàu vượt quá 160 km/h, khu vực nguy hiểm được tính từ trung tâm đường ray đến mép hầm, với chiều rộng là 3.0 m. Nếu tốc độ tàu dưới hoặc bằng 200 km/h, hành khách có thể ở lại trong hầm; nhưng nếu tốc độ vượt quá 200 km/h, việc dừng lại trong hầm sẽ không được phép.



Hình 4-1-15: *Không gian an toàn (Đơn vị kích thước: cm)*

Cấu trúc của không gian an toàn cần phải tuân thủ các quy định sau:

(1) Không gian an toàn phải được bố trí cách trung tâm đường ray ít nhất 3.0 m. Trong hầm đơn, khu vực an toàn phải được bố trí ở phía có lối thoát hiểm; trong hầm đôi, các hầm đơn song song nên bố trí ở các phía liền kề; trong hầm đôi hoặc nhiều đường ray, không gian an toàn phải được bố trí ở cả hai phía.

(2) Kích thước của không gian an toàn, chiều cao không được thấp hơn 2.2 m, chiều rộng không được nhỏ hơn 0.8 m.

(3) Mặt đất của không gian an toàn không được thấp hơn mặt ray trong hầm, và khoảng cách giữa mặt đất và các bộ phận có điện của thiết bị dây tiếp xúc không được nhỏ hơn 3.95 m.

Thông thường, mặt đất của không gian an toàn được thiết kế ngang bằng với các tấm che rãnh và cáp trong hầm, có độ dốc thoát nước ngang tối đa là 3%. Các tiêu chuẩn về chiều rộng và chiều cao của không gian an toàn theo quy định của Đức cũng tương tự như các quy định tạm thời trong thiết kế của Trung Quốc. Khoảng cách giữa mặt đất và các bộ phận dây tiếp xúc và hỗ trợ ít nhất là 3.95 m. Trong thiết kế hầm cho tuyến đường sắt chuyên chở hành khách ở Trung Quốc, không gian an toàn được chia sẻ với các không gian trên các rãnh nước và cáp trong hầm. Với các tuyến đường sắt chuyên chở hành khách có tốc độ thiết kế 200 km/h trở lên, ngoại trừ một số tuyến giao thông thành phố, phần lớn có tốc độ thiết kế 250 km/h hoặc cao hơn. Cùng với hệ thống bảo trì và bảo dưỡng của Trung Quốc, trong suốt thời gian hoạt động, ngoại trừ những tình huống đặc biệt, việc vào hầm sẽ bị cấm.

1.2. Lối thoát hiểm cứu hộ

Trong hầm, cần thiết lập các lối thoát hiểm cứu hộ liên thông, phục vụ cho việc tự cứu hoặc cứu hộ từ bên ngoài.

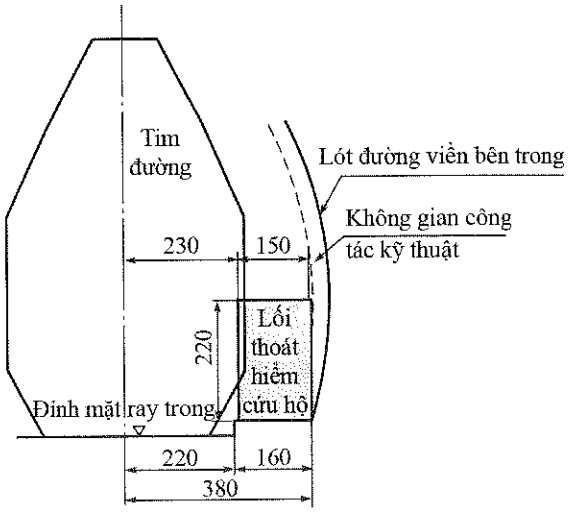
Cấu trúc của không gian cứu hộ phải tuân theo các quy định sau:

(1) Hầm phải có lối thoát hiểm cứu hộ thông suốt, như được minh họa trong hình 4-1-16.

(2) Lối thoát hiểm cứu hộ phải được đặt ở phía bên an toàn và cách trung tâm đường ray ít nhất 2.3 m.

(3) Mặt đường của lối thoát hiểm không được thấp hơn mặt trên của ray trong hầm, và mặt đất phải bằng phẳng.

(4) Đối với hầm đường sắt khách-hàng có tốc độ thiết kế 200 km/h, chiều rộng của lối thoát hiểm không nên nhỏ hơn 1.25 m; đối với hầm tuyến chuyên chở hành khách có tốc độ thiết kế 250 km/h, chiều rộng của lối thoát không nên nhỏ hơn 1.5 m. Ở các khu vực có thiết bị chuyên dụng, chiều rộng có thể giảm, nhưng chiều cao thông thoáng không được thấp hơn 2.2 m.



Hình 4-1-16: *Lối thoát hiểm cứu hộ trong hầm tuyến chuyên chở hành khách với tốc độ 200 km/h trở lên (Đơn vị kích thước: cm)*

Lối thoát hiểm cứu hộ có thể phần nào xâm nhập vào giới hạn kiến trúc, vì lối thoát này chỉ sử dụng khi tàu ngừng hoạt động. Theo quy định của Đức, chiều rộng của lối thoát hiểm cứu hộ thông thường dao động từ 1.25 m đến 1.6 m, với lối thoát trong hầm tuyến cao tốc Cologne-Frankfurt có chiều rộng là 1.6 m.

1.3. Không gian công tác kỹ thuật

Không gian công tác kỹ thuật được sử dụng để đặt các thiết bị phụ trợ thi công, như không gian dự trữ để gia cố lớp phủ hầm hoặc lắp đặt tấm cách âm, v.v. Trong không gian này, cho phép lắp đặt một số thiết bị trong phạm vi chiều dài giới hạn, như bộ điều chỉnh căng dây tiếp xúc và các thiết bị nối dây tiếp xúc.

Không gian công tác kỹ thuật được bố trí theo chu vi bên trong lớp phủ hầm, với chiều rộng là 0.3 m. Sai số trong thi công hầm không được phép chiếm dụng không gian công tác kỹ thuật.

2. Hình thức mặt cắt

Dựa trên yêu cầu về giới hạn kiến trúc hầm đường sắt cao tốc và các không gian chức năng cần thiết phải có trong hầm, kết hợp với các nghiên cứu về khí động học của hầm, Trung Quốc đã thống nhất quy định mặt cắt trong lớp phủ hầm cho các tuyến đường sắt với các tốc độ vận hành khác nhau là 200 km/h, 250 km/h và 350 km/h, và đã xây dựng các bản vẽ tham khảo chung cho lớp phủ hầm đôi.

2.1. Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến khách-hàng chung

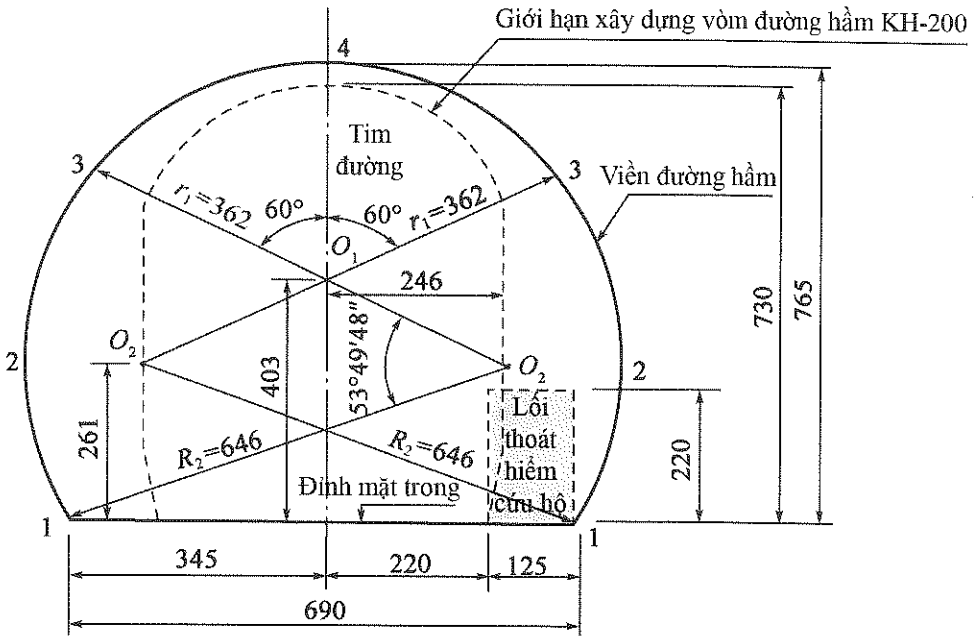
(1) Mặt cắt lớp phủ hầm đơn

Một bên của hầm có lối thoát hiểm rộng 125 cm, phía bên kia có rãnh nước và cáp rộng 125 cm. Khi tàu dừng lại trong hầm, khu vực này cũng có thể được sử dụng làm lối thoát hiểm. Mặt đất của lối thoát hiểm phải ngang với mặt trên của ray trong hầm, và hình dáng mặt cắt của không gian này như minh họa trong Hình 4-1-17.

- Cấu trúc đáy hầm được thiết kế theo chiều dài hầm và điều kiện địa chất, bao gồm thiết kế với đường ray có ballast và không có ballast.

- Hầm sử dụng kiểu lớp phủ tường cong, với đáy hầm làm bằng bê tông cốt thép cho lớp vách thứ II và các lớp vách dưới II sẽ sử dụng vòm ngược.

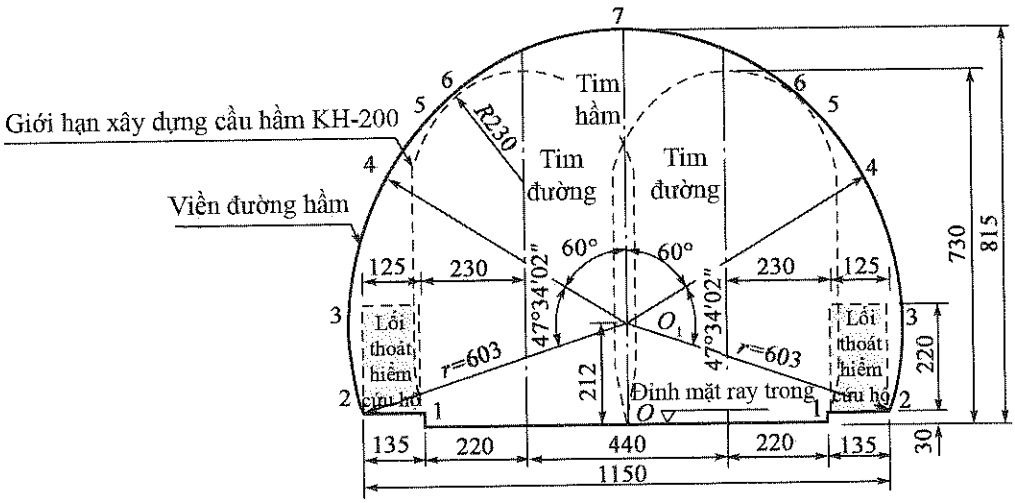
- Rãnh nước và cáp có chiều rộng lần lượt là 40 cm và 30 cm.



Hình 4-1-17: *Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến khách-hàng chung đơn với tốc độ 200 km/h (Đơn vị kích thước: cm)*

(2) Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đôi

Mỗi bên của hầm đều có lối thoát hiểm rộng 125 cm. Mặt đất của lối thoát hiểm cao hơn mặt trên của ray trong hầm 30 cm, và hình dáng mặt cắt của không gian này như được minh họa trong Hình 4-1-18.



Hình 4-1-18: *Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến khách-hàng chung đôi với tốc độ 200 km/h (Đơn vị kích thước: cm)*

Cấu trúc đáy hầm được thiết kế phù hợp với chiều dài hầm và điều kiện địa chất, có thể thiết kế với cả hai loại đường ray có ballast và không có ballast.

Hầm sử dụng kiểu lớp phủ tường cong, với bê tông cốt thép cho đáy hầm ở các lớp vách thứ II, và các lớp vách dưới II sẽ sử dụng vòm ngược.

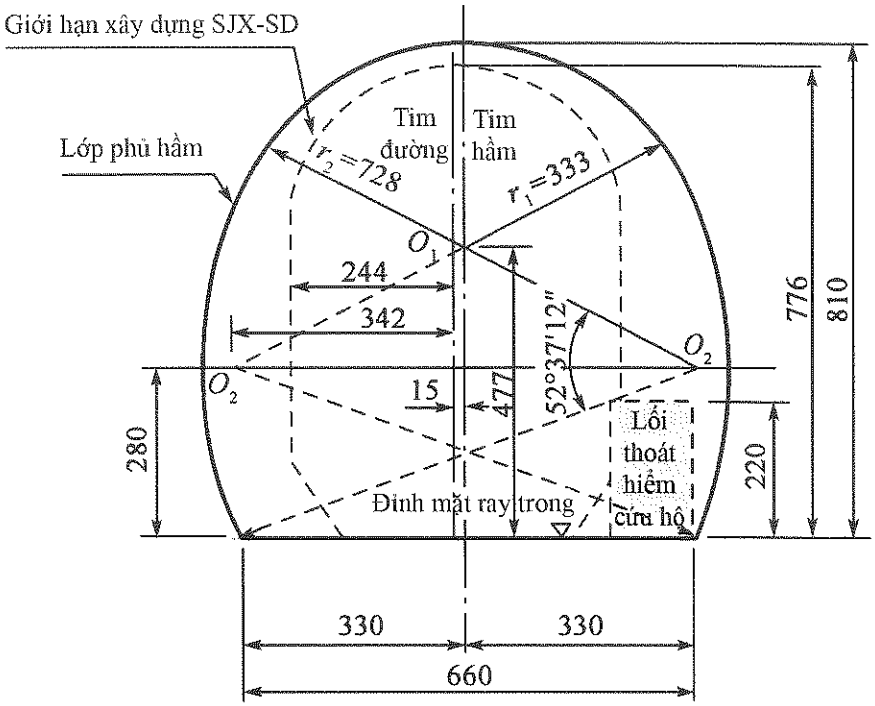
Mỗi bên của hầm có hai rãnh cáp và một kênh thoát nước, với chiều rộng của rãnh cáp là 25 cm, rãnh nước có chiều rộng là 30 cm, và tổng chiều rộng của các rãnh nước và cáp là 135 cm.

Chức năng chính của các rãnh thoát nước ở hai bên là thu nước và kết nối với kênh thoát nước trung tâm (ống) qua khoảng cách thích hợp.

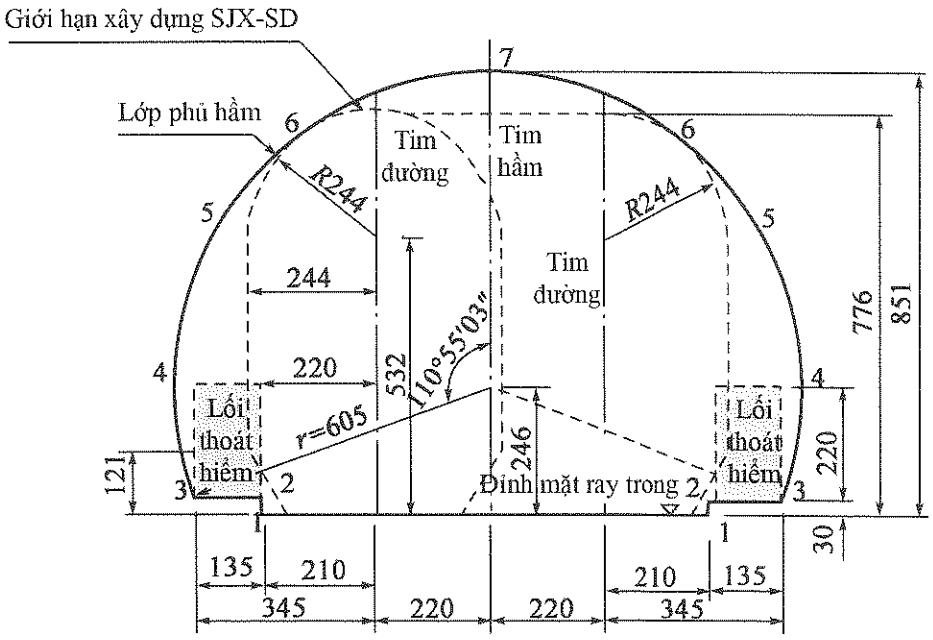
Ở trung tâm hầm, vòm ngược được lấp đầy và có kênh thoát nước trung tâm (ống). Đối với những hầm ngắn và ít nước, có thể không cần thiết kế kênh thoát nước trung tâm (ống).

(3) Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến khách-hàng chung kết hợp vận chuyển container hai tầng

Mặt cắt lớp phủ hầm kết hợp vận chuyển container hai tầng hay không chủ yếu khác nhau ở giới hạn kiến trúc được sử dụng, còn việc bố trí rãnh nước và cáp thì về cơ bản vẫn giữ nguyên. Hình dáng mặt cắt của không gian này được minh họa trong Hình 4-1-19 và Hình 4-1-20.



Hình 4-1-19: *Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến khách-hàng chung kết hợp vận chuyển container hai tầng trong hầm đơn với tốc độ 200 km/h (Đơn vị kích thước: cm)*

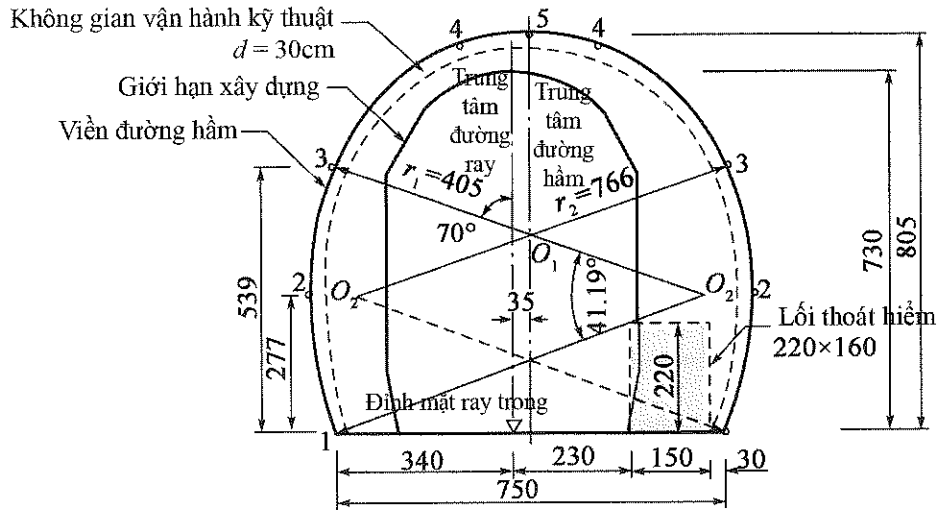


Hình 4-1-20: *Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến khách-hàng chung kết hợp vận chuyển container hai tầng trong hầm đôi với tốc độ 200 km/h (Đơn vị kích thước: cm)*

2.2. Mặt cắt lớp phủ hầm đường sắt tốc độ 250 km/h

(1) Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đơn

Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đơn với tốc độ 250 km/h sử dụng thiết kế hình tròn ba tâm. Một bên hầm có lối thoát hiểm rộng 1.5 m, chiều cao 2.2 m, cách trung tâm đường ray 2.3 m, và lối thoát hiểm này được đặt ngang với mặt trên của ray. Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đơn với tốc độ 250 km/h được minh họa trong Hình 4-1-21.



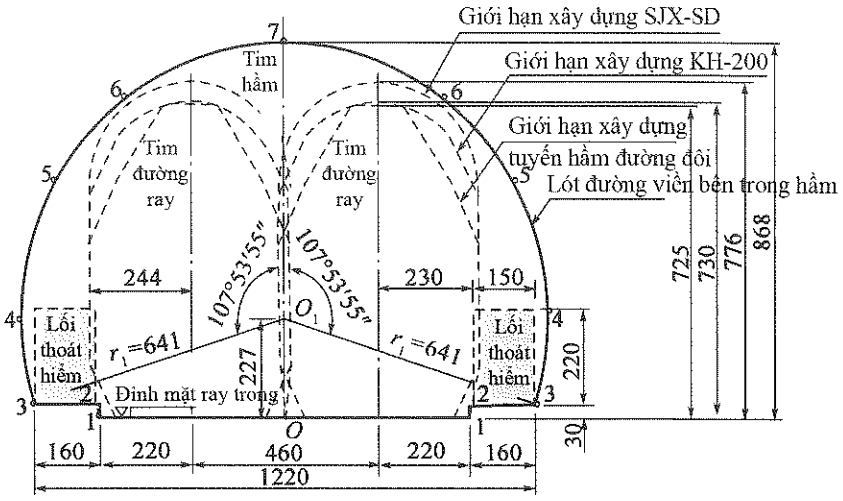
Hình 4-1-21: *Giới hạn kiến trúc và mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đơn đường sắt cao tốc 250 km/h (Đơn vị kích thước: cm)*

Trong mặt cắt này, không gian công tác kỹ thuật rộng 30 cm đã được tính đến. Bên cạnh lối thoát hiểm, hai rãnh và một kênh thoát nước được thiết kế, với chiều rộng rãnh cáp là 40 cm và 30 cm, rãnh nước rộng 50 cm. Phía bên kia, có một rãnh và một kênh thoát nước, với chiều rộng rãnh cáp là 40 cm và rãnh nước rộng 50 cm.

(2) Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đôi

Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đôi được thiết kế cho tốc độ 250 km/h, bao gồm các điều kiện cho tàu khách, tàu hàng thông thường, và vận chuyển container hai tầng. Thiết kế này sử dụng hình tròn một tâm, bán kính là 641 cm, với khoảng cách giữa các tâm là 4.6 m. Hầm có lối thoát hiểm ở cả hai bên, rộng 1.5 m, cao 2.2 m, cách trung tâm đường ray 2.3 m, và mặt đất của lối thoát hiểm cao hơn mặt trên của ray 30 cm. Hình dáng của mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đôi với tốc độ 250 km/h được minh họa trong Hình 4-1-22.

Cấu trúc đáy hầm được thiết kế dựa trên chiều dài hầm và điều kiện địa chất, bao gồm cả thiết kế với đường ray có ballast và không có ballast.



Hình 4-1-22: *Giới hạn kiến trúc và mặt cắt lớp phủ hầm tuyến chuyên chở hành khách đôi với tốc độ 250 km/h (Đơn vị kích thước: cm)*

Hầm sử dụng kiểu lớp phủ tường cong, với đáy hầm làm bằng bê tông cốt thép cho các lớp vách thứ II, và các lớp vách dưới II sẽ sử dụng vòm ngược

Mỗi bên của hầm có hai rãnh và một kênh thoát nước, với chiều rộng rãnh cáp là 35 cm và 30 cm, rãnh nước có chiều rộng 50 cm. Các ống thoát nước ở hai bên chủ yếu dùng để thu nước và kết nối với kênh thoát nước trung tâm (ống) ở khoảng cách thích hợp. Ở giữa hầm, vòm ngược được lấp đầy và có kênh thoát nước trung tâm (ống).

2.3. Mặt cắt lớp phủ hầm đường sắt tốc độ 300 ~ 350 km/h

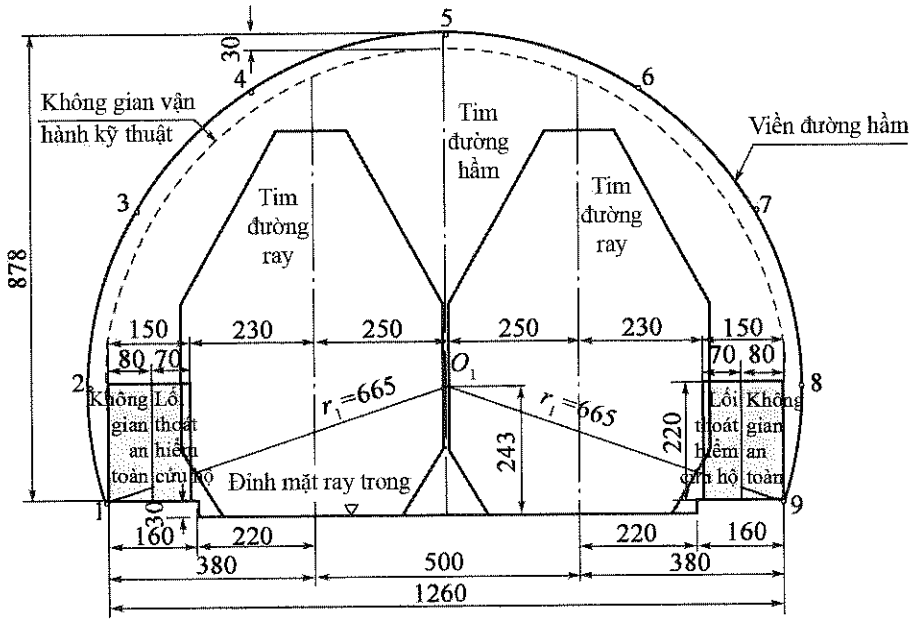
(1) Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đơn

Với mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đơn của đường sắt có tốc độ 350 km/h, diện tích không gian có hiệu quả đạt 70 m², do đó việc bố trí lối thoát hiểm cứu hộ và không gian công tác kỹ thuật rất linh hoạt. Lối thoát hiểm rộng 1.5 m có thể được thiết kế ở cả hai bên của hầm.

(2) Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đôi

Mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đôi sử dụng thiết kế hình tròn một tâm, với bán kính là 665 cm và khoảng cách giữa các đường ray là 5.0 m. Lối thoát hiểm được bố trí ở cả hai bên của hầm, rộng 1.5 m, cao 2.2 m, cách trung tâm đường ray 2.3 m, và mặt đất của lối thoát hiểm cao hơn mặt trên của ray 30 cm. Hình dáng của mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đôi này được minh họa trong Hình 4-1-23.

Cấu trúc đáy hầm được thiết kế theo kiểu không có ballast. Hầm sử dụng lớp phủ tường cong, với đáy hầm làm bằng bê tông cốt thép cho các lớp vách thứ II, và vòm ngược được sử dụng cho các lớp vách dưới II.



Hình 4-1-23: *Giới hạn kiến trúc và mặt cắt lớp phủ hầm tuyến đôi đường sắt cao tốc 350 km/h (Đơn vị kích thước: cm)*

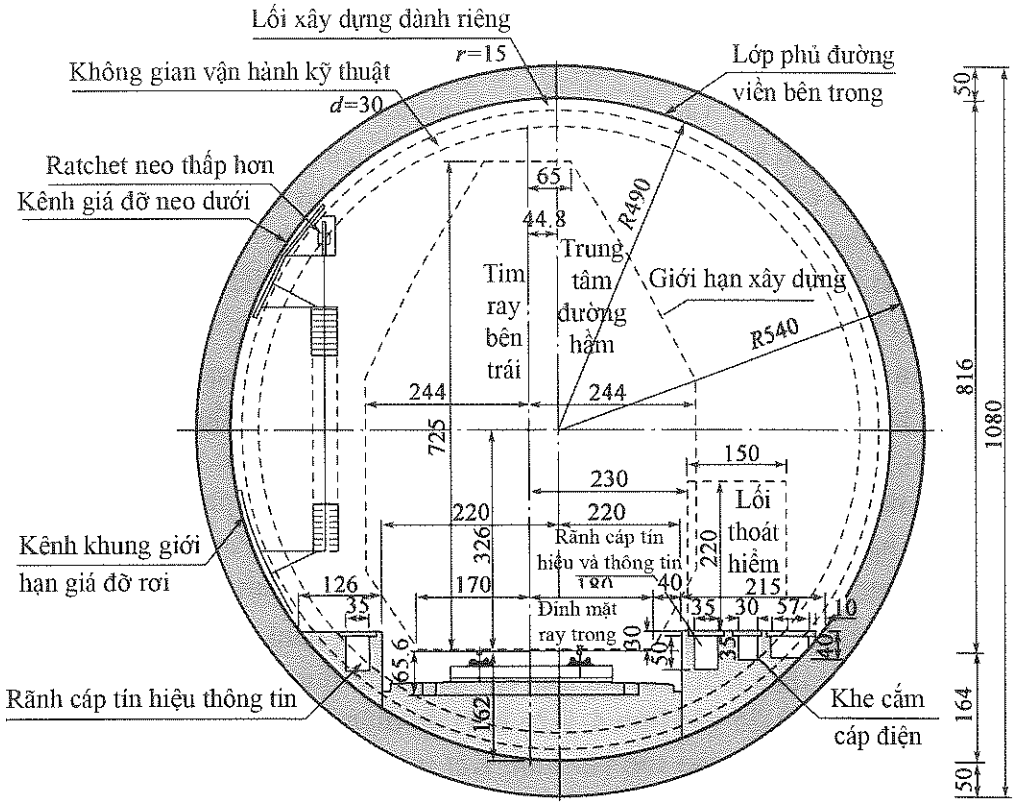
Mặt cắt hầm cũng tính đến không gian công tác kỹ thuật rộng 30 cm. Mỗi bên của hầm có hai rãnh và một kênh thoát nước, với chiều rộng rãnh cáp là 35 cm và 30 cm, rãnh nước có chiều rộng 30 cm. Các rãnh thoát nước hai bên chủ yếu có chức năng thu nước và được nối với kênh thoát nước trung tâm (ống) qua khoảng cách thích hợp. Ở giữa hầm, vòm ngược được lấp đầy và có kênh thoát nước trung tâm (ống)

2.4. Mặt cắt hầm hình tròn

Các hầm được thi công bằng máy đào hầm (hoặc phương pháp khiên đào) thường sử dụng mặt cắt hình tròn. Ví dụ, hầm Lý Tử Dương thuộc tuyến đường sắt cao tốc Quảng Châu - Thâm Quyến - Hồng Kông, sử dụng phương pháp khiên đào. Giới hạn kiến trúc hầm và hình dáng mặt cắt lớp phủ hầm được minh họa trong Hình 4-1-24.

Hầm Lý Tử Dương nằm trong khoảng giữa ga Đông Chuang và ga Hổ Môn trên tuyến Quảng Châu - Thâm Quyến - Hồng Kông, xuyên qua đoạn sông Lý Tử Dương ở cửa sông Châu Giang. Đây là hầm đường sắt cao tốc dưới nước đầu tiên ở Trung Quốc, với tốc độ thiết kế mục tiêu là 350 km/h.

Hầm sử dụng cấu trúc hầm đôi, mỗi hầm có một đường ray đơn, và diện tích không gian có hiệu quả trong hầm đơn là 66 m^2. Dựa trên yêu cầu giới hạn kiến trúc hầm, sau khi xem xét và bố trí hợp lý các đường ống, thiết bị và rãnh trong hầm, đường kính trong của hầm khiên đào được xác định là 9.8 m, đường kính ngoài là 10.8 m, và độ dày của lớp ống là 50 cm, sử dụng phương pháp "7 + 1" để phân chia thành các khối hình nêm thép cốt bê tông đơn lớp.



Hình 4-1-24: *Giới hạn kiến trúc và mặt cắt lớp phủ hầm Lý Tử Dương*
(Đơn vị kích thước: cm)

Trong mặt cắt không gian hầm, hai rãnh cáp tín hiệu và thông tin được bố trí với chiều rộng 35 cm, chiều sâu 58 cm; một rãnh cáp điện với chiều rộng 30 cm, chiều sâu 43 cm; hệ thống thoát nước DN400, ống nước phun DN300, hệ thống cáp và hộp chữa cháy, không gian cho tủ biến áp, v.v...; và lối thoát hiểm rộng 150 cm.

3. Lựa chọn phương án một hầm đôi và hai hầm đơn

Đường sắt cao tốc đều được thiết kế là tuyến đôi, trong thiết kế công trình hầm cần phải so sánh hai phương án: một hầm đôi (một hầm cho cả hai chiều) và hai hầm đơn (hai hầm cho mỗi chiều).

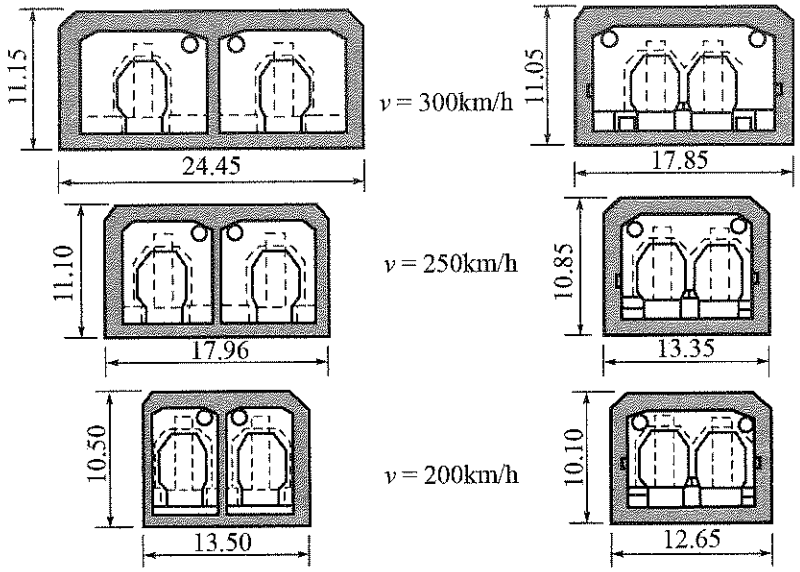
Hầu hết các hầm trên tuyến Shinkansen của Nhật Bản, do ảnh hưởng của hiệu ứng khí động học, đều sử dụng mặt cắt hầm đơn cho tuyến đôi, như hầm Shin-Hakkoda (dài 26.455 km), hầm Iwate-Ichinohe (dài 25.81 km), hầm Iiyama (dài 22.2 km) v.v.

Khi so sánh phương án một hầm đôi và hai hầm đơn, diện tích mặt cắt của một hầm đôi thường nhỏ hơn tổng diện tích mặt cắt của hai hầm đơn, vì vậy phương án một hầm đôi mang lại tính kinh tế cao hơn. Đây là lý do chính khiến các hầm tuyến Shinkansen của Nhật Bản chọn phương án một hầm đôi.

Tại châu Âu, khi chiều dài hầm ngắn, phương án một hầm đôi khá phổ biến. Ví dụ, khi thiết kế hầm đường sắt cao tốc tại Đức, người ta đặc biệt chú trọng đến hiệu ứng khí động học khi tàu chạy vào hầm, và rất quan tâm đến hình dáng mặt cắt hầm và việc lựa chọn diện tích không gian có hiệu quả lớn. Diện tích không gian có hiệu quả của hầm đường sắt cao tốc tại Đức là một trong những diện tích lớn nhất trên thế giới, với diện tích không gian có hiệu quả của hầm tuyến khách-hàng chung lên tới 82 m², và diện tích của hầm tuyến chuyên chở hành khách là 92 m². Hầm cao tốc ở Đức cũng có không gian thiết kế riêng cho việc bảo trì, cứu hộ và phòng chống thảm họa.

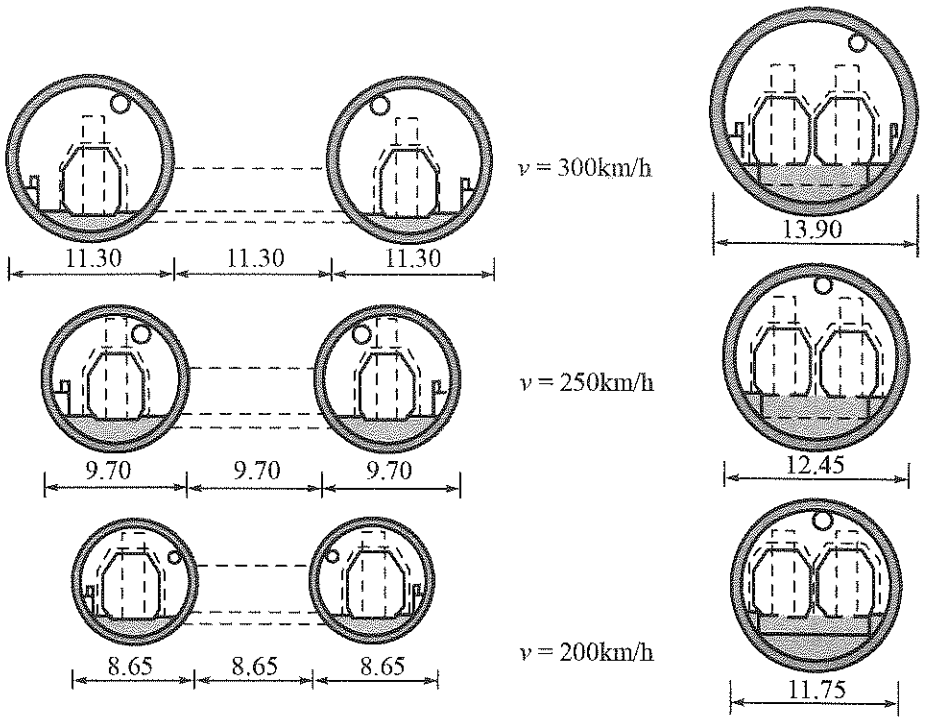
Ở châu Âu, khi chiều dài hầm vượt quá 20 km, các yếu tố như phòng chống thảm họa và cứu hộ thường được xem xét, và phương án hai hầm đơn thường được sử dụng. Khoảng cách giữa hai hầm đơn thường từ 30 m đến 50 m, với các đường hầm ngang được thiết lập cách nhau khoảng 250 m đến 400 m để phục vụ cứu hộ. Các hầm dài như hầm St. Gotthard (Thụy Sĩ, dài 57 km) và hầm Pajares (Tây Ban Nha, dài 25 km) đang được thi công đều sử dụng phương án hai hầm đơn.

Thông thường, khi đáp ứng yêu cầu về khí động học, hầm tuyến đôi có lợi hơn so với hầm đơn. Tổng diện tích mặt cắt của hai hầm đơn thường lớn hơn diện tích của một hầm đôi. Hình 4-1-25 và Hình 4-1-26 là ví dụ điển hình của phương án hầm qua vùng nước của đường sắt cao tốc Hà Lan. Kết quả so sánh của Pháp cho thấy: khi tốc độ tàu đạt 300 km/h, tổng diện tích mặt cắt của hai hầm đơn là 140 m², trong khi diện tích mặt cắt của một hầm đôi là 100 m²; với tốc độ tàu là 250 km/h, diện tích mặt cắt của hai hầm đơn và một hầm đôi lần lượt là 100 m² và 72 m².



a) Mặt cắt hầm đôi đơn đường *b) Mặt cắt hầm đơn đôi đường*

Hình 4-1-25: *So sánh mặt cắt của hai hầm đơn và một hầm đôi (mặt cắt hình chữ nhật) (Đơn vị kích thước: m)*



a) Mặt cắt hầm đôi đơn đường *b) Mặt cắt hầm đơn đôi đường*

Hình 4-1-26: *So sánh mặt cắt của hai hầm đơn và một hầm đôi (mặt cắt hình chữ nhật) (Đơn vị kích thước: m)*

Khi thiết kế phương án cho các hầm dài đặc biệt, việc lựa chọn giữa phương án hai hầm đơn hay một hầm đôi cần phải xem xét tổng thể các yếu tố như điều kiện địa chất, thời gian thi công, độ khó và phương pháp thi công, thông gió trong vận hành, cứu hộ, sơ tán hành khách, và đầu tư công trình. Ngoài ra, cần phải xem xét ảnh hưởng của hiệu ứng khí động học khi tàu chạy trong hầm.

Cả hai phương án hầm đơn đôi và hai hầm đơn đều có ưu nhược điểm riêng. Đối với hầm đường sắt cao tốc, phương án một hầm đôi có ưu điểm là ít tắc nghẽn, giúp cải thiện sự thoải mái cho hành khách trong khi vẫn đảm bảo điều kiện đối phó với các tình huống xấu nhất khi tàu gặp sự cố. Trong khi đó, phương án hai hầm đơn lại có lợi cho công tác cứu hộ, khi một hầm gặp sự cố thì hầm còn lại có thể tiếp tục hoạt động và sử dụng để sơ tán hành khách.

Về mặt địa chất, đối với những khu vực có địa chất yếu và vách đá dễ vỡ, phương án hai hầm đơn với khoảng cách nhỏ sẽ là lựa chọn hợp lý, trong khi với địa chất tốt, phương án một hầm đôi sẽ được ưu tiên. Về phương pháp thi công, khi sử dụng máy khoan TBM hoặc khiên đào, phương án hai hầm đơn với đường kính nhỏ sẽ an toàn hơn, vì giảm thiểu rủi ro thi công. Về thông gió trong vận hành, phương án hai hầm đơn tận dụng hiệu quả gió piston của tàu để cải thiện môi trường trong hầm,

trong khi phương án một hầm đôi ít hiệu quả hơn. Về chi phí, phương án hai hầm đơn thường có chi phí cao hơn từ 20% đến 40% so với phương án một hầm đôi, đặc biệt là ở khu vực có đá cứng, khi đó phương án một hầm đôi sẽ có lợi về giá. Vì vậy, khi quyết định phương án hầm, cần phải kết hợp các yếu tố như phân bổ hầm dọc tuyến, công trình liên quan ở hai đầu hầm, và các yếu tố kỹ thuật khác, như thể hiện trong bảng 4-1-7.

Bảng 4-1-7: So sánh phương án một hầm đôi và hai hầm đơn

So sánh hạng mục	Kế hoạch hầm đơn đôi	Kế hoạch hầm đôi đơn
Khó khăn và rủi ro trong thi công	Diện tích mặt cắt lớn, có nhiều khả năng sập trong vùng đất yếu, dễ xảy ra biến dạng, rủi ro cao	Diện tích mặt cắt nhỏ, ít có khả năng sập, biến dạng ít xảy ra, rủi ro thấp
Thông gió trong vận hành	Khó tận dụng gió piston	Có thể tận dụng gió piston tối đa
Phòng cháy chữa cháy và cứu hộ	Khi hầm xảy ra cháy, việc chữa cháy và cứu hộ khó khăn, tuyến đường sẽ ngừng hoạt động	Khi một hầm xảy ra cháy, có thể dùng hầm còn lại để hỗ trợ chữa cháy và sử dụng lối đi ngang để sơ tán khẩn cấp, chỉ có một tuyến đường bị gián đoạn
Tác động động học của không khí	Tác động tương đối nhỏ	Tác động tương đối lớn
Tác động môi trường	Tác động tương đối nhỏ	Tác động tương đối lớn
Chi phí đầu tư	Thấp hơn	Cao hơn 20% - 40%

Khi thiết kế hầm đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, việc lựa chọn giữa phương án "một hầm đôi" và "hai hầm đơn" thường tuân theo các nguyên tắc sau:

(1) Khi chiều dài hầm nhỏ hơn 10 km, thường chọn phương án một hầm đôi, có thể sử dụng các hầm phụ trong quá trình thi công làm lối thoát hiểm khẩn cấp cho cứu hộ và sơ tán hành khách. Ví dụ, hầm Hàm Cốc Quan trên tuyến đường sắt cao tốc Trịnh Tây (dài 7851 m), hầm Tần Đông (dài 7684 m) v.v.

(2) Khi chiều dài hầm từ 10 km đến 20 km, cần phải kết hợp với các công trình liên quan ở hai đầu hầm, vị trí ga và các yếu tố kỹ thuật khác để thực hiện so sánh kỹ thuật và kinh tế. Cũng có thể kết hợp với các yếu tố cứu hộ và bảo trì, lựa chọn phương án hầm đôi kết hợp với hệ thống đường ray nối thẳng. Ví dụ, hầm Hạ Phố (dài 13124 m) sử dụng thiết kế hầm đôi kết hợp với hệ thống đường ray nối thẳng,

điều này rất thuận tiện cho công tác bảo trì. Hầm Đại Yao 1 trên tuyến đường sắt cao tốc Vũ Quảng (dài 10081 m) là hầm dài nhất của tuyến, chủ yếu xem xét các yếu tố của hầm và các công trình liên quan ở hai đầu hầm, kết hợp với tác động của hiệu ứng khí động học, và cũng được thiết kế theo phương án hầm đôi, với diện tích không gian có hiệu quả là 100 m^2.

(3) Khi chiều dài hầm lớn hơn 20 km, từ góc độ cứu hộ và phòng chống thảm họa, phương án hai hầm đơn thường được lựa chọn. Ví dụ, hầm Thái Hành Sơn trên tuyến đường sắt cao tốc Thạch Thái (dài 27839 m) và hầm U Chướng Lĩnh trên tuyến đường sắt cao tốc Lan Vũ II (dài 20050 m) đã hoàn thành và đi vào hoạt động.

CHƯƠNG 2. THIẾT KẾ CẤU TRÚC ĐỆM CHO HẦM ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. CÁC BIỆN PHÁP KỸ THUẬT GIẢM THIỂU HIỆU ỨNG KHÍ ĐỘNG HỌC

Khi tàu di chuyển với tốc độ cao qua hầm, sẽ hình thành hiệu ứng khí động học, gây thiệt hại cho hành khách trong toa tàu, thiết bị trong hầm, đồng thời ảnh hưởng đến môi trường khu vực cửa hầm. Mức độ tác hại này chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác nhau. Theo cơ chế tác động, các vấn đề khí động học trong hầm tàu chủ yếu bao gồm ba tác động sau:

(1) Áp suất đột ngột do tàu đi qua hầm, làm giảm sự thoải mái của hành khách trên tàu.

(2) Khi tàu đi chuyển trong hầm, tạo ra gió piston, gây thiệt hại cho thiết bị và nhân viên trong hầm.

(3) Sóng nén do tàu vào hầm tạo ra, khi ra khỏi cửa hầm sẽ lan ra ngoài dưới dạng sóng áp suất thấp, gây rung động cho các công trình xung quanh cửa hầm và tạo ra ô nhiễm tiếng ồn trong môi trường.

Để giải quyết các vấn đề khác nhau này, đã có các giải pháp kỹ thuật được đề xuất.

1. Mở rộng mặt cắt hầm, giảm tỷ lệ tắc nghẽn

Khi diện tích mặt cắt của hầm được mở rộng, cường độ của hiệu ứng khí động học khi tàu vào và ra khỏi hầm sẽ giảm dần. Sau khi giảm đến một mức độ nhất định, sẽ không cần phải áp dụng các biện pháp đặc biệt để khắc phục vấn đề này. Quan điểm này được áp dụng khá phổ biến ở một số quốc gia châu Âu như Đức và Pháp. Đối với các hầm hiện có, giải pháp chính để giảm sóng áp suất thấp là lựa chọn mặt cắt hầm lớn hơn và giảm tỷ lệ tắc nghẽn (tỷ lệ giữa mặt cắt của tàu và mặt cắt của hầm).

Dựa trên các phân tích của các quốc gia về đường sắt cao tốc, có thể rút ra kết luận rằng khi tỷ lệ tắc nghẽn nhỏ hơn 0.15 (như ở Đức, Pháp và các quốc gia khác),

các vấn đề khí động học do tàu vào hầm gây ra sẽ cơ bản được giảm thiểu. Do đó, tỷ lệ tắc nghẽn cần thiết để đảm bảo giới hạn thay đổi áp suất là 3.0 kPa / (3s): với tốc độ tàu 250 km/h, tỷ lệ tắc nghẽn là 0.14; với tốc độ tàu 350 km/h, tỷ lệ tắc nghẽn là 0.11.

Mặc dù mở rộng mặt cắt hầm là giải pháp hiệu quả nhất để giải quyết vấn đề khí động học, nhưng nó sẽ dẫn đến việc tăng chi phí đầu tư xây dựng. Vì vậy, việc nghiên cứu kỹ lưỡng hiệu quả của các cơ sở đệm và lựa chọn hợp lý mặt cắt hầm sẽ là phương án thiết kế hợp lý.

2. Cải thiện hiệu suất của phương tiện, tăng cường độ kín khí của tàu

Khi tàu di chuyển với tốc độ cao vào và ra khỏi hầm, không khí phía trước bị nén, phần không khí còn lại được đẩy về phía sau, giống như một pít-tông bị rò rỉ trong động cơ. Sóng áp suất hình thành ở phía trước sẽ mở rộng và phản xạ liên tục cho đến khi đến đuôi tàu. Đồng thời, một sóng áp suất mạnh mẽ được tạo ra bên ngoài thân tàu, và sự rò rỉ của cấu trúc tàu sẽ khiến áp suất truyền vào bên trong tàu. Khi tàu rời khỏi hầm, áp suất ngoài tàu giảm xuống mức khí quyển. Do tốc độ tàu cao, sự thay đổi áp suất khi tàu đi qua hầm diễn ra rất nhanh và trong thời gian ngắn. Sự thay đổi nhanh chóng này của áp suất, cùng với việc hầm có nhiều đoạn hầm liên tục, sẽ tạo ra tiếng sóng tác động mạnh vào tai hành khách, gây cảm giác đau nhức trên màng nhĩ và cơ thể, khiến hành khách cảm thấy khó chịu. Một biện pháp hiệu quả để giảm thiểu hiệu ứng này là tàu phải có độ kín khí cao.

Tuy nhiên, việc thông gió trong tàu cần phải kết nối với không khí ngoài trời, và độ kín khí của các bộ phận di động như cửa, cửa sổ, hành lang, nhà vệ sinh và phòng tắm càng cao thì đồng nghĩa với chi phí đầu tư càng lớn. Việc niêm phong quá chặt có thể dẫn đến sự gia tăng ngưng tụ nước lạnh trong hệ thống điều hòa không khí, gây ăn mòn tàu và gặp phải nhiều vấn đề trong bảo trì. Việc chọn các tham số kín khí hợp lý cho tàu cao tốc là rất quan trọng để đảm bảo sự thoải mái cho hành khách và yêu cầu về độ chính xác của phương tiện.

Các chuyên gia của ORE chỉ ra rằng độ kín khí cao sẽ khiến chi phí đầu tư cao cho thiết bị tàu, vì vậy độ kín khí của tàu cần có một giới hạn nhất định, phải kết hợp với mức thay đổi áp suất mà hành khách có thể chấp nhận được.

Các chuyên gia chỉ ra rằng cần phải xem xét 5 vấn đề sau:

(1) Đặc tính thay đổi của độ kín khí của tàu cao tốc;

(2) Mức độ kín của cấu trúc thân tàu;

(3) Điều hòa không khí và sự kín khí;

(4) Ảnh hưởng của sự thay đổi áp suất đến sự thoải mái của hành khách;

(5) Tính kinh tế của việc niêm phong.

Từ góc độ thiết kế hầm, có hai phương án để giải quyết vấn đề khí động học:

Một là phương án điển hình của Shinkansen Nhật Bản, chủ yếu giải quyết vấn đề thông qua việc xây dựng các mái che giảm chấn ở cửa hầm và niêm phong tàu; phương án còn lại là của NBS Đức, chủ yếu giải quyết vấn đề bằng cách mở rộng mặt cắt hầm.

Tuy nhiên, do chi phí khá cao khi sản xuất, bảo trì tàu kín khí và xây dựng mái che cửa hầm, cùng với những phiền toái trong vận hành, ở Nhật Bản, vẫn có ý kiến cho rằng "liệu có nên mở rộng mặt cắt hầm thêm một chút không".

Theo tính toán, nếu mở rộng mặt cắt hầm của tuyến Shinkansen Sanyo từ A = 63.4 m^2 hiện tại lên 82.4 m^2 (theo tiêu chuẩn của NBS Đức), tỷ lệ tắc nghẽn sẽ giảm xuống còn 0.153, và giá trị thay đổi áp suất tối đa có thể giảm ít nhất 75% so với hiện tại, đáp ứng tiêu chuẩn thoải mái của JNR/JR (ngoại trừ khi tàu giao nhau). Do đó, một số người đã thực hiện so sánh kinh tế giữa việc mở rộng mặt cắt hầm và tàu kín khí, và kết luận rằng:

Đối với tuyến Shinkansen Tokaido - Sanyo, việc mở rộng mặt cắt hầm có thể có lợi hơn. Tuy nhiên, đối với tuyến Shinkansen Tohoku và Joetsu, phương án tàu kín khí vẫn tốt hơn. Kết luận này chủ yếu liên quan đến tỷ trọng của hầm trong tuyến đường và mức độ tắc nghẽn của tuyến (số lượng tàu vận hành), các dữ liệu cụ thể có thể tham khảo trong bảng 4-2-1 và 4-2-2.

Bảng 4-2-1: Số lượng hầm Shinkansen và số lượng tàu đã đưa vào vận hành

Tuyến đường	Số lượng hầm (cái)	Tổng chiều dài hầm (km)	Tỉ lệ hầm trên tuyến (%)	Số lượng xe (chiếc)
Tokaido - Sanyo	208	348.3	30	2724
Đông Bắc (Tuyến)	111	112.3	24	332
Joetsu	22	106.7	39	368

Bảng 4-2-2: So sánh chi phí bổ sung giữa tàu kín khí và việc mở rộng mặt cắt hầm

Tuyến đường	Tốc độ tối đa (km/h)	Xe kín (MYen)	Mở rộng diện tích hầm (MYen)
Đông Hải Đạo - Sơn Dương	270	1.46×10^5	1.31×10^5
Đông Bắc	240	1.78×10^4	4.21×10^4
Thượng Quyết	270	1.97×10^4	4.00×10^4

Cũng cần lưu ý rằng, việc áp dụng tàu kín khí chỉ làm tăng sự thoải mái trong toa tàu, và không có tác dụng đối với vấn đề xử lý sóng áp suất thấp tại cửa hầm. Do đó, trong quá trình thực hiện, cần phải xem xét tính khả thi của các biện pháp khác nhau. Tuy nhiên, điều này đã đưa ra một ví dụ cho chúng ta, đó là trong thiết kế hầm cụ thể, cần phân tích các biện pháp khác nhau để đạt được tối ưu về mặt kỹ thuật và kinh tế.

3. Lắp đặt các công trình phụ trợ trong hầm, giảm thiểu hiệu ứng khí động học tổng thể

Các công trình phụ trợ trong hầm bao gồm các công trình đệm tại cửa hầm và các giếng thông gió, các đường hầm nối giữa các hầm đơn tuyến đôi, v.v. Các công trình đệm tại cửa hầm có nhiều loại khác nhau: mái che giảm chấn, cấu trúc đệm kín không có cửa sổ, cấu trúc đệm có cửa sổ, cấu trúc đệm có rãnh, cấu trúc đệm hình phễu, v.v.

Ban đầu, các công trình đệm tại cửa hầm được xây dựng dưới dạng hầm mở. Vào năm 1970, khi bắt đầu xây dựng đường sắt cao tốc ở Ý, vì diện tích mặt cắt của hầm quá nhỏ (tuyến đôi 53 m^2), để giải quyết vấn đề sóng áp suất thấp, họ cũng đã xây dựng các hầm mở có lỗ thông, dài lên đến 50 m. Vào năm 1975, trong quá trình thử nghiệm trên tuyến Shinkansen Sanyo giữa Okayama và Hakata, hiện tượng sóng áp suất thấp đã xuất hiện. Do hầm Shinkansen đã được xây dựng và không thể mở rộng diện tích mặt cắt, quyết định áp dụng phương pháp xây dựng các công trình đệm tại cửa hầm để giải quyết vấn đề này. Kết quả từ các thử nghiệm và kiểm tra tại hiện trường cho thấy, việc thiết lập hợp lý các tham số của công trình đệm có thể giảm đỉnh sóng áp suất thấp xuống còn 20% đến 30% giá trị tối đa.

Việc lắp đặt các giếng thông gió hợp lý trong hầm có thể giảm khoảng 50% độ lớn của áp suất thay đổi đột ngột do tàu chạy tốc độ cao gây ra. Khi xem xét việc xây dựng giếng thông gió (hoặc giếng nghiêng), nên tận dụng tối đa các giếng được để lại trong quá trình thi công, vì vậy khi xác định vị trí giếng thông gió, tốt nhất là phải đáp ứng yêu cầu giảm áp suất đột ngột trong tàu cao tốc.

Qua việc phân tích sự cộng hưởng của sóng từ giếng thông gió ở bất kỳ vị trí nào trong hầm, các nghiên cứu chỉ ra rằng vị trí tối ưu nhất của giếng thông gió nằm trong các khu vực sau:

$$\frac{4M^2}{(1-M)^2} < \frac{X_s}{L} < \frac{2M}{1+M} \tag{4-2-1}$$

trong đó:

X_s - khoảng cách từ giếng thông gió đến cửa hầm;

L - chiều dài hầm;

M - số Mach của tàu.

Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng mỗi hầm có số lượng giếng thông gió tối ưu riêng. Đối với các hầm một chiều, nếu vị trí hợp lý thì một hoặc hai giếng là đủ. Tuy nhiên, đối với hầm tuyến đôi, cần nhiều giếng thông gió hơn, vì tàu có thể đi qua từ bất kỳ hướng nào, và vị trí giếng thông gió có thể lý tưởng cho một hướng,

nhưng lại không phù hợp cho hướng còn lại. Khoảng cách tối thiểu giữa hai giếng thông gió nên xấp xỉ bằng chiều dài của chúng. Đường kính tối đa của giếng thông gió nên không vượt quá 35% đường kính của hầm.

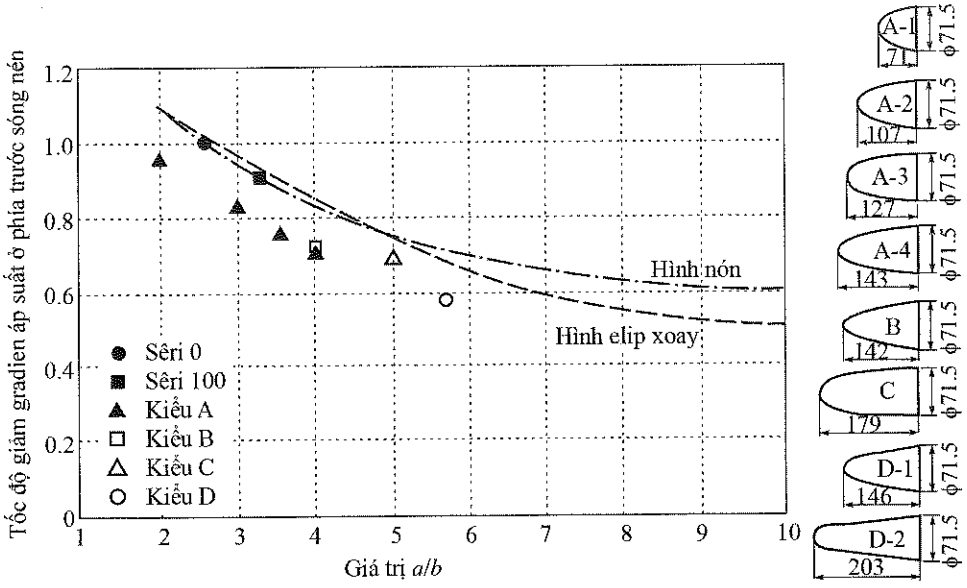
Việc cài đặt nhiều giếng thông gió trong hầm dài không chỉ giúp giảm bớt áp suất đột ngột khi tàu đi qua, mà còn giảm lực cản không khí khi tàu di chuyển. Điều này là do sự hiện diện của giếng thông gió giúp giảm áp suất không khí phía trước tàu. Không khí có áp suất lớn ở phía trước tàu không chỉ được đẩy ra ngoài qua cửa hầm, mà còn được đẩy ra ngoài qua các giếng thông gió phía trước tàu; áp suất âm phía sau tàu không chỉ hút không khí từ cửa hầm vào trong, mà còn qua các giếng thông gió phía sau tàu. Do đó, sự chênh lệch áp suất giữa phía trước và phía sau tàu trong hầm có giếng thông gió sẽ nhỏ hơn so với hầm không có giếng thông gió, làm giảm lực cản không khí khi tàu di chuyển trong hầm.

4. Sử dụng quạt điều chỉnh áp suất trong toa tàu

Sự không thoải mái của hành khách khi tàu vào và ra khỏi hầm chủ yếu là do sự thay đổi áp suất trong toa tàu. K. Akutsu và các cộng sự đã đề xuất sử dụng quạt để điều chỉnh áp suất, loại bỏ những tác hại do áp suất đột ngột gây ra. Thực tế đã chứng minh phương pháp này mang lại hiệu quả rất tốt và dự đoán có thể đáp ứng được yêu cầu loại bỏ áp suất đột ngột do tàu chạy với tốc độ lên đến 300 km/h gây ra.

5. Các biện pháp đối phó khác có thể có

(1) Giảm diện tích mặt cắt ngang của tàu và cải thiện hình dạng phần đầu tàu



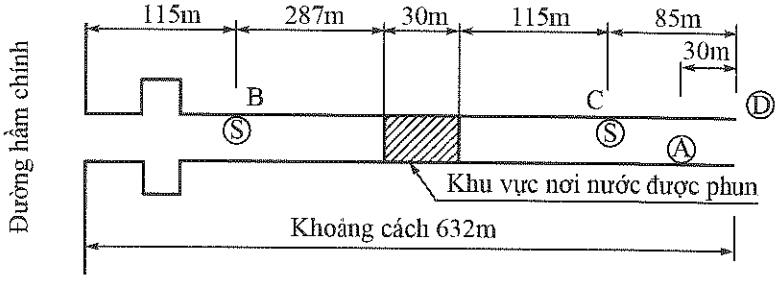
Hình 4-2-1: *Ảnh hưởng của hình dạng mảnh mai phần đầu tàu đối với gradient áp suất trong thử nghiệm mô hình*

Nếu diện tích mặt cắt ngang của tàu được giảm, áp suất sóng nén tạo ra khi tàu vào hầm sẽ giảm dần. Phân tích lý thuyết về gradient áp suất phía trước tàu cho thấy: tàu có phần đầu mảnh cũng có thể làm giảm gradient áp suất. Hình 4-2-1 thể hiện ảnh hưởng của chiều dài phần đầu tàu mảnh thông qua nghiên cứu mô hình thực nghiệm.

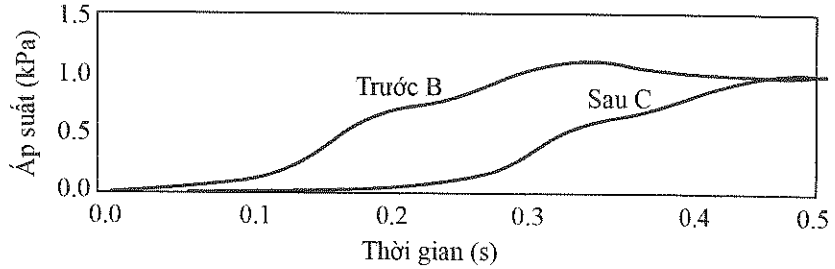
(2) Phun nước dày đặc trong hầm

Để nghiên cứu giảm cường độ sóng áp suất do sự phản xạ và truyền sóng một phần trong các ống gió dài, đã từng sử dụng phương pháp phun nước và màn nước. Trong hầm, sóng nén truyền qua việc phun nước dày đặc để làm giảm gradient áp suất của sóng. Để khảo sát hiệu quả của phương pháp này, vào tháng 9 và tháng 11 năm 1990, đã thực hiện thử nghiệm tại một giếng thông gió trong hầm "Shinkansen". Hình 4-2-2a là sơ đồ bố trí thử nghiệm tại hiện trường. Sóng nén được phân luồng ra khỏi hầm và đi qua 30m khoảng cách với nước được phun dày đặc.

Thiết bị phun nước dày đặc có 60 vòi phun, quá trình vận hành của nó được mô phỏng thông qua máy tính với tính toán về dòng khí và nước phun. Hình 4-2-2b thể hiện kết quả thử nghiệm tại hiện trường.



a) Bố trí thử nghiệm tại chỗ các giọt nước phun dày đặc trong đường hầm



Tốc độ tàu: 210km.h; Khoảng cách phun: 30m; Thời gian phun: 267s
Điều kiện vòi phun: Áp lực nước 1.0kgf/cm^2; Áp suất không khí 4.0kgf/cm^2

b) Hình dạng của sóng nén trước và sau khi phun nước

Hình 4-2-2: *Kết quả thử nghiệm phun nước:*
Ⓓ Bộ ghi dữ liệu; Ⓢ Cảm biến áp suất; Ⓐ Máy đo tốc độ gió.

(3) Phương pháp điều khiển chủ động

Sóng áp suất thấp có thể được giảm thiểu thông qua sóng áp suất thấp âm do thiết bị điều khiển chủ động tạo ra. Phương pháp này đã được thử nghiệm trên mô hình và cũng sử dụng thiết bị tương tự như thử nghiệm với mái che cửa hầm. Một loa phát ra sóng áp suất thấp âm gần cửa hầm của mô hình hầm, và loa này được điều khiển bởi hệ thống kiểm soát tiếng ồn chủ động bao gồm máy tính mini và bộ khuếch đại. Trong các thử nghiệm mô hình nhỏ, phương pháp này có thể giảm sóng áp suất thấp với hiệu quả nhất định.

Qua phân tích trên, có thể thấy rằng có nhiều biện pháp để giảm thiểu hiệu ứng khí động học. Tùy thuộc vào điều kiện cụ thể của công trình, các biện pháp có thể được lựa chọn hợp lý và áp dụng một cách phù hợp. Vì việc xây dựng các công trình đệm đơn giản và chi phí bảo trì thấp, đồng thời có thể đạt được mục tiêu lâu dài, nên phương pháp này được áp dụng rộng rãi. Dưới đây, chúng tôi sẽ phân tích các vấn đề liên quan đến việc giảm thiểu hiệu ứng khí động học của các công trình đệm cửa hầm.

II. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN THIẾT KẾ CẤU TRÚC ĐỆM

Việc thiết kế các công trình đệm ở cửa hầm và chiều sâu của hầm là biện pháp chính để giảm sóng áp suất thấp. Các loại công trình đệm có nhiều dạng khác nhau; thông qua tính toán số liệu và thử nghiệm mô hình, việc lựa chọn hợp lý các tham số thiết kế của cấu trúc đệm có thể giảm hiệu quả các tác động khí động học giữa tàu và hầm.

1. Tiêu chuẩn thiết kế cấu trúc đệm

Việc thiết kế công trình đệm không chỉ giúp giảm gradient áp suất sóng, từ đó giảm sóng áp suất thấp ở cửa hầm, mà còn giúp giảm áp suất đột ngột, cải thiện sự thoải mái của hành khách. Ví dụ, việc cài đặt giếng thông gió trong hầm có thể làm thay đổi thời gian và cường độ phản xạ sóng giãn nở, giúp giảm cả sóng nén và gradient áp suất.

Do khả năng kiểm soát áp suất đột ngột có thể đạt được thông qua việc nâng cao hiệu suất của tàu, hiện tại, khi xem xét việc thiết kế cấu trúc đệm, chủ yếu dựa vào giá trị đỉnh của sóng áp suất thấp ở cửa hầm để quyết định. Tiêu chuẩn thiết kế cấu trúc đệm được thể hiện trong bảng 4-2-3.

Bảng 4-2-3: Tiêu chuẩn thiết kế công trình đệm

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Điều kiện</td><td colspan="4">Đỉnh sóng áp suất vi mô P_{max}</td></tr>
<tr><td>Nhật Bản</td><td>Đức</td><td colspan="2">Bắc Kinh - Thượng Hải</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Cổng có công trình xây dựng</td><td>Công trình không có yêu cầu môi trường đặc biệt</td><td>Tại vị trí của tòa nhà, $P_{max} < 20Pa$</td><td rowspan="3">Áp lực sóng vi mô $P_{max} < 20Pa$ tại vị trí cách cửa hầm 50m cũng phải đảm bảo $P_{max} < 20Pa$</td><td colspan="2">Tại vị trí của tòa nhà, $P_{max} < 20Pa$</td></tr>
<tr><td>Công trình có yêu cầu môi trường đặc biệt</td><td>Theo yêu cầu</td><td colspan="2">Theo yêu cầu</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Cổng không có công trình xây dựng (hoặc khu dân cư cách cổng trên 50m)</td><td rowspan="2">Tại vị trí cách cửa hầm 20m, $P_{max} < 50Pa$</td><td>Nhà có yêu cầu môi trường đặc biệt</td><td>Tại vị trí cách cửa hầm 20m, giá trị $P_{max} < 50Pa$</td></tr>
<tr><td>Nhà không có yêu cầu môi trường đặc biệt</td><td>Không thiết lập</td></tr>
</table>

2. Yếu tố quyết định việc thiết kế công trình đệm - Tỷ lệ tắc nghẽn β

Từ góc độ thiết kế hầm, có hai phương án để giải quyết vấn đề khí động học: Một là phương án điển hình của Shinkansen Nhật Bản, chủ yếu giải quyết vấn đề thông qua việc xây dựng các mái che giảm chấn ở cửa hầm và niêm phong tàu; phương án còn lại là của NBS Đức, chủ yếu giải quyết vấn đề bằng cách mở rộng mặt cắt hầm.

Tuyến Shinkansen Tokaido và tuyến Shinkansen Sanyo tại Nhật Bản có tỷ lệ tắc nghẽn tương đối lớn ($\beta = 0.2 \sim 0.22$). Để giải quyết vấn đề khí động học của tàu cao tốc, phương pháp chính được sử dụng là xây dựng các mái che cửa hầm và niêm phong tàu.

Dựa trên phân tích của các tuyến đường sắt cao tốc ở các quốc gia khác, có thể rút ra kết luận rằng khi tỷ lệ tắc nghẽn $\beta < 0.15$ (ở Đức, Pháp, v.v.), các vấn đề khí động học phát sinh do tàu vào hầm cơ bản có thể được giảm thiểu. Ngoài Đức, các tuyến TGV Đại Tây Dương ($\beta = 0.13 \sim 0.15$) và tuyến Dirittissima của Ý hiện tại chưa áp dụng các biện pháp niêm phong tàu đặc biệt.

Việc giảm tỷ lệ tắc nghẽn của hầm và mở rộng diện tích mặt cắt hầm sẽ chắc chắn làm tăng chi phí xây dựng. Tuy nhiên, mặc dù chi phí đầu tư ban đầu tăng lên, nhưng có thể giảm chi phí vận hành tuyến đường. Do đó, việc xác định phương án cụ thể cần phải phân tích tổng hợp dựa trên tỷ trọng của hầm trong tuyến đường và mức độ tắc nghẽn của tuyến (tức là số lượng tàu vận hành).

Tóm lại, tỷ lệ tắc nghẽn của hầm có ảnh hưởng quan trọng đến việc xây dựng tuyến đường và cường độ hiệu ứng khí động học trong quá trình vận hành của tuyến.

Từ cảm nhận trực quan: Mở rộng mặt cắt hầm, giảm tỷ lệ tắc nghẽn, sẽ làm giảm cường độ của hiệu ứng khí động học khi tàu vào hầm. Ngược lại, khi mặt cắt hầm bị thu hẹp, tỷ lệ tắc nghẽn tăng lên, sẽ làm tăng cường độ hiệu ứng khí động học khi tàu vào hầm. Do đó, có thể suy ra rằng tỷ lệ tắc nghẽn có mối liên quan với giá trị đỉnh sóng nén khi tàu vào hầm.

Dr. Gaillard qua phân tích độ nhạy đã kết luận rằng, đối với sự dao động áp suất, diện tích mặt cắt hầm là yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất.

ORE đã nghiên cứu một cách hệ thống ảnh hưởng của các yếu tố đến sự dao động áp suất. Kết quả cũng chỉ ra rằng diện tích mặt cắt hầm, tức là tỷ lệ tắc nghẽn của hầm, là yếu tố quan trọng nhất. Dựa trên các phân tích tính toán, có mối quan hệ giữa đỉnh sóng áp suất và tỷ lệ tắc nghẽn của hầm như sau:

$$P_{\max} = k\beta^N v^2 \tag{4-2-2}$$

trong đó:

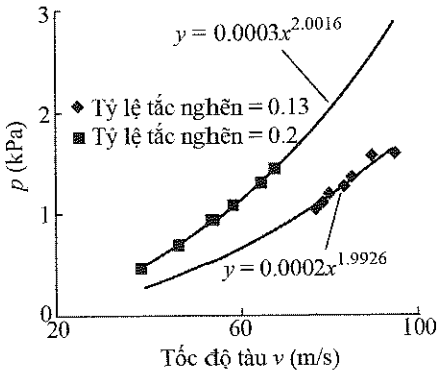
k - hằng số điều kiện;

β - tỷ lệ tắc nghẽn;

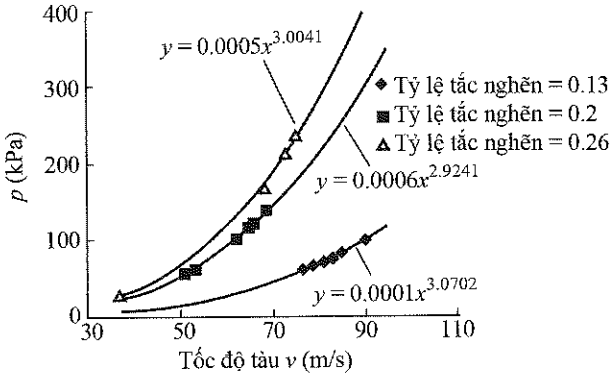
v - tốc độ tàu;

N - chỉ số mũ của tỷ lệ tắc nghẽn ứng với đỉnh áp suất, khi tàu chạy một chiều trong hầm, $N = 1.3 \pm 0.25$. Khi tàu chạy đối diện nhau, $N = 2.16 \pm 0.06$.

Để xác định ảnh hưởng của tỷ lệ tắc nghẽn đến giá trị đỉnh sóng nén, một thí nghiệm đã được tiến hành tại Đại học Giao thông Tây Nam bằng hệ thống mô hình tàu cao tốc. Dưới hai tỷ lệ tắc nghẽn khác nhau, mô hình tàu và mô hình hầm đều sử dụng vật liệu giống nhau, cho phép giả sử rằng hằng số điều kiện trong hai trường hợp là giống nhau. Các kết quả cho thấy mối quan hệ giữa đỉnh áp suất và tốc độ tàu, cùng với mối quan hệ giữa đỉnh sóng áp suất thấp và tốc độ tàu, được thể hiện trong các đồ thị Hình 4-2-3 và Hình 4-2-4.



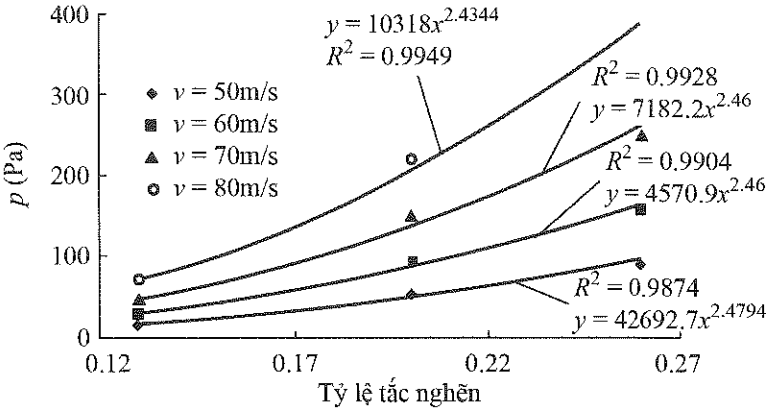
Hình 4-2-3: *Đồ thị mối quan hệ giữa đỉnh áp suất và tốc độ tàu*



Hình 4-2-4: *Đồ thị mối quan hệ giữa đỉnh sóng áp suất thấp và tốc độ tàu*

Qua việc phân tích dữ liệu thử nghiệm, chúng tôi đã xác nhận rằng chỉ số mũ của tỷ lệ tắc nghẽn tương ứng với đỉnh sóng áp suất $N = 1.1$, phù hợp với kết quả phân tích trước đó.

Để xác định mối quan hệ giữa áp suất sóng áp suất thấp và tốc độ tàu, cùng với tỷ lệ tắc nghẽn, một phương trình thích hợp đã được xây dựng từ các thí nghiệm mô hình. Các đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa sóng áp suất thấp và tỷ lệ tắc nghẽn ở các tốc độ khác nhau, như thể hiện trong Hình 4-2-5.



Hình 4-2-5: *Đồ thị mối quan hệ giữa đỉnh sóng áp suất thấp, tốc độ tàu và tỷ lệ tắc nghẽn*

Từ đồ thị mối quan hệ giữa giá trị đỉnh sóng áp suất thấp và tốc độ tàu, có thể thấy rằng giá trị đỉnh sóng áp suất thấp tỷ lệ thuận với tốc độ tàu theo lũy thừa bậc ba, điều này hoàn toàn phù hợp với các quy luật đã có. Từ đường cong phù hợp giữa áp suất sóng áp suất thấp và tỷ lệ tắc nghẽn (Hình 4-2-5), có thể thấy rằng ở các tốc độ khác nhau, mối quan hệ giữa áp suất sóng áp suất thấp và tỷ lệ tắc nghẽn tuân theo quy luật lũy thừa với chỉ số mũ gần bằng 2.4.

Tham khảo phương trình áp suất đột ngột, phương trình của sóng áp suất thấp có thể được biểu diễn như sau:

$$P_{\max}^{\text{mic}} = k\beta^{N^{\text{mic}}} v^3 \tag{4-2-3}$$

trong đó:

$P_{\max}^{\text{mic}}$ - giá trị áp suất cực đại của sóng áp suất thấp;

N^{mic} - chỉ số mũ của tỷ lệ tắc nghẽn tương ứng với sóng áp suất thấp.

Việc xác định chỉ số mũ của tỷ lệ tắc nghẽn đối với sóng áp suất thấp vẫn cần nhiều thử nghiệm để xác nhận, và theo thử nghiệm này, cùng với các sai số có thể xảy ra trong thử nghiệm, giá trị ước tính của $N^{\text{mic}} = 2.4 \pm 0.25$.

3. Các loại công trình đệm

3.1. Công trình đệm cửa hầm

Khi tàu từ không gian mở không có giới hạn phía trên và hai bên đột ngột vào hầm, không khí phía trước tàu bị giới hạn và trong một thời gian ngắn bị nén, tạo ra gradient áp suất rất cao, là nguyên nhân chính gây ra sóng áp suất thấp ở cửa hầm. Nếu cài đặt một công trình phụ trợ ở cửa hầm, giúp áp suất phía trước tàu thay đổi dần dần, làm giảm độ mạnh của sóng nén đột ngột, từ đó giảm sóng áp suất thấp, thì đây là cơ sở và mục tiêu của việc thiết lập công trình đệm.

Công trình đệm có nhiều hình thức khác nhau, theo sự thay đổi diện tích, có thể chia thành hai loại: loại có diện tích thay đổi dần và loại có diện tích thay đổi đột ngột. Loại có diện tích thay đổi dần là chỉ trong suốt chiều dài của công trình đệm, diện tích mặt cắt ngang của công trình đệm thay đổi dần, diện tích ở đầu vào thường lớn hơn diện tích của hầm, còn diện tích ở đầu ra thường giống với diện tích của hầm, ví dụ như cấu trúc đệm hình phễu. Công trình đệm thay đổi đột ngột là khi diện tích mặt cắt ngang của công trình đệm và diện tích của hầm có sự thay đổi đột ngột, diện tích mặt cắt ngang ở phần đầu thường lớn hơn diện tích của hầm, và diện tích ở cuối cũng lớn hơn diện tích của hầm, ví dụ như cấu trúc đệm có mặt cắt mở rộng.

Công trình đệm cắt chéo cửa hầm hiện nay được sử dụng rộng rãi, vì diện tích mặt cắt ngang của công trình đệm phù hợp với diện tích của hầm, và thông qua việc thiết lập các lỗ thông để giảm áp suất và tạo ra sự thay đổi diện tích không gian xung quanh tàu, có thể phân loại là loại công trình đệm có diện tích thay đổi dần. Dữ liệu cụ thể được trình bày trong bảng 4-2-4 và bảng 4-2-5.

Bảng 4-2-4: Tóm tắt kết quả tính toán gradient áp suất và đỉnh sóng áp suất thấp ($\beta = 0.23$, $L_T = 540$m, $v = 200$km/h)

Loại cấu trúc đệm	Hình phễu			Hình vuông			Hình vòm		
Chiều dài cấu trúc đệm	1*D*	2*D*	3*D*	1*D*	2*D*	3*D*	1*D*	2*D*	3*D*
Giới hạn áp suất tối đa (kPa/s)	6.5	6.2	6.2	6.7	6.4	6.4	6.7	6.4	6.4
Đỉnh sóng áp suất vi mô (Pa)	36.4	34.7	34.7	37.8	35.9	35.9	37.8	35.9	35.9

Bảng 4-2-5: Tóm tắt kết quả tính toán gradient áp suất và đỉnh sóng áp suất thấp ($\beta = 0.23$, $L_T = 540$m, $v = 200$km/h)

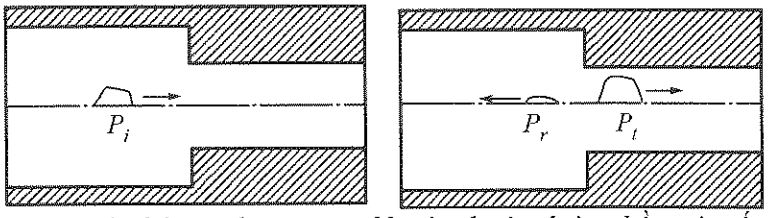
Loại cấu trúc đệm	2D Mở hai bên vòm			2D Mở phía trên vòm		
Tỷ lệ mở	0.25	0.33	0.4	0.25	0.33	0.4
Giới hạn áp suất tối đa (kPa/s)	5.4	4.7	4.3	5.5	5.0	4.7
Đỉnh sóng áp suất vi mô (Pa)	30.2	26.5	23.9	30.9	28.4	26.5

Trong bảng: D - đường kính thủy lực của hầm.

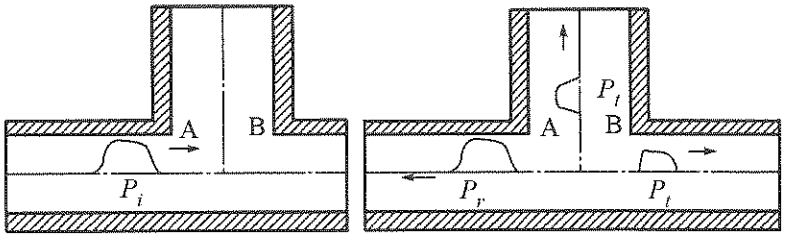
Thông qua việc tối ưu hóa tỷ lệ mở của cấu trúc đệm hình thang có lỗ mở, có thể thấy rằng cấu trúc đệm hình thang có lỗ mở sẽ hiệu quả hơn so với cấu trúc đệm hình phễu. Tuy nhiên, do quy trình thi công phức tạp, nên trong các công trình thực tế, loại cấu trúc này ít được sử dụng.

3.2. Công trình đệm trong thân hầm

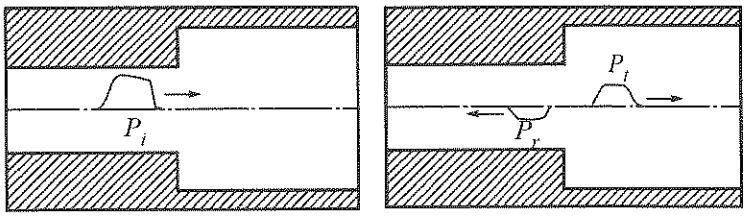
Công trình đệm trong thân hầm bao gồm giếng thông gió, các đường hầm nối ngang, v.v. Trong nhiều trường hợp, giếng thông gió là những công trình phụ được xây dựng trong giai đoạn đầu và có thể được tận dụng trong quá trình vận hành. Hơn nữa, hiệu quả của chúng trong việc giảm tác động khí động học là khá rõ ràng, và dưới đây sẽ được giới thiệu chi tiết.



a) Sơ đồ sóng nén và phản xạ được tạo ra khi tàu đi vào đường hầm có giếng thông gió



b) Sự lan truyền và phản xạ của sóng tại điểm kết nối giữa giếng và hầm



c) Sự lan truyền và phản xạ của sóng ở lối ra đường hầm và đầu mở của giếng

Hình 4-2-6: *Sơ đồ quy luật phản xạ và lan truyền sóng tại đoạn diện tích đột ngột thay đổi*

Khi tàu vào hầm có giếng thông gió, sóng nén hình thành như mô tả trong Hình 4-2-6a. Trong Hình 4-2-6, P_i là sóng do tàu đi vào, P_r là sóng phản xạ, và P_t là sóng nén. Khi sóng lan truyền đến điểm kết nối giữa giếng và hầm, một phần sóng sẽ được phản xạ dưới dạng sóng giãn nở, trong khi phần còn lại tiếp tục lan truyền dưới dạng hai sóng nén về phía trước; một sóng sẽ lan truyền theo giếng, còn một sóng tiếp tục lan truyền về phía trước hầm như mô tả trong Hình 4-2-6b.

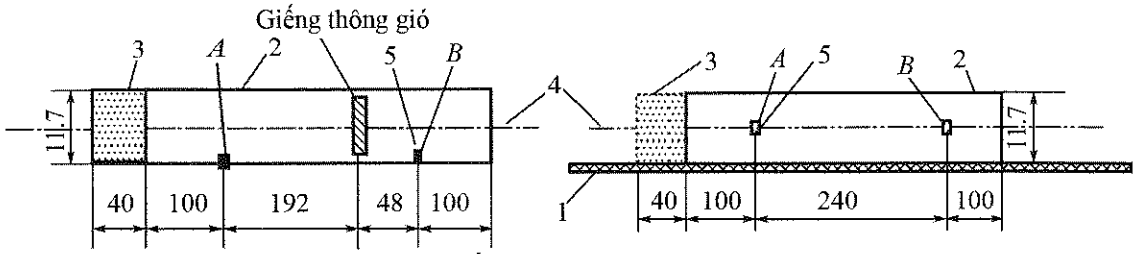
Khi sóng nén lan truyền dọc theo giếng đến đầu mở của giếng, sóng nén sẽ được phản xạ trở lại dưới dạng sóng giãn nở như Hình 4-2-6c. Sóng phản xạ này lan truyền xuống dưới giếng và đến điểm kết nối giữa giếng và hầm, sau đó phản xạ lại dưới dạng sóng nén và truyền theo hai sóng giãn nở đến hai đầu của hầm, rồi lại tiếp tục lan truyền ngược trở lại giếng. Quá trình này lặp lại liên tục.

Có thể thấy rằng nguyên lý cơ bản của việc lắp đặt giếng thông gió là sử dụng giếng để giải phóng một phần năng lượng của sóng nén được tạo ra khi tàu vào hầm, từ đó giảm giá trị đỉnh sóng nén, giúp giảm gradient áp suất và giá trị đỉnh sóng áp suất thấp. Mặt khác, khi cài đặt công trình đệm ở cửa hầm, công trình này sẽ làm kéo dài thời gian tạo ra sóng nén, giúp không gian xung quanh tàu giảm dần, từ đó giảm gradient áp suất và giá trị đỉnh sóng áp suất thấp.

Về lý thuyết, diện tích giếng càng lớn, năng lượng giải phóng càng nhiều, và hiệu quả giảm sóng áp suất thấp càng rõ rệt. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng khi tàu đi qua dưới giếng để vào hầm, đây cũng là một quá trình không gian bị thu hẹp đột ngột, tương tự như khi tàu vào hầm từ cửa hầm. Nếu diện tích giếng quá lớn, khi tàu đi qua sẽ tạo ra sóng phụ rất mạnh, không đạt được mục đích giảm sóng áp suất thấp, vì vậy phải chọn diện tích giếng một cách hợp lý. Nguyên tắc cơ bản khi chọn diện tích giếng là: làm sao cho gradient áp suất của sóng nén sau khi giảm dần và gradient áp suất của sóng phụ do tàu đi qua giếng gần như tương đồng, điều này có nghĩa là diện tích giếng đã được chọn hợp lý.

Để minh họa hiệu quả và nguyên lý của giếng thông gió và công trình đệm ở cửa hầm trong việc giảm sóng nén và gradient áp suất, dưới đây là ví dụ từ nghiên cứu thử nghiệm mô hình.

Mô hình hầm và công trình đệm có tổng chiều dài 4.8m, trong đó công trình đệm ở cửa hầm dài 40cm. Giếng thông gió được đặt ở giữa hầm, cách cửa hầm 292cm, và tỷ lệ mở của giếng là 7%. Trong thử nghiệm, hai điểm đo được đặt trước và sau giếng. Cấu hình của bàn thử nghiệm như Hình 4-2-7. Diện tích mặt cắt ngang của công trình đệm tương đương với hầm, với công trình đệm dạng cửa sổ ở phía trên.



a) Bàn thử nghiệm nhìn từ trên xuống *b) Mặt bên của bàn thử nghiệm*

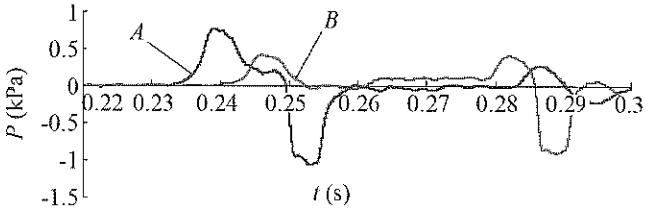
Hình 4-2-7: *Sơ đồ bố trí thử nghiệm mô hình (Đơn vị kích thước: cm):*
1- bàn thử nghiệm mô hình; 2 - mô hình hầm;
3- công trình đệm; 4- dây thép định hướng; 5- điểm đo.

Nghiên cứu cho thấy áp suất sóng áp suất thấp tỷ lệ thuận với gradient sóng nén, vì vậy gradient sóng nén được sử dụng làm chỉ số để đo lường hiệu quả giảm sóng áp suất thấp.

Để phân biệt hiệu quả của công trình đệm và giếng thông gió trong việc giảm hiệu ứng khí động học, thử nghiệm được thực hiện trong hai trường hợp:

(1) Không lắp đặt công trình đệm ở cửa hầm, chỉ lắp giếng thông gió (các yếu tố khác không thay đổi)

Kết quả thử nghiệm mô hình cho thấy đường cong dao động áp suất tại các điểm đo A và B như mô tả trong Hình 4-2-8.

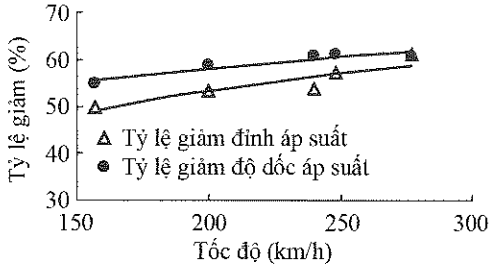


Hình 4-2-8: *Đường cong thời gian sóng nén thử nghiệm mô hình (v = 212 km/h)*

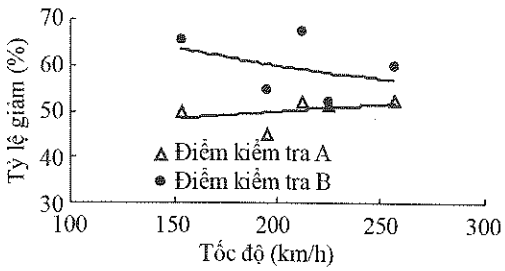
Từ đường cong có thể nhậ thấy: tại điểm đo B, áp suất xuất hiện hai đỉnh áp suất. Đỉnh áp suất đầu tiên tại điểm B là do sóng đầu tiên khi tàu vào hầm gây ra, còn đỉnh áp suất thứ hai là do tàu đi qua giếng thông gió gây ra. Hai đỉnh áp suất này gần như tương đồng, chứng tỏ việc lựa chọn diện tích mở của giếng thông gió là hợp lý.

(2) Cài đặt công trình đệm và giếng thông gió trong hầm (các yếu tố khác không thay đổi)

So sánh giữa hai tình huống: một là chỉ có giếng thông gió mà không có công trình đệm, và hai là cả giếng thông gió và công trình đệm ở cửa hầm. Hiệu quả giảm đỉnh áp suất đầu tiên và giảm đỉnh gradient áp suất của giếng thông gió trong các tình huống này như được mô tả trong Hình 4-2-9.



a) Có giếng thông gió, không có công trình đệm ở cửa hầm

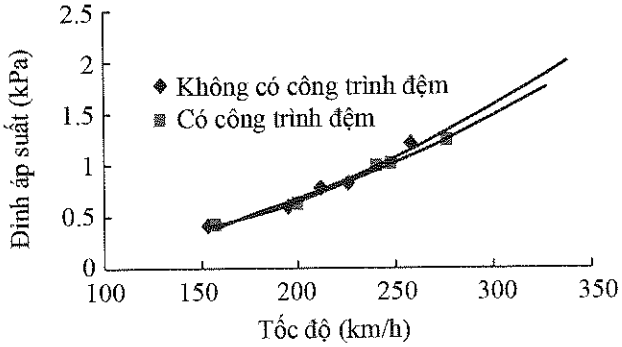


b) Có cả giếng thông gió và công trình đệm ở cửa hầm

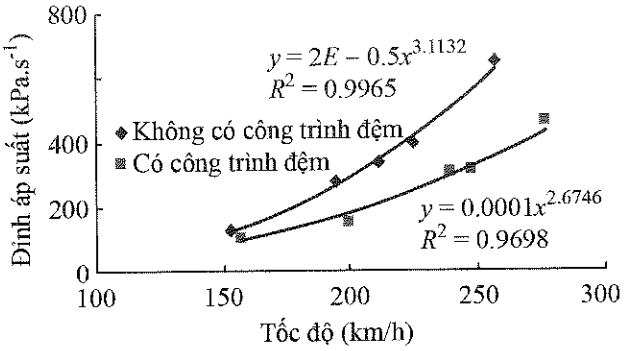
Hình 4-2-9: *So sánh hiệu quả giảm đỉnh áp suất đầu tiên và đỉnh gradient áp suất của giếng thông gió*

Có thể thấy rằng, việc có hay không có công trình đệm ở cửa hầm không ảnh hưởng rõ rệt đến tỷ lệ giảm đỉnh áp suất đầu tiên và gradient áp suất. Điều này cho thấy công trình đệm không có tác dụng lớn trong việc giảm đỉnh sóng nén, trong khi giếng thông gió có tác dụng rõ rệt trong việc giảm đỉnh sóng nén, có thể giảm từ 50% đến 70%, và hiệu quả giảm đỉnh sóng nén và gradient áp suất gần như đồng nhất.

Hiệu quả của công trình đệm trong việc giảm đỉnh áp suất đầu tiên là không rõ rệt, nhưng hiệu quả trong việc giảm gradient áp suất là rõ rệt như thể hiện trong Hình 4-2-10 và Hình 4-2-11. Việc cài đặt công trình đệm đã kéo dài thời gian tạo ra sóng nén, do đó có thể giảm đáng kể gradient áp suất.



Hình 4-2-10: *Hiệu quả đỉnh áp suất*



Hình 4-2-11: *Hiệu quả đỉnh gradient áp suất*

4. Lựa chọn diện tích mở của công trình đệm

Diện tích mở của công trình đệm bao gồm diện tích mở của giếng thông gió, diện tích mở của công trình đệm cửa hầm kiểu bậc thang, diện tích mở của các đường hầm nối ngang, v.v. Thông qua việc giải thích cơ chế giảm tác động khí động học của giếng thông gió, diện tích mở hợp lý là yếu tố đảm bảo rằng giá trị đỉnh gradient áp suất của sóng đầu tiên và sóng phụ gần như tương đồng; đối với

việc lắp đặt công trình đệm cửa hầm kiểu bậc thang, cũng có vấn đề kiểm soát sóng đầu tiên khi tàu vào công trình đệm và sóng phụ do công trình đệm tạo ra khi xuyên vào hầm (đối với công trình đệm kiểu dần thay đổi không có vấn đề này). Vì vậy, việc lựa chọn diện tích mở rất quan trọng.

Tỷ lệ mở là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu quả của công trình đệm, và tỷ lệ mở tối ưu có liên quan đến chiều dài công trình đệm, hình dạng mở, kích thước diện tích mở cửa vào công trình đệm, tốc độ tàu, tỷ lệ tắc nghẽn, v.v. Một số dữ liệu so sánh đã được cung cấp trong bảng 4-1-12 trước đó.

Lấy chiều dài công trình đệm bằng 1 lần đường kính thủy lực của hầm làm ví dụ, tính toán hiệu quả giảm gradient áp suất của các tỷ lệ mở khác nhau như thể hiện trong bảng 4-2-6.

Bảng 4-2-6: Ảnh hưởng của diện tích mở của công trình đệm đối với hiệu quả giảm gradient áp suất

A_h/A_t		0.2	0.25	0.3	0.33	0.41	0.5	0.6
Mở hai bên	Giới hạn áp suất tối đa (kPa/s)	6.78	6.70	6.34	6.37	6.45	6.49	6.99
	Giá trị tương đối	0.625	0.618	0.584	0.587	0.595	0.598	0.644
	Đỉnh sóng áp suất vi mô (Pa)	38.1	37.6	35.6	35.8	36.3	36.5	39.3
Mở phía trên	Giới hạn áp suất tối đa (kPa/s)	6.40	6.26	5.99	5.90	-	-	-
	Giá trị tương đối	0.59	0.577	0.552	0.544	-	-	-
	Đỉnh sóng áp suất vi mô (Pa)	36.0	34.8	33.7	33.27	-	-	-

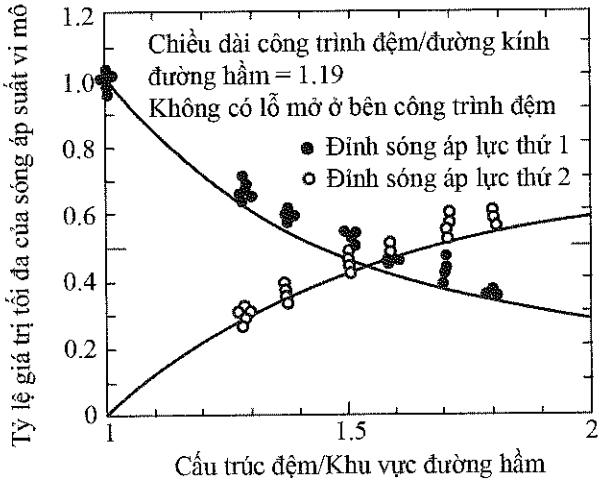
Chú thích: *Giá trị tương đối so với việc không lắp đặt công trình đệm. A_h là diện tích mở, A_t là diện tích mặt cắt hầm.*

Vì có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn tỷ lệ mở của công trình đệm, trong ứng dụng thực tế, cần kết hợp các tham số chạy tàu và đặc điểm của tuyến đường, thực hiện các phép tính và thử nghiệm cần thiết để xác định các tham số tối ưu.

5. Diện tích cửa vào của công trình đệm A_h

Dù là công trình đệm kiểu bậc thang hay công trình đệm kiểu dần thay đổi diện tích, việc lựa chọn diện tích cửa vào của công trình đệm là rất quan trọng. Khi tàu từ ngoài hầm vào công trình đệm kiểu dần thay đổi diện tích, chỉ có một lần thay đổi diện tích. Trong khi đó, khi tàu vào đoạn công trình đệm kiểu bậc thang, tàu sẽ trải qua hai lần thay đổi diện tích: từ không gian tự do của hầm vào công trình đệm → công trình đệm → hầm, và sẽ tạo ra hai đỉnh sóng áp suất tương ứng.

Dựa trên tài liệu thử nghiệm mô hình của Nhật Bản (hầm sau, dài 8900m, đường ray bản, diện tích hầm A_t = 60,4m²), khi $A_h = 1{,}55A_t$, hai đỉnh áp suất là bằng nhau. Do đó, đối với công trình đệm kiểu bậc thang không có lỗ mở, chọn $A_h = 1{,}55A_t$ là giá trị tối ưu (Hình 4-2-12). Thông qua mô phỏng số ba chiều, cũng đã rút ra kết luận tương tự đối với công trình đệm có lỗ mở.



Hình 4-2-12: *Ảnh hưởng của diện tích cửa vào công trình đệm đối với hiệu quả giảm sóng áp suất nhỏ (Tài liệu thử nghiệm Nhật Bản)*

Lấy cấu trúc hình vuông làm ví dụ, giả sử V = 350 km/h, A_t = 100 m², diện tích mở A_h = 30 m², tỷ lệ mở A_h/A_t = 0,3, đã tiến hành tính toán hiệu quả của các cấu trúc đệm với các diện tích mặt cắt khác nhau (Bảng 4-2-7).

Bảng 4-2-7: Ảnh hưởng của diện tích cửa vào công trình đệm đối với gradient áp suất

Hạng mục	Không có thiết bị đệm	A_h/A_t				
		1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
Độ dốc áp suất (kPa/s)	12.6	8.6	8.5	8.3	8.06	8.23
Áp suất vi mô tại điểm cách cửa hầm 20m (Pa)	118	80	81	77	75	77
Tỷ lệ giảm vi áp sóng (%)	0	32.9	33.7	35.2	37.1	35.2

Chú thích: *Khi tính sóng áp suất nhỏ tại 20m cửa hầm, sử dụng công thức:*

$$P(r,t) = \frac{2S}{\Omega cr}\left[\frac{dp}{dt}\right]_{ex}, \text{ với } \Omega = \pi.$$

Kết luận: Tính toán cho thấy, hiệu quả tốt nhất đạt được khi $A_h = 1.6A_t$, kết quả này cơ bản phù hợp với kết luận từ dữ liệu thử nghiệm mô hình của hầm sau Nhật Bản. Dựa trên kết quả tính toán, khi $A_h = 1.1A_t$, công trình đệm có cửa mở đã có hiệu quả rõ rệt (so với hiệu quả tối ưu chênh lệch khoảng 11%). Trong ứng dụng thực tế, diện tích cửa vào của công trình đệm quá lớn có thể gây ảnh hưởng nhất định đến thi công và an toàn kết cấu, vì vậy, trong các dự án thực tế, cần xem xét các yếu tố đa chiều và lựa chọn diện tích cửa vào công trình đệm phù hợp.

6. Chiều dài của công trình đệm

Tuyến đường sắt cao tốc Nhật Bản sử dụng công thức kinh nghiệm sau để tính chiều dài công trình đệm kiểu bậc thang L_h:

$$L_h = d\left[\left(\frac{v}{v^*}\right)^3 - 1\right]_{d<L_h<50m} \tag{4-2-4}$$

trong đó:

L_h - chiều dài công trình đệm;

d - đường kính chuyển đổi của hầm;

v - tốc độ tàu;

v^* - tốc độ giả của tàu, tức là tốc độ của tàu tương ứng với giá trị đỉnh sóng áp suất nhỏ cho phép trong trường hợp không có công trình đệm (ví dụ, tại vị trí cách cửa hầm 20m, $P_{max} = 50$Pa).

Đối với một số tình huống của đường sắt cao tốc ở Trung Quốc, chiều dài thiết kế của công trình đệm được đề xuất như trong Bảng 4-2-8.

Bảng 4-2-8: Chiều dài công trình đệm áp dụng cho đường ray đá dăm

Tốc độ tàu (km/h)	200		250		300		350	
Diện tích không gian đường hầm A_t (m²)	52	80	52	80	70	100	70	100
Chiều dài tính toán bộ giảm chấn L (m)	-	-	2.6	-	7.9	5.3	18	15
Chiều dài thiết kế bộ giảm chấn L (m)	-	-	d	-	d	d	20	20

Chú thích: *d là đường kính thủy lực của hầm.*

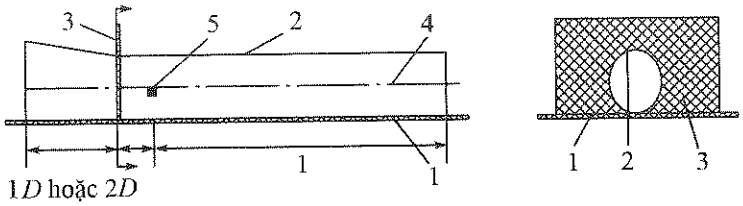
Bảng trên chỉ áp dụng cho trường hợp có đường ray đá dăm. Đối với đường ray bản, cần xem xét tác động làm gia tăng sóng áp suất nhỏ khi chiều dài hầm tăng lên.

III. ỨNG DỤNG THIẾT KẾ CÔNG TRÌNH ĐỆM

1. Thiết kế công trình đệm hình phễu

Khi tàu vào hầm, không khí phía trước tàu sẽ bị nén và chỉ có thể di chuyển về phía trước theo đường hầm hoặc chảy ngược lại qua không gian vòng giữa tàu và vách hầm. Trước khi đầu tàu vào hầm, diện tích dòng chảy hiệu quả giữa đầu tàu và cửa hầm sẽ dần dần giảm, do đó, sự gia tăng áp suất không phải xảy ra ngay lập tức mà liên quan đến hình dạng đầu tàu và diện tích mặt cắt của hầm. Sóng nén tạo ra sẽ lan truyền theo chiều dài hầm với tốc độ âm thanh so với dòng khí địa phương, và sẽ nén và tăng tốc không khí phía trước tàu trong hầm. Khi tàu tiếp tục di chuyển vào trong hầm, chiều dài không gian vòng sẽ dần tăng lên, ma sát giữa tàu và vách hầm tạo ra một gradient áp suất dọc theo không gian vòng này; do đó, áp suất phía trước tàu sẽ dần dần tăng lên để duy trì gradient áp suất này cho đến khi toàn bộ chiều dài của tàu vào hầm.

Các thử nghiệm mô hình đã thử nghiệm ba tình huống: không có công trình đệm ở cửa hầm (tức là không có công trình đệm trong hình), và các công trình đệm hình phễu với chiều dài 1 lần và 2 lần chiều dài. Bố trí các điểm thử nghiệm mô hình được trình bày trong hình 4-2-13, và hình 4-2-14 liệt kê kết quả thử nghiệm áp suất và gradient áp suất trong ba tình huống này.

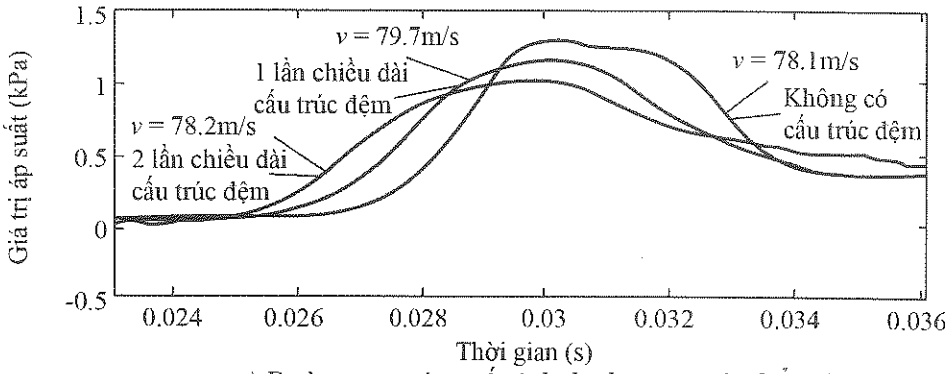


Hình 4-2-13: *Bố trí điểm đo thử nghiệm mô hình (A_h/A_t = 1.6):*
1- bàn thử nghiệm mô hình; 2- mô hình đường hầm;
3- tấm chắn phía trước của hầm; 4- dây thép định hướng; 5- điểm đo.

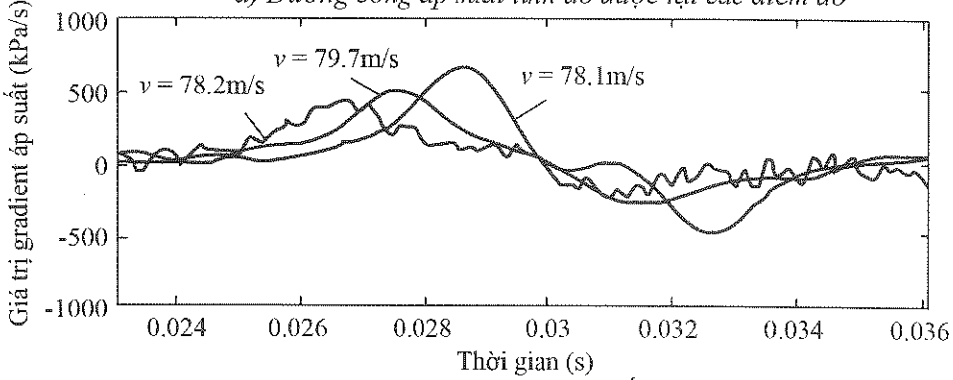
Hình 4-2-14a thể hiện đường cong áp suất tĩnh đo được tại các điểm đo, Hình 4-2-14b là đường cong gradient áp suất tương ứng.

Từ hình vẽ có thể thấy rằng:

(1) Áp suất tại điểm đo đầu tiên trải qua quá trình tăng dần (tức là độ dốc áp suất liên tục tăng lên), sau đó dần dần giảm. Kích thước của đỉnh áp suất, trong đó giá trị độ dốc áp suất lớn nhất càng lớn, thường sẽ tạo ra đỉnh sóng áp suất nhỏ tại cửa ra của đường hầm càng lớn. Quá trình tăng dần áp suất này cơ bản quyết định sóng áp suất nhỏ gây ra bởi sóng nén ban đầu tại cửa ra của đường hầm.



a) Đường cong áp suất tĩnh đo được tại các điểm đo



b) Đường cong gradient áp suất tương ứng

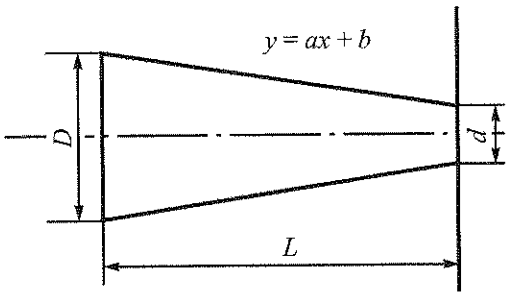
Hình 4-2-14: *So sánh kết quả đo thử nghiệm mô hình.*

(2) Khi có cấu trúc giảm chấn, thời gian tăng áp suất và thời gian đạt giá trị độ dốc áp suất cực đại xảy ra sớm hơn rõ rệt so với khi không có cấu trúc giảm chấn. Điều này chủ yếu là do sau khi lắp đặt cấu trúc giảm chấn tại cửa hầm, không khí phía trước tàu sẽ bị nén sớm hơn so với trường hợp không có cấu trúc giảm chấn.

(3) Cấu trúc giảm chấn hình phễu có tác dụng giảm rõ rệt cả giá trị áp suất tối đa và giá trị độ dốc áp suất tối đa. Khi diện tích mặt cắt tại cửa cấu trúc giảm chấn không thay đổi, càng dài cấu trúc giảm chấn, giá trị áp suất tối đa và giá trị độ dốc áp suất tối đa thường sẽ càng nhỏ, nhưng so với mức độ tăng trưởng của chiều dài cấu trúc giảm chấn, hiệu quả giảm này sẽ càng ngày càng nhỏ.

Cấu trúc giảm chấn hình phễu có tác dụng giảm độ dốc áp suất tối đa rõ rệt hơn so với áp suất tối đa; cấu trúc giảm chấn dài gấp đôi có hiệu quả tốt hơn cấu trúc giảm chấn dài một lần. Khi sử dụng cấu trúc giảm chấn dài một lần, độ dốc áp suất tại cửa hầm sẽ giảm xuống khoảng 70% so với khi không có cấu trúc giảm chấn, tương đương với việc giảm tốc độ tàu xuống khoảng 89% so với tốc độ hiện tại; khi sử dụng cấu trúc giảm chấn dài gấp đôi, độ dốc áp suất tại cửa hầm sẽ giảm xuống khoảng 50% so với khi không có cấu trúc giảm chấn, tương đương với việc giảm tốc độ tàu xuống khoảng 79% so với tốc độ hiện tại.

Để kiểm tra hiệu quả của cấu trúc giảm chấn và tỷ lệ thay đổi diện tích cũng như chiều dài đối với việc giảm thiểu hiệu ứng khí động học, Nhật Bản đã tiến hành nhiều thử nghiệm. Trong thử nghiệm, hai dạng đường cơ sở và ba chiều dài của cấu trúc giảm chấn trong đường hầm đã được chọn, như hình 4-2-15 thể hiện.



Hình 4-2-15: *Sơ đồ cấu trúc giảm chấn*

Chiều dài của cấu trúc giảm chấn được chia thành ba loại:

① $L = 70$mm, $L/d = 1.11$;

② $L = 140$mm, $L/d = 2.22$;

③ $L = 210$mm, $L/d = 3.33$;

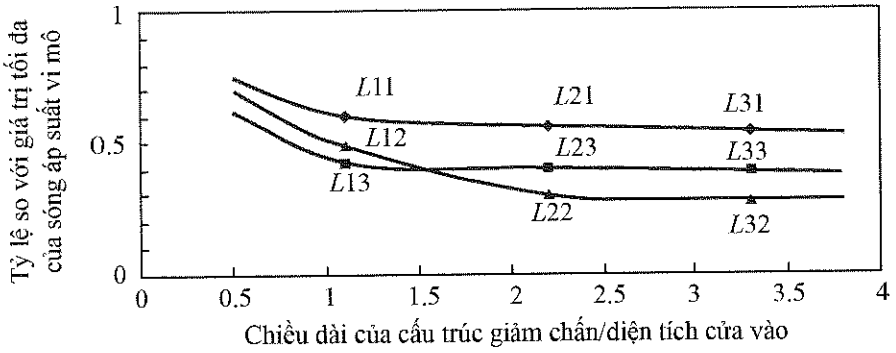
Đồng thời, diện tích cửa vào được chia thành ba loại:

① $D = 77.2$mm, $(D/d)^2 = 1.5$;

② $D = 89.0$mm, $(D/d)^2 = 2.0$;

③ $D = 99.6$mm, $(D/d)^2 = 2.5$.

Kết quả thử nghiệm cho thấy đường cong thử nghiệm như trong hình 4-2-16, với ký hiệu L12, có ý nghĩa là: ký hiệu đầu tiên đại diện cho lựa chọn chiều dài cấu trúc giảm chấn; ký hiệu thứ hai đại diện cho lựa chọn diện tích cửa vào của cấu trúc giảm chấn.

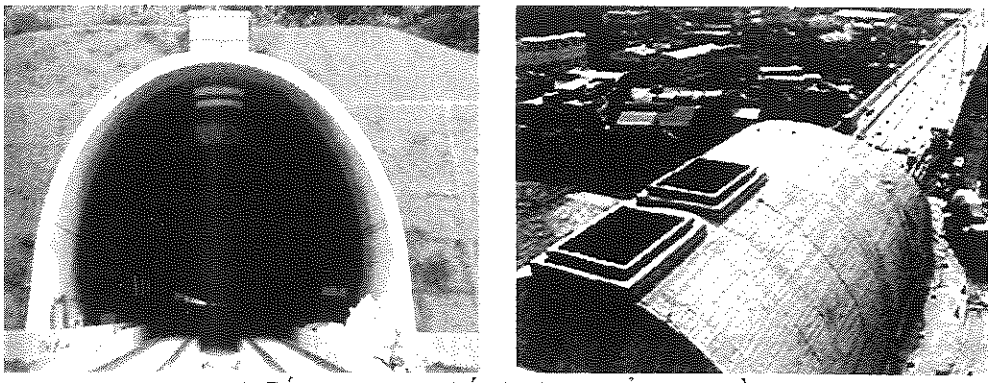


Hình 4-2-16: *Mối quan hệ giữa chiều dài cấu trúc giảm chấn và đỉnh sóng áp suất vi mô*

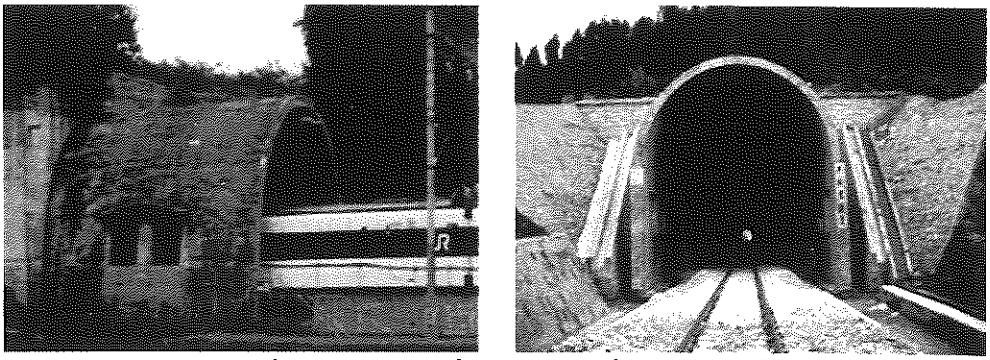
Kết quả thử nghiệm cho thấy, cấu trúc giảm chấn với đường cơ sở thẳng có thể giảm sóng áp suất nhỏ xuống khoảng 30%. Đồng thời, chiều dài của cấu trúc giảm chấn và diện tích cửa vào có ảnh hưởng lớn đến hiệu quả của cấu trúc giảm chấn.

2. Cấu trúc giảm chấn hình cửa sổ

(1) Cấu trúc giảm chấn hình cửa sổ như hình 4-2-17



a) Cấu trúc giảm chấn hình cửa sổ ở trên hầm



b) Cấu trúc giảm chấn hình cửa sổ ở hai bên hầm

Hình 4-2-17: *Hình thức ứng dụng cấu trúc giảm chấn hình cửa sổ trong công trình*

Tùy theo hình thức của các cửa sổ mà có thể chia thành: mỗi bên mở 1 cửa sổ, mỗi bên mở 2 cửa sổ, hoặc mở 1 cửa sổ ở phía trên, v.v.

(2) Ảnh hưởng của cấu trúc đệm cửa sổ hình vòm

Đối với cấu trúc đệm cửa sổ, hình dạng cửa sổ là hình chữ nhật, các tham số chính bao gồm:

① Tỷ lệ mở, tỷ lệ mở $= \dfrac{\text{Diện tích cửa sổ}}{\text{Diện tích đường hầm}}$

② Chiều dài cấu trúc đệm L_h, thường lấy L_h = 1D, 2D, 3D.

③ Diện tích cửa vào của thiết bị đệm đường hầm:

trong đó: D - đường kính tương đương của đường hầm:

$$D = 2 \times \text{Đường kính thủy lực của đường hầm} = 2 \times \frac{\text{Diện tích đường hầm}}{\text{Chu vi ướt}}$$

Qua rất nhiều nghiên cứu và phân tích, các kết quả cho thấy: khi tỷ lệ diện tích cửa vào của thiết bị đệm so với diện tích đường hầm xấp xỉ 1.5, hiệu quả giảm sóng áp suất thấp của thiết bị đệm là tốt hơn.

Dưới đây, chúng tôi sẽ trình bày phương pháp thiết kế cụ thể của thiết bị đệm kết hợp với nghiên cứu đặc tính khí động học của cửa đường hầm ở tuyến đường sắt Tô Ninh - Trùng Khánh với tốc độ 200 km/h.

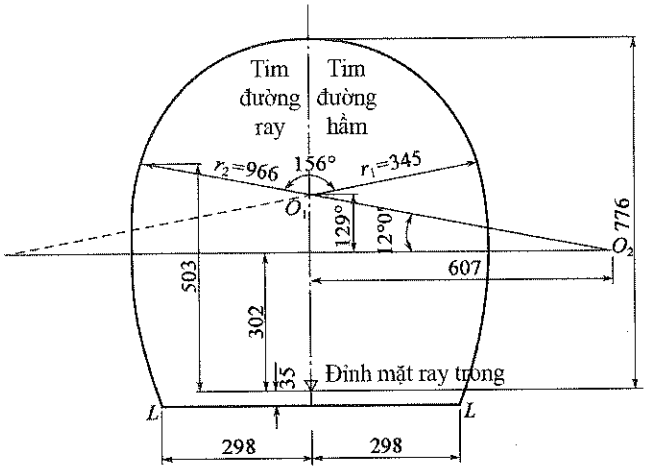
3. Ví dụ thực tế thiết kế kết cấu đệm

Dự án xây dựng tuyến đường sắt Tô Ninh - Trùng Khánh là dự án đầu tiên trong nước sử dụng phương pháp thử nghiệm mô hình và mô phỏng số để nghiên cứu và phân tích chi tiết các sóng áp suất vi mô tại cửa hầm của các tàu chạy với tốc độ 200 km/h vào hầm, cũng như tối ưu hóa các thiết bị đệm. Thông qua việc lắp đặt các thiết bị đệm, kích thước mặt cắt hầm đã được giảm bớt, tiết kiệm chi phí xây dựng và đạt được hiệu quả kinh tế và xã hội tốt.

Để hiểu rõ hơn về quy luật phân bố áp suất đột biến của sóng đầu tiên khi tàu vào hầm, đã thực hiện tính toán số và thử nghiệm mô hình đối với tình huống không có cấu trúc đệm trong hầm (sử dụng đầu máy "Hành trình Trung Hoa", chiều dài hầm 540m), với tỷ lệ mô phỏng là 1/73. Các tham số của mặt cắt hầm và tính toán được trình bày trong bảng 4-2-9 và hình 4-2-18.

Bảng 4-2-9: Danh sách nội dung tính toán số

Dự án	Mặt cắt đường hầm (m^2)	Đầu máy xe lửa	Tỷ lệ tắc nghẽn	Chiều dài đường hầm (m)	Tốc độ tàu (km/h)
Không có bộ giảm chấn	48.6	Hành trình Trung Hoa	0.23	540	160/200/250



Hình 4-2-18: Sơ đồ giới hạn không gian cắt của đường hầm đơn tuyến tại tuyến Tô Ninh - Trùng Khánh

Sử dụng phần mềm phân tích số, đã tính toán được giá trị đỉnh sóng vi áp khi tàu đi vào hầm ở các tốc độ khác nhau mà không có thiết bị đệm. Kết quả thử nghiệm và tính toán được trình bày trong Bảng 4-2-10.

Bảng 4-2-10: Dữ liệu thử nghiệm mô hình và phân tích số liệu về giá trị cực đại của sóng áp suất nhỏ (β = 0.23)

So sánh tốc độ tàu	160 km/h	200 km/h	250 km/h
Giá trị thử nghiệm mô hình	23	58.4	89.9
Giá trị tính toán số	24.5	63.1	90.8

Chú thích: *Các điểm đo trong bảng là giá trị sóng áp suất nhỏ tại vị trí cách cửa ra của đường hầm 20m.*

Để nghiên cứu tác động của việc lắp đặt các cấu trúc đệm, đối với sóng áp suất nhỏ tại tuyến đường Tô Ninh - Trùng Khánh (với tốc độ 200 km/h, β = 0.23), các điều kiện thử nghiệm mô hình và kết quả thử nghiệm mô hình đã được đề xuất như trong bảng 4-2-11 và bảng 4-2-12.

Bảng 4-2-11: Bảng nội dung thử nghiệm mô hình

Cấu trúc đệm	Hình nón	Hình vuông	Mở hình vuông	Cấu trúc đệm mở hình vòm
				Mở hai bên đôi
Chiều dài cấu trúc đệm	1*D*/2*D*/3*D*	1*D*/2*D*	2*D*	1*D*
Tỷ lệ mở	-	-	0.25	0.33
Diện tích mặt cắt đường hầm (cm^2)	92			
Tỷ lệ chặn	0.26			
Chiều dài đường hầm (m)	3.54			
Tốc độ tàu (km/h)	200			
Số nhóm thử nghiệm	Mỗi 8 lần			

Bảng 4-2-12: Tổng hợp kết quả thử nghiệm giá trị đỉnh sóng áp suất nhỏ (v = 200 km/h, β = 0.23)

Cấu trúc đệm	Hình nón			Hình vuông		Mở cửa hình vuông	Mở cửa hình vòm
	1D	2D	3D	1D	2D	2D	2D
Giá trị sóng áp suất nhỏ (Pa)	38.7	29.2	19.0	40.2	32.1	21.9	35.8
Có đáp ứng yêu cầu không	√	√	√	√	√	√	√

Chú thích: Điểm đo cách tâm cửa hầm 20m, dựa trên tiêu chuẩn sóng áp suất nhỏ không có công trình (< 50Pa) để xác định có đạt yêu cầu hay không.

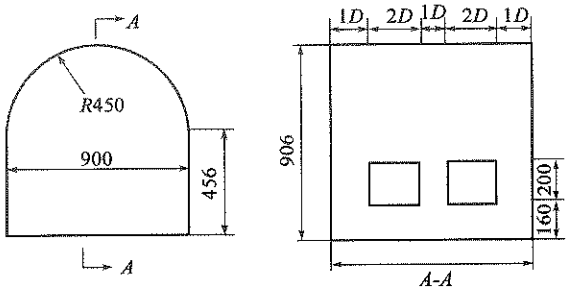
Kết quả phân tích số liệu về gradient áp suất của các cấu trúc đệm với tỷ lệ mở khác nhau khi mở cửa ở hai bên và trên đỉnh được trình bày trong bảng 4-2-13.

Bảng 4-2-13: Bảng tổng hợp kết quả tính toán gradient áp suất và giá trị đỉnh sóng áp suất vi mô (β = 0.23, L_T = 540m, v = 200 km/h)

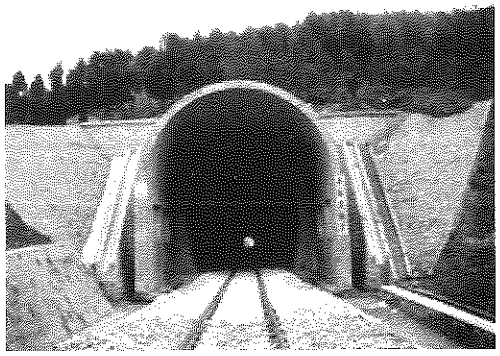
Cấu trúc giảm chấn	1D vòm hai bên mở			1D vòm mở trên cùng			1D vòm mở đôi
Tỷ lệ mở (%)	25	33	40	25	33	40	33
Gradient áp suất tối đa (kPa/s)	5.2	5.4	5.7	5.7	5.5	5.9	5.2
Giá trị sóng áp suất nhỏ nhất (Pa)	29.3	30.2	32.1	32.1	30.9	33.4	29.0

Chú thích: *Điểm đo cách trung tâm cửa hầm 20m.*

Dựa trên địa hình và điều kiện địa chất của cửa hầm, chiều dài của các cơ cấu đệm tại cửa hầm được thiết lập bằng 1 lần đường kính tương đương của hầm (tức là hai lần đường kính thủy lực của hầm). Diện tích tiết diện thực tế của cấu trúc đệm là 72,85 m², lớn hơn 1,5 lần diện tích mặt cắt của hầm tuyến Tô Ninh - Trùng Khánh, chiều dài là 8m, tỉ lệ mở là 0,33, hình thức mở cửa được thấy trong hình 4-2-19, và hình thức cấu trúc đệm được áp dụng thực tế trong hầm như hình 4-2-20.



Hình 4-2-19: *Sơ đồ cấu trúc đệm hình vòm với hai cửa mở, 1D (Đơn vị: cm)*



Hình 4-2-20: *Ví dụ về cấu trúc đệm tại cửa hầm tuyến Tô Ninh - Trùng Khánh*

Do tính phức tạp của các cơ sở hạ tầng công trình, việc lắp đặt cấu trúc đệm chịu ảnh hưởng từ nhiều yếu tố khác nhau. Khi lựa chọn hình thức cấu trúc đệm cụ thể, cần phải dựa trên điều kiện công trình, đưa ra các thông số như vị trí và hình thức của cấu trúc đệm ban đầu, sau đó kết hợp với các thử nghiệm, phân tích hiệu suất khí động học bằng phần mềm và chi phí công trình để tiến hành đánh giá tổng hợp, từ đó xác định phương án thiết kế cuối cùng.

CHƯƠNG 3. BẢO DƯỠNG VÀ SỬA CHỮA KẾT CẤU LỚP LÓT HẦM ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. HIỆN TRẠNG CÔNG TÁC BẢO DƯỠNG VÀ SỬA CHỮA LỚP LÓT HẦM

Hầm đường sắt là một thành phần quan trọng trong hệ thống tuyến đường sắt. Lớp lót của hầm, với vai trò là kết cấu chính chịu tải, cần được duy trì thường xuyên trong tình trạng ổn định và hoàn hảo trong suốt thời gian thiết kế quy định. Việc này nhằm đảm bảo cho tàu chạy an toàn, không bị gián đoạn với tốc độ quy định, đồng thời duy trì chức năng vận hành bình thường của tuyến đường sắt. Đó chính là lý do cần tiến hành công tác bảo dưỡng và sửa chữa lớp lót hầm.

Nguyên tắc cơ bản trong bảo dưỡng và sửa chữa hầm là kiểm tra, đánh giá các yếu tố có thể gây ảnh hưởng đến độ an toàn và độ bền của công trình. Từ đó, tiến hành các biện pháp phù hợp như sửa chữa định kỳ hoặc đại tu, nhằm bảo đảm chức năng và an toàn vận hành của hầm.

1. Tình hình bảo dưỡng và sửa chữa lớp lót hầm đường sắt cao tốc ở nước ngoài

Trong những năm gần đây, tại Nhật Bản đã xảy ra 3 vụ tai nạn nghiêm trọng liên quan đến việc lớp lót bê tông của hầm đường sắt cao tốc bị bong tróc, thu hút sự chú ý của Bộ Giao thông Nhật Bản.

- Ngày 27 tháng 6 năm 1999, tại hầm Fukuoka thuộc tuyến Sanyo Shinkansen, xảy ra sự cố lớp lót bê tông bong tróc, làm hư hại tàu hỏa nghiêm trọng.

- Ngày 9 tháng 10 cùng năm, tại hầm Kitakyushu thuộc tuyến Sanyo Shinkansen, lớp bê tông ở phần trên của tường bên bị bong tróc.

- Ngày 28 tháng 11, tại hầm Rebunbin thuộc tuyến Muroran, một mảng bê tông lớp lót ở phần vòm, nặng tới 2 tấn, bong tróc, gây ra sự cố trật bánh của đoàn tàu chở hàng.

Từ thập niên 1980, Nhật Bản đã bắt đầu áp dụng khái niệm về độ bền của kết cấu trong các hầm đường sắt cao tốc và hầm công trình thủy, để đánh giá tuổi thọ còn lại của kết cấu, đạt được những tiến bộ đáng kể. Đặc biệt, việc ứng dụng phương pháp hệ thống chuyên gia vào đánh giá độ bền của kết cấu đã mang lại hiệu quả rõ rệt.

Ở Mỹ, khái niệm về mức độ hư hại của kết cấu được sử dụng làm cơ sở nghiên cứu các phương pháp đánh giá tình trạng hư hại của công trình, và cũng đã thu được những tiến triển nhất định.

Tại châu Âu, Công ty Đường sắt Liên bang Thụy Sĩ đã ban hành các tiêu chuẩn kiểm tra và sửa chữa hầm. Việc kiểm tra hầm trong quá trình sử dụng được thực hiện từ các đợt kiểm tra thông thường đến kiểm tra định kỳ và kiểm tra liên tục không gián đoạn, cho đến theo dõi toàn bộ quá trình theo thời gian thực, với quy trình làm việc, cơ chế phản hồi và các biện pháp sửa chữa tương ứng. Tuy nhiên, nhìn chung, các nghiên cứu về tuổi thọ bền vững của công trình ngầm vẫn chưa đầy đủ.

Từ tình hình nghiên cứu ở các quốc gia, có thể thấy các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào các khía cạnh sau:

(1) Mô hình cơ bản của quản lý sửa chữa;

(2) Phân loại hiện tượng biến dạng kết cấu hầm và tiêu chuẩn hóa các hiện tượng đó;

(3) Nghiên cứu nguyên nhân gây biến dạng, mối quan hệ nhân quả giữa hiện tượng biến dạng và nguyên nhân;

(4) Phân cấp mức độ biến dạng của kết cấu và tiêu chí đánh giá;

(5) Các biện pháp phòng ngừa và khắc phục hiện tượng biến dạng kết cấu (sửa chữa, giải pháp ứng phó).

2. Các vấn đề chính trong công tác bảo dưỡng và sửa chữa hầm đường sắt ở nước ta

Hiện nay, tổng chiều dài các hầm đường sắt đã xây dựng ở nước ta đã vượt quá 4300 km, việc quản lý và sử dụng hiệu quả các hầm này là nhiệm vụ quan trọng của công tác bảo dưỡng và sửa chữa. Ngay từ giai đoạn thiết kế và thi công hầm, việc xem xét trước các vấn đề liên quan đến bảo dưỡng và sửa chữa sau khi hoàn thành nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho công tác bảo trì trong giai đoạn vận hành là vô cùng quan trọng. Đặc biệt, với kế hoạch xây dựng hơn 1000 km hầm đường sắt cao tốc trong tương lai, yêu cầu tiêu chuẩn cao hơn, nên công tác bảo dưỡng và sửa chữa cũng cần được chú trọng nhiều hơn. Hiện nay, các vấn đề chính tồn tại trong công tác bảo dưỡng và sửa chữa hầm ở nước ta bao gồm:

(1) Ứng dụng lý thuyết và phương pháp quản lý sửa chữa vào công tác bảo dưỡng hầm còn hạn chế:

Cần khẩn trương nâng cao việc áp dụng các lý thuyết và phương pháp quản lý sửa chữa vào công tác bảo dưỡng hầm. Trong quản lý sửa chữa, cần xây dựng một khái niệm mới, theo đó kết cấu hầm trong thời gian thiết kế quy định sẽ chịu tác động của các yếu tố làm suy giảm (như sự thay đổi của điều kiện môi trường), và mục tiêu là kiểm soát tình trạng suy giảm này trong phạm vi cho phép. Đồng thời, dựa trên yếu tố kinh tế, cần thiết lập các tiêu chuẩn về vật liệu, quy chuẩn thiết kế và công nghệ thi công, qua đó xác định các tiêu chuẩn quản lý sửa chữa tương ứng.

(2) Thiếu các phương pháp kiểm tra và phát hiện sớm hiện tượng biến dạng:

Do điều kiện vận hành trong hầm thường khó khăn (như độ ẩm cao, ánh sáng kém), nên rất khó phát hiện sớm các dấu hiệu và hiện tượng biến dạng. Do đó, việc hoàn thiện và cải tiến các phương pháp kiểm tra, phát hiện sớm các hiện tượng bất thường trong quá trình kiểm tra định kỳ là nhiệm vụ cấp bách.

(3) Phương pháp đánh giá và xác định tình trạng chức năng của các hầm hiện có còn nhiều hạn chế:

Hiện nay, việc đánh giá tình trạng và xác định chức năng của các hầm đang khai thác chưa đáp ứng được yêu cầu, cần phải nâng cao và hoàn thiện hơn nữa.

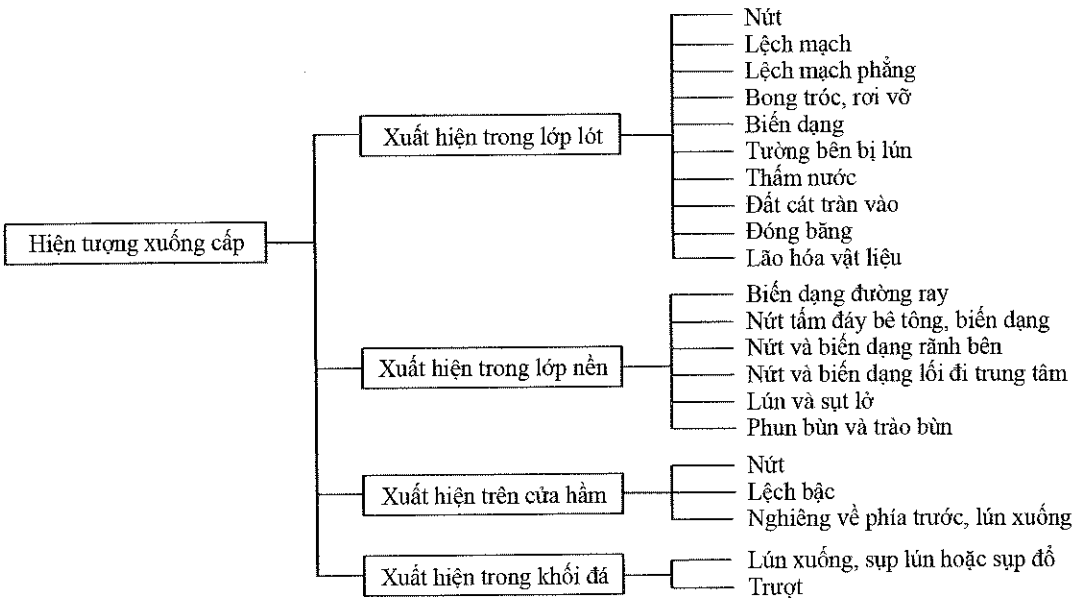
(4) Phương pháp khắc phục biến dạng hầm đường sắt còn lạc hậu:

So với các phương pháp khắc phục biến dạng của các công trình hầm ở nước ngoài và thậm chí là các công trình hầm khác trong nước, phương pháp sửa chữa hầm đường sắt của nước ta vẫn còn tụt hậu. Điều này không chỉ do đặc thù riêng của công trình hầm đường sắt mà còn vì thiếu sự nghiên cứu và hệ thống hóa các phương pháp, vật liệu và công nghệ sửa chữa. Việc tiêu chuẩn hóa các phương pháp sửa chữa đã được chứng minh là hiệu quả, tiên tiến là rất cần thiết.

II. HIỆN TƯỢNG VÀ NGUYÊN NHÂN SUY GIẢM CHẤT LƯỢNG CỦA KẾT CẤU LỚP LÓT HẦM

1. Hiện tượng và nguyên nhân suy giảm chất lượng của kết cấu bê tông

Phần lớn các công trình kết cấu hầm được xây dựng từ bê tông hoặc bê tông cốt thép. Do đó, việc nắm bắt các loại hiện tượng suy giảm của kết cấu bê tông cũng như các yếu tố ảnh hưởng đến độ bền là rất quan trọng trong việc tìm hiểu các hiện tượng và nguyên nhân gây suy giảm của kết cấu hầm. Hình 4-3-1 minh họa các loại hiện tượng suy giảm của hầm, còn Bảng 4-3-1 liệt kê các nguyên nhân gây suy giảm chất lượng của kết cấu bê tông.



Hình 4-3-1: *Phân loại hiện tượng suy giảm chất lượng của hầm*

Bảng 4-3-1: Nguyên nhân suy giảm chất lượng của kết cấu bê tông

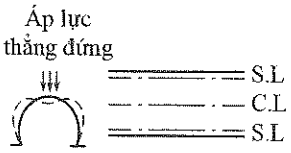
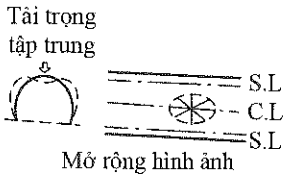
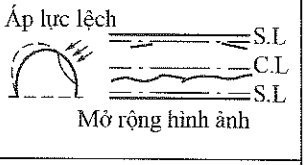
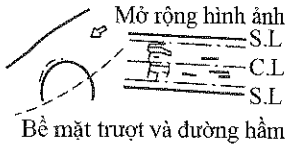
Hiện tượng suy giảm và lý do	Bê tông			Cốt thép			Kết cấu công trình
	Về mặt vật lý	Về mặt hóa học	Khác	Về mặt vật lý	Về mặt hóa học	Khác	
Hiện tượng suy giảm chất lượng	Đóng băng, mài mòn, sụp lở, nứt vỡ, ép nén	Ăn mòn, biến chất, hòa tan thành phần, suy giảm do giãn nở	Ăn mòn sinh học	Biến dạng dẻo, phá hủy.	Ăn mòn.	Ăn mòn sinh học.	Biến dạng, phá hủy, phá hủy liên kết bám dính của bê tông và thép cốt
Nguyên nhân bên ngoài.	Thời tiết, muối, mài mòn, bức xạ, tải trọng, nhiệt độ cao.	Axit, muối và các khí, chất lỏng độc hại, tác động của dòng điện do hòa tan.		Tác động tải trọng, nhiệt độ cao.	Không khí, nước, khí độc hại, tác động của dòng điện, thời tiết, ứng suất cao.	Tác động tải trọng, lún không đều, thay đổi nhiệt độ, ăn mòn thép.	
Nguyên nhân bên trong.	Tính chất bê tông, trạng thái chứa nước, lượng không khí, chất lượng vật liệu sử dụng, khuyết tật thi công.			Loại thép, kích thước và tính chất, các yêu cầu thiết kế, lớp bảo vệ bị nứt (bố trí thép), tính chất bê tông, thiết kế và khuyết tật thi công.			Tính chất của bê tông và thép, thiết kế, thi công.

Bảng 4-3-1 cho thấy rõ rằng nguyên nhân gây suy giảm chất lượng của kết cấu bê tông rất đa dạng và biểu hiện của chúng cũng khác nhau tùy từng trường hợp. Vì vậy, để nghiên cứu độ bền của các công trình kết cấu, cần thiết phải phân loại và tiêu chuẩn hóa một cách phù hợp các hiện tượng và nguyên nhân suy giảm, đồng thời tìm ra mối quan hệ nhân quả giữa chúng. Chỉ khi đó, các vấn đề mới có thể được giải quyết hiệu quả.

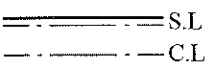
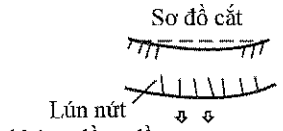
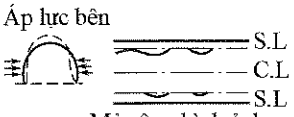
2. Hiện tượng và nguyên nhân suy giảm chất lượng của kết cấu hầm

Kết cấu hầm, thường được xây dựng từ bê tông hoặc bê tông cốt thép, nằm trong môi trường ngầm với điều kiện sử dụng khắc nghiệt hơn đáng kể so với các công trình trên mặt đất. Đặc biệt, các yếu tố địa chất đóng vai trò quan trọng và không thể bỏ qua. Do đó, hiện tượng suy giảm chất lượng của các công trình ngầm có những tính chất riêng biệt, đòi hỏi phải có phương pháp nghiên cứu và xử lý đặc thù (tham khảo Bảng 4-3-2).

Bảng 4-3-2: Nguyên nhân và đặc điểm suy giảm chất lượng của kết cấu hầm

Nguyên nhân		Khái quát	Ghi chú
Ngoại lực	Áp lực đất giảm	Áp lực đất giảm xảy ra khi đất xung quanh tự nhiên bị lún, không thể chịu được trọng lượng của chính nó, gây áp lực tải lên lớp lót, chủ yếu là áp lực thẳng đứng, khiến đỉnh vòm dễ bị nứt dọc.	
	Sụp lở đột ngột	Phần trên của hầm có các khoảng trống lớn, các khối đá trên khoảng trống có thể tách rời và rơi xuống, gây va đập lên lớp lót. Nếu lớp lót không đủ mạnh, có thể xảy ra sụp lở đột ngột.	
	Áp lực lệch, bề mặt dốc	Dưới bề mặt dốc, các lớp đá nghiêng tạo áp lực lệch, là nguyên nhân gây biến dạng hầm. Phía vai vòm sát núi có thể xuất hiện vết nứt ngang và hiện tượng lệch tầng.	
	Lở đất	Lở đất xảy ra khi đất sét bị giảm cường độ do tác động của nước ngầm, gây ra hiện tượng trượt dọc theo bề mặt trượt và dẫn đến biến dạng hầm. Biến dạng do lở đất phụ thuộc vào vị trí giữa hầm và bề mặt trượt.	

Bảng 4-3-2 *(tiếp theo)*

Nguyên nhân		Khái quát	Ghi chú
Ngoại lực	Áp lực đất giãn nở	Áp lực đất giãn nở gây ra biến dạng phức tạp, chủ yếu ở tường bên và vai vòm, dễ xuất hiện vết nứt ngang phức tạp và hiện tượng lệch tầng tại các mối nối giữa vòm và tường.	 Mở rộng hình ảnh
	Thiếu khả năng chịu tải	Khả năng chịu tải không đủ dễ dẫn đến hiện tượng lún không đồng đều theo phương dọc hoặc ngang. Trường hợp lún theo phương dọc thường gây nứt vòng, còn lún theo phương ngang gây nứt nghiêng và xoay trục.	
	Áp lực nước và lực đóng băng	Áp lực nước và lực đóng băng liên quan mật thiết đến hiện tượng nước tràn. Áp lực bên thường là chính, gây ra các vết nứt ngang ở tường bên và vai vòm.	 Mở rộng hình ảnh
Suy giảm chất lượng vật liệu	Suy giảm thường xuyên	Chủ yếu là hiện tượng cacbon hóa của bê tông. Cacbon hóa xảy ra khi hydroxit canxi trong bê tông phản ứng với CO2 trong không khí, làm mất tính kiềm và bị cacbon hóa.	
	Thiệt hại do đóng băng	Ở các vùng lạnh, đóng băng là nguyên nhân chính gây suy giảm lớp lót. Cơ chế gây hại là sự đóng băng của nước trong bê tông, kèm theo sự giãn nở thể tích.	
	Thiệt hại do muối	Loại biến dạng này chủ yếu do sự ăn mòn của thép bên trong bê tông và phản ứng giữa nước biển với bê tông, dẫn đến hiện tượng kết cấu bê tông trở nên xốp.	
	Nước độc hại	Nước ngầm trong đá xung quanh, như nước có tính axit mạnh ở khu vực núi lửa, là một trong những nguyên nhân gây suy giảm lớp lót.	
	Vật liệu và phương pháp thi công	Biến dạng do vật liệu và phương pháp thi công chủ yếu xảy ra ở giai đoạn đầu. Vật liệu không phù hợp có thể gây giãn nở bất thường của xi măng, thi công không đúng kỹ thuật có thể gây nứt.	 Nứt do co ngót khi khô và sự chênh lệch nhiệt độ giữa không khí bên ngoài và đá xung quanh.

Bảng 4-3-2 *(tiếp theo)*

Nguyên nhân		Khái quát	Ghi chú
Suy giảm chất lượng vật liệu	Ăn mòn thép	Ăn mòn thép gây giãn nở thể tích, khiến bê tông bị nứt dọc theo thép và làm giảm tiết diện của thép, dẫn đến giảm khả năng chịu tải.	
	Phản ứng kiềm - cốt liệu	Hiện tượng biến dạng do phản ứng kiềm - cốt liệu hiện nay vẫn còn ít gặp.	
	Hỏa hoạn	Khi xảy ra hỏa hoạn, bê tông chịu nhiệt độ cao, làm giảm cường độ và mô đun đàn hồi, gây suy giảm các đặc tính cơ học. Bề mặt có thể bị nứt, bong tróc.	
	Khác	Khí thải từ phương tiện giao thông kết hợp với nước rò rỉ tạo thành nước có tính axit mạnh, gây suy giảm lớp lót.	
Khác	Khoảng trống phía sau	Khoảng trống phía sau không chỉ là nguyên nhân gây lún đất xung quanh và gia tăng áp lực đất mà còn cản trở sự hình thành áp lực đất bị động, trở thành một trong những nguyên nhân làm giảm cường độ của lớp lót.	
	Độ dày vòm	Khi độ dày thiết kế của vòm quá mỏng, sẽ gây ra biến dạng	
	Không có vòm nâng	Trong quá trình thi công, không có vòm nâng, nhưng sau khi thi công, do một số lý do khiến áp lực đất tăng lên, gây ra biến dạng ở các đoạn không có vòm nâng.	
	Rò rỉ nước	Một số hiện tượng rò rỉ nước là do biến dạng gây ra bởi ngoại lực, trong khi một số khác là do lớp lót tự gây ra.	

2.1. Phân loại hiện tượng suy giảm chất lượng

Các hiện tượng suy giảm chất lượng xảy ra ở các hầm đã xây dựng được phân loại dựa trên vị trí xảy ra suy giảm, thông thường theo sơ đồ trong Hình 4-3-1. Khi hiện tượng suy giảm của kết cấu hầm phát triển đến mức có thể ảnh hưởng đến việc sử dụng bình thường, thì được gọi là "biến dạng".

2.2. Nguyên nhân và đặc điểm suy giảm chất lượng

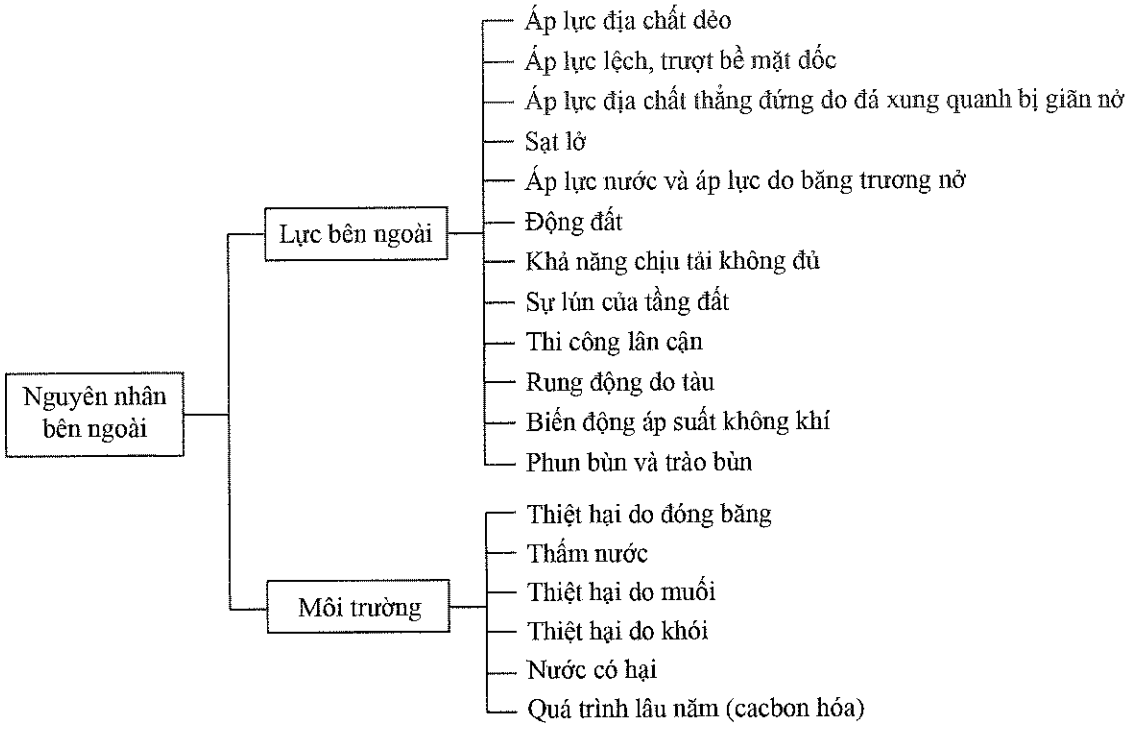
Suy giảm chất lượng của các hầm đã xây dựng có thể do ngoại lực, do suy giảm vật liệu, hoặc do rò rỉ nước. Ngoài ra, các yếu tố thiết kế và thi công cũng có thể ảnh hưởng đến hiện tượng suy giảm. Thông thường, các nguyên nhân gây suy giảm được liệt kê trong Bảng 4-3-2 thường có tác động chéo và lặp lại. Do đó, mặc dù có thể thực hiện khảo sát chi tiết, nhưng đôi khi rất khó xác định rõ ràng nguyên nhân của suy giảm.

2.3. Phân loại nguyên nhân suy giảm

Từ Bảng 4-3-2, có thể thấy rằng nguyên nhân gây suy giảm là rất đa dạng, chủ yếu có thể chia thành hai nhóm lớn: nguyên nhân bên ngoài (do ngoại lực và các yếu tố môi trường) và nguyên nhân bên trong (do vật liệu, thiết kế và thi công).

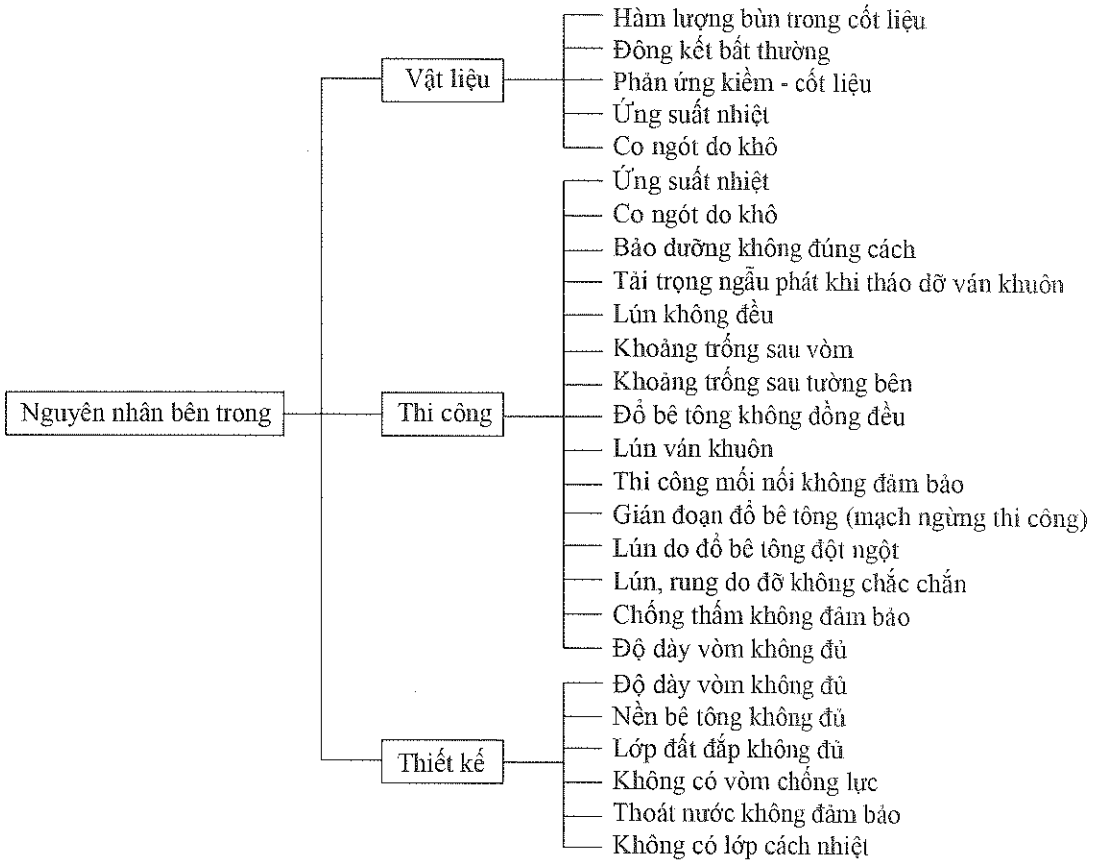
Suy giảm của hầm chủ yếu là do sự kết hợp của nhiều yếu tố. Do đó, khi xác định nguyên nhân suy giảm, cần phải xem xét sự kết hợp giữa nguyên nhân bên trong và bên ngoài. Để làm được điều này, cần có kiến thức và kinh nghiệm về kỹ thuật hầm, cũng như khả năng hiểu biết một cách hệ thống về đặc điểm của các hiện tượng.

(1) Nguyên nhân bên ngoài được phân thành suy giảm do ngoại lực và suy giảm do môi trường, như được minh họa trong Hình 4-3-2.



Hình 4-3-2: *Phân loại nguyên nhân bên ngoài*

(2) Các hầm bị suy giảm chất lượng thường có nguyên nhân bên trong. Nguyên nhân bên trong có thể được phân loại theo Hình 4-3-3. Đây là yếu tố quan trọng thúc đẩy sự suy giảm do nguyên nhân bên ngoài và không thể bỏ qua khi xác định nguyên nhân.



Hình 4-3-3: *Phân loại nguyên nhân bên trong*

2.4. Phân tích nguyên nhân quan trọng gây suy giảm chất lượng công trình ngầm

(1) Hầm núi là một công trình ngầm được xây dựng trong các lớp địa chất, và đối với các yếu tố ngoại lực như áp lực đất, nó là một kết cấu chịu tải chung giữa đá xung quanh và hệ thống hỗ trợ. Đồng thời, việc sử dụng hệ thống thoát nước phù hợp với nước ngầm để duy trì hầm không bị ảnh hưởng bởi áp lực nước là rất quan trọng.

Khoảng trống phía sau lớp lót là rất có hại đối với hầm. Khi có tác động của ngoại lực và có khoảng trống phía sau lớp lót trong vùng bị động, đá xung quanh không thể cung cấp phản lực cho sự biến dạng. Vì vậy, hầm trở thành một kết cấu dễ bị biến dạng dưới tác động của ngoại lực. Hình dạng của đá xung quanh ở khu vực có khoảng trống thường không đều, và vùng bị động và vùng chủ động phía sau lớp lót

không tiếp xúc đồng đều với đá xung quanh, gây ra ứng suất lớn. Hơn nữa, đá xung quanh ở khu vực có khoảng trống có thể bị giãn nở do sự suy giảm, giống như trạng thái của các lỗ nhỏ. Trong trường hợp không có đủ lực hỗ trợ từ đá xung quanh, để tránh việc hầm bị lún, cần thiết phải thiết kế các cấu trúc như vòm nâng.

Tóm lại, để duy trì điều kiện thoát nước tốt trong hầm và tiến hành đổ đầy các khoảng trống phía sau lớp lót, nhằm ngăn ngừa suy giảm do tác động của ngoại lực.

(2) Thay đổi ngoại lực trong giai đoạn vận hành có ảnh hưởng đáng kể đến suy giảm của kết cấu hầm. Các loại ngoại lực bao gồm:

① Ngoại lực trong giai đoạn thi công tiếp tục phát triển;

② Trong giai đoạn thi công hoặc giai đoạn sớm, ngoại lực có xu hướng gia tăng;

③ Ngoại lực tăng một cách gián đoạn;

④ Ngoại lực phát triển nhanh chóng;

⑤ Ngoại lực tăng giảm một cách gián đoạn.

Khi ngoại lực gia tăng, nếu độ bền của kết cấu không đủ hoặc bề mặt dốc không ổn định, cộng với sự suy giảm của đá xung quanh, điều kiện khí tượng, và các yếu tố nhân tạo, suy giảm sẽ phát triển và mở rộng. Vì vậy, đối với suy giảm chất lượng của kết cấu hầm, việc có hay không có sự gia tăng ngoại lực và sự giảm độ bền là rất quan trọng.

Suy giảm do ngoại lực như áp lực đất, suy giảm lớp lót, hiện tượng bong tróc, tách lớp, khi thực hiện xác định độ bền và thiết kế, thi công các biện pháp, cần phải căn cứ vào kết quả khảo sát trong hầm để xác định đúng hiện tượng suy giảm của lớp lót và nền đường. Đồng thời, dựa trên kết quả khảo sát tài liệu, điều tra môi trường và kết quả đo đạc để xác định chính xác nguyên nhân suy giảm.

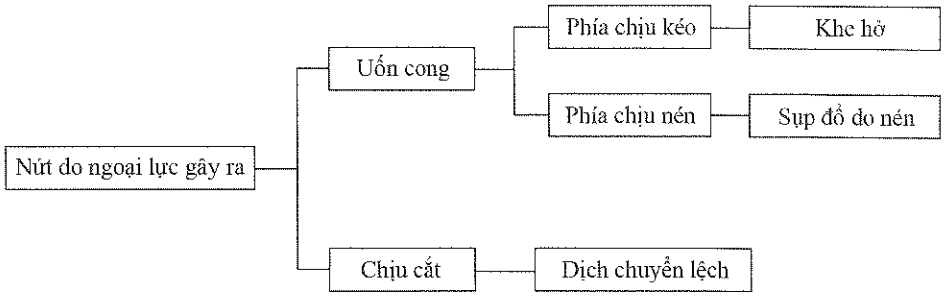
Về hiện tượng nứt lớp lót, việc xác định nguyên nhân suy giảm qua nứt là phương pháp trực tiếp nhất. Thông thường, nứt là hiện tượng điển hình nhất của hầm. Nứt thường được chia thành bốn loại theo Bảng 4-3-3. Trong trường hợp không có yếu tố đặc biệt, cả bốn loại này đều được xử lý theo phương pháp nứt.

Bảng 4-3-3: Khái niệm về nứt (Phân loại theo hình thức)

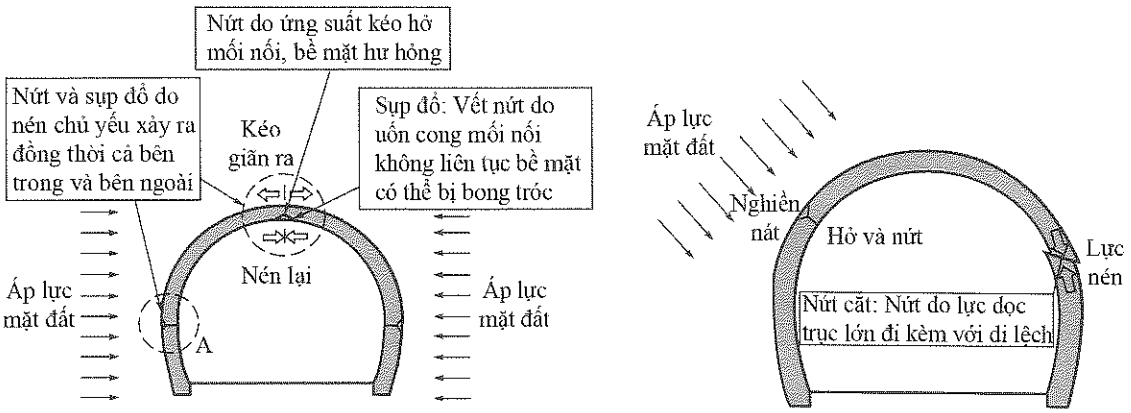
Vị trí	Có bậc	Không có bậc
Thân kết cấu	Di lệch	Nứt
Mối nối thi công	Lệch mối nối	Hở mối nối

Hình 4-3-4 và Hình 4-3-5 minh họa phân loại nguyên nhân gây nứt. Nứt và các yếu tố gây suy giảm chất lượng hầm chủ yếu được phân thành hai nhóm: nguyên nhân bên ngoài và nguyên nhân bên trong. Trong thực tế, hiện tượng nứt không phải do một yếu tố duy nhất gây ra mà là kết quả của sự tác động kết hợp của nhiều yếu tố.

Cụ thể, một số vết nứt xuất hiện ngay từ khi bắt đầu vận hành, trong khi một số khác lại phát sinh sau khi vận hành, do tác động của ngoại lực và các yếu tố khác. Việc phân loại này đòi hỏi phải có kinh nghiệm thực tiễn.



***Hình 4-3-4:** Phân loại nứt do ngoại lực gây ra*



***Hình 4-3-5:** Mô hình nứt do ngoại lực gây ra*

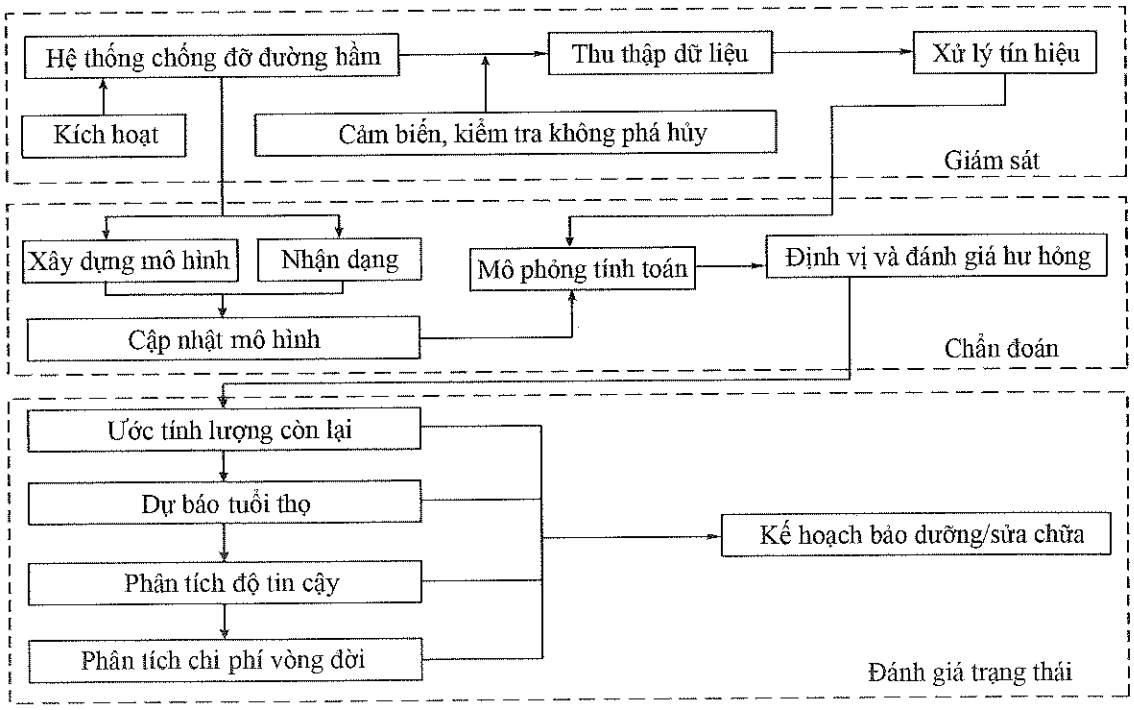
Vì vậy, việc hiểu rõ các hình thái nứt điển hình do các yếu tố khác nhau gây ra và thực hiện đánh giá tổng hợp là rất quan trọng trong việc xác định nguyên nhân gây nứt.

III. KIỂM TRA TRẠNG THÁI HẦM ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

1. Kiểm tra trạng thái kết cấu hầm

Kiểm tra trạng thái kết cấu là việc sử dụng công nghệ cảm biến không phá hủy tại hiện trường, thông qua quan sát và phân tích đặc tính của kết cấu, nhằm phát hiện và hiểu rõ mức độ hư hỏng hoặc suy giảm của kết cấu. Thông qua việc kiểm tra trạng thái dài hạn, có thể thu thập thông tin kịp thời về sự thay đổi chức năng dự kiến của kết cấu do sự suy giảm trong môi trường vận hành. Dựa trên việc phân tích chi tiết về khái niệm, hệ thống và tình hình phát triển hiện nay của kiểm tra trạng thái kết cấu,

kết hợp với đặc điểm cụ thể của kết cấu hầm, đã đưa ra định nghĩa về kiểm tra trạng thái kết cấu hầm, đồng thời xây dựng một hệ thống kiểm tra trạng thái kết cấu hầm tích hợp các chức năng kiểm tra, chẩn đoán và đánh giá trạng thái. Hệ thống kiểm tra trạng thái kết cấu hầm được thể hiện trong Hình 4-3-6.



Hình 4-3-6: Thành phần của hệ thống kiểm tra trạng thái kết cấu hầm

2. Nội dung và phương pháp kiểm tra trạng thái hầm

2.1. Trọng tâm của kiểm tra trạng thái hầm

Khi thực hiện kiểm tra trạng thái kết cấu hầm, cần xem xét tổng thể sự biến dạng của đá xung quanh và hệ thống hỗ trợ, cũng như sự tương tác giữa chúng.

Các bệnh lý của kết cấu hầm thường thể hiện trên hệ thống hỗ trợ (lớp lót hầm) dưới dạng biến dạng hình học của tiết diện, nứt lớp lót (gây rò rỉ và làm suy giảm kết cấu lớp lót), mất chức năng cục bộ của lớp lót (lão hóa bê tông, bong tróc, thép bị ăn mòn nghiêm trọng), v.v. Đối với đá xung quanh, bệnh lý chủ yếu thể hiện qua sự biến dạng của đá xung quanh và các đặc tính cơ học.

Dựa trên tình trạng bệnh lý của các hầm đã xây dựng và đang thi công hiện nay, trọng tâm của kiểm tra trạng thái hầm là:

(1) Độ dày lớp lót hầm;

(2) Các khiếm khuyết trong vật liệu lớp lót hầm, như sự xuất hiện của vết tổ ong hoặc lỗ rỗng trong quá trình thi công bê tông đúc khuôn;

(3) Khoảng trống phía sau lớp lót hầm, chẳng hạn như trong quá trình thi công do xử lý sụp lở không đúng cách, đổ đầy không chặt, khiến lớp lót không tiếp xúc chặt với đá xung quanh hoặc hình thành khoảng trống;

(4) Sự ăn mòn vật lý và hóa học của vật liệu lớp lót do nước ngầm rò rỉ;

(5) Tình trạng nứt lớp lót và các đặc tính của nứt.

Kiểm tra trạng thái hầm là việc sử dụng các cảm biến để thu thập thông tin về độ dày lớp lót hầm, vị trí nứt, phân tích khoảng trống, tính toàn vẹn của kết cấu bê tông, cường độ cơ học, biến dạng của đá xung quanh, v.v. từ đó đánh giá xem công trình thi công có đạt yêu cầu thiết kế hay không, chẩn đoán và đánh giá tình trạng làm việc và tính an toàn của lớp lót và đá xung quanh, phân tích nguyên nhân gây bệnh lý và đề xuất các biện pháp khắc phục.

2.2. Phương pháp kiểm tra trạng thái hầm

Trong kiểm tra trạng thái hầm đường sắt cao tốc, các yếu tố quan trọng cần quan tâm là độ dày lớp lót, vị trí nứt và hư hỏng, phân bố khoảng trống phía sau lớp lót, tính toàn vẹn của kết cấu bê tông, phân bố thép cốt, v.v., nhằm đánh giá xem công trình thi công có đạt yêu cầu thiết kế hay không, chẩn đoán và đánh giá tình trạng làm việc và tính an toàn của lớp lót hiện có, phân tích nguyên nhân gây bệnh lý và đề xuất biện pháp khắc phục bệnh lý.

(1) Phương pháp phản xạ sóng âm

Phương pháp sóng âm kiểm tra các khuyết tật bên trong bê tông được chia thành phương pháp sóng xuyên và phương pháp sóng phản xạ. Phương pháp sóng xuyên dựa vào sự thay đổi của các tham số như thời gian sóng, hình dạng sóng, biên độ và tần số khi sóng siêu âm xuyên qua bê tông và gặp khuyết tật, từ đó xác định khuyết tật. Phương pháp này yêu cầu bề mặt kiểm tra có hai mặt song song. Phương pháp sóng phản xạ dựa vào sự phản xạ của sóng siêu âm khi gặp khuyết tật để xác định khuyết tật. Phương pháp này phù hợp với các cấu trúc như hầm hoặc lớp lót hầm, nơi chỉ có một mặt kiểm tra. Phương pháp sóng phản xạ chủ yếu được sử dụng để kiểm tra các khuyết tật bên trong bê tông lớp lót, độ dày lớp lót và sự kết hợp của lớp lót bê tông với đá xung quanh. Các phương pháp kiểm tra thường dùng bao gồm phương pháp phản xạ theo chiều dọc và phương pháp phản xạ theo khoảng cách lệch đều.

Phương pháp sóng phản xạ chủ yếu sử dụng hai phương pháp cơ bản là phân tích sóng hình và phân tích phổ, thông qua các đặc điểm sóng hình và phổ để xác định chất lượng của bê tông lớp lót, xác định phạm vi khuyết tật bên trong bê tông, sự kết hợp giữa lớp lót và đá xung quanh, cũng như độ dày lớp lót.

(2) Phương pháp sóng hồi âm

Để kiểm tra độ dày và các khuyết tật bên trong của bê tông cấu trúc chỉ có một mặt kiểm tra, từ giữa những năm 1980, quốc tế đã nghiên cứu một phương pháp kiểm tra không phá hủy mới - phương pháp sóng hồi âm. Phương pháp này sử dụng một cú va đập cơ học ngắn (dùng một viên bi thép hoặc búa nhỏ gõ lên bề mặt bê tông) để tạo ra sóng căng thẳng tần số thấp. Sóng căng thẳng này truyền vào bên trong cấu trúc, bị khuyết tật và mặt dưới của các bộ phận phản xạ lại, và các sóng phản xạ này được cảm biến lắp đặt gần điểm va đập thu lại, sau đó được truyền đến một thiết bị di động có khả năng thu thập dữ liệu tốc độ cao và xử lý tín hiệu. Tín hiệu đã ghi lại được phân tích trong miền thời gian hoặc miền tần số, từ đó có thể xác định được độ dày của bê tông hoặc độ sâu của khuyết tật.

Phương pháp sóng hồi âm đã được ứng dụng thành công trong việc kiểm tra lớp lót hầm có độ dày 60 cm. Sóng siêu âm và xung cơ học trong phạm vi âm thanh được sử dụng để kiểm tra cấu trúc, với cảm biến ghi lại các sóng phản xạ nhiều lần quan sát được và thực hiện phân tích tần số. Dựa trên kết quả phân tích tần số, có thể thu được dữ liệu về độ dày lớp lót và sự chồng lấn của các phản xạ đặc biệt.

Độ sâu kiểm tra mà phương pháp sóng hồi âm có thể đạt được phụ thuộc vào cấu trúc vật liệu cần kiểm tra, cường độ và tần số của xung căng thẳng, những yếu tố này sẽ bị ảnh hưởng bởi kích thước của viên bi được chọn. Kích thước viên bi cần phù hợp với trạng thái kiểm tra cụ thể.

(3) Phương pháp radar địa chất

Radar địa chất là một phương pháp khảo sát vật lý được sử dụng rộng rãi để phát hiện các mục tiêu dưới lòng đất, được ứng dụng trong các lĩnh vực khảo sát địa chất, kiểm tra chất lượng công trình nền móng, khảo sát địa chất thiên tai, khảo cổ học, kiểm tra không phá hủy trong công trình kết cấu, v.v. Do công nghệ radar địa chất sử dụng phương pháp quét xuyên suốt liên tục và kỹ thuật kiểm tra không phá hủy tiên tiến, độ chính xác phát hiện cao hơn so với các phương pháp kiểm tra truyền thống, đồng thời nó có thể quét liên tục, mang lại kết quả khảo sát hầm một cách liên tục.

Radar địa chất có khả năng kiểm tra tốt tình trạng thực tế của lớp lót hầm, là một công nghệ không phá hủy nhanh chóng, hiệu quả, tiết kiệm và đơn giản. Trong những năm gần đây, radar địa chất cũng đã được ứng dụng vào kiểm tra sức khỏe của lớp lót hầm, nhưng trong thực tế, vẫn còn nhiều vấn đề cần phải giải quyết.

Mục tiêu xử lý dữ liệu radar địa chất là giảm thiểu các nhiễu ngẫu nhiên và có quy tắc, nhằm hiển thị sóng phản xạ với độ phân giải cao nhất có thể trên hình ảnh radar

để trích xuất các thông số hữu ích của sóng phản xạ (bao gồm tốc độ sóng điện từ, biên độ và hình dạng sóng, v.v.) nhằm giúp giải thích tình trạng của môi trường truyền sóng.

Radar địa chất dựa vào tín hiệu phản hồi xung, các sóng phụ được điều khiển bởi nguồn phát. Khi xung truyền trong môi trường, năng lượng sẽ bị suy giảm theo hình cầu và giảm do sự hấp thụ năng lượng của môi trường, trong trường hợp môi trường không đồng nhất, còn xảy ra hiện tượng tán xạ, phản xạ và truyền qua. Do đó, cần phải xử lý số liệu để có được hình ảnh radar cắt ngang tối ưu. Các kỹ thuật xử lý số liệu thường dùng bao gồm lọc số (lọc miền tần số và lọc miền thời gian), xử lý tán xạ lệch, v.v.

(4) Các phương pháp kiểm tra khác

Phương pháp kiểm tra hình dạng và biến dạng của tiết diện hầm là một phương pháp kiểm tra gián tiếp. Nó thông qua việc kiểm tra tình trạng biến dạng của tiết diện hầm để phản hồi trạng thái làm việc của kết cấu lớp lót hầm, là một phương pháp hỗ trợ kiểm tra không phá hủy và thường được áp dụng trong kiểm tra công trình thực tế. Một trong những thiết bị phổ biến để kiểm tra tiết diện hầm là máy quét tiết diện laser hầm.

Máy quét tiết diện laser hầm được xây dựng dựa trên công nghệ đo khoảng cách laser không hợp tác và công nghệ đo góc số chính xác. Phương pháp đo cực tọa độ kết hợp chặt chẽ với công nghệ máy tính, cùng với phần mềm xử lý hình ảnh được thiết kế đặc biệt, có thể nhanh chóng thu được hình ảnh tiết diện hầm và so sánh với bản thiết kế, từ đó có thể nhanh chóng tạo ra báo cáo kiểm tra và các tài liệu liên quan. Máy quét sử dụng nguyên lý chênh lệch thời gian ánh sáng laser để xác định tình trạng lồi lõm của bề mặt cần đo, từ đó xác định hình dạng của bề mặt đó. Nguyên lý chênh lệch thời gian ánh sáng laser là việc sử dụng sự chênh lệch thời gian mà laser di chuyển để tính toán chiều dài thực tế từ điểm đo đến thiết bị, tức là thông qua diode phát sáng phát laser đến bề mặt lớp lót hầm, và nhận ánh sáng phản xạ bằng cảm biến laser, sau đó sử dụng sự chênh lệch thời gian để tính toán khoảng cách. Trong quá trình kiểm tra, hệ thống điều khiển cảm biến laser phát và nhận chùm tia laser, sau đó chênh lệch thời gian ánh sáng sẽ được chuyển đổi thành tín hiệu số qua bộ chuyển đổi analog-to-digital và lưu trữ trong máy tính. Sau khi chạy phần mềm hệ thống, có thể thu được hình ảnh tiết diện hầm thực tế.

Ngoài ra, còn có các phương pháp như phương pháp dao động cơ học (phương pháp động lực học kết cấu, phương pháp phản xạ sóng địa chấn, v.v.), công nghệ tia X (phương pháp tia gamma phản xạ, phương pháp tán xạ ngược neutron) và

các phương pháp công nghệ điện và điện tử khác (phương pháp cảm ứng, phương pháp điện thế, v.v.), công nghệ quang học (phương pháp ghi ổn định hồng ngoại, phương pháp phân tích đa phổ, v.v.) ít được sử dụng.

Mục tiêu của kiểm tra trạng thái hầm là thu thập dữ liệu đầy đủ và đáng tin cậy về tình trạng của toàn bộ lớp lót hầm. Các phương pháp này cần được áp dụng trong việc nghiệm thu các hầm mới xây dựng, giám sát lâu dài các hầm đã có, kiểm tra hầm và kết quả sửa chữa, v.v. Tiền đề để áp dụng thành công phương pháp kiểm tra không phá hủy trong hầm là các phương pháp này phải đáp ứng các yêu cầu đặc biệt trong hoạt động của các hầm giao thông, chẳng hạn như không làm gián đoạn lưu thông của các phương tiện. Để đáp ứng những yêu cầu này, các nhà sản xuất thiết bị cần phải phù hợp với các phương pháp kiểm tra hiện tại được sử dụng trong các lĩnh vực khác và cũng phải có khả năng thích ứng với các tình huống đặc biệt trong hầm, đồng thời nghiên cứu các phương pháp kiểm tra mới và chuyên dụng.

Lớp lót hầm chỉ có một mặt tiếp xúc với môi trường bên ngoài, trong khi các thiết bị khác trong hầm có thể gây ảnh hưởng đến kết quả kiểm tra của thiết bị, điều này làm tăng độ khó cho công tác kiểm tra.

2.3. Nội dung chính của kiểm tra trạng thái hầm

Theo tiêu chuẩn đánh giá sự suy giảm trạng thái hầm (tham khảo trong phần 4 "Đánh giá trạng thái kết cấu lớp lót hầm" của chương này), kiểm tra trạng thái hầm cần bao gồm các yếu tố như tình trạng nứt lớp lót hầm, tình trạng rò rỉ nước trong kết cấu hầm, tình trạng thiệt hại do đóng băng và sự suy giảm vật liệu lớp lót hầm. Dựa trên các kết quả kiểm tra này, mức độ suy giảm của hầm sẽ được xác định để thực hiện các biện pháp khắc phục thích hợp.

2.4. Nguyên tắc bố trí các điểm kiểm tra trạng thái hầm

Khi tiến hành kiểm tra trạng thái, trước tiên cần phải xác định các điểm yếu của kết cấu hầm dựa trên đặc điểm kết cấu và các mô hình hư hỏng có thể xảy ra, đồng thời phải xem xét sự thay đổi của lực tác động lên kết cấu tại các đoạn đặc biệt của hầm, đồng thời tối ưu hóa các điểm giám sát và xác định nội dung và trọng tâm kiểm tra.

(1) Nguyên tắc bố trí các điểm kiểm tra theo chiều dọc của hầm

① Ở những nơi có sự thay đổi lớn về đá xung quanh. Khi điều kiện địa chất thay đổi đáng kể, sẽ gây ra hiện tượng lún khác nhau ở các đoạn hầm, làm cho kết cấu phải chịu tải trọng lớn.

② Ở những nơi có mực nước sâu. Ở các vị trí mực nước sâu, tác động của áp lực nước dễ dàng thay đổi lượng nước trong hầm, từ đó thay đổi trạng thái lực của kết cấu dưới tác động của ngoại lực.

③ Tại các đường hầm nối. Các đường hầm nối thường có tác động lực phức tạp và dễ xảy ra hiện tượng tập trung ứng suất.

④ Những nơi có sự thay đổi lớn về điều kiện thi công. Thay đổi phương pháp thi công sẽ làm thay đổi khả năng chịu tải và biến dạng của hầm.

⑤ Để có cái nhìn tổng thể về tình trạng hầm, cần thiết lập các điểm giám sát sau một khoảng cách nhất định.

(2) Nguyên tắc bố trí các điểm kiểm tra theo chiều ngang của hầm

① Vị trí vai vòm;

② Vị trí đỉnh vòm;

③ Phần đáy hầm.

2.5. Các bước kiểm tra trạng thái hầm

Để cung cấp dữ liệu đáng tin cậy cho thi công và vận hành trong thời gian dài, kiểm tra trạng thái hầm có thể được thực hiện trong hai giai đoạn.

(1) Trong giai đoạn thi công, bao gồm việc lắp đặt cảm biến và thu thập dữ liệu, từ đó phân tích sự thay đổi lực tác động lên hầm trong giai đoạn thi công.

(2) Sau khi hầm hoàn thành, kiểm tra trong thời gian dài, thông qua mạng truyền thông để gửi dữ liệu cảm biến đến hệ thống điều khiển trung tâm, từ đó xác định các đặc tính lực và tính an toàn của hầm thông qua tính toán và phân tích. Vì vậy, bộ thu thập dữ liệu của hệ thống giám sát chủ động cũng phải đáp ứng yêu cầu của cả hai giai đoạn, tức là trong giai đoạn thi công sử dụng đọc dữ liệu thủ công, nhưng phải có giao diện truyền thông để tích hợp vào hệ thống giám sát trong giai đoạn vận hành và tự động thu thập dữ liệu.

2.6. Thu thập và xử lý thông tin giám sát

Hệ thống kiểm tra trạng thái kết cấu chủ yếu bao gồm hệ thống cảm biến, thu thập dữ liệu, thiết bị truyền thông và hệ thống giám sát máy tính. Các tín hiệu được thu thập từ các thiết bị cảm biến giám sát sẽ được gửi đến trung tâm điều khiển để xử lý và phân tích, từ đó đánh giá trạng thái của kết cấu. Nếu có bất thường, trung tâm điều khiển sẽ phát tín hiệu cảnh báo, và mô-đun chẩn đoán sự cố sẽ phân tích và xác định nguyên nhân bất thường, giúp các nhà quản lý phát hiện và phòng ngừa các nguy cơ tiềm ẩn của kết cấu.

(1) Hệ thống thu thập dữ liệu

Phần mềm thiết kế hệ thống sử dụng phương pháp thiết kế chương trình mô-đun, với các phần chính điều khiển, bộ nhớ dữ liệu và phần chuyển đổi A/D được phát triển bằng ngôn ngữ MCS-51C, sử dụng vi điều khiển 89C51 để thực thi chương trình; phần giao tiếp dữ liệu bất đồng bộ được viết bằng ngôn ngữ lập trình hướng đối tượng VB, điều khiển từ máy tính IBM-PC. Các mô-đun liên kết với nhau thông qua gọi hàm con hoặc thông qua giao thức chờ xác định, tạo thành một hệ thống kết nối hữu cơ. Phần mềm thiết kế giao tiếp dữ liệu bao gồm chương trình giao tiếp vi điều khiển và chương trình giao tiếp PC.

(2) Xử lý dữ liệu giám sát

Trong xử lý và phân tích dữ liệu, có thể sử dụng công nghệ phân tích sóng nhỏ (wavelet) để xử lý dữ liệu phản hồi từ hệ thống giám sát, thông qua biến đổi sóng nhỏ để xử lý chi tiết tín hiệu đã thu thập trong miền tần số. Phân tích sóng nhỏ là kết quả phát triển mới nhất của kỹ thuật phân tích điều hòa trong lý thuyết toán học, có thể coi là một sự mở rộng của biến đổi Fourier truyền thống. Ưu điểm của phân tích sóng nhỏ là có thể sử dụng một cửa sổ có thể thay đổi và di chuyển để xử lý chi tiết tín hiệu trong miền thời gian, cung cấp nhiều mức chi tiết và ước lượng đa quy mô cho tín hiệu gốc, giúp nhìn nhận toàn cảnh tín hiệu và phân tích chi tiết tín hiệu, đồng thời giữ lại các đặc tính tức thời của dữ liệu.

IV. ĐÁNH GIÁ TRẠNG THÁI KẾT CẤU LỚP LÓT HẦM

Trong quá trình xây dựng và vận hành hầm đường sắt cao tốc, kết cấu lớp lót hầm bị ảnh hưởng bởi các yếu tố môi trường, các chất độc hại, tác động từ phương tiện giao thông, gió, động đất, mỏi, các yếu tố con người và sự suy giảm hiệu suất của kết cấu lớp lót. Do đó, các bộ phận của kết cấu hầm có thể bị hư hỏng và suy giảm trước khi hết tuổi thọ thiết kế. Nếu không được phát hiện và sửa chữa kịp thời, những hư hỏng này có thể ảnh hưởng đến an toàn giao thông và làm giảm tuổi thọ của kết cấu hầm, thậm chí gây ra phá hủy và sụp đổ kết cấu. Vì vậy, để đảm bảo tính an toàn, khả năng sử dụng và độ bền của kết cấu hầm, việc giám sát và đánh giá tình trạng sức khỏe của kết cấu hầm là rất quan trọng, cùng với việc thực hiện các biện pháp bảo trì hợp lý.

Tiêu chuẩn đánh giá sự suy giảm của các công trình cầu hầm đường sắt tại Trung Quốc đã đưa ra các loại hư hỏng, mức độ suy giảm và phương pháp đánh giá cho các vấn đề như nứt lớp lót, rò rỉ nước, thiệt hại do đóng băng và suy giảm vật liệu lớp lót. Tiêu chuẩn này được áp dụng để đánh giá tình trạng suy giảm của hầm đường sắt và làm cơ sở để thực hiện các biện pháp bảo trì cần thiết.

1. Phân loại mức độ suy giảm chất lượng hầm

Phân loại mức độ suy giảm chất lượng hầm được trình bày trong Bảng 4-3-4.

Bảng 4-3-4: Phân loại mức độ suy giảm chất lượng hầm

Cấp độ hư hỏng		Ảnh hưởng đến chức năng công trình và an toàn giao thông	Biện pháp
A	AA (Rất nghiêm trọng)	Chức năng công trình bị suy giảm nghiêm trọng, gây nguy hiểm cho an toàn giao thông	Thực hiện ngay các biện pháp
	A1 (Nghiêm trọng)	Chức năng công trình bị suy giảm nghiêm trọng, nếu phát triển thêm sẽ gây nguy hiểm cho an toàn giao thông	Thực hiện biện pháp càng sớm càng tốt
B (Khá nghiêm trọng)	Sự hư hỏng tiếp tục phát triển có thể lên cấp A	Tăng cường giám sát, thực hiện biện pháp khi cần thiết	
C (Trung bình)	Ảnh hưởng ít	Tăng cường kiểm tra, bảo dưỡng bình thường	
D (Nhẹ)	Không có ảnh hưởng	Bảo dưỡng và kiểm tra định kỳ bình thường	

2. Đánh giá mức độ suy giảm do nứt lớp lót hầm

Đánh giá mức độ suy giảm do nứt lớp lót hầm được trình bày trong Bảng 4-3-5.

Bảng 4-3-5: Bảng đánh giá mức độ suy giảm do nứt lớp lót hầm

Cấp độ hư hỏng		Loại nứt		
		Biến dạng hoặc di chuyển	Nứt, lệch vị trí	Sụp lún
A	AA (Rất nghiêm trọng)	Sạt lở và trượt làm gia tốc di chuyển của lớp vỏ; lớp vỏ bị biến dạng, di chuyển và lún nhanh chóng, gây nguy hiểm cho an toàn giao thông	Nứt hoặc lệch vị trí dài $L > 10$m, chiều rộng $B > 5$mm, và biến dạng tiếp tục phát triển, vòm bị nứt thành khối, có thể rơi xuống	Diện tích sụp lún vòm $S > 3m^2$; hoặc lớp vỏ bị bong tróc có độ dày lớn hơn 1/4 độ dày lớp vỏ, gây nguy hiểm cho an toàn giao thông
	A1 (Nghiêm trọng)	Tốc độ biến dạng hoặc di chuyển $v >$ 10mm/năm	Nứt hoặc lệch vị trí dài L từ 5 ~ 10m, nhưng chiều rộng nứt hoặc lệch vị trí > 5mm; nứt hoặc lệch vị trí khiến lớp vỏ trở thành khối, có thể rơi và bong tróc dưới tác động ngoại lực	Diện tích sụp lún từ $3m^2 \geq S \geq 1m^2$; hoặc có thể rơi ra các mảnh vỡ

Bảng 4-3-5 *(tiếp theo)*

Cấp độ hư hỏng	Loại nứt		
	Biến dạng hoặc di chuyển	Nứt, lệch vị trí	Sụp lún
B (Khá nghiêm trọng)	Tốc độ biến dạng hoặc di chuyển v từ 3 ~ 10mm/năm và có sự thay đổi mới xuất hiện	Nứt hoặc lệch vị trí dài L < 5m, chiều rộng từ 3 ~ 5mm; vết nứt đang phát triển, nhưng tốc độ không nhanh	Quy mô bong tróc nhỏ, nhưng có thể gây nguy hiểm cho tàu hỏa; diện tích sụp lún vòm S < 1m², độ dày của các mảnh vỡ lớn hơn 3cm
C (Trung bình)	Có biến dạng nhưng tốc độ v < 3mm/năm	Nứt hoặc lệch vị trí dài L < 5m, chiều rộng a < 3mm	Diện tích sụp lún rất nhỏ
D (Nhẹ)	Có biến dạng nhưng không phát triển và không ảnh hưởng đến sử dụng	Nứt nhỏ hoặc không phát triển	Một số khu vực bị sụp lún

3. Đánh giá mức độ suy giảm do rò rỉ nước lớp lót hầm

Đánh giá mức độ suy giảm do rò rỉ nước lớp lót hầm được trình bày trong Bảng 4-3-6 và Bảng 4-3-7.

Bảng 4-3-6: Mức độ ăn mòn lớp lót hầm

Mức độ ăn mòn		pH	Tác động đối với bê tông
A	AA (Rất nghiêm trọng)	-	-
	A1 (Nghiêm trọng)	< 4.0	
B (Khá nghiêm trọng)		4.1 ~ 5.0	Bề mặt bê tông có thể gồ ghề trong thời gian ngắn
C (Vừa phải)		5.1 ~ 6.0	Bề mặt bê tông dễ bị xốp, tưa ra
D (Nhẹ)		6.1 ~ 7.9	Bề mặt bê tông có hiện tượng ăn mòn nhẹ

Bảng 4-3-7: Đánh giá mức độ xuống cấp do thấm nước của lớp lót hầm

Mức độ tác hại của rò rỉ nước		Tình trạng của đường hầm
A	AA (Rất nghiêm trọng)	Nước đột ngột tràn vào hầm, ngập mặt đường ray, gây nguy hiểm cho an toàn giao thông; khu vực kéo điện, nước rò rỉ từ vòm trực tiếp ảnh hưởng đến mạng điện tiếp xúc.
	A1 (Nghiêm trọng)	Nước từ đáy hầm trào ra, nước từ vòm rỉ thành dòng, trong khu vực lạnh giá, nước chảy từ tường bên, gây xáo trộn và ngập bùn, lớp nền bị lún, không duy trì được hình dạng đường ray bình thường, gây nguy hiểm cho giao thông.

Bảng 4-3-7 *(tiếp theo)*

Mức độ tác hại của rò rỉ nước	Tình trạng của đường hầm
B (Khá nghiêm trọng)	Nước rỉ ra từ hầm, chảy nhỏ giọt, tràn ra hoặc thoát nước kém gây ra xáo trộn và ngập bùn cục bộ ở lớp nền trong hầm.
C (Trung bình)	Nước rò rỉ làm tình trạng lớp nền xấu đi, gây ăn mòn đường ray, rút ngắn chu kỳ bảo dưỡng, tiếp tục phát triển và có thể lên đến cấp B.
D (Nhẹ)	Có rò rỉ nước nhưng không gây nguy hiểm cho việc vận hành tàu và an toàn hành khách, không ảnh hưởng đến chức năng sử dụng của đường hầm.

4. Đánh giá mức độ suy giảm do thiệt hại do đóng băng lớp lót hầm

Đánh giá mức độ thiệt hại do đóng băng lớp lót hầm được trình bày trong Bảng 4-3-8.

Bảng 4-3-8: Đánh giá mức độ thiệt hại do đóng băng lớp lót hầm

Mức độ đóng băng		Tình trạng của đường hầm
A	AA (Rất nghiêm trọng)	Tình trạng đóng băng, băng cột, băng nón phát triển liên tục, xâm nhập vào giới hạn, gây nguy hiểm cho an toàn giao thông; cáp điện, thông tin và tín hiệu bị đóng băng, gây nguy hiểm cho giao thông và nhân viên làm việc trong hầm; lớp nền bị đóng băng, phủ mặt đường ray, ảnh hưởng nghiêm trọng đến giao thông.
	A1 (Nghiêm trọng)	Trong các hầm tránh xe, băng đóng khiến không thể sử dụng, ảnh hưởng nghiêm trọng đến an toàn của nhân viên trong hầm; tác động lặp đi lặp lại của băng nêm và sự nở ra của đá vách làm biến dạng, nứt lớp lót và tạo thành các vết nứt chéo.
B (Khá nghiêm trọng)		Đóng băng và tan băng làm hư hỏng lớp lót nghiêm trọng; Đóng băng và tan băng làm lớp nền bị xáo trộn, bùn đất trào ra, hình dạng đường ray bị suy giảm.
C (Trung bình)		Đóng băng làm lớp lót biến dạng, nứt nhưng không hình thành vết nứt chéo; đóng băng làm hư hỏng lớp lót nhưng không quá nghiêm trọng; đóng băng làm hư hỏng hệ thống thoát nước trong hầm; đóng băng làm giảm chu kỳ bảo dưỡng tuyến đường.
D (Nhẹ)		Có hiện tượng đóng băng nhưng không ảnh hưởng đến an toàn giao thông, ảnh hưởng rất nhẹ đến chức năng sử dụng của đường hầm.

5. Đánh giá mức độ suy giảm vật liệu lớp lót hầm

Đánh giá mức độ suy giảm vật liệu lớp lót hầm được trình bày trong Bảng 4-3-9.

Bảng 4-3-9: Đánh giá mức độ suy giảm vật liệu lớp lót hầm

Mức độ suy giảm		Đặc điểm suy giảm của lớp lót bê tông
A	AA (Rất nghiêm trọng)	Vật liệu lớp lót suy giảm nghiêm trọng, thường xuyên bong tróc, gây nguy hiểm cho an toàn giao thông; độ dày lớp lót bằng 3/5 độ dày thiết kế ban đầu, nhưng cường độ bê tông giảm mạnh.
	A1 (Nghiêm trọng)	Vật liệu lớp lót suy giảm nghiêm trọng, chỉ cần một lực nhẹ hoặc rung động có thể gây bong tróc hoặc đổ vỡ, ảnh hưởng lớn đến giao thông; độ ăn mòn sâu 10mm, diện tích đạt 0,3m²; độ dày hiệu quả của lớp lót khoảng 2/3 độ dày thiết kế.
B (Khá nghiêm trọng)		Lớp lót bị bong tróc, vật liệu suy giảm, lớp lót mỏng đi, cường độ bê tông giảm.
C (Trung bình)		Lớp lót có hiện tượng bong tróc, vật liệu suy giảm nhưng phát triển chậm.
D (Nhẹ)		Lớp lót có hiện tượng phai màu hoặc mặt bê tông hơi bị xốp, nhưng không nghiêm trọng.

V. THIẾT KẾ CÁC BIỆN PHÁP BẢO TRÌ VÀ SỬA CHỮA KẾT CẤU LỚP LÓT HẦM

Công tác bảo trì, sửa chữa và thiết kế gia cố kết cấu lớp lót hầm được thực hiện dựa trên kết quả kiểm tra trạng thái hầm, thông qua việc phân tích dữ liệu giám sát, chẩn đoán lớp lót và đánh giá tình trạng sức khỏe hiện tại của hầm, từ đó áp dụng các biện pháp cần thiết. Các vấn đề như nứt vòm, nứt tường bên, độ dày lớp lót không đủ và khoảng trống phía sau cần được xử lý bằng các biện pháp khắc phục kết cấu, đồng thời cũng cần gia cố đá xung quanh các khu vực có vấn đề.

1. Nguyên tắc cơ bản

Khi thiết kế các biện pháp khắc phục, cần xem xét toàn diện các yếu tố như hiện tượng suy giảm chất lượng, điều kiện môi trường như địa hình, địa chất và các yếu tố liên quan, kết cấu lớp lót hầm, cũng như nguyên nhân suy giảm và phân loại tình trạng sức khỏe của kết cấu. Dựa trên đó, phương pháp thiết kế phù hợp nhất sẽ được lựa chọn.

Trong thiết kế biện pháp khắc phục, cần nắm vững cách thức biểu hiện của hiện tượng suy giảm, điều kiện môi trường (địa hình, địa chất, khí hậu, động đất, v.v.), và điều kiện kết cấu (hình dạng kết cấu hầm, tình trạng bảo trì, v.v.). Thiết kế chủ yếu dựa trên các ví dụ quá khứ và phán đoán kinh nghiệm.

1.1. Nguyên tắc thiết kế gia cố lớp lót hầm

Khi thiết kế, cần xem xét đảm bảo an toàn cho việc vận hành tàu sau khi thực hiện biện pháp khắc phục, đồng thời phải đảm bảo an toàn trong quá trình thi công, tính khả thi trong thi công, độ bền và tính kinh tế của các biện pháp. Công việc gia cố lớp lót hầm thường được thực hiện trong thời gian ngừng hoạt động của tàu, vì vậy đảm bảo an toàn vận hành tàu là điều kiện tiên quyết. Do đó, các yêu cầu cần đáp ứng bao gồm:

(1) Không xâm phạm phạm vi công trình (đảm bảo không gian dư sau khi thi công biện pháp khắc phục).

(2) Đảm bảo an toàn cho việc di chuyển của tàu (đảm bảo không có sự dịch chuyển vượt quá tiêu chuẩn chuẩn bị đường ray).

(3) Đảm bảo sự ổn định của lớp lót (không gây ra hiện tượng bong tróc lớp lót).

Ngoài việc đáp ứng các yêu cầu trên, thiết kế còn phải xem xét các yếu tố sau:

(1) An toàn trong thi công: Trong quá trình thi công, cần đảm bảo an toàn cho việc vận hành tàu trong khi lắp đặt các thiết bị tạm thời, điều này thường rất khó khăn, vì vậy cần phải khảo sát kỹ lưỡng điều kiện thiết lập và thực hiện thiết kế.

(2) Khả năng thi công: Vì công việc gia cố lớp lót được thực hiện trong thời gian ngừng hoạt động của tàu, không gian thi công trong tiết diện hầm thường bị hạn chế và điều kiện ánh sáng không tốt, đồng thời cần bảo vệ các dây cáp trên cao, điều này đặt ra nhiều giới hạn trong quá trình thi công, vì vậy cần đảm bảo biện pháp có tính khả thi cao trong thi công.

(3) Độ bền lâu dài: Hầm không thể thực hiện biện pháp khắc phục thường xuyên, do đó cần phải có độ bền lâu dài.

(4) Phương pháp thi công kinh tế.

(5) Các yếu tố khác: Khi thiết kế, ngoài các hiện tượng suy giảm do áp lực đất, cần phải nắm vững tình trạng của lớp lót hầm, hệ thống thoát nước, kết cấu nền đường, v.v., đồng thời phải hiểu rõ các khiếm khuyết và suy giảm của lớp lót, rò rỉ nước, và các trạng thái liên quan, từ đó phản ánh vào thiết kế. Do đó, trong thiết kế biện pháp khắc phục, có thể tham khảo các phương pháp gia cố đã được đề xuất trong sách này và kết hợp với điều kiện cụ thể của hiện trường hầm để chọn phương pháp phù hợp. Nếu cần thiết, để xác nhận hiệu quả của biện pháp gia cố, cần tiến hành đo đạc. Điều này cũng phải được thể hiện trong kế hoạch thiết kế.

1.2. Mức độ gia cố lớp lót

Khi thiết kế các biện pháp khắc phục, mức độ gia cố được phân loại theo 4 cấp. Mức độ gia cố này được phân theo nguyên nhân suy giảm và được trình bày trong các Bảng 4-3-10 đến Bảng 4-3-12.

① Mặc dù kết cấu không có khuyết tật (độ dày, cường độ đầy đủ, không có khoảng trống phía sau, không có khuyết tật trong các mối nối thi công), nhưng khi sự suy giảm đang phát triển, cần nâng cấp mức độ gia cố lên một cấp.

② Trong các trường hợp gây ra nứt ép và cắt, hoặc khi có lực trục cực lớn, mức độ gia cố cần được nâng lên một cấp.

a. Trường hợp gây nứt ép và nứt cắt (chiều dài nhỏ hơn 3m);

b. Trường hợp gây ra nứt kéo rộng hoặc dịch chuyển trên 3mm;

c. Trường hợp gây ra nhiều vết nứt kéo song song;

d. Trường hợp khi lực trục trong lớp lót hầm rất lớn theo phép đo ứng suất.

③ Các trường hợp tương ứng sau đây cần được xử lý theo mức độ gia cố cấp IV:

a. Trường hợp có sự di chuyển không gian gia tốc;

b. Mặc dù đã có vòm nâng nhưng sự suy giảm vẫn tiếp tục phát triển;

c. Trường hợp nứt ép và nứt cắt với chiều dài lớn hơn 3m.

④ Trong các trường hợp có khoảng cách dư rất nhỏ, cần nâng cấp mức độ gia cố một cách thích hợp.

⑤ Khi nền đường bị suy giảm, nên nâng cấp mức độ gia cố.

1) Mức độ gia cố do áp lực đất dẻo

Các trường hợp suy giảm do áp lực đất dẻo được trình bày trong Bảng 4-3-10. Quá trình phân loại mức độ gia cố sẽ bắt đầu bằng việc xác định sự phát triển của suy giảm, sau đó điều chỉnh mức độ gia cố dựa trên quy mô áp lực đất dự kiến từ kết cấu lớp lót hầm và các hiện tượng suy giảm, cuối cùng đưa ra quyết định về mức độ gia cố cần thiết.

Bảng 4-3-10: Phân loại mức độ gia cố (áp lực đất dẻo)

Bổ sung cấp độ	I	II	III	IV
Tốc độ phát triển của suy giảm (tiêu chuẩn di chuyển không gian)	Có (dưới 3mm/năm)	Hơi lớn (3-9mm/năm)	Lớn (trên 9mm/năm)	Rất lớn (trên 2mm/tháng)

Điều kiện áp dụng Bảng 4-3-10 như sau:

① Tốc độ di chuyển không gian (di chuyển vị trí không gian) được chỉ định là giá trị của các đoạn hầm thông thường, hầm không có vòm nâng và hầm không có bất kỳ khuyết tật kết cấu nào.

② Xem xét sự phát triển của sự suy giảm, mức độ gia cố cần được nâng lên một cấp.

- **Khuyết tật kết cấu (kết cấu lớp lót hầm)**: Mặc dù lớp lót không có khuyết tật kết cấu nhưng có sự suy giảm đang phát triển, có thể là do áp lực đất lớn gây ra, vì vậy mức độ gia cố cần được nâng lên một cấp.

- **Hiện tượng suy giảm**: Sự hiện diện của các hiện tượng như nứt ép, nứt cắt, nứt kéo rộng hoặc dịch chuyển cho thấy lớp lót hầm chịu lực tác động lớn. Đồng thời, trong lớp lót bê tông không cốt thép, nếu lực trục nhỏ, có thể chỉ xuất hiện nứt kéo do uốn, nhưng nếu lực trục lớn và vết nứt có độ mở nhỏ, sẽ gây ra nhiều vết nứt. Do đó, khi phát hiện nhiều vết nứt kéo trong lớp lót bê tông không cốt thép, điều này cho thấy có tác động của lực trục rất lớn.

Như đã nói trên, nếu dự đoán rằng lớp lót sẽ có hiện tượng suy giảm do lực tác động lớn, thì cần xem xét quy mô áp lực đất lớn, và nâng cấp mức độ gia cố lên một cấp.

(2) Mức độ gia cố cho kết cấu hầm bị lệch trọng tâm

Sự suy giảm của kết cấu hầm bị lệch trọng tâm thường tập trung vào vùng xung quanh vòm. Do đó, việc đánh giá sự ổn định của vòm là rất quan trọng. Như được trình bày trong Bảng 4-3-11, mức độ gia cố sẽ được phân loại dựa trên mức độ suy giảm của vòm (sự phát triển của nứt, biến dạng, quay, dịch chuyển) và sự phát triển của nó, sau đó điều chỉnh theo kết cấu lớp lót (đặc biệt là khuyết tật của vòm) và tình trạng của các mặt dốc.

Bảng 4-3-11: Mức độ gia cố

Bổ sung cấp độ	I	II	III	IV
Hiện tượng suy giảm của vòm	Nứt theo trục tại vai núi	Nứt theo trục ngoài vai núi	Nứt do nén hoặc xé rách	Biến dạng vòm, xoay trục hoặc di chuyển tiết diện
Tốc độ phát triển của suy giảm (tiêu chuẩn di chuyển không gian)	Có (dưới 3mm/năm)		Hơi lớn (3-9mm/năm)	Lớn (trên 9mm/năm)

Chú thích:

1. Mặc dù kết cấu không có khuyết tật (độ dày, cường độ đầy đủ, không có khoảng trống phía sau, không có khuyết tật trong các mối nối thi công), nhưng trong trường hợp sự suy giảm đang phát triển, mức độ gia cố cần được nâng lên một cấp.

2. Trong các trường hợp gây nứt ép và cắt, hoặc khi có lực trục cực lớn, mức độ gia cố cần được nâng lên một cấp.

- Trường hợp gây nứt ép và nứt cắt (chiều dài nhỏ hơn 3m);

- Trường hợp gây nứt kéo rộng hoặc dịch chuyển trên 3mm;

- Trường hợp gây ra nhiều vết nứt kéo song song;

- Trường hợp khi lực trục trong lớp lót hầm rất lớn theo phép đo ứng suất.

3. Các trường hợp tương ứng sau đây cần được xử lý theo mức độ gia cố cấp IV:

- Trường hợp có sự di chuyển không gian gia tốc;

- Mặc dù đã có vòm nâng nhưng sự suy giảm vẫn tiếp tục phát triển;

- Trường hợp nứt ép và nứt cắt với chiều dài lớn hơn 3m.

4. Trong các trường hợp có khoảng cách dư rất nhỏ, cần nâng cấp mức độ gia cố một cách thích hợp.

5. Khi nền đường bị suy giảm, nên nâng cấp mức độ gia cố.

(3) Mức độ gia cố do áp lực đất dọc theo sự suy giảm của đá xung quanh

Trong trường hợp này, sự bong tróc bê tông ở vòm là vấn đề chính. Vì vậy, như được trình bày trong Bảng 4-3-12, đầu tiên, mức độ gia cố sẽ được phân loại dựa trên mức độ suy giảm của vòm (đặc biệt là sự phát triển của nứt và khả năng sụp đổ) và sự phát triển của nó, sau đó sẽ được điều chỉnh dựa trên kết cấu lớp lót hầm, tình trạng của đá xung quanh phía trên và các yếu tố liên quan khác.

Bảng 4-3-12: Mức độ gia cố (áp lực đất dọc)

Bổ sung cấp độ	I	II	III	IV
Hiện tượng suy giảm của vòm	Vòm bị nứt kéo trục	Nứt kéo chéo (theo trục, theo chiều dọc)	Các nứt sau đây xảy ra: • Nứt tỏa ra • Nứt khối • Nứt do nén hoặc cắt	Suy giảm vòm rõ rệt (có khả năng bong tróc)
Tốc độ phát triển của suy giảm (tiêu chuẩn di chuyển không gian)	Có (dưới 3mm/năm)		Hơi lớn (3-9mm/năm)	Lớn (trên 9mm/năm)

Chú thích:

Mặc dù kết cấu không có khuyết tật nhưng nếu phát hiện sự suy giảm, do áp lực đất lớn, cần xem xét tình trạng này như áp lực đất dẻo và nâng cấp mức độ gia cố lên một cấp. Ngược lại, trong các trường hợp có khuyết tật kết cấu rõ rệt ở vòm

(độ dày rất mỏng, có khoảng trống lớn phía sau hoặc khuyết tật ở các mối nối rõ rệt, v.v.), vì khả năng chịu tải của kết cấu thấp, chỉ cần sự suy giảm phát triển ít cũng có thể làm giảm sự ổn định của vòm. Do đó, cần thực hiện các biện pháp gia cố đối với khuyết tật kết cấu. Ngoài ra, đối với các trường hợp đá xung quanh phía trên hầm bị suy yếu và có khoảng trống trong đá xung quanh, áp lực đất có thể tăng lên, vì vậy cần phải đổ đầy các khoảng trống trước. Nếu nhận thấy sự suy giảm và các khoảng trống có khả năng phát triển thêm, cần xử lý theo mức độ gia cố cấp IV và thực hiện các biện pháp gia cố đá xung quanh.

1.3. Lựa chọn biện pháp gia cố lớp lót hầm

Khi thiết kế các biện pháp khắc phục, cần xem xét không chỉ áp lực đất và kết cấu lớp lót hầm mà còn phải hiểu rõ đặc điểm của từng biện pháp và ứng dụng chúng một cách phù hợp.

Dựa trên hiệu quả gia cố, khả năng thi công và tính kinh tế, các biện pháp gia cố tiêu chuẩn bao gồm đổ lại và tiêm vữa, gia cố bằng mũi khoan, lớp lót bên trong và gia cố bề mặt bên trong.

(1) Đổ lại và tiêm vữa

Khi có khoảng trống phía sau lớp lót hầm và sự biến dạng do áp lực đất, không thể mong đợi vào áp lực đất thụ động. Lớp lót sẽ dễ bị biến dạng và mức độ suy giảm cũng lớn. Bất kể trạng thái áp lực đất ra sao, đổ lại và tiêm vữa vào phía sau lớp lót là biện pháp khắc phục hiệu quả và cơ bản nhất.

(2) Gia cố bằng mũi khoan

Gia cố bằng mũi khoan tạo ra áp lực nội bộ lên bề mặt của hầm phía không gian trống. Không giống như mũi khoan dùng cho hầm mới xây, để tăng cường hiệu quả, cần áp dụng lực kéo trước vào mũi khoan.

(3) Lớp lót bên trong

Lớp lót bên trong được sử dụng trong trường hợp lớp lót bị suy giảm nghiêm trọng và không thể tái thiết toàn bộ. Đây là biện pháp thay thế và gia cố lớp lót bê tông.

(4) Gia cố bề mặt bên trong

Dán các vật liệu như sợi carbon, sợi thủy tinh lên bề mặt bên trong lớp lót hầm hoặc dán thép tấm để kiểm soát sự nứt và biến dạng của lớp lót, ngăn ngừa các hiện tượng bong tróc, rơi mảnh hoặc tách lớp. Biện pháp này cũng có thể được áp dụng khi tiết diện không gian không có khoảng trống dư.

2. Thiết kế biện pháp bảo trì và sửa chữa

2.1. Thiết kế đổ lại và tiêm vữa

Khi nghiên cứu các biện pháp khắc phục sự suy giảm chất lượng hầm, nếu có khoảng trống giữa lớp lót hầm và đá xung quanh, cần sử dụng biện pháp đổ lại và tiêm vữa. Khi lập kế hoạch đổ lại và tiêm vữa, cần điều tra kỹ lưỡng địa hình, địa chất, kích thước và phân bố của các khoảng trống, tình trạng lớp lót hầm, tình trạng nước rò rỉ và điều kiện thi công. Lớp lót hầm cần tiếp xúc chặt chẽ với đá xung quanh, có khả năng chịu tải đồng đều và tạo ra phản lực đất đầy đủ, điều này là rất quan trọng. Tuy nhiên, trong điều kiện thi công hiện nay, đặc biệt là khi sử dụng phương pháp khai thác mỏ truyền thống, hiện tượng có khoảng trống giữa lớp lót và đá xung quanh là không thể tránh khỏi. Sự tồn tại của các khoảng trống này khiến lớp lót hầm chịu tải không đồng đều và không thể tạo ra phản lực đất đầy đủ, vì vậy, biện pháp đổ lại và tiêm vữa sẽ là biện pháp cơ bản để khắc phục sự suy giảm.

Khi thi công bằng phương pháp phun mỏ, vì bê tông phun và đá xung quanh tiếp xúc chặt chẽ, khoảng trống phía sau lớp lót sẽ ít, do đó cần thiết phải tiêm vữa ít hơn. Tuy nhiên, trong giai đoạn đầu của phương pháp phun mỏ, vẫn có thể tồn tại khoảng trống giữa lớp lót thứ hai và bê tông phun, cần chú ý điều này.

Các tình huống sau đây khó có thể sử dụng biện pháp đổ lại và tiêm vữa cần được lưu ý kỹ lưỡng:

(1) Khi có nước rò rỉ lớn (cần lựa chọn vật liệu tiêm vữa phù hợp và nghiên cứu các biện pháp như khoan thoát nước để giảm mực nước).

(2) Khi độ dày lớp lót không đủ (độ dày hiệu quả dưới 20 cm, cần kết hợp với lớp lót bên trong và gia cố bề mặt).

(3) Khi vật liệu lớp lót kém (cường độ chịu nén đơn trục dưới 9 N/mm^2, kết hợp với lớp lót bên trong và gia cố bề mặt, có thể cần cải tạo).

(4) Khi lớp lót bị nứt hoặc có khuyết tật lớn ở tiết diện, có khả năng vật liệu tiêm sẽ tràn vào hầm (cần thực hiện biện pháp sửa chữa khuyết tật hoặc các biện pháp ngăn ngừa dòng chảy vào).

(5) Khi có vấn đề tắc nghẽn thoát nước phía sau lớp lót (tắc nghẽn có thể gây ra sự suy giảm khác, cần kết hợp với các biện pháp giảm mực nước).

Khi tiến hành khảo sát tiêm vữa, việc nắm bắt sự tồn tại và kích thước của các khoảng trống phía sau là rất quan trọng.

Thiết kế biện pháp đổ lại và tiêm vữa phải dựa trên các dữ liệu thu thập được từ khảo sát, xác định phạm vi tiêm vữa, lượng vữa tiêm, lựa chọn vật liệu tiêm có hiệu quả điền đầy khoảng trống, phương pháp tiêm vữa, bố trí ống tiêm, v.v. Đồng thời, việc lựa chọn vật liệu tiêm cần xem xét các yếu tố như địa chất, kích thước khoảng trống, tình trạng nước rò rỉ, v.v., và phải đảm bảo tính thi công tốt và tính kinh tế.

2.2. Thiết kế gia cố bằng mũi khoan

Mục đích của gia cố bằng mũi khoan là kiểm soát sự phát triển của sự suy giảm do áp lực đất dẻo và lệch trọng tâm, đồng thời ngăn ngừa hiện tượng rơi mảnh lớp lót. Mục đích đầu tiên là sử dụng mũi khoan để kết nối đá xung quanh, ngăn ngừa sự suy giảm cường độ của đá xung quanh, từ đó kiểm soát sự phát triển của sự suy giảm.

Trong trường hợp đá xung quanh có áp lực đất lớn, có thể sử dụng mũi khoan tiêm vữa thay thế cho mũi khoan.

(1) Nếu có thể sử dụng mũi khoan để gia cố chắc chắn đá xung quanh, sẽ đạt được hiệu quả gia cố lớp lót. Do đó, việc xác nhận điều kiện đá xung quanh trong quá trình khảo sát là rất quan trọng để đảm bảo hiệu quả gia cố chắc chắn.

(2) Khi lập kế hoạch gia cố bằng mũi khoan, cần tiến hành khảo sát sự suy giảm và đánh giá đúng mức độ và loại suy giảm.

(3) Khi thiết kế gia cố bằng mũi khoan, để đạt được hiệu quả gia cố, cần nghiên cứu kỹ các yếu tố như mức độ suy giảm, điều kiện đá xung quanh, khoảng trống giới hạn, hình dạng và kích thước tiết diện hầm, và dựa trên kết quả khảo sát các yếu tố này để thiết kế đầy đủ các thông số như vật liệu mũi khoan, vật liệu gia cố, kích thước và bố trí mũi khoan, lực kéo và lực căng trước, phạm vi biện pháp gia cố, v.v.

2.3. Thiết kế gia cố lớp lót bên trong

Lớp lót bên trong chủ yếu sử dụng bê tông sợi thép.

Khi thiết kế, cần tiến hành điều tra kỹ lưỡng các hiện tượng suy giảm do áp lực đất, khoảng trống giới hạn, tình trạng lớp lót hầm và điều kiện thi công.

Lớp lót bên trong được áp dụng khá nhiều trong các biện pháp khắc phục sự suy giảm chất lượng hầm, nhằm đối phó với áp lực đất, suy giảm lớp lót, nước rò rỉ và thiệt hại do đóng băng, v.v.

Khi chỉ sử dụng lớp lót bên trong như một biện pháp đối phó với áp lực đất, cần chú ý các vấn đề sau:

(1) Lớp lót bên trong khi gia cố lớp lót hầm

Lớp lót có thể sử dụng bê tông có thêm sợi thép, hoặc kết hợp với gia cố vòm, hoặc sử dụng bê tông cốt thép. Do tiết diện không gian của hầm bị giới hạn, độ dày của lớp lót thường khá mỏng (dưới 150mm), và do không gian thi công hạn chế, khi sử dụng bê tông cốt thép, thường không thể đảm bảo độ dày của lớp bảo vệ. Vì vậy, nguyên tắc là sử dụng bê tông sợi thép.

Các vật liệu sợi dùng trong bê tông sợi bao gồm sợi thép, sợi thủy tinh, sợi nylon và sợi nhựa, nhưng khi gia cố với bê tông có cốt liệu thô, thường sử dụng sợi thép.

Khi thi công bê tông sợi thép, cần tham khảo "Hướng dẫn thiết kế và thi công bê tông sợi thép".

(2) Khi lập kế hoạch, cần đánh giá đúng hiện tượng suy giảm và mức độ suy giảm dựa trên kết quả khảo sát, đồng thời chú ý điều tra khoảng trống giới hạn, tình trạng lớp lót và điều kiện thi công.

① *Khoảng trống giới hạn*

Độ dày lớp lót như một biện pháp đối phó với áp lực đất thường từ 70 - 90mm, với ít nhất lượng dư thừa như vậy. Do đó, cần sử dụng phương pháp đo tiết diện để xác nhận lượng dư thừa của tiết diện. Nếu không đảm bảo được khoảng dư giới hạn, cần nghiên cứu chi tiết khả năng khoan lỗ bề mặt từ góc độ ổn định của kết cấu lớp lót.

② *Tình trạng lớp lót*

Cần điều tra độ dày lớp lót, tình trạng suy giảm bề mặt lớp lót, kết cấu ở đáy tường bên, hiện tượng rò rỉ nước, đóng băng, v.v., để thu thập các dữ liệu cần thiết cho kế hoạch và thiết kế. Đồng thời, nếu việc di chuyển và bảo vệ các thiết bị trong hầm gặp khó khăn, cũng cần điều tra kỹ lưỡng trước.

③ *Điều kiện thi công*

Khi lựa chọn phương pháp thi công lớp lót, ngoài việc khảo sát mức độ suy giảm và lượng dư thừa giới hạn, cần phải điều tra khoảng cách từ cửa hầm đến khu vực thi công và các yếu tố liên quan đến điều kiện thi công.

Trong thiết kế lớp lót, cần dựa trên mức độ suy giảm, khoảng dư giới hạn, hình dạng và kích thước tiết diện hầm để thiết kế hợp lý các yếu tố như vật liệu, độ dày và phương pháp thi công, phạm vi biện pháp, ngăn ngừa rò rỉ nước, v.v.

Tỷ lệ pha sợi trong bê tông sợi thép dưới 1,5% có thể khiến cường độ kéo của bê tông gần tương đương với cường độ của bê tông thông thường. Do đó, đối với các kết cấu bê tông sợi thép, lực tác động đến tiết diện khi nứt xảy ra không cải thiện nhiều so với bê tông thông thường. Tuy nhiên, trong các kết cấu bê tông sợi thép, sợi thép có thể duy trì khả năng chịu tải sau khi nứt xảy ra, giúp phân tán các vết nứt, từ đó nâng cao khả năng chịu tải và độ biến dạng của kết cấu. Khi thiết kế lớp lót bằng phương pháp phân tích, cần tập trung nghiên cứu khả năng duy trì tải trọng của bê tông sợi thép, đặc biệt là khi nứt xảy ra.

2.4. Thiết kế gia cố vòm lớp lót

Gia cố vòm lớp lót thường được sử dụng cùng với lớp lót bên trong. Khi lập kế hoạch, cần điều tra đầy đủ các hiện tượng suy giảm, khoảng trống giới hạn, tình trạng lớp lót hầm và điều kiện thi công. Mục đích của gia cố vòm không chỉ để chống lại áp lực đất, mà còn để ngăn ngừa sự bong tróc của lớp lót bị suy giảm và gia cố độ dày hiệu quả của lớp lót mỏng. Đồng thời, nó cũng có thể được sử dụng như một biện pháp bảo vệ trong quá trình đổ lại và tiêm vữa. Gia cố vòm khi sử dụng độc lập có hiệu quả gia cố rất thấp, nhưng khi kết hợp với lớp lót bên trong có độ dẻo dai, sẽ tăng cường hiệu quả của nó. Trong các trường hợp có áp lực đất nhỏ, cũng có thể kết hợp với lưới kim loại để ngăn ngừa bong tróc. Trong các trường hợp áp lực đất lớn, có thể kết hợp với lớp lót bên trong. Khi sử dụng độc lập, cần khảo sát tình trạng bong tróc lớp lót.

Khi thiết kế gia cố vòm, cần nghiên cứu kỹ lưỡng các điều kiện sau để thiết kế:

(1) Vật liệu;

(2) Kích thước và khoảng cách;

(3) Phạm vi biện pháp gia cố;

(4) Các yếu tố khác (chi tiết kết cấu).

Trong thiết kế gia cố vòm, cần phải thiết kế hợp lý các yếu tố như vật liệu, kích thước và khoảng cách, phạm vi biện pháp gia cố, cấu tạo nền móng, chêm chặt, mối nối, v.v., dựa trên mức độ suy giảm, khoảng trống giới hạn, hình dạng và kích thước tiết diện hầm.

Khi chỉ sử dụng gia cố vòm hoặc trong các trường hợp có áp lực đất nhỏ, có thể thiết kế gia cố vòm bằng phương pháp tính toán.

2.5. Thiết kế gia cố bề mặt bên trong lớp lót

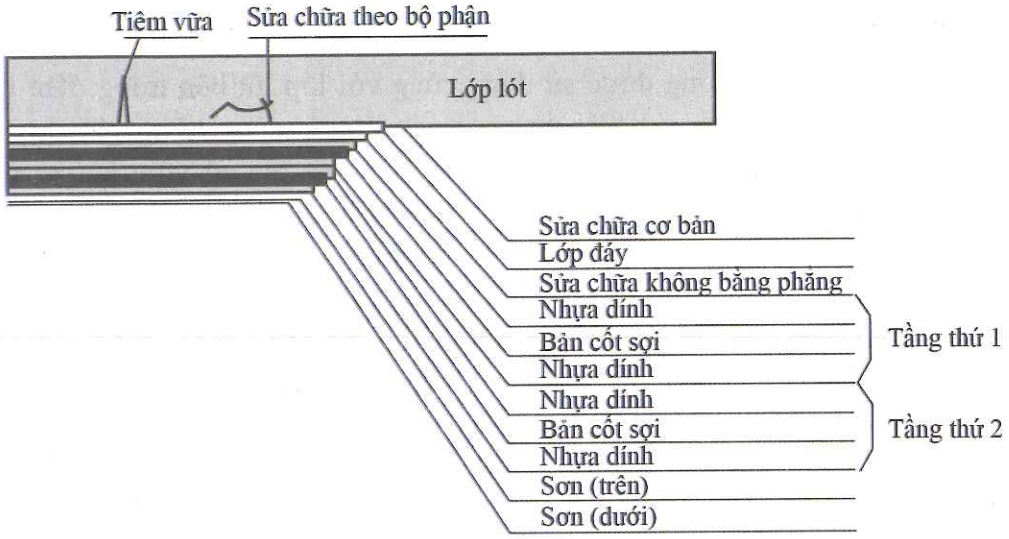
Phương pháp gia cố bề mặt bên trong bao gồm phương pháp dán sợi carbon, sợi nylon, sợi thủy tinh và phương pháp dán thép tấm. Trong các phương pháp dán sợi, sợi carbon thường được sử dụng nhiều hơn, trong khi sợi nylon và sợi thủy tinh ít được sử dụng.

Các đặc điểm và điểm cần lưu ý trong thi công của hai phương pháp dán này như sau:

(1) Phương pháp dán tấm sợi

① *Đảm bảo tiết diện không gian*

Phương pháp dán tấm sợi, như được thể hiện trong Hình 4-3-7, là phương pháp dán tấm sợi rất mỏng. So với các phương pháp gia cố khác, đây là phương pháp giảm diện tích tiết diện không gian ít nhất.



***Hình 4-3-7:** Tiết diện của phương pháp dán tấm sợi*

② *Hiệu quả gia cố*

Bằng cách dán tấm sợi lên bề mặt bên trong lớp lót, có thể chịu được lực kéo tác động lên bề mặt bên trong. Nói chung, phương pháp này có thể kiểm soát sự nứt do uốn, đồng thời có tác dụng ngăn ngừa bong tróc.

③ *Khả năng thi công*

a. Công đoạn dán tấm sợi bằng keo nhựa phủ và dán là phần quan trọng, thi công khá dễ dàng.

b. Chỉ cần thi công thủ công, không cần đến máy móc lớn, không bị hạn chế bởi không gian thi công.

c. Tấm sợi có thể dễ dàng thích ứng với hình dạng của kết cấu.

d. Có thể điều chỉnh lượng gia cố tùy theo số lớp tăng giảm.

e. Nhẹ, dễ di chuyển, dễ vận chuyển và thi công.

④ *Độ bền, khả năng chống ăn mòn*

Không gỉ và do được bao phủ bằng nhựa, có thể ngăn ngừa sự suy giảm của lớp lót.

⑤ *Điểm cần lưu ý khi thi công*

a. Trong các trường hợp chịu lực, không thể kỳ vọng vào hiệu quả gia cố.

b. Keo nhựa dán và ngâm tấm sợi là vật liệu dễ cháy.

c. Khi lớp lót bê tông bị suy giảm nghiêm trọng và cường độ bê tông thấp, không thể kỳ vọng vào hiệu quả gia cố.

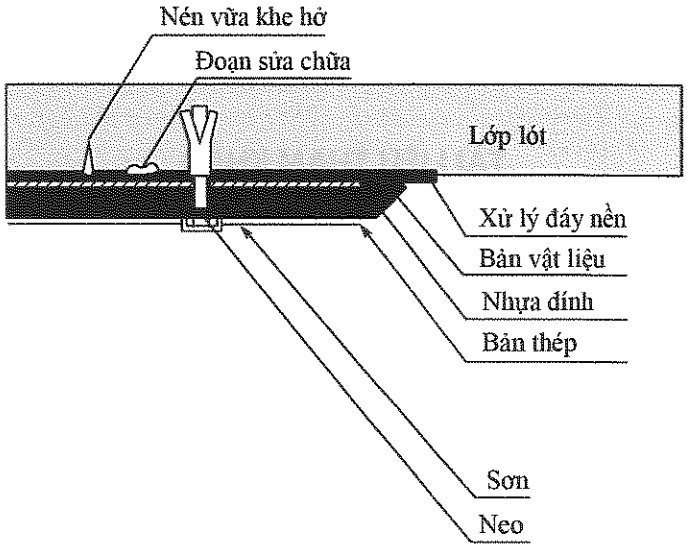
d. Cường độ của keo nhựa dán và ngâm tẩm sợi cần thời gian phát triển, vì vậy, để tránh hiện tượng bong tróc dưới tác dụng của áp lực gió từ tàu, cần có các biện pháp ngăn ngừa bong tróc. Đồng thời, trong môi trường thi công lạnh, việc phát triển độ bám dính cũng cần thời gian dài, điều này cần được chú ý.

e. Sợi thủy tinh và sợi nylon không dẫn điện, trong khi sợi carbon có khả năng dẫn điện.

(2) Phương pháp dán thép tấm

① *Đảm bảo tiết diện không gian*

Phương pháp dán thép tấm, như được thể hiện trong Hình 4-3-8, là phương pháp dán thép tấm lên bề mặt lớp lót. Cần đảm bảo có một lớp nhựa dày vài milimét giữa thép tấm và lớp lót, và thép tấm được cố định bằng bu lông móc. Do đó, so với phương pháp dán sợi, phương pháp này sẽ làm giảm một phần tiết diện không gian, nhưng so với các phương pháp gia cố khác, việc giảm tiết diện không gian là ít nhất.



Hình 4-3-8: *Tiết diện của phương pháp dán thép tấm*

② *Hiệu quả gia cố*

Khi dán thép tấm lên bề mặt bên trong lớp lót, có thể chịu được lực kéo tác động lên bề mặt, đặc biệt là có thể kiểm soát sự nứt do uốn và ngăn ngừa sự bong tróc.

③ *Độ bền, khả năng chống ăn mòn*

Do được phủ bằng thép tấm, phương pháp này có thể ngăn ngừa sự suy giảm của lớp lót.

④ *Điểm cần lưu ý*

a. Thép tấm nặng hơn sợi vải, thi công khó khăn hơn.

b. Khi lớp lót bê tông bị suy giảm nghiêm trọng và cường độ bê tông thấp, không thể kỳ vọng vào hiệu quả gia cố.

c. Thép tấm sẽ bị ăn mòn, cần phải sơn lại định kỳ.

d. Thép tấm có khả năng dẫn điện.

Khi áp dụng phương pháp gia cố bề mặt bên trong, cần tiến hành khảo sát đầy đủ tình trạng suy giảm lớp lót và yêu cầu của đánh giá mức độ suy giảm lớp lót, bao gồm tình trạng bề mặt lớp lót, thời gian thi công (thời gian cửa hầm mở), khoảng cách vận chuyển vật liệu và nhiệt độ trong hầm. Cũng cần điều tra các điều kiện thông gió và thiết bị trong hầm như cáp điện, v.v.

Để đạt được hiệu quả của biện pháp gia cố bề mặt, tấm sợi hoặc thép tấm phải được dán đầy đủ lên bề mặt lớp lót và phải bám dính chắc chắn với lớp lót. Vì vậy, trong quá trình khảo sát, cần phải xác định rõ tình trạng ô nhiễm bề mặt lớp lót và các tình trạng suy giảm lớp lót như nứt, rò rỉ nước, ngưng tụ, v.v., để thu thập dữ liệu cần thiết cho thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quách Chiếm Nguyệt. Thi công và bảo trì đường hầm đường sắt cao tốc [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 2012.

[2] Lý Hiểu Hồng. Phương pháp NATM trong thi công hầm và công nghệ đo lường [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Khoa học, 2002.

[3] Quan Bảo Thụ. Tổng hợp các điểm chính trong thi công đường hầm [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân, 2003.

[4] Quan Bảo Thụ. Tổng hợp các điểm chính trong quản lý bảo trì đường hầm [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân, 2004.

[5] Quan Bảo Thụ. Tổng hợp các điểm chính trong thiết kế đường hầm [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân, 2011.

[6] Lưu Duy Ninh. Đường hầm đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2011.

[7] Trung tâm Thẩm định Thiết kế Công trình Bộ Đường sắt. Đường hầm đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2006.

[8] Cao Ba. Thiết kế đường hầm đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2010.

[9] Chu Vĩnh Toàn. Kỹ thuật đường hầm [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2005.

[10] Vương Anh Học, Cao Ba, Triệu Văn Thành và cộng sự. Nguyên lý và phương pháp phân tích khí động học xe - hầm [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2017.

[11] Vương Anh Học, Cao Ba, Chu Đan và cộng sự. Công nghệ kiểm soát hiệu ứng khí động học trong đường hầm đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Khoa học, 2012.

[12] Triệu Bình Duệ, Vương Huấn, Tấn Trí Bân và cộng sự. Thi công và bảo trì công trình đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Khoa học, 2015.

[13] Triệu Dũng. Đường hầm đường sắt cao tốc Trung Quốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2016.

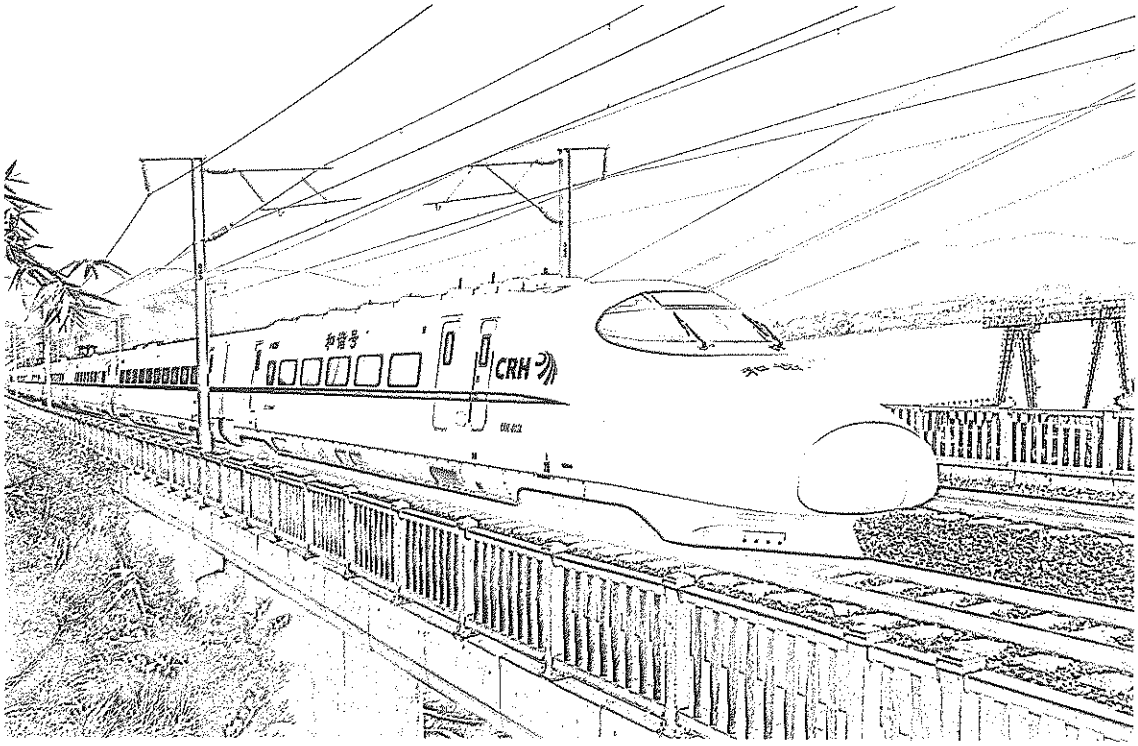
[14] Lạc Kiến Quân. Đặc tính khí động học của đường hầm đường sắt cao tốc tại khu vực cao nguyên [Tạp chí]. Tạp chí Đại học Giao thông Tây Nam, 2016, 04(51): 607-614.

[15] Tôn Xuân Hoa. Nghiên cứu kết cấu đệm cho đường hầm tuyến đường sắt khách chuyên dụng ở khu vực miền núi hiểm trở [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2014(1): 1004-2954.

[16] Trương Lôi, Dương Minh Trí, Trương Huy và cộng sự. Ảnh hưởng của cổng hầm đến hiệu ứng khí động học trong đường hầm đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt, 2013, 11(35): 92-97.

[17] Triệu Hãn Thanh, Tiết Lôi Bình, Hướng Tân Đào và cộng sự. Các yếu tố ảnh hưởng và phân tích đạo hàm áp suất thời gian khi tàu cao tốc đi qua hầm [Tạp chí]. Tạp chí Cơ học Quý, 2012(1): 0254-0053.

[18] Mai Nguyên Quý. Khí động học đường hầm đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Khoa học, 2009.



PHẦN V. CÔNG TRÌNH NHÀ GA

Trong những năm gần đây, sự phát triển mạnh mẽ của mạng lưới giao thông tích hợp, bao gồm sân bay, đường sắt cao tốc, tàu điện ngầm và xe buýt, đã dẫn đến những thay đổi sâu sắc trong nhiều khía cạnh của nhà ga đường sắt. Các thay đổi này bao gồm quy mô nhà ga, cấu trúc không gian nội thất, dịch vụ thông tin, cũng như sự kết nối với hệ thống giao thông đô thị.

Phần này khái quát quá trình phát triển của nhà ga đường sắt tại các khu vực như châu Âu, Mỹ, Nhật Bản và Trung Quốc, đồng thời đưa ra các phân tích về những xu hướng phát triển mới trong lĩnh vực này. Bên cạnh đó, tài liệu cũng tổng hợp các nguyên tắc chính và các yếu tố ảnh hưởng đến quy hoạch, thiết kế tổng thể mặt bằng nhà ga cao tốc. Các nội dung liên quan đến những khái niệm và công nghệ mới trong thiết kế kiến trúc, kết cấu, cũng như thiết kế xanh và bền vững cũng được thảo luận chi tiết.

Về mặt thi công, tài liệu cung cấp một cái nhìn hệ thống về các công nghệ tiên tiến và phương pháp thi công mới cho các hạng mục như nền móng, kết cấu chính của nhà ga, mái che có nhịp lớn và không gian lớn, đồng thời đưa ra các giải pháp thi công thân thiện với môi trường.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ SỰ PHÁT TRIỂN CỦA NHÀ GA ĐƯỜNG SẮT

Ban đầu, mục đích xây dựng đường sắt chủ yếu là để vận chuyển hàng hóa, còn việc vận chuyển hành khách chỉ được đưa ra sau này. Những tuyến đường sắt đầu tiên được sử dụng để chở hàng hóa rời từ các mỏ khoáng sản và mỏ đá. Đến những năm 1840, tiềm năng vận chuyển hành khách được phát hiện, dẫn đến nhu cầu xây dựng các nhà ga, nơi hành khách có thể chờ tàu, nghỉ ngơi trong phòng sạch sẽ và tránh được gió mưa. Từ đó, việc xây dựng các nhà ga dành cho hành khách mới bắt đầu hình thành và phát triển.

Nhà ga đường sắt, hay còn được gọi là nhà ga hành khách đường sắt, thường được gọi phổ biến hơn là ga tàu. Đây là công trình giao thông phục vụ hành khách lên xuống tàu, bao gồm các khu vực chờ tàu và các cơ sở vật chất bảo đảm an toàn cho hành khách. Nhà ga tàu có mối quan hệ mật thiết với đời sống của người dân đô thị và là một trong những công trình công cộng quen thuộc nhất. Những không gian rộng lớn, sân ga dài, cùng những hình ảnh người dân vui mừng khi gặp lại người thân hoặc bịn rịn chia tay nhau tại ga tàu luôn khơi dậy những cảm xúc và kỷ niệm sâu sắc. Nhiều tác phẩm văn học và nghệ thuật đã khắc họa cảnh nhà ga tàu, tạo nên những hình ảnh kinh điển đầy ấn tượng.

Cùng với sự phát triển không ngừng của ngành vận tải đường sắt, việc xây dựng nhà ga cũng ngày càng hoàn thiện và hiện đại hơn. Trong những năm gần đây, cùng với sự hình thành mạng lưới giao thông tích hợp bao gồm giao thông trên không, mặt đất và dưới lòng đất, cũng như xu hướng phát triển đồng bộ giữa sân bay, đường sắt, tàu điện ngầm và xe buýt, các nhà ga đường sắt đã có những thay đổi sâu sắc về quy mô, cấu trúc không gian bên trong, dịch vụ thông tin và sự kết nối với giao thông đô thị.

Lịch sử của nhà ga tàu chỉ hơn 200 năm, xuất hiện cùng với sự ra đời của đường sắt và không ngừng phát triển cùng với tiến bộ công nghệ và sự phát triển kinh tế - xã hội của loài người, trải qua những giai đoạn thăng trầm đầy biến động.

I. QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN NHÀ GA ĐƯỜNG SẮT TẠI CHÂU ÂU VÀ MỸ

Tuyến đường sắt đầu tiên trên thế giới từ Stockton đến Darlington (Anh Quốc) chính thức được đưa vào hoạt động năm 1825, đánh dấu bước ngoặt lịch sử cho sự ra đời và phát triển của ngành đường sắt toàn cầu. Đến nay, sự kiện quan trọng này đã tròn 190 năm.

Với sự tiến bộ liên tục của công nghệ giao thông, đường sắt đã chuyển mình từ thời kỳ đầu máy hơi nước sang thời kỳ điện khí hóa. Châu Âu đã nhiều lần thiết lập kỷ lục mới về tốc độ vận hành đường sắt và trở thành một trong những trung tâm công nghệ đường sắt cao tốc lớn nhất thế giới. Các quốc gia như Pháp, Đức và Ý được biết đến với công nghệ đường sắt cao tốc hiện đại hàng đầu, trong khi Pháp, Tây Ban Nha và Đức đứng đầu về tổng chiều dài mạng lưới đường sắt cao tốc.

1. Khái quát sự phát triển của nhà ga hành khách đường sắt tại châu Âu và Mỹ trước Thế chiến

Nhờ những thành tựu nổi bật của Anh và Pháp trong Cách mạng Công nghiệp, ngành đường sắt đã trải qua giai đoạn phát triển mạnh mẽ đầu tiên. Năm 1808, Anh xây dựng tuyến đường sắt và toa hành khách đầu tiên. Đến năm 1847, nước này đã hoàn thành 9.400 km đường trục chính. Trong giai đoạn này, các nhà ga hành khách chủ yếu phục vụ hành khách chờ tàu, với mô hình còn khá sơ khai.

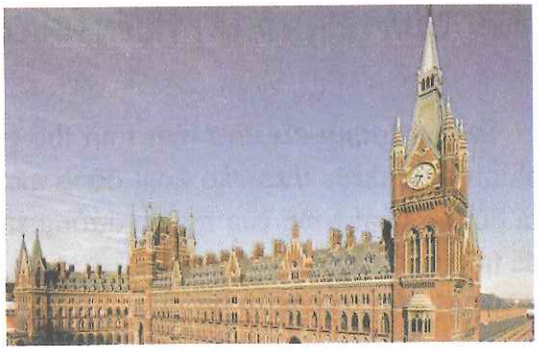
Khi tuyến đường sắt đầu tiên do Stephenson xây dựng đi vào hoạt động năm 1825, chưa có nhà ga dành cho hành khách, và việc lên tàu diễn ra tại các sân ga bằng gỗ. Sau đó, để cải thiện điều kiện phục vụ hành khách, các tuyến đường sắt bắt đầu lắp đặt mái che trên sân ga. Tiếp theo, nhiều nhà ga xây dựng thêm các phòng chờ, nhà ăn và nhà vệ sinh, tạo nên mô hình nhà ga cơ bản đầu tiên. Ban đầu, các nhà ga có thiết kế đơn giản với phòng chờ nhỏ và hành khách thường chờ tàu ngay trên sân ga. Về sau, khi các phòng chờ dần trở nên phổ biến, những mái vòm lớn được sử dụng để làm nơi chờ tàu cho hành khách.

Từ năm 1830 với nhà ga Crown ở Liverpool cho đến năm 1874 khi hoàn thành nhà ga Liverpool Street ở London, quá trình phát triển nhà ga đã có nhiều cải tiến đáng kể. Những nhà ga nổi bật trong giai đoạn này bao gồm King's Cross (Hình 5-1-1), Paddington và St. Pancras (Hình 5-1-2) ở London. Tuy nhiên, một số nhà ga đã bắt đầu áp dụng mô hình thiết kế thông qua, thay vì chỉ là nơi chờ tàu đơn thuần.

Nhìn chung, mô hình không gian nhà ga thời kỳ này chủ yếu là nơi chờ tàu. Nhà ga đường sắt đầu tiên thực sự được ghi nhận là nhà ga Liverpool - Manchester, khai trương vào ngày 15 tháng 9 năm 1830. Hiện nay, nhà ga này vẫn được bảo tồn tại Manchester và được sử dụng như một bảo tàng khoa học.

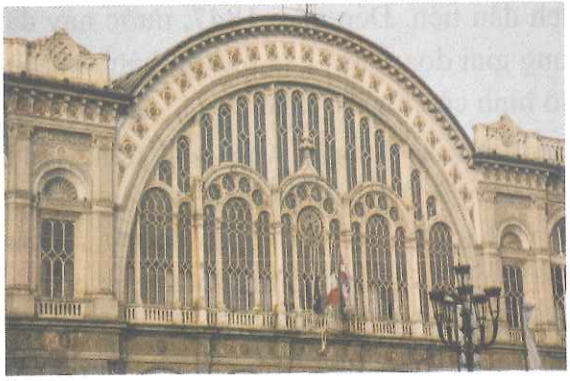


Hình 5-1-1: *Nhà ga King's Cross ở London*



Hình 5-1-2: *Nhà ga St. Pancras ở London*

Về phong cách kiến trúc, Anh Quốc ưa chuộng lối kiến trúc lãng mạn mang hơi hướng Gothic, đơn giản và chú trọng tính thực dụng, nhưng không tạo ra nhiều ảnh hưởng tại châu Âu. Ngược lại, Pháp phát triển mạnh mẽ phong cách chiết trung, kết hợp với các yếu tố trang trí xa hoa, lộng lẫy, và gây ảnh hưởng lớn đến kiến trúc châu Âu. Những nhà ga tiêu biểu cho phong cách này bao gồm Porta Nuova ở Turin (Hình 5-1-3) và Anhalter Bahnhof ở Berlin (Hình 5-1-4), đều mang vẻ đẹp sang trọng và tráng lệ.



Hình 5-1-3: *Nhà ga Porta Nuova ở Turin*



Hình 5-1-4: *Nhà ga Anhalter Bahnhof ở Berlin*

Vào thời điểm đó, Mỹ là một quốc gia mới nổi, do đó mô hình phát triển nhà ga đường sắt có nhiều điểm khác biệt so với châu Âu. Ở Mỹ, nhiều thành phố được phát triển quanh các nhà ga, thay vì xây dựng nhà ga xung quanh các thành phố đã có sẵn. Ban đầu, các nhà ga ở những thành phố quan trọng thường là những công trình nhỏ và thấp tầng, chủ yếu kết nối với nội thành bằng xe ngựa.

Giai đoạn phát triển thứ hai được coi là thời kỳ chuyển tiếp của các nhà ga hành khách, với sự kết hợp giữa mô hình nhà ga chờ tàu và các đặc điểm ban đầu của nhà ga thông qua. Những công trình tiêu biểu cho thời kỳ này bao gồm nhà ga trung tâm

Milan ở Ý (Hình 5-1-5) được xây dựng năm 1864 và nhà ga trung tâm Frankfurt ở Đức (Hình 5-1-6) hoàn thành năm 1879. Các nhà ga này có sảnh chính được chia thành hai khu vực cho các đoàn tàu đi và đến, mỗi khu lại được chia thành bốn nhóm, đồng thời kết hợp không gian chờ tàu và sân ga kiểu cụt.

Lúc này, các sảnh lớn bắt đầu mang những đặc điểm của nhà ga thông qua: khu vực phía trước sảnh bố trí các quầy bán vé ở hai bên, phía sau sảnh là khu vực gửi hành lý và ngay tiếp sau đó là cổng kiểm soát vé. Một số chức năng thương mại cũng bắt đầu xuất hiện trong các nhà ga đường sắt. Mặc dù không gian và hình thức kinh doanh còn đơn giản, nhưng đây được xem là hình thức sơ khai của không gian đa chức năng. Dù phong cách chiết trung vẫn thịnh hành, thiết kế kiến trúc đã trở nên đơn giản hơn.



Hình 5-1-5: *Nhà ga trung tâm Milan, Ý*



Hình 5-1-6: *Nhà ga trung tâm Frankfurt, Đức*

Vào thời điểm đó, tại Mỹ, sự phát triển nhanh chóng của nền kinh tế xã hội đã thúc đẩy mong muốn thể hiện hình ảnh đô thị thông qua các nhà ga. Vì vậy, những công trình nhà ga thấp tầng ban đầu dần được thay thế bằng các tòa nhà lớn hơn và bề thế hơn. Tiêu biểu là thủ đô Washington, nơi đã xây dựng Nhà ga Liên hợp Washington - một công trình hoành tráng bằng đá granite trắng, dài 234 m và rộng 105 m, hoàn toàn tương xứng với vị thế của thủ đô (Hình 5-1-7).

Giai đoạn phát triển thứ ba được coi là thời kỳ hoàn thiện của mô hình nhà ga thông qua. Trong giai đoạn này, hầu hết các nhà ga hành khách đều được xây dựng với mô hình kết hợp giữa sân ga ngầm và nhà ga trên mặt đất. Nhà ga Pennsylvania ở New York (Hình 5-1-8) là đại diện điển hình cho phong cách này. Nhà ga được thiết kế với bốn lối vào ở bốn mặt, trong đó sảnh thông qua đóng vai trò là khu vực trung tâm, với các quầy bán vé bố trí xung quanh. Từ sảnh chính, hành khách được dẫn xuống các sân ga ở tầng dưới. Sảnh lớn được thiết kế theo

kiểu hạ thấp, nằm thấp hơn mặt đường khoảng 3 m, trong khi phần lớn không gian và tầng lửng nằm trên mặt đất. Đáng tiếc, nhà ga này sau đó đã bị phá dỡ bởi cơ quan quy hoạch thành phố.



Hình 5-1-7: *Nhà ga Liên hợp Washington*



Hình 5-1-8: *Nhà ga Pennsylvania*

Nhìn lại xu hướng phát triển của các nhà ga hành khách đường sắt ở nước ngoài trước Thế chiến II, có thể thấy rõ ba giai đoạn chính: từ mô hình thông qua đơn giản, đến mô hình chờ tàu, và cuối cùng là mô hình thông qua hoàn chỉnh. Về phong cách kiến trúc, sự chuyển đổi diễn ra từ những thiết kế cầu kỳ, nhiều chi tiết trang trí sang phong cách hiện đại, đơn giản và tinh tế. Lúc này, trọng tâm dần được đặt vào việc nghiên cứu và tối ưu hóa chức năng sử dụng cũng như không gian của nhà ga.

2. Sự phát triển của công nghệ đường sắt và nhà ga hành khách ở châu Âu và Mỹ sau Thế chiến

Sau Thế chiến II, khi nền kinh tế các quốc gia bắt đầu phục hồi, làn sóng xây dựng đô thị lan rộng trên toàn cầu. Mặc dù đường sắt vẫn giữ vai trò quan trọng trong giao thông vận tải, nhưng ngành sản xuất ô tô, xây dựng đường bộ và vận tải hàng không đã phát triển vượt bậc. Trong bối cảnh đó, tốc độ phát triển của đường sắt trở nên chậm hơn. Giao thông đô thị bước vào kỷ nguyên ô tô, kéo theo sự suy thoái của hệ thống giao thông đường sắt đô thị. Đến thời kỳ phong cách kiến trúc hiện đại phổ biến, nhà ga hành khách đường sắt bắt đầu thay đổi, chuyển từ mô hình quy mô lớn với kiến trúc cầu kỳ sang phong cách đơn giản, thực dụng. Cách bố trí không gian trong nhà ga cũng được điều chỉnh, tập trung vào khu vực lưu thông chính với các quầy bán vé, các dịch vụ hỗ trợ và lối đi thuận tiện giúp hành khách dễ dàng ra vào nhà ga.

Khi giao thông đô thị trở nên ngày càng phức tạp, quy mô thành phố mở rộng và công nghệ giao thông có nhiều tiến bộ, các loại hình giao thông đường sắt đô thị mới dần được phát triển. Hệ thống này trở thành trụ cột của giao thông đô thị, phối hợp

cùng các phương tiện công cộng và cá nhân để đáp ứng nhu cầu đi lại của người dân. Sự phát triển của năng suất và sự thịnh vượng của các thành phố đã thu hút một lượng lớn dân cư nông thôn chuyển vào đô thị. Để giải quyết vấn đề tắc nghẽn ngày càng nghiêm trọng, hệ thống tàu điện ngầm và đường sắt nhẹ ra đời. Sau năm 1965, các thành phố phương Tây bước vào giai đoạn phát triển mạnh mẽ của giao thông đường sắt đô thị, đánh dấu sự thay đổi lớn trong xã hội loài người. Bảng 5-1-1 trình bày chi tiết sự phát triển của hệ thống đường sắt ở châu Âu và Mỹ.

Bảng 5-1-1: Các sự kiện tiêu biểu trong quá trình phát triển xây dựng đường sắt ở châu Âu và Mỹ

Năm	Quốc gia	Thành phố	Sự kiện
1830	Anh	Manchester	Tuyến đường sắt đầu tiên
1863	Anh	London	Tuyến tàu điện ngầm đầu tiên
1893	Mỹ	Boston	Tàu điện nhẹ
1956	Pháp	Paris	Tuyến tàu điện ngầm bánh lốp đầu tiên
1964	Pháp	Paris	Tàu cao tốc (TGV)
1972	Mỹ	San Francisco	Hệ thống tàu nhanh điều khiển tự động đầu tiên
1981	Pháp	Paris	Tàu cao tốc (LGV)
1992	Tây Ban Nha	Madrid	Tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên (AVE)
1994	Anh, Pháp	Eo biển Manche	Đường hầm dưới biển Anh-Pháp
2010	Thụy Điển	Stockholm	Tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên
2014	Ba Lan	Warsaw	Tàu cao tốc (EIP)
2015	Mỹ	California	Đường sắt cao tốc California (đang xây dựng)

Dựa trên Bảng 5-1-1, có thể nhận thấy sự phát triển rõ rệt của hệ thống đường sắt quốc tế trong hơn một thế kỷ qua. Cùng với sự mở rộng của lý thuyết quy hoạch đô thị, thiết kế cơ sở hạ tầng và các công trình công cộng bước vào giai đoạn phát triển mạnh mẽ. Tốc độ tăng trưởng kinh tế nhanh chóng và sự gia tăng dân số đã thúc đẩy quá trình mở rộng đô thị, biến việc phát triển các khu đô thị vệ tinh hoặc trung tâm phụ ở các thành phố lớn tại châu Âu thành xu thế tất yếu. Trong bối cảnh đó, đường sắt trở thành phương tiện giao thông trọng yếu kết nối các đô thị.

Tháng 12 năm 1994, Liên minh Đường sắt châu Âu đã thông qua kế hoạch xây dựng mạng lưới đường sắt cao tốc xuyên châu Âu, dự kiến hoàn thành vào năm 2020. Mục tiêu của kế hoạch bao gồm xây mới 10.000 km đường sắt cao tốc với tốc

độ vận hành trên 250 km/h, cải tạo 15.000 km tuyến đường hiện có, hình thành mạng lưới đường sắt cao tốc dài 25.000 km kết nối các thành phố lớn tại châu Âu. Với quá trình hội nhập và sự hợp tác kinh tế sâu rộng giữa các nước thành viên Liên minh châu Âu, các tuyến đường sắt cao tốc quốc gia dần được kết nối thành một mạng lưới xuyên quốc gia. Điều này không chỉ tạo điều kiện thuận lợi cho sự liên kết chặt chẽ giữa các cụm đô thị trong nước mà còn góp phần quan trọng thúc đẩy sự phát triển và hợp tác giữa các cụm đô thị xuyên biên giới (Hình 5-1-9).

Kể từ thập niên 1950 đến nay, với sự tiến bộ của công nghệ đường sắt, các quốc gia phát triển ở phương Tây đã xây dựng và cải tạo nhiều tuyến đường sắt mới, giúp nâng cao đáng kể năng lực vận tải đường sắt. Nhờ đó, tần suất vận hành tàu và tỷ lệ đúng giờ đã được cải thiện đáng kể. Hành khách không còn phải chờ đợi lâu tại nhà ga như trước đây, mà có thể lên tàu ngay sau khi mua vé. Do đó, các phòng chờ dần bị thu nhỏ hoặc loại bỏ, thay vào đó là các sảnh đa chức năng, nơi cung cấp hầu hết các dịch vụ mà hành khách cần. Việc bố trí không gian đa năng này giúp đơn giản hóa luồng di chuyển bên trong nhà ga, giảm thời gian lưu lại của hành khách và nâng cao hiệu quả sử dụng không gian. Nhà ga trung tâm Rotterdam ở Hà Lan (Hình 5-1-10) và nhà ga Waterloo ở London (Hình 5-1-11) là những ví dụ tiêu biểu cho mô hình nhà ga hiện đại trong giai đoạn này.



Hình 5-1-9: *Sơ đồ quy hoạch mạng lưới đường sắt cao tốc châu Âu*



Hình 5-1-10: *Nhà ga trung tâm Rotterdam, Hà Lan*



Hình 5-1-11: *Nhà ga Waterloo, London*

Để thích ứng với sự phát triển ngày càng nhanh của các phương tiện giao thông đường sắt và thu hút thêm nhiều hành khách, các nhà ga hành khách đường sắt đã không ngừng cải tiến, tạo ra những ý tưởng thiết kế mới và mô hình không gian khác biệt so với trước đây.

Về mô hình không gian, nhà ga được thiết kế để kết nối thuận tiện với nhiều loại hình giao thông mới, do đó đã có sự thay đổi đáng kể về cách bố trí. Mô hình không gian ba chiều dần thay thế kiểu nhà ga cụt truyền thống. Dù được bố trí theo kiểu "trên tuyến" hay "dưới tuyến", các nhà ga hiện đại đều vượt qua mô hình không gian nằm ngang truyền thống và phát triển theo chiều dọc, mở rộng không gian một cách linh hoạt. Nội thất nhà ga được tổ chức với bố cục đơn giản và rõ ràng, nhằm thúc đẩy sự di chuyển nhanh chóng và tiện lợi cho hành khách.

Về mối quan hệ với đô thị, các nhà ga ngày càng chú trọng đến sự phát triển đồng bộ với thành phố, tận dụng lợi thế chức năng của mình để cùng thúc đẩy sự phát triển đô thị, mang lại lợi ích cho cả hai bên. Ngoài ra, triết lý phục vụ lấy con người làm trung tâm trở thành định hướng chủ đạo, chuyển từ việc chú trọng tạo không gian mang tính biểu tượng sang tập trung vào trải nghiệm thực tế và sự thoải mái của hành khách. Về mặt kiến trúc, thiết kế được định hướng theo nguyên tắc phục vụ tối đa cho chức năng, đồng thời áp dụng các phương pháp xây dựng tiên tiến và công nghệ cao.

II. QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN NHÀ GA ĐƯỜNG SẮT TẠI NHẬT BẢN

Do công nghiệp ở các nước châu Á phát triển muộn hơn so với châu Âu, việc xây dựng đường sắt cũng bắt đầu muộn hơn. Trong đó, Nhật Bản là quốc gia đi đầu, tiếp theo là Ấn Độ và Trung Quốc. Năm 1872, Nhật Bản hoàn thành tuyến đường sắt

vận hành đầu tiên nối Shinbashi và Yokohama với chiều dài 30 km. Sau Thế chiến II, từ những năm 1960, khi nền kinh tế Nhật Bản bùng nổ, hệ thống đường sắt cũng phát triển nhanh chóng.

Shinkansen là hệ thống đường sắt cao tốc chuyên dụng đầu tiên trên thế giới của Nhật Bản, với tổng chiều dài 515,4 km. Hệ thống này đã vận hành an toàn hơn 50 năm, với thời gian di chuyển từ Tokyo đến Osaka chỉ mất 145 phút và tốc độ tối đa đạt 270 km/h. Tuyến đầu tiên - Tokaido Shinkansen - được khai trương vào ngày 1 tháng 10 năm 1964, ngay trước thềm Thế vận hội Tokyo, kết nối hai thành phố lớn là Tokyo và Osaka. Đây cũng là hệ thống đường sắt cao tốc đầu tiên trên thế giới được đưa vào vận hành thương mại, với tốc độ tàu chạy lên tới 300 km/h. Hình dáng đặc trưng của tàu Shinkansen (Hình 5-1-12) nhanh chóng trở thành biểu tượng mới của giao thông Nhật Bản.

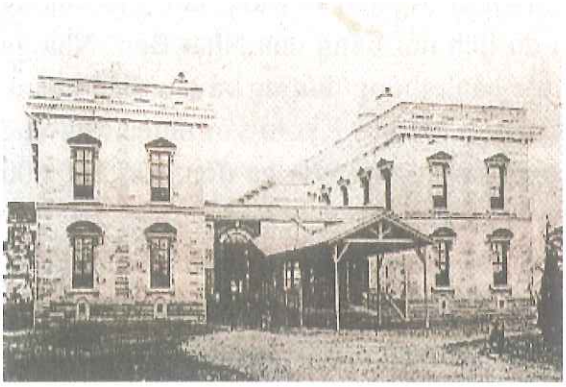


Hình 5-1-12: *Thân tàu Shinkansen Nhật Bản*

Việc xây dựng Shinkansen không chỉ thúc đẩy sự phát triển của các ngành công nghiệp liên quan như xây dựng, nguyên vật liệu và cơ khí mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc gia tăng lưu thông, đẩy nhanh quá trình truyền bá thông tin, tri thức và công nghệ. Điều này đã giúp thúc đẩy sự phát triển kinh tế địa phương và thu hẹp khoảng cách giữa thành thị và nông thôn. Thành công của Shinkansen tại Nhật Bản đã gây tiếng vang lớn trên toàn thế giới, đặc biệt là ở châu Âu, thúc đẩy các nước trong khu vực này phát triển hệ thống đường sắt cao tốc. Thời điểm Nhật Bản triển khai Shinkansen cũng là lúc các nước phương Tây tập trung phát triển đường cao tốc và ngành hàng không. Đường sắt khi đó bị coi là "ngành công nghiệp hoàng hôn" và ít được chú trọng. Tuy nhiên, cuộc khủng hoảng dầu mỏ và các vấn đề về ô nhiễm

môi trường đã khiến các quốc gia phải thay đổi chính sách, tập trung hơn vào phát triển hệ thống giao thông tiết kiệm năng lượng như đường sắt cao tốc.

Những nhà ga đầu tiên tại Nhật Bản bao gồm nhà ga Yokohama và Shinbashi (Hình 5-1-13), được xây dựng vào năm 1872 với kết cấu bằng gỗ đơn giản, chức năng chính là phòng chờ và khu vực hành lý. Nhà ga Shinbashi do người Mỹ thiết kế, có diện tích khoảng 1.000 m² với sảnh chính rộng 200 m² ở trung tâm và hai bên là các phòng chờ. Hiện nay, các nhà ga thế hệ thứ hai như Nikko, Moji, Harajuku và Nara vẫn còn được bảo tồn. Nhà ga Moji (Hình 5-1-14), với cấu trúc bao gồm phòng chờ và khu vực hành lý, đã được đưa vào danh sách di sản kiến trúc văn hóa được bảo vệ của Nhật Bản.



Hình 5-1-13: *Nhà ga Shinbashi, Nhật Bản*



Hình 5-1-14: *Nhà ga Moji, Nhật Bản*

Vào giữa thế kỷ 19, cùng với phong trào Minh Trị Duy Tân, Nhật Bản nhanh chóng tiếp nhận và ứng dụng các hình thức kiến trúc và công nghệ xây dựng phương Tây, theo đuổi mô hình "Âu hóa toàn diện". Trong bối cảnh đó, việc xây dựng nhà ga đường sắt cũng nằm trong làn sóng phát triển chung của xã hội. Ban đầu, đường sắt ở Nhật Bản chủ yếu phục vụ vận chuyển hành khách đường dài, với các tiện ích trong nhà ga tập trung vào phòng chờ, khu vực hành lý, cổng ra tàu và nhà vệ sinh. Khi lưu lượng hành khách, đặc biệt là hành khách đi lại hàng ngày, tăng lên cùng với sự gia tăng số lượng chuyến tàu, thiết kế nhà ga dần chuyển từ kiểu chờ tàu cố định sang kiểu luồng di chuyển linh hoạt. Đồng thời, với sự tiến bộ của xã hội, chức năng của nhà ga cũng thay đổi đáng kể.

Những thay đổi này diễn ra mạnh mẽ vào thập niên 1970 khi hệ thống Shinkansen hoàn thiện và nhiều nhà ga đường sắt cao tốc được xây dựng, mang đậm dấu ấn của thời đại với những đặc điểm nổi bật như sau:

1. Kết hợp tái phát triển đô thị và tích hợp đa phương tiện: Các nhà ga trở thành trung tâm giao thông tổng hợp, kết nối với nhiều phương tiện khác nhau, giúp hành khách chuyển đổi phương tiện dễ dàng.

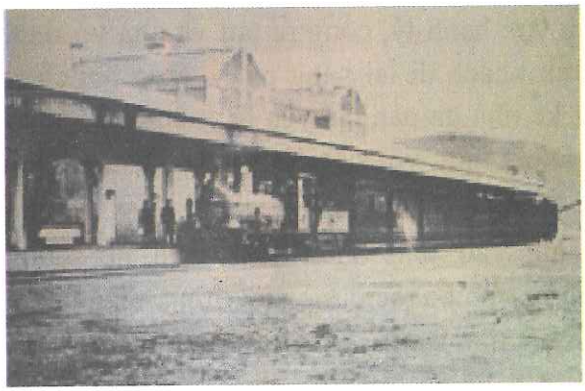
2. Dịch vụ lấy con người làm trung tâm: Các dịch vụ tiện ích tại nhà ga ngày càng được chú trọng, mang đến trải nghiệm tốt hơn cho hành khách. Đồng thời, các tiện ích không rào cản được phổ biến rộng rãi, tạo điều kiện thuận lợi cho những hành khách có nhu cầu đặc biệt.

3. Ứng dụng công nghệ hiện đại: Nhiều công nghệ mới được đưa vào sử dụng như máy bán vé tự động, hệ thống kiểm soát vé tự động, hệ thống tra cứu thông tin và gửi hành lý tự động, giúp hành khách di chuyển dễ dàng hơn.

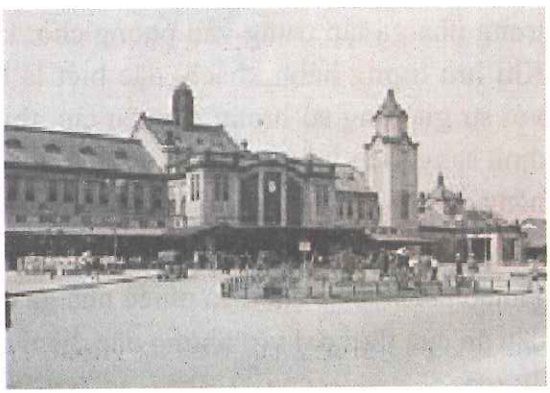
Nhà ga Kyoto, khai trương vào tháng 2 năm 1877, ban đầu là điểm cuối của tuyến đường sắt Kobe - Kyoto. Nhà ga đã trải qua bốn lần cải tạo lớn, với lần cải tạo quan trọng nhất vào năm 1997, mang đến sự thay đổi toàn diện về chức năng.

Hiện tại, nhà ga Kyoto (Hình 5-1-15 đến Hình 5-1-18) là trung tâm giao thông chính của thành phố Kyoto, một điểm đến du lịch nổi tiếng của Nhật Bản. Nhà ga này phục vụ các tuyến tàu Shinkansen, tàu tốc hành thông thường và tàu điện ngầm. Bên ngoài nhà ga là các tuyến xe buýt đường dài kết nối Kyoto với nhiều khu vực phía nam và trung tâm Nhật Bản. Trung bình mỗi ngày, nhà ga đón hơn 630.000 lượt khách, trở thành cửa ngõ chính của khu vực Kyoto.

Nhà ga Kyoto không chỉ đơn thuần là một nhà ga mà đã phát triển thành một tổ hợp đa chức năng bao gồm khách sạn, cửa hàng bách hóa, trung tâm mua sắm, rạp chiếu phim, bảo tàng, phòng triển lãm, văn phòng chính quyền và bãi đỗ xe. Nhà ga này mang dáng dấp của một công viên giải trí mang tầm vóc quốc tế, kết hợp nhiều yếu tố thiết kế từ nước ngoài như không gian sảnh trung tâm kiểu Mỹ, các không gian công cộng truyền thống của phương Tây và phong cách trung tâm giao thông hiện đại của Nhật Bản. Nhà ga Kyoto không chỉ là một trung tâm giao thông quan trọng mà còn là một không gian mở phục vụ cộng đồng, nơi tổ chức các sự kiện lớn, trung tâm gặp gỡ, điểm quan sát toàn cảnh thành phố cổ, khu mua sắm và một "thành phố trên không".



Hình 5-1-15: *Nhà ga thế hệ thứ nhất (hoàn thành năm 1877)*



Hình 5-1-16: *Nhà ga thế hệ thứ hai (hoàn thành năm 1915)*



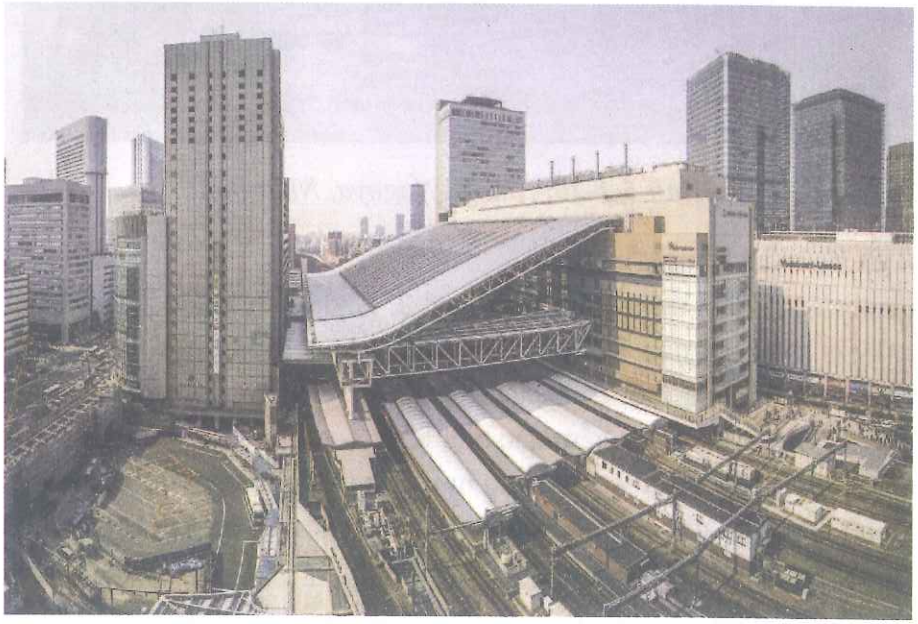
Hình 5-1-17: Nhà ga thế hệ thứ ba (hoàn thành năm 1952)



Hình 5-1-18: Nhà ga thế hệ thứ tư (hoàn thành năm 1997)

- **Nhà ga Osaka (Hình 5-1-19)**

Nhà ga Osaka là một nhà ga lớn tọa lạc tại quận Kita, thành phố Osaka, tỉnh Osaka, do Công ty Đường sắt Tây Nhật Bản (JR Tây Nhật Bản) quản lý và vận hành. Đây cũng là nhà ga đại diện cho thành phố Osaka - đô thị lớn nhất vùng Kansai. Nhà ga nằm ở trung tâm Osaka, xung quanh là khu vực sầm uất với nhiều trung tâm thương mại và dịch vụ. Ga Osaka được kết nối với hệ thống tàu điện ngầm thành phố Osaka, cũng như các tuyến tàu của Công ty Đường sắt Hanshin và Hankyu thông qua một mạng lưới phức tạp gồm các đường hầm và khu phố ngầm, tạo thành một trung tâm giao thông khổng lồ.



Hình 5-1-19: Nhà ga Osaka, Nhật Bản

• **Nhà ga Nagoya (Hình 5-1-20)**

Nhà ga Nagoya là trung tâm đường sắt chính và một nút giao thông quan trọng tại thành phố Nagoya, Nhật Bản. Đây là nơi tọa lạc của tòa nhà ga cao nhất thế giới - "Tháp JR Central", với hai tòa tháp trắng nổi bật, cũng là một biểu tượng của thành phố Nagoya. Nhà ga Nagoya là một tổ hợp được sử dụng chung bởi nhiều đơn vị, bao gồm Công ty Đường sắt Đông Hải (JR Tokai), Công ty Đường sắt Hàng hóa Nhật Bản (JR Freight), Công ty Đường sắt Cao tốc Ven Biển Nagoya và Cục Giao thông Thành phố Nagoya (tàu điện ngầm thành phố Nagoya). Ngoài ra, nhà ga này còn gần với các nhà ga khác như Meitetsu Nagoya của Đường sắt Nagoya và Kintetsu Nagoya của Đường sắt Kinki Nippon, tạo thành trung tâm vận chuyển lớn nhất khu vực miền Trung Nhật Bản.



Hình 5-1-20: *Nhà ga Nagoya, Nhật Bản*

• **Nhà ga Kyushu (Hình 5-1-21)**

Nhà ga Kyushu, nằm tại thành phố Kyushu, Nhật Bản, được hoàn thành toàn bộ vào năm 1998. Nhà ga này áp dụng mô hình bố trí kiểu vượt qua sân ga (cross-station layout), trở thành một trung tâm giao thông hiệu quả phục vụ kết nối giữa giao thông nội đô và liên đô. Điểm đặc biệt khác của nhà ga này là sự tích hợp đồng bộ giữa các chức năng. Khu vực lối vào hai tầng trước nhà ga được thiết kế kéo dài thành một hệ thống lối đi bộ liền mạch, kết nối với các cơ sở phụ trợ, tạo nên một hệ thống giao thông dành cho người đi bộ hoàn chỉnh.

Nhờ sự kết nối giữa các nhà ga đường sắt cao tốc và các phương tiện giao thông khác như tàu điện ngầm, các nhà ga hiện nay không chỉ phục vụ hành khách đi lại

đường dài mà còn đóng vai trò quan trọng trong đời sống thường ngày của người dân địa phương, phục vụ nhu cầu đi lại như đi làm, đi học. Những tổ hợp như nhà ga Kyoto đã trở thành một phần không thể thiếu của đô thị. Việc xây dựng các tổ hợp nhà ga như Kyoto đã góp phần thúc đẩy quá trình tích hợp giữa nhà ga và thành phố, mang ý nghĩa to lớn đối với sự phát triển đô thị hiện đại.



Hình 5-1-21: Nhà ga Kyushu, Nhật Bản

III. QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN NHÀ GA HÀNH KHÁCH ĐƯỜNG SẮT TẠI TRUNG QUỐC

Cùng với sự phát triển của hệ thống đường sắt, các nhà ga hành khách tại Trung Quốc đã trải qua quá trình hình thành và phát triển không ngừng, phản ánh sự tiến bộ về công nghệ và sự thay đổi của xã hội qua từng thời kỳ. Sự phát triển này có thể chia thành bốn giai đoạn lớn.

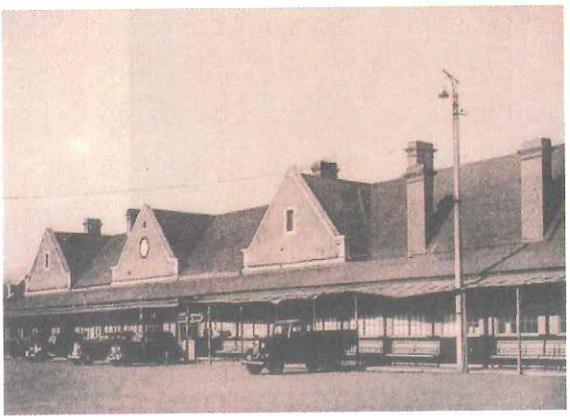
1. Giai đoạn nhà ga đường sắt truyền thống

Vào cuối năm 1888, nhà ga đầu tiên thuộc tuyến đường sắt do Trung Quốc tự xây dựng - nhà ga Cảng Thương mại Cũ Thiên Tân (Nhà ga Đầu Rồng, Hình 5-1-22) - bắt đầu được khởi công, đánh dấu cột mốc đầu tiên trong lịch sử xây dựng nhà ga đường sắt tại Trung Quốc.

Từ cuối thế kỷ 19 đến thập niên 1920, phần lớn các nhà ga tại Trung Quốc được thiết kế bởi các kiến trúc sư nước ngoài, với mô hình và phong cách kiến trúc lấy

cảm hứng từ phương Tây. Những nhà ga này thường có quy mô nhỏ, chức năng nội thất đơn giản và ngoại thất mang phong cách chiết trung, kết hợp nhiều yếu tố kiến trúc cổ điển phương Tây như mái dốc, tháp đồng hồ và các mái vòm. Các nhà ga tiêu biểu trong giai đoạn này gồm có nhà ga Dazhimen của tuyến đường sắt Bắc Kinh - Hán Khẩu, nhà ga Đông Chính Dương Môn thuộc tuyến Bắc Kinh - Phụng Thiên và nhà ga Tây Trực Môn của tuyến Bắc Kinh - Trương Gia Khẩu.

Bước sang thập niên 1930 và 1940, vai trò thiết kế nhà ga dần được chuyển giao cho các kiến trúc sư Trung Quốc. Trong thời kỳ này, xuất hiện nhiều nhà ga mang phong cách kiến trúc kết hợp giữa phương Đông và phương Tây, thậm chí có những nhà ga hoàn toàn theo kiểu dáng truyền thống Trung Quốc. Một số nhà ga tiêu biểu gồm có nhà ga Hạ Quan Nam Kinh (nay là nhà ga Tây Nam Kinh, Hình 5-1-23), nhà ga cũ Hàng Châu (Hình 5-1-24) và nhà ga Tế Nam (Hình 5-1-25).



Hình 5-1-22: *Nhà ga Đầu Rồng Thiên Tân*



Hình 5-1-23: *Nhà ga Hạ Quan Nam Kinh*



Hình 5-1-24: *Nhà ga cũ Hàng Châu*



Hình 5-1-25: *Nhà ga Tế Nam*

Nhìn chung, trước khi thành lập nước Cộng hòa Nhân dân Trung Hoa, hệ thống nhà ga đường sắt ở Trung Quốc còn hạn chế về số lượng, chức năng đơn giản và

chất lượng chưa cao. Kiến trúc chủ yếu theo kiểu bố trí bên tuyến đường ray, tập trung nhiều vào yếu tố thẩm mỹ và trang trí ngoại thất, nhưng hiệu quả sử dụng thực tế chưa được chú trọng.

2. Giai đoạn đầu xây dựng đất nước - Nhà ga đường sắt với chức năng đơn giản

Sau khi nước Cộng hòa Nhân dân Trung Hoa được thành lập, ngành đường sắt Trung Quốc đã đạt được những bước tiến đáng kể. Trong giai đoạn này, nhiều nhà ga hành khách mới được xây dựng và cải tạo, tiêu biểu như nhà ga Bắc Kinh (Hình 5-1-26), nhà ga Quảng Châu (Hình 5-1-27), nhà ga Thiều Sơn, nhà ga Trường Sa và nhà ga Nam Kinh.

Đặc điểm chung của các nhà ga trong thời kỳ này là không có không gian thương mại. Thiết kế phòng chờ chủ yếu dựa trên mô hình của các nhà ga đường sắt Liên Xô, tập trung vào chức năng phục vụ hành khách.



Hình 5-1-26: *Nhà ga Bắc Kinh*



Hình 5-1-27: *Nhà ga Quảng Châu*

Về kiến trúc, các nhà ga lớn được xây dựng nhằm thể hiện hình ảnh trang nghiêm và đặc trưng của thời đại mới. Phong cách kiến trúc thường mang tính đối xứng, cao lớn và uy nghiêm. Nhà ga Bắc Kinh, hoàn thành vào tháng 9 năm 1959, là công trình tiêu biểu nhất trong giai đoạn này. Với thiết kế luồng di chuyển hợp lý, tổ chức không gian chặt chẽ và kiến trúc mang đậm nét văn hóa dân tộc, nhà ga Bắc Kinh đã tạo ra ảnh hưởng sâu sắc và lâu dài đến thiết kế nhà ga đường sắt ở Trung Quốc.

3. Giai đoạn sau cải cách mở cửa - Nhà ga đường sắt tích hợp đa chức năng

Bắt đầu từ thập niên 1980, cùng với sự phát triển nhanh chóng của nền kinh tế và chính sách cải cách mở cửa, Trung Quốc đã tạo điều kiện thuận lợi để giới chuyên môn tiếp thu những thành tựu tiên tiến từ nước ngoài. Trong giai đoạn này, việc xây

dựng nhà ga đường sắt được định hướng theo các tiêu chuẩn của các quốc gia phát triển, đồng thời áp dụng nhiều ý tưởng thiết kế hiện đại. Một loạt nhà ga lớn như nhà ga Hành Khách Mới Thượng Hải (Hình 5-1-28), nhà ga Tây Bắc Kinh (Hình 5-1-29), nhà ga Thành Đô và nhà ga Trịnh Châu đã được xây dựng và đi vào hoạt động.



Hình 5-1-28: *Nhà ga Hành Khách Mới Thượng Hải*



Hình 5-1-29: *Nhà ga Tây Bắc Kinh*

Điểm đặc trưng nổi bật của các nhà ga lớn trong thời kỳ này là sự xuất hiện của phòng chờ trên cao, cho phép kết nối hai phía của đường ray, giúp hành khách có thể vào nhà ga từ cả hai hướng. Thiết kế phòng chờ trên cao giúp tối ưu hóa diện tích, không cần chiếm dụng thêm đất quảng trường trước nhà ga, đồng thời tăng sức chứa và đơn giản hóa luồng di chuyển trong nhà ga. Bên cạnh đó, nhà ga bắt đầu chuyển đổi từ chức năng đơn thuần phục vụ hành khách lên xuống tàu sang mô hình tích hợp đa chức năng, đáp ứng nhiều nhu cầu khác nhau của hành khách. So với những năm 1960-1970, các nhà ga trong thời kỳ này thể hiện rõ nét đặc trưng của nền kinh tế thị trường.

Về mặt thẩm mỹ, kiến trúc nhà ga cũng được chú trọng với thiết kế hiện đại và đẹp mắt. Nhà ga Hàng Châu, hoàn thành vào năm 1998, là một ví dụ điển hình. Việc xây dựng nhà ga này được thực hiện trong bối cảnh quy hoạch đồng bộ giữa hệ thống đường sắt, đô thị và giao thông đô thị. Nhà ga Hàng Châu đã thể hiện tốt sự kết hợp giữa sân ga, nhà ga và quảng trường trước ga trong một hệ thống tổng thể, đưa tiêu chuẩn xây dựng nhà ga đường sắt thời kỳ này lên một tầm cao mới.

Tuy nhiên, do tham khảo mô hình tổ hợp thương mại của các nước phát triển, các nhà ga thời kỳ này thường có quy mô rất lớn và thiết kế mặt tiền hoành tráng. Dù đáp ứng được yêu cầu về diện mạo hiện đại của các thành phố thời đó, nhưng các công trình này chưa thực sự phù hợp với tình hình vận tải đường sắt ở Trung Quốc khi ấy.

4. Nhà ga đường sắt hiện đại - Trung tâm giao thông tổng hợp

Từ năm 2003, Trung Quốc đã đẩy mạnh tốc độ xây dựng các nhà ga đường sắt nhằm đáp ứng nhu cầu vận tải hành khách ngày càng tăng. Để định hướng xây dựng các nhà ga trong thời kỳ mới, Bộ Đường sắt Trung Quốc khi đó đã đưa ra triết lý **"Lấy con người làm trung tâm, lấy lưu thông làm chính"**. Dưới sự chỉ đạo của triết lý này, nhiều nhà ga hiện đại đã được thiết kế và xây dựng thành công, bao gồm nhà ga Nam Bắc Kinh (Hình 5-1-30), nhà ga Vũ Hán, nhà ga Thượng Hải Hồng Kiều (Hình 5-1-31), nhà ga Nam Quảng Châu (Hình 5-1-32), nhà ga Bắc Tây An, nhà ga Đông Thành Đô (Hình 5-1-33), nhà ga Nam Nam Kinh (Hình 5-1-34), nhà ga Đông Trịnh Châu (Hình 5-1-35), nhà ga Đông Hàng Châu (Hình 5-1-36), nhà ga Tây Lan Châu (Hình 5-1-37), nhà ga Ô Lỗ Mộc Tề (Hình 5-1-38) và nhà ga Nam Côn Minh (Hình 5-1-39).

Các nhà ga này được xây dựng chủ yếu để phục vụ các tuyến đường sắt chuyên dụng cao tốc dành cho hành khách, đồng thời trở thành trung tâm giao thông tích hợp của các đô thị lớn, kết nối với các phương tiện vận tải khác như tàu điện ngầm, xe buýt và taxi. Những thiết kế này thể hiện rõ sự thay đổi lớn trong mô hình và chức năng của nhà ga đường sắt tại Trung Quốc, đánh dấu bước phát triển quan trọng trong lĩnh vực giao thông đường sắt hiện đại.

Bảng 5-1-2 trình bày chi tiết các nhà ga cao tốc tiêu biểu được xây dựng mới tại Trung Quốc trong giai đoạn này.

Bảng 5-1-2: Danh sách các nhà ga cao tốc tiêu biểu được xây dựng mới tại Trung Quốc

STT	Tên nhà ga	Thời gian hoàn thành	Diện tích xây dựng (vạn m^2)	Đặc điểm
1	Nam Bắc Kinh	2008	31	Nhà ga đầu tiên của tuyến đường sắt cao tốc nội địa, tích hợp nhiều loại hình giao thông.
2	Vũ Hán	2009	37	Nhà ga có cấu trúc mới kết hợp giữa tòa nhà phía trên và cầu đường sắt phía dưới.
3	Nam Quảng Châu	2010	61.5	Nhà ga lớn với hệ thống mái che năng lượng mặt trời, cung cấp điện cho nhà ga.

Bảng 5-1-2: *(tiếp theo)*

STT	Tên nhà ga	Thời gian hoàn thành	Diện tích xây dựng (vạn m^2)	Đặc điểm
4	Thượng Hải Hồng Kiều	2010	23	Nhà ga lớn với thiết kế nhiều tầng, tích hợp đa dạng phương tiện giao thông.
5	Hạ Môn Bắc	2010	16.2	Thiết kế mang nét đặc trưng của kiến trúc Phúc Kiến, bố trí theo mô hình "trên vào dưới ra".
6	Bắc Tây An	2011	42.5	Nhà ga với thiết kế hai tầng hạ tầng ngầm và hai tầng trên mặt đất.
7	Đông Thành Đô	2011	22	Thiết kế kết hợp các yếu tố văn hóa địa phương, bao gồm 5 tầng phục vụ nhiều chức năng.
8	Nam Nam Kinh	2011	45.8	Nhà ga cao tốc lớn nhất châu Á với kiến trúc kết hợp nhiều cấu trúc hiện đại.
9	Đông Trịnh Châu	2012	41.18	Thiết kế kết hợp cấu trúc cầu đường sắt với nhà ga, tăng cường khả năng vận tải.
10	Bắc Thâm Quyến	2012	18.2	Nhà ga tích hợp đầy đủ các phương tiện giao thông, nổi bật với mô hình "trên vào trên ra".
11	Đông Hàng Châu	2013	34	Nhà ga lớn nhất khu vực, là điểm khởi đầu của nhiều tuyến đường sắt cao tốc quan trọng.
12	Tây Lan Châu	2014	26	Thiết kế kết hợp văn hóa truyền thống và phong cách hiện đại, mang đậm nét địa phương.
13	Ô Lỗ Mộc Tề	2016	11	Nhà ga quan trọng trên tuyến "Con đường tơ lụa kinh tế", sử dụng mô hình chờ trên tuyến.
14	Nam Côn Minh	2016	33.47	Nhà ga lớn nhất Tây Nam Trung Quốc, là trung tâm giao thông quan trọng trong chiến lược "Một vành đai, một con đường".



Hình 5-1-30: *Nhà ga Nam Bắc Kinh*



Hình 5-1-31: *Nhà ga Thượng Hải Hồng Kiều*



Hình 5-1-32: *Nhà ga Nam Quảng Châu*



Hình 5-1-33: *Nhà ga Đông Thành Đô*



Hình 5-1-34: *Nhà ga Nam Nam Kinh*



Hình 5-1-35: *Nhà ga Đông Trịnh Châu*



Hình 5-1-36: Nhà ga Đông Hàng Châu



Hình 5-1-37: Nhà ga Tây Lan Châu



Hình 5-1-38: Nhà ga Ô Lỗ Mộc Tề



Hình 5-1-39: Nhà ga Nam Côn Minh

IV. XU HƯỚNG MỚI TRONG XÂY DỰNG NHÀ GA ĐƯỜNG SẮT

Trước tình hình khủng hoảng năng lượng, nhận thức về việc tiết kiệm năng lượng và phát triển các nguồn năng lượng mới ngày càng gia tăng. Với những ưu điểm như tiêu thụ năng lượng thấp, hiệu suất vận chuyển cao, thân thiện với môi trường, vận hành đúng giờ và hoạt động ổn định trong mọi điều kiện thời tiết, đường sắt đã nhận được sự quan tâm trở lại từ chính phủ, thúc đẩy sự phục hưng của ngành đường sắt. Trong bối cảnh đó, điện khí hóa và tốc độ cao đã trở thành xu hướng chủ đạo trong phát triển vận tải đường sắt hiện đại.

Tác giả chuyên viết về đường sắt cao tốc, từng nhận định: "Đường sắt cao tốc khởi nguồn từ Nhật Bản, phát triển ở châu Âu và bùng nổ tại Trung Quốc". Kể từ khi tuyến Shinkansen đầu tiên của Nhật Bản với tốc độ trên 200 km/h đi vào hoạt động, nhiều quốc gia phát triển đã đầu tư mạnh vào hệ thống đường sắt cao tốc. Các hệ thống nổi bật như TGV của Pháp và ICE của Đức đều đạt tốc độ vận hành từ 250 đến 350 km/h

và tạo ra những mô hình nhà ga đường sắt cao tốc kiểu mới. Trong khi đó, Trung Quốc, dù bắt đầu muộn hơn, nhưng chỉ trong vòng một thập kỷ đã đạt được những thành tựu vượt bậc, liên tục thiết lập kỷ lục mới và phát triển các nhà ga cao tốc với thiết kế hiện đại, chức năng toàn diện và quy mô lớn, đứng đầu thế giới.

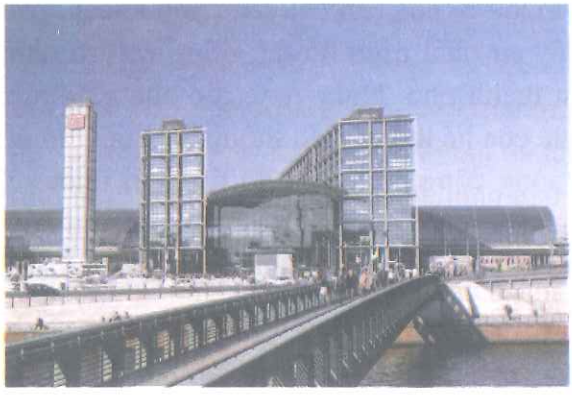
Cùng với sự bùng nổ của thời đại thông tin, rào cản về không gian đã được xóa bỏ, và con người ngày càng khao khát tiết kiệm thời gian. Trong bối cảnh này, các nhà ga đường sắt cao tốc mới đã ra đời, mang đến những đặc điểm nổi bật như sau:

- ***Trung tâm giao thông tích hợp đa phương tiện***

Các trung tâm giao thông hiện đại cho phép kết nối nhanh chóng giữa các loại hình giao thông khác nhau. Trước đây, việc kết nối giữa hệ thống đường sắt với các phương tiện khác như xe buýt, taxi hoặc giữa các tuyến đường sắt thường gặp nhiều khó khăn. Tuy nhiên, các trung tâm giao thông tích hợp đã giải quyết triệt để vấn đề này. Hành khách có thể dễ dàng chuyển đổi giữa các phương tiện như xe buýt, taxi, tàu điện ngầm, thậm chí cả sân bay mà không cần rời khỏi nhà ga - mô hình "zero-transfer" (chuyển đổi phương tiện không cần rời nhà ga). Điều này giúp các nhà ga đường sắt không chỉ là nơi phục vụ cho ngành đường sắt mà còn trở thành trung tâm giao thông quan trọng của đô thị. Nhà ga trung tâm Berlin, Đức là một ví dụ tiêu biểu cho mô hình này (Hình 5-1-40).

- ***Nhà ga trở thành tổ hợp đô thị đa chức năng***

Ngoài chức năng chính là trung tâm giao thông, các nhà ga hiện đại còn phát triển thêm nhiều chức năng khác như thương mại và văn phòng, trở thành các tổ hợp đô thị đa năng. Ví dụ, nhà ga Kyoto ở Nhật Bản (Hình 5-1-41) không chỉ phục vụ hành khách đi lại mà còn thu hút người dân đến mua sắm, vui chơi, tạo nên không gian cộng đồng mới. Nhiều khu vực phi vé được mở rộng, biến nhà ga thành một phần không thể thiếu trong không gian công cộng đô thị, thậm chí là sự tiếp nối tự nhiên của quảng trường thành phố theo chiều không gian ba chiều.



Hình 5-1-40: *Nhà ga trung tâm Berlin*



Hình 5-1-41: *Bên trong nhà ga Kyoto*

Những không gian mở, thoáng đãng và tự do dần thay thế hình ảnh nhà ga truyền thống vốn chật chội, lộn xộn và thiếu tổ chức. Các ý tưởng kinh doanh sáng tạo, dịch vụ hỗ trợ tiên tiến và thiết kế chi tiết theo hướng lấy con người làm trung tâm đã mang đến cho hành khách trải nghiệm hoàn toàn mới tại các nhà ga đường sắt hiện đại.

Do có bề dày lịch sử lâu đời, các thành phố ở châu Âu luôn chú trọng bảo tồn các công trình kiến trúc cổ và giữ gìn sự thống nhất trong phong cách đô thị. Vì vậy, việc cải tạo và tái sử dụng các nhà ga cũ thường được thực hiện theo những phương pháp độc đáo, vừa đảm bảo hiện đại hóa cơ sở hạ tầng đường sắt, vừa duy trì sự phát triển đồng bộ với thành phố. Mục tiêu là mang lại hiệu quả kinh tế cho đô thị và cung cấp hệ thống giao thông thuận tiện, nhanh chóng, đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của người dân trong đời sống hiện đại.

Ngoài ra, các nhà ga đường sắt hiện đại ngày càng nhấn mạnh đến việc cung cấp dịch vụ với triết lý lấy con người làm trung tâm. Khác với trước đây, khi các nhà ga thường thu hút hành khách bằng thiết kế hoành tráng và chi tiết trang trí cầu kỳ, nhà ga hiện đại chú trọng nhiều hơn đến trải nghiệm thực tế và sự thoải mái của người sử dụng.

Sự phát triển của hệ thống đường sắt cao tốc đã thúc đẩy ngành giao thông đường sắt phát triển mạnh mẽ, đưa loại hình vận tải này trở thành xương sống của hệ thống giao thông hiện đại. Trong những năm gần đây, cùng với tốc độ phát triển nhanh chóng của hệ thống đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, nhiều nhà ga cao tốc quy mô lớn đã được xây dựng. Nhìn lại các dự án nhà ga cao tốc ở Trung Quốc và trên thế giới, có thể nhận thấy rõ sự chuyển đổi sâu sắc trong thiết kế và chức năng của các nhà ga thế hệ mới. Những nhà ga này có quy mô lớn hơn, tiêu chuẩn cao hơn, ứng dụng nhiều công nghệ hiện đại và được trang bị cơ sở vật chất tiên tiến. Việc xây dựng được định hướng theo các nguyên tắc như tính năng, tính hệ thống, tính công nghệ và tính tiên tiến, đồng thời áp dụng các ý tưởng thiết kế mới nhất.

Nhà ga cao tốc hiện đại không chỉ đơn thuần là nơi vận chuyển hành khách, mà còn trở thành một phần quan trọng thúc đẩy sự phát triển đô thị, đóng vai trò như một điểm nút quan trọng trong không gian thành phố. Ngày nay, các nhà ga được thiết kế để thể hiện sự năng động và hiệu quả của hệ thống giao thông hiện đại, đồng thời hòa mình một cách tự nhiên vào đời sống công cộng của đô thị. Với thiết kế mang đậm nét riêng biệt, các nhà ga còn phản ánh rõ nét cá tính và bản sắc văn hóa của mỗi thành phố, trở thành biểu tượng cho diện mạo của một thành phố hoặc thậm chí của cả quốc gia.

Trong tương lai, xu hướng phát triển nhà ga đường sắt cao tốc sẽ tập trung vào các phương diện sau đây:

1. Ý tưởng thiết kế tiên tiến

Ý tưởng thiết kế đóng vai trò cốt lõi trong việc xây dựng nhà ga, không chỉ nhằm đáp ứng nhu cầu hiện tại mà còn hướng đến khả năng phát triển lâu dài trong tương lai. Việc thiết kế các nhà ga đường sắt mới cần tuân theo các nguyên tắc hiện đại như **"lấy con người làm trung tâm, phục vụ vận tải, tối ưu hóa hệ thống và hướng tới phát triển"**. Để hiện thực hóa các nguyên tắc này, cần áp dụng các ý tưởng thiết kế tiên tiến. Sự xuất hiện của hàng loạt nhà ga mới đã thu hút nhiều đội ngũ thiết kế tài năng từ trong và ngoài nước, mang đến nhiều ý tưởng sáng tạo, giúp xây dựng các mô hình nhà ga hiện đại phù hợp với điều kiện thực tế tại Trung Quốc.

Thiết kế các nhà ga mới đã loại bỏ những hạn chế của các nhà ga truyền thống như không gian chật hẹp, dòng di chuyển phức tạp và thiếu định hướng. Thay vào đó, các nhà ga mới được thiết kế với không gian mở, thông thoáng, linh hoạt và hiệu quả, mang đến sự thuận tiện tối đa cho hành khách. Việc tạo ra các không gian công cộng mở rộng giúp tăng cường sự thoải mái và dễ dàng định hướng cho hành khách. Nội thất cũng được thiết kế theo phong cách đơn giản và rõ ràng, tạo sự kết nối liền mạch với không gian bên ngoài. Nhờ đó, ranh giới giữa nhà ga và không gian đô thị dần được xóa bỏ, giúp nhà ga trở thành một phần không thể tách rời của đô thị.

2. Phương pháp xây dựng hiện đại

Để xây dựng một nhà ga có chức năng mạnh mẽ và hệ thống hoàn chỉnh, việc sử dụng các phương pháp xây dựng hiện đại là điều bắt buộc. Hai phương pháp chủ yếu được áp dụng là:

(1) Quản lý tiêu chuẩn hóa

Quản lý tiêu chuẩn hóa giúp nâng cao hiệu quả quản lý dự án bằng cách tổng kết và chuẩn hóa kinh nghiệm xây dựng nhà ga, từ đó đảm bảo sự phối hợp chặt chẽ giữa các giai đoạn của dự án. Việc triển khai quản lý tiêu chuẩn hóa không chỉ giúp nâng cao chất lượng và tiến độ công trình mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho việc xây dựng các nhà ga quy mô lớn trong tương lai.

(2) Quản lý thông tin hóa

Quản lý thông tin hóa đóng vai trò quan trọng trong việc điều hành các dự án xây dựng hiện đại, giúp kiểm soát thông tin, tiến độ, chất lượng và chi phí của công trình một cách hiệu quả. Ví dụ, trong quá trình xây dựng nhà ga Tây Lan Châu, công nghệ BIM được sử dụng làm nền tảng hợp tác giữa các bộ phận liên quan. Ngay từ giai đoạn đầu, nền tảng này đã giúp tăng cường sự phối hợp, giảm thiểu sai sót do thiếu liên lạc và nâng cao hiệu suất thiết kế cũng như thi công.

3. Nhà ga đường sắt tích hợp vào tổ hợp đô thị

Nhìn từ góc độ quy hoạch đô thị, các nhà ga đường sắt hiện đại không chỉ phục vụ vận tải mà còn được tích hợp vào các tổ hợp đô thị đa chức năng. Các yếu tố như bảo vệ môi trường, tiết kiệm năng lượng, sinh thái, nhân văn và phát triển bền vững được áp dụng triệt để trong thiết kế. Nhà ga đường sắt hiện đại đang dần trở thành trung tâm giao thông đô thị tổng hợp, tích hợp nhiều loại hình giao thông như tàu điện ngầm, xe buýt và xe khách. Các mô hình nhà ga đơn điệu trước đây đã được thay thế bằng những thiết kế đa dạng, đáp ứng nhu cầu tương lai và mang tính thẩm mỹ cao.

Ví dụ, nhà ga Đài Bắc (Hình 5-1-42) là một điển hình về mô hình nhà ga tích hợp đa chức năng. Nhà ga này được xây dựng tại khu vực giao lộ giữa đường Dân Sinh và phố Hưng Hoa phía sau nhà ga Đài Bắc cũ. Sau khi hoàn thành, đây sẽ trở thành bến xe khách đường dài, góp phần giảm tải cho khu vực xung quanh nhà ga Đài Bắc cũ, đồng thời thúc đẩy phát triển đô thị và mang lại diện mạo hoàn toàn mới cho khu vực.



Hình 5-1-42: *Nhà ga Đài Bắc*

4. Mô hình nhà ga "Đường sắt + Bất động sản"

Nhà ga đường sắt thế hệ mới cần được xây dựng dựa trên việc kế thừa mô hình cũ và đáp ứng các yêu cầu mới của thời đại. Những quan điểm hiện đại mang đến tư duy thiết kế đột phá, từ đó hình thành các mô hình phát triển sáng tạo. Trong đó, mô hình "Đường sắt + Bất động sản" có các đặc điểm chính như sau:

(1) Quan điểm xây dựng: Lấy vận tải hành khách làm cốt lõi, lấy dịch vụ làm trung tâm.

(2) Về quy hoạch: Tuân theo mô hình phát triển đô thị định hướng giao thông (TOD).

(3) Tính chất: Là tổ hợp đô thị tích hợp đa chức năng, kết hợp chặt chẽ giữa giao thông nội bộ và ngoại vi.

(4) Hướng tới bền vững: Xây dựng các nhà ga xanh, thân thiện với môi trường và phát triển lâu dài.

5. Xây dựng xanh

Các nhà ga đường sắt hiện đại là những trung tâm giao thông tích hợp khổng lồ, kết hợp nhiều loại hình vận tải và cung cấp đầy đủ các dịch vụ tiện ích. Do đó, việc ứng dụng công nghệ xây dựng xanh trở thành giải pháp tất yếu nhằm giảm thiểu tiêu thụ năng lượng và nước. Quá trình xây dựng nhà ga cần áp dụng đồng bộ các nguyên tắc "công trình xanh", "kiến trúc sinh thái" và thực hiện phương châm "bốn tiết kiệm, một bảo vệ", bao gồm:

- Tiết kiệm diện tích sử dụng đất và cải thiện môi trường ngoài trời.
- Sử dụng năng lượng hiệu quả và khai thác nguồn năng lượng tái tạo.
- Quản lý và sử dụng nước hợp lý.
- Kiểm soát chất lượng môi trường bên trong nhà ga.

Ngoài ra, cần ưu tiên sử dụng các vật liệu tái chế và vật liệu địa phương như bê tông, cát, đá, đồng thời xây dựng kế hoạch tái chế chất thải và triển khai các biện pháp bảo vệ môi trường, hạn chế tối đa tác động đến khu vực xung quanh. Các công nghệ xanh tiêu biểu được áp dụng trong quá trình thi công bao gồm:

- Hệ thống bơm nhiệt từ nguồn địa nhiệt.
- Hệ thống bơm nhiệt từ nước thải.
- Hệ thống phát điện bằng năng lượng mặt trời trên mái nhà.
- Công nghệ xử lý nước thải bằng vùng đất ngập nước sinh thái.

6. Sử dụng công nghệ lắp ghép tiền chế

Quy trình xây dựng nhà ga thế hệ mới áp dụng phương pháp lắp ghép tiền chế với vật liệu trang trí và hoàn thiện được sản xuất sẵn, tạo nên một quy trình thi công nhanh gọn, hiện đại. Thông qua kế hoạch thi công số hóa, các bản vẽ kỹ thuật chính xác sẽ được chuyển trực tiếp đến nhà sản xuất để gia công, thay thế phương pháp đo đạc hoặc làm mẫu tại hiện trường theo cách truyền thống. Phương pháp này không chỉ rút ngắn thời gian thi công, giảm chi phí xây dựng mà còn giúp đạt được mục tiêu xây dựng xanh hiệu quả.

7. Đề cao văn hóa đường sắt

Hình ảnh của các nhà ga đường sắt thế hệ mới đã được công nhận rộng rãi nhờ thiết kế mở, thông thoáng, kết hợp hài hòa với nét văn hóa địa phương. Thiết kế nhà ga không chỉ đơn thuần đáp ứng nhu cầu vận tải mà còn trở thành biểu tượng văn hóa, thể hiện rõ nét đặc trưng của mỗi thành phố. Thay vì những mô hình đồng nhất trước đây, các nhà ga mới đều được thiết kế mang đậm dấu ấn riêng, thể hiện văn hóa địa phương và trở thành cầu nối văn hóa cho cộng đồng đô thị.

8. Tác động của xây dựng đường sắt cao tốc Trung Quốc đối với các quốc gia đang phát triển

Sáng kiến "Vành đai và Con đường" đã mang lại những kết quả rõ rệt, giúp thúc đẩy hợp tác quốc tế trong lĩnh vực xây dựng hạ tầng và đưa các công nghệ tiên tiến của Trung Quốc như đường sắt cao tốc và điện hạt nhân ra thị trường toàn cầu. Từ năm 2013, đường sắt cao tốc Trung Quốc đã trở thành một biểu tượng mới trong các hoạt động ngoại giao quốc tế. Đặc biệt, với việc khởi xướng sáng kiến "Vành đai và Con đường" và thành lập Ngân hàng Đầu tư Hạ tầng châu Á (AIIB), vai trò kết nối cơ sở hạ tầng ngày càng được chú trọng. Nhờ đó, đường sắt cao tốc Trung Quốc đã mở rộng ra khắp thế giới với tốc độ và quy mô chưa từng có.

(1) Dự án đường sắt cao tốc Singapore - Malaysia

Năm 2015, Chủ tịch Ủy ban Giao thông Đường bộ Malaysia, ông Syed Hamid Albar, cho biết Thủ tướng Malaysia Najib Razak và Thủ tướng Singapore Lý Hiển Long đã chính thức công bố kế hoạch xây dựng tuyến đường sắt cao tốc Singapore - Kuala Lumpur (gọi tắt là tuyến cao tốc Singapore - Malaysia). Tuyến đường này dự kiến có một chuyến mỗi giờ với giá vé hợp lý. Khi hoàn thành, tuyến cao tốc sẽ tạo ra "đi về trong 1 ngày" giữa hai nước, giúp cư dân và doanh nhân có thể di chuyển dễ dàng trong ngày. Tuyến đường cũng sẽ thúc đẩy mạnh mẽ sự giao lưu kinh tế và phát triển bất động sản giữa hai quốc gia. Hiện tại, Malaysia đã xác định bảy nhà ga dọc tuyến, bao gồm: Kuala Lumpur, Putrajaya - Bangi, Seremban, Ayer Keroh, Muar, Batu Pahat và Iskandar Puteri, trong khi Singapore vẫn đang xem xét vị trí nhà ga.

(2) Đường sắt cao tốc Trung Quốc mở rộng ra toàn cầu

Năm 2016 được coi là "Năm bùng nổ của đường sắt cao tốc Trung Quốc ra thế giới". Đến nay, các dự án đường sắt cao tốc của Trung Quốc đã mở rộng đến hàng chục quốc gia thuộc châu Á, châu Âu, châu Phi và châu Mỹ, cạnh tranh trực tiếp với những cường quốc đường sắt như Nhật Bản. Trong quá trình hợp tác quốc tế, các

doanh nghiệp Trung Quốc đã linh hoạt điều chỉnh phương thức xây dựng để thích ứng với điều kiện địa phương, giúp dự án triển khai thuận lợi và hiệu quả hơn.

(3) Dự án đường sắt cao tốc Trung Quốc - Thái Lan

Thái Lan cũng đã khởi động dự án xây dựng tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên, hợp tác với Trung Quốc. Tuyến đường sắt cao tốc Trung Quốc - Thái Lan sử dụng công nghệ của Trung Quốc, với giai đoạn đầu kết nối Bangkok và tỉnh Nakhon Ratchasima, có tổng chiều dài 253 km, tốc độ thiết kế tối đa 250 km/h và bao gồm sáu nhà ga dọc tuyến. Hiện tại, dự án đang được triển khai xây dựng.

(4) Dự án đường sắt Mombasa - Nairobi tại Kenya

Ngày 13 tháng 4 năm 2017, tuyến đường sắt Mombasa - Nairobi chính thức đi vào hoạt động, khi một đoàn tàu chở khách mới xuất phát từ ga Nam Nairobi, di chuyển với tốc độ trung bình 110 km/h và đến thành phố biển Mombasa sau năm giờ. Sự kiện này đánh dấu cột mốc quan trọng trong việc xây dựng hệ thống giao thông hiện đại tại Kenya.

Tuyến đường sắt Mombasa - Nairobi dài 483 km, với 45 điểm dừng, trong đó giai đoạn đầu xây dựng 33 ga, bao gồm 23 ga tránh, 7 ga trung gian và ga đầu mối Nam Nairobi. Ga Nam Nairobi (Hình 5-1-43) đóng vai trò là trung tâm đầu mối và hiện là ga cuối của tuyến đường sắt này. Nhà ga nằm gần sân bay quốc tế Jomo Kenyatta (cách 3 km) và ga Syokimau (cách 1 km), đồng thời tiếp giáp Công viên Quốc gia Nairobi, mang đến cảnh quan tuyệt đẹp cho hành khách. Nhà ga có diện tích khoảng 15.000 m², là công trình lớn nhất trên toàn tuyến.



Hình 5-1-43: *Ga Nam Nairobi*

Thiết kế của nhà ga có hình dáng đặc biệt, với phần đế mô phỏng hình hai "đầu máy xe lửa" và phần trên như một "cây cầu". Thiết kế này mang ý nghĩa kép: Thứ nhất, nó tượng trưng cho việc đường sắt trở thành cây cầu kết nối tình hữu nghị và hợp tác giữa Trung Quốc và Kenya, góp phần thúc đẩy sự phát triển kinh tế của Kenya. Thứ hai, tuyến đường sắt Mombasa - Nairobi là đoạn khởi đầu của mạng lưới đường sắt Đông Phi, giúp tăng cường kết nối giữa các quốc gia Đông Phi, thúc đẩy phát triển kinh tế và hợp tác khu vực.

Kết luận

Với tốc độ xây dựng nhanh chóng và kinh nghiệm dày dạn, Trung Quốc đã trở thành hình mẫu quan trọng cho các quốc gia đang phát triển trong lĩnh vực đường sắt cao tốc. Là quốc gia đang phát triển lớn nhất thế giới, Trung Quốc không chỉ cung cấp kinh nghiệm mà còn đóng góp trực tiếp vào việc xây dựng hệ thống đường sắt cao tốc và các nhà ga hiện đại ở nhiều quốc gia khác, góp phần thúc đẩy tăng trưởng kinh tế và kết nối toàn cầu.

CHƯƠNG 2. QUY HOẠCH VÀ THIẾT KẾ NHÀ GA HÀNH KHÁCH ĐƯỜNG SẮT

I. QUY HOẠCH NHÀ GA HÀNH KHÁCH ĐƯỜNG SẮT

Nhằm đáp ứng mục tiêu xây dựng một xã hội phát triển toàn diện, mạng lưới đường sắt cần được mở rộng quy mô, tối ưu cấu trúc, nâng cao chất lượng và nhanh chóng gia tăng năng lực vận tải cũng như hiện đại hóa trang thiết bị. Đến năm 2020, tổng chiều dài đường sắt khai thác trên toàn quốc dự kiến vượt 120.000 km, với tỷ lệ đường đôi và điện khí hóa đạt trên 50% và 60%. Các tuyến chính đông đúc sẽ được tách riêng giữa vận tải hành khách và hàng hóa, tạo nên một hệ thống đường sắt có bố cục hợp lý, cấu trúc rõ ràng, chức năng đầy đủ và khả năng kết nối hiệu quả. Hệ thống vận tải này sẽ đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội của quốc gia, với trình độ trang thiết bị kỹ thuật đạt hoặc tiệm cận tiêu chuẩn quốc tế tiên tiến.

Việc mở rộng quy mô đường sắt và nâng cao tiêu chuẩn kỹ thuật, cùng với sự phát triển kinh tế - xã hội vùng và đô thị, đã dẫn đến những yêu cầu mới trong quy hoạch nhà ga hành khách. Các vấn đề này ngày càng trở nên phức tạp, chẳng hạn như việc xây dựng các tuyến chuyên chở hành khách tốc độ cao, đường sắt liên vùng và đường sắt phổ thông với các cấp độ khác nhau đã đặt ra thách thức trong việc xác định số lượng nhà ga, quy mô nhà ga, lựa chọn vị trí xây dựng nhà ga mới cũng như phân công chức năng giữa các nhà ga tại các đô thị lớn.

Sự phát triển vùng và đô thị đòi hỏi quy hoạch nhà ga không chỉ đáp ứng nhu cầu vận tải mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy cải tạo khu vực đô thị cũ và phát triển các khu đô thị mới. Đồng thời, nhà ga phải phù hợp với quy hoạch không gian đô thị và các chức năng liên quan. Để giải quyết các vấn đề quy hoạch phức tạp này, cần thực hiện phân tích toàn diện, kết hợp chặt chẽ giữa chức năng ngành đường sắt và yêu cầu phát triển đô thị. Việc lập quy hoạch và thiết kế nhà ga cần được tiến hành theo nguyên tắc "tích hợp hệ thống và tối ưu tổng thể", nhằm đưa ra giải pháp đồng bộ và hiệu quả.

1. Nội dung bố trí tổng thể

1.1. Xác định quy mô các bộ phận

Thiết kế bố trí tổng thể của nhà ga đường sắt cao tốc trước hết phải xác định quy mô hợp lý cho từng khu vực như sân đón trả khách, tòa nhà ga và bãi đỗ xe, dựa trên vai trò của nhà ga, tình hình các tuyến đường sắt đi qua và kết quả dự báo lưu lượng hành khách. Nhà ga có cấp độ càng cao, số lượng tuyến đường sắt càng nhiều và lưu lượng hành khách càng lớn thì quy mô các bộ phận cũng càng cần được mở rộng.

Dự báo lưu lượng hành khách đóng vai trò quyết định trong việc thiết kế quy mô và bố trí không gian nhà ga. Với sự phát triển của các công cụ dự báo giao thông và công nghệ mô phỏng, việc dự báo không chỉ dừng lại ở các chỉ số như lượng hành khách tối đa tại thời điểm cao điểm, lưu lượng hành khách trung bình hàng ngày hay số hành khách giờ cao điểm, mà còn phải chi tiết hóa lưu lượng của các phương tiện khác nhau như đường sắt, xe buýt, xe khách đường dài, taxi, xe cá nhân, xe đạp và người đi bộ. Đồng thời, cần dự báo cả sự phân bổ lưu lượng khách theo từng khu vực và lưu lượng hành khách chuyển tiếp giữa các phương thức giao thông.

Những dữ liệu này giúp thiết kế hợp lý quy mô và vị trí của các khu vực lưu thông và chuyển tiếp, đồng thời đảm bảo khả năng di chuyển thông suốt cho hành khách. Tuy nhiên, cần tránh việc xây dựng nhà ga với quy mô quá lớn một cách không cần thiết, đặc biệt tại các thành phố lớn. Điều này có thể khiến việc kết nối giữa các khu vực trở nên rời rạc, làm tăng khoảng cách di chuyển và gây khó khăn cho hành khách khi chuyển tuyến.

Giải pháp tối ưu bao gồm:

- Thứ nhất, áp dụng mô hình nhiều nhà ga tại các đô thị lớn, phân chia theo chức năng hoặc khu vực địa lý. Các nhà ga này sẽ được kết nối bởi hệ thống giao thông công cộng tốc độ cao, chẳng hạn như mạng lưới đường sắt đô thị lớn. Ví dụ, tại London (Anh) có nhiều nhà ga phục vụ các tuyến đường khác nhau, hoặc tại Thượng Hải (Trung Quốc) có bốn nhà ga chính và ba nhà ga phụ đảm nhận các tuyến đường khác nhau.
- Thứ hai, giới hạn quy mô nhà ga ở mức vừa phải, kết hợp với các giải pháp quản lý vận hành hiệu quả và thiết kế hợp lý dòng chảy hành khách, nhằm hướng dẫn người đi lại một cách có trật tự, tránh tình trạng ùn tắc hay tập trung đông người tại các khu vực nhất định.

1.2. Lựa chọn mô hình bố trí tổng thể và phương thức kết nối

Việc xác định mô hình bố trí tổng thể và phương thức kết nối của nhà ga cần dựa trên nhiều yếu tố như quy hoạch đô thị, tình hình tuyến đường sắt đi qua, quy mô

nhà ga, điều kiện mặt bằng và mối quan hệ với các nhà ga hiện có. Các phương án bố trí tổng thể cho nhà ga đường sắt cao tốc thường bao gồm ba dạng chính:

- Phương án 1: Sử dụng nguyên trạng nhà ga hiện hữu mà không làm thay đổi cấu trúc ban đầu.
- Phương án 2: Kết hợp nhà ga cao tốc với nhà ga hiện hữu, có thể áp dụng mô hình bố trí ngang (nằm song song với nhà ga hiện hữu) hoặc mô hình bố trí chồng tầng (nhà ga cao tốc nằm trên hoặc dưới nhà ga hiện hữu).
- Phương án 3: Xây dựng nhà ga mới hoàn toàn độc lập, với các mô hình bố trí như nhà ga nằm bên cạnh tuyến đường sắt (bố trí trên mặt đất, trên cao hoặc dưới đất), nhà ga nằm cuối tuyến hoặc các mô hình kết hợp khác.

Lựa chọn phương án bố trí tổng thể phù hợp không chỉ đảm bảo khả năng vận hành hiệu quả mà còn tăng cường khả năng kết nối giao thông, đáp ứng tốt nhu cầu di chuyển và phát triển đô thị.

2. Các yếu tố ảnh hưởng đến bố trí tổng thể

Mặc dù nhà ga đường sắt cao tốc có tính chất hoạt động đơn giản hơn và việc tổ chức không gian, chức năng nhà ga tương đối ít phức tạp, nhưng do yêu cầu cần tập trung và phân tán nhanh lượng lớn hành khách thông qua các phương tiện chuyển tiếp thuận tiện, thiết kế bố trí tổng thể nhà ga không chỉ dựa trên hoạt động vận hành đường sắt mà còn phải cân nhắc đến nhiều yếu tố và điều kiện khách quan khác. Việc xây dựng nhà ga đường sắt cao tốc trước hết cần giải quyết các vấn đề về quy hoạch, cụ thể là phải trả lời hai câu hỏi quan trọng: "Cần xây dựng loại nhà ga nào?" (vấn đề về chức năng, vai trò) và "Nên xây ở đâu?" (vấn đề về vị trí).

Việc lựa chọn vị trí nhà ga đường sắt cao tốc là một nhiệm vụ phức tạp, đòi hỏi phải so sánh, đánh giá kỹ lưỡng giữa nhiều chuyên ngành và lĩnh vực. Các nguyên tắc cơ bản khi lựa chọn vị trí nhà ga bao gồm:

(1) Thu hút hành khách một cách rộng rãi nhất;

(2) Xem xét tính hợp lý của công trình tuyến đường chính;

(3) Chọn vị trí nhà ga có điều kiện thi công tốt;

(4) Tận dụng tối đa cơ sở hạ tầng đường sắt hiện có;

(5) Kết hợp vị trí nhà ga với quy hoạch đô thị;

(6) Kết nối nhà ga với hệ thống giao thông đô thị;

(7) Đảm bảo sự hài hòa với cảnh quan đô thị.

Phương án xác định vai trò và vị trí của nhà ga quyết định các yếu tố nền tảng cho thiết kế bố trí tổng thể, bao gồm phân công chức năng giữa các nhà ga trong cùng

một nút giao thông, vị trí nhà ga cao tốc trong đô thị và mối quan hệ của nhà ga với các nhà ga hiện hữu cũng như các chuyến tàu phổ thông. Ví dụ, nhà ga đường sắt cao tốc Hồng Kiều tại Thượng Hải được bố trí kết hợp chặt chẽ với sân bay Hồng Kiều, như thể hiện ở Hình 5-2-1.



***Hình 5-2-1**: Sự kết nối chặt chẽ giữa ga đường sắt Hồng Kiều Thượng Hải và sân bay Hồng Kiều.*

3. Nguyên tắc cốt lõi trong bố trí tổng thể

So với vận tải hành khách đường sắt thông thường, đường sắt cao tốc có ưu thế vượt trội về tiện lợi, tốc độ, sự thoải mái, an toàn, đúng giờ và khả năng vận chuyển lớn. Thiết kế nhà ga đường sắt cao tốc cần tập trung vào việc phát huy tối đa những ưu thế này để thu hút hành khách, cung cấp dịch vụ vận tải an toàn, hiệu quả, thoải mái, đồng thời phối hợp chặt chẽ với giao thông đô thị và các chức năng đô thị khác, thúc đẩy sự phát triển bền vững của thành phố. Nguyên tắc cơ bản trong thiết kế tổng thể nhà ga đường sắt cao tốc là: đảm bảo tập trung và phân tán hành khách nhanh chóng, thuận tiện trong chuyển tiếp, và phát triển tích hợp với đô thị và khu vực xung quanh.

(1) Nhanh chóng tập trung và phân tán hành khách

Đường sắt cao tốc có các đặc điểm như mật độ vận hành cao, đoàn tàu ngắn, lưu lượng lớn, vận hành thông suốt và quản lý theo kiểu giao thông công cộng. Lợi thế cốt lõi là tốc độ nhanh, an toàn và tiện nghi. Do đó, bố trí tổng thể nhà ga phải đáp ứng yêu cầu vận hành hiệu quả này, với ưu tiên hàng đầu là tốc độ di chuyển của hành khách, đảm bảo "đến và đi ngay, vào nhanh ra nhanh".

(2) Thuận tiện trong chuyển tiếp

Để đảm bảo hiệu quả vận hành và đạt được mục tiêu "đến và đi ngay, vào nhanh ra nhanh", nhà ga cần được thiết kế sao cho hành khách có thể chuyển tiếp nhanh

chóng sang các phương tiện khác như xe buýt, tàu điện ngầm, taxi hoặc đi bộ rời khỏi nhà ga với quãng đường ngắn nhất và thời gian di chuyển tối thiểu, giúp hành khách chuyển tiếp thuận lợi và ít tốn sức.

(3) Phát triển tích hợp với khu vực xung quanh và đô thị

Đường sắt cao tốc không chỉ là một phương thức vận tải nhanh, hiệu quả và thân thiện với môi trường, mà còn góp phần thu hẹp khoảng cách giữa các thành phố, mở rộng không gian sống và thay đổi cấu trúc thời gian - không gian đô thị. Giao thông thuận tiện giúp tăng lưu lượng hành khách, luồng thông tin và hoạt động kinh tế - xã hội, biến khu vực xung quanh nhà ga trở thành trung tâm phát triển năng động và giàu tiềm năng.

Tuy nhiên, đường sắt cao tốc cũng có thể mang lại một số tác động tiêu cực cho đô thị, như chia cắt không gian đô thị, làm gián đoạn kết nối giao thông hai bên tuyến đường sắt, gây tiếng ồn, rung động, ảnh hưởng đến môi trường sinh thái và yêu cầu giải tỏa diện tích lớn trong đô thị. Do đó, cần áp dụng các biện pháp để cân bằng giữa những tác động này và lợi ích phát triển, nhằm thúc đẩy sự cộng sinh và phát triển bền vững giữa nhà ga đường sắt cao tốc và thành phố.

4. Yêu cầu cơ bản trong bố trí tổng thể

(1) Dựa trên nội dung và nguyên tắc bố trí tổng thể nhà ga đường sắt cao tốc đã nêu, các yêu cầu cơ bản bao gồm: xác định quy mô hợp lý cho các bộ phận như bãi đỗ xe, nhà ga, khu vực kết nối đô thị dựa trên tình hình tuyến đường, dự báo lưu lượng hành khách và vai trò của nhà ga.

(2) Lựa chọn mô hình bố trí phù hợp thông qua việc cân nhắc tổng hợp các yếu tố.

(3) Đảm bảo kết nối thuận tiện giữa nhà ga với đường đô thị và các loại hình giao thông khác, đồng thời thiết kế luồng di chuyển đơn giản, thông suốt.

(4) Bố trí hợp lý các cơ sở kết nối xung quanh nhà ga, bao gồm các công trình dành cho người đi bộ, bãi đỗ xe, khu vực xe buýt, cơ sở dành cho xe đạp, hệ thống giao thông đô thị, lối đi phục vụ, nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho hành khách chuyển tiếp và xây dựng mạng lưới tiện lợi, an toàn, dễ tiếp cận, liên kết nhà ga với các khu dân cư, thương mại và việc làm xung quanh.

(5) Sử dụng hợp lý và tập trung đất đai, đồng thời dành sẵn không gian phát triển trong tương lai, nhằm tạo ra một môi trường khu vực nhà ga tiết kiệm, chặt chẽ, an toàn, trật tự, thân thiện với người đi bộ và có chất lượng cao.

(6) Xem xét tổng thể và tận dụng hiệu quả không gian ngầm của các bộ phận cấu thành.

(7) Phối hợp hài hòa với quy hoạch khu vực, quy hoạch đô thị và sự phát triển của các đầu mối giao thông đường sắt.

5. Yêu cầu quy hoạch nhà ga dựa trên nhu cầu đường sắt

(1) Việc xây dựng nhanh mạng lưới đường sắt và sự gia tăng lưu lượng hành khách đặt ra yêu cầu mới cho quy hoạch nhà ga đường sắt

Khi số lượng tuyến đường tại các khu vực đầu mối đường sắt tăng lên, các nút giao thông dựa trên các đô thị lớn ngày càng hoàn thiện để đáp ứng nhu cầu đón, tiễn và trung chuyển hành khách. Sự gia tăng lưu lượng hành khách và sự thay đổi về chức năng, khả năng phục vụ của nhà ga đòi hỏi quy hoạch nhà ga phải thích ứng với sự thay đổi về phân bổ hành khách theo khu vực.

(2) Tiến bộ công nghệ đường sắt và sự thay đổi mô hình vận hành cũng đặt ra yêu cầu đối với quy hoạch nhà ga

Thiết kế và quy hoạch nhà ga cần chú trọng hơn đến các yếu tố như thuận tiện khi tiếp cận nhà ga, dễ dàng chuyển tiếp, thuận tiện khi mua vé, thông suốt trong quá trình di chuyển và nhanh chóng khi lên tàu. Quy hoạch nhà ga cần thích ứng với bố trí mạng lưới và mô hình vận hành đa phương thức, đa cấp độ.

(3) Bố trí tổng thể của các đầu mối giao thông đặt ra yêu cầu cho quy hoạch nhà ga

Bố trí tổng thể của các đầu mối giao thông cần đảm bảo sự thuận tiện cho hành khách khi lên xuống tàu, trung chuyển và cho hàng hóa khi tiếp nhận, phân loại, trung chuyển. Việc này cần kết hợp với nguyên tắc quy hoạch hiện nay ở các thành phố lớn tại Trung Quốc, nơi ngành công nghiệp thứ cấp được chuyển ra ngoại ô và khu vực trung tâm tập trung vào phát triển ngành công nghiệp dịch vụ (nguyên tắc "rút ngành thứ hai, phát triển ngành thứ ba"). Ngược lại, mô hình quy hoạch nhà ga cũng ảnh hưởng đến bố trí tổng thể đầu mối giao thông, chẳng hạn như việc áp dụng mô hình nhiều nhà ga giúp phân tán lưu lượng hành khách tại một nhà ga duy nhất, kiểm soát quy mô nhà ga riêng lẻ, đồng thời cải thiện tính rõ ràng và ngắn gọn của luồng di chuyển, tạo điều kiện thuận lợi cho việc chuyển tiếp nhanh chóng và giảm áp lực giao thông đô thị. Ví dụ, cấu trúc quy hoạch nhà ga tại đầu mối giao thông Bắc Kinh bao gồm "bốn chính hai phụ", với bốn nhà ga chính là ga Bắc Kinh, ga Tây Bắc Kinh, ga Nam Bắc Kinh và ga Bắc Bắc Kinh, hai nhà ga phụ là ga Đông Bắc Kinh và ga Phong Đài (Hình 5-2-2).

(4) Kiểm soát thời gian hành trình của hành khách cũng đặt ra yêu cầu đối với quy hoạch nhà ga

"An toàn, nhanh chóng, thuận tiện, thoải mái" là những yêu cầu cơ bản của hành khách khi sử dụng dịch vụ đường sắt.



Hình 5-2-2: *Sơ đồ cấu trúc quy hoạch nhà ga "bốn chính hai phụ" tại đầu mối giao thông Bắc Kinh.*

6. Yêu cầu quy hoạch nhà ga dựa trên sự phát triển kinh tế vùng và đô thị

(1) Yêu cầu quy hoạch nhà ga đường sắt từ sự phát triển vùng

Các nhà ga đường sắt lớn cùng với hệ thống giao thông liên vùng như đường sắt liên đô thị và xe khách đường dài đã tạo cho nhà ga khả năng phục vụ các chuỗi đô thị trong vùng.

(2) Yêu cầu quy hoạch nhà ga đường sắt từ sự phát triển đô thị

Quy hoạch nhà ga đường sắt cần phù hợp với quy mô của đô thị. Vị trí của nhà ga, trên quy mô tổng thể, phải được điều chỉnh để hài hòa với chiến lược phát triển không gian đô thị, đồng thời định hướng phân bố hợp lý các chức năng không gian đô thị. Việc xây dựng và cải tạo các nhà ga lớn đặc biệt sẽ nâng cao khả năng tiếp cận khu vực xung quanh, tạo ra lực hấp dẫn phát triển sớm và dần hình thành hiệu ứng tập trung. Nhờ đó, cơ hội kinh doanh và sự nhộn nhịp do nhà ga mang lại sẽ thúc đẩy sự đổi mới và phát triển của các khu vực lân cận, tạo thành những vùng đô thị hấp dẫn.

(3) Yêu cầu quy hoạch nhà ga đường sắt đối với không gian đô thị

Đối với đô thị, nhà ga đường sắt là một phương tiện quan trọng phản ánh hình ảnh của thành phố, là công trình thể hiện sự tiến bộ của đô thị và đóng vai trò như một "cửa ngõ" quan trọng. Ví dụ, ga Nam Kinh (Hình 5-2-3) nằm ở phía bắc cố đô

Kim Lăng, mặt trước hướng ra hồ Huyền Vũ, phía sau tựa vào núi Tiểu Hồng, tạo nên cảnh quan đẹp mắt. Quy hoạch và thiết kế nhà ga này rất chú trọng đến sự hài hòa với hình ảnh đô thị, kết hợp thiết kế nhà ga, quảng trường và cảnh quan hồ Huyền Vũ thành một thể thống nhất, biến nhà ga thành một yếu tố quan trọng trong hình ảnh của thành phố Nam Kinh.

(4) Yêu cầu quy hoạch nhà ga đường sắt đối với không gian chức năng đô thị

Nhà ga đường sắt không chỉ cần đáp ứng chức năng giao thông mà còn phải đáp ứng các yêu cầu về chức năng không gian đô thị như chức năng giao lưu, chức năng cảnh quan, chức năng phòng chống thiên tai và chức năng phục vụ (Bảng 5-2-1).



Hình 5-2-3: *Ga Nam Kinh và cảnh quan xung quanh.*

Bảng 5-2-1: Thành phần không gian chức năng của nhà ga đường sắt

Chức năng của nhà ga đường sắt	Chức năng	Đặc tính	Không gian
	Chức năng nút giao thông	Tập hợp, trung chuyển các loại hình giao thông	Không gian giao thông
	Chức năng nút giao đường đô thị	Hình thành nút giao đường đô thị	
	Chức năng giao lưu	Hình thành trung tâm giải trí, giao lưu, nghỉ ngơi	Không gian môi trường
	Chức năng cảnh quan	Là một phần quan trọng trong cảnh quan đô thị	
	Chức năng phục vụ	Cung cấp các dịch vụ thương mại và thông tin	
	Chức năng phòng chống thiên tai	Là điểm tránh nạn, phòng chống thiên tai, hoạt động khẩn cấp	

7. Yêu cầu quy hoạch nhà ga dựa trên hệ thống giao thông tổng hợp đô thị

(1) Hệ thống giao thông tổng hợp đô thị yêu cầu nhà ga đường sắt chuyển đổi từ "điểm cuối" sang "đầu mối giao thông"

Giao thông đô thị bằng đường sắt với ưu thế về khả năng vận chuyển lớn, tốc độ nhanh, đúng giờ và thân thiện với môi trường đang dần trở thành phương tiện giao thông công cộng chính tại các đô thị lớn ở Trung Quốc. Đồng thời, đây cũng là giải pháp chính cho việc tập trung và phân tán hành khách tại các nhà ga đường sắt lớn. Dọc tuyến cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu, nhiều thành phố vừa và lớn đã lập kế hoạch và xây dựng các dự án giao thông đường sắt đô thị. Nhà ga đường sắt thường phải tích hợp hiệu quả các dự án công trình lớn, phức tạp về mặt kỹ thuật như đường sắt cao tốc và đường sắt đô thị ngay từ giai đoạn quy hoạch thiết kế, nhằm đảm bảo luồng hành khách kết nối chính xác, luồng di chuyển thông suốt, hợp lý trong thi công, và tạo điều kiện thuận lợi tối đa cho hành khách khi đi lại. Một số nhà ga được xây dựng đồng thời với hệ thống giao thông đô thị, trong khi một số khác để dành không gian xây dựng cho giai đoạn sau.

(2) Sự phát triển của giao thông công cộng đặt ra yêu cầu đối với quy hoạch nhà ga đường sắt

Các phương thức giao thông công cộng đô thị chủ yếu bao gồm xe buýt, taxi, xe cá nhân và xe đạp. Việc kết nối các phương tiện này với nhà ga thường được thực hiện tại quảng trường trước nhà ga hoặc qua các tầng cầu vượt bốn làn hoặc tầng ngầm, nhằm tối ưu hóa luồng hành khách ra vào ga. Nhà ga đường sắt hiện đại cần tuân thủ nguyên tắc ưu tiên giao thông công cộng (bao gồm cả giao thông đường sắt đô thị). Trong thiết kế quảng trường giao thông, cần ưu tiên luồng xe buýt và vị trí đón trả khách, đồng thời bố trí đường đi thuận tiện cho xe buýt, tách biệt rõ ràng với đường đi của xe cá nhân nhằm nâng cao hiệu quả vận hành. Việc tách luồng người đi bộ và phương tiện cần được thực hiện rõ ràng, phân định khu vực đón trả khách gần với các lối ra vào chính của nhà ga, thuận tiện cho hành khách di chuyển. Đối với các phương tiện giao thông ngoại ô, nhà ga đường sắt cao tốc mới cũng cần kết hợp tích cực với các bến xe khách đường dài, cảng biển, sân bay và cửa khẩu, để thúc đẩy sự hình thành mạng lưới giao thông lớn, trong đó các phương thức giao thông vừa cạnh tranh vừa bổ trợ lẫn nhau, tạo ra tình thế đôi bên cùng có lợi. Tuyến cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu cũng đã có những thử nghiệm trong lĩnh vực này.

(3) Yêu cầu quy hoạch nhà ga đường sắt từ "vận tải đa phương thức"

"Vận tải đa phương thức" là hình thức vận tải kết hợp nhiều loại phương tiện khác nhau. Trong hệ thống giao thông tổng hợp, vận tải đa phương thức cần sự phối

hợp nhịp nhàng giữa các loại hình giao thông như hàng không - đường sắt - đường bộ, cũng như giữa sân bay và các đầu mối giao thông khác.

8. Yêu cầu quy hoạch nhà ga dựa trên sự phát triển của tổ hợp đô thị

(1) Tòa nhà phức hợp và nhà ga đường sắt phức hợp

Nhà ga đường sắt tại Trung Quốc đã trải qua quá trình phát triển từ nhà ga đơn chức năng đến nhà ga đa chức năng, từ mô hình bố trí bên tuyến đến mô hình trên tuyến (hoặc dưới tuyến), và từ quảng trường nhà ga dạng mặt phẳng đến dạng đa tầng. Quá trình này đã giúp tối ưu hóa luồng di chuyển nội bộ, nâng cao hiệu quả sử dụng đất, phân luồng giao thông đô thị và tích hợp các chức năng đô thị, đáp ứng tốt nhu cầu phát triển của các thành phố.

(2) Các yếu tố cơ bản trong thiết kế "tích hợp" nhà ga đường sắt

Do nhà ga đường sắt phức hợp có các chức năng điển hình và đặc điểm không gian của công trình lớn, "tích hợp" ở đây có nghĩa là sự kết nối và kết hợp chặt chẽ hơn giữa chức năng nhà ga và chức năng đô thị. Hai yếu tố này được kết hợp và thâm nhập đa tầng, đa chiều trong không gian. Ga Tân Bắc Thẩm Dương (Hình 5-2-4) là công trình đầu tiên tại Trung Quốc áp dụng mô hình nhà ga tích hợp với tổ hợp tòa nhà, trong đó diện tích dành cho khu vực chờ tàu kết hợp với khách sạn, nhà hàng, trung tâm thương mại và giải trí chiếm gần 50%. Mô hình này đã được áp dụng tại nhiều địa phương khác, chứng tỏ nhu cầu thị trường cao đối với loại hình tích hợp này.



Hình 5-2-4: *Tổ hợp nhà ga Tân Bắc Thẩm Dương*

(3) Xây dựng và phổ biến hệ thống kết cấu phức hợp kiểu cầu - nhà

Trong những năm gần đây, hệ thống kết cấu phức hợp kiểu cầu - nhà đã phát triển mạnh mẽ, trở thành một kết quả điển hình của sự đổi mới về mặt kết cấu xây dựng.

9. Ví dụ về quy hoạch nhà ga đường sắt

Nhận thức về việc xây dựng nhà ga đường sắt như một đầu mối giao thông tổng hợp đô thị đang ngày càng được khẳng định. Việc phát triển nhà ga đường sắt thành đầu mối giao thông tổng hợp kiểu mới là yêu cầu tất yếu đối với sự phát triển bền vững của hệ thống đường sắt Trung Quốc. Dựa trên các nguyên tắc quy hoạch và thiết kế nhà ga, kết hợp với kinh nghiệm từ các nước trên thế giới, Trung Quốc hướng tới xây dựng các nhà ga hiện đại, trở thành đầu mối giao thông quan trọng của đô thị, như ga Nam Bắc Kinh, ga Hồng Kiều Thượng Hải, ga Tân Quảng Châu, ga Vũ Hán và ga Tây Lan Châu.

9.1. Ga Nam Bắc Kinh

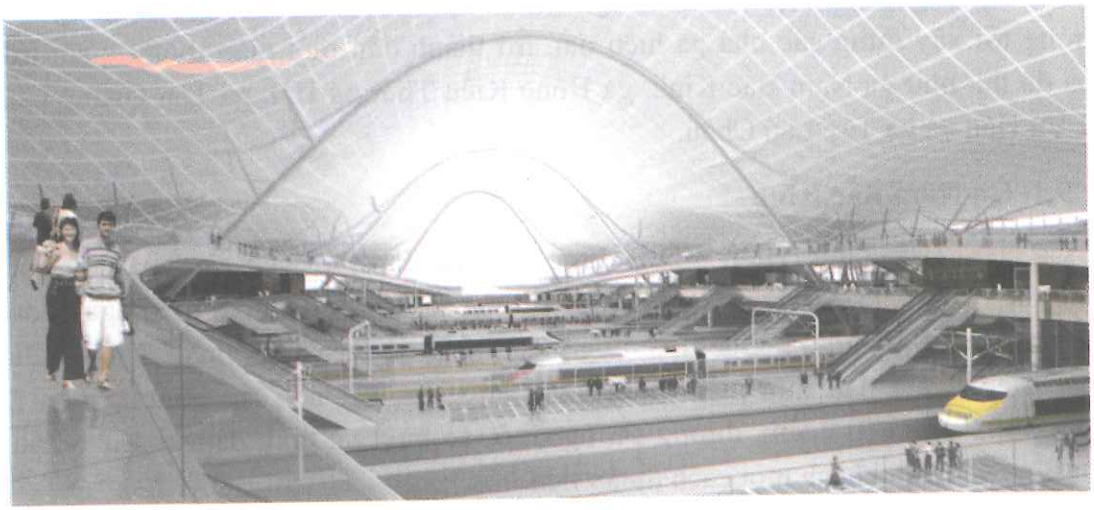
Ga Nam Bắc Kinh (Hình 5-2-5) được thiết kế dựa trên yêu cầu của quy hoạch tổng thể thành phố, kết hợp với hệ thống đường sắt ngoại ô và tàu điện ngầm, đồng thời xây dựng đồng bộ hệ thống đường giao thông đô thị xung quanh. Nhà ga được phát triển thành đầu mối giao thông tổng hợp lớn, kết nối các phương tiện như đường sắt, tàu điện ngầm, đường sắt ngoại ô, xe buýt và taxi, đáp ứng nhu cầu di chuyển của hành khách một cách thuận tiện.



Hình 5-2-5: *Sơ đồ bố trí mặt bằng ga Nam Bắc Kinh*

9.2. Ga Trịnh Châu

Ga Trịnh Châu (Hình 5-2-6) nằm tại điểm giao nhau của hai tuyến đường sắt chính Bắc Kinh - Quảng Châu và Long Hải, đồng thời kết nối với các tuyến đường sắt liên đô thị Trịnh Khai, Trịnh Tiêu và Trịnh Cơ. Ga này đóng vai trò là trung tâm giao thông quan trọng của vùng đô thị trung nguyên. Nhà ga tọa lạc tại trung tâm thành phố Trịnh Châu, tỉnh Hà Nam, với diện tích gần 3000 mẫu (~2 triệu m^2) và diện tích nhà ga chính là 124.000 m^2. Ga Trịnh Châu cũng kết nối với các tuyến cao tốc Trịnh Tây, cao tốc Bắc Kinh - Quảng Châu, cao tốc Trịnh Từ và hệ thống đường sắt liên đô thị. Đồng thời, đây còn là điểm trung chuyển quan trọng của tuyến tàu điện ngầm số 1 và số 10 trong mạng lưới giao thông đô thị Trịnh Châu.



Hình 5-2-6: *Ga Trịnh Châu*

9.3. Ga Hồng Kiều Thượng Hải

Ga Hồng Kiều Thượng Hải (Hình 5-2-7) có vị trí phía đông giáp tuyến đường vành đai ngoài, phía tây giáp đường Hoa Tường, phía bắc giáp đường Bắc Trạch, và phía nam giáp đường Thượng Thanh Bình. Đây là ga cuối của tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải và là ga đầu của tuyến cao tốc Thượng Hải - Hàng Châu, trở thành nhà ga lớn nhất Thượng Hải. Trung tâm giao thông mới này kết nối nhiều tuyến tàu điện ngầm, đồng thời dành sẵn không gian cho hai tuyến tàu điện ngầm tương lai. Hệ thống đường sắt đệm từ trường (maglev) sẽ được xây dựng để nối từ Phố Đông đến Hồng Kiều. Nhờ kết hợp với hệ thống đường cao tốc và sân bay Hồng Kiều, ga Hồng Kiều đã tích hợp ba loại hình giao thông: đường sắt (bao gồm tàu điện ngầm, đường sắt nội thành, liên tỉnh và ngoại ô), đường cao tốc và hàng không, trở thành hình mẫu mới về trung tâm chuyển tiếp giao thông hiện đại trên thế giới.



Hình 5-2-7: Sơ đồ bố trí mặt bằng ga Hồng Kiều Thượng Hải

9.4. Ga Hàng Châu

Ga Hàng Châu (Hình 5-2-8) là nhà ga quan trọng trên hành lang đường sắt cao tốc ven biển thuộc hệ thống đường sắt cao tốc quốc gia "bốn trục dọc, bốn trục ngang", đồng thời là một trong những nhà ga chính của nút giao thông đường sắt Hàng Châu. Nhà ga sử dụng hệ thống kết cấu khung lưới lớn bằng gỗ với tổng diện tích nhà ga phục vụ hành khách trên 50.000 m². Ga áp dụng mô hình chờ tàu trên cao với quy trình vận hành "vào trên, ra dưới". Không gian chức năng của nhà ga được chia thành ba tầng: tầng chờ trên cao, tầng sân ga và tầng quảng trường.

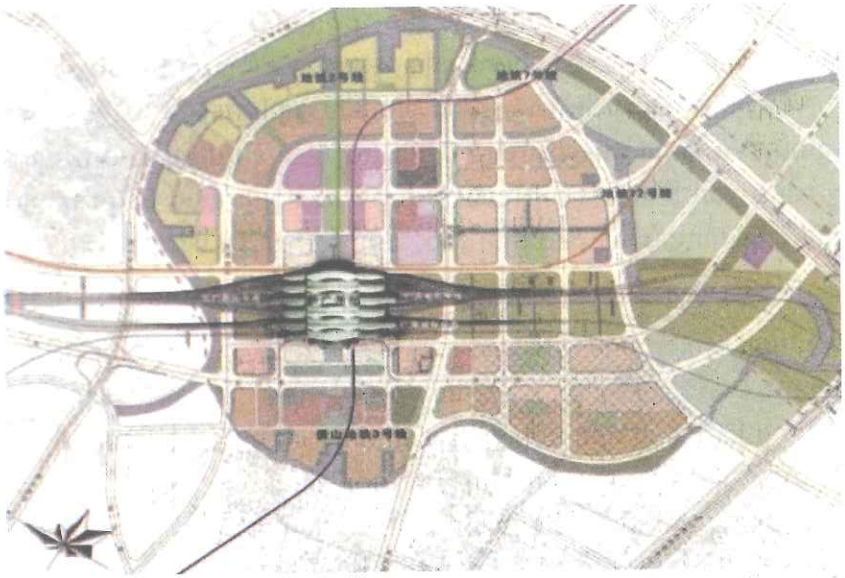


Hình 5-2-8: Ga Hàng Châu

Hệ thống đường sắt của ga Hàng Châu được hoàn thiện đồng bộ ngay từ giai đoạn đầu với 14 tuyến đón tiễn tàu, 2 sân ga cơ bản, 4 sân ga trung gian, một đường ngầm và một cầu vượt cho hành khách, cùng với mái che toàn bộ sân ga không sử dụng cột trụ. Các công trình chuyển tiếp giao thông được bố trí gần nhà ga nhằm rút ngắn khoảng cách di chuyển cho hành khách. Ngoài ra, ga Hàng Châu kết nối với hệ thống xe buýt nhanh, tàu điện ngầm và nhiều phương tiện giao thông khác, trở thành trung tâm vận tải hành khách tổng hợp quy mô lớn.

9.5. Ga Tân Quảng Châu

Ga Tân Quảng Châu (Hình 5-2-9) được bao quanh bởi các tuyến đường cao tốc như Đông Tân, Quảng Châu - Chu Hải tuyến phía Tây, tuyến chính Nam Đại và Quảng Châu - Minh Hải. Mạng lưới đường bộ theo quy hoạch với ba trục dọc và bốn trục ngang sẽ kết nối ga Tân Quảng Châu với các tuyến cao tốc và đường đô thị khác. Ga Tân Quảng Châu kết hợp chặt chẽ các loại hình giao thông gồm tuyến đường sắt chuyên chở hành khách, đường sắt liên đô thị, tàu điện ngầm và đường bộ, cho phép hành khách chuyển tiếp không khoảng cách. Nhà ga này trở thành trung tâm vận tải hành khách của khu vực đồng bằng Châu Giang và toàn bộ khu vực Hoa Nam.

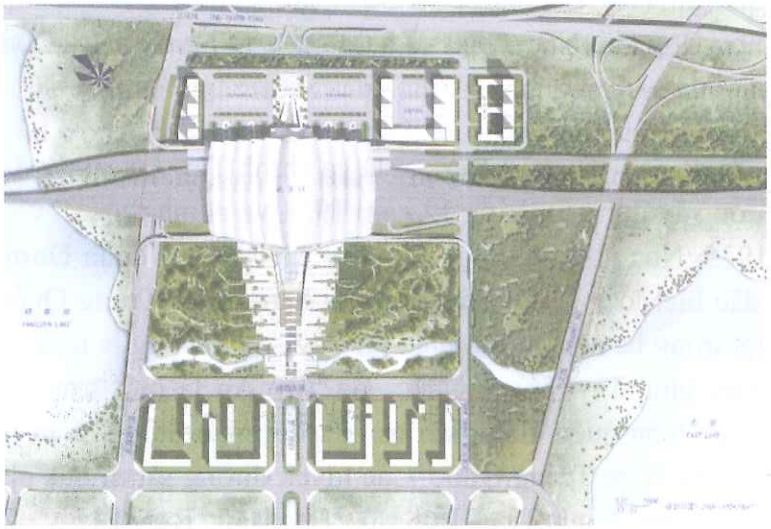


Hình 5-2-9: *Sơ đồ bố trí mặt bằng ga Tân Quảng Châu*

9.6. Ga Vũ Hán

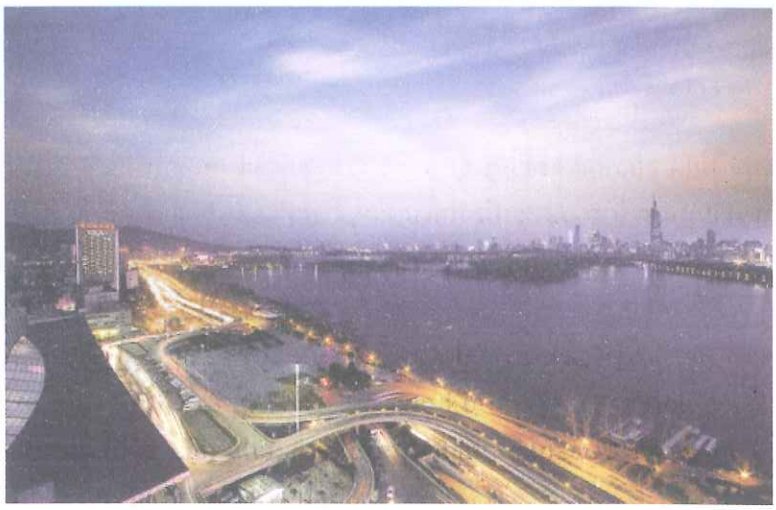
Ga Vũ Hán (Hình 5-2-10) nằm tại khu vực quảng trường phía Đông, kết nối với hơn 10 tuyến đường cao tốc thông qua hệ thống đường vành đai ba của thành phố, tạo nên mạng lưới giao thông nhanh và thuận tiện. Để đáp ứng nhu cầu giao thông

đô thị, thành phố Vũ Hán đã tích hợp hệ thống đường sắt đô thị vào ga, giúp việc di chuyển của hành khách từ các khu vực khác nhau đến ga trở nên nhanh chóng và an toàn. Nhờ sự kết nối hiệu quả giữa các phương tiện giao thông, ga Vũ Hán trở thành trung tâm vận tải hành khách quan trọng nhất tại khu vực Hoa Trung và đóng vai trò đầu mối giao thông lớn của cả nước.



Hình 5-2-10: *Sơ đồ bố trí mặt bằng ga Vũ Hán*

9.7. Ga Nam Kinh



Hình 5-2-11: *Sơ đồ bố trí quảng trường phía Nam ga Nam Kinh và cảnh quan xung quanh*

Ga Nam Kinh (Hình 5-2-11) được xây dựng ở vị trí đắc địa, phía trước là hồ Huyền Vũ và phía sau tựa vào núi Tiểu Hồng, tạo nên cảnh quan tuyệt đẹp và độc đáo,

được mệnh danh là "nhà ga đẹp nhất Trung Quốc". Tổng diện tích khu vực ga là 1,2 triệu m², trong đó diện tích xây dựng là khoảng 100.000 m², gồm hai nhà ga phía Nam và phía Bắc. Nhà ga có ba tầng trên mặt đất và ba tầng ngầm, đồng thời được thiết kế cầu vượt và nền đón khách phía trước. Hệ thống đường sắt tại ga gồm 16 đường ray và 16 sân ga với chiều dài lần lượt là 500m và 450m. Các tuyến đường sắt quan trọng đi qua ga Nam Kinh bao gồm Bắc Kinh - Thượng Hải, Thượng Hải - Nam Kinh, Nam Kinh - Hợp Phì, Nam Kinh - Khai Phong và Nam Kinh - Đồng Lăng.

9.8. Ga Tây An

Ga Tây An (Hình 5-2-12), hay còn gọi là ga chính Tây An, trước đây có tên là ga Trường An, được xây dựng từ tháng 12 năm 1934 và chính thức đi vào hoạt động từ tháng 6 năm 1935. Nhà ga trực thuộc Công ty TNHH Tập đoàn Đường sắt Tây An và hiện là ga đặc biệt loại 1, do Tổng công ty Đường sắt Trung Quốc quản lý trực tiếp. Đây là một trong ba nhà ga lớn nhất tại Tây An và cũng là trung tâm đường sắt lớn nhất khu vực phía Tây Trung Quốc. Ga Tây An là một trong tám trung tâm đường sắt lớn trên toàn quốc, đóng vai trò kết nối giao thông quan trọng giữa khu vực Tây Bắc và Tây Nam Trung Quốc. Các tuyến đường sắt đi qua nhà ga bao gồm Long Hải, Tây Khang, Ninh Tây, Tây Hộ, Tây Hầu, Bao Tây và Tây Bình, với khoảng 250 chuyến tàu hành khách được vận hành mỗi ngày.

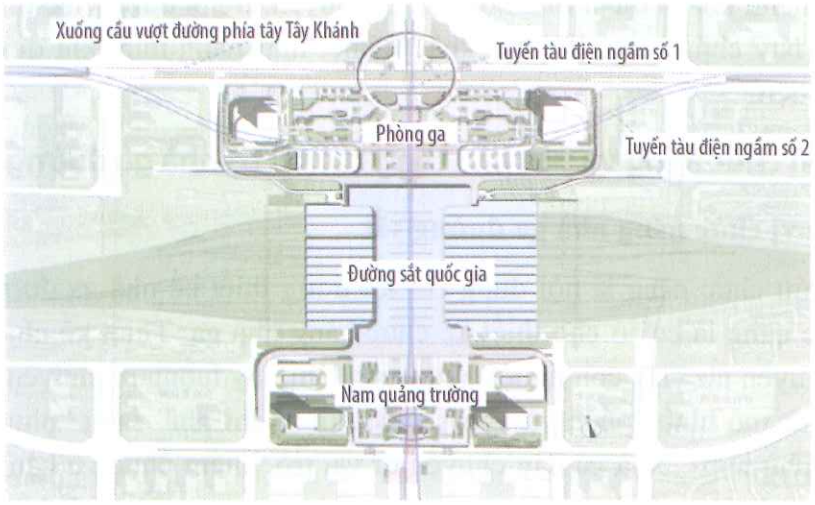


Hình 5-2-12: *Sơ đồ quy hoạch cải tạo ga Tây An*

9.9. Ga Tây Lan Châu

Ga Tây Lan Châu (Hình 5-2-13) tọa lạc tại quận Thất Lý Hà, thành phố Lan Châu, nằm ở trung tâm địa lý của thành phố. Phía bắc ga là đường chính Tây Tân Tây, phía nam là đường cao tốc đô thị Nam Sơn. Khu vực trung tâm giao thông của ga bao gồm các công trình chính như nhà ga đường sắt, điểm dừng tàu điện ngầm, bến xe buýt, bãi đỗ xe công cộng, bến taxi và bến xe khách du lịch. Ngoài các công trình giao thông, khu vực này còn tích hợp các chức năng khác như khu thương mại,

văn phòng, khách sạn và khu giải trí. Với sự phát triển của khu vực trung tâm giao thông, ga Tây Lan Châu sẽ trở thành trung tâm đô thị mới của thành phố, thúc đẩy sự phát triển kinh tế và xã hội của Lan Châu.



Hình 5-2-13: *Sơ đồ bố trí mặt bằng ga Tây Lan Châu*

II. THIẾT KẾ TỔNG THỂ MẶT BẰNG NHÀ GA ĐƯỜNG SẮT

Trong thời gian dài, bố trí tổng thể nhà ga đường sắt bao gồm ba phần chính: quảng trường, nhà ga và sân ga, được sắp xếp độc lập theo chiều ngang. Một ví dụ điển hình là ga Bắc Kinh, xây dựng năm 1959, đại diện cho thế hệ đầu tiên của nhà ga đường sắt Trung Quốc, với cách bố trí theo kiểu này.

Về sau, bố trí tổng thể dần chuyển đổi từ mặt bằng phẳng sang mô hình đa tầng. Do quy mô sân ga ngày càng mở rộng, để giải quyết vấn đề luồng di chuyển quá dài sau khi kiểm tra vé vào ga, các nhà thiết kế đã thử nghiệm mô hình đưa nhà ga lên trên sân ga, từ đó xuất hiện kiểu nhà ga tuyến trên. Ga Thượng Hải, xây dựng năm 1987 - đại diện cho thế hệ thứ hai của nhà ga đường sắt Trung Quốc, là nhà ga đầu tiên áp dụng mô hình bố trí sáng tạo với kiểu "mở hai đầu nam bắc, chờ tàu trên cao".

Hiện nay, tại một số nhà ga trên tuyến đường sắt cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu, mô hình bố trí đã tiến thêm một bước, khi ba phần chính: quảng trường, nhà ga và sân ga không còn phân biệt rõ ràng mà được tích hợp thành một tổ hợp đa chức năng, đáp ứng toàn diện nhu cầu đón tiễn và chuyển tiếp hành khách. Ví dụ điển hình là ga Vũ Hán (hoàn thành năm 2009) và ga Nam Quảng Châu (hoàn thành năm 2010), nơi nhà ga được đặt trên sân ga, quảng trường chuyển tiếp được bố trí bên dưới sân ga, và hệ thống tàu điện ngầm cũng được xây dựng ngay bên dưới quảng

trường ra ga. Bố trí đa tầng theo dạng chồng lớp này là một trong những điểm đổi mới quan trọng trong thiết kế nhà ga đường sắt thế hệ thứ ba tại Trung Quốc.

Khái niệm **"cùng dưới một mái nhà"**, giải quyết mọi vấn đề chuyển tiếp giao thông, giúp hành khách thoải mái hơn khi di chuyển, tránh được việc tìm kiếm điểm chuyển tiếp hay chịu đựng thời tiết khắc nghiệt như nắng mưa khi di chuyển giữa các phương tiện.

1. Định vị chức năng và yêu cầu tổng thể bố trí nhà ga đường sắt

1.1. Định vị chức năng nhà ga đường sắt

Nghiên cứu chức năng là nội dung cốt lõi trong thiết kế nhà ga đường sắt. Việc định vị chức năng là cơ sở cho thiết kế chức năng nhà ga. Thiết kế nhà ga hiện đại tuân theo nguyên tắc "lấy con người làm trung tâm, lấy luồng di chuyển làm chính", chuyển đổi từ mô hình "phục vụ vận tải, tiết kiệm chi phí" sang "phục vụ xã hội, hiện đại và phù hợp". Nhà ga dần chuyển từ vai trò "điểm phục vụ hành khách đơn lẻ" và "cửa ngõ đô thị" sang "đầu mối giao thông tổng hợp", tích hợp sâu với hệ thống giao thông đô thị và khu vực.

Những chuyển đổi cụ thể gồm:

- Chức năng bố trí từ "đơn lẻ" sang "tích hợp".
- Mô hình luồng di chuyển từ "chờ đợi tĩnh" sang "di chuyển liên tục".
- Phương thức vận hành từ "quản lý" sang "dịch vụ".
- Chức năng phức hợp tạo nên mô hình bố trí không gian tích hợp.
- Chú trọng nghiên cứu khả năng thích ứng của các chức năng nhà ga với nhu cầu phát triển.

1.2. Xu hướng phát triển tổng thể bố trí nhà ga đường sắt

Cùng với sự thay đổi trong quan niệm thiết kế và bố trí tổng thể nhà ga, xu hướng phát triển hiện tại bao gồm:

- Tổ chức không gian đa tầng.
- Sử dụng không gian theo hướng phức hợp đa chức năng.
- Quy hoạch không gian mang tính nhân văn, lấy hành khách làm trung tâm.
- Tận dụng hiệu quả không gian ngầm.
- Đơn giản hóa thiết kế đối với các nhà ga quy mô vừa và nhỏ.

Các xu hướng chính:

(1) Tư tưởng thiết kế: Chuyển từ "thuận tiện cho quản lý" sang "lấy sự tiện lợi của hành khách làm trung tâm".

(2) Định vị chức năng: Từ "cửa ngõ đô thị dành riêng cho đường sắt" sang "đầu mối giao thông tổng hợp đa phương thức".

(3) Nâng cao hiệu quả vận hành: Tăng cường tính định hướng, giảm thời gian di chuyển và tăng khả năng thông suốt cho hành khách.

(4) Thiết kế sân ga: Thay đổi tư duy "chú trọng nhà ga, coi nhẹ sân ga", chú trọng nhiều hơn đến không gian có mái che tại sân ga.

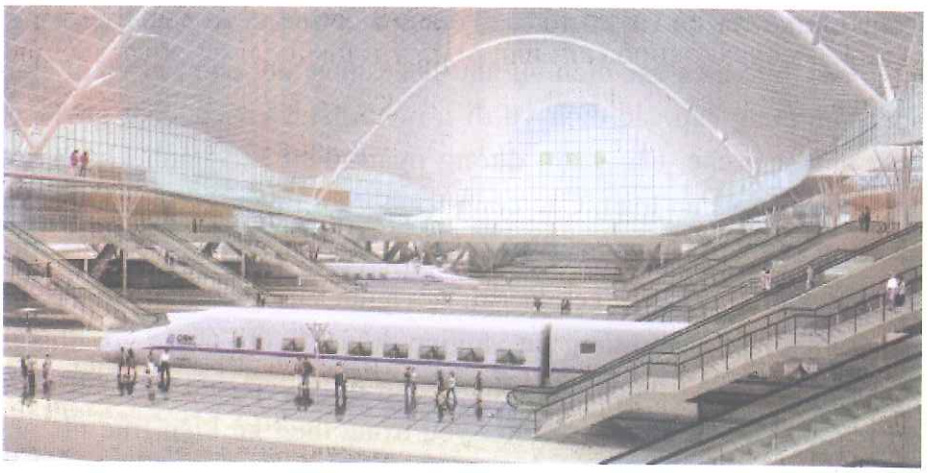
(5) Tối ưu luồng di chuyển: Kết hợp chặt chẽ nhà ga, sân ga và quảng trường đô thị để tiết kiệm diện tích đất, rút ngắn luồng di chuyển cho hành khách.

(6) Học hỏi và đổi mới: Áp dụng mô hình "vận hành như xe buýt", "bán vé và kiểm vé như tàu điện ngầm", "dịch vụ như sân bay".

(7) Thẩm mỹ và văn hóa: Khuyến khích thiết kế nhà ga mang bản sắc địa phương, coi yếu tố văn hóa là tiêu chuẩn thẩm mỹ.

(8) Phát triển bền vững: Xây dựng các nhà ga xanh, thân thiện với môi trường, hướng đến phát triển bền vững.

Ví dụ, sảnh vào ga Vũ Hán được thiết kế là một không gian lớn thông suốt, bao phủ toàn bộ sân ga và phòng chờ trên cao. Hành khách khi vào sảnh có thể dễ dàng quan sát toàn bộ bố cục nhà ga và chọn hướng di chuyển phù hợp (Hình 5-2-14).



Hình 5-2-14: *Hình phối cảnh không gian bên trong ga Vũ Hán*

1.3. Đặc điểm bố trí tổng thể nhà ga đường sắt

Quá trình cải tiến và phát triển bố trí tổng thể nhà ga đường sắt cho thấy sự thay đổi trong nhu cầu xã hội và sự đổi mới trong tư duy thiết kế, phản ánh rõ nét sự tiến bộ của thời đại. Hiện nay, khi đáp ứng các yêu cầu quy hoạch tổng thể đô thị, bố trí nhà ga cao tốc cần được thực hiện dựa trên tình hình thực tế, đảm bảo bố trí hợp lý giữa sân ga, quảng trường và các bộ phận khác, tạo nên một trung tâm vận tải

tích hợp với môi trường đẹp, cơ sở hạ tầng đầy đủ và khả năng phát triển bền vững, làm nổi bật tính hiệu quả của công trình giao thông trong thời đại mới.

1.4. Các mô hình bố trí tổng thể nhà ga đường sắt

Dựa trên vị trí tương quan giữa quảng trường, nhà ga và sân ga, bố trí tổng thể nhà ga đường sắt được chia thành:

- Mô hình bố trí mặt phẳng
- Mô hình bố trí không gian ba chiều giữa nhà ga và sân ga
- Mô hình kết hợp giữa quảng trường không gian ba chiều với nhà ga và sân ga
- Mô hình bố trí tích hợp không gian ba chiều

So với mô hình bố trí mặt phẳng, bốn mô hình còn lại đều thuộc dạng bố trí không gian ba chiều, cho phép tận dụng tối đa diện tích và nâng cao hiệu quả vận hành của nhà ga.

2. Chức năng và bố trí quảng trường nhà ga

Quảng trường nhà ga là điểm giao thoa giữa đường sắt và hệ thống giao thông đô thị, đóng vai trò quan trọng trong việc chuyển tiếp giữa các phương thức giao thông. Không chỉ mang chức năng chính là tập trung và phân tán luồng người và phương tiện, quảng trường nhà ga còn có vai trò về cảnh quan, môi trường và phát triển tổng hợp.

Nhà ga là nơi thực hiện các dịch vụ như lên xuống tàu, chờ tàu và di chuyển qua lại, là trung tâm cung cấp các dịch vụ đi lại cho hành khách. Sân ga và các công trình hỗ trợ như mái che, cầu vượt, đường ngầm đảm bảo hành khách có thể lên xuống tàu thuận tiện và an toàn. Các công trình vượt tuyến kết nối chặt chẽ nhà ga với sân ga, giúp luồng di chuyển của hành khách được liên tục và thông suốt.

Quảng trường nhà ga được coi là cầu nối giữa nhà ga và đô thị, là nơi trung chuyển chính giữa hệ thống đường sắt và giao thông đô thị. Cùng với nhà ga và sân ga, quảng trường là một trong ba bộ phận quan trọng, có mối liên kết chặt chẽ về chức năng sử dụng và đóng vai trò thiết yếu trong thiết kế kiến trúc nhà ga đường sắt. Quảng trường nhà ga có ba chức năng chính: giao thông, môi trường, và chuyển tiếp giữa các phương tiện giao thông đô thị.

Trong đó, chức năng giao thông là quan trọng nhất, bao gồm việc kết nối quảng trường với giao thông đô thị, quy hoạch các khu vực như làn đường cho xe, bãi đỗ xe, điểm đón trả khách, khu vực dành cho người đi bộ và các lối đi bộ, cùng với việc bố trí các công trình trên quảng trường.

Quảng trường giao thông thường được chia thành hai khu vực: khu vực dành cho người đi bộ và khu vực dành cho phương tiện. Với các nhà ga truyền thống, quảng

trường giao thông thường được bố trí ngoài mái hiên nhà ga, một bên kết nối các lối vào nhà ga, bên kia kết nối trực tiếp với các khu vực giao thông đô thị như bãi đỗ xe, bến xe buýt và bến taxi. Tại các nhà ga cỡ vừa và nhỏ thuộc tuyến cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu, quảng trường đi bộ thường được thiết kế đơn tầng, trong khi các nhà ga lớn như Nam Quảng Châu, Trường Sa Nam và Vũ Hán áp dụng mô hình quảng trường đa tầng với các làn đường trên cao, bãi đỗ xe mặt đất và ngầm.

Các làn đường trên cao cho phép phương tiện đưa khách đến thẳng cửa nhà ga, trong khi bãi đỗ xe mặt đất và ngầm cho phép hành khách dễ dàng tiếp cận các phương tiện như taxi, xe buýt và tàu điện ngầm ngay khi rời nhà ga, tạo điều kiện di chuyển thuận tiện.

Để đáp ứng nhu cầu cao điểm trong các dịp lễ, tết và mùa du lịch, quảng trường các nhà ga trên tuyến cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu được thiết kế để đảm bảo sức chứa lớn, đồng thời dành không gian dự phòng cho việc bố trí các cơ sở chờ tàu tạm thời khi cần thiết.

2.1. Nguyên tắc bố trí chức năng quảng trường nhà ga

- Ưu tiên giao thông công cộng, tách biệt luồng người và luồng xe.
- Phân tách rõ ràng luồng di chuyển và khu vực dừng đỗ.
- Bố trí luồng di chuyển không giao cắt nhau để đảm bảo tính thông suốt.
- Đáp ứng tốt nhu cầu di chuyển theo mùa và các dịp cao điểm.

2.2. Các mô hình bố trí chức năng quảng trường nhà ga

- Mô hình bố trí mặt phẳng: Áp dụng cho các nhà ga như ga Hoài An (Hình 5-2-15) và ga Tây Lan Châu (Hình 5-2-16).



Hình 5-2-15: *Quảng trường ga Hoài An*



Hình 5-2-16: *Quảng trường ga Tây Lan Châu*

• Mô hình bố trí đa tầng: Áp dụng cho các nhà ga lớn như ga Tô Châu (Hình 5-2-17), nơi hệ thống giao thông trước nhà ga được tổ chức bằng cầu vượt, chuyển đổi không gian từ mặt phẳng sang không gian đa tầng, giúp tối ưu hóa luồng di chuyển của người và phương tiện.



Hình 5-2-17: *Quảng trường trước ga Tô Châu*

3. Chức năng tổ chức và bố trí nhà ga

Nhà ga là bộ phận chính trong kiến trúc của nhà ga đường sắt, bao gồm khu vực công cộng phục vụ hành khách và khu vực phi công cộng dành cho công tác vận hành, quản lý nhà ga như phòng bán vé, phòng ký gửi hành lý, v.v. Bên trong nhà ga, các khu vực dành cho hành khách sử dụng được chia thành khu vực đã kiểm soát vé (như lối đi nhanh) và hành lang vào ga; khu vực phi trả phí bao gồm sảnh lớn vào ga, phòng bán vé, khu vực ký gửi và nhận hành lý, các cơ sở dịch vụ hành khách, sảnh ra ga, v.v. Diện tích phòng chờ được xác định dựa trên lưu lượng hành khách. Các phòng và thiết bị trong khu vực phi công cộng cũng được bố trí theo quy mô và đặc điểm của nhà ga.

3.1. Nguyên tắc bố trí chức năng nhà ga

• Với sự phát triển của các tuyến đường sắt cao tốc, tốc độ chạy tàu và tần suất đón tiễn tàu đều tăng đáng kể, khả năng vận chuyển và chất lượng dịch vụ cũng sẽ được nâng cao. Ngành vận tải đường sắt đang dần phát triển theo hướng cao tốc hóa và tương tự như giao thông công cộng.

• Cùng với sự mở rộng của hệ thống giao thông đô thị, khả năng tiếp cận và chuyển tiếp của hành khách ngày càng nhanh, thời gian dừng tại nhà ga sẽ giảm đi đáng kể. Do đó, thiết kế về diện tích, hình thức và nội dung của không gian chờ cũng cần thay đổi tương ứng.

• Sự phát triển kinh tế - xã hội, mức sống của người dân ngày càng nâng cao, nhịp sống xã hội trở nên nhanh hơn khiến ý thức về giá trị thời gian của hành khách được tăng cường. Nhu cầu đi lại, phương thức di chuyển và thói quen di chuyển cũng thay đổi liên tục, điều này sẽ thúc đẩy sự phát triển và thay đổi trong mô hình bố trí chức năng nhà ga.

Mô hình bố trí chức năng nhà ga tại Trung Quốc có thể chia thành các giai đoạn sau:

(1) Mô hình không gian chờ phân tán.

(2) Mô hình không gian chờ tập trung và mô hình chờ trên cao.

(3) Mô hình không gian thông qua nhanh.

3.2. Thành phần không gian chức năng nhà ga

Không gian chức năng của nhà ga được chia thành không gian chức năng giao thông và không gian chức năng phụ trợ.

(1) Không gian chức năng giao thông: Bao gồm ba phần chính là không gian ra ga, không gian vào ga và không gian sử dụng bên trong nhà ga.

(2) Không gian chức năng phụ trợ: Gồm khu vực quản lý và khu vực dịch vụ.

4. Chức năng tổ chức và bố trí sân ga

Sân ga đóng vai trò nền tảng trong thiết kế nhà ga đường sắt, bao gồm các tuyến đường tàu đến và đi, sân ga cho hành khách lên xuống tàu, mái che sân ga và các công trình vượt tuyến như cầu vượt và đường hầm. Chức năng chính của sân ga là phục vụ việc lên xuống tàu, chuyển tiếp hành khách và đảm bảo việc đón tiễn tàu diễn ra an toàn, thuận lợi.

(1) Xu hướng phát triển và đặc điểm bố trí sân ga

(2) Trong thiết kế nhà ga đường sắt hiện đại, số lượng sân ga và tuyến đường tàu tăng đáng kể so với trước đây. Để đáp ứng nhu cầu lên xuống tàu nhanh chóng và

thuận tiện cho hành khách, bố trí sân ga, nhà ga và quảng trường dần chuyển sang mô hình không gian tích hợp, chồng lớp, tạo nên các đầu mối giao thông tổng hợp.

(3) Các điểm chính trong bố trí chức năng sân ga

o Chuyển đổi sang mô hình thông qua: Mô hình này giúp giảm thời gian dừng của tàu, tăng khả năng vận hành và luồng di chuyển thông suốt cho hành khách.

o Chuyển đổi sang không gian đa tầng: Thiết kế theo kiểu chồng lớp giữa sân ga, nhà ga và quảng trường giúp tối ưu hóa diện tích sử dụng và tăng hiệu quả hoạt động của nhà ga.

5. Bố trí công trình phụ trợ tại nhà ga

Do sân ga chiếm diện tích lớn, đặc biệt là tại các khu vực yết hầu - nơi các tuyến đường sắt giao nhau - thường có các khu vực đất xen giữa tuyến đường sắt. Nếu không được sử dụng hiệu quả, những khu đất này sẽ gây lãng phí lớn. Bố trí tuyến đường sắt và sân ga trên cao trong khu vực đô thị không chỉ giúp cải thiện tầm nhìn, tăng cường kết nối giao thông hai bên mà còn tận dụng hiệu quả các khu đất xen giữa.

Tại ga Nam Quảng Châu (Hình 5-2-18), dải đất giữa quảng trường phía Đông và phía Tây chủ yếu được sử dụng làm dải xanh cách ly. Để tận dụng tối đa diện tích, các công trình phụ trợ được bố trí trong khu vực này. Cụ thể:

- Trạm biến áp kéo điện và trạm biến áp 220 kV được xây dựng tại khu yết hầu phía Nam của nhà ga.
- Nhà máy xử lý nước thải và trạm xử lý rác thải được bố trí tại khu đất xen phía Bắc.
- Tháp làm mát của hệ thống điều hòa không khí phục vụ nhà ga được đặt tại các khu đất xen hai bên.



Hình 5-2-18: *Ga Nam Quảng Châu*

6. Bố trí hệ thống xanh cho nhà ga

Hệ thống cây xanh là thành phần quan trọng trong hệ sinh thái tự nhiên, góp phần giảm tiếng ồn, nâng cao chất lượng sống của cư dân xung quanh khu vực đường sắt, cải thiện cảnh quan đô thị và tạo ra không gian công cộng đẹp, hài hòa. Một thành phố được quy hoạch tốt cần có hệ thống cây xanh phong phú. Việc quy hoạch hệ thống cây xanh có thể bao gồm nhiều loại hình không gian xanh khác nhau, từ các vườn nhỏ, công viên tuyến tính đến các quảng trường công cộng, nhằm tạo nên mạng lưới không gian mở mang tính cộng đồng, thân thiện với môi trường và có tính thẩm mỹ cao.



Hình 5-2-19: *Hình ảnh tổng quan hệ thống cây xanh tại ga Tây Lan Châu.*

III. THIẾT KẾ KIẾN TRÚC NHÀ GA ĐƯỜNG SẮT

Thiết kế kiến trúc nhà ga đường sắt cần xem xét các yếu tố hình thái không gian được tạo nên bởi nhà ga, quảng trường và sân ga, đồng thời nghiên cứu chi tiết về kết cấu, vật liệu, thẩm mỹ, không gian nội thất, môi trường và cảnh quan. Dựa trên sự đa dạng về văn hóa, điều kiện địa lý, khí hậu tại các vùng miền, cùng với yêu cầu thẩm mỹ mang tính văn hóa địa phương, thiết kế không gian nhà ga hướng đến sự thể hiện hài hòa giữa yếu tố vùng miền và tính đặc thù văn hóa.

1. Thiết kế hình thái không gian nhà ga

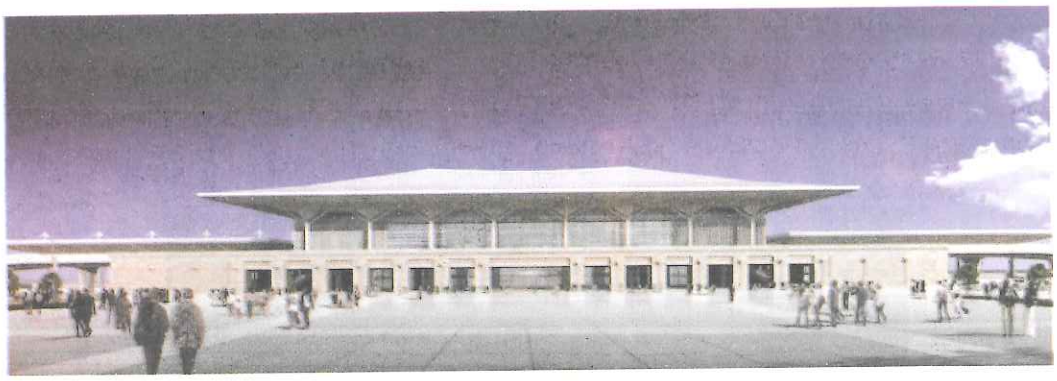
1.1. Đặc điểm phát triển và các yếu tố chính trong thiết kế không gian nhà ga

(1) Sự thay đổi trong hệ thống yếu tố không gian nhà ga

Hình thái không gian nhà ga đã có nhiều thay đổi rõ rệt qua các giai đoạn phát triển, đặc biệt là mô hình tổ hợp nhà ga.

• Ga Bắc Tây An áp dụng thiết kế với phần mái nhô ra rất dài, tạo nên sự tương phản mạnh mẽ giữa hành lang và khu vực giao thông tuyến tính (Hình 5-2-20).

• Ga Bắc Thâm Quyến sử dụng thiết kế hành lang kín bao quanh, tạo hiệu ứng giống như một đường hầm, mang đến hình thái không gian mới lạ (Hình 5-2-21).



***Hình 5-2-20**: Mặt đứng ga Bắc Tây An*



***Hình 5-2-21**: Phối cảnh ga Bắc Thâm Quyến*

(2) Xu hướng tích hợp nhà ga và mái che sân ga

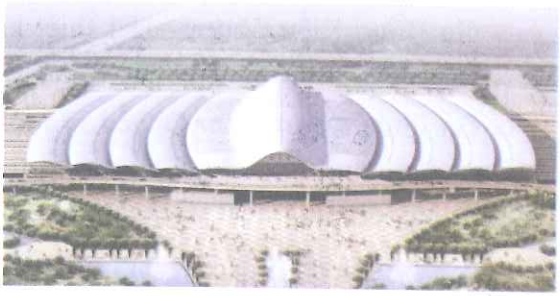
Xu hướng tích hợp giữa nhà ga và mái che sân ga là thay đổi quan trọng nhất trong tổ hợp không gian, khi nhà ga và mái che được thiết kế liền khối về hình thái không gian, kết cấu và chức năng.

• Ga Nam Bắc Kinh là ví dụ điển hình về thiết kế tích hợp hoàn chỉnh giữa nhà ga và mái che sân ga.

• Ga Nam Quảng Châu, ga Vũ Hán và ga Bắc Thâm Quyến tiếp tục phát triển ý tưởng này, mang đến sự kết nối hoàn chỉnh về không gian và chức năng giữa nhà ga và sân ga (Hình 5-2-22 đến Hình 5-2-24).



Hình 5-2-22: Toàn cảnh ga Nam Quảng Châu



Hình 5-2-23: Toàn cảnh ga Vũ Hán

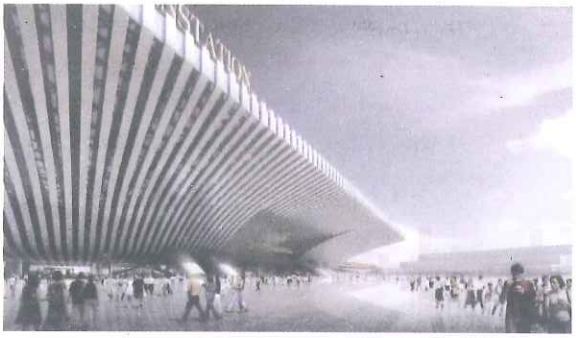


Hình 5-2-24: Toàn cảnh ga Bắc Thâm Quyến

(3) Sự thay đổi trong thiết kế quảng trường trước nhà ga

Thiết kế quảng trường trước nhà ga có sự khác biệt tùy thuộc vào nhu cầu sử dụng và lưu lượng hành khách, dẫn đến những thay đổi lớn về hình thái không gian:

- Ga Bắc Thâm Quyến có quảng trường trước ga với thiết kế mái cong mềm mại, tạo sự sinh động và giàu tính động lực (Hình 5-2-25).
- Ga Đông Hàng Châu sử dụng các cột chống nghiêng lớn, tạo cảm giác không gian mạnh mẽ và ấn tượng (Hình 5-2-26).



Hình 5-2-25: Phối cảnh ga Bắc Thâm Quyến



Hình 5-2-26: Phối cảnh ga Đông Hàng Châu

• Ga Hồng Kiều Thượng Hải thiết kế quảng trường trước nhà ga theo hướng tối giản, với diện tích được thu nhỏ tối đa.

• Ga Phúc Điền Thâm Quyến là một trường hợp đặc biệt khi toàn bộ nhà ga và sân ga đều nằm dưới lòng đất, quảng trường trước nhà ga chỉ mang tính cảnh quan, có thể thay đổi linh hoạt về quy mô hoặc bị thay thế bởi các công trình khác.

(4) Sự thay đổi trong mô hình tổ hợp sân ga

Mô hình tổ hợp sân ga bao gồm mối quan hệ giữa mái che sân ga, cột chống và tuyến đường ray, sự kết hợp giữa nhà ga và sân ga, cũng như sự thay đổi trong hình thái không gian sân ga. Những thay đổi này nhằm mục tiêu tối ưu hóa công năng, cải thiện hiệu quả sử dụng không gian và mang đến trải nghiệm tốt nhất cho hành khách.

1.2. Định hướng thẩm mỹ và thiết kế hình thái không gian nhà ga đường sắt

Thiết kế hình thái không gian nhà ga đường sắt chịu ảnh hưởng sâu sắc từ nhu cầu thẩm mỹ đương đại. Việc đổi mới sáng tạo được thực hiện bằng cách cân bằng giữa yếu tố thẩm mỹ và yêu cầu chức năng.

(1) Xu hướng thẩm mỹ tổng thể và sáng tạo hình thái không gian

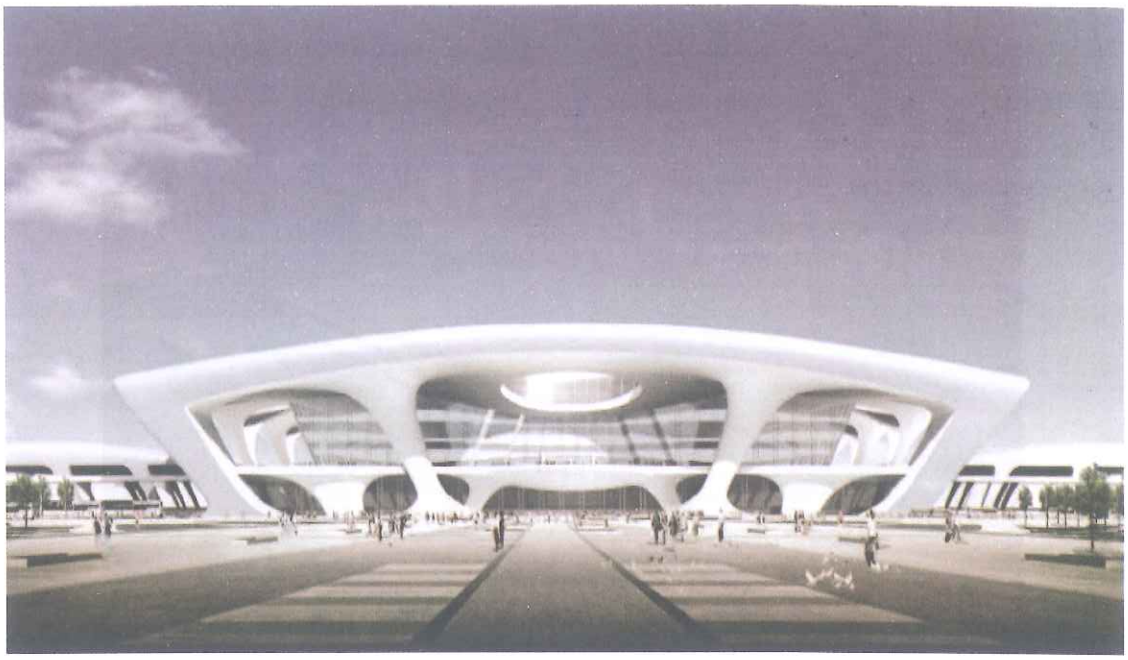
Tính đối xứng, một nguyên tắc thẩm mỹ cổ điển, xuất hiện phổ biến trong thiết kế hình thái không gian nhà ga. Nguyên tắc này mang lại trật tự và tạo hiệu ứng thẩm mỹ mạnh mẽ, tương tự như một bản giao hưởng hùng tráng. Bên cạnh đó, sự kết hợp tính đối xứng với các phong cách tạo hình hiện đại có thể tạo nên sự cân bằng hài hòa giữa truyền thống và đổi mới. Ví dụ:

• Ga Thượng Hải Nam nổi bật với phong cách công nghệ cao cùng thiết kế đối xứng hình tròn (Hình 5-2-27).

• Ga Đông Hàng Châu thể hiện sự kết hợp hoàn hảo giữa phong cách tương lai và phong cách tạo hình mới (Hình 5-2-28).



***Hình 5-2-27**: Ga Thượng Hải Nam với thiết kế đối xứng hình tròn*



***Hình 5-2-28**: Ga Đông Hàng Châu với phong cách tạo hình hiện đại*

(2) Kết hợp đặc tính giao thông của nhà ga với thẩm mỹ đương đại

"Tính cách của kiến trúc được thể hiện rõ nhất thông qua chức năng của nó". Chức năng là yếu tố chân thực và cốt lõi của kiến trúc, trong khi hình thức dễ chịu tác động bởi yếu tố ngoại lực. Khi hình thức có thể phản ánh rõ nét chức năng, kiến trúc sẽ dễ dàng phân biệt với các loại hình khác. Nguyên tắc này đặc biệt quan trọng khi áp dụng vào thiết kế nhà ga đường sắt.

(3) Lựa chọn và thể hiện các đối tượng thẩm mỹ đương đại

Việc lựa chọn và xử lý hợp lý các yếu tố thẩm mỹ, đảm bảo mối liên kết logic giữa hình thái không gian và biểu hiện thẩm mỹ là yếu tố quan trọng giúp thể hiện rõ nét đặc trưng văn hóa vùng miền trong thiết kế nhà ga đường sắt.

(4) Thẩm mỹ tổng thể trong thiết kế nhà ga

Nguyên lý Gestalt trong tâm lý học có ảnh hưởng lớn đến thiết kế kiến trúc nhà ga. Đối với những yêu cầu phức tạp về chức năng, kết cấu và văn hóa của nhà ga, việc áp dụng các nguyên lý của Gestalt như xu hướng đơn giản hóa thị giác, mối quan hệ giữa hình và nền, tính liên tục, tính gần kề, tính tương đồng, tác động từ kinh nghiệm và sự chú trọng vào yếu tố tương phản là chìa khóa tạo nên sự thành công trong hình thái không gian nhà ga. Ga Đông Hàng Châu là một ví dụ điển hình áp dụng hiệu quả các nguyên lý này (Hình 5-2-29).



Hình 5-2-29: Toàn cảnh ga Đông Hàng Châu

1.3. Hình thái không gian nội thất và môi trường

Nguyên tắc quan trọng nhất trong thiết kế hình thái không gian nội thất nhà ga đường sắt là "*lấy con người làm trung tâm*". Trên nền tảng này, việc thiết kế phải kết hợp chặt chẽ với cấu trúc kiến trúc của nhà ga và đảm bảo hình thức thể hiện phù hợp với chức năng. Việc tổ chức không gian nội thất cần bắt đầu từ mối quan hệ logic giữa hình thức và chức năng, giúp không gian trở nên trực quan, hiệu quả và thân thiện với người sử dụng.

1.4. Thiết kế cảnh quan đô thị cho nhà ga đường sắt

(1) Thiết kế cảnh quan từ góc nhìn đô thị

Thiết kế cảnh quan nhà ga không chỉ cần đáp ứng chức năng giao thông mà còn phải hài hòa với cảnh quan đô thị xung quanh. Cần tính đến yếu tố địa phương và bổ sung các công trình phụ trợ có thể linh hoạt thay đổi, như các thiết bị lắp đặt đa năng hoặc các tác phẩm điêu khắc phù hợp với quy mô của nhà ga. Những yếu tố này giúp quảng trường trước nhà ga trở thành không gian giao lưu công cộng, đồng thời là nơi kết nối hài hòa giữa hệ thống giao thông và cảnh quan đô thị (Hình 5-2-30).

(2) Thiết kế cảnh quan dựa trên hình thái không gian nhà ga

Việc tạo cảnh quan cho nhà ga cần dựa trên cấu trúc không gian tổng thể của khu vực nhà ga và sân ga, kết hợp với các không gian xanh công cộng và cảnh quan quảng trường. Ví dụ điển hình là thiết kế khu vực cây xanh công cộng và quảng trường tại nhà ga mới Quảng Châu (Hình 5-2-31).

2. Biểu hiện văn hóa trong kiến trúc nhà ga đường sắt

Kiến trúc không chỉ đáp ứng nhu cầu sinh hoạt của con người mà còn là phương tiện lưu giữ và truyền tải giá trị văn hóa, tinh thần. Nhà ga, với vai trò là công trình giao thông công cộng quan trọng, cần sử dụng ngôn ngữ kiến trúc để phản ánh được nét đặc trưng nhân văn và chiều sâu văn hóa của địa phương nơi nó hiện diện.

Đặc trưng nhân văn là một khái niệm phức tạp, trong kiến trúc được thể hiện qua các yếu tố như lịch sử địa phương, di sản văn hóa và phong tục tập quán. Đồng thời, nó còn phản ánh trong lối sống và tư duy hình thành qua thời gian của người dân, tạo nên cấu trúc đô thị và môi trường kiến trúc mang nét đặc trưng riêng.



Hình 5-2-30: *Ga Thượng Hải Nam*



Hình 5-2-31: *Thiết kế cảnh quan khu vực cây xanh công cộng và quảng trường tại ga mới Quảng Châu*

Việc thiết kế nhà ga nhằm thể hiện đặc trưng nhân văn của khu vực cần dựa trên ba yếu tố: lịch sử, văn hóa và xã hội. Quá trình thiết kế đòi hỏi phải tiến hành khảo sát, thu thập và phân tích dữ liệu để tổng hợp các đặc điểm nổi bật, từ đó xây dựng ý tưởng chủ đạo và tạo ra sự thăng hoa từ hình thức đến ý nghĩa văn hóa. Trong thiết kế, cần tôn trọng bố cục tổng thể của thành phố và các đặc trưng hiện có của khu vực. Các yếu tố như hình dáng, tỷ lệ, bố cục không gian, phong cách kiến trúc, vật liệu và màu sắc cần được cân nhắc kỹ lưỡng nhằm đảm bảo sự hài hòa giữa kiến trúc nhà ga và không gian đô thị xung quanh.

Đối với các khu vực có giá trị lịch sử cao, việc sử dụng các phương pháp hiện đại để diễn giải kiến trúc truyền thống là một cách hiệu quả để hòa hợp với không gian đô thị hiện đại. Phương pháp này không chỉ gợi lên những ký ức lịch sử mà còn góp phần thể hiện bản sắc dân tộc và nét độc đáo của địa phương.

2.1. Biểu hiện văn hóa trong thiết kế nhà ga đường sắt

Mọi nền văn hóa kiến trúc đều được thể hiện thông qua những hình thức cụ thể. Các hình thức này là kết quả của quá trình chuyển hóa tinh thần văn hóa thành vật chất, thể hiện thông qua các quan niệm về giá trị, thẩm mỹ, tư duy thiết kế và phương pháp xây dựng, từ đó hình thành nên phong cách và hình thái kiến trúc đặc trưng.

Trong thiết kế nhà ga đường sắt, biểu hiện văn hóa có thể được thể hiện qua ba khía cạnh chính:

1- Tính tổng thể: Sự kết nối và hòa nhập hài hòa với bối cảnh văn hóa đô thị.

2- Tính thời đại: Phản ánh các đặc điểm văn hóa đặc trưng của thời kỳ hiện tại.

3- Tính địa phương: Nhấn mạnh và tôn vinh nét đặc trưng văn hóa vùng miền.

Ví dụ điển hình là ga Tây Lan Châu (Hình 5-2-32). Lan Châu nằm ở thượng lưu sông Hoàng Hà, là thủ phủ duy nhất tại Trung Quốc nơi dòng sông này chảy qua trung tâm thành phố.



Hình 5-2-32: *Ga Tây Lan Châu*

Với cảnh quan đặc trưng "tựa núi bên sông" và sự tương phản giữa sự tĩnh lặng của núi với dòng chảy động của sông, thành phố Lan Châu mang vẻ đẹp tự nhiên độc đáo. Thiết kế mặt đứng trung tâm của nhà ga được lấy cảm hứng từ hình ảnh dãy núi bị bào mòn bởi dòng sông, tạo nên sự tương phản mạnh mẽ giữa khối đặc và không gian rỗng. Những đường cong mềm mại được khắc tạc tựa như hình dáng dòng chảy của sông Hoàng Hà, tạo nên vẻ đẹp thanh thoát, hài hòa và tinh tế. Thiết kế này không chỉ thể hiện vẻ đẹp tự nhiên của Lan Châu mà còn truyền tải sâu sắc ý nghĩa về sự hòa quyện giữa núi và sông, làm nổi bật đặc trưng địa phương với chủ đề "Hoàng Hà sơn thủy".

2.2. Khám phá và thực tiễn biểu hiện văn hóa trong thiết kế nhà ga đường sắt

Hiện nay, thiết kế nhà ga đường sắt tại Trung Quốc phát triển mạnh mẽ với nhiều phương pháp thể hiện văn hóa đa dạng và sáng tạo. Những nhà ga hiện đại được xây dựng trong những năm gần đây không chỉ chú trọng vào ý tưởng thiết kế, mối quan hệ với đô thị mà còn tinh tế trong xử lý hình khối tổng thể, chi tiết trang trí, vật liệu và màu sắc, thể hiện rõ nét đặc trưng địa phương, đồng thời phản ánh tinh thần của thời đại.

(1) Hài hòa với cấu trúc đô thị

Cấu trúc đô thị là kết quả của quá trình lịch sử lâu dài, gắn bó mật thiết với sự hình thành và phát triển của thành phố. Một ví dụ điển hình là ga Tô Châu mới (Hình 5-2-33). Do được mở rộng trên nền tảng nhà ga hiện có và bị giới hạn bởi diện tích nhỏ hẹp, thiết kế của ga này đã khéo léo chuyển đổi từ một mái lớn thành tập hợp các mái nhỏ, tạo nên một quần thể mái nhà nhỏ gọn phù hợp với cấu trúc đô thị truyền thống của Tô Châu - một thành phố nổi tiếng với phong cách kiến trúc tinh tế và quy mô khiêm tốn.



Hình 5-2-33: *Ga Tô Châu*

(2) Nhấn mạnh hình khối tổng thể của kiến trúc

Biểu hiện văn hóa thông qua hình khối tổng thể trong thiết kế nhà ga hiện đại thể hiện ở hai khía cạnh chính:

- Thứ nhất, phản ánh rõ nét đặc trưng cấu trúc kiến trúc với nguyên tắc *"hình thức bên ngoài phản ánh cấu trúc bên trong"*.
- Thứ hai, kết hợp khéo léo các yếu tố văn hóa địa phương, nhân văn và phong cách thời đại để tạo nên một công trình mang tính biểu tượng.

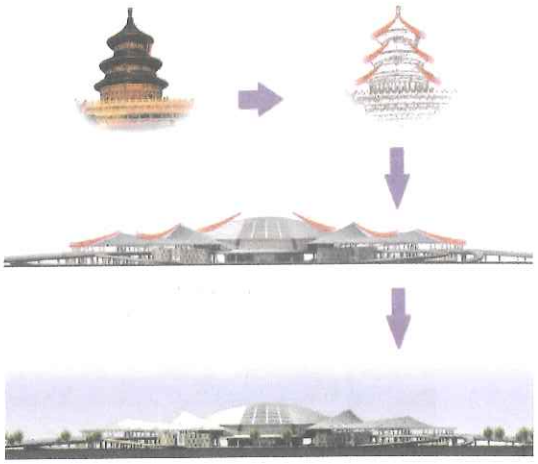
Các nhà ga như ga Lhasa, ga Nam Bắc Kinh, ga Vũ Hán và ga Bắc Tây An là những ví dụ tiêu biểu trong việc kết hợp hài hòa văn hóa vùng miền với hình khối kiến trúc hiện đại.

Ví dụ, ga Lhasa (Hình 5-2-34) được thiết kế lấy cảm hứng từ kiến trúc truyền thống Tây Tạng. Tận dụng tối đa địa hình tự nhiên, nhà ga trải dài theo chiều ngang dọc tuyến đường sắt. Các chi tiết như cửa sổ dọc và tường chắn tạo nên sự xen kẽ hài hòa giữa các lớp không gian, gợi lên hình ảnh sống động và tự nhiên như thể công trình mọc lên từ mặt đất.

Thiết kế ga Nam Bắc Kinh (Hình 5-2-35) lấy ý tưởng từ Thiên Đàn - một công trình cổ đại với mái tròn ba lớp mang ý nghĩa cao quý. Nhà ga ứng dụng công nghệ hiện đại để tái hiện hình thức mái vòm này trên mặt bằng hình bầu dục, kết hợp với hai lớp mái hai bên để che chắn khu vực sân ga. Thiết kế không chỉ mang lại nét thẩm mỹ độc đáo mà còn giúp ga Nam Bắc Kinh trở thành công trình mang đậm dấu ấn văn hóa và là biểu tượng của thời đại mới.



Hình 5-2-34: *Cổng chính ga Lhasa*



Hình 5-2-35: *Ý tưởng thiết kế hình khối ga Nam Bắc Kinh*

Ga Vũ Hán (Hình 5-2-36) gây ấn tượng mạnh với thiết kế mái dạng gợn sóng, tượng trưng cho thành phố "nghìn hồ" Vũ Hán và dòng Trường Giang chảy qua. Phần mái trung tâm nhô cao biểu tượng cho vị trí trung tâm của Vũ Hán trong khu vực miền Trung Trung Quốc, đồng thời thể hiện sự phát triển vượt bậc của thành phố. Chín lớp mái vòm đồng tâm bao quanh, tượng trưng cho vị trí chiến lược của Vũ Hán - nơi giao nhau của chín tuyến đường sắt, thể hiện vai trò trung tâm giao thông quốc gia của thành phố.



Hình 5-2-36: *Ga Vũ Hán*

Ga Bắc Tây An (Hình 5-2-37) có thiết kế mang đậm dấu ấn văn hóa thời Đường, kết hợp hài hòa giữa kiến trúc truyền thống và công nghệ hiện đại. Phần mái của nhà ga được thiết kế theo kiểu mái ngói đình truyền thống với cấu trúc thép nhẹ và dàn mái vòm lớn. Những chi tiết như mái hiên rộng vừa tạo nên vẻ bề thế đặc trưng của kiến trúc thời Đường, vừa có tác dụng che mưa nắng hiệu quả. Đường cong mái ngói không chỉ mang lại nét thẩm mỹ mềm mại mà còn tạo thành các khe thông gió và chiếu sáng tự nhiên. Thiết kế này là sự kết hợp hoàn hảo giữa thẩm mỹ truyền thống, cấu trúc hiện đại và công năng sử dụng, thể hiện vẻ đẹp lịch sử sâu sắc của thành phố Tây An.



Hình 5-2-37: *Phương án thiết kế ga Bắc Tây An*

3. Thẩm mỹ cấu trúc trong thiết kế nhà ga đường sắt

Cấu trúc và kiến trúc luôn có mối quan hệ mật thiết, không thể tách rời. Cấu trúc vừa là nền tảng kỹ thuật đảm bảo khả năng chịu lực của công trình, vừa góp phần hình thành nên hình dáng cơ bản của kiến trúc. Nếu không gian là mục tiêu mà kiến trúc hướng đến, thì cấu trúc chính là công cụ vật chất giúp hiện thực hóa không gian đó. Vì vậy, quá trình tạo hình không gian kiến trúc và các giới hạn về cấu trúc luôn bổ trợ và ảnh hưởng lẫn nhau.

Nhìn lại quá trình phát triển kiến trúc, có thể thấy rằng kiến trúc và cấu trúc đã trải qua những giai đoạn thúc đẩy và kiềm chế lẫn nhau. Kể từ khi con người bắt đầu xây dựng công trình, hai yếu tố này luôn gắn bó chặt chẽ. Đến thế kỷ XIX, cuộc cách mạng công nghiệp với những tiến bộ vượt bậc về kỹ thuật cấu trúc đã dẫn đến sự phân tách rõ ràng giữa hai lĩnh vực. Sang thế kỷ XX, với sự ra đời của kiến trúc hiện đại, kiến trúc và cấu trúc có vẻ như trở nên "xa rời" về mặt hình thức. Tuy nhiên, với sự phát triển không ngừng của công nghệ và vật liệu, cấu trúc ngày càng trở nên đa dạng và linh hoạt hơn, mở ra nhiều cơ hội cho việc thể hiện nghệ thuật kiến trúc. Ngày nay, cấu trúc không chỉ là yếu tố kỹ thuật mà còn trở thành phương tiện biểu đạt nghệ thuật quan trọng, góp phần tạo nên phong cách kiến trúc độc đáo.

Thẩm mỹ cấu trúc và phong cách kiến trúc nhà ga giao thông hiện đại

Nhà ga đường sắt là loại công trình giao thông đặc thù, có những yêu cầu riêng biệt về công năng và hình thức kiến trúc. Do đó, trong thiết kế nội - ngoại thất, nên ưu tiên phong cách đơn giản, thực dụng nhằm giảm thiểu các chi tiết trang trí không cần thiết, giúp tiết kiệm chi phí và đơn giản hóa quá trình thi công. Việc thiết kế hình khối nên giữ ở mức tối giản, tránh các chi tiết quá phức tạp, từ đó tối ưu hóa chi phí xây dựng.

Trang trí nội - ngoại thất cần tập trung vào tính năng sử dụng hơn là yếu tố thẩm mỹ đơn thuần. Đối với các không gian nhà ga lớn, việc nhấn mạnh vẻ đẹp của hệ kết cấu là điều cần thiết. Những thành phần như kết cấu thép lộ thiên tinh tế, các nút kết nối được xử lý kỹ lưỡng, hệ dầm cột bê tông hoàn thiện bề mặt tự nhiên hoặc các hệ thống đường ống thiết bị được bố trí trật tự đều thể hiện phong cách công nghiệp hiện đại. Những cấu kiện tích hợp cả chức năng và thẩm mỹ giúp không chỉ tăng tính hiệu quả mà còn tiết kiệm tài nguyên.

Ngoài ra, các công trình hạ tầng giao thông như cầu thang, thang máy, thang cuốn cũng là những yếu tố quan trọng trong thiết kế nội thất nhà ga. Thiết kế cần ưu tiên các yêu cầu về độ bền, khả năng chịu lực, dễ bảo trì, dễ vệ sinh, giảm bụi, giảm tiếng ồn và mang lại cảm giác thoáng đãng, sạch sẽ. Điều này giúp tạo nên một

không gian nội thất có phong cách tổng thể rõ ràng, đáp ứng tốt các yêu cầu công năng mà không cần phụ thuộc vào các vật liệu xa xỉ hay những chi tiết trang trí không cần thiết.

Một ví dụ điển hình cho phong cách kiến trúc này là ga Tuyền Châu (Phúc Kiến), như thể hiện ở Hình 5-2-38.



Hình 5-2-38: *Ga Tuyền Châu, Phúc Kiến*

IV. THIẾT KẾ KẾT CẤU NHÀ GA ĐƯỜNG SẮT

Lựa chọn, tính toán và thiết kế kết cấu cho nhà ga đường sắt không chỉ quyết định độ an toàn của công trình mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí xây dựng. Vì vậy, trên cơ sở đảm bảo an toàn, việc tìm kiếm một hệ thống kết cấu hợp lý và kinh tế là ưu tiên hàng đầu.

Kết cấu nhà ga đường sắt bao gồm ba phần chính: phần móng, kết cấu chính và kết cấu sàn, mái.

- Phần kết cấu chính được chia thành kết cấu chính của nhà ga và kết cấu chính của mái che sân ga.
- Phần kết cấu mái được chia thành mái nhà ga và mái che sân ga.
- Việc lựa chọn hình thức móng được thực hiện dựa trên điều kiện địa chất của từng khu vực, kết hợp với các giải pháp xử lý nền móng phù hợp.

Do nhà ga thường yêu cầu không gian lớn và thông thoáng, các hệ thống kết cấu chính thường sử dụng khung bê tông cốt thép, khung thép hoặc khung kết hợp thép và bê tông. Đối với kết cấu mái, hệ thống thường sử dụng các loại kết cấu không gian vượt nhịp lớn để đảm bảo tính thẩm mỹ và công năng.

Hai công trình tiêu biểu là ga Vũ Hán và ga Nam Quảng Châu, lần đầu tiên tại Trung Quốc áp dụng kết cấu nhà ga - cầu kết hợp dạng cầu dầm. Kết cấu này là kết quả của quá trình nghiên cứu và phân tích chi tiết, phát triển ý tưởng về hệ thống kết cấu tổng thể và các phân hệ kết cấu. Điểm nổi bật của hệ thống này là sự kết hợp giữa kết cấu cầu đường sắt truyền thống với kết cấu sàn mái vượt nhịp lớn, tạo thành một hệ thống kết cấu liên kết chặt chẽ, vừa độc lập vừa phối hợp nhịp nhàng với nhau.

Trong quá trình thiết kế kết cấu dạng cầu dầm này, các kỹ sư đã chú trọng đến đặc thù của nhà ga kết hợp cầu và đặc điểm riêng của kiến trúc công trình, sử dụng ngôn ngữ kết cấu để thể hiện tư duy sáng tạo, đồng thời làm nổi bật vẻ đẹp logic của kết cấu. Do sự phức tạp và tính đặc thù của loại hình nhà ga - cầu kết hợp, nhóm thiết kế đã tiến hành nghiên cứu và thử nghiệm chi tiết các vấn đề quan trọng như: hệ thống kết cấu, khả năng chịu động đất, tác động của rung động từ tàu, ảnh hưởng của gió từ tàu cao tốc, mức độ thoải mái của công trình có nhịp lớn và các biện pháp phòng chống khủng bố.

1. Phân loại kết cấu không gian vượt nhịp lớn

Trong những năm gần đây, kết cấu không gian tại Trung Quốc phát triển mạnh mẽ với nhiều hình thức đa dạng, phong phú và độc đáo. Theo phương pháp phân loại truyền thống, kết cấu không gian thường được chia thành 5 loại chính:

1- Kết cấu vỏ mỏng.

2- Kết cấu lưới thanh phẳng.

3- Kết cấu lưới vỏ cong.

4- Kết cấu dây treo.

5- Kết cấu màng.

Tuy nhiên, để khắc phục những hạn chế của phương pháp phân loại truyền thống, có thể phân loại kết cấu không gian dựa trên 5 loại phần tử cơ bản: phần tử vỏ, phần tử dầm, phần tử thanh, phần tử dây và phần tử màng. Phương pháp phân loại này mang tính đột phá và sáng tạo cao, như thể hiện trong Bảng 5-2-2, với các dạng kết cấu mới được đề xuất trong những năm gần đây như:

- Kết cấu vỏ mỏng hai lớp.
- Kết cấu khung không gian đa diện.
- Kết cấu mái vòm dây treo - lưới vỏ cong.
- Kết cấu dầm khí nén căng dây.
- Kết cấu cung lắp ghép ứng suất trước.

Bảng 5-2-2: Các công trình kết cấu mái nhà ga chính tiêu biểu của các nhà ga đường sắt

STT	Tên công trình	Hình thức kết cấu	Hình dạng mặt bằng và kích thước
1	Ga Thượng Hải Nam	Kết cấu dầm	Hình nón trụ dẹt, đường kính 294m, đường kính vòng áp lực trong 26m, vòng cột trong (18 cột) đường kính 150m, vòng cột ngoài (36 cột) đường kính 226m
2	Ga Nam Bắc Kinh	Kết cấu dầm và giàn không gian lập thể	Hình elip 190m × 350m × 2.0m (ở giữa), 190m × 350m × 3.0m (hai bên), chiều cao vòm 40m
3	Ga mới Vũ Hán	Kết cấu vòm và lưới vỏ	(36 + 116 + 36)m × (4 × 65)m, chiều cao vòm 59m
4	Ga mới Quảng Châu	Kết cấu dầm dây căng (vòm) và lưới vỏ căng dây	222m × 468m, lưới cột bên trong 32m × 68m
5	Ga mới Tây Thiên Tân	Kết cấu lưới vỏ đơn lớp	114m × 400m, chiều cao vòm 37m
6	Ga Đông Thành Đô	Kết cấu giàn phẳng và lập thể	(27 + 150 + 27)m × 380m×(4 ~ 6.5)m
7	Ga Bắc Tây An	Kết cấu lưới	150.5m × 480m
8	Ga Đông Hàng Châu	Kết cấu giàn lập thể	285m × 516m × (3.5 ~ 4.4)m

Sự phát triển của đường sắt tốc độ cao và nhà ga liên đô thị

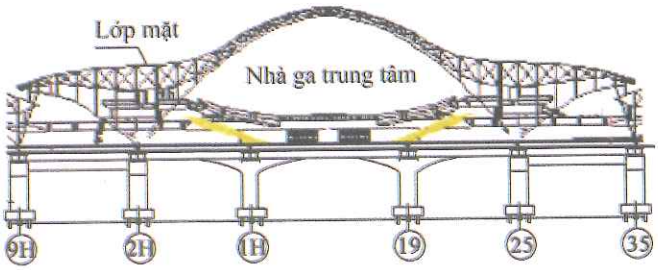
Sự phát triển mạnh mẽ của đường sắt tốc độ cao và đường sắt liên đô thị tại Trung Quốc đã dẫn đến sự ra đời của hàng loạt nhà ga lớn với không gian vượt nhịp lớn và hệ lưới cột rộng. Các nhà ga này không chỉ là trung tâm giao thông tích hợp nhiều phương thức như đường sắt, tàu điện ngầm, xe buýt, taxi và xe cá nhân mà còn kết hợp hài hòa giữa kiến trúc trên mặt đất và dưới lòng đất, giữa công trình nhà và cầu, tạo nên các kết cấu phức tạp đa tầng. Hệ thống kết cấu trên được thiết kế để phối hợp chặt chẽ giữa kết cấu không gian vượt nhịp lớn ở phần trên và kết cấu phần dưới, đây là một vấn đề kỹ thuật quan trọng trong quá trình xây dựng nhà ga lớn.

Trong những năm gần đây, nhiều nhà ga tiêu biểu với kết cấu mái độc đáo đã được hoàn thành và đưa vào sử dụng. Theo Bảng 5-2-2, các loại kết cấu mái bao gồm: kết cấu dầm, kết cấu giàn lập thể, kết cấu vòm, kết cấu dầm dây căng (vòm), kết cấu lưới vỏ đơn lớp và đa lớp, kết cấu lưới căng dây, kết cấu lưới thanh, cũng

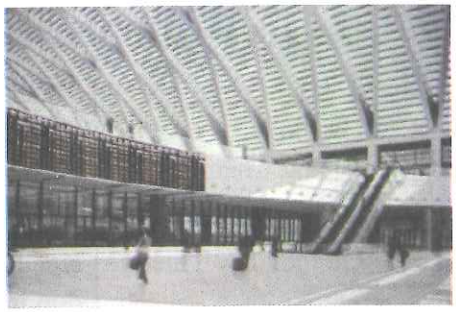
như nhiều dạng kết cấu không gian kết hợp khác. Những nhà ga này đều có nhịp lớn, kết cấu sáng tạo, trở thành những công trình mang tính biểu tượng của thành phố.

Ví dụ, ga mới Vũ Hán, hoàn thành vào cuối năm 2009, có diện tích mặt bằng 188m × 260m, sử dụng hệ kết cấu mái kết hợp vòm và lưới vỏ không gian. Kết cấu chính gồm ba nhịp lớn với khoảng cách giữa các nhịp là 65m (36m + 116m + 36m), được hỗ trợ bởi các cột chữ V và hệ lưới vỏ hai lớp có độ dày thay đổi (Hình 5-2-39).

Tương tự, ga mới Tây Thiên Tân có diện tích mặt bằng 114m × 400m, sử dụng hệ kết cấu lưới vỏ đơn lớp hình trụ bằng thép ống chữ nhật với chiều cao và chiều rộng thay đổi. Kết cấu này được thiết kế theo hai hướng đan chéo nhau, hai đầu kết cấu tự do vượt nhịp 16m (Hình 5-2-40).



Hình 5-2-39: Mặt cắt kết cấu ga mới Vũ Hán



Hình 5-2-40: Quang cảnh bên trong ga mới Tây Thiên Tân

- ***Thiết kế mái che sân ga không cột***

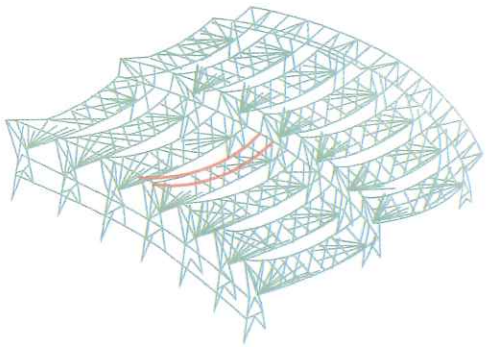
Nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho hành khách và thể hiện triết lý "lấy con người làm trung tâm", phần lớn các nhà ga đường sắt mới đều áp dụng thiết kế mái che sân ga không cột. Theo yêu cầu thiết kế, nhịp ngang của mái che không được nhỏ hơn 21.5m, với các cột đỡ được bố trí giữa hai đường ray. Nhờ đó, các loại kết cấu không gian vượt nhịp lớn, trung bình và nhỏ đều có thể được sử dụng cho mái che sân ga. Bảng 5-2-3 liệt kê các công trình mái che sân ga không cột tiêu biểu.

Bảng 5-2-3: Các công trình kết cấu mái che sân ga không cột tiêu biểu của các nhà ga đường sắt

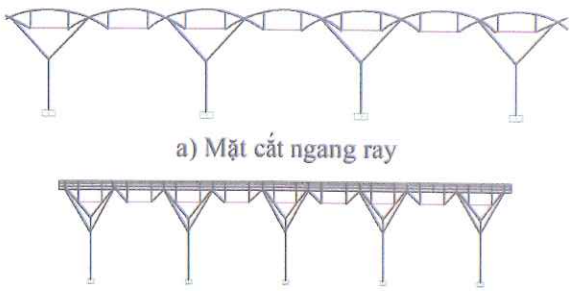
STT	Tên công trình	Hình thức kết cấu	Hình dạng mặt bằng và kích thước
1	Mái che ga Bắc Bắc Kinh	Kết cấu giàn lập thể dây căng	118m × 680m
2	Mái che ga Nam Bắc Kinh	Kết cấu dầm chữ I treo	Hai khối mặt bằng hình lưỡi liềm 126.6m × 322.6m

Bảng 5-2-3: *(tiếp theo)*

STT	Tên công trình	Hình thức kết cấu	Hình dạng mặt bằng và kích thước
3	Mái che ga Thiên Tân	Kết cấu dầm dây căng (vòm)	Hướng ngang 48.5m + 2 × 41m + 42m + 39.5m; hướng dọc nhịp cột 18 ~ 24m, chiều cao vòm 4.5m
4	Mái che ga mới Vũ Hán	Kết cấu lưới vỏ hai lớp	Hai khối mặt bằng tứ giác viền cong 144m × 358m
5	Mái che ga mới Quảng Châu	Kết cấu dầm dây căng (vòm)	Nhịp cột dọc tuyến 32m; nhịp cột ngang tuyến 50 ~ 58m; tổng diện tích che phủ 140,000m²
6	Mái che ga Bắc Thâm Quyến	Kết cấu lưới vỏ dây căng	Nhịp cột dọc tuyến 28m; nhịp cột ngang tuyến 43m; tổng diện tích che phủ 68,000m²
7	Mái che ga Thanh Đảo	Kết cấu lưới vỏ đơn lớp	(44 + 39 × 2)m × 472m



Hình 5-2-41: *Kết cấu mái che sân ga không cột tại ga Nam Bắc Kinh*



Hình 5-2-42: *Mặt cắt cục bộ kết cấu mái che sân ga không cột tại ga Bắc Thâm Quyến*

Tại ga Nam Bắc Kinh, hệ mái che sân ga sử dụng hệ dầm chữ I treo đặc biệt với nhịp dọc lớn nhất lên đến 66m. Để chống lại lực hút gió, hệ thống dây căng ngược được lắp đặt và hỗ trợ bởi các cột chữ A có khoảng cách ngang 41.2m (Hình 5-2-41).

Trong khi đó, ga Bắc Thâm Quyến sử dụng hệ kết cấu lưới vỏ trụ dây căng mới. Đây là một loại kết cấu lưới vỏ trụ đơn lớp nhiều nhịp liên tục với đơn vị kích thước 14.0m × 21.5m, được đỡ tại đỉnh các cột chóp bốn góc. Kích thước lưới cột là 28m theo chiều dọc và 43m theo chiều ngang tuyến đường sắt (Hình 5-2-42).

2. Lựa chọn kết cấu không gian vượt nhịp lớn cho nhà ga đường sắt

Nhà ga đường sắt có những đặc điểm riêng biệt so với các công trình công cộng như nhà thi đấu hay trung tâm triển lãm. Đặc biệt, nhiều nhà ga sử dụng kết cấu "kết hợp cầu và nhà", cùng với điều kiện thi công phức tạp, đòi hỏi việc lựa chọn hệ thống kết cấu phù hợp cho mái nhà ga và mái che sân ga phải được cân nhắc kỹ lưỡng. Các hệ kết cấu được sử dụng phổ biến bao gồm: giàn ống, lưới thanh, lưới vỏ, cáp treo, dầm dây căng và các hệ kết cấu kết hợp khác.

Việc lựa chọn kết cấu cho mái vượt nhịp lớn cần cân nhắc nhiều yếu tố liên quan đến kiến trúc, kết cấu, cơ học, thẩm mỹ, kinh tế và phương pháp thi công. Dưới đây là những yếu tố chính cần được xem xét:

(1) Tính phù hợp với công năng

Việc lựa chọn kết cấu phải đáp ứng yêu cầu về công năng sử dụng. Đối với nhà ga, mỗi loại kết cấu sẽ tạo ra không gian sử dụng khác nhau. Phòng chờ cần không gian rộng rãi, thoải mái cho hành khách, trong khi mái che sân ga cần đảm bảo chức năng che mưa và tạo môi trường thông thoáng. Do đó, việc lựa chọn hệ kết cấu phải đảm bảo đáp ứng tốt các công năng này. Các thiết kế mái vượt nhịp lớn và mái che không cột hiện đang được áp dụng rộng rãi tại nhiều nhà ga là minh chứng cho sự ưu tiên về tính phù hợp công năng.

(2) Tính hợp lý về chịu lực

Kết cấu phải có khả năng chịu lực tốt, đảm bảo an toàn trước các tác động như gió, động đất, đồng thời truyền tải lực rõ ràng và phân bố ứng suất hợp lý. Khi thiết kế kết cấu cho nhà ga và mái che sân ga, cần lưu ý các vấn đề như khe co giãn do nhiệt ở các kết cấu dài và khả năng chống sụp đổ liên hoàn của hệ thống mái.

- Kết cấu lưới thanh: Độ cứng lớn, ổn định cao và khả năng chịu lực tốt.
- Kết cấu lưới vỏ: Phân bố lực đồng đều, tận dụng tối đa cường độ vật liệu, đồng thời mang lại sự đa dạng về hình thức kiến trúc.
- Kết cấu giàn ống: Đặc tính chịu lực đồng đều theo mọi hướng, khả năng chịu xoắn lớn và khả năng chịu tải cao.
- Việc lựa chọn hệ kết cấu phải dựa trên sự so sánh toàn diện giữa các phương án về ưu, nhược điểm, đồng thời cân nhắc yếu tố kinh tế, thẩm mỹ và khả năng thi công để đưa ra giải pháp tối ưu.

(3) Hiệu quả kinh tế

Hiệu quả kinh tế của kết cấu được đánh giá dựa trên toàn bộ chi phí vòng đời của công trình, bao gồm chi phí xây dựng, chi phí bảo trì và chi phí cải tạo. Đối với một số nhà ga, chi phí kinh tế còn bao gồm các chi phí dự phòng như thiệt hại do thiên tai và chi phí gia cố trong tương lai. Do đó, lựa chọn kết cấu phải đảm bảo sự cân bằng giữa chi phí đầu tư và hiệu quả kinh tế lâu dài.

(4) Khả năng thi công

Kết cấu được lựa chọn phải phù hợp với điều kiện thi công thực tế, bao gồm phương pháp thi công, không gian lắp dựng, thời gian và chi phí. Việc thi công tại các nhà ga lớn thường rất phức tạp, có thể liên quan đến hệ thống giao thông ngầm như tàu điện ngầm hoặc đường sắt hiện có đang hoạt động. Do đó, cần cân nhắc kỹ các yếu tố như không gian thi công hạn chế, việc vận chuyển vật liệu khó khăn và tiến độ thi công chặt chẽ.

(5) Hiệu ứng thẩm mỹ

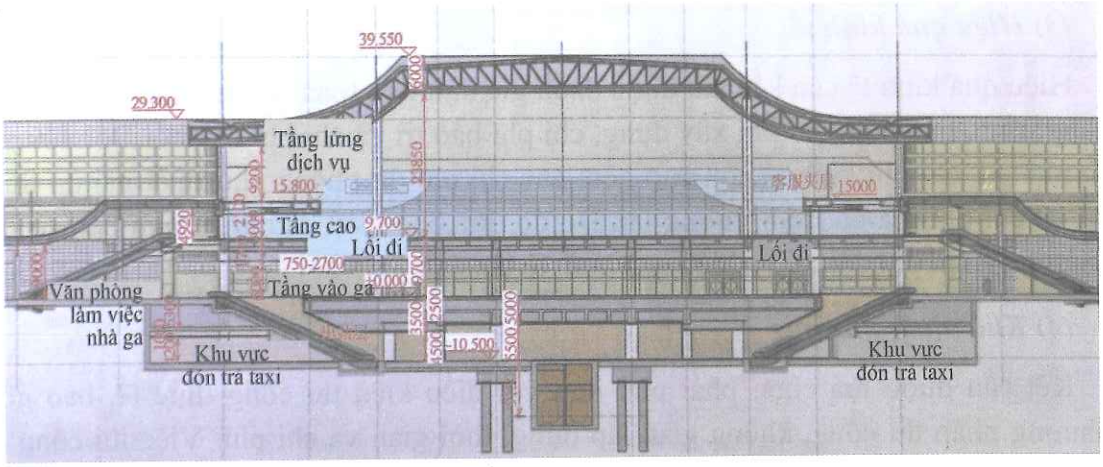
Hiệu ứng thẩm mỹ của kết cấu là sự kết hợp hài hòa giữa vẻ đẹp kiến trúc và vẻ đẹp kỹ thuật. Nhiều nhà ga đường sắt hiện đại đã thành công trong việc sử dụng kết cấu để tạo nên các hình thức kiến trúc ấn tượng:

- Ga Vũ Hán: Sử dụng kết cấu mái dạng vòm kết hợp lưới vỏ hai chiều, với nhịp vòm lớn nhất 116m, chiều cao vòm 45m, tạo hình dáng giống như cánh hạc bay, tượng trưng cho hình ảnh "hạc vàng trở về".
- Ga Bắc Tây An: Mái nhà ga được tạo thành từ 11 đơn nguyên mái dốc, tạo nên hệ thống lưới vỏ gấp khúc, mang đậm nét văn hóa cổ điển với tinh thần "phong cách nhà Đường và hồn phách nhà Hán".
- Việc kết hợp giữa công năng, kết cấu và thẩm mỹ đã giúp tạo nên những nhà ga không chỉ đáp ứng tốt nhu cầu sử dụng mà còn trở thành biểu tượng văn hóa đặc trưng của từng địa phương.

3. Ứng dụng kết cấu không gian vượt nhịp lớn trong nhà ga đường sắt

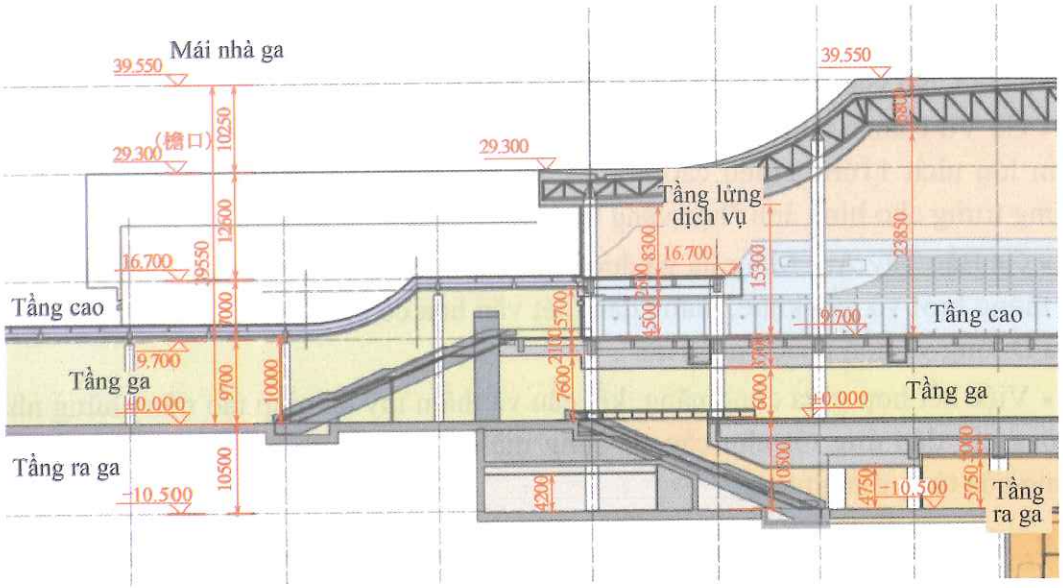
3.1. Ứng dụng tại ga hành khách phía Tây Lan Châu

Kết cấu chính của nhà ga bao gồm 3 tầng, từ dưới lên lần lượt là kết cấu tầng đường ray, kết cấu tầng cao, kết cấu tầng lửng cao và kết cấu mái. Hai bên đông và tây của nhà ga chính là mái che sân ga, các mái che sân ga hai bên được bố trí đối xứng với sân ga trung tâm. Hình 5-2-43 và Hình 5-2-44 là sơ đồ mặt cắt của nhà ga và mái che sân ga.



***Hình 5-2-43**: Mặt cắt ngang nhà ga (đơn vị kích thước: mm, đơn vị cao trình: m)*

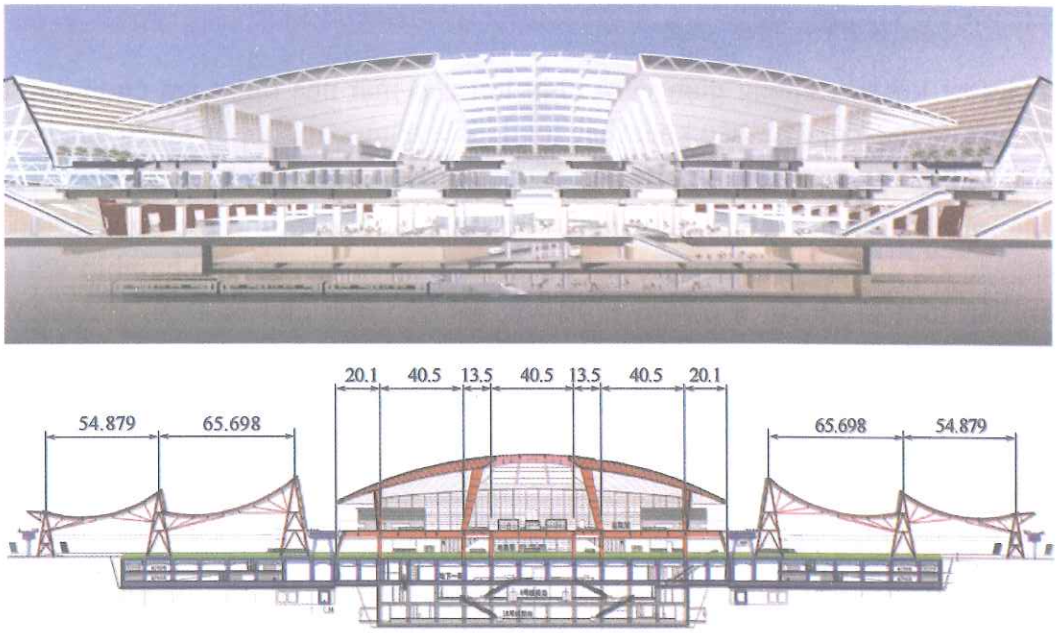
Kết cấu mái nhà ga có chiều dài 370m theo hướng ngang đường ray và chiều rộng 228m theo hướng dọc đường ray. Hình dạng mái theo kiểu chữ "Л", với chiều cao vòm là 10.8m, cao trình xây dựng cao nhất của mái là 39.550m. Hệ kết cấu chính của mái nhà ga sử dụng hệ thống giàn ống không gian trực giao.



***Hình 5-2-44**: Mặt cắt nhà ga và mái che sân ga (cục bộ)*
(đơn vị kích thước: mm, đơn vị cao trình: m)

3.2. Ứng dụng tại ga Nam Bắc Kinh

Nhà ga Nam Bắc Kinh lấy cảm hứng từ các yếu tố kiến trúc của Thiên Đàn, sử dụng thiết kế hình elip với ba tầng giật cấp, tạo nên hiệu quả kiến trúc độc đáo (Hình 5-2-45).



Hình 5-2-45: *Sơ đồ mặt cắt kiến trúc nhà ga Nam Bắc Kinh*
(Đơn vị kích thước: m)

(1) Hệ kết cấu "kết hợp cầu và nhà"

Hệ kết cấu "kết hợp cầu và nhà" được thiết kế để đáp ứng yêu cầu vượt qua hệ thống tàu điện ngầm phía dưới và đồng thời hỗ trợ tầng chờ cùng mái nhà phía trên. Đây là hệ kết cấu tổng hợp, kết hợp chặt chẽ giữa cầu và công trình nhà ga, vừa tận dụng hiệu quả không gian phía trên và dưới đường ray, vừa tạo ra không gian rộng rãi, thông thoáng cho hành khách. Đây là giải pháp tích hợp phù hợp cho việc bố trí các công trình nhà ga lớn.

Trong quá trình thiết kế, hai phương án kết cấu "kết hợp cầu và nhà" đã được nghiên cứu:

1- Phương án 1: Phần cầu bên dưới sử dụng hệ trụ cầu và dầm hộp, với các cột của phần trên được liên kết trực tiếp vào đỉnh trụ cầu, tách biệt hoàn toàn với dầm hộp đường ray. Kích thước của trụ cầu và dầm hộp khá lớn.

2- Phương án 2: Sử dụng hệ khung tổng thể, trong đó phần cầu và phần nhà ga kết hợp tạo thành một hệ khung liên kết hoàn chỉnh.

Sau khi nghiên cứu và so sánh, phương án hệ khung tổng thể được lựa chọn. Theo đó, tầng đường ray vừa đóng vai trò là kết cấu cầu đường sắt, vừa là khung chính của nhà ga. Để phân tích sự tương tác giữa các bộ phận kết cấu, mô hình kết cấu tổng thể được sử dụng trong quá trình tính toán và kiểm tra. Kết cấu tầng đường ray đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt và tiêu chuẩn xây dựng nhà ga.

(2) Kết cấu mái nhà ga

Thiết kế kết cấu không gian vượt nhịp lớn cho mái nhà được lựa chọn dựa trên hình dạng kiến trúc, đảm bảo khai thác tối đa khả năng chịu lực ba chiều của kết cấu không gian, đồng thời đáp ứng các yêu cầu về an toàn, hiệu quả sử dụng và kinh tế.

Mái nhà ga chính có mặt bằng hình elip với trục dài 350m, trục ngắn 190m, và chiều cao kết cấu mái là 40m. Hệ cột chính theo chiều ngang gồm ba nhịp với kích thước lần lượt là 40.5m + 67.5m + 40.5m, hai bên mái nhô ra 19m, khoảng cách giữa các cột theo chiều dọc là 20.6m, với tổng cộng 17 khung ngang.

Qua quá trình nghiên cứu và so sánh các phương án, hệ kết cấu mái kết hợp giữa dầm đặc và giàn được lựa chọn, trong đó nhịp giữa sử dụng dầm đặc cao 2m, hai bên sử dụng giàn cao 3m.

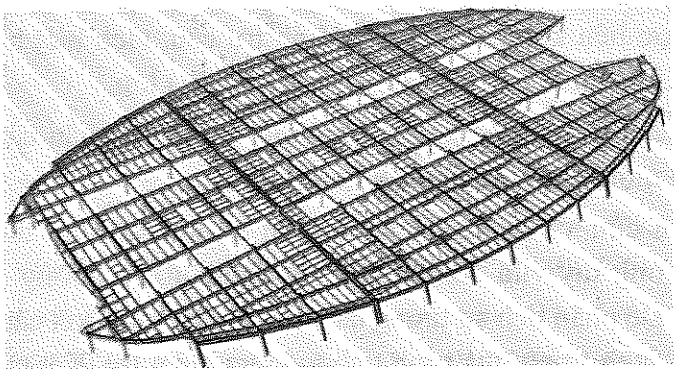
(3) Kết cấu tầng chờ trên cao

Tầng chờ trên cao được bố trí ngay phía trên tầng đường ray. Để tạo ra không gian không cột giữa các sân ga, các cột kết cấu được bố trí giữa các đường ray. Hệ kết cấu sàn tầng chờ được lựa chọn dựa trên yêu cầu công năng, khoảng cách giữa các cột và điều kiện thực tế thi công, đảm bảo an toàn và hiệu quả kinh tế.

Nhiều phương án kết cấu đã được đề xuất và nghiên cứu, bao gồm:

- Khung bê tông cốt thép dự ứng lực.
- Khung kết hợp giữa giàn thép và cột bê tông ống thép.
- Khung kết hợp giữa dầm thép đặc và cột bê tông ống thép.

Sau khi nghiên cứu và so sánh, phương án sử dụng hệ khung thép vượt nhịp lớn được lựa chọn. Bố trí kết cấu chi tiết được thể hiện trong Hình 5-2-46. Chiều cao tầng kết cấu là 9.5m, mặt bằng kết cấu có hình elip, với khoảng cách cột tối đa 20.6m × 40.5m. Các cột khung được thiết kế dưới dạng cột thép ống bê tông hình chữ nhật, với tiết diện tiêu chuẩn 1600mm × 1200mm × 60mm × 60mm, bên trong được bơm bê tông C50 có đặc tính vi giãn nở.



Hình 5-2-46: *Mô hình khung thép tầng cao ga Nam Bắc Kinh*

Dầm khung sử dụng dầm thép hình chữ H hàn, với tiết diện dọc tuyến đường ray là H2900mm × 1000mm × 45mm × 75mm, tiết diện vuông góc với tuyến đường ray là H1600mm × 800mm × 30mm × 50mm.

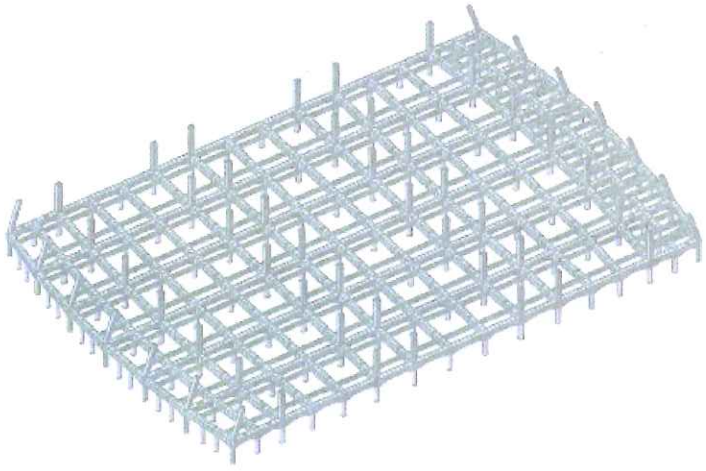
Để giảm thiểu tác động của biến dạng nhiệt lên kết cấu, thiết kế chia tầng chờ trên cao thành ba phần độc lập bằng cách sử dụng hệ cột kép.

(4) Kết cấu tầng đường ray và sân ga

Tầng đường ray và sân ga là bộ phận quan trọng đảm bảo chức năng vận hành của nhà ga, chịu trách nhiệm đỡ toàn bộ tải trọng của hệ thống đường ray, sân ga, tầng chờ phía trên và đồng thời đáp ứng các yêu cầu công năng của khu vực sảnh ra cũng như hệ thống tàu điện ngầm bên dưới. Thiết kế kết cấu cần đảm bảo an toàn đồng thời tối ưu hóa công năng sử dụng và lựa chọn hệ kết cấu phù hợp.

Tầng đường ray được bố trí ở tầng mặt đất, với tổng chiều dài 400m và tổng chiều rộng 348m. Kết cấu được chia thành 3 khu vực, bao gồm 9 đơn nguyên kết cấu thông qua việc bố trí các khe biến dạng. Trong đó, khu vực II-2 sử dụng kết cấu kết hợp cầu và nhà, được đánh giá là điển hình nhất. Khu vực này vừa là phần nền tảng chịu tải trọng từ các kết cấu phía trên, vừa chịu tải trực tiếp từ đoàn tàu. Độ cứng theo cả hai phương dọc và ngang của tầng đường ray có ảnh hưởng lớn đến hiệu quả chịu lực của toàn bộ nhà ga.

Để tăng cường tính tổng thể và đảm bảo khả năng chịu lực khi tàu chạy qua, kết cấu tại khu vực II-2 sử dụng hệ khung liên tục theo phương dọc với các nhịp (2 × 10.5m + 11 × 13.5m + 2 × 10.5m) và theo phương ngang với các nhịp 6 × 20.6m, tạo thành một hệ khung không gian tổng thể có chiều dài dọc tuyến 192m và chiều rộng 125m. Mô hình kết cấu chi tiết được thể hiện trong Hình 5-2-47.



Hình 5-2-47: *Mô hình kết cấu tầng đường ray và cột kết cấu trên dưới tại khu vực II-2.*

(5) Kiểm soát dao động và mức độ thoải mái của sàn vượt nhịp lớn

Do đặc thù sàn vượt nhịp lớn, khi tần số dao động riêng của kết cấu gần với tần số bước đi của hành khách, dao động do hành khách gây ra có thể ảnh hưởng đáng kể đến kết cấu. Đồng thời, do là hệ kết cấu *kết hợp cầu và nhà*, dao động do tải trọng của đoàn tàu cũng không thể bỏ qua. Hai loại dao động này không chỉ ảnh hưởng đến khả năng chịu lực mà còn tác động trực tiếp đến mức độ thoải mái của hành khách khi chờ tàu.

Kết quả phân tích dao động dưới tác động của hành khách cho thấy:

- Độ chuyển vị thẳng đứng tối đa tại nhịp 40.5m của dầm chính là 88.75mm, nhỏ hơn giới hạn cho phép là 101mm.
- Ứng suất tối đa là 181.6MPa, nhỏ hơn giới hạn cho phép là 295MPa, đảm bảo đầy đủ các yêu cầu về an toàn kết cấu.

Kết quả phân tích dao động do tải trọng của đoàn tàu cũng cho thấy biên độ dao động rất nhỏ, đảm bảo an toàn kết cấu.

Theo "Quy phạm kỹ thuật cầu vượt dành cho người đi bộ và đường hầm dành cho người đi bộ" (CJJ 69-1995), tần số dao động thẳng đứng riêng của kết cấu cầu vượt không được nhỏ hơn 3Hz. Tuy nhiên, tần số dao động riêng thẳng đứng đầu tiên của sàn vượt nhịp 40.5m tại ga Nam Bắc Kinh chỉ đạt 2.3Hz, không đáp ứng tiêu chuẩn này. Dù vậy, dao động ảnh hưởng đến sự thoải mái của hành khách chủ yếu thể hiện qua biên độ gia tốc dao động. Theo tiêu chuẩn quốc tế, biên độ gia tốc dao động tối đa cho phép tại nhà ga đường sắt không được vượt quá 0.015g.

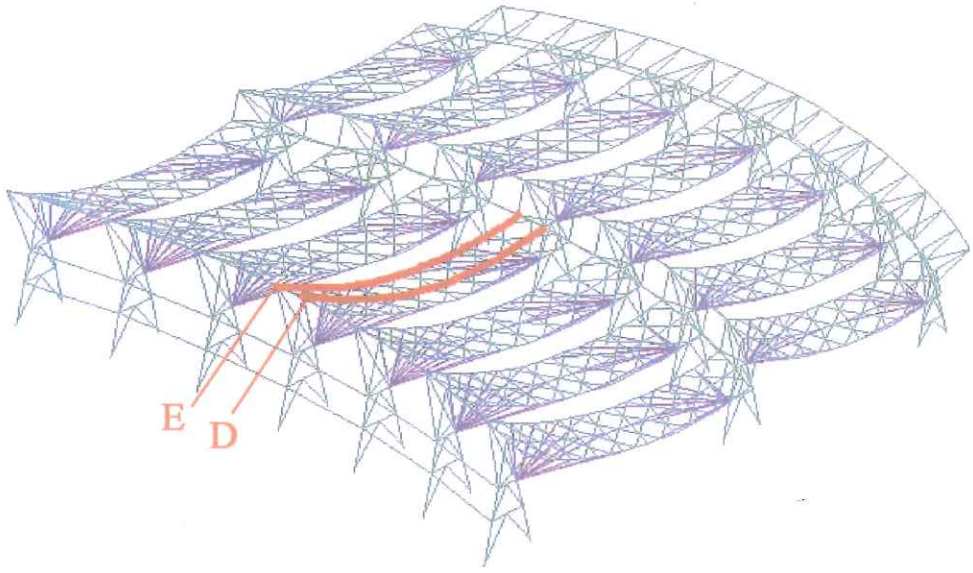
Ngay cả trong trường hợp có hơn 100 hành khách bước đi đồng thời với cùng tần số 2.3Hz, biên độ gia tốc tại nhịp giữa của dầm chính chỉ dao động quanh giá trị 0.015g hoặc nhỉnh hơn một chút. Vì khả năng tất cả hành khách cùng bước đi với một tần số đồng nhất là rất thấp, kết cấu được coi là đáp ứng yêu cầu về mức độ thoải mái. Đối với dao động do tải trọng đoàn tàu, biên độ gia tốc đo được nhỏ hơn nhiều so với giới hạn 0.015g, đảm bảo đầy đủ yêu cầu về mức độ thoải mái.

(6) Kết cấu mái che sân ga

Mái che sân ga không cột sử dụng các cột đặt giữa các tuyến đường ray, với hệ kết cấu không gian vượt nhịp lớn bao phủ toàn bộ sân ga. Thiết kế này tạo ra không gian mở thoáng đãng, mang lại sự thoải mái và dễ chịu cho hành khách, đồng thời đảm bảo tầm nhìn thông thoáng. Do đó, việc thiết kế kết cấu mái che sân ga không chỉ cần đảm bảo khả năng chịu lực mà còn phải hài hòa với kiến trúc tổng thể của nhà ga.

Dựa vào hình dạng của mái che, dầm chữ I được bố trí theo hướng dọc tuyến đường ray và treo xuống phía dưới, với đường cong treo theo hình cung tròn. Khoảng cách giữa các dầm chữ I là 6.8m, với nhịp lớn nhất đạt 66m. Tiết diện của dầm chữ I có kích thước 600mm × 350mm × 10mm × 20mm. Khi chịu tải trọng hướng xuống, dầm chữ I hoạt động như dây cáp treo, chịu lực kéo; khi chịu tải trọng hướng lên, dầm hoạt động như vòm, chịu lực nén.

Để dầm chữ I phát huy tối đa hiệu quả như một kết cấu vòm, các dây cáp xiên được lắp đặt giữa dầm và cột khung chữ A, chia mỗi dầm thành 12 đoạn, giúp giảm chiều dài tính toán và tăng cường độ ổn định trong mặt phẳng vòm. Phân tích đặc tính của các dầm treo D và E trong Hình 5-2-48 cho thấy, sau khi lắp đặt dây cáp xiên, hệ số chiều dài hữu hiệu của dầm giảm xuống 0.165, đảm bảo đầy đủ yêu cầu về độ ổn định của kết cấu.

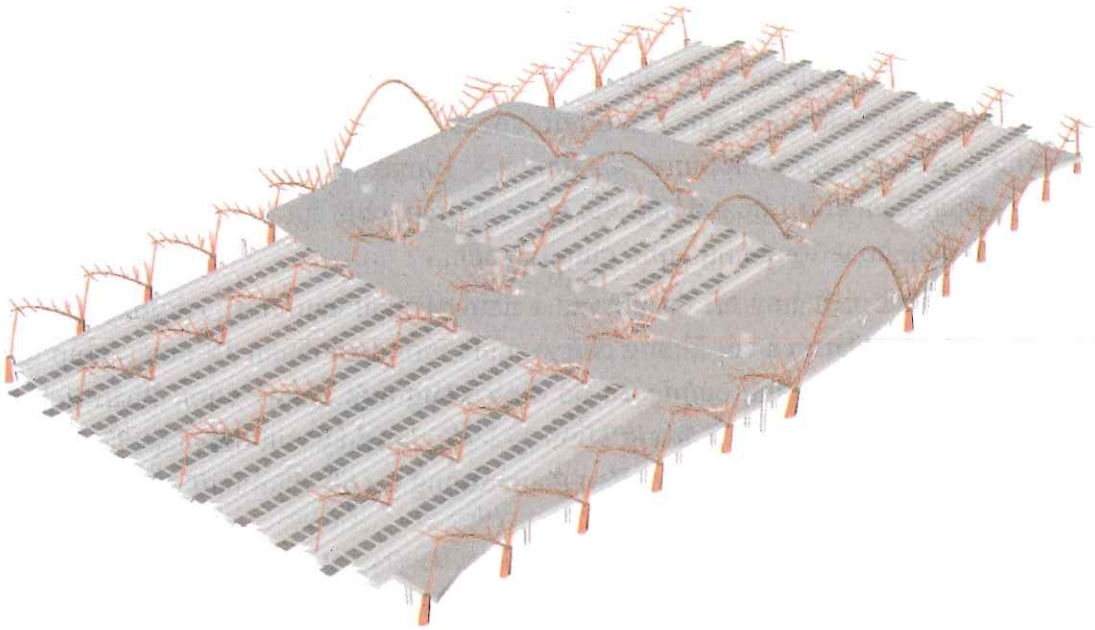


Hình 5-2-48: *Kết quả phân tích đặc tính mất ổn định*

3.3. Ứng dụng tại ga Vũ Hán

(1) Kết cấu mái nhà ga

Mái nhà ga Vũ Hán được thiết kế dựa trên ý tưởng văn hóa "Thiên niên hạc quy", mang hình dáng giống như một con hạc đang bay. Kết cấu mái sử dụng hệ vòm hỗ trợ giàn không gian, tạo thành hệ kết cấu đặc trưng (Hình 5-2-49). Mái nhà ga được cấu tạo bởi hệ giàn không gian hai lớp, giao nhau theo hướng vuông góc, trong đó hệ chịu lực trung tâm gồm 5 vòm chính, các dầm cong bán vòm và cột nghiêng. Giữa hệ giàn không gian và các vòm được liên kết bằng các thanh chống chữ V.



***Hình 5-2-49:** Sơ đồ hệ kết cấu mái nhà ga Vũ Hán.*

Khoảng cách giữa các vòm chính là 64.5m, nhịp lớn nhất tại khu vực trung tâm đạt 116m, với chiều cao vòm 45m. Ở hai đầu nhà ga, nhịp vòm là 81.4m và chiều cao 44.2m. Hệ kết cấu mái trung tâm và hệ chịu lực tạo thành mặt cắt dạng chữ "W" (Hình 5-2-50), với hình dạng mái cong đảm bảo độ cứng cần thiết để chống lại uốn cong tổng thể. Hệ kết cấu "vòm - giàn không gian" này giúp tăng cường độ ổn định và khả năng chịu lực cho toàn bộ mái nhà ga.

(2) Kết cấu tầng đường ray và sân ga

Tầng đường ray và sân ga tại ga Vũ Hán nằm ở cao trình 10.250m trên mặt đất, được thiết kế theo hệ kết cấu "kết hợp cầu và nhà" dạng cao tầng. Để giảm thiểu tác động của dao động do đoàn tàu di chuyển lên kết cấu bên trên, các gối đỡ của nhà ga và mái che sân ga được bố trí trực tiếp trên các trụ cầu. Các trụ cầu là cột bê tông cốt thép có đường kính từ 5.3m đến 6.0m, với độ cứng đủ lớn để đảm bảo liên kết chặt chẽ với hệ kết cấu phía trên (Hình 5-2-51).

Theo thiết kế kiến trúc, lưới trụ cầu được bố trí theo các đường cung song song thay vì đồng tâm để đơn giản hóa loại hình kết cấu và thuận tiện cho việc tiêu chuẩn hóa sản xuất các thanh giàn. Nhịp cầu theo phương dọc tuyến là (5 × 36m + 34m + 48m + 34m + 5 × 36m), với khoảng cách giữa các trụ theo phương ngang là 21.5m.

(3) Kết cấu mái che sân ga tại ga Vũ Hán

Kết cấu mái che sân ga tại ga Vũ Hán sử dụng hệ đơn nguyên dạng cây nhánh hỗ trợ giàn không gian (Hình 5-2-52). Mỗi đơn nguyên bao gồm dầm cong bán vòm,

cột nghiêng và thanh chống chữ V. Các dầm cong bán vòm có nhịp dài 36m và khoảng cách giữa các dầm theo phương ngang đường ray là 64.5m. Dầm cong bán vòm được chia sẻ chung một trụ cầu với các cột nghiêng của đơn nguyên hỗ trợ liền kề.

Phần trên của cột nghiêng được thiết kế xuyên qua mái che, giúp cho mỗi đơn nguyên hoạt động độc lập với các đơn nguyên lân cận. Giữa các đoạn mái che và mái nhà ga trung tâm bố trí khe giãn nở để tránh truyền ứng suất nhiệt phát sinh từ mái che sang phần mái chính.

3.4. Ứng dụng tại ga Nam Quảng Châu

- ***Thiết kế và hệ kết cấu tại ga Nam Quảng Châu***

Ga Nam Quảng Châu là nhà ga lớn nhất trên tuyến đường sắt cao tốc Vũ Hán - Quảng Châu và là trung tâm giao thông quan trọng của khu vực phía Nam Trung Quốc. Tương tự như ga Vũ Hán, ga Nam Quảng Châu cũng sử dụng hệ "kết hợp cầu và nhà" theo dạng cầu dầm, nhưng với những cải tiến đáng kể do yêu cầu địa chất phức tạp hơn và vùng có cường độ động đất cao hơn.

Để tăng khả năng chịu lực, tầng ga trên cao sử dụng hệ dầm ngang - dọc trên nền tảng của hệ cầu dầm truyền thống. Đồng thời, dựa trên thiết kế kiến trúc và yêu cầu không gian nội thất, mái nhà ga áp dụng nhiều hệ kết cấu tiên tiến như dây - vòm, dây - giàn không gian và kết cấu căng dây.

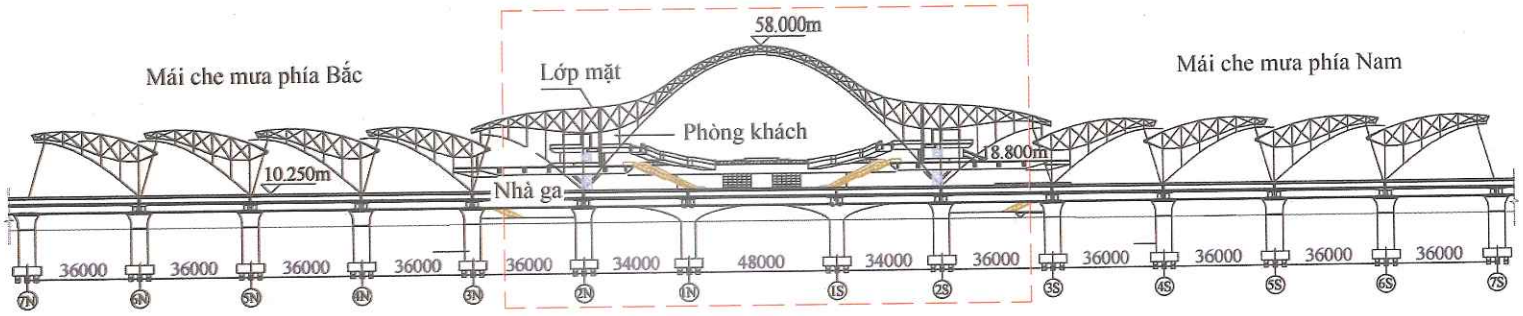
- ***Đặc điểm chính của hệ kết cấu tại ga Nam Quảng Châu***

Ga Nam Quảng Châu áp dụng hệ kết cấu "kết hợp cầu và nhà", kết hợp chặt chẽ giữa kết cấu cầu và kết cấu nhà ga, tạo thành một hệ khung không gian tổng hợp có tính linh hoạt cao. Các đặc điểm chính của hệ kết cấu này bao gồm:

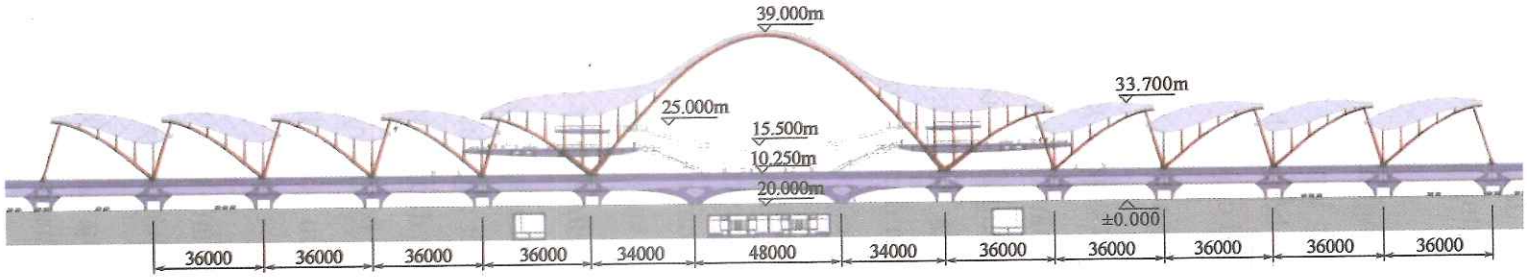
(1) Cầu đường ray đặt ở tầng giữa nhà ga, các tuyến đường ray được đặt trên cầu, và các trụ cầu chịu toàn bộ tải trọng trực tiếp từ đoàn tàu được bố trí vững chắc trên nền đất.

(2) Kết cấu hỗ trợ tầng trên, bao gồm các tầng chờ, mái che và tầng lửng, sử dụng hệ cột bê tông và cột thép, được bố trí trực tiếp trên cầu hoặc trụ cầu.

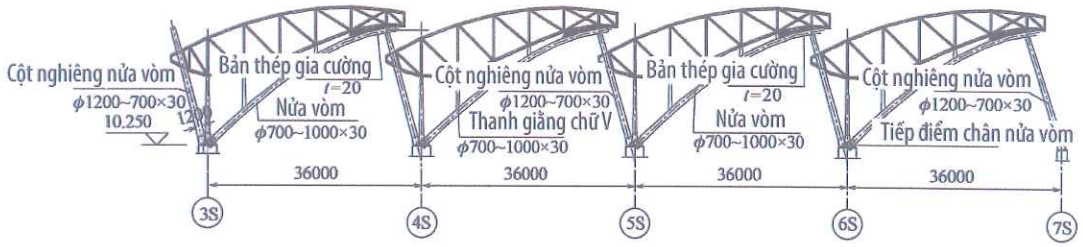
(3) Hệ khung không gian tổng hợp giữa cầu và nhà ga: Cột, dầm ngang, móng cầu và móng nhà ga được sử dụng chung, tạo thành một hệ kết cấu liền mạch. Tải trọng từ đoàn tàu và các phần kiến trúc được phân chia hợp lý cho từng hệ riêng biệt, đảm bảo sự ổn định, an toàn và tối ưu hiệu quả chịu lực.



Hình 5-2-50: *Hình vẽ thể hiện mặt cắt ga Vũ Hán phương thuận ray (đơn vị kích thước: mm)*



Hình 5-2-51: *Hình vẽ thể hiện liên kết trụ cầu và cột nhà ga tại ga Vũ Hán (đơn vị kích thước: mm)*

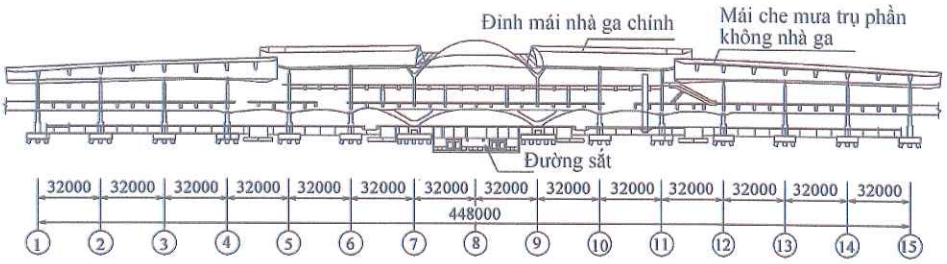


Hình 5-2-52: *Sơ đồ mặt cắt ngang kết cấu mái che sân ga tại ga Vũ Hán (đơn vị kích thước: mm).*

(1) Kết cấu mái nhà ga

Do yêu cầu kiến trúc phức tạp và kích thước lưới cột lớn, mái nhà ga chính của ga Nam Quảng Châu sử dụng hệ kết cấu không gian phức tạp gồm hệ dây - giàn không gian và hệ dây - vòm (dầm căng dây), tạo nên hình thái kiến trúc nhẹ nhàng, đơn giản, mang đậm nét đặc trưng của "lá chuối phương Nam".

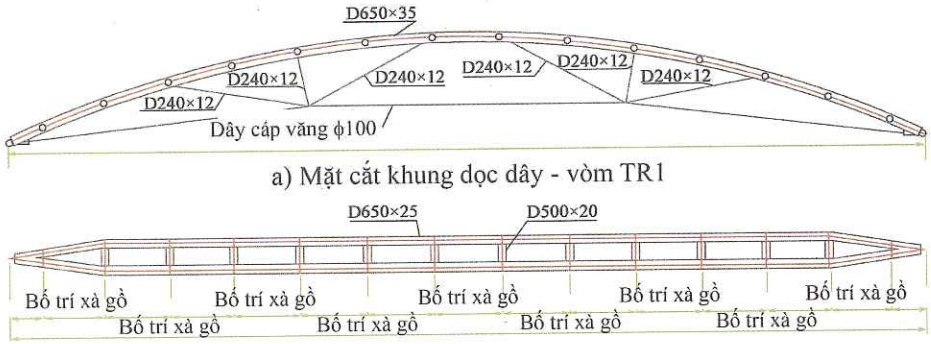
Cả hai hệ kết cấu này đều là hệ tự cân bằng, có trọng lượng nhẹ và khả năng vượt nhịp lớn. Dải mái trung tâm dùng cho lấy sáng có nhịp từ 34m đến 60m, phần mái che phía ngoài có nhịp nhô ra khoảng 100m, sử dụng hệ kết cấu dây - giàn không gian, với lưới ô có cạnh dài 3m đến 4m (Hình 5-2-53). Các phần mái còn lại sử dụng hệ kết cấu dây - vòm (một số khu vực dùng dầm căng dây), với nhịp dao động từ 68m đến 100m.



Hình 5-2-53: *Sơ đồ mặt cắt dọc theo hướng tuyến tại ga Nam Quảng Châu (đơn vị: mm).*

(2) Kết cấu mái che sân ga tại ga Nam Quảng Châu

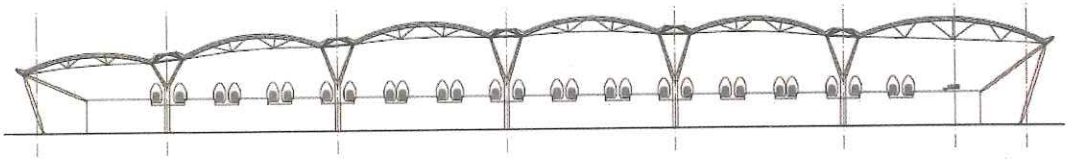
Kết cấu chính của mái che sân ga tại ga Nam Quảng Châu là hệ dây - vòm, trong đó mỗi vòm có nhịp từ 50m đến 68m, được đỡ trên các cột chữ Y đặt tại sân ga. Cột chữ Y có khoảng cách theo phương dọc là 32m và được liên kết với nhau bằng hệ dầm giàn hình thang. Khoảng cách giữa các vòm theo phương ngang là 16m, mỗi vòm bao gồm hai ống thép có đường kính 650mm. Theo hướng vuông góc với tuyến đường ray, nhịp của vòm giảm dần và kết cấu cũng chuyển dần từ hệ dây - vòm sang hệ dầm căng dây, như thể hiện trong Hình 5-2-54 và Hình 5-2-55.



a) Mặt cắt khung dọc dây - vòm TR1

b) Mặt bằng khung dây - vòm TR1

Hình 5-2-54: *Sơ đồ kết cấu dây - vòm mái che sân ga tại ga Nam Quảng Châu.*



Hình 5-2-55: *Sơ đồ mặt cắt kết cấu thép mái che sân ga tại ga Nam Quảng Châu.*

(3) Kết cấu ngầm

Nhà ga chính có một tầng hầm với độ sâu chôn móng khoảng 4.5m, sử dụng kết cấu khung bê tông cốt thép đổ tại chỗ, móng được thiết kế dạng móng bè cọc. Tầng hầm được chia thành hai khu vực bởi tuyến tàu điện ngầm chạy qua chính giữa, mỗi khu vực dài 359m, rộng 178m, cao 3.9m, với lưới cột chính có kích thước 8m × 8m. Kết cấu không chia khe, việc xử lý giãn nở và lún được thực hiện thông qua các dải bê tông đổ sau.

Tuyến tàu điện ngầm đi qua chính giữa tầng ngầm nhà ga, vuông góc với hướng đường ray cao tốc, và hoàn toàn tách biệt với kết cấu tầng hầm cũng như kết cấu nhà ga phía trên. Điều này đảm bảo rằng hoạt động của tàu điện ngầm không ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của kết cấu nhà ga.

3.5. Ứng dụng tại ga Hồng Kiều Thượng Hải

Để đạt được hình thái kiến trúc "phẳng, vuông và chắc chắn" (Hình 5-2-56, Hình 5-2-57), kết cấu mái nhà ga sử dụng hệ giàn không gian tam giác lớn liên kết cứng với các cột thép ống bê tông, giúp tăng đáng kể độ cứng ngang của kết cấu bên trên.

Cấu trúc mái được chia thành hai lớp với độ cao khác nhau: phần mái trung tâm cao hơn hai bên.

• Mái trung tâm có cao trình 40.0m, sử dụng hệ giàn không gian tam giác cao 4.2m, nhịp ngang 72.0m.

• Mái hai bên có cao trình 30.0m, sử dụng hệ khung kết cấu bao gồm cột thép ống bê tông kích thước 1.4m × 1.4m và giàn thép cao 3.0m. Hệ khung kết cấu này có nhịp ngang 45.0m và nhịp dọc 43.0m + 46.0m, ở một số khu vực là 12.0m.

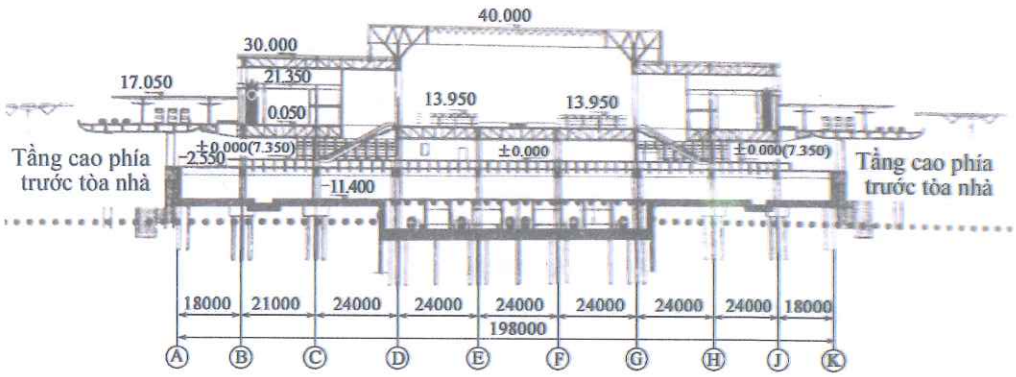
Phần chuyển tiếp giữa mái trung tâm và mái hai bên được thiết kế bằng giàn thép lớn, trong đó:

• Dây trên của giàn thép là hệ giàn không gian tam giác ống thép, có nhiệm vụ nâng đỡ phần mái trung tâm.

• Dây dưới là ống thép đơn, liên kết với giàn thép giữa các cột để chịu tải cho phần mái hai bên.



Hình 5-2-56: *Phối cảnh nhìn từ trên cao của ga Hồng Kiều Thượng Hải*



Hình 5-2-57: *Sơ đồ mặt cắt dọc theo tuyến tại ga Hồng Kiều Thượng Hải (đơn vị kích thước: mm, đơn vị cao trình: m).*

3.6. Ứng dụng tại ga Bắc Tây An

Ga Bắc Tây An có kiến trúc mang phong cách đặc trưng "Đường phong Hán vận" (Hình 5-2-58, Hình 5-2-59), vừa thể hiện đậm nét văn hóa địa phương, vừa phản ánh

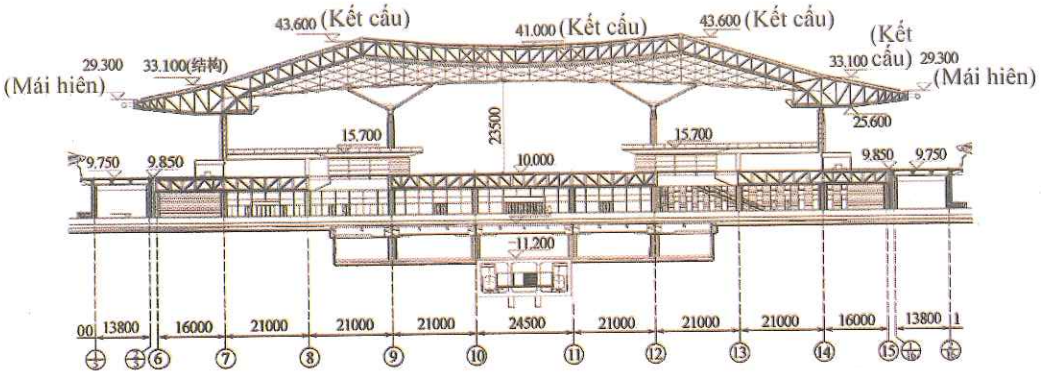
tinh thần thời đại. Mái nhà ga được thiết kế gồm 11 đơn nguyên, mỗi đơn nguyên có hình dạng cơ bản là mái 4 dốc.

Nhịp mái theo phương dọc tuyến đường ray là (42m + 66.5m + 42m), theo phương ngang là 43m, tại một số vị trí là 47m, và phần mái nhô ra xung quanh có chiều dài 21m. Để giảm bớt nhịp của kết cấu lưới mái, các đầu cột đỡ được thiết kế theo dạng chống nghiêng hình chóp ngược bốn mặt (Hình 5-2-59).

Kết cấu mái sử dụng hệ lưới không gian có độ cứng tốt và trọng lượng nhẹ. Thiết kế này không chỉ đáp ứng yêu cầu về hình dáng kiến trúc mà còn giúp giảm thiểu tác động do tải trọng động đất theo cả phương ngang và phương dọc gây ra bởi phần mái có nhịp lớn và nhô ra hai bên. Giải pháp này đã mang lại hiệu quả kinh tế cao và cải thiện đáng kể khả năng chịu lực của công trình.



Hình 5-2-58: *Phối cảnh nhìn từ trên cao của kiến trúc ga Bắc Tây An*



Hình 5-2-59: *Sơ đồ mặt cắt dọc theo tuyến kết cấu mái nhà ga Bắc Tây An (Đơn vị kích thước: mm, đơn vị cao trình: m)*

3.7. Ứng dụng tại ga Đông Hàng Châu

Kết cấu mái nhà ga sử dụng hệ khung lưới không gian gồm giàn thép ống hai chiều vuông góc kết hợp với cột giàn bản, giúp tạo nên kiến trúc mềm mại và tròn

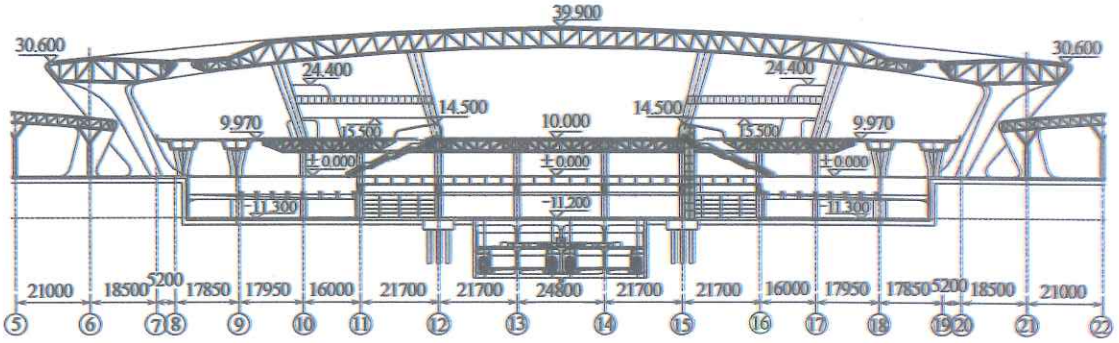
trịa, tái hiện hình tượng "sóng triều sông Tiền Đường" một cách sinh động (Hình 5-2-60, Hình 5-2-61).

Mái nhà ga có kích thước mặt bằng:

- Theo phương dọc tuyến đường ray: dài 285m. Phần phía trước có nhịp lớn nhất khoảng 118m, các phần còn lại có nhịp lớn nhất khoảng 84m. Chiều cao giàn thép ống từ 3.5m đến 4.4m ở giữa nhịp, tăng dần lên khoảng 7.2m ở hai đầu bên.
- Theo phương vuông góc với đường ray: nhịp dao động từ 43m đến 68m.



Hình 5-2-60: *Phối cảnh nhìn từ trên cao của kiến trúc ga Đông Hàng Châu*



Hình 5-2-61: *Sơ đồ mặt cắt dọc theo tuyến kết cấu ga Đông Hàng Châu*
(Đơn vị kích thước: mm, đơn vị cao trình: m)

V. GA ĐƯỜNG SẮT XANH VÀ BỀN VỮNG

1. Vật liệu xanh tiết kiệm năng lượng cho ga đường sắt

Vật liệu xây dựng xanh là loại vật liệu thân thiện với môi trường, an toàn cho sức khỏe con người. Tiêu chí đánh giá vật liệu này dựa trên mức độ bảo vệ môi trường,

ảnh hưởng đến sức khỏe con người và khả năng khai thác nguyên liệu có gây tổn hại đến hệ sinh thái hay không. Khi đưa vào sử dụng, loại vật liệu này không gây ô nhiễm môi trường, đảm bảo an toàn cho sức khỏe và có khả năng điều hòa môi trường sống hiệu quả.

Trong bối cảnh phát triển hiện đại, vật liệu xây dựng xanh ngày càng được chú trọng bởi tiềm năng lớn trong việc tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường. Việc ứng dụng các vật liệu này giúp giảm thiểu đáng kể ô nhiễm trong ngành xây dựng. Tại các khu vực có khí hậu nóng vào mùa hè và ấm vào mùa đông ở Trung Quốc, vật liệu xanh đã được triển khai rộng rãi và mang lại hiệu quả rõ rệt. Đây là loại vật liệu xây dựng mới có tính năng ưu việt, được sử dụng phổ biến trong ngành xây dựng nhằm đáp ứng yêu cầu tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường.

Việc phát triển và sử dụng vật liệu xanh là xu hướng tất yếu của ngành xây dựng, giúp tối ưu hóa việc khai thác tài nguyên, đồng thời thúc đẩy sự phát triển bền vững. Loại vật liệu này không chỉ mang lại lợi ích kinh tế mà còn tạo ra giá trị xã hội lớn. Tại các khu vực có điều kiện khí hậu đặc thù như nóng ẩm vào mùa hè, việc sử dụng vật liệu xanh giúp cải thiện khả năng chống ẩm, cách nhiệt và thông gió tự nhiên, mang lại hiệu quả lý tưởng và đáp ứng nhu cầu tiết kiệm năng lượng trong xây dựng. Đồng thời, vật liệu xanh cũng góp phần đáng kể vào việc giảm thiểu ô nhiễm môi trường, tạo ra hiệu quả kinh tế và xã hội cao.

Các nhà ga đường sắt thường có lưu lượng hành khách lớn và tần suất ra vào cao. Để đảm bảo an toàn và chất lượng không gian, vật liệu nội thất tại nhà ga phải đáp ứng các tiêu chí khắt khe như độ bền cao, chống ăn mòn, dễ vệ sinh, chống trơn trượt, chống thấm, chống cháy và cách âm tốt. Ngoài ra, vật liệu xây dựng cũng cần đảm bảo không gây hại cho môi trường và con người. Loại bỏ các nguồn gây ô nhiễm từ vật liệu xây dựng và thiết bị đồng nghĩa với việc đảm bảo không gian nhà ga an toàn, trong lành.

Việc sử dụng các vật liệu hoàn thiện thân thiện với môi trường và ít gây ô nhiễm trong nhà ga sẽ giúp cải thiện chất lượng không khí bên trong, tạo môi trường thoải mái cho hành khách. Do đó, việc ứng dụng vật liệu xanh trong các công trình nhà ga là xu hướng tất yếu để đáp ứng yêu cầu tiết kiệm năng lượng và phát triển bền vững. Hãy cùng khám phá một số loại vật liệu xanh đang được ứng dụng rộng rãi trong xây dựng nhằm bảo vệ môi trường và tiết kiệm năng lượng.

(1) Áp dụng kết cấu bao che tiết kiệm năng lượng

Hiện nay, nhiều công trình đô thị sử dụng vách kính lớn, gây lãng phí năng lượng nghiêm trọng. Để đạt được mục tiêu tiết kiệm năng lượng, công trình xanh cần hạn chế diện tích sử dụng vật liệu bao che trong suốt. Phía ngoài kết cấu bao che có thể

lắp đặt hệ thống che nắng (rèm cuốn, cửa chớp...) nhằm giảm bớt lượng bức xạ mặt trời chiếu vào bên trong. Điều này vừa tạo ra không gian thoải mái vừa tối ưu hóa việc tiết kiệm năng lượng, xây dựng hệ thống kết cấu thân thiện với môi trường.

(2) Ứng dụng công nghệ thông gió và sưởi ấm tiết kiệm năng lượng

Trong xây dựng đô thị, cần đặc biệt chú ý đến các vấn đề tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường và sử dụng tài nguyên một cách tổng hợp. Có thể sử dụng hệ thống thông gió tự nhiên, điều hòa không khí và thiết bị sưởi tiết kiệm năng lượng để giảm mức tiêu thụ điện năng. Việc thiết lập hệ thống làm mát bằng không khí dựa trên nguyên lý thông gió tự nhiên sẽ cải thiện đáng kể môi trường nhiệt độ và độ ẩm trong nhà, đồng thời giảm thời gian sử dụng thiết bị điều hòa.

(3) Ứng dụng hệ thống cách nhiệt và hoàn thiện bề mặt tường ngoài

Vật liệu cách nhiệt tường ngoài thường là vật liệu composite gồm cả vật liệu vô cơ và hữu cơ, mang lại hiệu quả tiết kiệm năng lượng nhất định. Ngoài ra, việc phủ xanh mái nhà giúp giảm nhiệt độ công trình và tăng diện tích cây xanh đô thị. Trong hệ thống bảo vệ và hoàn thiện tường ngoài, hệ thống bao che được áp dụng rộng rãi nhất. Kết cấu chính thường được cố định trên tường ngoài, phần giữa sử dụng tấm cách nhiệt và lớp ngoài giúp tăng tính thẩm mỹ cho bề mặt tường.

(4) Ứng dụng tường ngoài bằng cốp pha bê tông cách nhiệt

Cốp pha bê tông cách nhiệt có khả năng cách nhiệt tốt khi được sử dụng. Trong quá trình đổ bê tông tại công trường, loại cốp pha này trở thành một phần không thể thiếu của tường ngoài công trình, đóng vai trò quan trọng trong việc gia cố tường và cách nhiệt. Vì vậy, đây được coi là một loại vật liệu mới hiệu quả, được ứng dụng tốt trong xây dựng.

(5) Ứng dụng vật liệu kháng khuẩn

Nhiều vật liệu xây dựng truyền thống dễ phát sinh vi khuẩn. Vật liệu kháng khuẩn thân thiện với môi trường hơn nhờ chứa các thành phần kháng khuẩn, có khả năng tiêu diệt và ức chế sự sinh trưởng, phát triển của vi sinh vật, đồng thời còn có chức năng tự làm sạch. Điều này giúp duy trì vệ sinh và đảm bảo an toàn lâu dài cho công trình.

(6) Sử dụng tấm cách nhiệt và giữ nhiệt cho công trình

Tấm cách nhiệt được cấu tạo bởi hai phần chính: lớp lõi và hai mặt ngoài, chủ yếu được sử dụng cho phần mái nhà. Loại vật liệu này có phạm vi ứng dụng rộng rãi trong các công trình dân dụng và thương mại. Nhờ hiệu quả cách nhiệt và tiết kiệm

năng lượng tốt, quy trình thi công đơn giản, chi phí thấp và ít gây ô nhiễm, tấm cách nhiệt thường được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng để góp phần bảo vệ môi trường.

2. Công nghệ tiết kiệm năng lượng trong nhà ga đường sắt

Nhà ga đường sắt, với vai trò là công trình công cộng phục vụ giao thông, có những đặc thù như không gian lớn, hệ thống chiếu sáng phức tạp, tỷ lệ sử dụng cửa kính cao và lưu lượng người qua lại liên tục. Những đặc điểm này khiến tải nhiệt cho hệ thống điều hòa và sưởi ấm gia tăng, kéo theo sự tiêu thụ lớn các nguồn năng lượng như điện, khí đốt tự nhiên và nước. Do đó, mặc dù tiêu hao nhiều năng lượng, nhà ga cũng là nơi có tiềm năng lớn để thực hiện các giải pháp tiết kiệm năng lượng.

Khác với các công trình công cộng thông thường, nhà ga đường sắt thường có ít tầng nhưng chiều cao lớn và diện tích sử dụng rộng, dẫn đến tỷ lệ diện tích kết cấu bao che lớn, ảnh hưởng trực tiếp đến môi trường bên trong. Vì vậy, việc tiết kiệm năng lượng cần được quan tâm đặc biệt. Nhờ sự phát triển của công nghệ máy tính, trong thiết kế nhà ga có thể sử dụng nhiều phần mềm mô phỏng để dự đoán mức tiêu thụ năng lượng, tối ưu hóa kết cấu bao che, tổ chức dòng khí, tính toán khả năng chiếu sáng tự nhiên và che nắng, từ đó đề xuất các giải pháp tiết kiệm năng lượng và kiểm chứng tính hiệu quả của thiết kế.

Các phần mềm thường dùng bao gồm:

- DeST: Mô phỏng năng lượng theo thời gian thực.
- CONTAMW: Mô phỏng thông gió tự nhiên.
- Ecotect: Mô phỏng công trình sinh thái.
- CFD (Phoenics): Mô phỏng khí động lực học.

2.1. Phương pháp nghiên cứu chung

(1) Thiết kế tối ưu kết cấu bao che

Xây dựng mô hình dự báo tải nhiệt theo từng giờ trong năm bằng phần mềm *DeST*, phân tích mật độ người sử dụng, hệ thống chiếu sáng và các thiết bị bên trong để đưa ra các thông số hợp lý. Đồng thời, nghiên cứu mối quan hệ giữa mức tiêu thụ năng lượng với các yếu tố như hệ số truyền nhiệt của tường ngoài, cửa sổ và mái kính nhằm xác định tổ hợp thông số nhiệt tối ưu cho kết cấu bao che.

Dựa trên tiêu chuẩn *GB 50189-2015* về "Thiết kế tiết kiệm năng lượng cho công trình công cộng", đánh giá tính phù hợp của thiết kế bao che. Sau đó, sử dụng phương pháp tham chiếu công trình để so sánh và đánh giá mức tiêu thụ năng lượng.

(2) Thiết kế thông gió tự nhiên

Phân tích các tuyến thông gió tiềm năng dựa trên đặc điểm kiến trúc, xây dựng mô hình thông gió tự nhiên để tính toán số lần trao đổi không khí trong điều kiện chênh lệch nhiệt độ trong và ngoài nhà tối thiểu (5°C). Từ đó, xác định diện tích cửa sổ phù hợp để đảm bảo thông gió tự nhiên và đánh giá mức độ tiết kiệm năng lượng mà thông gió tự nhiên mang lại trong suốt cả năm.

(3) Thiết kế chiếu sáng tự nhiên

Dựa vào đặc điểm của nhà ga, xác định mức chiếu sáng cần thiết cho từng khu vực để đáp ứng yêu cầu chiếu sáng trong nhà. Xây dựng mô hình phân tích chiếu sáng, dựa trên điều kiện thời tiết bất lợi nhất để đánh giá phân bố ánh sáng tự nhiên và xác định giới hạn tỷ lệ truyền sáng của kết cấu bao che. Sau đó, tính toán tỷ lệ đáp ứng chiếu sáng tự nhiên và dự đoán mức tiết kiệm năng lượng nhờ vào việc tận dụng ánh sáng tự nhiên.

2.2. Bảy nhà ga tiêu biểu trong nước ứng dụng hệ thống điện mặt trời

(1) Ga Thanh Đảo - Nhà ga phong cách châu Âu độc đáo nhất

Ga Thanh Đảo (hình 5-2-62) được xây dựng vào năm 1899, là một nhà ga lịch sử với hơn một thế kỷ tồn tại và phát triển. Qua quá trình cải tạo và mở rộng, ga đã trở thành nhà ga mang phong cách châu Âu duy nhất tại Trung Quốc, nổi bật với mái che không cột có nhịp lớn nhất và phòng chờ ngầm rộng nhất thời bấy giờ. Tháp đồng hồ và nhà ga mang kiến trúc Đức kết hợp giữa vẻ đẹp sang trọng và thiết kế thân thiện với môi trường. Với phòng chờ ngầm sức chứa lên đến 3.000 người, các khu dịch vụ tiện ích hiện đại cùng mái che không cột được tích hợp hệ thống phát điện bằng năng lượng mặt trời, ga Thanh Đảo trở thành điểm nhấn đặc biệt của thành phố với sự hài hòa giữa công nghệ hiện đại và thiết kế thẩm mỹ độc đáo.



Hình 5-2-62: *Ga Thanh Đảo*

(2) Ga Đông Hàng Châu - "Làn sóng mới trên sông Tiền Đường"

Ga Đông Hàng Châu (Hình 5-2-63) là công trình cuối cùng hoàn thiện trong chuỗi xây dựng chín nhà ga lớn tại các thành phố trọng điểm của Trung Quốc. Đưa vào hoạt động từ ngày 1 tháng 7 năm 2013, nhà ga có tổng diện tích xây dựng lên đến 1,13 triệu m^2. Đây là một trong những trung tâm giao thông lớn nhất châu Á, tích hợp nhiều loại hình vận tải như tàu cao tốc, tàu thường, tàu chuyên tuyến, tàu điện ngầm, xe buýt, xe điện và phương tiện đường thủy. Được xây dựng trên nền nhà ga cũ, ga Đông Hàng Châu là công trình được thiết kế và xây dựng muộn nhất trong số các ga lớn tại Trung Quốc, cho phép áp dụng những công nghệ tiên tiến và ý tưởng sáng tạo nhất. Hệ thống chiếu sáng tự nhiên kết hợp với hệ thống phát điện bằng năng lượng mặt trời trên mái nhà ga đã thể hiện rõ nét tư duy xanh trong thiết kế, giúp ga trở thành một trong những công trình điện mặt trời đơn thể lớn nhất tại Trung Quốc. Nhìn từ trên cao, các tấm pin mặt trời được lắp đặt phủ kín hơn 80% diện tích mái nhà ga, với tổng diện tích lớn hơn 11 sân bóng đá, tạo nên một cảnh tượng đầy ấn tượng.



Hình 5-2-63: *Ga Đông Hàng Châu*

(3) Ga Vũ Hán - Nhà ga đẹp nhất Trung Quốc

Ga Vũ Hán (Hình 5-2-64) là công trình đạt nhiều giải thưởng danh giá, bao gồm "100 công trình dân dụng tiêu biểu của Trung Quốc thế kỷ XX", "Giải thưởng Trạm Thiên Hựu lần thứ 10", và "Giải thưởng Lỗ Ban của Hiệp hội Kiến trúc Trung Quốc". Đây là nhà ga duy nhất ở Vũ Hán đạt giải thưởng quốc tế, khẳng định vị thế mới của thành phố trong lĩnh vực kiến trúc. Lấy cảm hứng từ hình tượng "Chim hạc ngàn năm trở về" trong văn hóa Hồ Bắc, nhà ga mang dáng dấp của một chú hạc đang sải cánh bay, tượng trưng cho sự phát triển mạnh mẽ của thành phố. Phần mái cao 60m ở trung tâm biểu trưng cho vị trí quan trọng của Vũ Hán trong sự trỗi dậy

của các tỉnh miền Trung. Chín mái hiên được thiết kế đồng tâm, thể hiện ý nghĩa Vũ Hán là điểm giao thương của chín tỉnh lớn. Trên các mái hiên này, hệ thống pin năng lượng mặt trời được lắp đặt, cung cấp nguồn điện sạch cho toàn bộ nhà ga. Nhờ tư duy thiết kế kết hợp hài hòa giữa kiến trúc và văn hóa, ga Vũ Hán trở thành một công trình tiêu biểu vừa mang tính ứng dụng cao vừa thể hiện được bản sắc địa phương, góp phần xây dựng hình ảnh thành phố xanh và sáng tạo.



Hình 5-2-64: *Ga Vũ Hán*

(4) Ga Thượng Hải Hồng Kiều - Viên ngọc xanh trong công trình đường sắt

Ga Thượng Hải Hồng Kiều (Hình 5-2-65) là nhà ga hành khách tổng hợp siêu lớn, xếp sau ga Nam Bắc Kinh và ga Vũ Hán về lưu lượng hành khách hàng năm. Đây cũng là công trình đầu tiên ở Trung Quốc tích hợp hệ thống phát điện năng lượng mặt trời quy mô lớn, đóng vai trò quan trọng trong việc phát triển hạ tầng giao thông xanh. Dự án này là bước tiến quan trọng nhằm tối ưu hóa cơ cấu năng lượng, giảm thiểu phát thải khí nhà kính và thúc đẩy kinh tế ít carbon, trở thành một điển hình trong việc xây dựng hệ thống giao thông bền vững và thân thiện với môi trường.



Hình 5-2-65: *Ga Thượng Hải Hồng Kiều*

(5) Ga Nam Bắc Kinh - Nhà ga số một châu Á

Ga Nam Bắc Kinh (Hình 5-2-66) là nhà ga liên kết các tuyến đường sắt liên tỉnh, đường sắt cao tốc và hệ thống tàu điện ngầm, đồng thời là công trình trọng điểm phục vụ Thế vận hội Olympic Bắc Kinh. Đây là nhà ga cao tốc hiện đại đầu tiên của Trung Quốc, được xếp vào top ba nhà ga có lưu lượng hành khách lớn nhất thế giới, với danh hiệu "Nhà ga số một châu Á". Việc triển khai hệ thống phát điện năng lượng mặt trời tại ga Nam Bắc Kinh góp phần thúc đẩy các khái niệm về giao thông xanh, tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường, đánh dấu bước khởi đầu cho việc xây dựng các trung tâm giao thông bền vững trên cả nước.



Hình 5-2-66: *Ga Nam Bắc Kinh*

(6) Ga Nam Nam Kinh - Cung điện trên đường sắt

Trong thiết kế ga Nam Nam Kinh (Hình 5-2-67), các kiến trúc sư đã kết hợp hài hòa tinh thần văn hóa truyền thống với đặc trưng địa phương, đồng thời tạo ra một không gian độc đáo, mang lại trải nghiệm mới mẻ cho hành khách. Các yếu tố kiến trúc cổ điển như mái ngói hai lớp, hàng cột, đấu củng và họa tiết trang trí truyền thống được lồng ghép một cách khéo léo vào thiết kế, mang đến diện mạo vừa hiện đại vừa đậm nét lịch sử. Với công suất lắp đặt 10,67 MW, vượt qua các nhà ga lớn khác như Đông Hàng Châu (10 MW), Hồng Kiều (6,5 MW) và Vũ Hán (2,2 MW), ga Nam Nam Kinh đã trở thành công trình quang điện đơn thể lớn nhất thế giới khi chính thức hòa lưới vào năm 2013. Với vẻ đẹp kết hợp giữa văn hóa, công nghệ và quy mô hoành tráng, ga Nam Nam Kinh xứng đáng với danh hiệu "Cung điện trên đường sắt".



Hình 5-2-67: *Ga Nam Nam Kinh*

(7) Ga Đông Hohhot - Mái vòm thảo nguyên và đôi cánh đại bàng

Ga Đông Hohhot (Hình 5-2-68) là công trình giao thông hiện đại với thiết kế mang đậm nét văn hóa dân tộc. Nhà ga là trung tâm giao thông quan trọng kết nối vùng Bắc Kinh - Thiên Tân - Hà Bắc với các tỉnh Sơn Tây, Thiểm Tây và Mông Cổ. Lấy cảm hứng từ hình ảnh đặc trưng của thảo nguyên - chiếc lều Mông Cổ - thiết kế của ga tạo nên một công trình kiến trúc độc đáo, vừa phản ánh bản sắc văn hóa vừa thân thiện với môi trường. Được xây dựng để chào mừng 60 năm thành lập khu tự trị Nội Mông, ga Đông Hohhot là sự kết hợp hoàn hảo giữa công trình giao thông hiện đại và kiến trúc xanh. Trên mái vòm sân ga, 840 tấm pin quang điện silic vô định hình được sắp xếp như đôi cánh đại bàng đang sải rộng trên thảo nguyên, tạo nên một biểu tượng kiến trúc xanh đầy ấn tượng. Đây là minh chứng rõ nét cho sự kết hợp giữa công nghệ quang điện và bản sắc văn hóa truyền thống, mang lại giá trị thẩm mỹ và kinh tế cho khu vực.



Hình 5-2-68: *Ga Đông Hohhot*

Các dữ liệu chính của các ga tàu sử dụng năng lượng mặt trời tiêu biểu trong nước được thể hiện trong Bảng 5-2-4.

Bảng 5-2-4: Các ga tàu sử dụng năng lượng mặt trời tiêu biểu trong nước

Tên	Loại hình ứng dụng	Loại pin	Thời gian hoàn thành	Diện tích lắp đặt	Công suất lắp đặt	Sản lượng điện hàng năm
Thanh Đảo	Mái che lấy sáng	Pin màng mỏng silicon vô định hình	10/2008	2200 m²	103 kWp	67 MWh
Hàng Châu	Mái nhà và mái che	Pin đơn tinh thể và màng mỏng silicon vô định hình	06/2013	79,000 m²	10 MWp	10 GWh
Vũ Hán	Mái nhà và mái che	Pin đơn tinh thể	12/2009	15,200 m²	2.2 MWp	2 GWh
Thượng Hải Hồng Kiều	Mái che	Pin tinh thể	07/2010	61,000 m²	6.688 MWp	6.3 GWh
Nam Bắc Kinh	Tích hợp mái nhà	Pin màng mỏng hợp chất	07/2008	7000 m²	240 kWp	223.6 MWh
Nam Nam Kinh	Mái nhà và mái che	Pin tinh thể	06/2011	82,000 m²	10.67 MWp	9.23 GWh
Đông Hohhot	Mái che	Pin màng mỏng silicon vô định hình	12/2010	2169 m²	100.8 kWp	120 MWh

3. Công nghệ âm học trong thiết kế nhà ga đường sắt

3.1. Khái niệm cơ bản về công nghệ âm học trong xây dựng

Công nghệ âm học xây dựng là lĩnh vực nghiên cứu sự lan truyền âm thanh trong môi trường kiến trúc, kiểm soát và đánh giá chất lượng âm thanh nhằm tạo ra không gian nghe lý tưởng. Đây là một phần quan trọng của vật lý xây dựng, tập trung vào việc xử lý sóng âm trong không gian nội thất và kiểm soát tiếng ồn từ bên trong lẫn bên ngoài công trình.

Có ba phương pháp chính trong nghiên cứu âm học nội thất:

• Phương pháp hình học âm học: Áp dụng khi kích thước phòng lớn hơn nhiều so với bước sóng âm thanh, giúp cải thiện độ đồng đều của âm trường, tăng cường âm thanh trực tiếp và tránh các khiếm khuyết về âm chất.

• Phương pháp thống kê âm học: Phân tích từ góc độ năng lượng âm, nghiên cứu quá trình tăng trưởng và suy giảm mật độ năng lượng âm trong phòng, từ đó định nghĩa rõ ràng thời gian dội âm và cung cấp cơ sở khoa học cho thiết kế âm học nội thất.

• Phương pháp sóng âm học: Sử dụng khi kích thước phòng tương đương với bước sóng âm thanh. Khi đó, hiện tượng cộng hưởng dễ xảy ra, phương pháp này giúp cải thiện sự đồng đều của trường âm và đặc tính tần số trong không gian nhỏ.

3.2. Mục tiêu thiết kế âm học cho nhà ga đường sắt

Thiết kế âm học đóng vai trò quan trọng trong quá trình xây dựng nhà ga, phối hợp chặt chẽ với thiết kế kiến trúc và nội thất nhằm tạo ra một môi trường âm thanh tốt. Các mục tiêu chính bao gồm:

• Tạo điều kiện thuận lợi cho hành khách giao tiếp khi chờ tàu.

• Đảm bảo thông tin về chuyến tàu được truyền tải rõ ràng và kịp thời.

• Giảm thiểu tiếng ồn từ giao thông đường sắt gây ảnh hưởng đến nhà ga và khu vực xung quanh.

3.3. Phương pháp kiểm soát tiếng ồn

Tiếng ồn từ hoạt động giao thông đường sắt có thể gây ô nhiễm âm thanh nghiêm trọng. Do đó, các biện pháp kiểm soát tiếng ồn bao gồm:

• Kiểm soát thụ động: Áp dụng các biện pháp cách âm, hấp thụ âm, giảm tiếng ồn và chống rung bằng vật liệu hoặc thiết kế kiến trúc.

• Kiểm soát chủ động: Sử dụng công nghệ tiên tiến để giảm thiểu tiếng ồn và rung động hiệu quả hơn.

3.4. Ứng dụng công nghệ mô phỏng âm học

Tại Ga Vũ Hán, phần mềm EcoTect đã được sử dụng để mô phỏng và phân tích âm học cho các không gian như sảnh chính, phòng chờ, nhà hàng, phòng VIP, sảnh ra ga và phòng vé. Phần mềm này giúp tính toán các chỉ số âm học chính, hiển thị sơ đồ đường truyền âm thanh, từ đó đánh giá hiệu quả của các biện pháp kiểm soát tiếng ồn.

Các vật liệu trang trí trần mới như rèm ống đục lỗ nhỏ vừa có tính thẩm mỹ cao, vừa giúp khuếch tán và hấp thụ âm thanh. Việc sử dụng phần mềm EcoTect để

phân tích cho thấy các giải pháp này có khả năng đáp ứng tốt với các không gian như mái vòm và sảnh ra ga. Điều này đã chứng minh tính khả thi và hiệu quả của các biện pháp xử lý âm học được đề xuất.

4. Kỹ thuật phòng cháy chữa cháy tại nhà ga đường sắt

Với sự phát triển nhanh chóng của quá trình đô thị hóa và sự điều chỉnh cơ cấu công nghiệp, nhu cầu xây dựng các công trình giao thông công cộng lớn ngày càng gia tăng. Đặc biệt, các nhà ga đường sắt hiện đại đã và đang được xây dựng tại nhiều khu vực trên cả nước. Những công trình này có đặc điểm diện tích lớn, không gian mở và liên thông, cùng với sự phức tạp trong việc tổ chức dòng người, khiến cho vấn đề vừa đảm bảo thẩm mỹ, tiện nghi vừa đảm bảo an toàn PCCC trở thành yêu cầu thiết yếu.

• ***Đặc điểm của công trình giao thông đầu mối lớn***

Nhà ga đường sắt quy mô lớn là một loại hình công trình công cộng đặc thù, khác biệt với các công trình thương mại hay văn phòng thông thường ở một số đặc điểm như sau:

(1) Quy mô lớn và không gian mở: Các công trình này thường có diện tích lớn, không gian tập trung đông người rộng rãi và có số tầng cao.

(2) Hoạt động liên tục: Thời gian vận hành của các nhà ga kéo dài liên tục, yêu cầu công trình luôn trong trạng thái an toàn và hoạt động ổn định.

(3) Mật độ người cao, dòng di chuyển phức tạp: Nhà ga tập trung một lượng lớn người sử dụng với nhiều nguồn gốc khác nhau. Các luồng di chuyển rất phức tạp, bao gồm luồng hành khách vào ra, luồng hậu cần và luồng nhân viên phục vụ tàu. Điều này đòi hỏi các nhà ga phải có các giải pháp đảm bảo an toàn công cộng ở mức cao.

• ***Nội dung thiết kế dựa trên hiệu suất và các vấn đề nghiên cứu chính***

Các nhà ga giao thông đầu mối lớn thường có chiều cao vượt quá 24m và được xếp vào loại nhà cao tầng theo quy định hiện hành. Tuy nhiên, phương thức di tản tại các công trình này khác với phương thức di tản thẳng đứng trong các công trình cao tầng thông thường. Thay vào đó, các nhà ga có luồng di tản chủ yếu theo phương ngang, phù hợp với tính chất hoạt động và đặc thù sử dụng của công trình.

4.1. Các vấn đề chính cần nghiên cứu

Để đáp ứng các yêu cầu về chức năng và hình thức không gian đặc thù của nhà ga đường sắt, việc thiết kế hệ thống phòng cháy chữa cháy (PCCC) phải đối mặt với một số thách thức cụ thể như sau:

1) Thiết kế không gian lớn liên thông: Các khu vực không gian rộng lớn được xây dựng theo nguyên tắc liên thông, khó có thể phân chia thành các vùng chống cháy riêng biệt theo đúng quy chuẩn, dẫn đến diện tích phân khu chống cháy lớn - đây là vấn đề then chốt trong thiết kế.

2) Bố trí các vùng chống khói và thiết kế hệ thống thông gió - thoát khói.

3) Thiết kế lối thoát hiểm và sơ tán người dân.

4) Lắp đặt các biện pháp phòng cháy chữa cháy phù hợp.

5) Bảo vệ chống cháy cho kết cấu thép.

6) Bố trí phương án cứu hộ và cứu nạn từ bên ngoài công trình.

4.2. Những khó khăn trong thiết kế hệ thống PCCC

Do đặc thù của các công trình nhà ga lớn, việc thiết kế hệ thống PCCC gặp phải một số khó khăn chính như:

(1) Phân chia khu vực chống cháy gặp khó khăn

Theo quy định tại *"Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình"* (GB 50016-2014), việc bố trí cửa chống cháy và tường chống cháy bên trong công trình có thể gây chia cắt không gian rộng lớn, làm cản trở sự di chuyển tự do và phá vỡ tính thông thoáng của kiến trúc. Nếu phải sử dụng nhiều màn chắn chống cháy cỡ lớn, các vấn đề như độ dài và độ bền cũng sẽ phát sinh trong quá trình thi công.

(2) Khó khăn trong việc tính toán lượng khói cần thoát

Với những không gian lớn như sảnh đón khách, sảnh trả khách hay kho hành lý, việc tính toán lượng khói và thiết kế hệ thống thoát khói theo đúng tiêu chuẩn sẽ yêu cầu một lượng khói rất lớn cần được xử lý, điều này gây khó khăn lớn trong quá trình thiết kế và thi công thực tế.

(3) Bảo vệ hệ thống chữa cháy gặp nhiều trở ngại

Việc sử dụng màn nước bảo vệ trong khoảng cách dài sẽ yêu cầu lượng nước lớn và nguồn cấp nước liên tục, điều này khó có thể đảm bảo hiệu quả cao trong mọi tình huống.

(4) Khó khăn trong thiết kế lối thoát hiểm:

Do yêu cầu sử dụng, các khu vực không gian lớn thường có độ sâu, chiều dài và diện tích lớn, điều này dẫn đến việc bố trí lối thoát hiểm gặp nhiều thách thức. Thang thoát hiểm và thang máy chữa cháy cũng không thể lắp đặt quá nhiều vì giới hạn không gian.

4.3. Giải pháp khắc phục các khó khăn

(1) Thiết kế dựa trên hiệu suất hoạt động

- Phân chia khu vực chống cháy hợp lý, hiệu quả.
- Tạo các đơn vị chống cháy để kiểm soát sự lan rộng của đám cháy.
- Lắp đặt buồng chống cháy nhằm hạn chế khói lan tỏa.
- Áp dụng giải pháp "đảo cháy" để khoanh vùng đám cháy.
- Thực hiện chiến lược sơ tán theo từng giai đoạn, hướng dẫn người dân thoát nạn một cách an toàn.

(2) Đánh giá mức độ an toàn

- "Đảo nhiên liệu" giúp khoanh vùng và kiểm soát hiệu quả đám cháy.
- Đảm bảo mức độ an toàn PCCC đạt tiêu chuẩn tương đương với các quy chuẩn hiện hành.
- Bố trí phân vùng trong - ngoài giúp kiểm soát tốt sự lan tỏa của khói.
- Tận dụng các thanh dầm đường ray như hệ thống chứa khói tạm thời, hỗ trợ quá trình thoát khói hiệu quả hơn.

4.4. Phạm vi và nội dung đánh giá thiết kế PCCC

Đối với các khu vực công cộng trong nhà ga mới xây dựng (không bao gồm phần tàu điện ngầm), cần áp dụng phương pháp thiết kế dựa trên hiệu suất để tiến hành phân tích và đánh giá. Nội dung bao gồm việc bố trí, phân chia vùng chống cháy, thiết kế lối thoát hiểm, kiểm soát khói, hệ thống báo cháy tự động, hệ thống chữa cháy và bảo vệ kết cấu công trình. Các nội dung cụ thể cần đánh giá như sau:

(1) Xác nhận các quy chuẩn và tiêu chuẩn liên quan được áp dụng trong thiết kế.

(2) Đánh giá mục tiêu an toàn PCCC và phương án chiến lược PCCC tổng thể.

(3) Kiểm tra phương pháp phân tích và tính phù hợp của các thông số lựa chọn trong thiết kế dựa trên hiệu suất.

(4) Xác nhận tính hợp lý của các tình huống giả định về hỏa hoạn và kịch bản cháy.

(5) Đối với từng kịch bản cháy cụ thể, kiểm tra phương pháp phân tích (phần mềm), các điều kiện giả định và đánh giá kết quả mô phỏng ban đầu (quá trình phát triển khói và sơ tán người).

(6) Đánh giá tính hợp lý trong việc lựa chọn hệ thống phát hiện và chữa cháy tự động.

(7) Đánh giá tính hợp lý của thiết kế hệ thống thoát khói.

(8) Đánh giá phương án bảo vệ chống cháy cho kết cấu khung thép mái công trình.

CHƯƠNG 3. CÔNG NGHỆ CHỦ CHỐT TRONG XÂY DỰNG NHÀ GA ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Nhờ sự đẩy mạnh đầu tư vào hạ tầng quốc gia, việc xây dựng các tuyến đường sắt chuyên dụng cho hành khách đang diễn ra nhanh chóng. Cùng với đó, mức sống của người dân ngày càng tăng, kéo theo nhu cầu đi lại nhanh chóng, thuận tiện và thoải mái. Điều này yêu cầu các nhà ga đường sắt cao tốc - một thành phần quan trọng của hệ thống đường sắt cao tốc - phải được xây dựng với quy mô phù hợp, đồng thời kết nối thuận lợi với các loại hình giao thông khác như tàu điện ngầm, bến xe liên tỉnh và hệ thống xe buýt đô thị.

Việc xây dựng mới và mở rộng các công trình nhà ga hành khách đang diễn ra liên tục, đồng thời các công nghệ, quy trình và tiêu chuẩn thi công tiên tiến cũng ngày càng được ứng dụng rộng rãi. Kinh nghiệm trong quản lý và kỹ thuật thi công đóng vai trò ngày càng quan trọng trong việc bảo đảm tiến độ, nâng cao chất lượng công trình và tối ưu hóa lợi ích thông qua việc kiểm soát chi phí.

Hiện nay, việc xây dựng các nhà ga đường sắt cao tốc tại Trung Quốc phải đối mặt với 3 vấn đề chính:

(1) Quy mô xây dựng lớn, nhiều dự án triển khai đồng loạt

Năm 2017 đánh dấu giai đoạn quan trọng trong quá trình thực hiện "Kế hoạch 5 năm lần thứ 13" về phát triển đường sắt. Bản quy hoạch mạng lưới đường sắt trung và dài hạn, được sửa đổi và phê duyệt vào tháng 7 năm 2016, đề ra mục tiêu đến năm 2020 đạt tổng chiều dài 150.000 km đường sắt trên cả nước, trong đó có 30.000 km đường sắt cao tốc, bao phủ hơn 80% các thành phố lớn. Đây là sự điều chỉnh chiến lược lớn nhằm đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội, đặt ra mục tiêu cụ thể cho việc phát triển đường sắt trong giai đoạn này. Tuy nhiên, các mô hình xây dựng và nguồn lực thiết kế truyền thống hiện nay không thể đáp ứng được tốc độ mở rộng nhanh chóng và quy mô lớn của các nhà ga đường sắt cao tốc.

(2) Quan điểm xây dựng hiện đại, nhiều thách thức kỹ thuật

So với các nhà ga truyền thống, việc xây dựng nhà ga đường sắt cao tốc đòi hỏi phải tuân thủ các nguyên tắc hiện đại như "lấy con người làm trung tâm" và

"phát triển bền vững". Điều này đặt ra nhiều thách thức kỹ thuật trong việc tối ưu hóa thiết kế không gian, tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường, kiểm soát khí hậu và đảm bảo an toàn phòng cháy chữa cháy. Các quan điểm thiết kế và công nghệ hiện tại chưa đủ để đáp ứng những yêu cầu mới về xây dựng và vận hành các nhà ga đường sắt cao tốc.

(3) Phạm vi liên quan rộng, khó khăn lớn trong công tác phối hợp

Việc xây dựng nhà ga đường sắt cao tốc không chỉ chịu sự điều chỉnh của quy hoạch mạng lưới đường sắt mà còn bị ảnh hưởng bởi quy hoạch đô thị, đồng thời liên quan mật thiết đến các công trình giao thông và cơ sở hạ tầng đô thị. Hơn nữa, do ảnh hưởng từ cơ chế quản lý hành chính phân cấp hiện hành tại Trung Quốc, công tác xây dựng nhà ga gặp nhiều khó khăn trong phối hợp, từ giai đoạn quy hoạch thiết kế ban đầu đến giai đoạn triển khai thi công. Năng lực và trình độ quản lý dự án hiện tại vẫn chưa theo kịp yêu cầu của các dự án xây dựng nhà ga đường sắt cao tốc.

Các đặc điểm nổi bật và các thách thức chính trong thi công nhà ga đường sắt cao tốc sẽ được trình bày chi tiết như sau:

1) Quy mô công trình lớn, khối lượng thi công đồ sộ

Các nhà ga hành khách đường sắt mới được xây dựng nhằm đáp ứng nhu cầu phát triển trong tương lai, với thiết kế tiên tiến về quy mô và bố trí chức năng. Việc thiết kế nhà ga được tích hợp chặt chẽ với giao thông đô thị và giao thông đường sắt, tạo thành một trung tâm giao thông đa tầng thông qua hệ thống cầu vượt. Vì vậy, nhà ga không chỉ là trung tâm giao thông chính mà còn trở thành công trình công cộng quy mô lớn, mang tính biểu tượng của địa phương.

2) Kết cấu phức tạp, kết hợp nhiều dạng kết cấu khác nhau

Thiết kế nhà ga hành khách đảm bảo khả năng kết nối giữa nhiều phương thức vận tải như đường sắt truyền thống, đường sắt cao tốc, tàu điện ngầm, xe buýt và hàng không, tạo thành một trung tâm giao thông liên hợp. Do phải tính đến sự phối hợp với các kết cấu như nhà ga tàu điện ngầm và cầu vượt, kết cấu công trình trở nên rất phức tạp. Ngoài ra, để đáp ứng yêu cầu về không gian lớn và kết cấu khẩu độ rộng, kết cấu thép được sử dụng rộng rãi trong thi công.

3) Hệ thống thiết bị đa dạng, khó khăn trong điều phối

Các nhà ga hành khách lớn hiện đại là những trung tâm giao thông tích hợp, được trang bị nhiều hệ thống quản lý và thiết bị tiên tiến. Số lượng hệ thống lắp đặt trong nhà ga rất lớn và đa dạng, đòi hỏi sự phối hợp đồng bộ giữa các bộ phận chuyên

môn. Việc điều phối các hạng mục lắp đặt trở thành một thách thức lớn trong quá trình thi công.

4) Tiến độ thi công căng thẳng

Do kết cấu công trình phức tạp và sử dụng nhiều công nghệ, kỹ thuật mới cũng như vật liệu tiên tiến, việc thi công nhà ga gặp nhiều khó khăn, đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ giữa các chuyên ngành. Bên cạnh đó, thiết kế nhà ga thường mang tính độc đáo và yêu cầu cao về mặt kỹ thuật, dẫn đến việc phương án thiết kế phải qua nhiều lần thẩm định và điều chỉnh. Điều này khiến cho thời điểm khởi công nhà ga thường muộn hơn so với thời điểm khởi công các tuyến đường sắt chuyên dụng.

5) Tiêu chuẩn thi công cao, mức độ tích hợp công nghiệp lớn

Nhà ga hành khách đường sắt cao tốc là biểu tượng của một thành phố và đại diện cho hình ảnh đô thị, do đó thu hút sự quan tâm rộng rãi từ xã hội trong suốt quá trình thiết kế và thi công. Với quy mô công trình lớn và yêu cầu tiến độ khắt khe, việc huy động nhân lực và thiết bị thi công rất lớn, đòi hỏi sự bố trí hợp lý các công trình tạm thời tại công trường. Đặc biệt, việc quy hoạch hệ thống giao thông nội bộ cần đảm bảo các tiêu chí "thống nhất, thẩm mỹ, dễ nhận diện" và phải được bố trí hợp lý nhằm giảm thiểu việc tháo dỡ hay chỉnh sửa không cần thiết, bảo đảm tính bền vững, chắc chắn, đồng thời tối ưu chi phí đầu tư và phù hợp với nhu cầu thực tế.

I. CÔNG NGHỆ THI CÔNG HỐ MÓNG SÂU VÀ XỬ LÝ NỀN ĐẤT YẾU

Trong hai thập kỷ qua, cùng với sự phát triển nhanh chóng của nền kinh tế, đặc biệt tại các thành phố ven biển phát triển, nhiều công trình xây dựng quy mô lớn đã được triển khai. Các công trình như tầng hầm của tòa nhà cao tầng, trung tâm thương mại ngầm, nhà ga đường sắt cao tốc và các dự án hạ tầng đô thị lớn như bãi đỗ xe ngầm, nhà ga tàu điện ngầm, trạm biến áp ngầm hay hệ thống thoát nước và xử lý nước thải đều đòi hỏi ứng dụng kỹ thuật thi công hố móng sâu. Do yêu cầu ngày càng phức tạp về chức năng, sự đa dạng trong các hệ thống chống đỡ và việc kết hợp nhiều quy trình thi công khác nhau, việc thiết kế và thi công hố móng sâu đã đặt ra nhiều thách thức về lý thuyết, thiết kế và thực hành.

Để giải quyết những thách thức đó, các kỹ sư tại Trung Quốc đã tiến hành nghiên cứu chuyên sâu về lý thuyết, thiết kế, công nghệ thi công và thiết bị chuyên dụng cho hố móng. Qua đó, nhiều giải pháp chống đỡ hiệu quả đã được phát triển như tường chắn trọng lực bằng xi măng - đất, đinh đất và đinh đất phức hợp, cọc ván thép, cọc khoan nhồi liên tục, phương pháp SMW (Soil Mixing Wall), tường chắn

ngầm, neo trong đất, hệ chống đỡ bằng thép và bê tông. Những tiến bộ này đã góp phần quan trọng vào thành công của hàng loạt công trình hố móng sâu quy mô lớn, có độ phức tạp cao và yêu cầu kỹ thuật khắt khe, giúp nâng cao đáng kể trình độ thiết kế và thi công hố móng tại Trung Quốc.

Trong các dự án xây dựng nhà ga đường sắt cao tốc, do quy mô lớn của nhà ga cùng các công trình phụ trợ được thi công đồng thời, trung tâm giao thông trở thành một công trình khổng lồ với nhiều vấn đề liên quan đến kỹ thuật hố móng sâu. Các dự án này thường có ba đặc điểm nổi bật:

(1) Liên quan mật thiết đến điều kiện địa chất tự nhiên và môi trường, rủi ro thi công cao

Việc thi công hố móng sâu phụ thuộc rất lớn vào điều kiện địa chất, thủy văn và khí hậu. Quá trình thiết kế và thi công cần tính toán toàn diện các yếu tố này cũng như sự thay đổi của chúng trong suốt quá trình thi công. Đặc biệt, cần hiểu rõ mối quan hệ và tác động giữa việc đào hố móng với môi trường địa chất và khu vực xung quanh. Đối với các hố móng sâu trong vùng đất mềm, cần đặc biệt chú ý đến ảnh hưởng của việc đào hố theo cả không gian và thời gian.

(2) Liên quan chặt chẽ đến việc thi công không gian ngầm của công trình chính

Việc thiết kế hố móng không chỉ đảm bảo an toàn cho hố và môi trường xung quanh mà còn phải đáp ứng các yêu cầu về tiến độ và tính khả thi khi thi công không gian ngầm của công trình chính. Điều này đòi hỏi các phương án thi công phải dễ dàng triển khai và có tính khả thi cao.

(3) Tính tổng hợp kỹ thuật cao, phạm vi liên quan rộng

Hố móng sâu là một lĩnh vực đòi hỏi sự tích hợp cao giữa nhiều chuyên ngành như thiết kế, thi công, giám sát, quản lý, quan trắc và xử lý nước ngầm. Đây là một công nghệ ứng dụng đa lĩnh vực, đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ và hiệu quả giữa các đơn vị tham gia.

Dựa trên các tiến bộ mới trong lĩnh vực thi công hố móng sâu, tài liệu sẽ giới thiệu chi tiết một số công nghệ quan trọng bao gồm:

- Kỹ thuật chống đỡ hố móng sâu
- Phương pháp thi công ngược (Top-Down Construction)
- Kỹ thuật thi công tường chắn ngầm siêu sâu trong điều kiện địa chất phức tạp
- Kỹ thuật rút nước khi thi công hố móng sâu quy mô lớn

1. Kỹ thuật chống đỡ hố móng sâu

Hố móng là phần hố đào cần thiết khi thi công công trình nhà ở, công trình đô thị hoặc công trình ngầm. Để đảm bảo an toàn cho quá trình thi công hố móng, cho kết

cấu ngầm chính của công trình và tránh gây ảnh hưởng đến môi trường xung quanh, cần áp dụng các biện pháp chống đỡ, hạ mực nước ngầm, đào và lấp đất, bao gồm các công việc như khảo sát, thiết kế, thi công và quan trắc. Đây được gọi là kỹ thuật hố móng, một lĩnh vực đa dạng, phức tạp trong thi công công trình ngầm. Kỹ thuật này thuộc nhóm công trình có mức độ rủi ro cao, là một ngành khoa học liên ngành, tích hợp nhiều kiến thức như địa chất công trình, cơ học đất, nền móng công trình, cơ học kết cấu, kỹ thuật thí nghiệm hiện trường, công nghệ thi công, tương tác giữa đất và kết cấu, cũng như địa kỹ thuật môi trường.

Các hệ thống như tường chắn, hệ thống chống đỡ (hoặc neo đất), thanh giằng và màn chống thấm được gọi chung là kết cấu chống đỡ (Hình 5-3-1). Kỹ thuật chống đỡ hố móng bao gồm nhiều giai đoạn liên quan chặt chẽ như chống đỡ đất, hạ mực nước ngầm, đào đất và các biện pháp bảo vệ khác. Nếu bất kỳ giai đoạn nào bị lỗi, toàn bộ công trình có thể bị thất bại. Theo thống kê, tỷ lệ tai nạn liên quan đến hố móng khá cao, chiếm hơn 1/4 tổng số các công trình hố móng. Các sự cố chủ yếu bao gồm: dịch chuyển lớn của kết cấu chống đỡ, phá hủy kết cấu chống đỡ, sạt lở và sụt lún nghiêm trọng của hố móng, nứt và sụt lún mặt đường gần hố móng, dịch chuyển và phá hủy các công trình ngầm lân cận (đường ống, cáp điện), nứt hoặc thậm chí sập đổ các công trình xây dựng gần đó.



Hình 5-3-1: *Kết cấu chống đỡ hố móng tại ga Vu Gia Bảo*

1.1. Đặc điểm của kỹ thuật hố móng sâu

(1) Kỹ thuật hố móng liên quan đến nhiều yếu tố và là công nghệ mang tính tổng hợp, bao gồm khảo sát địa điểm, thiết kế hố móng, thi công, quan trắc, quản lý hiện trường và ảnh hưởng qua lại giữa các công trình lân cận.

(2) Xu hướng xây dựng công trình cao tầng dẫn đến sự phát triển của hố móng theo hướng sâu hơn và rộng hơn, với chiều dài và chiều rộng có thể lên tới hàng trăm mét, gây ra nhiều khó khăn cho hệ thống chống đỡ.

(3) Do sự phát triển đô thị và cải tạo khu vực cũ, việc thi công hố móng thường được thực hiện trong các khu vực có mật độ xây dựng cao, gần các công trình quan trọng hoặc cơ sở hạ tầng đô thị cần được bảo vệ, không thể mở rộng hố móng bằng phương pháp đào thoải mái. Điều này dẫn đến yêu cầu nghiêm ngặt về độ ổn định và kiểm soát chuyển vị của hố móng. Việc thi công hố móng tại các khu vực lân cận thường gây ảnh hưởng và hạn chế lẫn nhau trong các công đoạn như đóng cọc, hạ mực nước ngầm, đào đất, khiến công tác phối hợp trở nên phức tạp hơn.

(4) Điều kiện địa chất ngày càng kém, việc xây dựng đô thị không giống như các công trình quan trọng như nhà máy thủy điện hay nhà máy điện hạt nhân, nơi có thể lựa chọn địa điểm xây dựng trên những vùng đất tốt. Thay vào đó, hố móng phải được xây dựng theo quy hoạch đô thị, thường trên những địa chất yếu. Điều này đặc biệt phổ biến tại các khu vực ven biển, nơi đất yếu, mực nước ngầm cao và điều kiện phức tạp khiến hố móng dễ gặp các vấn đề như trượt đất, mất ổn định hố móng, dịch chuyển cọc, phồng đáy, rò rỉ nghiêm trọng tại kết cấu chống đỡ, rửa trôi đất dẫn đến hư hại công trình. Những vấn đề này gây nguy hiểm lớn cho sự an toàn của các công trình lân cận, công trình ngầm và hệ thống đường ống.

(5) Thời gian thi công hố móng thường kéo dài, từ khi bắt đầu đào cho đến khi hoàn thành toàn bộ công trình ngầm dưới mặt đất phải trải qua nhiều đợt mưa lớn, chất tải xung quanh và các tác động rung động, gây bất lợi cho sự ổn định của hố móng.

(6) Các hình thức chống đỡ hố móng rất đa dạng, mỗi loại đều có phạm vi ứng dụng và ưu, nhược điểm riêng, trong cùng một điều kiện địa chất có thể áp dụng nhiều phương án chống đỡ khác nhau. Việc so sánh và lựa chọn giải pháp chống đỡ phù hợp nhất là bước quan trọng trong quá trình thiết kế.

(7) Tai nạn trong hố móng xảy ra thường xuyên, bất kể điều kiện địa chất tốt hay xấu, bất kể độ sâu của hố móng, các sự cố vẫn thường xảy ra, gây ra tổn thất kinh tế nghiêm trọng và ảnh hưởng lớn đến cuộc sống của người dân.

1.2. Các loại hình chống đỡ hố móng

Chống đỡ hố móng có hai chức năng chính: chống giữ đất và chống thấm nước.

Hiện nay, các công trình sử dụng nhiều loại kết cấu chống đỡ khác nhau, thường được chia thành hai loại chính:

- Hệ thống chống đỡ kiểu cọc (tường)
- Hệ thống chống đỡ kiểu trọng lực

Tùy thuộc vào loại hình công trình và điều kiện cụ thể, hai loại này có thể phát triển thành nhiều dạng kết cấu chống đỡ khác nhau, đồng thời có nhiều phương pháp phân loại. Kết cấu chống đỡ bao gồm hai phần: chống giữ đất (chống thấm nước) và

hệ thống chống đỡ, neo giữ. Trong đó, phần chống giữ đất có thể là loại thấm nước hoặc chống thấm nước tùy theo điều kiện địa chất và thủy văn.

1.3. Lựa chọn phương án chống đỡ hố móng

Nguyên nhân chính gây ra nhiều sự cố trong các công trình chống đỡ hố móng sâu là do lựa chọn loại hình kết cấu chống đỡ không phù hợp và chưa xem xét đầy đủ các yếu tố liên quan. Hiện có nhiều phương pháp chống đỡ và neo giữ khác nhau, mỗi phương pháp đều có những ưu điểm riêng như: thi công nhanh, tiết kiệm chi phí, ít tiếng ồn, ít tiêu hao điện và nước.

Việc lựa chọn loại hình kết cấu chống đỡ cần dựa trên các tiêu chí cơ bản sau:

(1) Kích thước và hình dạng của hố móng, bao gồm chiều sâu, chiều rộng và hình dạng mặt bằng của hố móng.

(2) Tải trọng tác động lên kết cấu chống đỡ, bao gồm tải trọng ngang, tải trọng thẳng đứng, tải trọng do động đất, tải trọng do gió và tải trọng vượt mức trên mặt đất.

(3) Điều kiện địa chất và thủy văn, bao gồm thông tin khảo sát, phương pháp thí nghiệm, tình trạng nước ngầm, sự phân bố của nước ngầm, mực nước trên bề mặt, tầng nước chịu áp và khí chịu áp lực.

(4) Điều kiện môi trường, bao gồm tính chất khu vực xung quanh hố móng, tình trạng các công trình lân cận, hệ thống cơ sở hạ tầng công cộng và các công trình ngầm, đường ống; tình trạng giao thông và đường sá; tình trạng sông ngòi và thủy vực gần đó; các điều kiện đặc thù của khu vực và yêu cầu đặc biệt đối với thi công hố móng.

(5) Yêu cầu của kết cấu móng và kết cấu phía trên công trình đối với hệ thống chống đỡ.

(6) Phương pháp đào hố móng và thoát nước.

(7) Yêu cầu về tiếng ồn, rung động và ô nhiễm mặt đất khi thi công hệ thống chống đỡ.

(8) Kinh nghiệm từ các công trình chống đỡ hố móng tương tự đã thi công trong khu vực, bao gồm bài học từ các thành công và thất bại trước đó.

(9) Đặc điểm và phạm vi ứng dụng của các công nghệ chống đỡ đã được sử dụng.

(10) Quy chuẩn và hướng dẫn thiết kế hố móng tương ứng.

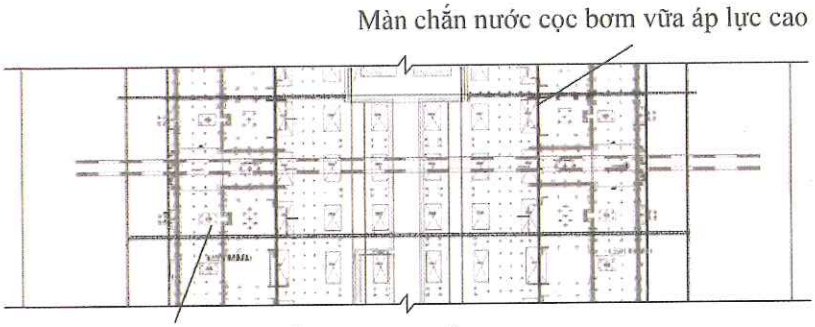
Việc lựa chọn phương án chống đỡ phải tuân theo các nguyên tắc thiết kế kết cấu chống đỡ, đồng thời, quan trọng hơn là phải dựa vào tình hình thực tế và áp dụng các giải pháp sáng tạo, linh hoạt. Do đó, việc lựa chọn phương án cần được cân nhắc tổng thể dựa trên yêu cầu của toàn bộ công trình chống đỡ.

1.4. Trường hợp điển hình của dự án

Dự án xây dựng nhà ga Đông Hàng Châu nằm tại quận Giang Can, thành phố Hàng Châu, được giới hạn bởi các tuyến đường Tân Phong Đông ở phía đông, đường Thiên Thành ở phía nam, đường Đông Ninh ở phía tây và đường Tân Thang ở phía bắc. Thiết kế của nhà ga bao gồm 15 sân ga và 30 đường ray, với dự phòng 3 sân ga và 4 đường ray cho hệ thống đường sắt từ tính (maglev). Tổng diện tích xây dựng là 155.569 m², chiều cao công trình là 39,3 m, gồm 2 tầng trên mặt đất (tầng sân ga, tầng cao tốc và tầng thương mại lửng) và 3 tầng ngầm (tầng hành lang ra vào ga, tầng sảnh ga tàu điện ngầm và tầng sân ga tàu điện ngầm). Tổng giá trị hợp đồng của dự án khoảng 2,8 tỷ nhân dân tệ. Phía đông và tây của nhà ga kết nối với quảng trường phía trước ga, phía nam và bắc kết nối với tuyến đường sắt và hành lang ngầm dành cho xe taxi. Hình ảnh toàn cảnh nhà ga được thể hiện trong Hình 5-3-2, và sơ đồ chống đỡ mặt bằng được thể hiện trong Hình 5-3-3.



***Hình 5-3-2**: Toàn cảnh nhà ga Đông Hàng Châu*



***Hình 5-3-3:** Mặt bằng chống đỡ*

Qua phân tích, phương án chống đỡ bằng tường chắn đất dạng tổ hợp cọc công nghệ SMW và tường đinh đất phức hợp cho toàn bộ nhà ga không đáp ứng được yêu cầu thiết kế, do đó cần phải điều chỉnh lại. Cuối cùng, phương án thiết kế chống đỡ được lựa chọn là:

- Phía Tây: sử dụng cọc công nghệ SMW đặt dày kèm với neo dự ứng lực.
- Phía Đông: sử dụng cọc phun xi măng cao áp kết hợp với đào dốc lớn để chống thấm và chống đỡ.

Tại phần đáy hố móng của nhà ga có các đài móng cọc của đường sắt quốc gia với cao độ đáy đài từ -16,200 m (cao độ tuyệt đối -5,950 m) đến -17,200 m (cao độ tuyệt đối -6,950 m), thấp hơn đáy hố móng từ 3,2 m đến 4,2 m. Nếu đào trực tiếp sẽ dẫn đến mất ổn định hố móng. Để đảm bảo sự ổn định và ngăn ngừa sụp đổ diện rộng khi đào, đồng thời xét đến yếu tố thi công thuận tiện và khả năng tái sử dụng vật liệu, phần hố móng này sử dụng giải pháp chống đỡ bằng cọc ván thép Larssen dài 12 m. Để đẩy nhanh tiến độ thi công nhà ga và sớm hoàn thiện khu vực công trường, việc lắp dựng kết cấu thép tại tầng đường ray dự kiến được triển khai sớm hơn kế hoạch ban đầu. Tại một số vị trí gần mép hố móng sâu, nơi cần có lối đi cho cần cẩu bánh xích 150 tấn, việc thi công đài móng và sàn đáy vẫn chưa hoàn thành, đồng thời hai bên đường và mép đài móng có chênh lệch cao từ 2 m đến 3 m. Để đáp ứng yêu cầu di chuyển của cần cẩu lớn, khu vực đường hai bên đài móng đã được gia cố bằng cách sử dụng các tấm ván thép hai bên đài móng, liên kết với nhau bằng thanh thép đường kính 28 mm, sau đó được gia cố và làm cứng bề mặt.

Việc xây dựng nhà ga Đông Hàng Châu còn phải xét đến sự phối hợp tổng thể của hệ thống chống đỡ hố móng, ảnh hưởng của hệ thống chống đỡ hố móng sẵn có cho tàu điện ngầm và tuyến đường hầm khoan ngầm, khiến cho việc thi công trở nên rất phức tạp. Giải pháp chống đỡ bằng cọc công nghệ SMW kết hợp với neo dự ứng lực tại khu vực gần tuyến đường sắt hiện hữu đã được chứng minh trên thực tế là an toàn và hiệu quả. Phương pháp này có ưu điểm về tốc độ thi công nhanh, chi phí thấp, không ảnh hưởng đến công tác thi công kết cấu tiếp theo, và đặc biệt, việc rút cọc sau khi hoàn thành không gây ảnh hưởng đến hoạt động khoan ngầm của tàu điện ngầm trong tương lai, do đó được coi là một giải pháp lý tưởng.

2. Kỹ thuật thi công theo phương pháp thi công ngược

Cùng với sự phát triển không ngừng của ngành xây dựng trong nước, quỹ đất tại trung tâm các thành phố lớn ngày càng trở nên khan hiếm. Việc đảm bảo an toàn cho các hố móng sâu và giảm thiểu ảnh hưởng của quá trình thi công đến môi trường xung quanh tại các khu vực trung tâm đô thị, nơi có mật độ cao các công trình cao tầng, tuyến đường ngầm và hệ thống hạ tầng kỹ thuật, đã trở thành một thách thức

lớn trong thi công xây dựng. Phương pháp thi công ngược được coi là giải pháp hiệu quả để khắc phục những khó khăn này. Đây là một công nghệ thi công mới được phát triển song song với quá trình đô thị hóa và cải tạo khu vực nội thành, áp dụng trong các công trình có tầng hầm nhiều tầng và kết cấu ngầm nhiều lớp. Phương pháp này giúp đảm bảo an toàn trong thi công tại các khu vực đô thị có mật độ xây dựng cao, rút ngắn thời gian thi công, giảm chi phí cho các biện pháp chống đỡ tạm thời và tối đa hóa giá trị kinh tế của quỹ đất, do đó ngày càng được sử dụng rộng rãi trong xây dựng các nhà ga đường sắt cao tốc.

Phương pháp thi công ngược có cốt lõi là thi công các tầng hầm từ trên xuống dưới. Theo đó, các tầng ngầm bên dưới mặt đất (hoặc một tầng ngầm trung gian) được thi công theo trình tự từ trên xuống dưới. Hệ thống khung kết cấu bao gồm các tấm sàn và cột đỡ tạo ra độ cứng ngang và khả năng chịu nén, đóng vai trò như kết cấu chống đỡ cho hố móng và cho phép tiến hành đào đất. Nguyên lý của phương pháp thi công ngược là:

- Đầu tiên, dọc theo biên giới hố móng hoặc xung quanh khu vực công trình, tiến hành thi công tường chắn ngầm hoặc các hệ thống cọc chống đỡ để tạo lớp bảo vệ hố móng.
- Sau đó, tại các vị trí đã định sẵn bên trong khu vực công trình, thi công các cột chống đỡ và cọc dọc làm kết cấu đứng.
- Tiếp theo, thi công dầm và sàn tại mặt đất hoặc tầng ngầm đầu tiên, tạo thành hệ thống khung kết cấu ổn định, đóng vai trò như lớp chống đỡ ngang đầu tiên.
- Tiến hành đào đất theo từng lớp và thi công kết cấu các tầng ngầm bên dưới theo trình tự từ trên xuống dưới. Quá trình này được lặp lại cho đến khi hoàn thành thi công tầng đáy. Đồng thời, do tầng trên cùng đã được hoàn thiện nên có thể tiến hành thi công phần kết cấu phía trên mặt đất song song với quá trình đào và thi công tầng ngầm.

Phương pháp thi công ngược được chia thành hai loại chính dựa trên điều kiện địa chất và cách bố trí hệ thống chống đỡ:

(1) Phương pháp thi công ngược hoàn toàn

o Đất được đào theo từng lớp từ trên xuống dưới, thi công sàn tầng hầm từng lớp từ trên xuống dưới. Đồng thời, kết cấu phía trên mặt đất (hoặc một phần kết cấu ngầm) được xây dựng song song với quá trình đào đất.

o Số tầng kết cấu phía trên được thi công song song sẽ được xác định dựa trên bố trí của kết cấu dọc, khả năng chịu tải, điều kiện kết cấu ngầm và tải trọng từ kết cấu phía trên.

(2) Phương pháp thi công ngược bán phần

o Chỉ đào đất và thi công các tầng hầm theo trình tự từ trên xuống dưới. Kết cấu phía trên mặt đất sẽ được thi công sau khi hoàn thành toàn bộ phần ngầm.

o Phương pháp này thường được sử dụng tại các khu vực có địa chất yếu hoặc đất mềm.

Ngoài hai phương pháp chính trên, còn có các biến thể như:

- Phương pháp thi công ngược một phần.
- Phương pháp thi công ngược với đào đất dạng chậu.
- Phương pháp thi công ngược từng phần theo lớp.

Bên cạnh đó, còn có các biến thể như:

- Phương pháp thi công kết hợp giữa thi công thuận và thi công ngược.
- Phương pháp thi công ngược với đào đất dạng chậu.
- Phương pháp thi công ngược với đào đất dạng dải.
- Phương pháp thi công ngược có tính đến hiệu ứng thời gian và không gian.

Các kỹ thuật thi công quan trọng và hỗ trợ bao gồm:

- Kỹ thuật hạ nước ngầm.
- Thi công cọc chống đỡ đứng.
- Thi công tường chắn ngầm.
- Kỹ thuật chống thấm cho kết cấu thi công ngược.
- Gia cố đất.
- Phương pháp đào đất.
- Kỹ thuật cách ly công trình với các công trình xung quanh.
- Kỹ thuật quan trắc và thi công thông minh.

Các chỉ số kỹ thuật chính của phương pháp thi công ngược bao gồm:

- Số tầng ngầm và độ sâu của hố móng thi công ngược.
- Độ thẳng đứng của cột chống đỡ.
- Ngoài ra, các chỉ số kỹ thuật phụ khác như: độ sâu chôn tường chắn ngầm, công nghệ gia cố đất và kỹ thuật hạ nước ngầm cũng là những yếu tố quan trọng tạo nên các chỉ số kỹ thuật cốt lõi của phương pháp thi công này.

2.1. Các kỹ thuật chính trong thi công ngược

(1) Kỹ thuật hạ nước ngầm và chống thấm

Việc kiểm soát nước ngầm trong hố móng thi công ngược không chỉ đáp ứng yêu cầu làm khô đáy hố móng để thi công mà còn cần tính đến yếu tố thân thiện

với môi trường và quá trình thi công. Các biện pháp kiểm soát nước ngầm bao gồm: bơm hút nước để hạ thấp mực nước ngầm, kiểm soát việc bơm thoát nước và tạo màn chống thấm.

Khi kết cấu ngầm nằm trong tầng đất giàu nước và có độ thấm lớn, phương pháp ưu tiên là hạ thấp mực nước ngầm nhằm ổn định lớp đất xung quanh và tăng cường an toàn cho kết cấu chống đỡ. Các phương pháp hạ nước ngầm thường được sử dụng trong thi công ngược bao gồm: mương thoát nước kết hợp giếng thu nước, hệ thống giếng điểm nhẹ, giếng phun, giếng điện thẩm thấu và giếng ống. Phương pháp giếng ống thường được sử dụng nhiều nhất do ưu điểm có lưu lượng thoát nước lớn, độ sâu hạ mực nước ngầm lớn và phạm vi hạ nước rộng, phù hợp với tầng đất sỏi cát có hệ số thấm lớn và lớp thấm dày. Phương pháp này áp dụng cho các tầng đất có hệ số thấm từ 10 đến 250 m/ngày, có thể hạ thấp mực nước ngầm hơn 15 m và còn được sử dụng để hạ thấp nước chịu áp lực. Các phương pháp khác như mương thoát nước kết hợp giếng thu thường được dùng như biện pháp hỗ trợ trong thi công ngầm.

Trong thi công ngược, thường áp dụng phương pháp kết hợp hạ nước ngầm ngoài hố móng và thoát nước bên trong hố để giảm áp lực nước. Khi phương án hạ nước ngầm không đáp ứng được yêu cầu hoặc bị hạn chế bởi quy định, cần áp dụng các biện pháp chống thấm trước khi đào đất, như tạo màn chống thấm. Các phương pháp chống thấm chính bao gồm:

- Tường chắn ngầm.
- Cọc phun vữa xi măng áp lực cao.
- Cọc SMW chống thấm.
- Bơm vữa tạo màn chống thấm.

Phương pháp màn chống thấm được sử dụng rộng rãi trong thi công ngược, đặc biệt là tường chắn ngầm, do tường này có thể thực hiện đồng thời nhiều chức năng: chống thấm, chống đỡ và làm tường ngoài của công trình ngầm. Tường chắn ngầm có phạm vi ứng dụng rộng, có thể thi công trên nền đất yếu, đất pha sét, lớp cát sỏi chặt hoặc nền đá. Với độ cứng lớn, tường chắn ngầm có khả năng chịu áp lực đất cao, giúp giảm thiểu nguy cơ lún sụt hoặc sạt lở trong quá trình đào đất.

Phương pháp phun vữa áp lực cao có thể sử dụng các công nghệ ống đơn, ống đôi hoặc ống ba, với các hình dạng khối gia cố như cột trụ tròn, hình quạt, tấm tường hoặc dạng bản. Phương pháp này phù hợp để xử lý nền đất yếu như bùn, đất pha bùn, đất chảy, đất mềm dẻo hoặc đất dẻo, đất cát, đất pha cát, đất lấp hoặc đất đá dăm.

Phương pháp SMW (Soil Mixing Wall) là kỹ thuật chèn dầm thép hình chữ I hoặc các loại vật liệu chịu lực khác vào các cọc xi măng trộn sâu, nhằm tăng khả năng chịu uốn và chống cắt cho cọc, đồng thời cải thiện đáng kể khả năng chống

thấm. Phương pháp này có ưu điểm là thời gian thi công ngắn, chi phí thấp và khả năng chống thấm tốt.

(2) Kỹ thuật gia cố đất

Hố móng thi công ngược thường nằm gần các công trình xây dựng hiện hữu, vì vậy gia cố cục bộ lớp đất là biện pháp chính để đảm bảo an toàn cho hố móng và các công trình lân cận. Kỹ thuật gia cố đất chủ yếu cải thiện cấu trúc của đất nhằm tăng cường độ và độ ổn định của đất, đây là công nghệ hỗ trợ thường được sử dụng trong thi công ngược. Hiện nay, các kỹ thuật gia cố đất thường dùng bao gồm: phương pháp bơm vữa, phương pháp phun vữa áp lực cao, và phương pháp đông lạnh.

• Phương pháp bơm vữa: Thường tiến hành bơm vữa gia cố theo chiều thẳng đứng từ mặt đất vào trong đất. Các loại bơm vữa chính bao gồm: bơm vữa tĩnh áp, bơm vữa tách khe và bơm vữa hóa học, lần lượt áp dụng cho các loại đất có độ rỗng khác nhau như tầng cát sỏi, tầng cát và tầng đất bùn. Về phương pháp bơm, có thể chia thành bơm vữa lỗ sâu tiến dần và bơm vữa lùi dần.

Về vật liệu bơm vữa, ngoài các loại vữa xi măng thông thường và vữa thủy tinh lỏng biến tính, còn có các loại vữa nở như vữa TGRM, vữa không co ngót, vữa WSS, vữa xi măng siêu mịn và vữa MS.

• Phương pháp cọc phun vữa áp lực cao: Sử dụng máy khoan để đưa ống bơm có gắn đầu phun vào sâu trong đất đến độ sâu đã định trước. Sau đó, dưới áp suất từ 20 đến 40 MPa, phun vữa hoặc nước qua đầu phun để phá vỡ cấu trúc ban đầu của đất và trộn đều với vữa. Quá trình này tạo thành khối gia cố với tỷ lệ và chất lượng vữa - đất nhất định, giúp đất tái cấu trúc và đông kết thành một khối gia cố chắc chắn.

Phương pháp phun vữa áp lực cao được chia thành phương pháp ống đơn, phương pháp ống đôi, phương pháp ống ba và phương pháp nhiều ống, tùy theo cách thức thi công. Hình dạng của khối gia cố có thể là hình cột, hình tường hoặc hình khối. Ngoài tác dụng gia cố nền đất, phương pháp này còn có khả năng chống thấm nước, ngăn nước ngầm, được áp dụng trong các công trình ngầm như chống đỡ thành hố móng, bảo vệ đáy hố và xây dựng màn chống thấm dưới lòng đất.

(3) Vận chuyển đất theo phương ngang và nâng theo phương thẳng đứng

Khác với phương pháp đào hở, nơi đất được vận chuyển bằng đường dốc, trong thi công ngược cần giải quyết vấn đề vận chuyển đất theo phương ngang dưới mặt đất và nâng đất theo phương thẳng đứng. Hiệu quả vận chuyển đất quyết định trực tiếp đến hiệu suất thi công. Trong quá trình thi công ngược, đất chủ yếu được đào bằng máy móc, kết hợp với lao động thủ công hỗ trợ. Phương pháp vận chuyển đất theo phương ngang thường sử dụng máy ủi, xe ba bánh tay lái hoặc các thiết bị

tương tự. Trong một số trường hợp đặc biệt, có thể bố trí đường dốc qua các lỗ chờ sẵn trên kết cấu để hỗ trợ vận chuyển đất.

Việc nâng đất theo phương thẳng đứng thường được thực hiện qua các lỗ chờ hoặc giếng đứng đã bố trí trước. Thiết bị nâng chính bao gồm khung nâng đặt tại lỗ chờ hoặc giếng đứng kết hợp với tời điện, gầu ngoạm. Tùy thuộc vào điều kiện giếng đứng hoặc lỗ chờ, cũng có thể sử dụng máy xúc có tay cần dài hoặc gầu ngoạm tay cần dài để nâng đất. Trong đó, gầu ngoạm tay cần dài có hiệu suất làm việc cao nhất. Cần lưu ý rằng, đối với các công trình thi công ngược có hố móng lớn, thường áp dụng phương pháp thi công thuận cho khu vực tòa nhà chính và thi công ngược cho khu vực tòa nhà thấp tầng hoặc khu vực phụ trợ. Do đó, các công trình dạng này có thể tận dụng phần hố móng thi công thuận để bố trí đường dốc vận chuyển đất hoặc nâng đất từ khu vực hố móng thi công thuận đã hoàn thiện.

(4) Kỹ thuật cách ly và bảo vệ công trình lân cận

Thi công kết cấu không gian ngầm thường không thể tránh khỏi việc phải thi công gần hoặc đi qua dưới, bên cạnh các công trình hiện hữu như nhà cửa, nhà xưởng và nền móng của chúng, cũng như đường sá, đường ống, tàu điện ngầm, đường sắt và các công trình khác. Để đảm bảo an toàn cho công trình ngầm đang thi công và các công trình lân cận, cần áp dụng các biện pháp cách ly hoặc bảo vệ phù hợp. Việc thi công gần công trình lân cận cần bắt đầu bằng khảo sát chi tiết điều kiện công trình, điều kiện địa chất, hiện trạng của các công trình hiện hữu và các yêu cầu an toàn. Dựa trên kết quả khảo sát, tiến hành phân tích, dự đoán và lập kế hoạch các biện pháp bảo vệ phù hợp. Trong quá trình thi công, việc quan trắc, giám sát liên tục giúp điều chỉnh và đảm bảo an toàn cho các công trình hiện hữu.

Các biện pháp thi công khi gần công trình lân cận bao gồm:

- Cách ly: Thực hiện gia cố đất bằng cách bơm vữa hoặc thi công cọc cách ly, cọc phun vữa xi măng cao áp trong phạm vi giữa công trình ngầm mới và công trình hiện hữu.
- Bảo vệ treo: Áp dụng biện pháp bảo vệ tạm thời cho các đường ống trong phạm vi thi công ngược hoặc đào hầm ngầm đi qua dưới.
- Gia cố nền móng: Sử dụng các biện pháp như bơm vữa gia cố hoặc thay thế nền móng khi thi công ngầm đi qua dưới nền móng nhà cửa, cầu cống hoặc các công trình khác.
- Chống đỡ tạm thời: Sử dụng các hệ thống chống đỡ tạm thời để bảo vệ an toàn cho công trình lân cận trong quá trình thi công.

(5) Kỹ thuật thi công tường chắn ngầm

Tường chắn ngầm là kết cấu bao quanh hố móng phổ biến nhất trong thi công ngược, thường kiêm nhiệm vai trò tường ngoài của tầng hầm và cấu trúc chống thấm cho hố móng. Quá trình thi công tường chắn ngầm bao gồm các công đoạn chính như: tạo rãnh, xử lý mối nối, gia công và lắp đặt lồng thép, đổ bê tông. Các công đoạn này là những yếu tố kỹ thuật quan trọng quyết định chất lượng thi công. Việc lựa chọn thiết bị tạo rãnh và kiểm soát chất lượng dung dịch khoan là yếu tố then chốt. Tùy thuộc vào loại đất hay đá, cần sử dụng các thiết bị khác nhau; dung dịch khoan thường được kiểm soát chất lượng thông qua hệ thống tuần hoàn dung dịch và xử lý dung dịch thải.

Phương pháp xử lý mối nối của các đoạn tường chủ yếu sử dụng ống khóa tròn mềm hoặc tấm thép chữ thập (hoặc hình ô chữ 井). Nhờ khả năng chống thấm tốt hơn, tấm thép chữ thập ngày càng được sử dụng rộng rãi. Việc gia công lồng thép được đảm bảo thông qua các biện pháp như sử dụng bệ gia công lồng thép, định vị chính xác và lắp đặt các tấm đệm. Đặc biệt, khi tường chắn ngầm đóng vai trò tường ngoài kết cấu, việc định vị chính xác và bảo vệ các đầu nối thép của sàn là rất quan trọng. Ngoài ra, việc xử lý mối nối các đoạn tường thường sử dụng công nghệ phun vữa áp lực cao để chống thấm, công nghệ cẩu hai máy để lắp đặt lồng thép siêu dài và kiểm tra độ thẳng đứng bằng siêu âm, nhằm đảm bảo chất lượng thi công tường chắn ngầm.

(6) Kỹ thuật thi công cột và cọc đỡ trung gian

Cột và cọc đỡ trung gian trong cấu trúc ngầm đóng vai trò truyền tải trọng của kết cấu phía trên xuống đáy tầng hầm. Trong quá trình thi công, các cột và cọc đỡ trung gian phải chịu tải trọng của các tầng trên và tải trọng thi công. Do đó, cột và cọc đỡ trung gian cần được thi công hoàn thiện trước khi thi công kết cấu sàn, không thể đồng thời thi công cùng sàn tầng hầm. Đặc biệt, việc thi công cột đỡ trong khu vực thi công ngược cần kết hợp với thi công cọc, nghĩa là tiến hành lắp đặt cột đỡ đồng thời với thi công cọc.

Có hai phương pháp thi công cột và cọc đỡ trung gian:

1. Phương pháp thi công cọc trước, cột sau.

2. Phương pháp thi công đồng bộ cọc và cột (phổ biến hơn hiện nay).

Trong phương pháp thi công đồng bộ, nhiều đột phá kỹ thuật đã được thực hiện như kiểm soát độ thẳng đứng của lỗ cọc bằng siêu âm có độ chính xác cao, giám sát và điều chỉnh độ thẳng đứng của cột trong thời gian thực, công nghệ đổ bê tông liên tục cho cọc và cột, đảm bảo độ thẳng đứng và chất lượng thi công của cột đỡ trung gian.

(7) Kỹ thuật quan trắc

Quan trắc trong thi công công trình ngầm là một phần quan trọng để đảm bảo an toàn cho công trình. Thông qua các phép đo quan trắc, có thể điều chỉnh kịp thời các thông số thiết kế và thi công. Các hạng mục và nội dung quan trắc thường bao gồm:

- Lún bề mặt.
- Biến dạng công trình xung quanh.
- Lún đường ống.
- Độ nghiêng và biến dạng của kết cấu bao quanh hố móng.
- Lún và biến dạng hội tụ của đỉnh vòm đường hầm.
- Biến dạng lồi đáy hố móng.
- Ứng suất của các cột đỡ thẳng đứng.

Các thiết bị quan trắc thường được sử dụng bao gồm máy đo lực trục, máy đo ứng suất, máy thủy chuẩn, máy toàn đạc và máy đo nghiêng. Trong quá trình quan trắc, việc lắp đặt và bảo vệ các thiết bị tại từng điểm quan trắc đã được cải tiến đáng kể, giúp nâng cao độ chính xác và hiệu quả của công tác quan trắc.

Trong quá trình thi công ga tàu điện ngầm bằng phương pháp bán ngược, do điều kiện địa chất, môi trường xung quanh và đặc điểm của công trình dạng hầm kín, sự lún và biến dạng của nền đất xung quanh có sự chênh lệch lớn. Ngoài ra, do tác động thường xuyên của việc tháo tải - chất tải, nội lực trong kết cấu nhà ga liên tục bị phân bổ lại, dẫn đến hiện tượng lún vi sai, gây nguy cơ mất an toàn trong quá trình thi công tiếp theo và khi công trình đưa vào sử dụng.

2.2. Các khó khăn kỹ thuật chính trong thi công bán ngược tại khu vực giao cắt giữa tầng ngầm và ga tàu điện ngầm

(1) Khẩu độ kết cấu công trình lớn, nhiều công đoạn chuyển đổi, sự chuyển đổi lực giữa địa tầng và kết cấu phức tạp, gây khó khăn trong việc kiểm soát biến dạng địa tầng và lún vi sai của kết cấu.

(2) Đường kính cọc trung gian lớn, tổng chiều dài cọc dài, gây khó khăn trong việc định vị và kiểm soát lún.

(3) Khu vực quanh ga tàu điện ngầm có nhiều công trình xây dựng và kết cấu hiện hữu, giao thông đông đúc, các công trình ngầm và đường ống dày đặc, yêu cầu rất cao về việc kiểm soát rủi ro môi trường trong quá trình thi công.

(4) Địa tầng tại khu vực ga có kết cấu phức tạp, yêu cầu cao về công nghệ thi công cọc trung gian, việc kiểm soát chất lượng cọc móng gặp nhiều khó khăn, ảnh hưởng lớn đến việc kiểm soát lún vi sai của kết cấu.

2.3. Trường hợp điển hình

Dự án tuyến tàu điện ngầm số 2 Lan Châu được xây dựng dưới hành lang giao thông đô thị tại tầng xuất ga của Ga Tây Lan Châu, theo hướng Bắc - Nam, với tổng chiều dài đoạn tuyến 421 m, chiều rộng tiêu chuẩn từ 11,4 m đến 13,6 m, chu vi hố móng khoảng 785 m, và diện tích khoảng 5517,7 m². Hố móng được chống đỡ bằng hệ thống cọc khoan nhồi kết hợp hai lớp chống đỡ. Kết cấu chính của công trình là hệ khung cột, các cột khung được bố trí dọc theo hướng Bắc - Nam, tường bao dày 0,7 m, giữa tường bố trí dầm trung gian và sàn trung gian. Sàn mái được thiết kế với hệ dầm khung theo hướng Bắc - Nam, đồng thời cũng là sàn đáy của nhà ga. Hình ảnh thực tế thi công tại tuyến tàu điện ngầm Lan Châu số 2 được thể hiện trong (Hình 5-3-4, Hình 5-3-5).



Hình 5-3-4: *Công trường thi công tàu điện ngầm*



Hình 5-3-5: *Thi công đào đất*

Do kết cấu chống đỡ phức tạp và yêu cầu thi công nhiều công đoạn, đồng thời bị giới hạn bởi đặc điểm kết cấu, không gian và tiến độ thi công, không thể thực hiện đồng bộ hoàn toàn với kết cấu nhà ga. Vì vậy, dự án đã áp dụng phương pháp thi công bán ngược, trong đó giai đoạn đầu thi công cọc công trình và lớp chống đỡ thứ nhất đồng thời với sàn đáy của nhà ga, giai đoạn sau thi công lớp chống đỡ thứ hai và kết cấu chính của tuyến tàu điện ngầm sau khi hoàn thành kết cấu nhà ga. Quá trình thi công được thực hiện qua bốn giai đoạn:

(1) Giai đoạn 1

Cọc bao của tuyến tàu điện ngầm được bố trí dọc hai bên tường kết cấu tuyến, thuộc phạm vi trục Z8 - Z9 của nhà ga. Việc thi công cọc bao được tiến hành đồng thời với thi công cọc công trình của nhà ga. Trước tiên, tiến hành thi công cọc công trình tại trục 8 và 9 của nhà ga, sau khi hoàn tất, tiếp tục thi công cọc bao của tuyến tàu điện ngầm.

(2) Giai đoạn 2

Sau khi hoàn thành cọc bao của tuyến tàu điện ngầm, tiến hành thi công dầm đội và lớp chống đỡ bê tông thứ nhất. Việc thi công dầm đội và lớp chống đỡ được thực hiện từ Bắc xuống Nam, đồng thời với thi công kết cấu sàn đáy của nhà ga.

(3) Giai đoạn 3

Hoàn tất thi công dầm đội và lớp chống đỡ bê tông thứ nhất, tạm dừng thi công tuyến tàu điện ngầm, đợi đến khi toàn bộ kết cấu bê tông của nhà ga được hoàn thành. Khi tháo dỡ hệ thống chống đỡ tại tầng ngầm thứ nhất của nhà ga, tiếp tục thi công tuyến tàu điện ngầm.

(4) Giai đoạn 4

Sau khi hoàn thành tuyến tàu điện ngầm bên trong nhà ga, tiếp tục thi công tuyến tàu điện ngầm phía Bắc nhà ga. Quá trình thi công tuyến phía Bắc được thực hiện đồng thời với thi công quảng trường phía Bắc của nhà ga, sử dụng phương pháp đào rộng kết hợp đổ nền theo lớp và đào dốc.

Công nghệ thi công bán ngược đã được áp dụng hiệu quả tại dự án Ga Tây Lan Châu và tuyến tàu điện ngầm, với tổ chức thi công hợp lý giúp giải quyết được các mâu thuẫn giữa việc thi công kết cấu nhà ga và tuyến tàu điện ngầm, cũng như giữa việc thi công tuyến tàu điện ngầm và hoàn thiện nhà ga. Việc này giúp tối ưu hóa nguồn lực lao động và thiết bị, đảm bảo hoàn thành đúng tiến độ và đạt được mục tiêu kết nối tổng thể giữa nhà ga và tuyến tàu điện ngầm.

3. Kỹ thuật thi công tường chắn ngầm siêu sâu trong địa chất phức tạp

Dựa vào đặc điểm địa chất phức tạp với yêu cầu thi công "sâu, lớn, gần, khó" của nhà ga đường sắt cao tốc, công nghệ thi công tường chắn ngầm được áp dụng rộng rãi. Tường chắn ngầm được xây dựng bằng cách sử dụng thiết bị đào rãnh, đào một rãnh dài và sâu bao quanh khu vực hố móng trong điều kiện được bảo vệ bằng dung dịch khoan. Sau đó, đổ vật liệu thích hợp vào rãnh để tạo thành các đoạn tường và nối các đoạn này lại với nhau, hình thành một bức tường ngầm liên tục.

Tường chắn ngầm được công nhận là một trong những kết cấu chống giữ và chống thấm tốt nhất cho hố móng sâu, với các ưu điểm như: độ cứng tổng thể lớn, biến dạng của kết cấu chống đỡ nhỏ, khả năng chống thấm tốt, phạm vi ứng dụng rộng và có thể làm tường ngoài của tầng hầm. Kỹ thuật thiết kế và thi công tường chắn ngầm như một kết cấu nền móng sâu và kết cấu bao quanh hố móng sâu đã rất phát triển. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển của đô thị hóa và nhu cầu khai thác không gian ngầm ngày càng sâu hơn, tường chắn ngầm ngày càng được thi công với

độ sâu lớn hơn và độ dày tăng lên, đồng thời các địa tầng đi qua ngày càng phức tạp hơn. Thông thường, những tường chắn ngầm có độ sâu trên 50 m được gọi là tường chắn ngầm siêu sâu.

Việc thi công tường chắn ngầm siêu sâu trong địa chất phức tạp gặp phải những khó khăn lớn ở ba khía cạnh chính:

1- Địa tầng phức tạp: Phần trên thường là đất mềm, phần dưới có thể là đất cứng, như cát chặt và thậm chí là nền đá gốc. Việc đào rãnh bằng thiết bị thông thường gặp khó khăn trong các lớp đất cứng và đá gốc, hiệu suất đào thấp, răng gầu dễ bị hỏng và phải thay thế thường xuyên.

2- Khó khăn trong xử lý mối nối: Khi sử dụng các loại ống khóa thông thường, việc nhổ lên rất khó. Lực nhổ lớn có thể gây đứt hoặc chôn vùi ống khóa do chất lượng hàn của ống hoặc độ bền của tường dẫn không đảm bảo.

3- Khó khăn trong việc kiểm soát ổn định thành rãnh và độ thẳng đứng: Khi độ sâu tăng, việc giữ ổn định thành rãnh và kiểm soát độ thẳng đứng của rãnh trở nên phức tạp hơn rất nhiều.

• Quy trình thi công tường chắn ngầm:

Tiêm vữa gia cố địa tầng → Thi công tường dẫn → Đo đạc định vị tim tuyến → Pha trộn dung dịch khoan, máy khoan xoay tạo lỗ → Máy đào rãnh lấy đất giữa các lỗ khoan → Pha trộn dung dịch khoan, khoan đập sâu đến đáy lỗ → Dùng đầu khoan vuông chỉnh sửa rãnh → Kiểm tra rãnh, làm sạch lỗ khoan → Gia công và lắp đặt lồng thép → Làm sạch lỗ khoan lần thứ hai → Đổ bê tông lấp đầy rãnh.

3.1. Đặc điểm của tường chắn ngầm

(1) Thi công bằng thiết bị cơ giới giúp tiến độ nhanh, độ chính xác cao, ít rung động, tiếng ồn thấp, đặc biệt thích hợp với khu vực đô thị có mật độ xây dựng cao hoặc thi công vào ban đêm, giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường xung quanh.

(2) Sử dụng bê tông cốt thép hoặc bê tông không cốt thép làm tăng cường độ và tính đồng nhất của tường, nâng cao độ cứng và khả năng chịu tải, giảm thiểu biến dạng của kết cấu và nền móng. Tường chắn ngầm có thể sử dụng cho cả kết cấu chống đỡ siêu sâu và kết cấu chính của công trình.

(3) Phù hợp với nhiều loại địa tầng khác nhau: Ngoại trừ địa tầng đá nóng chảy, tường chắn ngầm có thể thi công an toàn ở địa tầng mềm yếu hoặc gần các công trình quan trọng, đặc biệt là tại những khu vực có đường ống ngầm, nơi việc kiểm soát lún và biến dạng tương đối dễ dàng.

(4) Thi công bằng dung dịch khoan giữ thành hố móng, có tác dụng niêm phong và bảo vệ thành rãnh, đảm bảo quá trình thi công an toàn và đáng tin cậy. Điều này

giúp hạn chế lún sụt ở khu vực nền móng xung quanh, đồng thời đảm bảo chất lượng và an toàn công trình.

(5) Không cần đào dốc khi thi công hố móng, giúp giảm khối lượng đất đào đáng kể. Việc đổ bê tông không cần ván khuôn và bảo dưỡng bê tông, có thể thi công trong điều kiện nhiệt độ thấp, từ đó giảm chi phí và rút ngắn thời gian thi công.

(6) Tường chắn ngầm có tính đồng nhất cao, với độ dày của tường và lớp bảo vệ cốt thép lớn, do đó có khả năng chống thấm và độ bền rất cao.

(7) Kết hợp thi công theo phương pháp ngược, cho phép thi công đồng thời với kết cấu chính phía trên, tích hợp các chức năng chống giữ, chống thấm và chịu tải. Đây là một phương pháp hiệu quả cho thi công nền móng sâu nhiều tầng, giúp đảm bảo an toàn, đẩy nhanh tiến độ và giảm chi phí xây dựng.

3.2. Những điểm cần cải thiện của tường chắn ngầm

Tương tự như các công nghệ và kết cấu xây dựng khác, tường chắn ngầm cũng có những nhược điểm riêng cần tiếp tục được cải thiện, cụ thể như sau:

(1) Khó kiểm soát mối nối của tường chắn ngầm, đây là một trong những điểm yếu trong quá trình thi công.

(2) Mặc dù đảm bảo được độ thẳng đứng của tường, nhưng bề mặt tường thường thô ráp, cần được xử lý thêm hoặc thi công lớp tường lót.

(3) Mỗi công đoạn thi công như lựa chọn máy đào rãnh, tạo rãnh ngầm, đổ bê tông, xử lý dung dịch khoan đều cần được xử lý cẩn thận, không được bỏ sót bất kỳ công đoạn nào.

(4) Việc sản xuất và xử lý dung dịch khoan chiếm diện tích lớn, dễ khiến công trường trở nên lầy lội, gây ô nhiễm; đất thải và dung dịch khoan thải cần được vận chuyển ra ngoài, làm tăng chi phí và gây ảnh hưởng đến môi trường.

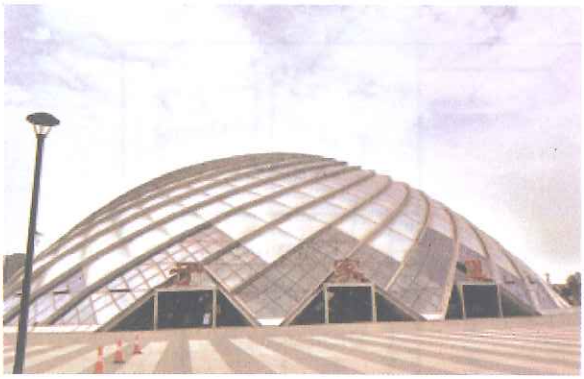
(5) Vấn đề về khả năng thích ứng với điều kiện địa chất và thi công: Về lý thuyết, tường chắn ngầm có thể áp dụng cho mọi loại địa tầng, nhưng phù hợp nhất với địa tầng đất sét. Trong trường hợp điều kiện địa chất phức tạp, thi công trở nên khó khăn và chi phí xây dựng tăng cao.

(6) Nguy cơ sập thành rãnh: Trong quá trình thi công, nếu mực nước ngầm tăng nhanh, dung dịch khoan bị tụt nhanh hoặc chất lượng dung dịch khoan không đảm bảo, cộng với quản lý thi công không tốt hay gặp phải lớp cát mềm yếu xen kẽ, thành rãnh dễ bị sụp đổ. Nếu xảy ra sự cố nhẹ, sẽ làm bê tông tường bị thừa, kích thước cấu trúc vượt quá giới hạn; nếu sự cố nghiêm trọng, có thể dẫn đến sụt lún hoặc sụp đổ mặt đất xung quanh, gây hư hỏng công trình lân cận và đường ống ngầm.

3.3. Trường hợp điển hình

Ga Vu Gia Bảo nằm ở quận Tân Hải, thành phố Thiên Tân, với tổng diện tích nhà ga là 87.943 m², gồm 3 tầng ngầm và 1 tầng nổi. Các khu chức năng chính đều được bố trí dưới lòng đất, trong đó ga tàu điện ngầm nằm ở tầng ngầm thứ ba, ga liên tỉnh ở tầng ngầm thứ hai và sảnh chờ hành khách ở tầng ngầm thứ nhất, chỉ có phần mái vòm hình vỏ sò nằm trên mặt đất. Hố móng nhà ga có độ sâu 21 m, còn hố móng ga tàu điện ngầm có độ sâu 29,5 m.

Khu vực ven biển phía Bắc, nơi ga Vu Gia Bảo được xây dựng, có tầng đất chứa nhiều lớp bùn, lớp cát dày và nguồn nước ngầm, nước chịu áp lực rất phong phú. Bên cạnh đó, ga Vu Gia Bảo nằm ở khu vực trung tâm thành phố đông đúc với nhiều công trình xung quanh, yêu cầu cao về độ an toàn của hố móng. Dựa trên nhiều yếu tố, kết cấu chống đỡ hố móng sử dụng tường chắn ngầm hình chữ T, với độ sâu vượt quá 60 m, gồm 17 m lớp bùn và 40 m lớp cát dày, địa chất thi công rất phức tạp (Hình 5-3-6, Hình 5-3-7).



Hình 5-3-6: *Ga Vu Gia Bảo*



Hình 5-3-7: *Thi công ga Vu Gia Bảo*

(1) Gia cố tầng đất bề mặt

Sử dụng cọc xi măng trộn sâu đường kính 600 mm, khoảng cách 400 mm, với bố trí cọc đôi hai bên tường dẫn theo hàng đơn, xuyên qua lớp bùn đến độ sâu 0,5 m dưới lớp bùn.

(2) Thi công tường dẫn tường chắn ngầm

Mặt cắt tường dẫn sử dụng kết cấu bê tông hình chữ "][", thi công thành ba bước:

- Bước 1: Thi công sàn đáy.
- Bước 2: Sau khi hoàn thành thi công sàn đáy, tiến hành thi công phần thân tường.
- Bước 3: Khi thân tường đạt 70% cường độ, tiến hành lấp đất hai bên tường dẫn và thi công sàn trên cùng của tường dẫn.

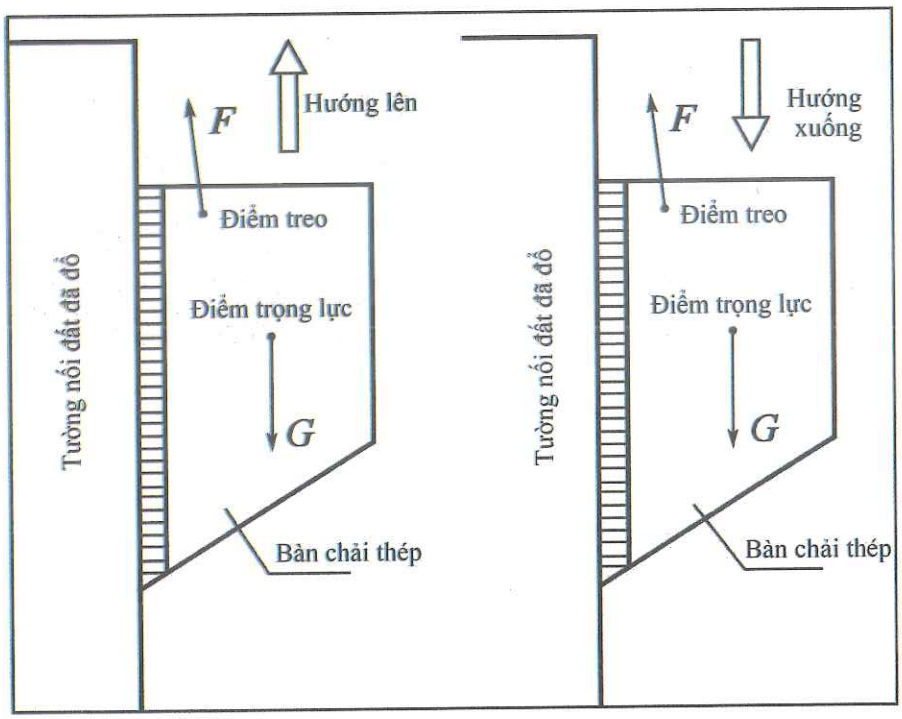
(3) Thi công phần tường chắn ngầm đầu tiên

Tường chắn ngầm hình chữ T có chiều rộng 4 m, máy đào rãnh mỗi lần có thể đào rộng 2,8 m. Để đảm bảo lực cân bằng hai bên máy đào rãnh, lần đầu tiên thi công tường chắn ngầm sử dụng phương pháp đào bốn rãnh với chiều rộng tổng cộng 6.600 mm, mỗi bên đào quá khoảng 1.300 mm.

(4) Thi công phần tường chắn ngầm liền kề

Sau khi hoàn thành đổ bê tông phần tường chắn ngầm đầu tiên và rút hộp nối ra, máy đào rãnh thực hiện lần đào thứ nhất tại đầu xa của đoạn tường liền kề. Sau khi hoàn tất lần đào thứ nhất, tiếp tục tiến hành lần đào thứ hai cho đoạn nhô ra của tường chắn hình chữ T, cuối cùng đào phần đất phía sát tường chắn ngầm đầu tiên. Thứ tự thi công này đảm bảo máy đào không bị lệch khi đào, giữ được độ thẳng đứng của rãnh đào.

(5) Làm sạch bề mặt rãnh đào



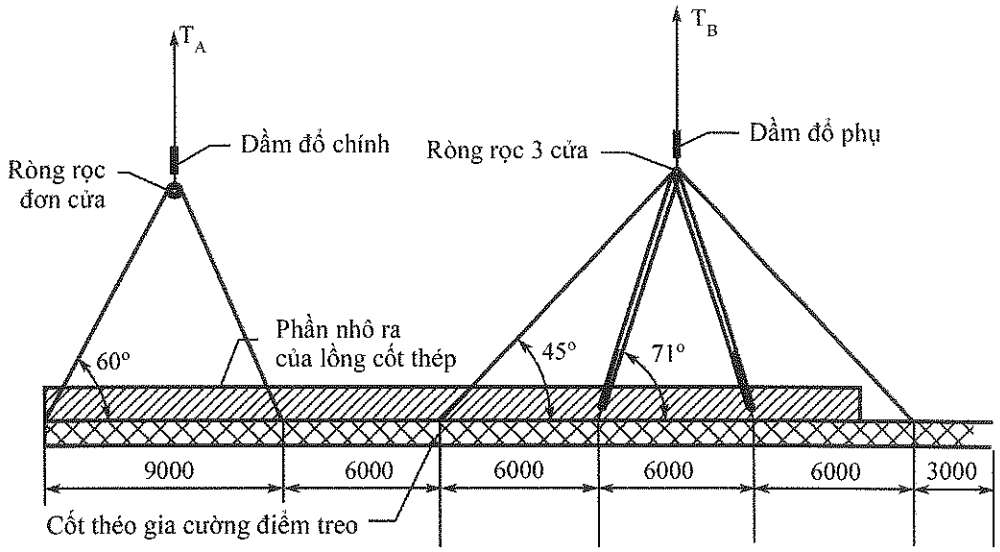
Hình 5-3-8: *Sơ đồ minh họa mối nối bàn chải treo lệch tâm*

Trong quá trình đào rãnh, tại hiện trường bố trí các dụng cụ làm sạch chuyên dụng có thể kết nối với máy đào rãnh. Những dụng cụ này được dùng để cạo sạch lớp bùn, cặn bẩn và các vật bám khác trên bề mặt thép hình chữ I tại đoạn cuối rãnh

đào. Sau khi loại bỏ các tạp chất bám dính, sử dụng thiết bị chuyên dụng để chải sạch bề mặt nhằm loại bỏ hoàn toàn lớp bùn còn sót lại trên thép nối. Dụng cụ làm sạch sử dụng loại bàn chải treo lệch tâm (Hình 5-3-8) để đảm bảo bề mặt bàn chải tiếp xúc sát với bề mặt thép nối, đạt hiệu quả làm sạch tối ưu. Sau khi đào đến cao độ thiết kế, tiếp tục dùng bàn chải treo lệch tâm làm sạch bề mặt nối, chải ít nhất 10 lần, cho đến khi không còn bùn bám trên bề mặt bàn chải, đảm bảo mối nối giữa thép hình chữ I và bê tông được liên kết chặt chẽ, ngăn ngừa hiện tượng rò rỉ nước tại mối nối tường chắn ngầm.

(6) Lắp đặt lồng thép

Để tránh lồng thép bị biến dạng trong quá trình lắp đặt, cần gia cố lồng thép trước khi cẩu lắp (Hình 5-3-9).



Hình 5-3-9: *Sơ đồ bố trí điểm cẩu lồng thép cho đoạn tiêu chuẩn có bố trí cốt thép (Đơn vị kích thước: mm)*

(7) Đổ bê tông

Theo yêu cầu thiết kế, lắp đặt thép hoặc ống thép ϕ30 ở hai bên thép hình chữ I để ngăn bê tông tràn qua hai bên thép nối. Khi gia công lồng thép, dọc theo hai bên thép hình chữ I trên toàn bộ lồng thép cần lắp đặt các tấm tôn mỏng. Khi đổ bê tông, tận dụng tính lưu động của bê tông, tấm tôn sẽ bị ép chặt vào thành rãnh, bịt kín khoảng trống giữa thép nối và thành rãnh, ngăn không cho bê tông chảy tràn qua hai bên.

Dự án ga Vu Gia Bảo có quy mô lớn với hố móng siêu rộng, siêu sâu, áp lực nước ngầm rất cao, lưu lượng nước lớn và điều kiện địa chất phức tạp. Kỹ thuật thi

công tường chắn ngầm sâu 60 m đã giải quyết được các vấn đề thi công khó khăn như:

- Thi công rãnh đào tường chắn ngầm trong điều kiện địa chất phức tạp với lớp bùn và cát dày.
- Giữ độ thẳng đứng và tránh lệch trong quá trình đào rãnh sâu.
- Khắc phục khó khăn do hiện tượng chảy tràn bê tông ở phần nối các đoạn tường.
- Gia công và lắp đặt các lồng thép có độ cứng khác nhau.

4. Thi công hạ mực nước ngầm cho hố móng sâu và lớn

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển nhanh chóng của đô thị và việc xây dựng hàng loạt tuyến đường sắt cao tốc, số lượng công trình hố móng sâu ngày càng tăng. Phần lớn hố móng khi thi công đều chịu ảnh hưởng của nước ngầm. Để ngăn chặn hiện tượng xói mòn do thấm và giảm áp lực bên của kết cấu chống đỡ, việc hạ mực nước ngầm là cần thiết trong quá trình đào hố móng. Qua nhiều trường hợp sự cố hố móng, nguyên nhân chính thường là do việc hút nước ngầm lâu dài dẫn đến lún bề mặt đất. Do đó, trong thiết kế hố móng, việc hạ, thoát và chống thấm nước là một phần cực kỳ quan trọng. Trong quá trình đào hố móng và hạ mực nước ngầm, để tránh hiện tượng cát chảy, đất sạt lở hay đáy hố móng bị lồi lên gây ảnh hưởng đến sự ổn định và tiến độ thi công, việc kiểm soát nước ngầm là bắt buộc.

4.1. Mục đích hạ mực nước ngầm

(1) Giảm mực nước ngầm bên trong hố móng một cách hiệu quả, gia cố lớp đất bên trong hố móng và dưới đáy hố, tăng khả năng chống chịu của đất, từ đó giảm thiểu hiện tượng lồi đáy và biến dạng của kết cấu chống đỡ, đồng thời ngăn ngừa lún bề mặt đất bên ngoài hố móng.

(2) Giảm lượng nước trong đất cần đào một cách hiệu quả, giảm nguy cơ xảy ra hiện tượng trượt dọc đất trong quá trình đào, tạo điều kiện thuận lợi cho máy móc đào đất, vận chuyển đất ra ngoài và thi công bên trong hố móng.

(3) Giảm mực nước trong tầng chứa nước chịu áp lực ở phía dưới, ngăn ngừa hiện tượng thấm ngược, phun nước hoặc đột ngột trào nước tại đáy hố móng, đảm bảo sự ổn định của sàn đáy hố móng.

4.2. Nguyên tắc vận hành hạ mực nước ngầm

Nước ngầm là tài nguyên quý giá của quốc gia. Trong những năm gần đây, việc khai thác nước ngầm quá mức đã gây ra hiện tượng lún mặt đất trên diện rộng tại nhiều khu vực ở Trung Quốc. Do đó, việc hạ mực nước ngầm cần tránh tình trạng hút nước quá mức dẫn đến lãng phí tài nguyên nước. Kết hợp với phương án đào

đất, để đảm bảo an toàn trong vận hành hạ mực nước và đáp ứng yêu cầu thi công đào hố móng, việc hạ mực nước cần tuân theo các nguyên tắc sau: hạ mực nước theo từng lớp, hạ nước theo nhu cầu và điều chỉnh động theo tình hình thực tế.

(1) Hạ nước theo từng lớp:

Đối với nước ngầm không áp lực, việc hạ nước theo từng lớp thông qua các giếng thoát nước được thực hiện dựa trên phương án đào từng bước của hố móng. Mực nước tại các giếng quan trắc cần được giữ ở mức thấp hơn từ 0,5 m đến 1 m so với mặt đào đất. Trong giai đoạn thử nghiệm hút nước, nếu mực nước bên ngoài hố móng không thay đổi nhiều, có thể tăng cường độ hút nước để nhanh chóng hạ mực nước xuống đến cao độ đáy hố móng, nâng cao hiệu suất thoát nước, giảm độ ẩm trong đất và tạo thuận lợi cho việc đào và vận chuyển đất.

Đối với nước chịu áp lực, cần giảm áp theo từng lớp tương ứng với từng tầng chứa nước chịu áp lực. Việc kiểm soát độ sâu giảm mực nước cần tuân thủ nghiêm ngặt quan hệ tuyến tính giữa độ giảm áp của nước và độ sâu đào đất. Điều này đảm bảo không hút nước quá mức hoặc không đủ độ sâu, từ đó giảm thiểu tác động của việc hạ nước đến môi trường bên ngoài hố móng.

(2) Hạ nước theo nhu cầu:

Đối với hố móng có diện tích lớn, đất thường được đào theo từng đoạn, từng khu vực. Dựa trên tình hình cụ thể về phương pháp đào và hệ thống màng chống thấm của hố móng, cần điều chỉnh số lượng giếng thoát nước và phạm vi hạ nước theo từng bước, đảm bảo hiệu quả thoát nước phù hợp với nhu cầu thực tế.

(3) Điều chỉnh động:

Quá trình vận hành hạ mực nước là một quá trình động, liên tục thay đổi. Do ảnh hưởng của việc đào đất và các công tác thi công khác diễn ra đồng thời, cần điều chỉnh phương án hạ nước một cách linh hoạt và kịp thời để đáp ứng yêu cầu thi công tại hiện trường. Việc điều chỉnh phải đảm bảo an toàn và hiệu quả, đáp ứng tiến độ thi công.

4.3. Yêu cầu thiết kế và lựa chọn phương án hạ mực nước ngầm cho hố móng

Phương án hạ mực nước ngầm phải đáp ứng các yêu cầu sau:

(1) Trong suốt quá trình thi công hố móng, mực nước ngầm phải được giữ ở mức thấp hơn đáy hố từ 0,5 m đến 1,5 m.

(2) Không gây hiện tượng lồi đáy hố móng.

(3) Không ảnh hưởng đến việc sử dụng bình thường của các công trình và đường ống ngầm xung quanh hố móng.

(4) Đảm bảo độ ổn định của mái dốc hố móng.

4.4. Trường hợp điển hình

Ga Chu Hải là ga cuối của dự án đường sắt đô thị liên thành phố Quảng Châu - Chu Hải. Diện tích xây dựng phần trên mặt đất của nhà ga là 19.488,32 m², diện tích xây dựng phần ngầm là 70.612,80 m². Đây là một nhà ga trên cao, phía dưới nhà ga có hai tầng hầm, tổng diện tích hố móng tầng hầm khoảng 38.000 m², cao độ đáy hố móng là -11,2 m, độ sâu cục bộ tại các bệ móng là 14,20 m. Do xung quanh hố móng có nhiều đường ống ngầm nên hệ thống chống đỡ sử dụng tường chắn ngầm với độ sâu từ 26 m đến 30 m. Trong quá trình thi công hố móng sâu, thách thức lớn nhất của việc hạ mực nước ngầm là tránh gây ảnh hưởng đến các công trình xung quanh (Hình 5-3-10).



Hình 5-3-10: *Ga Chu Hải*

Hệ thống tường chắn ngầm bao quanh hố móng: phía Bắc có độ sâu 26 m, phía Nam và hai bên có độ sâu 30 m, kết hợp với hai lớp chống đỡ bằng bê tông cốt thép bên trong (Hình 5-3-11).



Hình 5-3-11: *Sơ đồ bố trí hệ thống chống đỡ bằng bê tông cốt thép bên trong*

Tầng chứa nước chịu áp lực có độ sâu nhỏ nhất khoảng 15,0 m, trong khi mặt đào đã gần chạm đến tầng nước này, gây nguy cơ rất lớn về hiện tượng phun trào nước do áp lực. Qua nghiên cứu và so sánh, đối với lớp nước ngầm nông bên trong hố móng, sử dụng phương pháp thoát nước bằng giếng sâu; còn đối với tầng nước chịu áp lực, tiến hành hạ nước bên trong hố móng, độ sâu của giếng thoát nước không vượt quá độ sâu của tường chắn ngầm.

Phương án "hạ nước theo nhu cầu" được áp dụng cho tầng nước chịu áp lực bên trong hố móng. Bên ngoài phía Bắc của hố móng, bố trí 14 giếng tái cấp nước với khoảng cách giữa các giếng là 30 m, độ sâu giếng 22 m. Khi mực nước chịu áp lực bên ngoài hố móng thay đổi vượt quá 2 m, cần khởi động các giếng tái cấp nước và kiểm soát hợp lý mực nước chịu áp lực để giảm thiểu tác động của việc hạ nước đến môi trường.

4.5. Các điểm chính trong thi công giếng thoát nước

(1) Yêu cầu về vật liệu thi công giếng thoát nước được liệt kê trong Bảng 5-3-1.

Bảng 5-3-1: Yêu cầu về vật liệu thi công giếng thoát nước

STT	Tên vật liệu	Vị trí áp dụng		
		Giếng giảm áp; Giếng quan trắc	Giếng thoát nước	Giếng tái cấp nước
1	Ống giếng	ϕ273mm thép ống, độ dày ≥ 4mm	ϕ273mm thép ống, độ dày ≥ 3mm	ϕ273mm thép ống, độ dày ≥ 4mm
2	Ống lọc	Bộ lọc kiểu cầu, độ dày ≥ 4mm, đường kính 273mm, độ rỗng ≥ 15%	Bộ lọc quấn dây, độ dày ≥ 3mm, đường kính 273mm, khoảng cách quấn dây 1.5 ~ 2.0mm	Bộ lọc quấn dây hai lớp, độ dày ≥ 4mm, đường kính 273 ~ 350mm, khoảng cách quấn dây 1.5 ~ 2.0mm
3	Ống lắng	ϕ273mm thép ống, độ dày ≥ 4mm, cao 1m, đáy ống hàn bằng thép cùng độ dày	ϕ273mm thép ống, độ dày ≥ 3mm, cao 1m, đáy ống hàn bằng thép cùng độ dày	ϕ273mm thép ống, độ dày ≥ 4mm, cao 1m, đáy ống hàn bằng thép dày 4mm
4	Lưới bọc	Lưới nylon đơn lớp 40 mesh	Lưới nylon đơn lớp 40 mesh	-

Bảng 5-3-1: *(tiếp theo)*

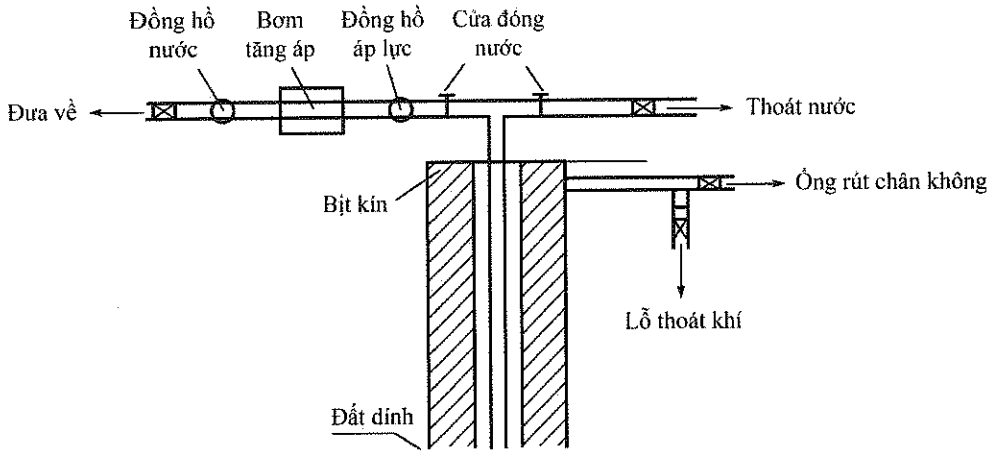
STT	Tên vật liệu	Vị trí áp dụng		
		Giếng giảm áp; Giếng quan trắc	Giếng thoát nước	Giếng tái cấp nước
5	Vật liệu lấp sỏi	Cát sỏi tiêu chuẩn	Cát xây dựng thô	Cát thạch anh tiêu chuẩn
6	Chặn nước	Phía trên lớp sỏi 5.00m dùng cầu đất sét chất lượng cao ϕ50mm để chặn nước	-	Phía trên lớp sỏi 10.00m dùng cầu đất sét chất lượng cao ϕ50mm để chặn nước; phía trên cầu đất sét 7.00m đổ bê tông C30

(2) Quy trình thi công giếng thoát nước

Quy trình bao gồm các bước: Chuẩn bị → Đưa máy khoan vào vị trí → Định vị và lắp đặt máy khoan → Khoan tạo lỗ → Đặt ống bảo vệ → Khoan sâu → Thổi rửa lỗ khoan và thay dung dịch khoan → Đặt ống giếng → Pha loãng dung dịch khoan → Lấp cát → Chặn nước và bịt lỗ khoan → Rửa giếng → Đặt bơm và thử hút nước.

(3) Quy trình tái cấp nước

Trong quá trình tái cấp nước, cần sử dụng máy bơm nước công suất lớn hoặc máy bơm áp lực để tăng áp lực tái cấp nước (Hình 5-3-12).



Hình 5-3-12: *Sơ đồ minh họa tăng áp tái cấp nước*

(4) Vận hành giếng thoát nước

Trước khi vận hành chính thức, cần tiến hành chạy thử để đo mực nước tĩnh và kiểm tra hiệu quả của việc hạ nước. Đồng thời, cần kiểm tra hệ thống điện để đảm bảo giếng thoát nước hoạt động liên tục.

(5) Giám sát mực nước bên trong và bên ngoài hố móng

Trong suốt quá trình vận hành hạ nước, cần tiến hành giám sát thủ công kết hợp với giám sát tự động. Hệ thống giám sát tự động sử dụng đầu dò mực nước và thiết bị thu thập dữ liệu MT515 để thu thập dữ liệu và giám sát hệ thống mực nước ngầm theo thời gian thực.

(6) Biện pháp tái cấp nước cho hố móng

Do tường chắn ngầm không thể ngăn hoàn toàn tầng chứa nước chịu áp lực, để giảm thiểu tác động của việc hạ mực nước ngầm bên trong hố móng đến khu vực bên ngoài, cần bố trí các giếng tái cấp nước bên ngoài hố móng, nâng mực nước bên ngoài hố móng lên nhằm giảm thiểu hiện tượng lún do cố kết đất.

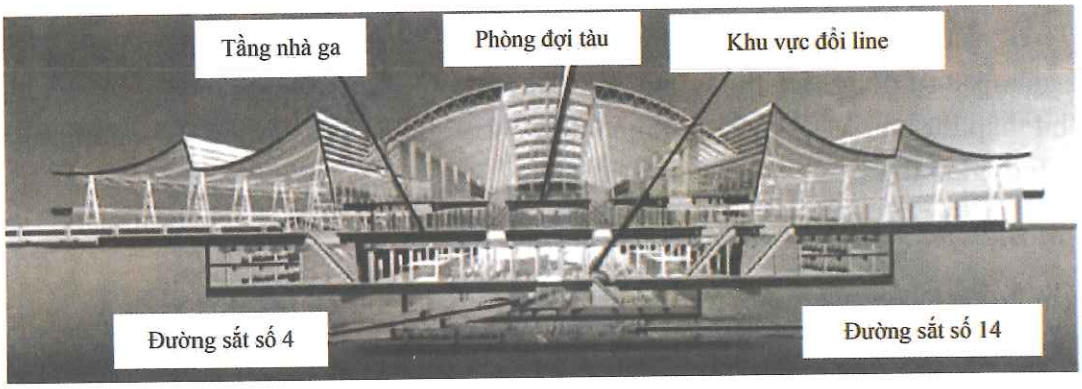
Trong quá trình thi công, đối với các tầng chứa nước đặc biệt, sử dụng bộ lọc quấn dây để thoát nước hiệu quả từ lớp bùn có hàm lượng nước cao bên trong hố móng, đảm bảo an toàn khi đào hố móng. Trong suốt thời gian đào hố móng, triển khai hệ thống giám sát tự động từ xa để thu thập dữ liệu theo thời gian thực. Đồng thời, áp dụng kỹ thuật tái cấp nước thủ công nhằm giảm thiểu tác động đến môi trường xung quanh, giảm lượng lún bề mặt và kiểm soát hiệu quả sự lún của mặt đất quanh hố móng.

II. XÂY DỰNG KẾT CẤU CHÍNH CỦA TÒA NHÀ NHÀ GA

Bố cục tổng thể của nhà ga đường sắt hiện nay được phân loại dựa trên vị trí tương quan giữa nhà ga và bãi đường sắt, bao gồm: nhà ga trên tuyến, nhà ga bên tuyến, nhà ga ngầm và nhà ga trên cầu. Trong đó, các nhà ga có quy mô vừa và lớn chủ yếu sử dụng bố cục nhà ga trên tuyến, với nhà ga được bố trí phía trên sân ga và đường ray, thường ở dạng nhà ga cao tầng. Điểm nổi bật của loại hình này là sảnh chờ cao tầng nằm ngay phía trên đường ray, được áp dụng tại nhiều nhà ga lớn như Nam Bắc Kinh (Hình 5-3-13), Đông Thành Đô, Đông Trịnh Châu.

Ngoài ra, một số nhà ga sử dụng bố cục nhà ga ngầm, nơi nhà ga nằm dưới lòng đất còn tầng đường ray nằm trên mặt đất, như thiết kế tại ga Vu Gia Bảo (Thiên Tân) và ga Phúc Điền (Thâm Quyến). Với sự ra đời của các nhà ga phức hợp hiện đại, các

hình thức bố trí nhà ga này thường được kết hợp hoặc tích hợp thêm với quảng trường nhà ga để hình thành kiểu nhà ga đa chức năng mới. Ví dụ, ga Quảng Châu mới là sự kết hợp giữa nhà ga trên tuyến và nhà ga dưới tuyến, áp dụng thiết kế dạng khung cầu trên cao, tạo thành một thể thống nhất giữa nhà ga, bãi đường sắt và mái che sân ga, mang lại sự linh hoạt tối ưu trong bố trí nhà ga.



Hình 5-3-13: *Bố cục không gian nhà ga Nam Bắc Kinh*

Để đáp ứng yêu cầu vượt tầng tàu điện ngầm và đồng thời chịu lực cho sảnh chờ và mái nhà phía trên, hệ thống kết cấu "hợp nhất cầu và nhà" được áp dụng. Đây là một kết cấu tích hợp giữa cầu và công trình nhà ga, giúp tận dụng không gian phía trên và phía dưới đường ray một cách hiệu quả, đồng thời tạo ra không gian sảnh chờ và trung chuyển rộng rãi. Hệ thống này cũng giải quyết triệt để vấn đề nhà ga và đường sắt gây cản trở giao thông đô thị, trở thành xu hướng thiết kế tất yếu trong các nhà ga tích hợp.

Các nhà ga hiện đại, đặc biệt là những nhà ga áp dụng hệ thống kết cấu "hợp nhất cầu và nhà", thường được cấu thành từ các bộ phận chính sau, theo thứ tự từ dưới lên:

(1) Tầng tàu điện ngầm: Có thể dùng chung các cấu kiện chịu lực với kết cấu phía trên hoặc hoàn toàn độc lập.

(2) Tầng ngầm thứ nhất: Bố trí sảnh trung chuyển và cửa ra nhà ga, cho phép hành khách dễ dàng chuyển tiếp sang các phương tiện khác hoặc ra khỏi nhà ga một cách nhanh chóng.

(3) Tầng mặt đất (tầng đường ray): Còn gọi là tầng sân ga, nơi các đoàn tàu đi qua và đón trả khách.

(4) Tầng cao (sảnh chờ): Đây là khu vực chính để hành khách tập trung và phân tán. Cửa vào nhà ga được đặt tại tầng này. Hành khách có thể tiếp cận trực tiếp tầng cao thông qua các tuyến đường cao trên cao. Ngoài ra, nhiều nhà ga còn bố trí thêm các tầng cao cục bộ phục vụ mục đích kinh doanh và điều hành.

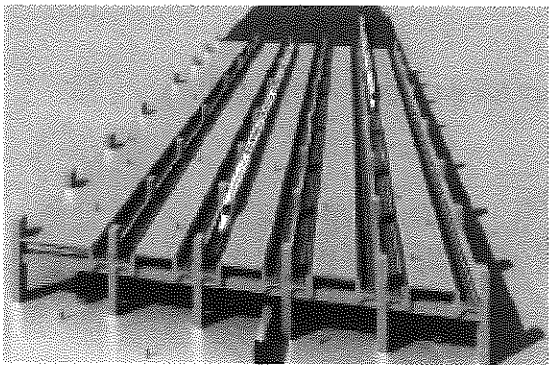
(5) Tầng mái: Thường sử dụng kết cấu giàn thép hoặc lưới thép, được lợp bằng mái kim loại hoặc mái lấy sáng.

1. Kỹ thuật thi công "hợp nhất cầu và nhà"

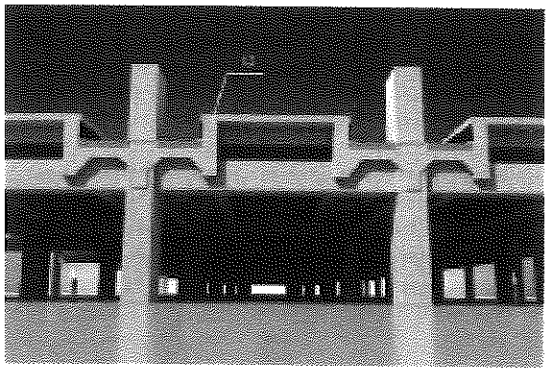
Kết cấu nhà ga "hợp nhất cầu và nhà" là loại kết cấu trong đó các cấu kiện xây dựng được sử dụng thay thế cho các cấu kiện cầu để trực tiếp chịu tải trọng động của tàu. Cách tiếp cận này phá vỡ quan niệm truyền thống rằng "tải trọng động của tàu chỉ do kết cấu cầu chịu đựng", tạo nên một loại kết cấu khung thuần túy, theo đúng nghĩa "tàu chạy trong lòng công trình xây dựng".

Kết cấu chịu tải đường ray của nhà ga dạng "hợp nhất cầu và nhà" được xây dựng theo mô hình "phía dưới là khung công trình, phía trên là cầu", cụ thể như sau:

- Phần dưới là khung kết cấu xây dựng kết hợp với kết cấu cầu phía trên tạo thành hệ chịu tải đường ray và sân ga.
- Tàu di chuyển trên kết cấu chịu tải đường ray, còn tải trọng động của tàu được truyền qua gối cầu cao su dạng chậu đến dầm khung. Gối cầu cho phép trượt theo phương ngang trên mặt phẳng của dầm khung, từ đó giảm đáng kể ảnh hưởng của tải trọng động đến kết cấu nhà ga (Hình 5-3-14). Những công trình tiêu biểu ứng dụng kỹ thuật này bao gồm ga Đông Thành Đô, ga Đông Trịnh Châu và ga Nam Nam Kinh.



a) Tầng trục đường ray



b) Mặt cắt ngang tầng đường ray

Hình 5-3-14: *Kết cấu chịu tải đường ray của nhà ga*

1.1. Kỹ thuật thi công lớp chịu tải đường ray trong kết cấu "hợp nhất cầu và nhà"

Kỹ thuật thi công lớp chịu tải đường ray có ứng suất trước là yếu tố then chốt trong việc xây dựng kết cấu này. Do mật độ bố trí thép rất dày, trước khi thi công, công nghệ BIM được áp dụng để tối ưu hóa các nút liên kết và mô phỏng quá trình thi công, qua đó giải quyết các vấn đề về giao cắt dày đặc của thép kết cấu, cốt thép ứng suất trước và cốt thép thường tại các nút dầm - cột.

Ngoài ra, việc kết nối cốt thép lớp chịu tải đường ray cũng là một thách thức lớn. Đa phần cốt thép chịu tải ở lớp này có đường kính 32mm, 36mm, 40mm, sử dụng loại thép HRB400, và các mối nối được thực hiện bằng phương pháp cơ khí nối ống ren thẳng cán nguội. Do kết cấu chịu tải đường ray thường xuyên chịu tải trọng động, nên theo quy định trong "Quy phạm kỹ thuật nối cơ khí cốt thép" (JGJ107-2016), các mối nối cơ khí dự kiến sử dụng cho hệ chịu tải đã được thử nghiệm chịu mỏi 2 triệu chu kỳ và kiểm tra kiểu mẫu trước khi đưa vào thi công.

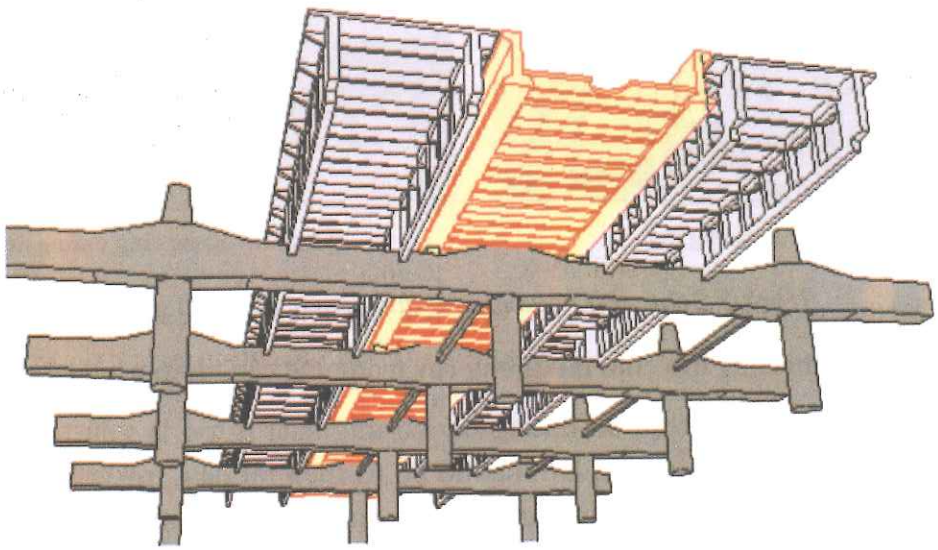
Trước khi căng kéo cốt thép ứng suất trước của lớp đường ray, tiến hành mô phỏng và phân tích trạng thái ứng suất, xác định thứ tự căng kéo ứng suất theo hai chiều và các giá trị kiểm soát ứng suất - biến dạng. Sau đó, căn cứ vào tuổi của bê tông để thực hiện căng kéo, đảm bảo chất lượng và an toàn cho việc căng kéo ứng suất trước.

1.2. Giám sát biến dạng kết cấu

Để kịp thời phát hiện biến dạng của kết cấu dầm chịu tải và loại bỏ nguy cơ tiềm ẩn về an toàn, việc giám sát biến dạng kết cấu trong quá trình vận hành là rất cần thiết. Trên lớp chịu tải hoàn thiện, áp dụng công nghệ cảm biến sợi quang để giám sát biến dạng của cầu đường ray dưới tác động của tải trọng tàu và nhiệt độ. Thông qua phân tích dữ liệu, đảm bảo an toàn cho quá trình vận hành đường sắt.

1.3. Phân tích trường hợp điển hình

Thiết kế và thi công kết cấu tầng đường ray tại ga Đông Thành Đô:



Hình 5-3-15: *Hình thức kết cấu "hợp nhất cầu và nhà" của tầng sân ga*

Thiết kế tầng đường ray của ga Đông Thành Đô áp dụng kết cấu "hợp nhất cầu và nhà", kết hợp khung kết cấu phía dưới với cầu phía trên tạo thành hệ chịu tải đường ray và sân ga. Cụ thể:

- Phần trên là 13 liên dầm liên tục đôi cho hai tuyến ray, với các tổ hợp nhịp:
  - Dầm liên tục ba nhịp: (21 + 24 + 21)m, gồm 8 liên dầm.
  - Dầm liên tục năm nhịp: (2 × 21 + 24 + 2 × 21)m, gồm 5 liên dầm.
- Phần dưới là hệ dầm bê tông cốt thép và cột thép ống nhồi bê tông (Hình 5-3-15).

① *Thi công kết cấu dầm tầng đường ray*

Thi công dầm tầng đường ray sử dụng giá đỡ cốp pha toàn diện. Khu vực giữa hai dầm biên và phần dưới mặt cầu được lắp đặt đồng bộ bằng hệ cốp pha và giá đỡ. Dầm biên và dầm giữa được thi công bằng phương pháp căng sau để tạo ứng suất trước, với các mối nối cốt thép sử dụng phương pháp cơ khí nối ống ren thẳng cán nguội.

Sau khi hoàn thành việc lắp đặt các cột thép ống nhồi bê tông, tiến hành đổ bê tông tự đầm. Dầm chính là loại bê tông khối lớn, được đổ bằng phương pháp chia lớp và ghép lớp.

Do dầm biên có tiết diện lớn và khối lượng nặng, cần gia cố hệ giá đỡ cốp pha dưới tấm sàn tầng ngầm thứ nhất ở cao độ -3,6 m trước khi thi công dầm chịu tải. Dầm được thi công bằng phương pháp giá đỡ toàn diện. Để nâng cao hiệu suất thi công, cốp pha đáy và cốp pha bên được gia công theo kích thước tiêu chuẩn, sau đó vận chuyển đến công trường bằng cần trục tháp hoặc xe cẩu để lắp ráp. Khi dựng giá đỡ và lắp đặt cốp pha đáy dầm, cần tạo độ vồng trước với chiều cao bằng 2/1000 nhịp dầm.

② *Kết nối cốt thép*

Theo thiết kế, các mối nối của cốt thép chịu tải được kết nối bằng phương pháp hàn nối. Đối với cốt thép có đường kính lớn hơn ϕ22 mm, sử dụng phương pháp cơ khí nối ống ren thẳng cán nguội. Do hệ chịu tải thường xuyên chịu tác động của tải trọng động, các mối nối cơ khí được kiểm tra và thử nghiệm chịu mỏi 2 triệu chu kỳ theo quy định trong "Quy phạm kỹ thuật nối cơ khí cốt thép" (JGJ107-2016) trước khi thi công.

③ *Lắp đặt ống sóng*

- Đường kính trong ống sóng kim loại dọc đỉnh dầm là 90 mm, đường kính ngoài là 97 mm.
- Đường kính trong ống sóng kim loại dọc bụng dầm là 80 mm, đường kính ngoài là 87 mm.

Việc lắp đặt ống sóng được thực hiện sau khi hoàn thiện cốp pha đáy và một bên cốp pha bên, đồng thời hoàn tất công tác buộc cốt thép chính và thép đai của dầm. Sau khi lắp đặt xong ống sóng, tiếp tục buộc thép móc kéo và thép lưng dầm.

④ *Lắp đặt cốp pha và neo giữ*

Phía trên mặt dầm biên sử dụng cốp pha thép, khoảng trống giữa dầm chắn và dầm biên được chèn bằng tấm xốp dày 50 mm. Trước khi luồn thanh ren qua cốp pha để cố định hai bên, cần xác định chính xác vị trí thanh ren và tránh các vị trí có ống sóng để tránh làm hỏng ống trong quá trình khoan.

Tại các vị trí cuối dầm, tiến hành đánh dấu và khoan lỗ trên cốp pha cuối theo vị trí thực tế tại công trường, sau đó luồn từng ống sóng qua lỗ khoan và lắp đặt cốp pha cuối vào vị trí. Sau khi lắp ráp cốp pha hoàn chỉnh, cần làm sạch các lỗ khoan tại vị trí ống sóng để đảm bảo chất lượng thi công.

⑤ *Neo giữ và căng kéo cáp dự ứng lực*

- Cáp dự ứng lực dọc đỉnh dầm sử dụng 12 bó cáp ϕ15,2 mm, loại cáp thép cường độ cao ít mất ứng suất.
- Cáp dự ứng lực dọc bụng dầm sử dụng 9 bó cáp ϕ15,2 mm, được neo giữ bằng hệ neo nhóm OVM15.

Chiều dài cắt cáp dự ứng lực được tính toán dựa trên các yếu tố như:

- Chiều dài thực tế của đường cong bố trí cáp.
- Phần cáp dự trữ ở đầu để căng kéo.
- Độ co giãn đàn hồi của cáp, loại cáp thép sử dụng và phương pháp thi công.

Việc luồn cáp được thực hiện thủ công và các bó cáp đều được đánh số thứ tự, đồng thời đánh dấu trực tiếp trên từng bó cáp để thuận tiện cho quá trình thi công và giám sát.

(1) Đổ bê tông

Do dầm biên có tiết diện lớn nên cần thi công theo quy trình bê tông khối lớn. Trong quá trình thi công, cần tổ chức chặt chẽ thứ tự đổ bê tông, kiểm soát thời gian nối tiếp giữa các lớp bê tông trên và dưới, đồng thời kiểm soát nhiệt độ của bê tông khi đổ vào khuôn. Cần tăng cường công tác đầm bê tông bằng cách tuân thủ nguyên tắc "cắm nhanh rút chậm" và bố trí đều các điểm đầm.

Khoảng cách giữa các điểm đầm nên được kiểm soát trong khoảng 300 - 400 mm, mỗi điểm đầm phải được cắm sâu khoảng 50 mm vào lớp bê tông phía dưới khi lớp đó chưa đông kết. Cần tránh hiện tượng đầm thiếu hoặc đầm quá mức, đảm bảo bề mặt bê tông không có hiện tượng nước lắng rõ rệt, không xuất hiện bọt khí và bề mặt bê tông xuất hiện lớp hồ mỏng là đạt yêu cầu.

(2) Xử lý hiện tượng tách nước

Do bê tông khối lớn dễ xảy ra hiện tượng tách nước, cần tiến hành xử lý nước tách ra ngay sau khi hoàn thành việc đổ bê tông. Trong vòng 4 - 8 giờ sau khi đổ, cần kịp thời loại bỏ lớp hồ nổi trên bề mặt bê tông.

(3) Bảo dưỡng và đo nhiệt độ

Sau khi đổ bê tông khối lớn, cần tăng cường công tác bảo dưỡng và đo nhiệt độ. Tiến hành kiểm tra nhiệt độ bề mặt, nhiệt độ bên trong khối bê tông và nhiệt độ môi trường xung quanh. Tùy theo sự chênh lệch nhiệt độ, cần áp dụng các biện pháp bảo vệ và giữ ẩm phù hợp để tránh tình trạng bề mặt bê tông bị quá nóng hoặc mất nước quá nhanh, gây ra hiện tượng nứt do co ngót khô, làm ảnh hưởng đến chất lượng bê tông.

Trong quá trình thi công lớp chịu tải của kết cấu "hợp nhất cầu và nhà" tại ga Đông Thành Đô, việc sử dụng các công nghệ như hệ giá đỡ cốp pha cao, kết nối cốt thép đường kính lớn và đổ bê tông khối lớn cùng với các biện pháp kiểm soát tương ứng đã bảo đảm chất lượng thi công của lớp chịu tải.

2. Kỹ thuật thi công kết cấu chính nhà ga bằng phương pháp thi công ngược

Thi công nhà ga đường sắt quy mô lớn theo phương pháp truyền thống thường được thực hiện từ dưới lên trên, theo trình tự: hoàn thành móng trước, sau đó thi công kết cấu bê tông, và cuối cùng là lắp dựng kết cấu thép mái. Trình tự thi công tuân thủ các nguyên tắc cơ bản: "thi công phần thô trước, lắp đặt thiết bị sau; hoàn thiện phần bảo vệ trước, hoàn thiện trang trí sau; hoàn thiện thô trước, hoàn thiện tinh sau; kết hợp đồng bộ giữa hoàn thiện và lắp đặt thiết bị; tổ chức thi công phân khu cho từng chuyên môn".

Do các nhà ga lớn thường sử dụng hệ kết cấu thép mái nhịp lớn với khối lượng lớn và cấu kiện đơn lẻ nặng, việc lắp đặt kết cấu thép mái theo phương pháp truyền thống gặp nhiều khó khăn và chi phí cao. Vì vậy, phương pháp "thi công ngược có giá đỡ", hay còn gọi là "bán ngược", ra đời nhằm khắc phục những hạn chế này.

• *Phương pháp thi công ngược có giá đỡ được thực hiện theo trình tự:*

- Sau khi hoàn thành thi công đáy tầng hầm và lắp dựng cột thép đứng cùng cột bê tông bên ngoài, tiến hành lắp dựng kết cấu thép mái nhịp lớn.

- Trong quá trình này, sử dụng hệ chống tạm bằng cột thép để đỡ kết cấu.

- Sau đó tiếp tục thi công tầng chịu tải đường ray.

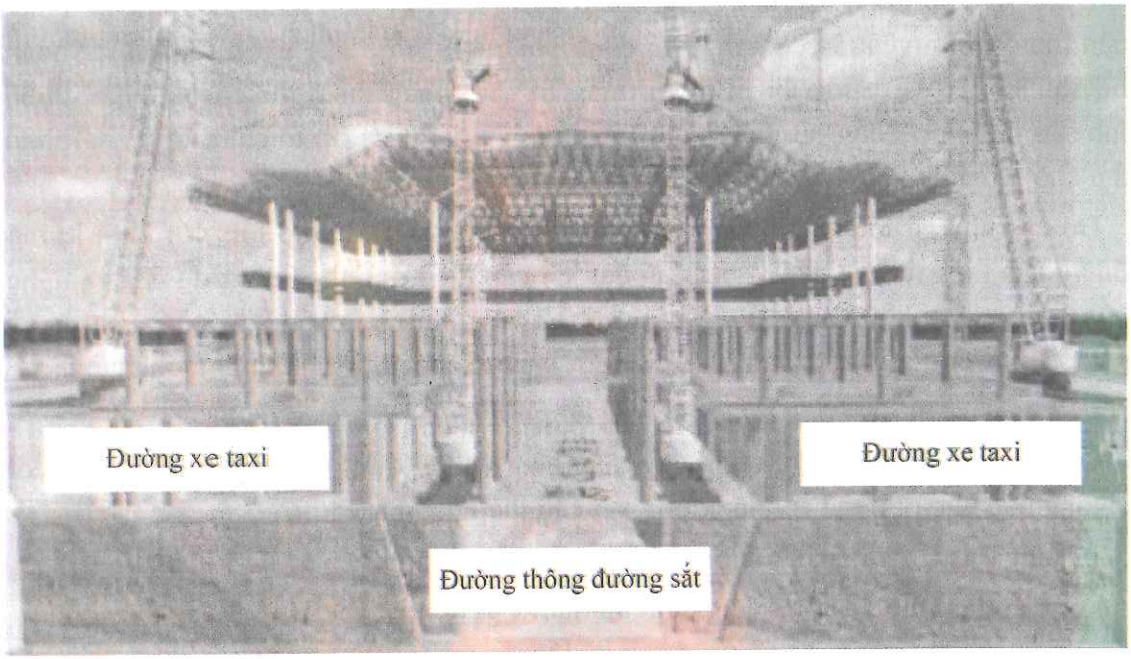
- Khi hoàn thành toàn bộ kết cấu, thực hiện tháo dỡ hệ chống tạm và chuyển đổi hệ chịu lực chính.

Phương pháp này cho phép thi công đồng thời các phần mái, tầng cao và tầng chịu tải đường ray, giúp **rút ngắn thời gian thi công**, đồng thời **tiết kiệm chi phí** cho hệ chống đỡ tạm và thiết bị nâng hạ tạm thời. Tuy nhiên, vì đây là một công nghệ mới được áp dụng trong thi công nhà ga đường sắt, nên cần tiến hành nghiên cứu chi tiết về tính khả thi, đảm bảo tính ổn định của kết cấu và kiểm soát chặt chẽ chất lượng thi công.

- *Phân tích trường hợp điển hình*

Ga Đông Thành Đô là một trong sáu nhà ga trung tâm lớn nhất cả nước, đồng thời là nhà ga hành khách lớn nhất khu vực trung - tây và là đầu mối giao thông lớn nhất khu vực Tây Nam. Tổng diện tích xây dựng của nhà ga là 220.000 m², trong đó diện tích dành cho nhà ga hành khách là 107.000 m². Nhà ga tàu điện ngầm tuyến số 2 có tổng mức đầu tư dự kiến 2,4 tỷ Nhân dân tệ, với tổng mức đầu tư của toàn bộ nhà ga là 3,8 tỷ Nhân dân tệ. Nhà ga được thiết kế với 14 sân ga, 26 tuyến đường ray, chiếm diện tích khoảng 870.000 m² (tương đương 1.306 mẫu). Trong đó, khu vực ga Đạt Thành có 6 sân ga và 11 tuyến, còn khu vực ga nội đô có 8 sân ga và 15 tuyến. Đây là đầu mối chính khởi hành và kết thúc của các tuyến tàu liên tỉnh và tàu cao tốc tại Thành Đô.

Ga Đông Thành Đô áp dụng phương pháp thi công ngược cho kết cấu chính. Kết cấu thép mái được lắp dựng trước, sau đó mới thi công hợp long tầng chịu tải đường ray và tầng cao. Hình 5-3-16 mô phỏng sơ đồ thi công ngược tại ga Đông Thành Đô.



Hình 5-3-16: *Sơ đồ minh họa thi công theo phương pháp ngược*

Do thay đổi trình tự thi công, kết cấu thép mái phải chịu tải trọng khác với thiết kế ban đầu trong suốt quá trình thi công, vì vậy cần đặc biệt quan tâm đến việc đảm bảo tính ổn định của kết cấu. Nhóm kỹ sư đã xây dựng mô hình tính toán và sử dụng phần mềm MIDAS để phân tích chuyển vị của kết cấu mái, kiểm tra cường độ của các thanh kết cấu và cột bê tông cốt thép khi tháo dỡ hệ chống tạm.

Thông qua quá trình phân tích điều kiện lắp đặt và tháo dỡ hệ chống tạm, các yêu cầu kỹ thuật và hình thức hệ chống tạm đã được xác định rõ. Việc lắp dựng kết cấu thép mái cần có hệ giàn giáo chống tạm phù hợp, giúp cố định đúng vị trí các nút và cấu kiện. Đồng thời, nhóm thi công đã đưa ra phương án tháo dỡ hợp lý nhằm đảm bảo biến dạng và nội lực của kết cấu mái nằm trong giới hạn cho phép, ngăn ngừa nguy cơ phá hoại hoặc mất ổn định của kết cấu.

• *Đặc điểm của phương pháp thi công ngược*

Phương pháp thi công ngược có đặc điểm nổi bật là thi công trước các cấu kiện chịu lực đứng, sau đó mới tiến hành thi công các kết cấu phía trên và cuối cùng là thi công các kết cấu phía dưới. Trong quá trình thi công kết cấu thép của nhà ga, việc lắp dựng kết cấu được thực hiện độc lập thông qua hệ cột và hệ chống tạm. Sau khi kết cấu được ổn định nhờ hệ giàn không gian của tầng cao, hệ mái được nâng đỡ và cố định, tạo thành một kết cấu ổn định hoàn chỉnh. Cuối cùng mới tiến hành thi công sàn tầng cao và tầng chịu tải đường ray.

Trong quá trình lắp dựng từng phần kết cấu thép, sử dụng hệ chống tạm và giá đỡ định vị để làm hệ chịu tải chính. Sau khi hoàn thành toàn bộ việc lắp dựng, tiến hành chuyển đổi hệ chịu lực thông qua tháo dỡ hệ chống tạm. Phương pháp tháo dỡ được thực hiện bằng cách sử dụng thiết bị chống tạm có thể điều chỉnh (kích vít xoắn) lắp đặt tại đỉnh hệ giá đỡ hoặc chống tạm, sau đó tiến hành chuyển tải trọng dần dần theo chu kỳ hạ kích nhỏ, đảm bảo việc chuyển đổi tải trọng diễn ra an toàn và ổn định.

3. Kỹ thuật thi công hệ mặt dựng bên ngoài nhà ga

Với sự phát triển nhanh chóng của nền kinh tế Trung Quốc, lĩnh vực xây dựng đường sắt cũng bước vào giai đoạn phát triển vượt bậc. Thiết kế nhà ga đường sắt đã bước sang một giai đoạn mới, với sự hướng dẫn tổng thể theo năm nguyên tắc "chức năng, hệ thống, tiên tiến, văn hóa và kinh tế" của Bộ Đường sắt. Điều này mang đến cho các kiến trúc sư nhiều không gian sáng tạo hơn trong việc thể hiện ý tưởng thiết kế về hình khối và mặt đứng của nhà ga.

Trong đó, hệ mặt dựng kính có vai trò không thể thay thế, được ứng dụng rộng rãi trong các công trình nhà ga thế hệ mới. Hệ mặt dựng không chỉ tích hợp giữa tường

bao và cửa đi, cửa sổ trong kết cấu bảo vệ bên ngoài công trình mà còn khéo léo kết hợp chức năng sử dụng với chức năng trang trí, tạo nên vẻ đẹp hiện đại và nghệ thuật, đồng thời nâng cao tính biểu đạt kiến trúc của nhà ga đường sắt hiện đại.

Do đặc điểm của nhà ga đường sắt thường có không gian lớn và nhịp kết cấu dài, việc lựa chọn hệ mặt dựng cần đặc biệt chú trọng đến tính ổn định kết cấu và khả năng chống động đất. Các hệ mặt dựng thường sử dụng hệ khung giàn thép, hệ dây cáp căng trước bằng thép, hoặc các hệ kết cấu phù hợp với hệ kết cấu chính của nhà ga. Ngoài ra, hệ mặt dựng cần đáp ứng yêu cầu về tiết kiệm năng lượng bằng cách sử dụng kính Low-E, nhôm định hình tiết kiệm năng lượng, hoặc hệ mặt dựng hai lớp.

Tại các vị trí cột kết cấu hoặc tường cứng, thường sử dụng hệ mặt dựng đá hoặc mặt dựng nhôm (Hình 5-3-17, Hình 5-3-18).



Hình 5-3-17: Hệ mặt dựng nhà ga Đông Hàng Châu



Hình 5-3-18: Hệ mặt dựng nhà ga Vũ Hán

4. Đặc điểm của hệ mặt dựng kính nhà ga đường sắt

Thông qua việc ứng dụng các công nghệ mới cho hệ mặt dựng của các nhà ga đường sắt thế hệ mới, có thể tóm tắt một số đặc điểm chính của hệ mặt dựng kính như sau:

4.1. Không gian lớn và nhịp kết cấu dài

Tương tự như các công trình công cộng khác như sân bay hay sân vận động, một đặc điểm nổi bật của nhà ga đường sắt là không gian lớn và nhịp kết cấu dài, phù hợp với chức năng của công trình. Do đó, khi thiết kế hệ mặt dựng bảo vệ bên ngoài nhà ga, việc lựa chọn hình thức kết cấu chịu lực phù hợp là yếu tố quan trọng, nhằm đảm bảo cả về yêu cầu thẩm mỹ kiến trúc lẫn khả năng chịu lực của kết cấu lớn và

nhịp dài. Đây là một trong những vấn đề quan trọng mà các nhà thiết kế cần cân nhắc kỹ lưỡng trong giai đoạn thiết kế.

4.2. Tiết kiệm năng lượng

Việc sử dụng kính trên diện tích lớn có thể gây ra hiện tượng thất thoát năng lượng đáng kể. Do đó, trong quá trình thiết kế, cần áp dụng các giải pháp công nghệ và lựa chọn vật liệu thích hợp để giảm thiểu truyền nhiệt qua các con đường chính như đối lưu, dẫn nhiệt và bức xạ. Đối với hệ mặt dựng kính, thất thoát năng lượng chủ yếu xảy ra dưới dạng dẫn nhiệt và bức xạ nhiệt.

Giải pháp thiết kế bao gồm việc sử dụng nhôm định hình có cầu cách nhiệt và kính hộp cách nhiệt để hạn chế dẫn nhiệt. Đồng thời, việc sử dụng kính Low-E (kính có lớp phủ phản xạ thấp), các tấm che nắng dạng lá chắn hoặc rèm che nắng sẽ giúp giảm bức xạ nhiệt đáng kể. Hệ mặt dựng kính tại các nhà ga Dương Châu, Thái Châu, Diêm Thành đều sử dụng kính hộp cường lực Low-E, và qua quá trình vận hành thực tế, hiệu quả cách nhiệt của hệ mặt dựng đã được chứng minh rõ rệt.

4.3. Hạn chế ô nhiễm ánh sáng

Theo phân loại quốc tế, ô nhiễm ánh sáng thường được chia thành ba loại chính:

- Ô nhiễm ánh sáng trắng chói do phản xạ mạnh hoặc chiếu sáng cường độ cao.
- Ô nhiễm ánh sáng ban ngày nhân tạo do chiếu sáng quá mức.
- Ô nhiễm ánh sáng màu do thay đổi đột ngột cường độ ánh sáng và màu sắc mạnh.

Hệ mặt dựng kính có thể gây ra hiện tượng ô nhiễm ánh sáng trắng chói do phản xạ ánh sáng mạnh. Vì vậy, việc thiết kế và sử dụng các loại kính có khả năng kiểm soát phản xạ ánh sáng tốt là rất cần thiết nhằm hạn chế loại ô nhiễm này.

5. Kỹ thuật thi công hệ mặt dựng kính

5.1. Các biện pháp chính để hạn chế ô nhiễm ánh sáng

(1) Giảm diện tích phản xạ của hệ mặt dựng.

(2) Giảm hệ số phản xạ của tấm kính.

Tấm kính mặt dựng nên sử dụng các loại kính trong suốt, kính nhuộm màu nhẹ hoặc kính Low-E có độ truyền sáng cao. Nhờ vào đặc tính phản xạ thấp của những loại kính này, có thể giảm thiểu đáng kể hiện tượng ô nhiễm ánh sáng do kính tráng phủ truyền thống gây ra. Tuy nhiên, do không thể thay đổi hệ số khúc xạ của kính với không khí, phương pháp này chỉ có thể hạn chế hiện tượng phản xạ ánh sáng mặt trời ở ngoài phạm vi góc tới phản xạ toàn phần.

Việc lắp đặt lá chắn nắng bên ngoài không chỉ mang lại hiệu quả tiết kiệm năng lượng cao mà còn giúp giảm đáng kể diện tích bề mặt phản xạ trực tiếp của kính, nhờ đó trở thành một biện pháp hiệu quả để giảm thiểu ô nhiễm ánh sáng từ hệ mặt dựng kính.

5.2. Phân tích trường hợp điển hình

Hệ mặt dựng của nhà ga Thái Nguyên Nam được thiết kế nhằm tạo nên một hình thức kiến trúc tươi mới, đồng thời làm nổi bật bề dày văn hóa và khí chất độc đáo của thành phố Thái Nguyên - một thành phố lịch sử lâu đời. Công trình áp dụng sáu loại hệ mặt dựng bao gồm: mặt dựng đá, mặt dựng kết hợp, mặt dựng kính lộ đố ngang ẩn đố dọc, mặt dựng kính giấu đố hoàn toàn, mặt dựng kính hoàn toàn và mặt dựng nhôm tấm, thể hiện phong cách ngoại thất của công trình với sự đa dạng về hình khối, góc cạnh và nhiều lớp kiến trúc.

Trong đó, phần ngoại tường của nhà ga phía Đông và phía Tây nổi bật với hệ mặt dựng kết hợp cửa sổ hoa văn hai lớp mô phỏng gạch xanh. Hệ mặt dựng này có diện tích 7.800 m², được thiết kế theo cấu trúc hai lớp bao gồm lớp mặt dựng ngoài và lớp bên trong. Về mặt thẩm mỹ, hệ cửa sổ hoa văn được lấy cảm hứng từ thiết kế cửa sổ cổ truyền, sử dụng đá xanh Tế Nam mô phỏng gạch xanh cổ và kết hợp với kính để tạo thành dạng cửa sổ hoa văn lồi lõm. Thiết kế này không chỉ giữ được cảm giác vững chắc, dày dặn của tường mà còn giải quyết tốt vấn đề chiếu sáng và che nắng của công trình. Đồng thời, thiết kế cũng gợi lên hình ảnh những chi tiết kiến trúc truyền thống trong nhà ở của tỉnh Sơn Tây, thể hiện rất rõ nét phong cách "Đường phong Tấn vận".

Hệ mặt dựng hai lớp kết hợp này không chỉ tăng cường hiệu ứng thẩm mỹ mà còn mang lại hiệu quả cách nhiệt, cách âm và giảm tiếng ồn, đồng thời giúp tiết kiệm vật liệu, mang lại hiệu quả kinh tế cao (Hình 5-3-19).

(1) Quy trình thi công

Quy trình thi công bao gồm các bước sau:

Đo đạc và định vị → Lắp đặt khung xương thép → Lắp đặt các tấm kính → Gia công và lắp đặt đá → Lắp đặt vật liệu cách nhiệt → Lắp đặt tấm nhôm composite phía sau để che và hoàn thiện → Bơm keo hoàn thiện.

(2) Các bước thi công

① Đo đạc và định vị

Đo cao độ, độ thẳng đứng và độ ngang của cột kết cấu thép mặt dựng theo đúng bản vẽ, đồng thời kiểm tra độ thẳng của các thanh thép trang trí. Sử dụng máy thủy

bình để đo cao độ từng tầng của kết cấu thép, sai số tối đa không được vượt quá 10mm. Sử dụng máy kinh vĩ để đo độ thẳng đứng của các cột theo từng trục, đo khoảng cách giữa các trục bằng thước thép, đảm bảo sai số ngang dưới 10mm và sai số tổng thể dưới 20mm. Dùng dây thép căng để đảm bảo sai số độ thẳng của từng thanh thép trang trí dưới 5mm, sai số tổng thể dưới 10mm, sai số độ thẳng giữa các thanh thép trang trí trên và dưới không vượt quá 10mm.





Hình 5-3-19: *Hệ mặt dựng nhà ga Thái Nguyên Nam*

② *Gia công khung xương thép*

Chiều dài khung xương thép là 4420mm, sai số chiều dài nhỏ hơn 3mm. Cắt thép góc dùng làm chi tiết liên kết dài 120mm, hàn bốn điểm giữa thép góc và khung xương dọc với chiều dài mối hàn ≥ 40mm, chiều cao mối hàn ≥ 4mm, sai số khoảng cách giữa hai thép góc ≤ 1,5mm. Khoan lỗ trên khung ngang theo kích thước bản vẽ, đường kính lỗ khoan lớn hơn đường kính bulông 1,5mm.

③ *Gia công hộp đá*

Không sử dụng các tấm đá có vân quá lớn, tia rạn nhiều hoặc sai lệch độ dày vượt quá **1mm**. Kích thước của tất cả các hộp đá phải được kiểm soát ở mức sai số **±1mm**, sai số góc tạo hình nhỏ hơn **20°**, và bề mặt mài phải đồng đều.

④ *Gia công khung kính*

Gia công nhôm định hình phải đảm bảo sai số kích thước nhỏ hơn 1mm, góc vát 45° phải chính xác. Dùng máy khoan điện định vị trước lỗ khoan trên khung nhôm, tránh lệch khớp khi ghép nối. Kết nối bằng đinh tán kéo, sau đó lắp các gioăng EPDM được gia công sẵn tại nhà máy để cố định kính. Sử dụng keo chịu thời tiết màu đen để bơm mối nối bên ngoài kính với chiều rộng 3mm, đảm bảo đường keo phẳng, không bị nhăn hoặc phồng, đồng thời không để lộ viền đen của kính. Chỉ vận chuyển sau khi keo khô hoàn toàn.

⑤ *Gia công tấm nhôm composite*

Dùng mặt bàn gia công kích thước 50cm × 50cm × 5cm, mặt bàn làm bằng ván ép chất lượng cao để đảm bảo độ phẳng. Đảm bảo các tấm nhôm được cắt cùng hướng để tránh chênh lệch màu sắc. Sử dụng cưa đĩa để cắt, chừa khoảng cách cho đường cưa.

⑥ *Lắp đặt khung xương thép*

Yêu cầu sai lệch về độ thẳng đứng khi lắp đặt khung xương ≤ 3mm, kích thước tổng thể phải phù hợp với bản vẽ, sai số khoảng cách giữa các thanh đứng nhỏ hơn 2mm. Cao độ thép góc ngang phải phù hợp với thiết kế, sai số khoảng cách ≤ 1,5mm.

⑦ *Lắp đặt các tấm kính*

Đảm bảo vị trí cao độ của từng tấm kính chính xác, sai số độ thẳng đứng và mặt phẳng lắp đặt nhỏ hơn 1mm.

⑧ *Lắp đặt tấm nhôm composite*

Không để xảy ra sai lệch mép giữa hai tấm nhôm liên tiếp, sai số lắp đặt theo phương thẳng đứng nhỏ hơn 2mm, theo phương ngang nhỏ hơn 1mm.

⑨ *Lắp đặt hộp đá*

Phần tiếp xúc giữa hộp đá và rãnh thép trang trí phải để khe hở 10mm để bơm keo, khe hở giữa các hộp đá là 3mm, khe hở giữa hộp đá và kính là 8mm, sai số khe hở trong khoảng ±1,5mm. Sai lệch mép giữa các hộp đá liên tiếp không vượt quá 1mm, các hộp đá trên cùng một hàng phải nằm trên một đường thẳng.

⑩ *Bơm keo*

Khe hở ngang giữa các hộp đá là 3mm, khe hở giữa hộp đá và kính là 8mm, chiều rộng khe hở đồng nhất, hơi lõm vào. Khe hở của tấm nhôm composite phải kín, dùng keo silicone trung tính chịu thời tiết có màu xám tương tự màu tấm nhôm composite để trét kín khe hở, như minh họa trong Hình 5-3-20.

Sau khi hoàn thành toàn bộ hệ mặt dựng hai lớp kết hợp mô phỏng gạch xanh và cửa sổ hoa văn, tiến hành kiểm tra các chỉ tiêu: khả năng chịu áp lực gió, độ kín nước, độ kín khí, tính năng nhiệt, cách âm và biến dạng trong mặt phẳng. Kết quả kiểm tra đều đáp ứng yêu cầu thiết kế. Hệ mặt dựng hai lớp kết hợp mô phỏng gạch xanh và cửa sổ hoa văn này có hiệu quả trang trí rất tốt, thi công thuận tiện, khả năng cách nhiệt, cách âm vượt trội, đồng thời tiết kiệm chi phí và đảm bảo an toàn cao. Hệ mặt dựng này có triển vọng ứng dụng rộng rãi trong các công trình nhà ga,

tòa nhà văn phòng và các công trình cao tầng, diện tích lớn, tiết kiệm năng lượng, thân thiện với môi trường, đặc biệt phù hợp với các công trình xây dựng lớn tại khu vực có khí hậu lạnh.



Hình 5-3-20: Lắp đặt hộp đá.

III. CÔNG NGHỆ THI CÔNG KẾT CẤU THÉP NHỊP LỚN, KHÔNG GIAN LỚN

Với sự phát triển nhanh chóng của các tuyến đường sắt cao tốc và các tuyến vận tải hành khách chuyên dụng, quy mô xây dựng nhà ga đường sắt ngày càng lớn và không gian ngày càng phức tạp. Khi khẩu độ sàn mái của nhà ga vượt quá 30m, việc sử dụng dầm bê tông dự ứng lực thông thường trở nên không còn kinh tế và hợp lý. Lúc này, thiết kế công trình thường sử dụng giàn thép khẩu độ lớn và cột bê tông cốt thép bọc thép ống có đường kính lớn làm kết cấu chịu lực theo phương thẳng đứng. Các công trình có khẩu độ lớn thường có nhiều hình thức kiến trúc đa dạng, kết hợp không gian linh hoạt, khả năng chịu lực hợp lý và tính thẩm mỹ cao, do đó được ưa chuộng và ứng dụng rộng rãi trong các công trình công cộng quy mô lớn.

Các nhà ga đường sắt cao tốc thường sử dụng kết cấu thép lớn, với các phương pháp thi công chính bao gồm: thi công lắp ráp rời trên cao, lắp đặt theo từng đơn nguyên, phương pháp cẩu lắp tổng thể, phương pháp nâng tổng thể, phương pháp kích tổng thể, phương pháp trượt, và phương pháp lắp ráp tại chỗ. Việc phát triển các công nghệ và kỹ thuật mới đã đóng góp đáng kể vào sự phát triển xây dựng đường sắt cao tốc ở Trung Quốc.

1. Phương pháp lắp ráp rời trên cao

Phương pháp này còn gọi là phương pháp lắp từng bộ phận, nghĩa là các đơn nguyên nhỏ hoặc từng bộ phận rời rạc (bao gồm các thanh giằng đơn và các nút liên kết) được lắp trực tiếp tại vị trí thiết kế trên cao. Khi thi công, có hai cách thực hiện: dùng hệ giàn giáo phủ toàn bộ hoặc phương pháp thi công dạng công xôn, trong đó phương pháp công xôn thường được sử dụng ở nước ngoài và đã từng áp dụng cho thi công các mái vòm bê tông mỏng. Phương pháp dùng giàn giáo phủ toàn bộ được sử dụng rộng rãi trong thi công kết cấu lưới và mái vòm, đặc biệt phù hợp với thi công kết cấu lưới sử dụng nút liên kết bằng bulông. Phương pháp này có ưu điểm là trọng lượng của từng bộ phận nhỏ, không cần sử dụng thiết bị cẩu tải lớn để vận chuyển theo phương thẳng đứng, nhưng lại cần dựng giàn giáo, tiêu tốn nhiều vật liệu.

Các công nghệ mới chủ yếu bao gồm:

• *Các vấn đề kỹ thuật chính của phương pháp lắp ráp rời trên cao:*

(1) Cần xác định thứ tự lắp ráp hợp lý dựa trên đặc điểm cụ thể của kết cấu. Có thể bắt đầu từ đỉnh cao nhất hoặc từ giữa kết cấu và lắp về hai phía, nhằm thuận tiện cho việc kiểm soát cao độ và giảm sai số tích lũy.

(2) Kiểm soát chặt chẽ cao độ và vị trí trục, đo đạc và điều chỉnh liên tục trong quá trình lắp ráp để đảm bảo các chỉ tiêu sai số tổng hợp sau khi lắp ráp đáp ứng tiêu chuẩn.

(3) Khi thi công theo phương pháp công xôn, cần đảm bảo độ cứng và sự ổn định của phần kết cấu đã lắp ráp. Giàn giáo lắp ráp phải có đủ độ bền, độ cứng và khả năng ổn định lún, nhằm tránh sai số trong quá trình lắp ráp do biến dạng của giàn giáo.

Phương pháp lắp ráp rời trên cao là phương pháp phổ biến trong thi công kết cấu lưới sử dụng nút liên kết bằng bulông hoặc kết cấu mái vòm. Trong giai đoạn đầu, phần lớn các công trình sử dụng kết cấu lưới đã thi công bằng phương pháp này, và hiện nay phương pháp này vẫn được sử dụng rộng rãi trong nhiều công trình xây dựng lớn.

2. Phương pháp lắp đặt theo từng đơn nguyên

Phương pháp lắp đặt theo từng đơn nguyên là phương pháp chia kết cấu thành các đoạn, dải hoặc đơn nguyên khối theo hình dạng của kết cấu. Các đơn nguyên này được cẩu lên vị trí thiết kế trên cao bằng thiết bị nâng hạ, sau đó tiến hành lắp ráp để tạo thành một kết cấu hoàn chỉnh. Ví dụ, với kết cấu giàn thép có khẩu độ lớn không thể thực hiện cẩu lắp tổng thể trong một lần, cần chia thành nhiều đoạn;

kết cấu lưới hoặc kết cấu tương tự có thể được chia thành các dải dọc theo chiều dài khẩu độ hoặc chia thành các đơn nguyên khối hình chữ nhật theo hai hướng dọc và ngang.

Phương pháp này có đặc điểm là phần lớn công việc hàn, lắp ráp được thực hiện trên mặt đất, giúp kiểm soát chất lượng tốt hơn và giảm thiểu số lượng giàn giáo cần lắp dựng. Khối lượng của các đơn nguyên sau khi phân chia phù hợp với khả năng nâng hạ của thiết bị cẩu. Tuy nhiên, khi chia nhỏ kết cấu cần chú ý đến các biện pháp gia cố tạm thời, đồng thời tại các vị trí ghép nối và đầu mối của đơn nguyên vẫn cần lắp dựng giàn giáo để hỗ trợ lắp ráp.

• ***Các vấn đề kỹ thuật chính của phương pháp lắp đặt theo từng đơn nguyên***

(1) Việc phân chia đơn nguyên cần được xác định dựa trên khả năng chịu tải của thiết bị cẩu và đặc điểm hình dạng của kết cấu.

(2) Khi chia kết cấu lưới hoặc kết cấu tương tự thành các đơn nguyên dạng dải, trạng thái chịu lực trong quá trình cẩu lắp gần giống như hệ kết cấu phẳng, độ võng của kết cấu khi đó thường lớn hơn so với giá trị thiết kế. Do đó, khi tiến hành ghép nối các đơn nguyên dạng dải, cần điều chỉnh cao độ của kết cấu.

(3) Kích thước và vị trí ghép nối của các đơn nguyên phải đảm bảo độ chính xác cao để khi lắp ráp trên cao, các nút kết nối khớp với nhau, giảm thiểu sai lệch. Thông thường, có thể sử dụng phương pháp lắp ráp thử trước trên mặt đất để kiểm soát kích thước.

3. Phương pháp cẩu lắp tổng thể

Phương pháp cẩu lắp tổng thể là phương pháp thi công mà kết cấu được lắp ráp hoàn chỉnh trên giàn giáo mặt đất, sau đó sử dụng thiết bị nâng hạ để cẩu toàn bộ kết cấu lên vị trí thiết kế. Phương pháp này thường được sử dụng cho các kết cấu phẳng như giàn thép có khẩu độ trung bình, và việc lắp ráp có thể được thực hiện bên ngoài công trường. Khi thi công các kết cấu như lưới thép, nếu lắp ráp bên ngoài công trường thì trong quá trình cẩu lắp cần sử dụng nhiều cần cẩu cùng lúc di chuyển trên một quãng đường dài, phù hợp với các loại cần cẩu bánh xích hoặc cẩu tháp di chuyển trên đường ray. Thông thường, việc cẩu lắp có thể thực hiện tại chỗ và kết hợp với di chuyển ngang để đặt vào đúng vị trí. Phương pháp này giúp giảm thiểu tối đa công việc trên cao, tuy nhiên kết cấu phía trên mặt đất thường chỉ có thể thi công sau khi hoàn thành việc cẩu lắp, do đó không thể thi công đồng thời, làm ảnh hưởng nhất định đến tiến độ và đòi hỏi yêu cầu cao về hiệu suất của thiết bị nâng hạ.

• *Các vấn đề kỹ thuật chính khi cẩu lắp kết cấu lưới bằng phương pháp cẩu lắp tổng thể*

(1) Khi sử dụng cần cẩu bánh xích hoặc cẩu tháp di chuyển trên đường ray để cẩu lắp, việc di chuyển trên không được thực hiện nhờ di chuyển của thiết bị nâng hạ. Nếu sử dụng phương pháp cẩu lắp bằng trục kéo (derrick crane), việc di chuyển hoặc xoay kết cấu được thực hiện bằng cách thả lỏng một bên hệ ròng rọc, gây ra sự mất cân bằng về lực giữa hai bên.

(2) Khi sử dụng nhiều cần cẩu bánh xích cùng lúc để cẩu lắp, cần đặc biệt quan tâm đến đồng bộ hóa quá trình nâng hạ. Sự khác biệt về tốc độ nâng giữa các cần cẩu có thể dẫn đến sự chênh lệch độ cao, gây ra lực không đồng đều trên thiết bị nâng hạ và kết cấu. Nếu sử dụng nhiều trục kéo để cẩu lắp, sự chênh lệch khi nâng lên sẽ ảnh hưởng đến công suất của tời kéo, do đó khi chọn thiết bị cần tính đến hệ số không đồng đều của hệ ròng rọc và hệ số giảm tải của thiết bị nâng.

Việc giữ cho độ lệch của đỉnh trục kéo nhỏ nhất là yếu tố then chốt để cẩu lắp kết cấu lưới thành công. Do đó, lực kéo ban đầu của dây chằng giữ trục kéo cần được tăng cường thích hợp. Khi cẩu lắp các kết cấu phẳng như giàn thép bằng phương pháp cẩu lắp tổng thể, quy trình thi công tương đối đơn giản, tương tự như việc cẩu lắp mái nhà xưởng công nghiệp một tầng. Với những khẩu độ lớn, vẫn có thể áp dụng phương pháp nâng hạ đồng thời bằng nhiều cần cẩu.

Việc thi công mái thép của các nhà ga đường sắt lớn thường có thể áp dụng các phương án như cẩu lắp theo từng khối, nâng tổng thể hoặc nâng từng phần, kích tổng thể, trượt tổng thể hoặc trượt từng đoạn tích lũy.

4. Phương pháp nâng tổng thể

Phương pháp nâng tổng thể là phương pháp lắp đặt kết cấu bằng cách lắp thiết bị nâng trên các cột kết cấu để nâng kết cấu lên. Tùy thuộc vào loại hình kết cấu, phương pháp này được chia thành nâng độc lập, kết hợp nâng và trượt, và nâng dầm.

- Phương pháp nâng độc lập: Kết cấu được lắp ráp hoàn chỉnh trên mặt đất, sau đó sử dụng thiết bị nâng lắp đặt trên cột kết cấu để nâng toàn bộ lên cao, cố định ở cao độ thiết kế. Có thể sử dụng trực tiếp các cột kết cấu hoặc lắp đặt các cột nâng tạm thời.

- Phương pháp kết hợp nâng và trượt: Sử dụng phương pháp trượt khuôn để thi công các cột kết cấu. Thiết bị nâng là các kích thủy lực hoặc máy nâng ván trượt, vừa nâng kết cấu lên, vừa tiếp tục trượt khuôn để đổ bê tông cột kết cấu. Kết cấu được nâng lên cũng có thể được sử dụng làm bệ thao tác khi trượt khuôn.

- Phương pháp nâng dầm: Áp dụng khi kết cấu có đai dầm hoặc dầm chính. Dùng thiết bị nâng để nâng đai dầm, dầm chính lên, đồng thời chống đỡ kết cấu và nâng lên cao độ thiết kế.

Phương pháp nâng tổng thể cho phép thi công một số bộ phận phụ trợ của kết cấu như hệ thống sưởi, thông gió, đường ống điện… trên mặt đất hoặc ở vị trí thuận lợi nhất, giúp giảm chi phí lắp đặt.

• *Các vấn đề kỹ thuật chính của phương pháp nâng tổng thể*

① Lựa chọn điểm nâng

Điểm nâng phải được chọn sao cho trạng thái chịu lực khi nâng gần giống với trạng thái chịu lực trong thiết kế, đồng thời tải trọng của từng thiết bị nâng càng cân bằng càng tốt để thuận tiện cho việc nâng đồng bộ. Khả năng chịu tải của thiết bị nâng phải được tính theo khả năng chịu tải định mức nhân với hệ số giảm tải.

② Kiểm soát sự đồng bộ khi nâng

Trong quá trình nâng, sự khác biệt về độ đồng bộ giữa các điểm nâng sẽ ảnh hưởng đến trạng thái chịu lực của thiết bị nâng và kết cấu. Vì vậy, cần theo dõi liên tục sự khác biệt về độ cao giữa các điểm nâng và điều chỉnh kịp thời.

③ Kiểm tra ổn định của cột kết cấu khi nâng

Khi cột kết cấu là cột bê tông cốt thép, vấn đề ổn định thường không cần kiểm tra. Tuy nhiên, nếu là cột thép dạng giàn hoặc cột nâng tạm thời, cần kiểm tra ổn định trong quá trình nâng và nếu cần thiết, phải có biện pháp gia cố.

5. Phương pháp kích nâng tổng thể

Phương pháp kích nâng tổng thể tương tự phương pháp nâng tổng thể, nhưng điểm khác biệt chính là kích nâng sử dụng kích thủy lực đặt dưới kết cấu, nâng từng bước thông qua tấm đệm hoặc nêm, trong khi phương pháp nâng tổng thể dùng thiết bị nâng đặt trên kết cấu và kéo kết cấu lên bằng dây cáp hoặc thanh treo. Hai phương pháp này có nguyên lý hoạt động trái ngược nhau.

• *Các vấn đề kỹ thuật chính trong phương pháp kích nâng tổng thể*

① Hệ thống dẫn hướng khi kích nâng

Quá trình kích nâng khác biệt với phương pháp nâng ở chỗ: trong phương pháp nâng tổng thể, chỉ cần lắp đặt thiết bị nâng thẳng đứng, kết cấu có thể được nâng lên khá chính xác theo phương thẳng đứng. Tuy nhiên, với phương pháp kích nâng, nếu thiếu hệ thống dẫn hướng, kết cấu dễ bị lệch hướng trong quá trình nâng. Vì vậy, việc lắp đặt hệ thống dẫn hướng là yêu cầu quan trọng nhằm đảm bảo độ chính xác khi thi công.

② Kiểm soát đồng bộ quá trình kích nâng

Tương tự phương pháp nâng tổng thể, việc không đồng bộ giữa các điểm kích có thể gây ra sự thay đổi nội lực tại các thanh liên kết và áp lực tại đỉnh cột, dẫn đến sự

dịch chuyển hoặc lệch của kết cấu. Do đó, cần kiểm soát chặt chẽ quá trình đồng bộ giữa các điểm kích, giảm thiểu sai số về độ cao giữa các điểm trong suốt quá trình nâng.

(3) Đảm bảo ổn định của cột trong quá trình kích nâng

Phương pháp kích nâng đặc biệt phù hợp khi sử dụng cột giàn hai nhánh hoặc bốn nhánh. Các tấm giằng liên kết giữa các nhánh cột đóng vai trò quan trọng trong việc giữ ổn định tổng thể của cột và phải được lắp đặt trước khi bắt đầu kích nâng. Nếu trong quá trình kích nâng các tấm giằng gây cản trở cho kết cấu di chuyển, có thể tháo dỡ tạm thời và lắp lại ngay khi kết cấu đã di chuyển qua. Đồng thời, cần tính toán khả năng chịu tải của cột dưới tác động của tải trọng trong quá trình thi công. Nếu khả năng chịu tải chưa đủ, cần tiến hành gia cố tạm thời để đảm bảo an toàn.

6. Phương pháp trượt trên cao

Phương pháp trượt trên cao là phương pháp lắp đặt kết cấu bằng cách trượt một đơn nguyên phẳng hoặc các đoạn kết cấu đã được chia thành từng dải trên hệ thống đường ray trượt được lắp đặt trước đó để đưa đến vị trí thiết kế và ghép nối thành một tổng thể. Đơn nguyên phẳng này có thể được lắp ráp hoàn chỉnh trên mặt đất rồi cẩu lên vị trí bắt đầu trượt, hoặc có thể chia thành từng đoạn, từng đơn nguyên nhỏ, thậm chí các bộ phận rời để lắp ráp trực tiếp thành đơn nguyên trượt trên bệ lắp ráp trên cao. Thông thường, bệ lắp ráp được đặt tại một đầu của công trình để tiện cho quá trình trượt.

Phương pháp trượt trên cao được sử dụng phổ biến trong thi công kết cấu thép không gian lớn nhờ các ưu điểm vượt trội như diện tích thi công nhỏ, độ chính xác cao khi cẩu lắp, và chất lượng tạo hình kết cấu tốt. Dựa vào cách thực hiện trượt, phương pháp này được chia thành hai loại: phương pháp trượt từng đoạn đơn lẻ và phương pháp trượt tích lũy từng đoạn.

- Phương pháp trượt từng đoạn đơn lẻ: Lần lượt trượt từng đơn nguyên dọc theo đường ray từ bệ lắp ráp đến vị trí thiết kế, sau đó tiến hành lắp nối các đơn nguyên với nhau trên cao cho đến khi hoàn thiện toàn bộ kết cấu.

- Phương pháp trượt tích lũy từng đoạn: Trượt đơn nguyên thứ nhất một đoạn vừa đủ để tạo không gian lắp ráp đơn nguyên thứ hai, sau đó kết nối đơn nguyên thứ hai vào đơn nguyên thứ nhất và trượt cả hai đơn nguyên tiếp tục tiến lên. Tiếp tục lặp lại quy trình này cho các đơn nguyên tiếp theo cho đến khi hoàn thành toàn bộ kết cấu.

Khi kích thước kết cấu theo phương dọc quá lớn, có thể kết hợp cả hai phương pháp trên để thi công. Ví dụ, khi thi công kết cấu dàn phẳng bằng phương pháp trượt, do dàn đơn lẻ có độ ổn định thấp, có thể áp dụng phương pháp trượt tích lũy

để ghép nhiều dàn thành một đơn nguyên trượt có độ ổn định cao hơn, sau đó tiến hành trượt toàn bộ đơn nguyên đến vị trí thiết kế.

Kết hợp với những tiến bộ mới trong thi công kết cấu thép không gian lớn và khẩu độ lớn, dưới đây là các kỹ thuật chính được giới thiệu: kỹ thuật trượt mái thép, kỹ thuật cẩu lắp mái thép, kỹ thuật nâng mái thép, kỹ thuật lắp ráp mái thép tại chỗ, và kỹ thuật lắp dựng hệ thống giàn giáo cao.

1. Kỹ thuật thi công trượt mái kết cấu thép

Phương pháp trượt được sử dụng làm phương pháp lắp đặt kết cấu nhịp lớn trong thi công nhà ga đường sắt. Các kết cấu giàn thép, lưới thép, đặc biệt là những kết cấu có khẩu độ lớn, diện tích rộng, do điều kiện thi công phức tạp, khối lượng công việc lớn và hình dạng kết cấu phức tạp, thường sử dụng phương pháp thi công tại chỗ trên giàn giáo bao quanh công trình.

Thi công trượt kết cấu thép được chia thành ba phương pháp dựa theo đối tượng trượt: phương pháp trượt bằng giàn lắp ráp, phương pháp trượt kết cấu chính và phương pháp trượt đồng bộ kết cấu chính và giàn lắp ráp.

- Phương pháp trượt bằng giàn lắp ráp: Lắp đặt thiết bị trượt dưới giàn lắp ráp, sau khi hoàn thành một đơn nguyên, trượt đến vị trí tiếp theo để lắp ráp đơn nguyên mới.
- Phương pháp trượt kết cấu chính: Giữ cố định giàn lắp ráp (thường đặt ở đầu công trình), sau khi hoàn thành từng đơn nguyên, trượt dần kết cấu đến vị trí thiết kế.
- Phương pháp trượt đồng bộ kết cấu chính và giàn lắp ráp: Lắp đặt thiết bị trượt dưới giàn lắp ráp, sau khi hoàn thành từng đơn nguyên, trượt đồng bộ cả đơn nguyên và giàn lắp ráp đến vị trí thiết kế.

1.1. Yêu cầu trong quá trình trượt

(1) Trước khi trượt, cần kiểm tra và xác nhận sự ổn định của hệ giàn lắp ráp và độ tin cậy của hệ thống trượt thủy lực. Do giàn lắp ráp cao, trong quá trình trượt cần chú ý đến sự ổn định của hệ giàn.

(2) Trong quá trình trượt, cần quan sát áp lực, tải trọng của hệ thống thiết bị và ghi chép đầy đủ các thông số.

(3) Nhân viên đo đạc phải sử dụng thước dây để đo chính xác giá trị dịch chuyển tại các điểm trượt.

(4) Cần chú ý trạng thái hoạt động của đường ray trượt, hệ thống bơm thủy lực, hệ thống điều khiển đồng bộ bằng máy tính và hệ thống cảm biến giám sát trong suốt quá trình trượt.

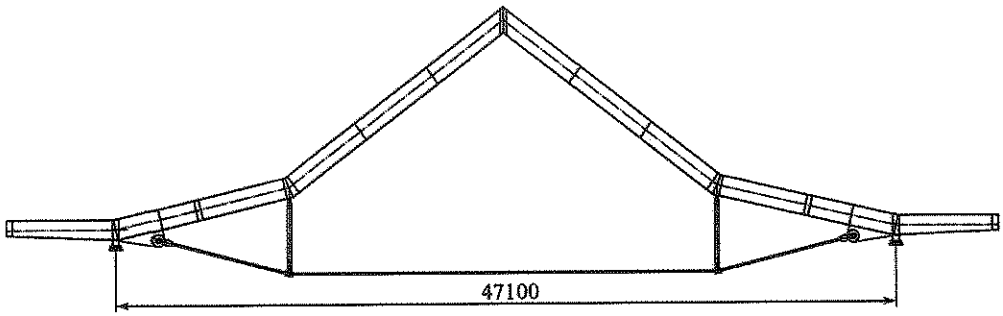
Với các mái kết cấu thép có thiết kế dạng phẳng, đơn cong hoặc đa diện cong, phương án trượt tích lũy được ưu tiên lựa chọn. Kỹ thuật trượt kết cấu thép là một công nghệ đã rất hoàn thiện, sử dụng các cột kết cấu hoặc cột tạm để lắp đặt đường ray trượt. Sau khi hoàn tất việc trượt, chuyển đổi hệ chịu lực từ đường ray sang cột kết cấu, sau đó tháo dỡ đường ray và cột tạm.

Phương án trượt tích lũy có ưu điểm nổi bật đối với các dự án bị giới hạn nghiêm ngặt về không gian sử dụng thiết bị nâng cẩu lớn. Quá trình lắp ráp mái kết cấu thép không cần sử dụng các thanh liên kết bổ sung, mối hàn được hoàn thiện trong một lần, diện tích thi công nhỏ, thiết bị lắp ráp đơn giản, giúp kiểm soát tốt chất lượng, an toàn và chi phí.

Đối với các dự án cải tạo nhà ga lớn, có liên quan đến việc duy trì hoạt động bình thường của tuyến đường sắt hiện hữu và việc chuyển tuyến, sử dụng phương án trượt mang lại sự an toàn cao hơn cho thi công kết cấu thép. Trong những năm gần đây, công nghệ trượt được áp dụng phổ biến trong thi công mái kết cấu thép của nhiều nhà ga như ga Phúc Châu Nam, Nam Nam Kinh, Tây Ninh, Chu Hải, Hạ Môn Tây.

1.2. Trường hợp điển hình

Nhà ga Phúc Châu Nam sử dụng kết cấu khung gồm cột thép bọc bê tông và dầm bê tông. Mái che được làm bằng kết cấu thép, được đặt lên gối trượt hoặc các chi tiết chôn sẵn tại đỉnh cột thép bọc bê tông. Hai bên mái là mái phẳng với cao độ mái là 29,5 m, phần giữa là mái dốc với đỉnh mái cao 51,5 m, và cao độ mép mái là 39,5 m (Hình 5-3-21).



***Hình 5-3-21**: Bản vẽ mặt đứng khung thép mái nhà ga (đơn vị kích thước: mm)*

Do điều kiện mặt bằng công trường bị hạn chế, mái che có mặt bằng hình chữ nhật, chiều dài theo phương dọc lớn, cùng với ảnh hưởng của việc thi công chồng chéo giữa các nhóm công tác và việc các loại cẩu bánh xích lớn không thể tiếp cận gần để lắp đặt trực tiếp, giải pháp thi công bằng phương pháp trượt tích lũy và trượt tổng thể bằng hệ thống thủy lực đã được áp dụng.

(1) Yêu cầu về lắp đặt đường ray trượt

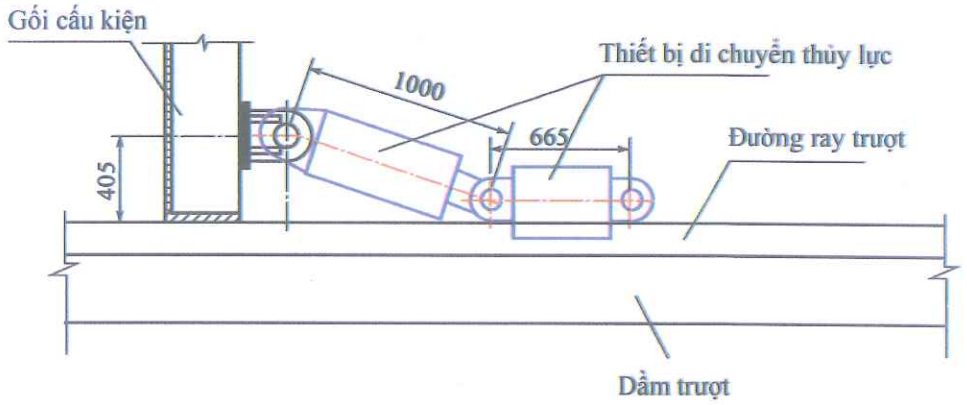
Đường ray trượt đóng vai trò chịu tải trọng, dẫn hướng và giới hạn chuyển vị ngang của giàn thép trong suốt quá trình trượt. Yêu cầu đường ray phải có trục chính trùng với trục chính của gối đỡ giàn thép nhằm giảm mômen uốn lệch tâm do trọng lượng bản thân của đơn nguyên trượt lên đường ray.

(2) Biện pháp gia cố hỗ trợ đường ray trượt

Đường ray trượt sử dụng loại đường ray thép tiêu chuẩn 43 kg/m, dầm ray trượt sử dụng thép hình HW 600 mm × 300 mm × 12 mm × 20 mm, trục chính của dầm trượt trùng với trục chính của ray. Đường ray và dầm trượt được cố định bằng tấm ép dày 20 mm hàn chặt với nhau. Để tăng cường tính ổn định ngang của đường ray, mỗi thanh ray được bố trí hai dầm ray trượt. Dầm trượt được đỡ bằng cột thép ống đường kính ϕ630 mm, các cột được gia cố bằng giằng chéo thép ống ϕ203 mm. Ngoài ra, ở hai bên dầm trượt còn được bố trí thêm các thanh giằng để đảm bảo ổn định ngang trong quá trình trượt.

(3) Lắp đặt tấm tai trượt

Dựa vào dạng gối đỡ và đặc tính chịu lực của giàn thép, điểm đẩy trượt có thể đặt trực tiếp tại gối đỡ giàn thép. Thiết bị bò trượt sẽ được kết nối với gối đỡ (Hình 5-3-22). Yêu cầu bề mặt tiếp xúc giữa đầu gối đỡ và mặt trên của đường ray phải có độ dốc phù hợp và được mài nhẵn nhằm tránh hiện tượng kẹt ray do mặt nối đường ray không bằng phẳng.



Hình 5-3-22: *Sơ đồ bố trí thiết bị trượt leo dọc (đơn vị kích thước: mm)*

(4) Kiểm soát đồng bộ khi trượt

Mỗi đường ray trượt được bố trí một thiết bị bò trượt thủy lực, mỗi thiết bị được điều khiển bởi một bơm chính. Các thiết bị bò trượt sẽ nâng xy-lanh với tốc độ bằng

nhau để đẩy giàn thép trượt. Thông qua việc tính toán và phát lệnh điều khiển đồng bộ, đảm bảo quá trình trượt của hai ray diễn ra đồng thời.

(5) Thi công trượt

Ban đầu, tiến hành thử nghiệm hệ thống trượt. Khi hệ thống được kiểm tra và xác nhận không có vấn đề, bắt đầu tiến hành trượt chính thức. Khi bắt đầu trượt, áp suất của hệ thống bơm thủy lực được tăng dần, lần lượt đạt 20%, 40%, 60%, 80%, 90% và cuối cùng là 100% áp suất cần thiết. Trước khi giàn thép bắt đầu di chuyển, tạm dừng quá trình trượt và giữ nguyên áp lực hệ thống. Tiến hành kiểm tra toàn bộ thiết bị hệ thống bò trượt và hệ thống kết cấu. Chỉ khi đảm bảo sự ổn định và an toàn tuyệt đối của hệ thống mới tiếp tục trượt.

(6) Thi công tháo tải sau khi trượt vào vị trí

Sau khi giàn thép được trượt đến vị trí thiết kế, sử dụng 6 kích thủy lực 50 tấn để tiến hành tháo tải.

Công nghệ lắp đặt tích lũy kết hợp trượt tổng thể bằng hệ thống thủy lực có ưu điểm là thiết bị gọn nhẹ, trọng lượng nhỏ, khả năng chịu tải lớn, độ tự động hóa cao, vận hành linh hoạt, an toàn và đáng tin cậy. Việc áp dụng công nghệ này cho mái nhà ga **Phúc Châu Nam** đã giúp thực hiện lắp đặt các cấu kiện lớn tại công trường có không gian hạn chế hoặc khó tiếp cận bằng thiết bị nâng hạ cỡ lớn (Hình 5-3-23).



Hình 5-3-23: *Hình ảnh hiệu quả sau thi công*

2. Kỹ thuật thi công lắp dựng mái che bằng thép

Khi thiết kế sử dụng cấu trúc mặt cắt lớn, kết cấu khung không gian hoặc khi bố trí cột kết cấu không theo đường thẳng, hoặc hệ truyền lực của lưới kết cấu rất phức

tạp, thường áp dụng phương pháp thi công lắp dựng nguyên khối hoặc chia thành từng đơn vị. Phương pháp lắp dựng bằng cẩu là giải pháp được sử dụng phổ biến nhất trong thi công kết cấu thép, đặc biệt là kết cấu mái che bằng thép. Đặc điểm của phương pháp này là chia kết cấu mái thành những đoạn thi công lớn, sử dụng thiết bị cẩu lớn có tải trọng cao di chuyển trên tầng kết cấu để lắp đặt mái che và các bộ phận khác như cột, dầm kết cấu thép. Mục đích của việc sử dụng thiết bị cẩu có tải trọng lớn là nhằm giảm thiểu việc chia nhỏ các đoạn kết cấu, đồng thời giảm khối lượng công việc lắp ráp và hàn ghép trên cao tại công trường. Các công trình như ga Nam Bắc Kinh, ga Vũ Hán, ga Bắc Tây An, ga Thái Nguyên Nam đều sử dụng phương pháp này để thi công mái che bằng thép. Mái che của ga Nam Bắc Kinh có dạng kết cấu hình elip, ga Vũ Hán là lưới vòm lớn, ga Thái Nguyên Nam thiết kế sử dụng cột hỗ trợ dạng ô dù, trong khi ga Hạ Môn sử dụng kết cấu giàn thép không gian với nhịp lớn. Tính chất đặc thù của từng kết cấu này đòi hỏi các phương án thi công khác nhau.

2.1. Các vấn đề cần giải quyết khi áp dụng phương án lắp dựng bằng cẩu

(1) Lộ trình di chuyển của thiết bị cẩu lớn phải được xác định rõ ràng.

(2) Đảm bảo có điều kiện mặt bằng phù hợp cho việc lắp ráp và ghép nối lần hai.

(3) Thiết kế và thi công cột chống tạm thời phải được thực hiện trước.

(4) Các điều kiện công tác cẩu lắp, điều kiện dỡ tải phải được kiểm tra và đáp ứng yêu cầu kỹ thuật.

(5) Xác định tuyến di chuyển của thiết bị cẩu lớn và thực hiện các biện pháp gia cố kết cấu phù hợp.

2.2. Ví dụ điển hình về công trình

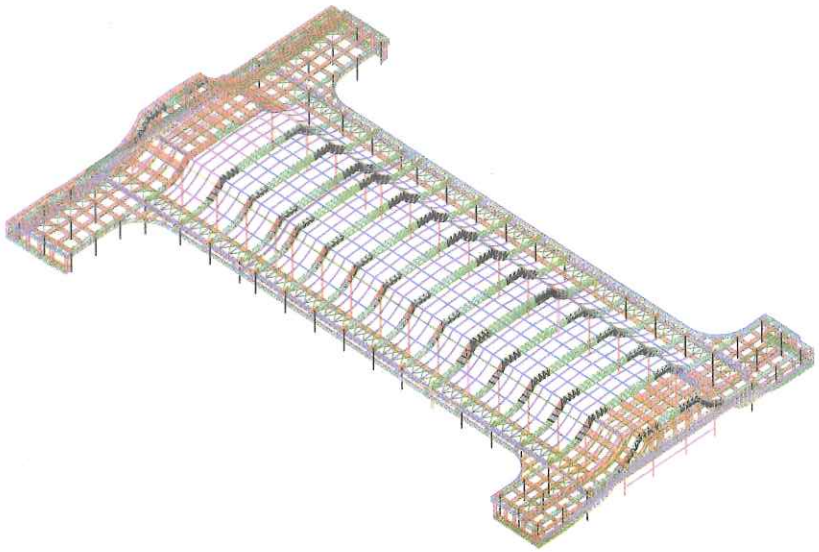
Ga Tây Lan Châu có tổng chiều cao kiến trúc là 39,35m, mặt đứng bên ngoài và mái nhà sử dụng kết cấu giàn ống thép không gian chính giao nhau. Theo hướng đường ray, nhịp chính là 27m, 66m, 27m, còn theo hướng vuông góc với đường ray, các nhịp chủ yếu nằm trong khoảng 20m đến 32m. Kết cấu chính kết hợp với lớp bao che kiến trúc tạo thành hệ giàn chính theo hình dạng chữ "几", phần giữa của chữ "几" nhô lên khoảng 10m, với nhịp lớn nhất lên đến 66m. Kết cấu giàn được kết nối với cột ống thép thông qua các giàn tam giác ngược bằng ống thép có nhịp 2m và chiều cao 3m. Thách thức lớn trong thi công là quy mô công trình lớn, hình dạng phức tạp, khiến quá trình thi công gặp nhiều yếu tố không chắc chắn.

Sử dụng công nghệ BIM để xây dựng mô hình không gian và mô phỏng các hình thức kết nối, thực hiện định vị chính xác; đồng thời sử dụng các phần mềm tính toán mô phỏng như MIDAS để tiến hành phân tích và lập bản vẽ chi tiết. Tại công

trường, các giàn thép lớn được chia thành nhiều đơn vị nhỏ theo dạng dải hoặc khối, sau đó lần lượt được cẩu lên vị trí thiết kế trên cao để lắp ráp và kết nối thành tổng thể, cuối cùng tiến hành tháo dỡ hệ đỡ tạm thời.

(1) Công nghệ thi công thông tin hóa toàn bộ quá trình kết cấu

Hệ giàn mái thép có nhịp theo hướng đường ray lên đến 120m, cấu trúc giàn bao gồm hàng chục nghìn thanh giằng nên yêu cầu độ chính xác cao trong gia công các thanh giằng và lắp ráp chính xác tại vị trí trên cao. Trước khi sản xuất gia công giàn thép, sử dụng phần mềm MIDAS và công nghệ mô phỏng máy tính để phân tích và mô phỏng biến dạng khi cẩu lắp từng khối, biến dạng của giá đỡ, biến dạng khi lắp đặt và tháo dỡ. Phần mềm Xsteel được sử dụng để mô phỏng ba chiều toàn bộ quá trình từ gia công, cẩu lắp đến tháo dỡ, giúp số hóa quá trình thiết kế và thi công công trình. Trong quá trình thi công, sử dụng công nghệ BIM để xây dựng mô hình không gian ba chiều của hệ giàn thép, mô phỏng bố trí hệ giàn trong không gian nhằm xác định vị trí từng thanh giằng, kích thước gia công và hình dạng điểm cắt nối của các thanh giằng. Dựa trên dữ liệu từ mô hình ba chiều, thực hiện gia công và lắp ráp từng đoạn để đảm bảo kết nối chính xác trên cao của hệ giàn thép (Hình 5-3-24).

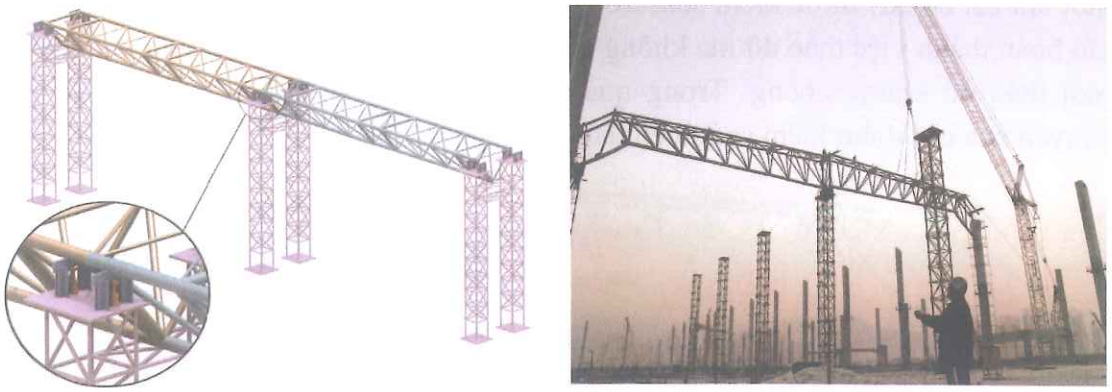


Hình 5-3-24: *Mô phỏng không gian khung giàn thép*

(2) Kỹ thuật lắp đặt hệ đỡ tạm thời

Để đảm bảo các đoạn kết cấu được lắp đặt đúng vị trí, cần bố trí hệ giàn đỡ tạm thời. Trên cơ sở tính toán trọng lượng từng đoạn, xác định hệ đỡ tạm thời của công

trình này sử dụng hệ cột dạng lưới. Đồng thời, tùy thuộc vào lực tác dụng lên hệ đỡ trong quá trình cẩu lắp, thiết kế hợp lý cho từng cột đỡ tạm thời và kiểm tra khả năng chịu lực của kết cấu khi cẩu lắp. Sử dụng công nghệ mô phỏng máy tính để giả lập biến dạng khi cẩu lắp từng khối, biến dạng của hệ đỡ và tháo dỡ, nhằm đảm bảo vị trí lắp đặt và độ chính xác đạt yêu cầu (Hình 5-3-25).



Hình 5-3-25: *Sơ đồ khung giàn đỡ tạm thời*

(3) Kỹ thuật thi công lắp đặt từng đoạn kết cấu

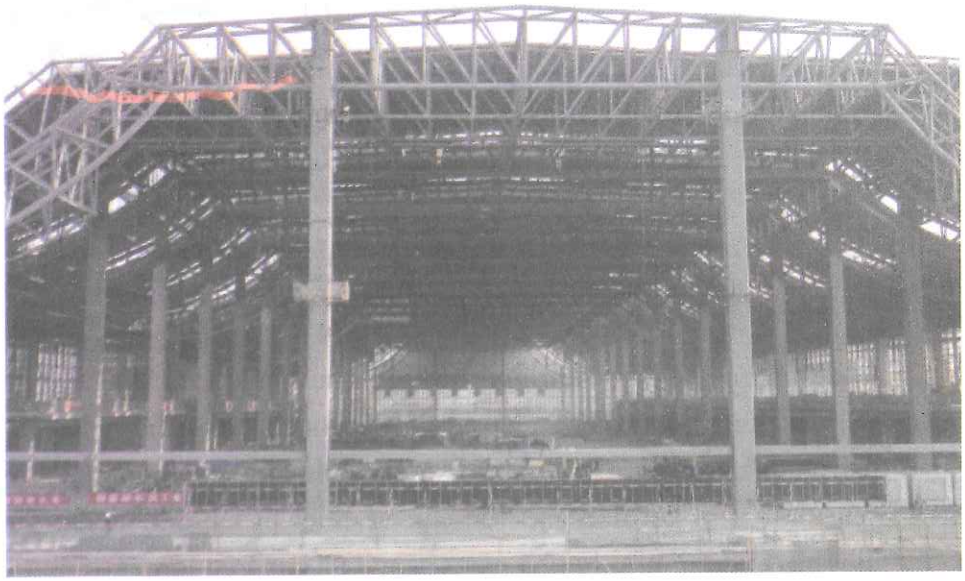
Khung giàn chính của nhà ga sử dụng hai cần cẩu bánh xích 400 tấn, lần lượt được đặt ở hai bên đông và tây của nhà ga để tiến hành đồng thời việc lắp dựng khung giàn thép vượt nhịp lớn. Căn cứ vào sơ đồ công suất của cần cẩu bánh xích 400 tấn và đồng thời xem xét đến các yêu cầu về thiết bị lắp đặt, tuyến đường di chuyển của thiết bị, sử dụng hợp lý khả năng nâng của cần cẩu lớn. Trong điều kiện cho phép về sức nâng và bán kính quay, các nút và cấu kiện được nâng lên theo từng khối lớn để giảm thiểu số lần định vị khi lắp đặt, đảm bảo chất lượng và tiến độ lắp đặt, đồng thời giảm số điểm kết nối trên cao giữa các đoạn (Hình 5-3-26).



Hình 5-3-26: *Lắp đặt từng đoạn đơn vị dàn thép bằng phương pháp cẩu.*

(4) Kỹ thuật tháo dỡ sau khi lắp đặt kết cấu

Áp dụng phương án tháo dỡ từng phần theo cấp độ, tuân thủ nguyên tắc phối hợp và cân bằng giữa lực tác động và biến dạng của kết cấu trong quá trình tháo dỡ, đồng thời đảm bảo quá trình này diễn ra chậm rãi và dễ thao tác tại hiện trường. Chủ yếu áp dụng biện pháp cắt bỏ dần dần ván khuôn tại đầu các khung chống, với chiều cao mỗi lần cắt bỏ ΔH được kiểm soát trong khoảng từ 5 đến 10 mm, thực hiện cho đến khi hoàn thành việc tháo dỡ mà không còn phát sinh dịch chuyển kết cấu xuống dưới mới tháo dỡ khung chống. Trong quá trình tháo dỡ, cần chú ý theo dõi sự dịch chuyển của các điểm kiểm soát biến dạng (Hình 5-3-27).



Hình 5-3-27: *Hoàn thành sau khi dỡ tải dàn thép*

(5) Kỹ thuật hàn kết cấu thép trong điều kiện nhiệt độ thấp

Vật liệu thép của khung giàn chủ yếu là Q345C, Q345GJC, yêu cầu cao về độ bền của thép tấm và các nút. Do công tác hàn kết cấu diễn ra vào mùa đông khắc nghiệt tại Lan Châu, việc thi công hàn kết cấu thép ở độ cao và nhiệt độ thấp đặt ra các yêu cầu và tiêu chuẩn khắt khe hơn. Trong điều kiện nhiệt độ thấp, do sự mất nhiệt nhanh của kim loại mối hàn khi làm nguội và sự co rút khi nguội gây ra ứng suất không đồng đều trong khu vực hàn, có thể làm biến dạng cấu kiện. Vì vậy, cần lựa chọn que hàn có tính năng chống nứt tốt ở nhiệt độ thấp như que hàn loại ít hydro, que hàn độ dai cao hoặc que hàn loại oxit sắt. Trong quá trình hàn, cần sử dụng các phương pháp gia nhiệt trước bằng điện hoặc ngọn lửa để làm nóng cấu kiện, sau khi hàn xong cần tiến hành xử lý khử hydro bằng gia nhiệt sau để đảm bảo vùng hàn nguội đều, giảm thiểu sự phát sinh ứng suất không đồng đều.

Công nghệ thi công lắp đặt từng đoạn khung giàn thép hình chữ "kí" vượt nhịp lớn của mái nhà ga Tây Lan Châu đã giải quyết được vấn đề lắp ghép khung giàn thép vượt nhịp lớn trên cao, đảm bảo khung giàn thép mái được lắp ghép hoàn chỉnh chỉ trong một lần, giảm khối lượng hàn kết cấu trên cao, đạt được hiệu quả kinh tế và xã hội rõ rệt.

3. Công nghệ thi công nâng kết cấu mái thép

Dù là kết cấu lưới không gian hay kết cấu giàn thép, về mặt lý thuyết đều có thể áp dụng phương pháp nâng, thường được chia thành ba phương án: nâng toàn bộ, nâng từng phần hoặc lắp ráp trên cao. Các điểm cần lưu ý gồm:

1- Cố gắng tận dụng cột kết cấu làm bộ phận chịu lực chính khi nâng.

2- Đảm bảo các đơn vị nâng có thể tạo thành khối ổn định và biến dạng của kết cấu đáp ứng yêu cầu thiết kế.

3- Lực tác động trong quá trình nâng phải tương đồng với thiết kế; nếu có sai lệch, cần thực hiện các biện pháp gia cố.

4- Đảm bảo đủ không gian cho việc lắp ráp và nâng.

Trong quá trình nâng, cần kiểm soát việc nâng đồng bộ và giám sát biến dạng kết cấu.

- Ga Tây Thiên Tân được thiết kế với kết cấu vòm hộp, thi công theo phương án nâng từng phần.

- Ga Hạ Môn sử dụng kết cấu giàn thép không gian khẩu độ lớn, thi công bằng phương pháp nâng toàn bộ giàn thép.

- Ga Vu Gia Bảo có kết cấu dạng vỏ sò bất đối xứng, phần sảnh trung tâm được thi công bằng cách lắp ráp kết cấu thép dưới lòng đất, sau đó nâng toàn bộ và hợp long trên cao.

- Kết cấu lưới không gian thường áp dụng phương pháp nâng từng phần hoặc nâng toàn bộ, như tại các ga Bân Hải, Nam Ninh, Thẩm Dương và Phổ Giả Hắc.

• *Phân tích trường hợp điển hình:*

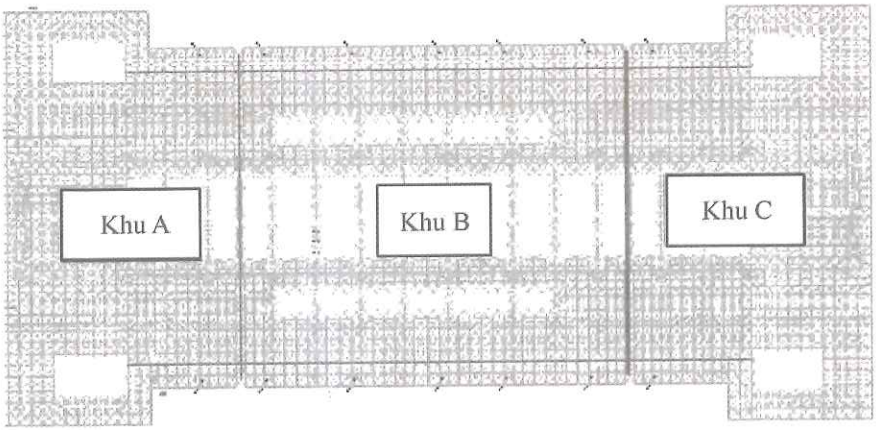
Ga Đông Nam Ninh nằm tại thành phố Nam Ninh, Quảng Tây, là điểm giao của tuyến cao tốc Nam Quảng, tuyến đường sắt ven biển Quảng Tây và tuyến Liễu Nam. Đây là ga đường sắt cao tốc lớn nhất tại Quảng Tây, với tổng diện tích xây dựng 267.471 m^2 (Hình 5-3-28).

Kết cấu thép của ga bao gồm hai phần: kết cấu thép nhà ga và kết cấu thép mái che mưa, với tổng khối lượng thép khoảng 20.845 tấn. Nhà ga là kết cấu khung bê tông cốt thép, mái nhà sử dụng kết cấu lưới ống thép. Các đơn vị lưới chủ yếu là hình chóp

tứ giác vuông góc, kích thước mặt bằng lớn nhất của mái thép là 210 m × 438 m, kích thước lưới điển hình là 4,8 m × 4,2 m, chiều cao từ 3,6 đến 7 m. Mái thép được chia thành ba khu vực nâng A, B và C theo khe co giãn (Hình 5-3-29). Khu A và khu C nặng khoảng 1.700 tấn mỗi khu, khu B nặng khoảng 2.500 tấn, với chiều cao nâng từ 20 đến 40 m.



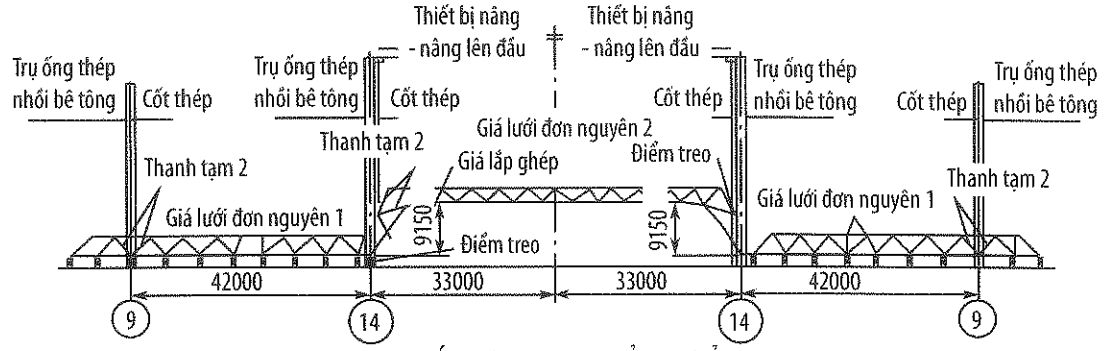
Hình 5-3-28: *Hiệu quả thi công Ga Đông Nam Ninh*



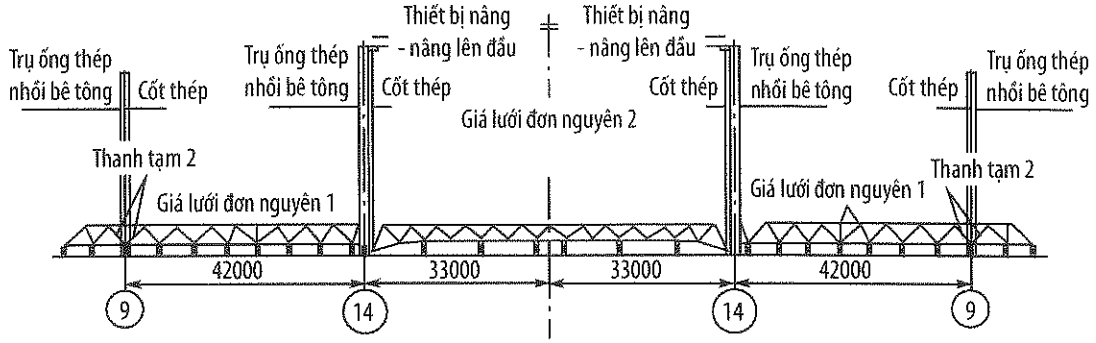
Hình 5-3-29: *Phân khu nâng mái che bằng thép*

Việc nâng mái thép tại Ga Đông Nam Ninh áp dụng công nghệ nâng tích lũy theo đơn vị và căng cáp dự ứng lực tại giữa nhịp (Hình 5-3-30). Toàn bộ quá trình thi công được mô phỏng để tối ưu hóa quy trình dỡ tải, giảm thiểu biến dạng của cột bê tông cốt thép trong quá trình thi công, nâng cao chất lượng và đáp ứng yêu cầu thiết kế.

Bằng cách áp dụng quy trình dỡ tải từ giữa nhịp ra hai đầu với cáp căng ngang, công nghệ này đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật của phương pháp nâng tích lũy theo đơn vị. Phương pháp này cho phép lắp ráp phần giữa của lưới ở độ cao 5 m trên mặt đất, giảm khoảng 100 tấn các biện pháp tạm thời, giảm thiểu công việc trên cao, tăng tính an toàn, giảm chi phí nhân công và đẩy nhanh tiến độ thi công, rút ngắn ít nhất 1 tháng, đáp ứng yêu cầu về tiến độ.



a) Lắp ghép nâng tổng thể



b) Nâng tích lũy lắp ghép phân đơn nguyên

Hình 5-3-30: *Sơ đồ minh họa nâng mái che bằng thép (Đơn vị kích thước: mm)*

4. Kỹ thuật lắp ráp tại chỗ kết cấu thép

Trong các công trình kết cấu thép của nhà ga đường sắt, khối lượng công việc tại hiện trường rất lớn, việc kiểm soát biến dạng hàn phụ thuộc vào lý thuyết, kinh nghiệm và các biện pháp điều chỉnh biến dạng. Việc lắp ráp kết cấu thép không chỉ là quá trình kết nối các bộ phận thành một thể thống nhất mà còn là quá trình điều chỉnh sai số của việc gia công chế tạo và thi công xây dựng, nhằm tránh sự tích lũy sai số.

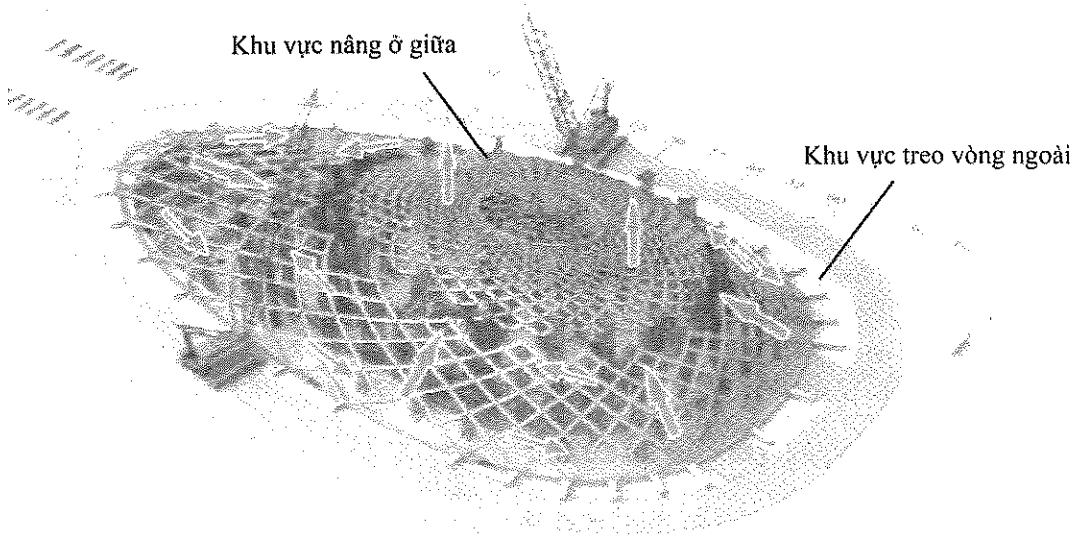
Việc sử dụng công nghệ thông tin và công nghệ xử lý hình ảnh quét giúp phản hồi trực tiếp sai số tại hiện trường về nhà máy gia công kết cấu thép, từ đó thực hiện các biện pháp điều chỉnh sai số trước. Trình tự lắp ráp các thanh giằng, đơn vị kết cấu và trình tự hàn cũng là yếu tố quan trọng để kiểm soát chất lượng. Việc lắp đặt các đoạn bổ sung và thiết lập mối hàn cần có dữ liệu thời gian thực để xác định chính xác.

Do kết cấu thép nhạy cảm với nhiệt độ, điều này phải được xem xét trong phương án thi công, đặc biệt là đối với các bộ phận có tỷ lệ chiều dài trên tiết diện lớn. Trong quá trình thi công, cần áp dụng các biện pháp kiểm soát trước để giảm thiểu biến dạng do nhiệt độ của các bộ phận, đơn vị kết cấu và toàn bộ kết cấu. Ngoài ra,

tại những khu vực có sự chênh lệch nhiệt độ theo mùa lớn, cần đặc biệt quan tâm đến ảnh hưởng của biến dạng nhiệt đối với lớp trang trí hoàn thiện, đồng thời thiết kế khe biến dạng hợp lý cho kết cấu thép và kết cấu tấm bê tông tổng hợp.

• *Phân tích trường hợp điển hình:*

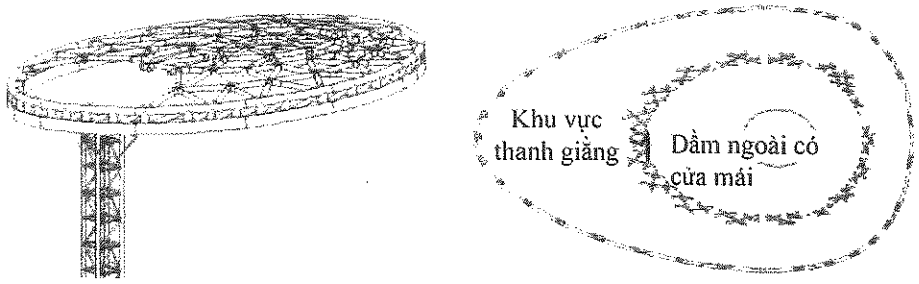
Tại ga đường sắt ngầm Dư Gia Bảo ở Thiên Tân, mái che được thiết kế theo hình xoắn ốc kiểu vỏ sò, được đặt trên hệ dầm hộp thép hình vành khuyên hình bầu dục. Phần trung tâm của mái che sử dụng công nghệ nâng, còn khu vực xung quanh sử dụng phương pháp lắp ráp từng đơn vị nhỏ. Khu vực nâng và khu vực lắp ráp rời được kết nối thông qua các thanh giằng bổ sung (Hình 5-3-31).



Hình 5-3-31: *Sơ đồ lắp ráp tại chỗ tại ga Dư Gia Bảo Thiên Tân*

Quá trình thi công diễn ra trong mùa hè và mùa thu, biến dạng nhiệt của kết cấu thép rất rõ rệt. Bằng cách bố trí các khe co giãn, kiểm soát thời gian lắp ráp và trình tự hàn, đã hạn chế và kiểm soát được biến dạng nhiệt.

Các thanh giằng bổ sung giữa khu vực nâng và khu vực lắp ráp có tổng cộng 121 thanh, phân bố như Hình 5-3-32. Trong đó, loại 1 có 35 thanh, loại 2 có 86 thanh, và khu vực bên trong dầm vành khuyên của cửa sổ mái có 2 cụm giằng bổ sung. Các thanh giằng loại 1 được kết nối với các cấu kiện của khu vực nâng và khu vực lắp ráp qua chân đế, phương pháp lắp đặt giống với các thanh giằng bổ sung ở khu vực lắp ráp, sử dụng phương pháp cố định bằng ván mã tại vị trí cao. Các thanh giằng loại 2 do bị vướng vào giàn nâng nên cần áp dụng phương pháp "nâng - tháo - treo" để lắp đặt các thanh giằng bổ sung.



Hình 5-3-32: Phân bố các thanh giằng bổ sung của kết cấu vỏ sò lớp đơn dạng lưới.

5. Kỹ thuật thi công hệ giàn giáo cao lớn tại công trường

Trong các công trình xây dựng nhà ga đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, hệ kết cấu nhà ga có xu hướng ngày càng lớn và phức tạp, kéo theo sự xuất hiện của các hệ thống chống đỡ cốp pha vượt giới hạn về tải trọng, chiều cao lớn, khoảng cách nhịp dài và không gian thông thoáng. Đặc biệt, hệ giàn giáo cao và lớn được sử dụng phổ biến trong các công trình này, thuộc nhóm hạng mục công trình có mức độ nguy hiểm cao, đòi hỏi kiểm soát nghiêm ngặt về an toàn thi công. Tuy nhiên, trên thực tế, các sự cố sập đổ giàn giáo cao vẫn thường xuyên xảy ra do nhiều nguyên nhân như nhận thức kém của công nhân, sự cố bất ngờ tại công trường, sai sót trong tính toán, quản lý thi công yếu kém hoặc lắp dựng không đúng quy trình. Những sự cố này gây thiệt hại lớn về kinh tế và xã hội. Vì vậy, để đảm bảo an toàn trong thi công hệ giàn giáo cao, cần phát huy vai trò quản lý kỹ thuật trong toàn bộ quá trình thi công, từ khâu lập kế hoạch đến khâu triển khai.

Để ngăn ngừa các sự cố sập đổ giàn giáo và tai nạn ngã cao trong quá trình thi công, cần thực hiện nghiêm túc các biện pháp phòng ngừa theo phương châm: *"Lấy con người làm trung tâm, an toàn là trên hết, phòng ngừa là chính, quản lý toàn diện, đổi mới liên tục, quản lý khoa học và phát triển bền vững"*. Những giải pháp quan trọng bao gồm:

(1) Xây dựng tư duy lấy con người làm trung tâm, đảm bảo an toàn kỹ thuật toàn diện

Mọi công trình đều do con người trực tiếp thi công. Vì vậy, trong thiết kế, sản xuất giàn giáo cao cũng như trong việc lập phương án và triển khai thi công, cần đảm bảo nguyên tắc "lấy con người làm trung tâm, an toàn là trên hết". Các biện pháp an toàn phải được áp dụng đồng bộ và hiệu quả tại tất cả các giai đoạn thi công.

(2) Nâng cao nhận thức về an toàn và kỹ thuật thi công

Việc đảm bảo an toàn trong thi công đòi hỏi nhận thức sâu sắc về các rủi ro tiềm ẩn và giải pháp kỹ thuật an toàn phù hợp. Trước và trong quá trình thi công, đội ngũ

quản lý và công nhân cần được đào tạo đầy đủ về công nghệ thi công cũng như kỹ thuật an toàn. Đặc biệt, cần quan tâm đúng mức đến hệ giàn giáo và các công cụ hỗ trợ thi công.

(3) Tăng cường công tác quản lý an toàn, loại trừ nguy cơ tai nạn

Hầu hết các sự cố trong thi công hệ giàn giáo cao đều xuất phát từ việc quản lý lỏng lẻo. Do đó, để đảm bảo công trình hoàn thành đúng tiến độ và an toàn, cần áp dụng mô hình quản lý an toàn toàn diện trong suốt quá trình thi công. Đặc biệt, cần tổ chức tốt đội ngũ phụ trách an toàn, thường xuyên kiểm tra và đánh giá tình trạng an toàn tại công trường. Song song đó, cần tổ chức các chương trình huấn luyện, nâng cao nhận thức và kỹ năng an toàn cho đội ngũ công nhân.

(4) Phân công trách nhiệm rõ ràng, loại bỏ triệt để nguy cơ tai nạn

Cần xây dựng và thực hiện đầy đủ hệ thống trách nhiệm an toàn trong thi công. Các bên liên quan bao gồm tổng thầu, nhà thầu phụ, trưởng nhóm và nhân viên an toàn chuyên trách đều phải có trách nhiệm cụ thể trong việc đảm bảo an toàn thi công. Chế độ trách nhiệm phải được thực hiện đồng bộ với hệ thống kiểm tra, giám sát và khen thưởng, xử phạt rõ ràng. Chỉ khi trách nhiệm an toàn được phân công rõ ràng và thực thi nghiêm túc mới có thể loại bỏ triệt để nguy cơ tai nạn.

Phần tiếp theo sẽ trình bày về hệ thống giàn giáo khóa đĩa và hệ giàn giáo chống đỡ cao.

5.1. Kỹ thuật thi công hệ giàn giáo khóa đĩa

Giàn giáo khóa đĩa là loại giàn giáo có các đĩa tròn được hàn cố định trên thanh đứng ở một khoảng cách nhất định. Các thanh ngang sử dụng đầu nối chốt khớp vào đĩa tròn và được cố định bằng chốt cắm hình nêm. Thanh đứng được nối dài bằng ống lồng để kết nối. Hệ thống này thường được sử dụng kết hợp với đế điều chỉnh, chống điều chỉnh và các phụ kiện hỗ trợ khác.

(1) Đặc điểm chính:

① *An toàn và đáng tin cậy:* Các đĩa tròn trên thanh đứng được khóa chặt với đầu nối trên thanh ngang bằng chốt nêm, đảm bảo truyền tải trọng đáng tin cậy. Thanh đứng khi nối với nhau truyền lực theo trục tâm. Do chiều dài của thanh ngang được cố định, độ thẳng đứng của hệ giàn giáo được đảm bảo, giúp kết cấu chịu lực chủ yếu theo phương trục tâm nén. Hệ giàn giáo gần như trở thành kết cấu dạng cột, do đó khả năng chịu tải cao và khó xảy ra hiện tượng mất ổn định dẫn đến sập đổ.

② *Lắp ráp nhanh, dễ quản lý:* Thanh ngang và thanh đứng kết nối mà không cần dụng cụ đặc biệt, chỉ cần dùng búa để đóng chốt nêm là có thể hoàn thành việc lắp ráp hoặc tháo dỡ. Hiệu suất làm việc được tăng gấp 2-3 lần, tiết kiệm công sức, thời

gian và nhân lực. Tất cả các thanh đều được tiêu chuẩn hóa, dễ dàng bảo quản, vận chuyển và xếp dỡ, giúp đảm bảo công trường thi công sạch sẽ, tránh tình trạng mất mát hoặc hư hỏng vật liệu.

③ *Tiết kiệm vật liệu, thân thiện với môi trường:* Nhờ sử dụng thép hợp kim thấp làm vật liệu chính và xử lý bề mặt bằng phương pháp mạ kẽm nhúng nóng, so với các hệ giàn giáo khác, với cùng mức tải trọng, lượng vật liệu có thể tiết kiệm khoảng 1/3. Điều này giúp giảm chi phí vận chuyển, chi phí nhân công lắp ráp, quản lý và hao hụt vật liệu.

(2) Các điểm cần kiểm soát trong thi công hệ giàn giáo khóa đĩa:

① *Truyền tải trọng ngang và độ ổn định tổng thể:* Được đảm bảo chủ yếu nhờ hệ thống kết cấu tự thân, các phần giàn giáo bị gián đoạn cần được nối lại bằng các thanh thép và khóa nối thông thường để tạo thành một khối kết cấu thống nhất. Khi nền móng có sự chênh lệch cao độ lớn, có thể sử dụng chốt điều chỉnh kết hợp với đế điều chỉnh để cân bằng chênh lệch.

② *Chiều dài thanh chống điều chỉnh:* Chiều dài phần thanh chống điều chỉnh nhô ra khỏi thanh ngang trên cùng không được vượt quá 650mm, chiều dài phần ren lộ ra ngoài không được vượt quá 400mm. Thanh chống điều chỉnh phải được chèn vào thanh đứng tối thiểu 150mm. Phần ren của đế điều chỉnh không được lộ ra quá 300mm, và thanh ngang ở lớp dưới cùng làm nhiệm vụ quét mặt đất không được cao hơn 550mm tính từ mặt đất.

③ *Làm việc theo đúng quy trình thi công:* Theo phương ngang, lắp trước 4 thanh đứng để tạo thành một đơn vị khung tháp ổn định, sau đó lắp thanh ngang rồi mở rộng dần ra các phía xung quanh. Theo phương đứng, sau khi hoàn thành một tầng thì mới tiếp tục lắp đặt tầng tiếp theo, lặp lại quy trình cho đến khi hoàn thành toàn bộ giàn giáo.

④ *Điều chỉnh độ phẳng:* Đánh dấu các điểm cố định trên mặt bằng xung quanh công trường, căng dây để căn chỉnh độ phẳng. Sau khi lắp đặt xong cụm giàn giáo đầu tiên, sử dụng thước cân nước để kiểm tra và điều chỉnh, đảm bảo toàn bộ đế điều chỉnh nằm trên cùng một mặt phẳng.

⑤ *Kết hợp các thanh giàn:* Sử dụng chốt nêm để kết nối các thanh. Sau khi lắp đặt, dùng búa đóng chặt các chốt nêm để đảm bảo liên kết chắc chắn.

⑥ *Trình tự lắp đặt:* Bắt đầu lắp từ một đầu đến đầu kia, lắp từ dưới lên trên, từng bước từng tầng. Tránh lắp đặt từ hai đầu về giữa để tránh tình trạng sai lệch tại điểm nối, gây khó khăn cho việc kết nối và ảnh hưởng đến độ ổn định của giàn giáo.

(3) Phân tích trường hợp điển hình

Nhà ga Đại Liên Bắc có nhiều kết cấu bê tông có nhịp và tiết diện lớn. Dầm khung của hành lang thoát ra ở tầng hầm 1 có tiết diện lớn nhất 3,7 m × 3,0 m, nhịp lớn nhất 28,5 m × 24 m; sàn tầng đường ray dày 0,5 m, chiều cao tầng kết cấu là 8,65 m.

Hệ thống chống đỡ cốp pha cho tấm sàn được lựa chọn giữa hai phương án: giàn giáo khóa bát và giàn giáo khóa đĩa. Qua quá trình mô phỏng, tính toán lý thuyết và phân tích các điều kiện bất lợi tại công trường, phương án giàn giáo khóa đĩa được chọn nhờ khả năng chịu tải cao, chức năng tự khóa, lắp ráp linh hoạt và tính đồng bộ tốt của các thanh giằng (Hình 5-3-33).

① *Thử nghiệm chịu tải trước cho giàn giáo kiểu mới*

Trước khi đưa vào sử dụng, thực hiện thử nghiệm chịu tải bằng cách chọn một đoạn giàn giáo đại diện đặt dưới khối dầm nguyên mẫu nhằm kiểm tra khả năng chịu tải và độ ổn định của hệ thống.

② *Tính toán trước khi thử nghiệm chịu tải*

Trong quá trình nén trước, có nguy cơ xảy ra sự cố mất ổn định. Vì vậy, trước khi tiến hành nén, cần tính toán chính xác khả năng chịu tải, độ cứng và độ ổn định của hệ thống giàn giáo.



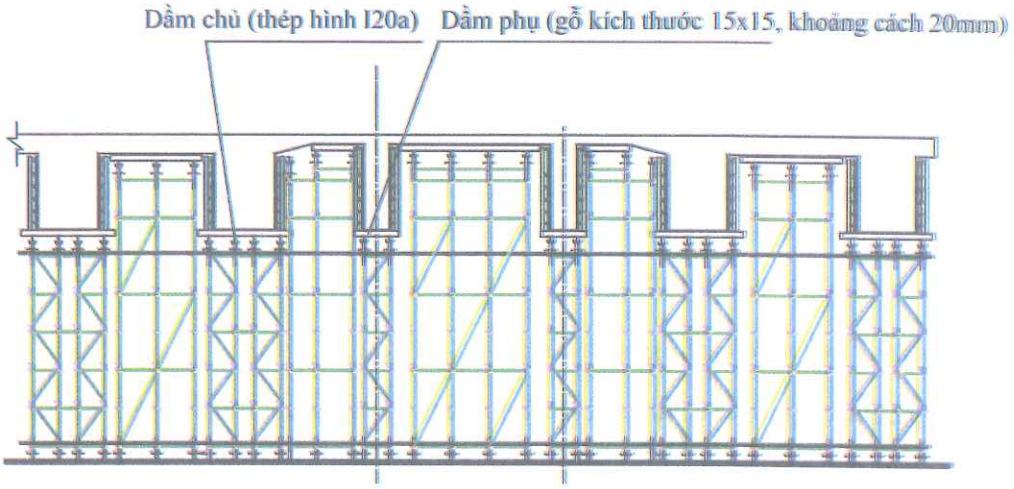
***Hình 5-3-33:** Sơ đồ nút giàn giáo*

③ *Giám sát quá trình nén trước*

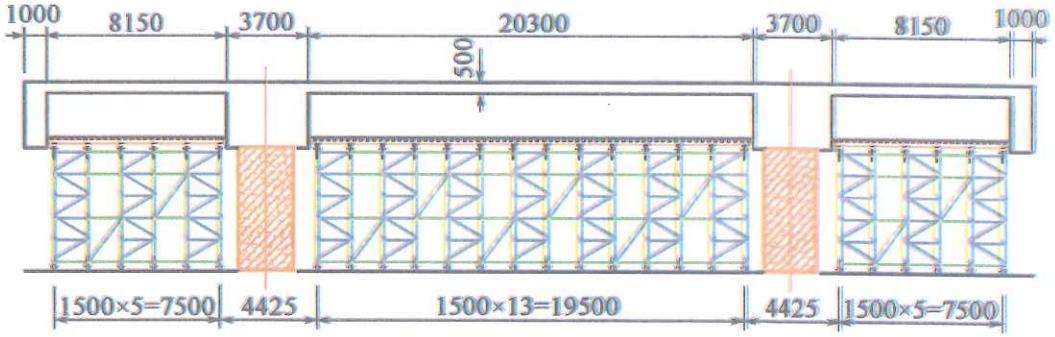
Trước khi tải trọng được áp dụng, lựa chọn các cột giàn giáo đại diện và đặt điểm quan trắc ở đầu và chân cột để theo dõi biến dạng. Quá trình nén được thực hiện theo 3 cấp tải trọng, lần lượt đạt 60%, 80%, và 100% tải trọng thiết kế.

(4) Thiết kế giàn giáo tại công trường

Dựa trên kích thước tiết diện của kết cấu và điều kiện tải trọng thi công, đã thiết kế các loại giàn giáo khác nhau cho hành lang thoát ra ở tầng hầm và sàn tầng đường ray, đảm bảo khả năng chịu tải và an toàn khi thi công (Hình 5-3-34, Hình 5-3-35).



Hình 5-3-34: *Nút đứng của giàn giáo dưới tấm theo phương dọc*



Hình 5-3-35: *Sơ đồ bố trí mặt đứng của giàn giáo theo phương ngang (đơn vị kích thước: mm)*

Hệ thống chống đỡ giàn giáo khóa đĩa cho phép tăng khoảng cách giữa các cột chống, giúp tiết kiệm vật liệu, giảm khối lượng công việc lắp dựng, đẩy nhanh tiến độ thi công. Phương án này mang lại hiệu quả kinh tế - xã hội rõ rệt.

5.2. Kỹ thuật thi công hệ thống giàn giáo cao dưới dầm và tấm sàn dày tầng đường ray

Trong quá trình thi công nhà ga, hệ thống giàn giáo đỡ cho cốp pha cao được sử dụng, với cấu tạo chủ yếu bao gồm các thành phần như: thanh chống đứng, thanh

giằng dọc và ngang, thanh giằng chéo, kẹp nối và các bộ phận khác. Hệ thống giàn giáo này còn bao gồm các chi tiết kết nối với cột kết cấu và yêu cầu về việc lắp đặt tạm thời các tấm đỡ sàn. Trong thi công, việc lắp đặt lan can bảo vệ và lưới an toàn đóng vai trò quan trọng để đảm bảo an toàn cho hệ thống giàn giáo cao.

• *Kiểm tra và nghiệm thu hệ thống giàn giáo cao:* Việc kiểm tra do kỹ sư trưởng của dự án tổ chức, phối hợp với bộ phận an toàn, chất lượng, đội trưởng công trường và tổ trưởng tự kiểm tra. Nếu đạt yêu cầu, tiến hành báo cáo cho các bộ phận liên quan của công ty để kiểm tra lại. Nếu không đạt yêu cầu, đội trưởng công trường và bộ phận an toàn, chất lượng phải yêu cầu tổ thi công khắc phục. Nghiệm thu hệ thống giàn giáo cao được thực hiện theo quy trình kiểm tra, nếu đáp ứng các yêu cầu và quy định liên quan, mới được phép tổ chức nghiệm thu.

• *Yêu cầu về quy trình và nghiệm thu:*

Hệ thống giàn giáo cao phải được báo cáo và nghiệm thu bởi kỹ sư giám sát, đồng thời đạt tiêu chuẩn chất lượng trước khi tiến hành lắp đặt cốp pha cho dầm và sàn. Quy trình và yêu cầu lắp đặt cốp pha dầm, sàn phải tuân thủ thiết kế hệ thống giàn giáo đỡ. Việc tháo dỡ hệ thống giàn giáo cao được thực hiện ít nhất sau 2 tuần kể từ khi đổ bê tông dầm, sàn. Trước khi tháo dỡ cốp pha, cần kiểm tra cường độ mẫu bê tông bảo dưỡng cùng điều kiện. Dựa trên báo cáo thử nghiệm cường độ bê tông, xác định thời gian và phạm vi tháo dỡ cốp pha, giàn giáo, sau đó lập biên bản và trình kỹ sư giám sát phê duyệt.

(1) Điều kiện tháo dỡ cốp pha và giàn giáo:

① Đối với dầm và sàn có nhịp nhỏ hơn 8m, chỉ được tháo dỡ khi cường độ bê tông đạt ít nhất 75% giá trị thiết kế. Đối với dầm và sàn có nhịp lớn hơn 8m, chỉ được tháo dỡ khi cường độ bê tông đạt 100% giá trị thiết kế.

② Trình tự tháo dỡ: Nới lỏng kích chống đầm → Tháo dỡ cốp pha đáy dầm → Tháo dỡ cốp pha hai bên dầm → Tháo dỡ cốp pha đáy sàn → Vận chuyển cốp pha → Tháo dỡ giàn giáo → Thu dọn vật liệu → Vệ sinh mặt sàn.

(2) Biện pháp kỹ thuật an toàn:

① Hướng dẫn kỹ thuật trong quá trình lắp dựng giàn giáo.

② Kỹ sư trưởng dự án phổ biến kỹ thuật thi công cho đội trưởng công trường, cán bộ an toàn, cán bộ kiểm tra chất lượng, tổ trưởng và công nhân.

③ Kỹ sư trưởng dự án và đội trưởng công trường giải đáp chi tiết các thắc mắc của công nhân.

④ Đội trưởng công trường tham gia định vị các thanh chống đứng, lắp đặt thanh giằng ngang sát mặt đất.

⑤ Trong giai đoạn nâng cao giàn giáo, đội trưởng công trường giám sát và hỗ trợ tổ trưởng kiểm tra khoảng cách giữa các bước của thanh chống đứng.

⑥ Kỹ sư trưởng dự án tổ chức cho giám sát an toàn thi công, đội trưởng công trường, cán bộ an toàn, cán bộ kiểm tra chất lượng và tổ trưởng tiến hành kiểm tra, chỉnh sửa các sai lệch.

⑦ Thiết kế giàn giáo phải đảm bảo an toàn và đáng tin cậy, quá trình lắp dựng phải tuân thủ đúng theo quy định của "Quy phạm". Cán bộ quản lý thường xuyên kiểm tra, chỉnh sửa và đôn đốc để đảm bảo công việc được thực hiện an toàn.

(3) Yêu cầu quản lý và bảo dưỡng hàng ngày

① Sau khi sử dụng xong các vật liệu và linh kiện của giàn giáo, cần thu hồi kịp thời, phân loại, sắp xếp và lưu trữ riêng biệt. Địa điểm lưu trữ phải bằng phẳng, thoát nước tốt, đồng thời kê đệm ở dưới. Nên lưu trữ ống thép và khóa liên kết trong nhà để tránh hư hỏng.

② Các ống thép bị cong phải được điều chỉnh thẳng lại, các cấu kiện hỏng cần sửa chữa, và các khóa cùng linh kiện bị hư cần thay thế kịp thời.

③ Thực hiện sơn phủ chống gỉ cho ống thép để tăng khả năng chống ăn mòn, bảo vệ vật liệu khi lưu trữ lâu dài.

(4) Phân tích trường hợp điển hình

Hầm ngầm ga Nam Bắc Kinh sử dụng kết cấu bê tông cốt thép, trong đó tấm sàn chịu tải trọng động của đoàn tàu được thiết kế như một tấm sàn cầu. Kích thước tiết diện của dầm chính là 1,8m × 2,0m, hai đầu dầm chính được bố trí các dầm kẹp có chiều cao 3m. Lưới cột có kích thước tối đa là 20,6m × 10,3m, sàn có chiều dày 0,5m. Tiết diện của dầm phụ là 1,8m × 1,7m, 0,8m × 1,6m, và 1,2m × 1,6m.

Dựa trên đặc điểm công trình tại ga Nam Bắc Kinh, phân tích tổng hợp về tình hình công trình, phương pháp thi công, tính toán lý thuyết và khảo sát vật liệu thị trường, giải pháp thi công được lựa chọn là hệ thống giàn giáo chống cao sử dụng giàn giáo cốc bi.

① Hệ thống cốp pha

Hệ thống cốp pha cao đòi hỏi yêu cầu nghiêm ngặt về độ ổn định và khả năng chịu lực của hệ thống chống đỡ. Dựa vào đặc điểm công trình, giàn giáo cốc bi được lựa chọn vì có độ ổn định và khả năng chịu tải tốt. Vì khối lượng vật liệu sử dụng lớn và chi phí quay vòng vật liệu cao, sau khi tính toán lý thuyết nghiêm ngặt, loại

dầm chữ I bằng nhôm hợp kim S150 với cường độ và độ cứng cao hơn 100 lần so với dầm gỗ thông thường đã được sử dụng làm xà ngang, giúp tăng khoảng cách giữa các cột chống, giảm đáng kể chi phí vật liệu và thời gian thi công.

② Kiểm soát nút dầm kẹp

Dầm kẹp có các cột tròn đường kính 1.800mm. Do trọng lượng lớn của bê tông dầm kẹp, nếu chống đỡ không chắc chắn sẽ dễ xảy ra hiện tượng mất ổn định và rò rỉ vữa. Thông qua tính toán kích thước, vòng thép kẹp đặc biệt đã được sản xuất để lắp vào các nút dầm kẹp, vừa đảm bảo góc dầm kẹp vừa ngăn ngừa tình trạng rò rỉ vữa trong quá trình đổ bê tông.

③ Kiểm soát độ ổn định tổng thể

Để đảm bảo sự ổn định của hệ thống chống đỡ, hai thanh thép vòng được lắp vào giữa hệ thống cốp pha và cột chống. Mỗi cột được lắp hai thanh thép vòng ϕ48mm với khoảng cách 3m, thanh thép vòng dưới cùng cách mặt sàn không dưới 3m và được kết nối chắc chắn với cột chống bằng khóa liên kết.

Để đảm bảo toàn bộ hệ thống chống đỡ không bị biến dạng, các thanh giằng chéo liên tục theo phương dọc được lắp bên ngoài mỗi đoạn thi công, cứ 4 cột chống lắp một thanh giằng. Thanh giằng chéo được lắp liên tục theo toàn bộ chiều dài và chiều cao của mặt ngoài với góc nghiêng từ 45° đến 60°.

Bên trong mỗi khung giàn giáo, hai thanh giằng chéo ngang được lắp đặt. Các đầu và giữa cứ cách 4 cột chống sẽ lắp một thanh giằng chéo ngang, bắt đầu từ lớp trên cùng và cứ cách 2 lớp sẽ lắp một thanh giằng chéo ngang, với góc nghiêng từ 45° đến 60°.

Do các cột giàn giáo cốc bi phải được lắp đặt theo môđun 300mm, nhưng khoảng cách giữa các đoạn thi công và giữa dầm với sàn không đủ theo môđun, nên sử dụng ống thép ϕ48mm để kết nối ngang, tạo thành một kết cấu tổng thể cho toàn bộ khu vực thi công, đảm bảo độ ổn định của giàn giáo cốc bi.

④ Thử nghiệm tải trọng và kiểm tra vật liệu

Để đảm bảo phương án thi công được thực hiện thành công, thí nghiệm chất tải đã được tiến hành trước khi thi công. Một khu vực 9m × 9m được chọn, tính toán tải trọng và tiến hành lắp đặt cốp pha theo yêu cầu của phương án, sau đó tiến hành thử nghiệm với tải trọng lớn hơn 1,2 lần so với tải trọng tính toán. Trong quá trình thử nghiệm, các quan sát về lún của hệ thống chống đỡ và độ ổn định ngang được thực hiện. Kết quả đo cho thấy độ lún lớn nhất là 19mm, giá trị lún trung bình là 12mm, nằm trong phạm vi cho phép của tính toán.

Thông qua việc khảo sát vật liệu, thẩm định và tối ưu hóa phương án, thử nghiệm và thực hiện công trình, chất lượng thi công đã được đảm bảo và đạt được kết quả như mong đợi.

IV. CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG XANH

Kể từ Đại hội Đảng lần thứ 18, Trung ương Đảng và Quốc vụ viện Trung Quốc đã đặc biệt nhấn mạnh tầm quan trọng của phát triển kinh tế theo hướng xanh. Tháng 3 năm 2015, lần đầu tiên yêu cầu phát triển xanh được đề xuất cùng với các lĩnh vực như công nghiệp hóa kiểu mới, đô thị hóa, thông tin hóa và hiện đại hóa nông nghiệp. Tại Hội nghị toàn thể lần thứ năm của Đại hội 18, khái niệm phát triển xanh được xác định là một trong năm quan điểm phát triển trọng yếu. Đến Đại hội Đảng lần thứ 19, định hướng cụ thể về xây dựng văn minh sinh thái và phát triển xanh trong tương lai đã được đề ra rõ ràng.

Trước những yêu cầu mới và tình hình thực tế còn nhiều hạn chế trong lĩnh vực xây dựng, ngành xây dựng phải đi theo hướng phát triển xanh, thúc đẩy thi công xanh để tạo ra những bước đột phá mới.

Các nhà ga đường sắt lớn, với vai trò là trung tâm giao thông đa phương thức tích hợp đầy đủ các khu chức năng hỗ trợ, thường có mức tiêu thụ năng lượng và nước rất cao. Do đó, việc áp dụng các kỹ thuật thi công xanh trở thành xu hướng tất yếu trong xây dựng nhà ga. Quá trình thi công nhà ga được định hướng bởi các nguyên tắc "kiến trúc xanh", "kiến trúc sinh thái" và "bốn tiết kiệm, một bảo vệ môi trường" thông qua các biện pháp như bảo vệ đất đai và môi trường ngoài trời, tiết kiệm năng lượng và sử dụng hiệu quả nguồn năng lượng, tiết kiệm nước và sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên nước, cũng như kiểm soát chất lượng môi trường trong nhà.

Trong thi công, việc sử dụng các vật liệu tái chế được ưu tiên hàng đầu. Đồng thời, các vật liệu địa phương như bê tông, cát và đá cũng được sử dụng nhằm giảm chi phí vận chuyển và tăng hiệu quả kinh tế. Kế hoạch thi công xanh được xây dựng chi tiết nhằm thu gom và tái chế chất thải xây dựng, tăng cường biện pháp bảo vệ môi trường, hạn chế tối đa tác động tiêu cực lên môi trường xung quanh. Ngoài ra, nhiều công nghệ hiện đại như bơm nhiệt từ nguồn địa nhiệt, bơm nhiệt từ nước thải, phát điện bằng năng lượng mặt trời trên mái nhà và xử lý nước thải bằng hệ sinh thái ngập nước đã được ứng dụng trong quá trình xây dựng nhà ga.

Thi công xanh là hoạt động xây dựng dựa trên nguyên tắc lấy con người làm trung tâm, bảo đảm các tiêu chuẩn về chất lượng và an toàn, đồng thời thông qua quản lý khoa học và tiến bộ công nghệ để tiết kiệm tối đa nguồn tài nguyên và giảm

thiểu tác động xấu tới môi trường. Kỹ thuật thi công xanh bao gồm những công nghệ cụ thể đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững, giúp hiện thực hóa các mục tiêu thi công xanh. Đó có thể là những cải tiến từ công nghệ thi công truyền thống theo hướng thân thiện với môi trường hoặc những công nghệ hoàn toàn mới được phát triển chuyên biệt.

Các kỹ thuật thi công xanh nằm trong "10 công nghệ mới của ngành xây dựng" là lựa chọn hàng đầu cho việc phát triển sản xuất xanh, tiết kiệm tài nguyên trong xây dựng và đáp ứng yêu cầu "bốn tiết kiệm, một bảo vệ môi trường".

1. Kỹ thuật hạ mực nước ngầm kín và thu gom, tái sử dụng nước tại công trường

Kỹ thuật hạ mực nước ngầm kín và thu gom, tái sử dụng nước bao gồm hai nội dung chính: kỹ thuật hạ mực nước ngầm kín khi thi công hố móng và kỹ thuật thu gom, tái sử dụng nước tại công trường.

Kỹ thuật hạ mực nước ngầm kín khi thi công hố móng là biện pháp nhằm đáp ứng yêu cầu thi công bằng cách sử dụng các biện pháp ngăn nước tại đáy và vách hố móng, tạo màn chắn nước xung quanh hố để ngăn chặn nước ngầm thẩm thấu vào hố móng, đảm bảo việc hạ mực nước ngầm trong hố không ảnh hưởng đến mực nước ngầm ngoài hố.

- Khu vực ven biển nên sử dụng biện pháp tường chắn đất ngầm dạng tường vây liên tục hoặc cọc chắn kết hợp với cọc xi măng đất để tạo màn chắn nước.
- Khu vực nội địa nên áp dụng biện pháp cọc chắn kết hợp với cọc phun vữa xi măng để tạo màn chắn nước.
- Khu vực địa hình bậc thềm sông nên áp dụng biện pháp cọc xi măng đất hai hoặc ba hàng vừa để tạo màn chắn nước, vừa đóng vai trò làm kết cấu chống đỡ.

Kỹ thuật thu gom và tái sử dụng nước tại công trường bao gồm các biện pháp thu gom và tái sử dụng nước từ việc hạ mực nước ngầm trong hố móng, thu gom nước mưa, nước thải từ quá trình sản xuất và sinh hoạt tại công trường. Nước sau khi xử lý hoặc đạt tiêu chuẩn có thể được sử dụng để tưới cây, bảo dưỡng kết cấu bê tông hoặc bảo dưỡng mẫu thử bê tông. Yêu cầu ít nhất 20% lượng nước sử dụng tại công trường phải đến từ nguồn nước thu gom như nước mưa và nước thải tái sử dụng.

2. Kỹ thuật giảm thiểu và tái sử dụng phế thải xây dựng

Giảm thiểu phế thải xây dựng là việc áp dụng các công nghệ thi công xanh, biện pháp thi công tinh gọn và tiêu chuẩn hóa nhằm giảm lượng phế thải phát sinh trong quá trình thi công.

Tái sử dụng phế thải xây dựng là việc xử lý phế thải xây dựng tại chỗ, tái chế và sử dụng trực tiếp hoặc tái sử dụng sau khi được xử lý.

Việc giảm thiểu và tái sử dụng phế thải xây dựng cần được thực hiện từ giai đoạn lên phương án và chuẩn bị kế hoạch đến quá trình tổ chức thi công, tạo thành một chuỗi hoạt động hoàn chỉnh bao gồm:

1- Phân loại, thu gom và lưu trữ phế thải xây dựng.

2- Phân loại phế thải dạng đá vụn và bột để làm vật liệu lấp hố móng hoặc lớp đệm cho nền đường sau khi được xử lý và sàng lọc.

3- Sử dụng máy móc xử lý nhanh di động để phân loại, nghiền và tái chế gạch vụn và bê tông tại chỗ thành vật liệu tái sử dụng.

Theo yêu cầu, khối lượng phế thải xây dựng phát sinh không được vượt quá 350 tấn trên mỗi 10.000 m^2 xây dựng, đồng thời tỷ lệ thu gom và tái sử dụng phế thải phải đạt trên 80%.

3. Kỹ thuật sử dụng năng lượng mặt trời và năng lượng không khí tại công trường

Việc ứng dụng năng lượng mặt trời và năng lượng không khí tại công trường bao gồm ba công nghệ chính:

- Công nghệ chiếu sáng bằng năng lượng mặt trời.
- Công nghệ nước nóng bằng năng lượng mặt trời.
- Công nghệ nước nóng bằng năng lượng không khí.

Công nghệ chiếu sáng bằng năng lượng mặt trời là phương pháp sử dụng các tấm pin năng lượng mặt trời để chuyển hóa trực tiếp ánh sáng mặt trời thành điện năng, sau đó lưu trữ và cung cấp cho hệ thống chiếu sáng tại công trường. Để đảm bảo hiệu quả, hệ thống chiếu sáng sử dụng tải một chiều với đèn LED có điện áp hoạt động chủ yếu là 12V. Các tấm pin năng lượng mặt trời được lắp đặt tại khu vực sinh hoạt nhằm bảo đảm trên 90% hệ thống chiếu sáng đường nội bộ được cung cấp năng lượng từ điện mặt trời.

Công nghệ nước nóng bằng năng lượng mặt trời sử dụng các bình nước nóng năng lượng mặt trời để hấp thụ và chuyển đổi nhiệt lượng từ mặt trời thành nước nóng, phục vụ cho nhu cầu sinh hoạt tại công trường.

Công nghệ nước nóng bằng năng lượng không khí hoạt động dựa trên nguyên lý bơm nhiệt, thu nhận nhiệt lượng thấp từ không khí, sau đó chuyển đổi thành nhiệt năng thông qua hệ thống trao đổi nhiệt và nén khí để làm nóng nước. Công nghệ này có hiệu suất cao hơn từ 380% đến 600% so với bình nước nóng thông thường.

So với bình nước nóng điện trợ lực sử dụng năng lượng mặt trời, công nghệ này hiệu quả hơn với mức tiêu thụ điện chỉ bằng 1/4. Nhờ sử dụng nhiệt lượng từ không khí, thiết bị có thể lắp đặt cả trong nhà lẫn ngoài trời và hoạt động liên tục 24/24 giờ khi nhiệt độ môi trường trên 0°C. Việc lựa chọn máy bơm nhiệt dựa trên các thông số như công suất làm nóng định mức, công suất tiêu thụ định mức, dòng điện định mức, điện áp, nhiệt độ nước đầu ra, áp suất nước sử dụng và hệ số hiệu suất COP.

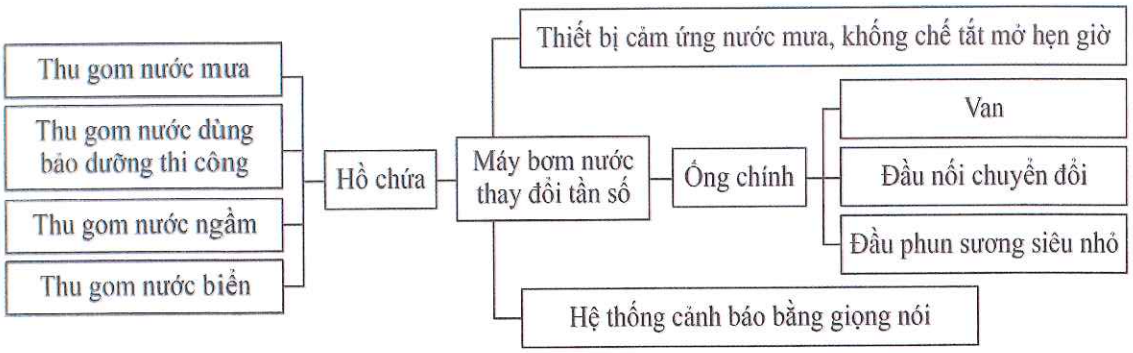
4. Kỹ thuật kiểm soát bụi tại công trường

Việc kiểm soát bụi tại công trường bao gồm:

- Hệ thống phun sương tự động tại các vị trí như đường nội bộ, giàn giáo và cần trục tháp.
- Hệ thống phun sương bằng máy phun mù.
- Hệ thống rửa xe tự động tại công trường.

Hệ thống phun sương tự động được thiết kế với các bộ phận như bể chứa nước, hệ thống điều khiển tự động, hệ thống cảnh báo bằng âm thanh, bơm nước biến tần, đường ống chính, van ba ngã, ống nhánh và đầu phun sương nhỏ. Hệ thống được lắp đặt tại các khu vực đường tạm thời, giàn giáo và cần trục tháp để giảm thiểu bụi phát sinh trong quá trình thi công.

Hệ thống phun mù bao gồm các thiết bị chính như động cơ, quạt gió cao áp, hệ thống xoay ngang, hệ thống điều chỉnh góc nghiêng, ống dẫn gió, đầu phun sương, bơm cao áp và bể chứa nước. Với ưu điểm luồng gió mạnh, tầm phun xa, khả năng thẩm thấu tốt và các hạt sương nhỏ mịn, hệ thống có thể nhanh chóng kiểm soát và làm giảm bụi hiệu quả, bao phủ diện tích lớn với tốc độ nhanh (hình 5-3-36).



***Hình 5-3-36:** Sơ đồ hệ thống phun sương tự động*

Hệ thống rửa xe tự động tại công trường được cấu tạo từ hệ thống cấp nước, hệ thống xử lý và tái sử dụng nước, hệ thống rửa xe, hệ thống chịu tải và hệ thống điều khiển tự động. Hệ thống sử dụng cảm biến hồng ngoại và cảm biến vị trí để tự động

kích hoạt quy trình rửa xe và hiển thị trạng thái vận hành thông qua công nghệ điều khiển thông minh.

Trong giai đoạn thi công móng và nền móng, nồng độ bụi PM10 trung bình theo giờ tại công trường không được vượt quá 150μg/m³ hoặc 120% so với nồng độ trung bình theo giờ của khu vực xây dựng.

Trong giai đoạn thi công phần thân, hoàn thiện và lắp đặt hệ thống cơ điện, nồng độ PM10 trung bình theo giờ tại công trường không được vượt quá 60μg/m³ hoặc 120% so với nồng độ trung bình theo giờ của khu vực.

5. Kỹ thuật kiểm soát tiếng ồn trong thi công

Kỹ thuật kiểm soát tiếng ồn trong thi công bao gồm việc lựa chọn thiết bị có độ ồn thấp, áp dụng công nghệ thi công tiên tiến hoặc sử dụng các biện pháp cách âm như vách cách âm, vỏ cách âm nhằm giảm thiểu tiếng ồn tại công trường. Công trường nên ưu tiên sử dụng các thiết bị cơ giới có tiếng ồn thấp và công nghệ thi công hiện đại để hạn chế tiếng ồn. Khi tiếng ồn vượt quá mức cho phép, cần sử dụng các giải pháp cách âm như dựng vách cách âm, lắp đặt vỏ cách âm cho thiết bị phát ra tiếng ồn lớn như máy trộn bê tông, bơm bê tông, máy cưa... Việc bố trí khu vực làm việc kín cho các thiết bị cơ khí như máy cưa cũng là giải pháp hiệu quả nhằm giảm tác động của tiếng ồn đến toàn công trường.

Vách cách âm được thiết kế nhằm hấp thụ và chặn âm thanh, có thể được sản xuất theo mô-đun và lắp ráp tại công trường với nhiều mẫu mã, màu sắc khác nhau để phù hợp với môi trường xung quanh. Vỏ cách âm có thể bao bọc các thiết bị phát tiếng ồn lớn, hiệu quả nhất khi được thiết kế hai lớp với lớp trong mỏng hơn lớp ngoài, khoảng cách giữa hai lớp khoảng 610mm và được nhồi vật liệu hấp thụ âm thanh. Phía bên trong vỏ cách âm có thể được bổ sung thêm lớp vật liệu hấp thụ để giảm âm vang. Để đảm bảo hiệu quả cách âm, cần giảm tối đa các lỗ hở trên vỏ, bịt kín các khe nối giữa các bộ phận và bố trí hệ thống thông gió thích hợp để làm mát.

6. Kỹ thuật giám sát và đánh giá trực tuyến thi công xanh

Kỹ thuật giám sát và đánh giá trực tuyến thi công xanh là việc lắp đặt các thiết bị đo lường thông minh tại công trường, kết hợp với hệ thống truyền dữ liệu và phần mềm quản lý để giám sát, ghi nhận, phân tích, đánh giá và cảnh báo các chỉ số liên quan đến thi công xanh. Các chỉ số này bao gồm mức tiêu thụ năng lượng, mức sử dụng nước, tiếng ồn thi công, bụi phát sinh, cũng như tình trạng vận hành an toàn của các thiết bị thi công lớn.

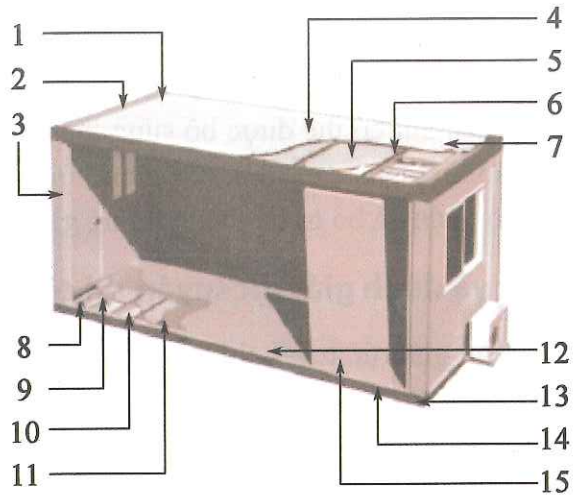
Mục đích của hệ thống là cung cấp các dữ liệu đánh giá cụ thể theo từng chỉ số để xác định mức độ đáp ứng tiêu chuẩn thi công xanh của từng chỉ tiêu. Hệ thống cũng

đưa ra đánh giá tổng quan về mức độ thân thiện với môi trường của toàn dự án. Dựa trên kết quả này, các phương án thi công xanh và giải pháp công nghệ sẽ được điều chỉnh, cải tiến nhằm giảm thiểu tác động đến môi trường, tối ưu hóa hiệu quả thi công và đạt được mục tiêu thi công xanh bền vững.

7. Kỹ thuật lắp dựng và sử dụng cơ sở tạm thời dạng công cụ tiêu chuẩn hóa

Cơ sở tạm thời dạng công cụ tiêu chuẩn hóa bao gồm các hạng mục như: nhà ở công trường dạng tiêu chuẩn hóa theo mô-đun, bảo vệ tạm thời cố định tại mép sàn và lỗ hổng, nhà gia công tạm thời, hàng rào xanh bằng tấm PVC, đường tạm lắp ghép có thể tái sử dụng, cầu thang lắp ghép dạng mô-đun. Các cơ sở tạm thời này được thiết kế theo nguyên tắc tiêu chuẩn hóa, mô-đun hóa và linh hoạt sử dụng chung, đáp ứng yêu cầu tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường, dễ dàng lắp ghép, đảm bảo an toàn, dễ tháo dỡ, có thể tái sử dụng và mang lại hiệu quả kinh tế cũng như thẩm mỹ.

Các loại nhà ở công trường dạng tiêu chuẩn hóa bao gồm: văn phòng, phòng họp, phòng tiếp khách, phòng lưu trữ tài liệu, phòng sinh hoạt chung, phòng đọc sách và nhà vệ sinh. Ngoài ra, còn có các nhà phụ trợ như nhà ăn, phòng bảo vệ, phòng thiết bị và phòng thí nghiệm, tất cả đều được sản xuất theo kích thước tiêu chuẩn và sử dụng vật liệu đáp ứng yêu cầu chất lượng (hình 5-3-37).



***Hình 5-3-37:** Sơ đồ minh họa hộp tiêu chuẩn*

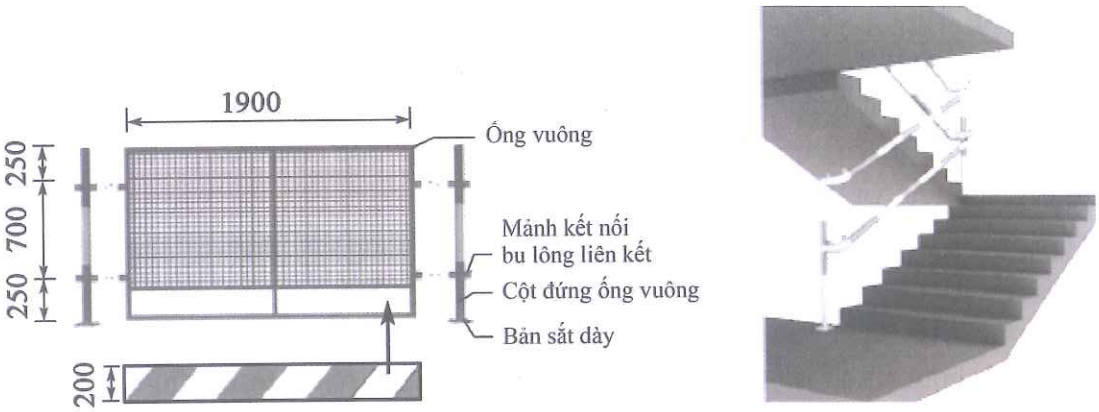
1 - Góc mái; 2 - Dầm đỉnh; 3 - Cột đứng; 4 - Ngói mái bằng thép màu; 5 - Bông thủy tinh cách nhiệt; 6 - Xà gồ mái; 7 - Tấm trần thép màu; 8 - Xà gồ sàn; 9 - Bông thủy tinh cách nhiệt; 10 - Tấm xi măng; 11 - Tấm thép đáy; 12 - Sàn cao su; 13 - Góc chân; 14 - Dầm đáy; 15 - Tấm tường

Các hệ thống bảo vệ tạm thời dạng tiêu chuẩn có thể tái sử dụng bao gồm: hệ thống bảo vệ mép sàn và lỗ hổng sàn ở công trình, có thể lựa chọn loại dạng lưới, dạng tấm hoặc dạng lắp ghép. Lan can cầu thang sử dụng thanh thép ngắn dạng mô-đun, cột đứng được cố định bằng bulông nở vào kết cấu, các thanh lan can bên trong được làm bằng ống thép có thể tháo lắp và tái sử dụng sau khi hoàn thành công trình.

Nhà gia công tạm thời dạng tiêu chuẩn có thể tái sử dụng được lắp ghép từ các cấu kiện bao gồm: móng bê tông, cột, dầm chính và thanh giằng. Hàng rào xanh PVC dạng mô-đun có móng là bê tông đúc tại chỗ, khung đỡ bằng thép định hình nhẹ và tấm tường bằng PVC được sản xuất sẵn tại nhà máy, lắp đặt tại công trường bằng phương pháp lắp ghép.

Đường tạm thời lắp ghép có thể sử dụng các tấm bê tông đúc sẵn, tấm thép lắp ghép hoặc vật liệu mới, giúp dễ dàng tháo dỡ, di chuyển và tái sử dụng. Cầu thang tạm dạng mô-đun sử dụng các thanh cột kết nối bằng mặt bích, chiều dài bậc thang được xác định dựa trên chiều cao tầng hầm. Mỗi tầng của công trình sẽ được lắp hai nhịp cầu thang, đảm bảo chiều cao của chiếu nghỉ cao hơn mặt sàn 200mm. Bậc thang và chiếu nghỉ được cố định bằng bulông, sau khi hoàn thành phần kết cấu chính, cầu thang sẽ được tháo dỡ dần theo tiến độ thi công.

Đường tạm thời lắp ghép giúp tiết kiệm chi phí và thời gian thi công, có thể tái sử dụng nhiều lần, thuận tiện cho việc tháo lắp và di chuyển (hình 5-3-38).



a) Sơ đồ kết cấu

b) Hiệu quả lắp đặt

Hình 5-3-38: *Các dạng lan can bảo vệ cố định tiêu chuẩn khác nhau*

8. Công nghệ vận chuyển rác thải bằng ống đứng

Công nghệ vận chuyển rác thải bằng ống đứng là phương pháp lắp đặt các ống kín có đường kính lớn bên trong hoặc bên ngoài tường của tòa nhà, cho phép rác thải xây dựng từ các tầng rơi tự do theo ống nhờ lực hấp dẫn. Tại các vị trí giảm tốc,

cửa giảm tốc sẽ điều chỉnh tốc độ rơi của rác trước khi rác được tập kết vào thùng rác chuyên dụng để xử lý, giúp giảm bụi và tiếng ồn tại công trường, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho việc tái chế rác thải.

Hệ thống ống vận chuyển rác bao gồm các bộ phận chính như: cửa nạp rác tại các tầng, ống chính, cửa giảm tốc, cửa xả rác, thùng rác chuyên dụng và các bộ phận kết nối ống với kết cấu tòa nhà. Hệ thống có thể được cố định trực tiếp vào các cấu kiện chính như dầm, cột, tường của công trình xây dựng, dễ dàng lắp đặt và tái sử dụng nhiều lần.

Để kiểm soát bụi trong quá trình vận chuyển rác thải, hệ thống được thiết kế thêm các tấm chắn xoay tự do tại cửa nạp rác. Ngoài ra, hệ thống tự động phun nước giảm bụi cũng được lắp đặt tại các cửa nạp rác ở tầng, cửa xả rác và thùng rác chuyên dụng.

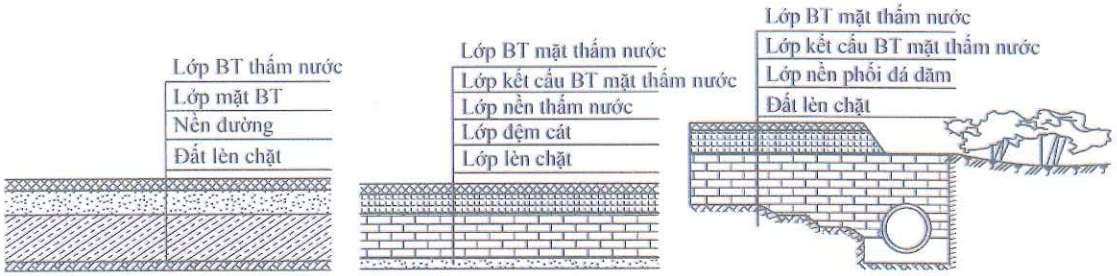
9. Công nghệ ứng dụng bê tông thấm nước và bê tông trồng cây

Bê tông thấm nước là loại bê tông có cấu trúc đa lỗ rỗng, được tạo thành bởi khung xương bê tông và các lỗ rỗng liên thông, có khả năng thấm nước và thoát khí. Thành phần chính bao gồm vật liệu kết dính và cốt liệu thô, đôi khi bổ sung một lượng nhỏ cốt liệu mịn. Về cấu trúc bên trong, bê tông thấm nước được hình thành nhờ lớp vữa kết dính bao bọc xung quanh các hạt cốt liệu thô, tạo nên kết cấu tiếp xúc điểm giữa các hạt cốt liệu với nhau, tạo ra hệ thống lỗ rỗng. Loại bê tông này phù hợp với các khu vực không có khí hậu quá lạnh, ứng dụng trong quảng trường đô thị, khu dân cư, công viên, đường dạo, đường cảnh quan và bãi đỗ xe. Trong các dự án xây dựng "đô thị bọt biển", bê tông thấm nước có thể kết hợp với các công trình như vùng đất ngập nhân tạo, thảm xanh trũng và hệ thống thu gom nước mưa để tạo thành hệ thống quản lý nước mưa sinh thái với các chức năng thấm, giữ, lưu trữ, lọc, sử dụng và thoát nước.

Quá trình thi công bề mặt bê tông thấm nước sử dụng các thiết bị như máy rung lăn thủy lực, máy làm nhẵn. Tùy thuộc vào loại hỗn hợp và yêu cầu kỹ thuật của công trình, cần chọn phương pháp rung lèn phù hợp và áp dụng mức năng lượng rung thích hợp. Rung lèn quá mức sẽ làm giảm tỷ lệ lỗ rỗng, trong khi rung không đủ sẽ khiến các hạt cốt liệu không kết dính chắc chắn, ảnh hưởng đến độ bền của bê tông. Dựa trên cấu trúc mặt cắt của bê tông thấm nước, bề mặt đường có thể được chia thành ba loại: loại thấm trực tiếp, loại thấm định hướng và loại thu gom nước mưa (hình 5-3-39).

Bê tông trồng cây là một loại bê tông đa lỗ rỗng, sử dụng xi măng làm chất kết dính và cốt liệu là các loại đá có đường kính lớn, tạo thành bê tông có các lỗ lớn giúp rễ cây phát triển. Nguyên lý chế tạo bê tông trồng cây tương tự bê tông thấm nước, nhưng do cốt liệu có kích thước lớn hơn và lượng chất kết dính ít hơn, loại

bê tông này có tỷ lệ và kích thước lỗ rỗng lớn hơn, dễ dàng bơm hạt giống và phân bón vào, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của rễ cây. Khi chế tạo, cần chú ý đảm bảo độ nhớt của vữa phù hợp để cốt liệu được bao bọc đều, tránh hiện tượng phân tầng hoặc quá khô dẫn đến việc kết dính không chặt.



a) Sơ đồ mặt đường thấm nước trực tiếp

b) Minh họa mặt đường thấm nước dần

c) Minh họa mặt đường thấm nước mưa

Hình 5-3-39: *Sơ đồ minh họa mặt đường thấm nước.*

Dựa vào mục đích sử dụng, bê tông trồng cây có thể chia thành hai loại: bê tông trồng cây thông thường và bê tông trồng cây nhẹ. Các công nghệ chính của bê tông trồng cây bao gồm: công nghệ chế tạo bê tông trồng cây, công nghệ cải tạo môi trường kiềm bên trong, công nghệ phối trộn và đổ nền hỗ trợ sinh trưởng cho cây, công nghệ trồng cây, công nghệ tưới phun và công nghệ thi công bê tông trồng cây. Bề mặt trồng cây sử dụng bê tông trồng cây có thể được thi công trực tiếp tại chỗ bằng phương pháp đổ và đầm, hoặc đúc sẵn thành các khối đa lỗ rồi lắp đặt tại công trường.

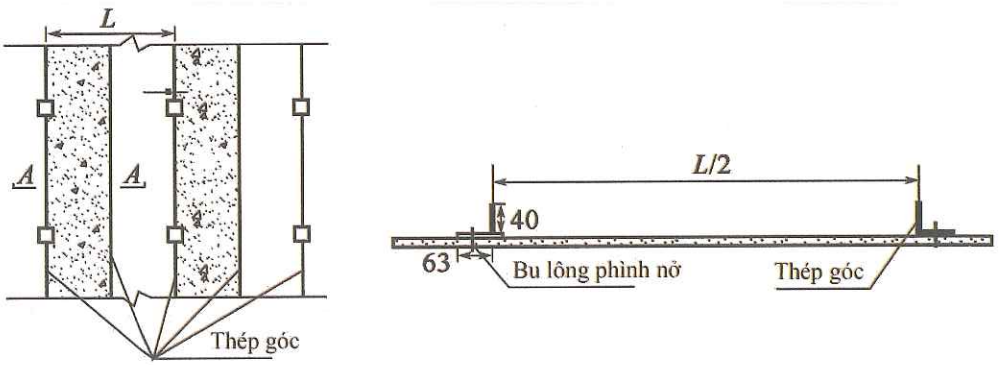
10. Kỹ thuật thi công bê tông sàn và mặt sàn hoàn thiện một lần

Quy trình thi công hoàn thiện sàn bê tông một lần là công nghệ tiến hành sau khi hoàn tất đổ bê tông, sử dụng ống thép ϕ150 mm để cán và làm phẳng, đồng thời nâng bề mặt để làm nổi lớp vữa. Dùng thanh gạt để điều chỉnh độ phẳng hoặc sử dụng thiết bị cân chỉnh bằng laser và máy cơ giới để nâng lớp vữa. Trước khi bề mặt bê tông bắt đầu đông kết, tiến hành rải đều hỗn hợp vật liệu chống mài mòn (bao gồm cát thép tinh chế, sợi thép…), sau đó sử dụng máy xoa làm nhẵn bề mặt và thực hiện các công đoạn hoàn thiện cuối cùng.

So với phương pháp thi công truyền thống, quy trình này giúp tránh các vấn đề thường gặp như rỗng lớp bề mặt, bong cát, nứt nẻ; đồng thời tăng chiều cao thông thủy, cải thiện khả năng chống mài mòn của mặt sàn và rút ngắn thời gian thi công. Ngoài ra, việc bỏ qua công đoạn làm lớp cán phẳng trong phương pháp truyền thống giúp tiết kiệm vật liệu và giảm chi phí đáng kể.

❖ **Quy trình thi công chính bao gồm:**

Xử lý nền → lấy cốt cao độ, đánh dấu đường mức → tạo gân (làm mốc căn chỉnh) → đổ bê tông mác nhỏ để làm lớp tạo phẳng và tạo dốc → cán phẳng và xoa bề mặt → xoa bề mặt lần thứ hai, rải hỗn hợp vật liệu chống mài mòn → xoa bề mặt lần thứ ba → hoàn thiện bề mặt và bảo dưỡng → xử lý khe thi công → cắt khe co giãn định hình (Hình 5-3-40).



a) Hình vẽ tổng thể b) Hình vẽ mặt cắt A-A

Hình 5-3-40: *Sơ đồ minh họa đường thấm nước kiểu thu gom nước mưa*

11. Kỹ thuật thi công tường không cần trát vữa

Kỹ thuật thi công tường không cần trát vữa áp dụng hệ thống cốp pha tiên tiến, vật liệu xây mới hoặc tường lắp ghép sẵn, giúp bề mặt tường đạt độ sai lệch trong giới hạn cho phép và có thể trực tiếp hoàn thiện mà không cần trát vữa. Các loại tường như tường bê tông cốt thép đổ tại chỗ, tường xây và tường lắp ghép đều có thể đạt được chất lượng bề mặt cao nhờ vào các phương pháp thi công hiện đại như đổ bê tông tại chỗ, xây bằng vật liệu mới hoặc lắp ráp đồng bộ, tạo ra bề mặt tường đạt chuẩn không cần trát vữa.

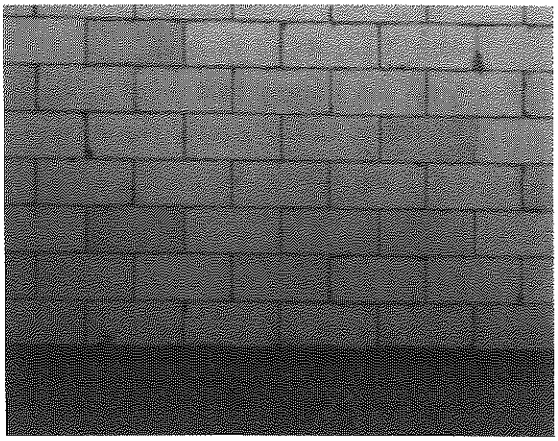
Đối với tường bê tông đổ tại chỗ, cần áp dụng đồng bộ các biện pháp như lựa chọn vật liệu phù hợp, thiết kế chi tiết, sử dụng cốp pha chính xác, đổ và bảo dưỡng bê tông, bảo vệ sản phẩm để đạt chất lượng bề mặt tốt, không cần trát vữa sau khi thi công (Hình 5-3-41). Các loại tường bao không chịu lực và tường ngăn có thể áp dụng kỹ thuật xây không cần trát bằng cách sử dụng vữa dán với độ sai lệch kích thước của khối xây trong khoảng 1,5-2 mm và chiều dày mạch vữa từ 2-3 mm. Ngoài ra, có thể sử dụng tấm đúc sẵn chất lượng cao để lắp ghép tại hiện trường và chỉ cần trét bột bả làm phẳng bề mặt.

Kỹ thuật xây tường không cần trát tận dụng đặc tính kích thước đồng nhất của vật liệu xây mới. Trong quá trình xây dựng, cần kiểm tra kỹ lưỡng độ thẳng đứng và độ

phẳng của tường, xác định chính xác kích thước nền móng và tường, điều chỉnh sai lệch trong phạm vi tiêu chuẩn cho phép, đồng thời kiểm tra các vị trí cột và dầm phụ để đảm bảo sai lệch nhỏ hơn 4-5 mm. Hiện nay, các vật liệu xây không cần trát phổ biến gồm gạch liên kết lỗ lớn làm từ cốt liệu nhẹ và gạch bê tông khí chưng áp nhẹ (Hình 5-3-42).

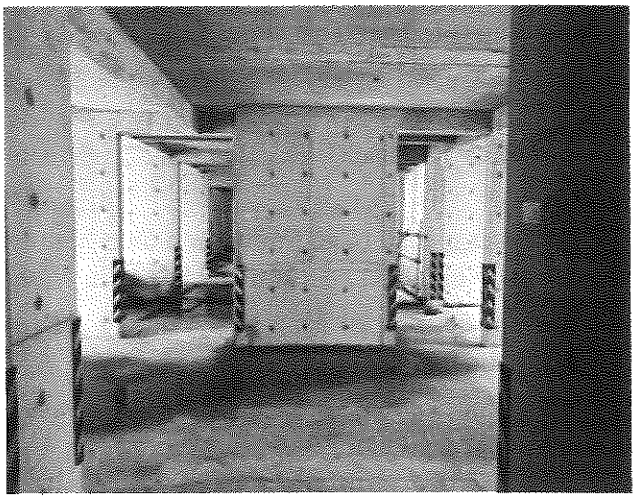


Hình 5-3-41: *Hình ảnh thực tế tường bê tông sạch đổ tại chỗ*



Hình 5-3-42: *Hình ảnh thực tế tường xây không cần trát vữa*

Tường của công trình lắp ghép được thiết kế theo hướng tiêu chuẩn hóa và tích hợp xây dựng - hoàn thiện, sản xuất công nghiệp tại nhà máy và lắp ráp đồng bộ tại hiện trường theo tiến độ của kết cấu chính. Nhờ vào quy trình hiện đại này, tường lắp ghép sau khi thi công đạt chất lượng cao mà không cần trát vữa (Hình 5-3-43). Công tác nghiệm thu tường lắp ghép tuân thủ theo quy chuẩn nghiệm thu chất lượng thi công công trình kết cấu bê tông (GB 50204-2015) dành cho các công trình kết cấu lắp ghép.



Hình 5-3-43: *Hình ảnh thực tế tường lắp ghép không cần trát vữa*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lư Xuân Phòng. Triển vọng phát triển công nghệ đường sắt cao tốc Trung Quốc: Nhanh hơn, thông minh hơn, xanh hơn [Tạp chí]. Khoa học và Công nghệ Hướng dẫn, 2018, 36(6): 1.

[2] Lư Xuân Phòng. Đặc điểm kỹ thuật của đường sắt cao tốc Trung Quốc [Tạp chí]. Khoa học và Công nghệ Hướng dẫn, 2015, 33(18): 13-19.

[3] Lư Xuân Phòng. Xây dựng theo pháp luật, quản lý chuẩn hóa, thúc đẩy đổi mới trong xây dựng đường sắt thời kỳ Kế hoạch 5 năm lần thứ 12 - Bài phát biểu tại hội nghị xây dựng toàn ngành đường sắt (Tóm tắt) [Tạp chí]. Đường sắt Trung Quốc, 2011(1): 15-22.

[4] Lư Xuân Phòng. Tiến hành chuẩn hóa quản lý một cách sâu rộng và lâu dài, giành thắng lợi toàn diện trong xây dựng đường sắt thời kỳ Kế hoạch 5 năm lần thứ 11 - Bài phát biểu tại hội nghị xây dựng toàn ngành đường sắt năm 2010 (Tóm tắt) [Tạp chí]. Đường sắt Trung Quốc, 2010(2): 9-15.

[5] Đậu Tĩnh Nhã, Tạ Hiểu Đông, Ngô Vệ Bình và cộng sự. Nghiên cứu cơ chế quản lý kinh doanh đa dạng hóa tại các nhà ga đường sắt [Tạp chí]. Nghiên cứu Kinh tế Đường sắt, 2013(4): 12-16.

[6] Dương Lâm Sơn. Xu hướng phát triển mô hình tổ chức không gian chờ tại các nhà ga đường sắt lớn của Trung Quốc và đối sách thiết kế [Luận văn]. Thành Đô: Đại học Giao thông Tây Nam, 2005.

[7] Trịnh Kiện. Đổi mới ý tưởng xây dựng, xây dựng một loạt các nhà ga đường sắt trường tồn trăm năm [Tạp chí]. Đường sắt Trung Quốc, 2007(9).

[8] Trịnh Kiện. Tổng quan về thiết kế nhà ga hành khách đường sắt hiện đại Trung Quốc [Tạp chí]. Tạp chí Kiến trúc, 2009(4): 1-6.

[9] Trịnh Kiện, Thẩm Trung Vĩ, Thái Thân Phu. Khám phá lý thuyết thiết kế nhà ga đường sắt hiện đại Trung Quốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân, 2009.

[10] Thịnh Huy. Kỹ thuật nhà ga [Sách]. Hồ Bắc: Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật Hồ Bắc, 2015.

[11] Lư Xuân Phòng. Kỹ thuật nhà ga (Các trường hợp điển hình trong xây dựng đường sắt cao tốc) [Sách]. Liêu Ninh: Nhà xuất bản Đại học Liêu Ninh, 2015.

[12] Trịnh Kiện. Thiết kế chi tiết nhà ga hành khách đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân, 2010.

[13] Trịnh Kiện. Tuyển tập thiết kế nhà ga hành khách đường sắt VI [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2009.

[14] Lý Nghênh Cửu. Khám phá quản lý xây dựng nhà ga đường sắt trong thời kỳ mới [Tạp chí]. Công nghệ Đường sắt Thượng Hải, 2011, 2: 1-3.

[15] Trương Giai. Nghiên cứu định hướng không gian chuyển đổi giao thông tại nút giao thông phía Nam ga Thượng Hải [Luận văn]. Đại học Đồng Tế, 2007.

[16] Hướng Truyền Lâm. Nghiên cứu trật tự không gian trước nhà ga giao thông đường sắt đô thị [Luận văn]. Đại học Trùng Khánh, 2007.

[17] Lư Xuân Phòng. Thực hành và đổi mới quản lý chuẩn hóa trong các dự án xây dựng đường sắt [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2016, 33(8): 1-7.

[18] Đỗ Hồng Đào. Nghiên cứu quy hoạch và thiết kế nút giao thông tổng hợp đô thị - Ví dụ ga mới Quảng Châu [Tạp chí]. Quy hoạch Đô thị, 2006(7).

[19] Diêu Chấn Bình, Thiệu Quốc Quý, Lâm Chính. Phân tích ùn tắc giao thông và các đề xuất cải tạo tại ga Tây Bắc Kinh [Tạp chí]. Giao thông Đường bộ và An toàn, 2003(3).

[20] Lưu Kỳ Bân, Mã Quế Trinh. Nhà ga và trung tâm giao thông đường sắt [Sách]. Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 1997.

[21] Thạch Bác. Nghiên cứu xu hướng tích hợp nhà ga hành khách cao tốc lớn và quảng trường trước ga [Luận văn]. Đại học Trung Nam, 2011.

[22] Vương Lỗi. Tổ hợp nhà ga - Thảo luận về hướng phát triển thiết kế nhà ga đường sắt lớn tại các thành phố [Luận văn]. Thành Đô: Đại học Giao thông Tây Nam, 2004.

[23] Hà Thượng. Làn sóng phát triển đường sắt thứ ba trên thế giới [Tạp chí]. Báo cáo Trung Quốc, 2010(12): 46-47.

[24] Vương Lân Thư. Suy nghĩ về xây dựng nhà ga đường sắt tại Trung Quốc [Tạp chí]. Đường sắt Trung Quốc, 2005(11): 27-29-5.

[25] Trịnh Kiện. Đổi mới và thực hành xây dựng nhà ga đường sắt cao tốc tại Trung Quốc [Tạp chí]. Nghiên cứu Kinh tế Đường sắt, 2010(6): 1-3.

[26] Hàn Chí Vĩ. Thực hành và khám phá thiết kế, xây dựng nhà ga đường sắt kiểu mới [Tạp chí]. Nghiên cứu Kinh tế Đường sắt, 2007(6): 23-30.

[27] Trung tâm Thẩm định Thiết kế Công trình Bộ Đường sắt, Công ty TNHH Tập đoàn Kỹ thuật Viện Thiết kế Đường sắt Trung Quốc số 2. Tuyển tập báo cáo hội thảo giao lưu kỹ thuật nhà ga đường sắt Trung Quốc 2011 [Kỷ yếu hội thảo]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2012.

[28] Ban chỉ huy xây dựng nhà ga đường sắt. Tuyển tập báo cáo hội thảo quản lý xây dựng nhà ga đường sắt 2010 [Kỷ yếu hội thảo]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân, 2011.

[29] Trung tâm Thẩm định Thiết kế Công trình Bộ Đường sắt, Tập đoàn Công ty TNHH Viện Khảo sát Thiết kế Đường sắt Trung Quốc số 4. Tuyển tập báo cáo hội thảo quốc tế giao lưu kỹ thuật nhà ga đường sắt Trung Quốc 2007 [Kỷ yếu hội thảo]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2008.

[30] Ngô Đông. Nghiên cứu về ý tưởng quy hoạch và bố cục tổng thể nhà ga hành khách đường sắt [Tạp chí]. Khảo sát Đường sắt, 2014(1): 52-55, 59.

[31] Vương Lân Thư. Suy nghĩ về xây dựng nhà ga đường sắt tại Trung Quốc [Tạp chí]. Đường sắt Trung Quốc, 2005(11): 5, 27-29.

[32] Trịnh Đông Vĩ. Nghiên cứu thiết kế chiếu sáng nhà ga hành khách đường sắt [Tạp chí]. Ứng dụng Điện khí, 2015(2): 36-39.

[33] Liêu Mỹ. Nghiên cứu tiết kiệm năng lượng hệ thống chiếu sáng nhà ga lớn của đường sắt cao tốc [Luận văn]. Vũ Hán: Đại học Khoa học và Công nghệ Hoa Trung, 2011.

[34] Thạch Lỗi. Khảo sát sơ bộ về thiết kế không gian thương mại tại các nhà ga hành khách lớn [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật Đường sắt, 2010, 7(5): 97-102.

[35] Lý Truyền Thành. Xu hướng tích hợp nhà ga giao thông và đô thị - Phân tích thiết kế nhà ga hành khách quy mô lớn [Tạp chí]. Kiến trúc Hoa Trung, 2004, 22(1): 32-41.

[36] Trương Lệ. Xu hướng phát triển quảng trường trước nhà ga hành khách đường sắt [Tạp chí]. Kiến trúc Sơn Tây, 2011, 37(16): 28-29.

[37] Tống Ca, Lưu Yến, Chu Đan Đan, và cộng sự. Phân tích hiện trạng sử dụng năng lượng tại các nhà ga đường sắt và các yếu tố ảnh hưởng [Tạp chí]. Sưởi ấm, Thông gió và Điều hòa không khí, 2013, 43(4): 85-90.

[38] Lưu Chấn Quyên, Đảng Lập. Thiết kế kiến trúc nhà ga hành khách đường sắt dựa trên văn hóa địa phương [Tạp chí]. Nghiên cứu Kinh tế Đường sắt, 2013(1): 16-19.

[39] Vương Khải Phu. Thảo luận về các mô hình phát triển thương mại tại nhà ga hành khách đường sắt Trung Quốc [Tạp chí]. Nghiên cứu Kinh tế Đường sắt, 2013(6): 36-42, 56.

[40] Chung Thừa Hà. Bàn về khái niệm thiết kế tích hợp nhà ga đường sắt đô thị [Tạp chí]. Kiến trúc Chiết Giang, 2001(6): 5-7.

[41] Lôi Trì Bình. Sáng tạo mang tính địa phương của nhà ga đường sắt trong thời kỳ mới [Tạp chí]. Kiến trúc Chiết Giang, 2012, 29(8): 5-7, 18.

[42] Trịnh Kiện. Quy hoạch phát triển và thực tiễn xây dựng đường sắt Trung Quốc [Tạp chí]. Giao thông đô thị, 2010, 8(1): 14-19.

[43] Úy Phỉ. Nghiên cứu thiết kế hình thái không gian quảng trường trước nhà ga giao thông công cộng đô thị [Luận văn]. Bắc Kinh: Đại học Giao thông Bắc Kinh, 2011.

[44] La Phi. Nghiên cứu thiết kế hình thái không gian đô thị tại các trung tâm giao thông tích hợp đường sắt cao tốc [Luận văn]. Thiên Tân: Đại học Thiên Tân, 2010.

[45] Lưu Sướng. Nghiên cứu các yếu tố đánh giá tính văn hóa của nhà ga đường sắt lớn dựa trên thị giác [Luận văn]. Thành Đô: Đại học Giao thông Tây Nam, 2012.

[46] Hàn Chí Vĩ. Thực tiễn và khám phá thiết kế, xây dựng nhà ga đường sắt kiểu mới [Tạp chí]. Nghiên cứu Kinh tế Đường sắt, 2007(6): 23-30.

[47] Hồ Tiểu Dũng, Trương Quang Huy, Tạ Vĩ Bình. Phân tích động lực học của dầm đơn giản dưới tác động của tàu cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Đại học Công nghệ Vũ Hán, 2010(7): 125-128.

[48] Thái Kim Trì, Châu Khải Thái. Phương pháp và kinh nghiệm giám sát thi công công trình nhà ga phía Tây Bắc Kinh [Tạp chí]. Kỹ thuật xây dựng, 1995(11): 698-705.

[49] Thôi Chí Kiệt, Chu Quốc Vân, Hà Phong Vũ. Thiết kế và thi công nhà ga tàu điện ngầm tại ga phía Tây Bắc Kinh [Tạp chí]. Kỹ thuật xây dựng, 1995(12): 737-741.

[50] Chu Quốc Vân, Hà Phong Vũ. Kỹ thuật thi công tích hợp nhà ga tàu điện ngầm ngầm sẵn tại ga phía Tây Bắc Kinh [Tạp chí]. Kỹ thuật thi công, 1995(4): 33-36.

[51] Tống Kế Văn. Thiết kế tổ chức thi công tổng thể công trình kết cấu chính nhà ga phía Bắc Bắc Kinh [Tạp chí]. Kỹ thuật thi công, 1996(3): 1-3.

[52] Tôn Quân. Vấn đề địa công môi trường trong thi công đào hố móng khu vực nội đô [Tạp chí]. Không gian ngầm, 1999(4): 257-266, 338.

[53] Chu Thi Vĩ. Thi công cột bê tông cốt thép nhà ga mới Thâm Quyến [Tạp chí]. Thiết kế tiêu chuẩn đường sắt, 2001(9): 43-44.

[54] Tôn Tuấn Lĩnh. Một số vấn đề trong thiết kế cấu trúc hợp nhất nhà ga cầu đường sắt đô thị [Tạp chí]. Kết cấu xây dựng, 2003(10): 62-65.

[55] Tôn Khải, Hứa Trấn Cương, Lưu Đình Kim, và cộng sự. Giám sát thi công và phân tích mô phỏng số cho hố móng sâu [Tạp chí]. Tạp chí Cơ học và Kỹ thuật Đá, 2004(2): 293-298.

[56] Hàn Chí Vĩ. Thiết kế và xây dựng nhà ga đường sắt kiểu mới [Tạp chí]. Nghiên cứu Kinh tế Đường sắt, 2005(6): 20-25.

[57] La Hán Bân. Thực tiễn và phát triển sử dụng tường kính trong nhà ga kiểu mới [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2008(10): 87-91.

[58] Tạ Tĩnh Hân. Khảo sát sơ bộ về xu hướng phát triển hình thái không gian nhà ga hành khách kiểu mới [Luận văn]. Đại học Thiên Tân, 2009.

[59] Từ Phúc Giang, Thịnh Bình, Kha Trường Hoa. Ảnh hưởng của phương pháp thi công ngược đến thiết kế kết cấu chính nhà ga mới Quảng Châu [Tạp chí]. Kết cấu xây dựng, 2009(12): 52-54.

[60] Chu Quân. Kỹ thuật thi công tổng hợp tường kính nhà ga phía Nam Bắc Kinh [J]. Công nghiệp Kiến trúc, 2009(S1): 1101-1104.

[61] Trần Lam. Nghiên cứu bố trí tổng thể nhà ga đường sắt cao tốc [D]. Đại học Giao thông Bắc Kinh, 2010.

[62] Tô Khiết, Trương Đỉnh Lập, Cao Tự Hữu, và cộng sự. Biến dạng kết cấu nhà ga tàu điện ngầm khi thi công bằng phương pháp ngược và kiểm soát của nó [J]. Khoa học Đường sắt Trung Quốc, 2010(1): 59-65.

[63] Vương Hoành, Đới Lập Tiên, Lưu Gia Hoa, và cộng sự. Kỹ thuật trượt khung lớn của nhà ga trung tâm Vũ Hán [J]. Kỹ thuật Thi công, 2010(7): 13-15.

[64] Vương Tiểu Ba. Nghiên cứu và ứng dụng kỹ thuật giám sát sức khỏe trong quá trình thi công kết cấu thép [D]. Đại học Chiết Giang, 2010.

[65] Trương Quảng Bình. Nghiên cứu kết nối ren thẳng của mối nối cốt thép dưới tải trọng động [J]. Kỹ thuật Đường sắt, 2010(4): 81-83.

[66] Trịnh Kiện. Nhu cầu phát triển và con đường hiện thực hóa nhà ga đường sắt cao tốc [J]. Tiến bộ Khoa học và Chiến lược, 2010(19): 120-122.

[67] Thiết kế và thi công kết cấu giao thông đường sắt đô thị (Phiên bản giao thông) [J]. Cơ học Địa chất, 2011(4): 1254.

[68] Hàn Quân. Kỹ thuật thi công mặt dựng tổ hợp kính hai lớp họa tiết gạch xanh tại nhà ga phía Nam Thái Nguyên [J]. Kỹ thuật Thi công, 2011(20): 13-16.

[69] Lữ Minh. Kỹ thuật thi công và thay đổi chống đỡ kết cấu thép ngược tại nhà ga phía Tây Thành Đô [J]. Kỹ thuật Thi công, 2011(20): 24-27.

[70] Văn Tùng Thịnh. Kỹ thuật thi công hệ chống đỡ cho hệ thống cốp pha cao [J]. Kiến trúc Xây dựng, 2012(2): 137-138 + 43.

[71] Ngô Vĩnh Hồng. Kỹ thuật thi công kết cấu bê tông trong mùa đông tại nhà ga phía Tây Cáp Nhĩ Tân [J]. Kỹ thuật Thi công, 2012(10): 14-17.

[72] Trương Khai Thần, Từ Cương, Tiền Anh Hân, và cộng sự. Thi công nhà ga chính mới Quảng Châu bằng phương pháp ngược và mô phỏng toàn bộ quy trình căng bêtông dự ứng lực [J]. Công nghiệp Kiến trúc, 2012(8): 93-96.

[73] Thái Khôn, Viêm Kiến Hải, Lý Phương. Ứng dụng hệ thống chống đỡ tường đất bằng ống thép vi mô kết hợp tường đinh đất [J]. Kỹ thuật Thi công, 2013(S2): 21-24.

[74] Quách Chấn Vĩ, Quách Đan Đan. Nghiên cứu phương pháp xây dựng hệ thống đánh giá thi công xanh cho nhà ga đường sắt [J]. Nghiên cứu Phát triển Đô thị, 2013(5): 5-8 + 16.

[75] Lý Nhiên. Quản lý rủi ro an toàn thi công hệ thống cơ điện nhà ga phía Nam Bắc Kinh [D]. Đại học Công nghiệp Bắc Kinh, 2013.

[76] Lý Thế Siêu. Kỹ thuật thi công hệ chống đỡ cốp pha cao [J]. Vật liệu xây dựng Quảng Đông, 2013(11): 54-57.

[77] Vương Uy Vĩ, Đường Tiểu Phàm. Phân tích các biện pháp bảo vệ an toàn khi thi công tuyến đường sắt hiện hữu [J]. Kỹ thuật Thi công, 2013(S1): 353-356.

[78] Thường Ba, Dương Đình, Mai Hiến Trung, và cộng sự. Kỹ thuật thi công mái kim loại nhà ga trung tâm Hàng Châu [J]. Chống thấm xây dựng Trung Quốc, 2014(7): 5-10.

[79] Doãn Thiệu Triết. Tổng quan về quản lý thi công nhà ga hành khách đường sắt [J]. Khoa học Xây dựng, 2014(7): 106-109.

[80] Chân Lợi Hiền. Phân tích rủi ro an toàn hành khách tại các nhà ga đường sắt cao tốc quy mô lớn [D]. Đại học Giao thông Tây Nam, 2014.

[81] Thời Uy, Ôn Hiểu Long. Ứng dụng giàn giáo kiểu khóa đĩa trong hệ chống đỡ cốp pha cao [J]. Xây dựng Kiến trúc, 2015(9): 1091-1093.

[82] Chu Tuyết Bình. Ứng dụng giàn giáo kiểu khóa đĩa trong thi công dầm hộp đúc tại chỗ [J]. Khoa học Giao thông Đường bộ (Phiên bản Kỹ thuật ứng dụng), 2015(6): 240-241.

[83] Hoàng Hồng Hỷ. Nghiên cứu và phân tích quá trình thi công kết cấu thép không gian nhịp lớn [D]. Đại học Công nghệ Thanh Đảo, 2016.

[84] Khúc Lệ Hương. Nghiên cứu công nghệ thi công tường chắn liên tục ngầm [D]. Đại học Công nghệ Thanh Đảo, 2016.

[85] Chu Yến Phong. Nghiên cứu và ứng dụng kỹ thuật nâng tổng thể kết cấu thép không gian nhịp lớn [D]. Đại học Thiên Tân, 2016.

[86] Triển vọng xây dựng đường sắt Trung Quốc năm 2017 [J]. Tạp chí Đường sắt, 2017(3): 128.

[87] Khuất Diệu Huy, Lý Phấn, Trang Đức Hoa, và cộng sự. Nghiên cứu công nghệ tổng hợp kiểm soát lún nền đường sắt cao tốc tại vùng đất hoàng thổ dễ lún [J]. Tạp chí Giao thông Đại học Giao thông Trùng Khánh (Phiên bản Khoa học Tự nhiên), 2017(3): 54-59 + 64.

[88] Triệu Đào, Lý Quốc Lương, Lương Khánh Quốc, và cộng sự. Nghiên cứu thí nghiệm gia cố nền đất mềm trong đường hầm đất hoàng thổ bão hòa bằng cọc ống thép [J]. Kỹ thuật Đường hầm Hiện đại, 2017(3): 73-78.

[89] Mao Chí Bình. Tổng quan về công nghệ xây dựng xanh của Tổng công ty Xây dựng Trung Quốc [J]. Kỹ thuật Thi công, 2006(10): 1-4.

[90] Trương Hy Kiềm, Lâm Lân, Vương Quân. Hiện trạng và triển vọng của công trình xây dựng xanh và thi công xanh [J]. Kỹ thuật Thi công, 2011(8): 1-7.

[91] Dương Thư, Bào Học Anh, Vương Khởi Tài, và cộng sự. Xây dựng mô hình đánh giá quản lý thi công xanh cho nhà ga đường sắt [J]. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật Đường sắt, 2016(8): 1636-1641.

[92] Diệp Lăng, Trình Chí Quân. Hiện trạng phát triển và triển vọng của tiêu chuẩn xây dựng xanh tại Trung Quốc [J]. Khoa học Kiến trúc, 2016(12): 6-12.

[93] Lý Thông, Khương Quyên, Khương Long Hoa, và cộng sự. Một số ý kiến về quản lý công nghệ thi công xanh [J]. Kỹ thuật Thi công, 2017(S2): 1323-1325.

[94] Châu Thuận Hoa. Thiết kế và thi công kết cấu giao thông đường sắt đô thị [M]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân, 2011.

[95] Lương Đôn Duy. Kỹ thuật thi công mái nhà [M]. Sơn Tây: Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật Sơn Tây, 2009.

[96] Vương Hoành. Kỹ thuật thi công kết cấu thép nhịp lớn [M]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Công nghiệp Xây dựng Trung Quốc, 2015.

[97] Đường Hưng Vinh. Thiết kế và thi công kết cấu tầng chuyển đổi của nhà cao tầng [M]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Công nghiệp Xây dựng Trung Quốc, 2012.

[98] Hoàng Chí Cương. Nghiên cứu về hiệu suất vị trí giao thông của các nhà ga đường sắt lớn [M]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Khoa học Kinh tế, 2011.

[99] Chân Tinh Liên, Đoạn Trọng Nguyên, Giả Duệ Thần. Tổng quan về kỹ thuật chống đỡ hố móng sâu [J]. Kiến trúc Công nghiệp, 2006(S1): 691-713.

[100] Cố Vĩ Hoa, Thẩm Tây Hoa, Diệp Thánh Nguyên, và cộng sự. Các biện pháp an toàn kỹ thuật thi công tường chắn ngầm siêu sâu gần tuyến hiện hữu tại công trình nhà ga Hàng Châu Đông [J]. Kỹ thuật Thi công, 2017(10): 20-24.

[101] Sam Kubba. Thiết kế xanh và quy trình xây dựng. Handbook of Green Building Design and Construction, 2012: 105-114.

[102] Trần Bằng. Ứng dụng phương pháp đào hầm không dốc và phương pháp đào đậy trong thi công hầm thân thiện với môi trường [J]. Kỹ thuật xây dựng đường sắt, 2009(6): 75-78. (Chen Peng. Application of Two Tunnel Boring Projects Based on Environmental Friendly Views [J]. Railway Construction Technology, 2009(6): 75-78. In Chinese.)

[103] Đơn Thái Kiệt, Phùng Đại Khắc. Tổng quan về công nghệ thi công xanh trong "10 công nghệ mới ngành xây dựng (phiên bản 2017)" [J]. Kỹ thuật Xây dựng, 2018(3): 270-275.

[104] Hàn Quân. Kỹ thuật thi công tường kính ghép đôi mô phỏng cửa sổ gạch xanh hai lớp tại nhà ga phía Nam Thái Nguyên [J]. Kỹ thuật Thi công, 2011(20): 13-16.

[105] Peter Hyatt. Great Glass Buildings: 50 Modern Classics [M]. Baker & Taylor Books, 2004.

[106] Dương Ngọc, Tào Thiểu Vệ. Phát triển và triển vọng kỹ thuật thi công nhà ga đường sắt [J]. Kỹ thuật Thi công, 2018(6): 109-113, 154.

[107] Dương Kiến Quốc, Sài Xuân Minh, Lưu Dĩ Văn, và cộng sự. Kỹ thuật thi công tổng hợp xây dựng nhà ga đường sắt cao tốc đặc biệt lớn hiện đại [J]. Kỹ thuật Thi công, 2015(S2): 464-469.

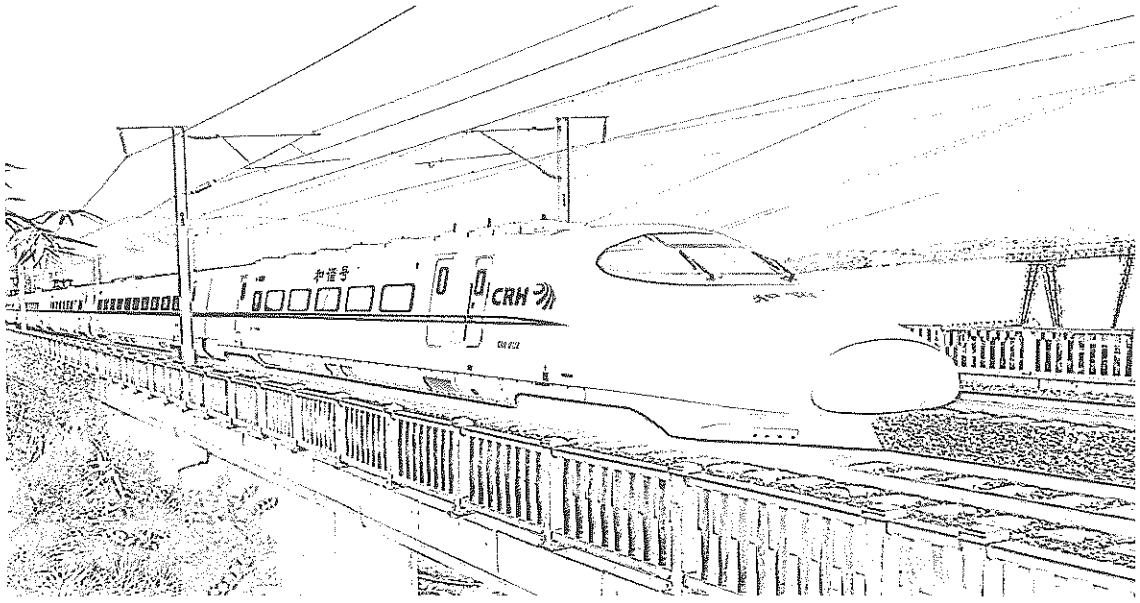
[108] Chân Tinh Liên, Đoạn Trọng Nguyên, Giả Duệ Thần. Tổng quan về kỹ thuật chống đỡ hố móng sâu [J]. Kiến trúc Công nghiệp, 2006(S1): 691-713.

[109] Trương Tấn Huân, Liêu Thu Lâm. Ứng dụng và triển vọng công nghệ thi công hố móng sâu bằng phương pháp ngược [J]. Kỹ thuật Thi công, 2014(7): 1-4, 25.

[110] Vương Vệ Đông, Từ Trung Hoa. Tiến bộ kỹ thuật và triển vọng công nghệ kỹ thuật hố móng [J]. Kỹ thuật Thi công, 2018(6): 53-65.

[111] Đổng Nguyệt Anh, Ngụy Kiến Hoa, Lý Tượng Phàm. Thảo luận về thiết kế và ứng dụng phương pháp bán ngược trong thi công hố móng sâu [J]. Tạp chí Kỹ thuật Địa chất, 2010(S1): 229-233.

[112] Vương Phong. Xây dựng và quản lý nhà ga đường sắt [M]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Khoa học, 2018.



PHẦN VI.
THỰC TIỄN XÂY DỰNG TUYẾN ĐƯỜNG SẮT LIÊN THÀNH PHỐ BẮC KINH - THIÊN TÂN

Phần này trình bày chi tiết về các hoạt động nghiên cứu thử nghiệm, luận chứng, giải quyết các vấn đề kỹ thuật quan trọng và xác nhận tính khả thi trong quá trình xây dựng tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân. Nội dung bao gồm các công nghệ xây dựng cơ sở hạ tầng trước ga cho đường sắt cao tốc như nền đường, cầu cạn, đường ray không ballast và các biện pháp bảo vệ môi trường, đồng thời đề xuất giải pháp xử lý kỹ thuật đối với việc lắp đặt đường ray không ballast tại những khu vực có hiện tượng lún đất.

Dựa trên kinh nghiệm từ việc xây dựng tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân, hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật xây dựng hạ tầng trước ga cho các tuyến đường sắt chuyên dụng vận tải hành khách đã được phát triển hoàn chỉnh. Hệ thống này đóng vai trò quan trọng trong việc định hướng và làm mẫu cho việc đồng bộ hóa thiết bị vận hành quy mô lớn của các tuyến đường sắt chuyên dụng.

Những kết quả kỹ thuật đạt được đã được triển khai cho các tuyến đường sắt chuyên dụng vận tải hành khách khác và dự án đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải. Đồng thời, dựa trên điều kiện cụ thể của từng công trình, các tiêu chuẩn này có thể tiếp tục được cải tiến và hoàn thiện nhằm nâng cao hiệu quả xây dựng và vận hành.

CHƯƠNG I. TỔNG QUAN DỰ ÁN

I. ĐẶC ĐIỂM TỰ NHIÊN

Tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân kết nối hai thành phố trực thuộc trung ương Bắc Kinh và Thiên Tân, nơi có mật độ dân cư cao, kinh tế phát triển, và tài nguyên du lịch dồi dào. Tuyến đường cắt ngang qua nhiều trục đường chính đô thị, đường cao tốc và tuyến đường sắt quan trọng.

Tuyến đường đi qua khu vực đồng bằng bồi tích - phù sa, cụ thể từ điểm đầu đến DK57 + 550 là đồng bằng bồi tích, và từ DK57 + 550 đến ga Thiên Tân là đồng bằng phù sa. Địa hình khu vực bằng phẳng và thoáng rộng, với hệ thống sông ngòi, kênh rạch chằng chịt.

Các con sông dọc tuyến thuộc hệ thống sông Hải Hà, bao gồm: Vĩnh Định Hà, Hộ Thành Hà, Lương Thủy Hà, Phụng Hà, Giảm Hà, Sát Hà, Hạn Hà, Quan Câu, Thông Đại Biên Câu, Long Hà, sông thoát nước Bắc Kinh, Bắc Vận Hà, Vĩnh Định mới và Tân Khai Hà.

Khu vực tuyến đi qua thuộc vùng khí hậu cận ẩm ôn đới ẩm, được phân loại là khu vực khí hậu ẩm theo mức độ ảnh hưởng đến công trình đường sắt. Độ sâu đóng băng lớn nhất của đất tại Bắc Kinh là 0,8 m, tại Thiên Tân là 0,7 m. Giá trị gia tốc cực đại của chấn động địa chấn ở Bắc Kinh là 0,2 g và ở Thiên Tân là 0,15 g.

Nền đất dọc tuyến chủ yếu là đất mềm yếu và đất rời, bao gồm đất sét, đất bột, đất cát, đất đá vụn, và một số nơi xen lẫn đất sét bùn, đất bột sét bùn. Đất mềm chủ yếu phân bố từ đoạn Vĩnh Lạc đến Thiên Tân, với độ dày từ 0,5 m đến 6 m. Nền đất rời phân bố từ đoạn Dịch Trang đến Thiên Tân, với độ sâu từ 1,5 m đến 18 m, có nơi sâu nhất lên tới 23 m.

Do việc khai thác nước ngầm từ các lớp trầm tích Đệ Tứ lỏng lẻo kéo dài trong nhiều năm, một số khu vực thuộc Bắc Kinh và Thiên Tân đã xảy ra tình trạng lún đất nghiêm trọng, gây ra sự nén chặt địa tầng và hình thành nhiều trung tâm lún lớn. Trong đó, khu vực Dịch Trang (Bắc Kinh) và Vũ Thanh (Thiên Tân) chịu ảnh hưởng nặng nề nhất, với mức lún tối đa hàng năm đạt 12 cm.

II. TIÊU CHUẨN KỸ THUẬT CHÍNH CỦA ĐƯỜNG SẮT

(1) Loại hình đường sắt: Tuyến chuyên dụng vận tải hành khách.

(2) Số đường chính: Hai đường.

(3) Độ dốc tối đa: Thông thường 12‰, trong trường hợp đặc biệt lên đến 20‰.

(4) Bán kính đường cong tối thiểu: Thông thường 7000 m, trường hợp đặc biệt 5500 m. Tại khu vực nội thành Bắc Kinh và Thiên Tân, bán kính được tính toán dựa trên tốc độ thiết kế.

(5) Khoảng cách giữa hai đường: 5 m, ở khu vực nội thành Bắc Kinh và Thiên Tân khoảng cách được điều chỉnh theo tốc độ thiết kế.

(6) Phương thức kéo tàu: Điện khí hóa.

(7) Chiều dài hiệu dụng của đường đón, đường gửi: Không dưới 650 m.

(8) Phương thức điều khiển tàu: Kiểm soát tự động.

(9) Phương thức chỉ huy vận hành: Điều độ tập trung.

III. NỘI DUNG CÔNG TRÌNH CHÍNH

Tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân bắt đầu tại ga Bắc Kinh Nam, đi về phía Đông dọc theo tuyến đường sắt hiện có Bắc Kinh - Sơn Hải, vượt qua các đường vành đai 2, 3 và 4 của Bắc Kinh. Từ vành đai 5, tuyến đường bắt đầu song hành với tuyến đường cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân thứ hai đến địa phận thành phố Thiên Tân, đi qua Vũ Thanh và tiếp tục men theo hành lang tuyến đường sắt Bắc Kinh - Sơn Hải đến ga Thiên Tân. Tuyến đường đi qua 8 quận: Sùng Văn, Phong Đài, Triều Dương, Thông Châu (Bắc Kinh) và Vũ Thanh, Bắc Thần, Hà Bắc, Hà Đông (Thiên Tân).

Tổng chiều dài tuyến là 115,2 km (không bao gồm ga Bắc Kinh Nam, điểm cuối là trung tâm ga Thiên Tân), trong đó đoạn qua địa phận Bắc Kinh dài 49,2 km và đoạn qua địa phận Thiên Tân dài 66,0 km.

3.1. Đường ray

Ngoài các đoạn tại ga Thiên Tân và các đường đón - gửi tàu sử dụng đường ray có ballast, tuyến chính dài 113,6 km sử dụng đường ray không ballast. Khu vực ghi đường ray sử dụng loại đường ray không ballast kiểu tấm đệm bê tông chôn sẵn và kiểu tấm bê tông, các đoạn còn lại sử dụng đường ray không ballast kiểu tấm bê tông loại II.

3.2. Cầu và cống

Tuyến đường bao gồm 31 cầu và cống, tổng chiều dài 100,3 km, chiếm 86,1% chiều dài toàn tuyến. Trong đó, có 5 cầu lớn đặc biệt với tổng chiều dài 99,56 km (xem chi tiết trong bảng 6-1-1).

Bảng 6-1-1: Chiều dài các cầu lớn đặc biệt

STT	Lý trình trung tâm	Tên cầu	Chiều dài (m)	Bắt đầu	Kết thúc
1	DK11 + 646.88	Vành đai Bắc Kinh	15595.93	DK3 + 808.4	DK19 + 444.85
2	DK32 + 236.52	Cầu Lương Thủy	21563.10	DK21 + 454.97	DK43 + 018.07
3	DK63 + 660.97	Dương Thôn	35812.18	DK45 + 754.91	DK81 + 228.08
4	DK94 + 770.44	Sông Vĩnh Định mới	21133.55	DK84 + 210.22	DK105 + 337.2
5	DK111 + 409.3	Sông Tân Khai	5370.78	DK108 + 723.91	DK114 + 094.69

Toàn tuyến có cầu lớn với nhịp dài nhất là các cầu vượt đường vành đai 4 và vành đai 5 tại Bắc Kinh, lần lượt sử dụng kết cấu cầu vòm gia cường liên tục nhịp (60 + 128 + 60) m và cầu dầm liên tục nhịp (80 + 128 + 80) m.

Phần lớn các cầu trên tuyến sử dụng dầm nhịp 32 m. Một số cầu vượt đường giao thông được xây dựng bằng dầm liên tục nhịp lớn với các nhịp chính gồm 48 m, 56 m, 64 m, 70 m, 80 m, 100 m, 128 m.

Thiết kế cầu kiểm soát độ lún sau thi công ở mức 2 cm. Móng cầu sử dụng móng cọc, đường kính cọc thông thường là 1 m, chiều dài trung bình khoảng 50 m. Đối với cầu có nhịp lớn, đường kính cọc thường là 1,5 m, chiều dài cọc tối đa lên đến 70 m.

Mố cầu được thiết kế theo kiểu mố chữ I, trụ cầu sử dụng loại trụ tròn hai đầu hoặc trụ hình chữ nhật đôi.

Do tuyến đi qua khu vực chịu ảnh hưởng của lún đất, gối cầu sử dụng loại gối cao su kiểu bệ chậu có khả năng điều chỉnh chiều cao, phù hợp với tốc độ thiết kế của tuyến.

Toàn tuyến cầu được thiết kế với tuổi thọ kết cấu chính là 100 năm, đảm bảo tính bền vững lâu dài.

Ngoài ra, toàn bộ cầu trên tuyến được chú trọng thiết kế cảnh quan.

3.3. Đường nền

Tổng chiều dài đoạn đường nền trên toàn tuyến là 16,25 km, với tổng khối lượng đào đắp đất đá là 2,191 triệu m^3.

Độ dốc hai bên đường nền được gia cố bằng khung bảo vệ sườn dốc và tường chắn đất kiểu chân trụ, với tổng chiều dài 8 km tường chắn đất kiểu chân trụ trên toàn tuyến.

Xử lý nền đường chủ yếu sử dụng kết cấu cọc bản, bao gồm: phía dưới sử dụng cọc CFG hoặc cọc ống, bên trên đặt lớp đệm sỏi, trên lớp đệm đặt bản bê tông cốt thép dày 50 cm, sau đó tiến hành đắp đất nền đường.

3.4. Nhà ga

Tuyến đường sắt có tổng cộng 5 nhà ga, bao gồm: Bắc Kinh Nam, Dịch Trang, Vĩnh Lạc, Vũ Thanh và Thiên Tân.

Phương án đưa các ga hành khách tại các đầu mối giao thông Bắc Kinh và Thiên Tân được nghiên cứu tổng thể, so sánh và lựa chọn dựa trên quy hoạch tổng thể mặt bằng, chức năng vận chuyển hành khách, đặc điểm luồng hành khách, khối lượng vận chuyển, khả năng của thiết bị hiện có và yêu cầu vận hành, đồng thời kết hợp với điều kiện quy hoạch đô thị.

- Ga Bắc Kinh Nam: Được đưa vào tuyến đường với khả năng kết nối trực tiếp với các tuyến tàu điện ngầm số 4 và số 14, tạo điều kiện thuận lợi cho việc trung chuyển "không đổi chuyến".
- Ga Dịch Trang: Kết nối với tuyến đường sắt nhẹ L2, tuyến ngoại ô S6 và tuyến sân bay theo quy hoạch, trở thành đầu mối giao thông tích hợp khu vực.
- Ga Vĩnh Lạc và Vũ Thanh: Là các ga hành khách liên tỉnh, được bố trí tại các điểm tập trung lớn về hành khách dọc tuyến theo quy hoạch đô thị, nhằm thúc đẩy phát triển kinh tế khu vực.
- Ga Thiên Tân: Được thiết kế là đầu mối giao thông tích hợp với các tuyến tàu điện ngầm số 2, số 3 và số 9, kết nối với tuyến khách Bắc Kinh - Sơn Hải hiện có, tuyến khách Thiên Tân - Tần Hoàng Đảo, và liên kết với ga Thiên Tân Tây thông qua tuyến nhánh Nam Thương.

(1) Ga Bắc Kinh Nam

- Quy mô: 13 ke ga, 24 đường ray, bố trí từ Nam lên Bắc theo thứ tự: ga tàu liên tỉnh, ga tàu cao tốc và ga tàu thông thường.
  - Ga tàu liên tỉnh: 4 ke, 7 đường ray.
  - Ga tàu cao tốc: 6 ke, 12 đường ray.

- Ga tàu thông thường: 3 ke, 5 đường ray.

- Các tuyến tàu điện ngầm số 4 và số 14 kết nối trực tiếp vào trung tâm ga Bắc Kinh Nam, đảm bảo việc trung chuyển thuận tiện cho hành khách với chức năng "không đổi chuyến".

(2) Ga Dịch Trang

- Loại hình nhà ga: Ga kiểu bố trí ngang, các đường chính không tiếp giáp với ke ga.
- Đường ray:
  - Bố trí 2 đường đón - gửi, dự phòng 2 đường.
  - Khoảng cách giữa các đường chính: 5,0 m.
  - Khoảng cách giữa đường chính và đường đón - gửi: 6,5 m.
  - Tại mỗi khu vực nút giao hai đầu ga bố trí một bộ ghi đơn, các ghi trên đường chính đều sử dụng loại ghi cao tốc số 18 với ray 60 kg/m, đảm bảo yêu cầu cho tàu đi thẳng qua ga mà không phải giảm tốc.
- Nhà ga:
  - Thiết kế nhà ga kiểu cầu bên dưới đường ray.
  - Bố trí 2 ke ga cho hành khách, mỗi ke dài 450 m, rộng 8,0 m, khoảng cách từ mặt ke đến mặt ray của đường đón - gửi liền kề là 1,25 m.
  - Đầu phía Bắc của ga được thiết kế dự phòng khả năng kết nối với đầu mối đường sắt Bắc Kinh và tuyến sân bay.
  - Tuyến đường sắt nhẹ L2 kết nối ngầm trực tiếp vào ga Dịch Trang, tuyến ngoại ô S6 theo quy hoạch kết nối song song với ga, tạo thành đầu mối giao thông tổng hợp, thuận tiện cho việc trung chuyển hành khách.

(3) Ga Vĩnh Lạc

- Ga Vĩnh Lạc là ga dự phòng, chỉ thực hiện xây dựng phần công trình dân dụng trong giai đoạn hiện tại.
- Bố trí ga: Hai ke ga kẹp giữa bốn đường ray, đường chính không tiếp giáp với ke ga.
- Đường ray:
  - Bố trí 2 đường chính, 2 đường đón - gửi nằm ở phía ngoài của hai đường chính.
  - Khoảng cách giữa hai đường chính: 5,0 m.
  - Khoảng cách giữa đường chính và đường đón - gửi: 6,5 m.

- Tại mỗi khu vực nút giao hai đầu ga bố trí một bộ ghi đơn, các ghi trên đường chính đều sử dụng loại ghi cao tốc số 18.

(4) Ga Vũ Thanh

- Bố trí ga: Hai ke ga kẹp giữa bốn đường ray, đường chính không tiếp giáp với ke ga.
- Đường ray:
  - Bố trí 2 đường chính, 2 đường đón - gửi nằm ở phía ngoài của hai đường chính.
  - Khoảng cách giữa hai đường chính: 5,0 m.
  - Khoảng cách giữa đường chính và đường đón - gửi: 6,5 m.
  - Tại mỗi khu vực nút giao hai đầu ga bố trí một bộ ghi đơn, các ghi trên đường chính đều sử dụng loại ghi cao tốc số 18.
- Nhà ga:
- Nhà ga nằm ở phía bên trái tuyến đường.
- Bố trí 2 ke ga cho hành khách, mỗi ke dài 450 m, rộng 8,0 m, khoảng cách từ mặt ke đến mặt ray của đường đón - gửi liền kề là 1,25 m.
- Ở trung tâm ga bố trí một đường hầm cho hành khách, rộng 12,0 m.

(5) Ga Thiên Tân

- Bố trí từ Bắc xuống Nam gồm: Ga tàu liên tỉnh, ga tàu cao tốc và ga tàu thông thường.
- Quy mô: 10 ke ga, 18 đường ray, bao gồm:
  - Ga tàu liên tỉnh: 4 ke, 7 đường ray.
  - Ga tàu cao tốc: 3 ke, 6 đường ray.
  - Ga tàu thông thường: 3 ke, 5 đường ray.
- Khu vực bãi hàng Cửu Cốc được cải tạo thành bãi đỗ tàu động lực điện.
- Đầu máy hiện có và khu vực sửa chữa đầu máy Cửu Cốc sẽ được tháo dỡ, xây dựng một cơ sở sửa chữa đầu máy ở phía Nam tuyến Bắc Kinh – Sơn Hải, gần nút giao phía Tây.
- Giữa các ga của tuyến Bắc Kinh – Thiên Tân và tuyến Thiên Tân – Tần Hoàng Đảo bố trí một đường nối ở cả hai đầu Đông và Tây, đảm bảo khả năng vận hành liên tuyến cho các đoàn tàu.
- Các tuyến tàu điện ngầm số 2, số 3 và số 9 đều kết nối trực tiếp với ga Thiên Tân, tạo thành đầu mối giao thông tổng hợp cho hành khách, đáp ứng yêu cầu vận chuyển nhanh chóng.

3.5. Hệ thống thông tin

Toàn tuyến được trang bị các hệ thống thông tin như: hệ thống điều hành vận hành, hệ thống giám sát an toàn phòng chống thiên tai, hệ thống dịch vụ hành khách và hệ thống giám sát thiết bị.

3.6. Hệ thống thông tin liên lạc, tín hiệu, điện lực và cung cấp điện kéo

Công trình "tứ điện" được xây dựng theo phương thức tích hợp hệ thống, đảm bảo sự phối hợp, đồng bộ giữa các hệ thống thông tin liên lạc, tín hiệu, điện lực và cung cấp điện kéo, đồng thời xử lý kỹ lưỡng giao diện giữa công trình "tứ điện" và công trình nền tảng.

Hệ thống cung cấp điện kéo áp dụng phương thức AT với điện áp đầu vào 220 kV. Toàn tuyến bố trí 2 trạm biến áp kéo, gồm trạm biến áp tại Dịch Trang và Vũ Thanh.

Hệ thống liên khóa tại các ga sử dụng thiết bị liên khóa vi tính. Hệ thống điều khiển đoàn tàu áp dụng hệ thống điều khiển CTCS3D (ETCS-1 + CTCS2).

3.7. Hệ thống tiếp địa tổng hợp

Để đảm bảo an toàn cho việc điều khiển đoàn tàu và an toàn cho hành khách, toàn tuyến được lắp đặt hệ thống tiếp địa tổng hợp. Các bộ phận như đường ray không ballast, cột tiếp xúc của tuyến đường sắt lân cận, ke ga, nhà ga, tường chắn và rào chắn cách âm đều được tích hợp vào hệ thống tiếp địa tổng hợp, đảm bảo kết nối đẳng thế, giúp duy trì an toàn cho hoạt động của đoàn tàu.

3.8. Bảo vệ môi trường và giảm chấn, giảm tiếng ồn

Tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh – Thiên Tân được trang bị tổng cộng 24.921 m rào chắn cách âm, trong đó bao gồm 3.546 m tại các đoạn đường nền và 21.375 m tại các đoạn cầu. Tất cả rào chắn đều được thiết kế theo kiểu tấm lắp ghép, đáp ứng yêu cầu về bảo vệ môi trường, giảm tiếng ồn và đảm bảo mỹ quan dọc tuyến.

3.9. Quá trình xây dựng

Dự án được đầu tư bởi Bộ Đường sắt Trung Quốc trước đây, thành phố Bắc Kinh, thành phố Thiên Tân và Tổng Công ty Dầu khí Hải dương Trung Quốc.

Năm 2003, công tác nghiên cứu dự án được triển khai. Tháng 9 năm 2004, Ủy ban Phát triển và Cải cách Quốc gia phê duyệt đề xuất dự án, và đến tháng 12 cùng năm đã thông qua báo cáo nghiên cứu khả thi. Ngày 18 tháng 12 năm 2005, Bộ Đường sắt Trung Quốc phê duyệt báo cáo khởi công xây dựng toàn tuyến, công trình chính thức được khởi công.

Tháng 2 năm 2008, dự án bắt đầu điều chỉnh và thử nghiệm toàn tuyến. Đến tháng 5 năm 2008, tuyến đi vào vận hành thử nghiệm và chính thức khai trương ngày 1 tháng 8 năm 2008.

Trong quá trình xây dựng, dự án đã thực hiện nhiều nghiên cứu thử nghiệm và giải quyết các vấn đề kỹ thuật liên quan đến đường nền, cầu và nền tảng đường ray. Dự án đạt được những thành tựu quan trọng trong kiểm soát lún nền cầu, từ biến của cầu, xây dựng đường ray không ballast, đo đạc chính xác và phát triển các quy trình công nghệ, thiết bị, vật liệu. Những thành tựu này đã giúp tích lũy kinh nghiệm quý báu cho việc xây dựng các tuyến đường sắt chuyên dụng vận tải hành khách chất lượng cao.

CHƯƠNG II. NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ TRỌNG ĐIỂM VÀ KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM TRONG CÔNG TRÌNH HẠ TẦNG TRƯỚC NHÀ GA

Tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh – Thiên Tân là trục chính trong hệ thống vận tải hành khách liên thành phố khu vực Vành đai Bột Hải theo "Quy hoạch mạng lưới đường sắt trung và dài hạn". Đây là tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên tại Trung Quốc có tốc độ thiết kế 350 km/h, cũng là tuyến đầu tiên được khởi công và hoàn thành, đóng vai trò công trình mẫu cho các tuyến đường sắt chuyên dụng vận tải hành khách khác, đồng thời là đoạn thử nghiệm độc lập của tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh – Thượng Hải. Tuyến đường đã chính thức đưa vào khai thác trước Thế vận hội Bắc Kinh năm 2008. Để tạo tiền đề tốt cho việc xây dựng tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh – Thượng Hải, tuyến Bắc Kinh – Thiên Tân được xây dựng với tiêu chuẩn công nghệ và chất lượng "đẳng cấp thế giới". Trong quá trình thi công, dự án đã tận dụng kinh nghiệm xây dựng tuyến khách Bắc Kinh – Thẩm Dương, kết quả thử nghiệm thiết bị vận hành trong đợt tăng tốc lần thứ sáu, cùng với kinh nghiệm xây dựng đường sắt cao tốc từ nước ngoài, đồng thời giải quyết nhiều vấn đề kỹ thuật liên quan đến công trình nền móng.

Tuyến đường đi qua khu vực nền đất yếu và đất mềm có sức chịu tải thấp, gây khó khăn trong việc xử lý nền móng và yêu cầu cao về kiểm soát lún sau thi công. Tuyến có các đoạn dài sử dụng đường ray không ballast và ghi không ballast, lĩnh vực mà trong nước chưa có kinh nghiệm thực tế. Hơn 80% chiều dài tuyến là cầu với nhiều loại nhịp khác nhau, trong đó có nhiều cầu nhịp lớn, nhịp dài nhất đạt 128 m, gây nhiều thách thức trong việc kiểm soát từ biến của đường ray không ballast trên cầu. Để đảm bảo sự ổn định của nền móng, độ êm thuận của tuyến và an toàn khi vận hành tàu cao tốc, dự án đã triển khai nhiều nghiên cứu và giải quyết các vấn đề kỹ thuật chính:

- Nghiên cứu công nghệ kiểm soát lún sau thi công tại khu vực nền đất yếu và đất mềm.
- Nghiên cứu kết cấu nhịp cầu, thiết kế cảnh quan cầu và gối cầu điều chỉnh chiều cao.
- Nghiên cứu công nghệ chế tạo, vận chuyển và lắp đặt cầu 900 tấn.

- Nghiên cứu kiểm soát từ biến cầu.
- Giải quyết các vấn đề về công nghệ đường ray không ballast.
- Nghiên cứu công nghệ đo đạc chính xác.
- Giám sát lún đất và đưa ra các biện pháp xử lý tại khu vực có hiện tượng lún sụt.

Thông qua các nghiên cứu và giải pháp kỹ thuật, dự án đã làm chủ các công nghệ thiết kế và thi công nền đường trên nền đất yếu, thiết kế và thi công cầu, thiết kế, chế tạo và kiểm định đường ray không ballast, công nghệ thi công đường ray hàn liền và ghi tốc độ cao trong một lần lắp đặt. Ngoài ra, dự án đã xây dựng mạng lưới đo đạc chính xác, áp dụng công nghệ tính toán và giám sát lún biến dạng, đồng thời làm chủ các công nghệ bảo vệ môi trường, giảm rung, giảm tiếng ồn và đánh giá biến dạng tại khu vực lún sụt.

Dự án cũng rút kinh nghiệm từ tuyến khách Bắc Kinh – Thẩm Dương, đặc biệt trong việc lựa chọn chiều dài đoạn dốc. Các đoạn dốc ngắn được loại bỏ, chiều dài đoạn dốc tối thiểu tăng từ 400 m (trên tuyến Bắc Kinh – Thẩm Dương) lên 900 m. Để xử lý vấn đề thay đổi độ cứng kết cấu ở các đoạn chuyển tiếp, dự án đã điều chỉnh thiết kế, khắc phục hạn chế về thay đổi độ cứng liên tục trên tuyến Bắc Kinh – Thẩm Dương. Do tuyến Bắc Kinh – Thiên Tân đi qua khu vực có mật độ đường sá cao, điều kiện địa chất phức tạp, khó khăn trong xử lý nền móng và hạn chế về quỹ đất, đồng thời yêu cầu cao về độ êm thuận, nên tại những khu vực có sự thay đổi độ cứng liên tục, dự án áp dụng phương án xây dựng cầu dài liên tục. Các vấn đề về hư hỏng nền đường được giải quyết triệt để, quy trình thiết kế và thi công nền đường được nâng cao, đồng thời tăng cường kiểm soát trong quá trình giám sát thi công nhằm đảm bảo chất lượng công trình.

I. CÔNG NGHỆ THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG NỀN ĐƯỜNG

Để đáp ứng yêu cầu vận hành của đường sắt cao tốc, kết cấu đường ray không ballast đòi hỏi sự kiểm soát nghiêm ngặt về biến dạng nền đường. Tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh – Thiên Tân đã áp dụng các giải pháp kỹ thuật bao gồm: tăng cường kết cấu lớp nền đáy, sử dụng nền móng cọc bản kết hợp và kết cấu chuyển tiếp, tăng cường kiểm soát chất lượng vật liệu đắp và độ chặt của nền đường, đồng thời tiến hành quan trắc và đánh giá lún để kiểm soát hiệu quả ảnh hưởng của biến dạng nền tại khu vực có lớp đất nén dày, đảm bảo độ êm thuận của đường ray.

Việc thi công cũng được xử lý chi tiết các giao diện với hệ thống phía sau như cột tiếp xúc, mái che nhà ga, đường dây vượt qua đường ray và hệ thống tiếp địa, nhằm đảm bảo tính đồng bộ và thống nhất của toàn hệ thống.

Bằng cách thiết lập hệ thống giám sát biến dạng nền đường hoàn chỉnh, tăng cường công tác quan trắc và đánh giá biến dạng, áp dụng công nghệ thi công thông tin hóa và xác định chính xác thời điểm thi công đường ray không ballast, các biện pháp kiểm soát lún sau thi công đã đạt được mục tiêu đề ra. Việc kiểm soát lún nền đường được đánh giá là hợp lý và đáng tin cậy.

1. Tăng cường kết cấu lớp nền đáy

Nền đáy của nền đường bao gồm hai phần: lớp bề mặt và lớp đáy:

- Lớp bề mặt có tổng chiều dày, bao gồm cả lớp bê tông đỡ đường ray không ballast, là 0,7 m.
- Lớp đáy có chiều dày 2,3 m.

Lớp bề mặt nền đáy sử dụng vật liệu đá dăm cấp phối. Để ngăn ngừa hiện tượng đóng băng và tăng khả năng thoát nước, vật liệu này được kiểm soát chặt chẽ về hàm lượng hạt mịn theo tiêu chuẩn kỹ thuật tạm thời của tuyến đường sắt chuyên dụng vận tải hành khách, với các yêu cầu cụ thể:

- Hàm lượng hạt mịn không vượt quá 5,0% trước khi đắp và không vượt quá 7,0% sau khi đầm nén.
- Tiêu chuẩn đầm nén phải đáp ứng:
  - Hệ số nền $K_{30} \geq 190$ MPa/m.
  - Mô đun biến dạng $E_{v2} \geq 120$ MPa.
  - Mô đun biến dạng động $E_{vd} \geq 50$ MPa.
  - Độ rỗng $n < 18\%$.

Để tăng cường khả năng thoát nước, các biện pháp chống thấm và thoát nước đã được tối ưu hóa sau nhiều lần nghiên cứu. Kết cấu chống thấm và thoát nước bằng bê tông nhựa được bố trí tại các vị trí sau: từ lớp bê tông đỡ đường ray không ballast đến rãnh cáp trên vai nền, trên lớp đáy nền đường và dưới các đường ray có ballast trong phạm vi nhà ga.

Lớp đáy của nền đường được đắp bằng vật liệu thuộc nhóm A và B, đảm bảo tăng cường độ và khả năng chống biến dạng của nền đáy.

2. Gia cố nền móng tổng hợp

Để kiểm soát lún nền đường, kết cấu nền móng tổng hợp dạng cọc bản được sử dụng, bao gồm cọc CFG và cọc ống bê tông đúc sẵn:

- Cọc CFG có đường kính 0,4 m, phía trên lót lớp đệm đá dăm dày 0,15 m, bên trên lớp đệm là bản bê tông cốt thép dày 0,5 m.

- Tại các đoạn nền đường có chiều cao lớn hơn 5 m, hai bên nền đường được bố trí tường chắn đất kiểu chân trụ. Ở những khu vực không xây dựng tường chắn đất do yêu cầu dự trữ tuyến đường, khoảng cách giữa các cọc gần chân taluy được nới rộng. Đồng thời, tại khu vực ke ga và chân taluy, lớp đệm đá dăm được gia cố bằng lưới địa kỹ thuật.

Để đẩy nhanh quá trình lún trước khi thi công, toàn bộ đoạn nền đường đều được gia tải trước bằng phương pháp đắp đất vượt tải.

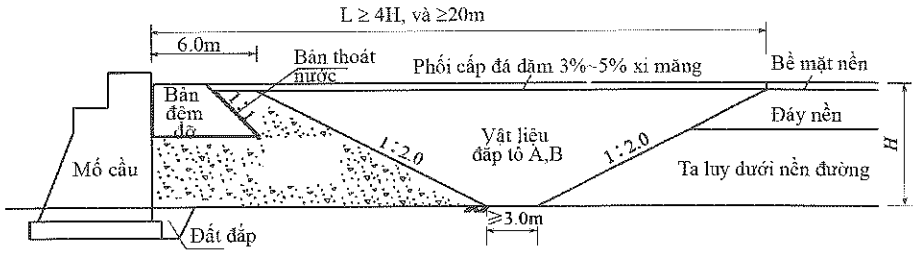
3. Đoạn chuyển tiếp

Đoạn chuyển tiếp được thiết kế để đảm bảo sự phối hợp biến dạng giữa các kết cấu khác nhau, đảm bảo sự đồng đều về độ cứng dọc tuyến, thuận lợi cho thi công và nâng cao chất lượng, đồng thời đáp ứng các yêu cầu về thoát nước, chống thấm và chống đóng băng. Thông qua nghiên cứu đoạn chuyển tiếp trên tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân, các yêu cầu tổng thể của đoạn chuyển tiếp đã được xác định, đáp ứng tốt yêu cầu liên kết đồng đều giữa các kết cấu có độ cứng khác nhau.

3.1. Đoạn chuyển tiếp giữa đường đắp và mố cầu

(1) Đoạn chuyển tiếp không bố trí thanh cản cuối của đường ray không ballast

Tại vị trí kết nối giữa đường đắp và cầu, đoạn chuyển tiếp được bố trí như sau (xem Hình 6-2-1):



Hình 6-2-1: *Sơ đồ bố trí đoạn chuyển tiếp giữa đường đắp và mố cầu*

1- Chiều dài đoạn chuyển tiếp L ≥ 4H và và ≥ 20,0 m.

2- Trong phạm vi đoạn chuyển tiếp, lớp bề mặt nền đáy được đắp bằng đá dăm cấp phối trộn thêm 3% - 5% (tỷ lệ theo khối lượng) xi măng Portland mác 32,5.

3- Kết cấu đoạn chuyển tiếp bao gồm hai phần:

- Phần hình thang xuôi được đắp bằng đá dăm cấp phối gia cố xi măng, đầm nén từng lớp.
- Phần hình thang ngược được đắp bằng vật liệu thuộc nhóm A và B, đồng thời kiểm soát chặt chẽ độ chặt khi thi công.

4- Cấp phối đá dăm phải đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật liên quan.

5- Đoạn chuyển tiếp và đường đắp kết nối được thi công đồng bộ, đảm bảo bề mặt lu lèn giữa đoạn chuyển tiếp và đường đắp kết nối ở cùng một độ cao.

(2) Đoạn chuyển tiếp có bố trí thanh cản cuối

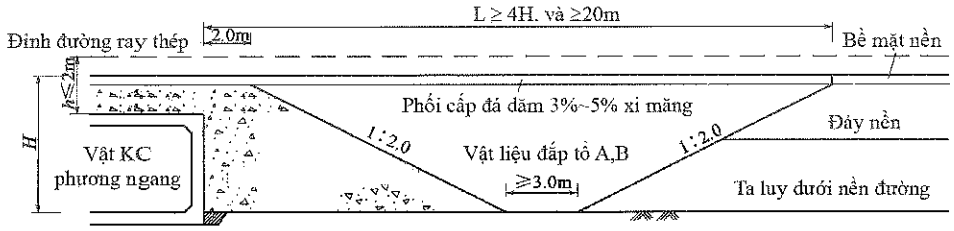
Do yêu cầu của kết cấu đường ray không ballast kiểu tấm loại II là không đắp đất trên mặt ray và phải bố trí thanh cản cuối tại hai đầu đường đắp của cầu khung có chiều dài trên 40 m, cầu liên tục dầm cứng và cầu lớn, vật liệu đắp tại khu vực này được quy định cụ thể như sau:

1- Đối với thanh cản có chiều dài 50 m trở xuống, vật liệu đắp dưới thanh cản, tấm đệm và thanh cản cuối là đá dăm cấp phối trộn thêm 3% - 5% xi măng.

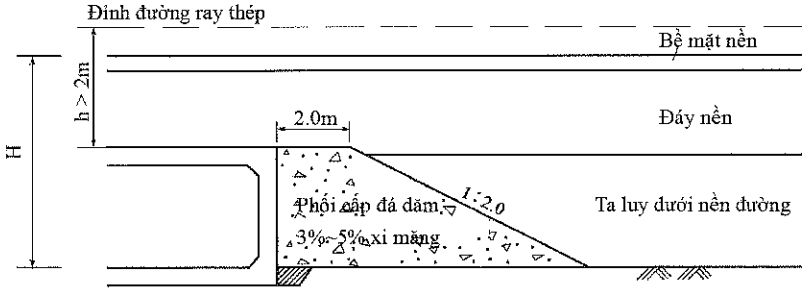
2- Đối với thanh cản có chiều dài 100 m, đoạn chuyển tiếp được bố trí giống như đoạn không có thanh cản cuối, vật liệu đắp dưới thanh cản và tấm đệm là nhóm A và B, phần dưới thanh cản cuối được đắp bằng đá dăm cấp phối trộn thêm 3% - 5% xi măng, với mái dốc đắp đất có độ dốc 1:2.

3.2. Đoạn chuyển tiếp giữa đường đắp và công trình ngang

Đoạn chuyển tiếp giữa đường đắp và công trình ngang được bố trí theo Hình 6-2-2 và Hình 6-2-3:



Hình 6-2-2: *Phương án bố trí đoạn chuyển tiếp giữa đường đắp và công trình ngang - Dạng 1*



Hình 6-2-3: *Phương án bố trí đoạn chuyển tiếp giữa đường đắp và công trình ngang - Dạng 2*

(1) Việc thiết kế đoạn chuyển tiếp giữa đường đắp và công trình ngang (như cầu vượt khung, cống hộp) phụ thuộc vào chiều cao giữa mặt trên công trình ngang và đỉnh ray.

(2) Khi chiều cao giữa mặt trên công trình ngang và đỉnh ray h ≤ 2,0 m, đoạn chuyển tiếp được bố trí theo dạng 1. Chiều dài đoạn chuyển tiếp L ≥ 4H và không nhỏ hơn 20,0 m. Trong phạm vi đoạn chuyển tiếp và trên mặt công trình ngang, lớp bề mặt nền đáy được đắp bằng đá dăm cấp phối trộn thêm 3% - 5% xi măng. Phía dưới lớp bề mặt nền đáy, phần hình thang xuôi bên trên mặt công trình ngang và hai bên được đắp bằng đá dăm cấp phối gia cố xi măng, phần hình thang ngược được đắp bằng vật liệu nhóm A và B.

(3) Khi chiều cao giữa mặt trên công trình ngang và đỉnh ray h > 2,0 m, đoạn chuyển tiếp được bố trí theo dạng 2. Phần hình thang xuôi được đắp bằng đá dăm cấp phối trộn thêm 3% - 5% xi măng và đầm nén từng lớp, đảm bảo độ chặt theo yêu cầu.

4. Vật liệu đắp nền đường và tiêu chuẩn đầm nén

Để giảm thiểu biến dạng của nền đường, vật liệu đắp dưới lớp nền đáy của đường đắp trên tuyến đều sử dụng vật liệu thuộc nhóm A và B, với tiêu chuẩn đầm nén đáp ứng các yêu cầu trong Bảng 6-2-1.

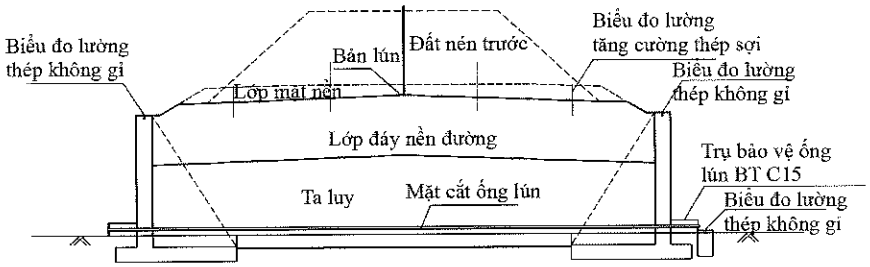
Bảng 6-2-1: Tiêu chuẩn đầm nén đường đắp dưới lớp nền đáy

Vật liệu đắp	Tiêu chuẩn đầm nén	Đất cát và sỏi mịn	Đá dăm và sỏi thô
Vật liệu đắp nhóm A và B	Hệ số nền K_{30} (MPa/m)	≥ 110	≥ 130
	Mô đun biến dạng E_{v2} (MPa)	≥ 45	≥ 45
	Hệ số đầm nén K	-	-
	Độ rỗng n (%)	≤ 31	≤ 31

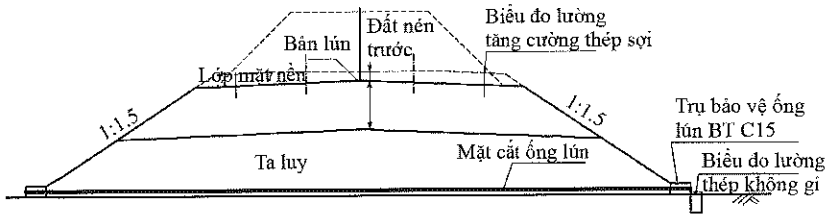
5. Quan trắc và đánh giá lún

Nhằm theo dõi chính xác sự biến dạng của nền đường và xu hướng phát triển lún, đồng thời làm cơ sở cho việc quyết định thời điểm thi công lắp đặt đường ray, công tác quan trắc và đánh giá lún trên toàn tuyến được thực hiện nghiêm ngặt.

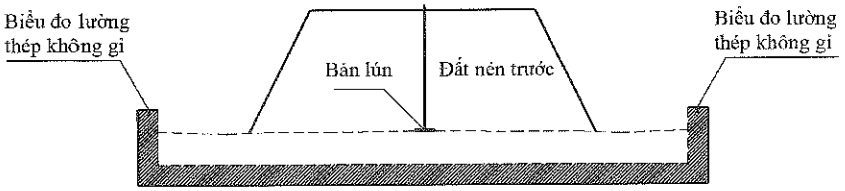
Các mặt cắt quan trắc được bố trí hợp lý, các ống đo lún theo mặt cắt dọc được chôn sẵn trong nền đường, cùng với việc lắp đặt các thiết bị quan trắc như tấm đo lún và cọc thép. Chi tiết bố trí các thiết bị được thể hiện trong Hình 6-2-4 đến Hình 6-2-7.



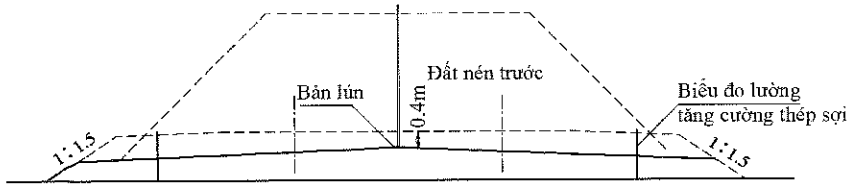
Hình 6-2-4: *Bố trí mặt cắt quan trắc - Sơ đồ 1*



Hình 6-2-5: *Bố trí mặt cắt quan trắc - Sơ đồ 2*



Hình 6-2-6: *Bố trí mặt cắt quan trắc - Sơ đồ 3*



Hình 6-2-7: *Bố trí mặt cắt quan trắc - Sơ đồ 4*

Quan trắc lún trong quá trình thi công

Trong giai đoạn thi công, sau mỗi lần đắp một lớp đất, việc quan trắc lún sẽ được tiến hành một lần. Nếu khoảng thời gian giữa hai lần đắp đất kéo dài, việc quan trắc phải được thực hiện ít nhất một lần mỗi ngày. Sau khi hoàn thành việc đắp đất, trong 3 tháng đầu tiên, công tác quan trắc được thực hiện mỗi 5 ngày/lần. Từ tháng thứ 4 đến tháng thứ 6, tần suất quan trắc được điều chỉnh còn 7 - 15 ngày/lần. Sau 6 tháng, công tác quan trắc được tiến hành 1 tháng/lần, và chu kỳ quan trắc tiếp theo sẽ được điều chỉnh dựa trên kết quả quan trắc thực tế.

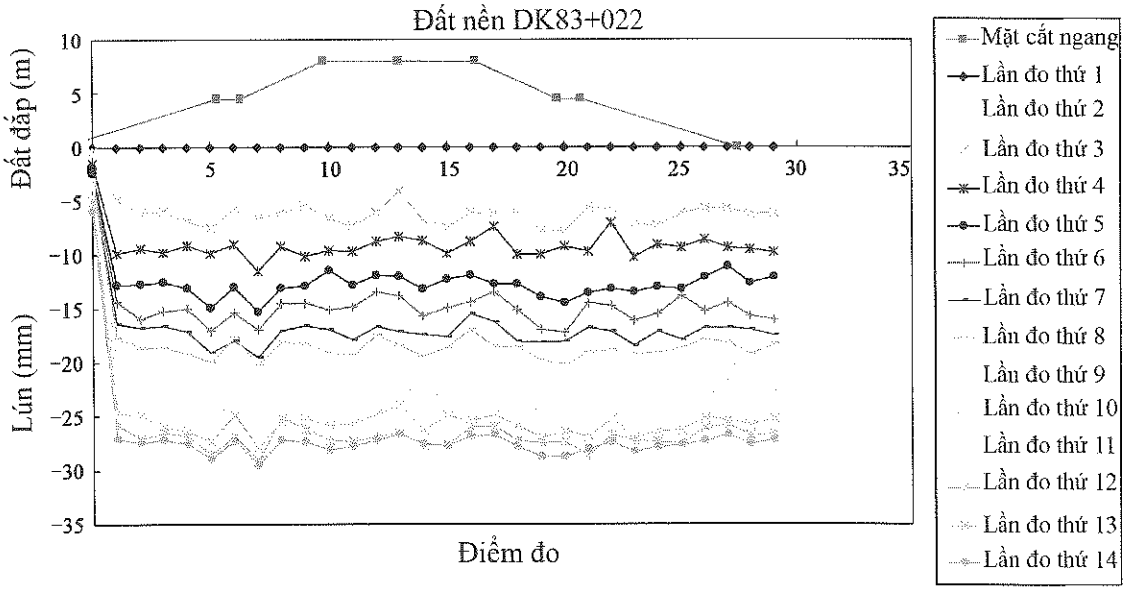
Sau khi hoàn thành việc đắp đất gia tải trên nền đường, công tác dự báo và đánh giá lún thường được triển khai sau 2 - 3 tháng, tùy thuộc vào tiến độ thi công. Các cuộc họp đánh giá lún được tổ chức hàng tuần để phân đoạn đánh giá, và đối với các đoạn có hiện tượng lún không ổn định, sẽ kịp thời tiến hành nghiên cứu và đề xuất giải pháp xử lý phù hợp.

Việc dự báo lún thường lấy dữ liệu quan trắc tại 3 vị trí: vai trái, trung tâm tuyến và vai phải. Các phương pháp dự báo lún được áp dụng gồm: phương pháp đường cong hyperbolic hiệu chỉnh, phương pháp mũ hiệu chỉnh và phương pháp đường cong hyperbolic. Đối với dữ liệu từ tấm đo lún, chủ yếu áp dụng phương pháp đường cong hyperbolic và phương pháp mũ để dự báo lún.

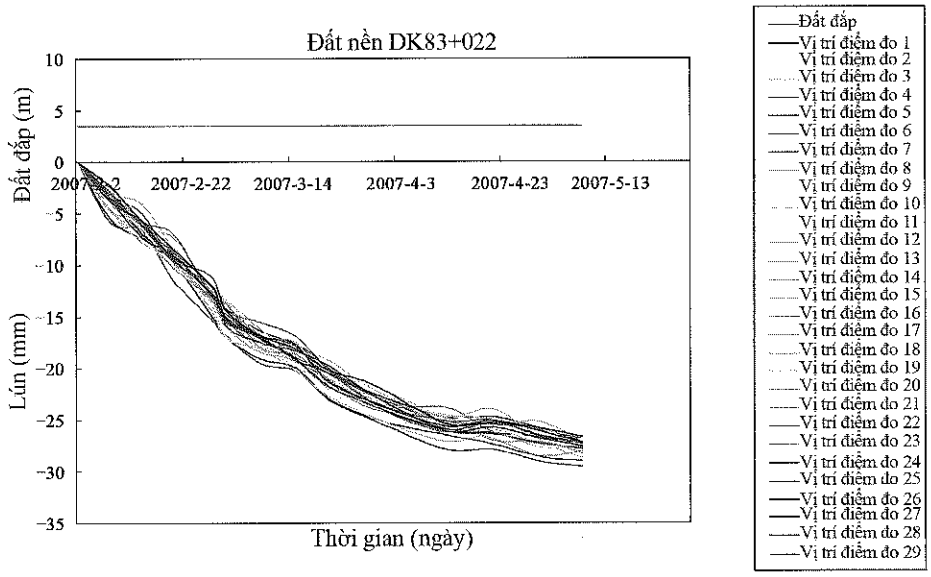
Ví dụ, vào ngày 12 tháng 7 năm 2007, đã tiến hành đánh giá lún cho đoạn từ DK82+600 đến DK83+252. Đoạn này hoàn thành đắp đất gia tải vào ngày 8 tháng 1 năm 2007 và tại thời điểm đánh giá, đoạn đã được gia tải trong 6 tháng. Dự báo lún dựa trên dữ liệu quan trắc thu thập trong 5 tháng, từ ngày 2 tháng 2 năm 2007 đến ngày 7 tháng 7 năm 2007.

Lấy mặt cắt DK83+022 làm ví dụ:

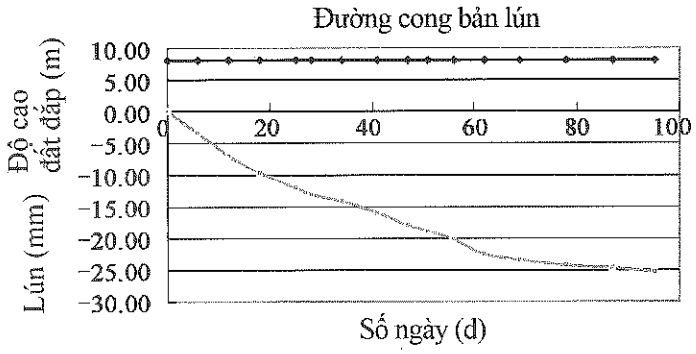
- Dữ liệu từ ống quan trắc tại các vị trí vai trái, trung tâm tuyến và vai phải khi áp dụng phương pháp đường cong hyperbolic để dự báo, cho giá trị lún sau thi công lần lượt là 12,6 mm, 12,36 mm và 12,85 mm.
- Dữ liệu từ tấm đo lún tại trung tâm tuyến khi dự báo bằng phương pháp đường cong hyperbolic, cho giá trị lún sau thi công là 10,64 mm (xem Hình 6-2-8 đến Hình 6-2-10).



Hình 6-2-8: *Đường cong lún mặt cắt ngang tại DK83+022*



Hình 6-2-9: *Biểu đồ lún - thời gian - đắp đất tại các điểm trên mặt cắt ngang DK83+022*



Hình 6-2-10: *Biểu đồ lún - thời gian - đắp đất của tấm đo lún tại DK83+022*

Kết quả quan trắc và đánh giá lún cho thấy lún thực tế của nền đường tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân về cơ bản phù hợp với lún lý thuyết, đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật trong việc thi công đường ray không ballast, đồng thời chứng minh tính hiệu quả của lý thuyết kiểm soát lún.

6. Nghiên cứu và thử nghiệm

Để làm rõ hơn quy luật xảy ra và phát triển lún nền đường, đồng thời kiểm chứng hiệu quả của các biện pháp kiểm soát lún, các thiết bị quan trắc đã được chôn trong kết cấu nền đường và các nghiên cứu sau đây đã được tiến hành:

1. Quy luật lún theo từng lớp và chiều dày của lớp đất nén.
2. Phân chia ứng suất giữa cọc và đất.

3. Phân bố lún trên mặt cắt ngang nền đường.

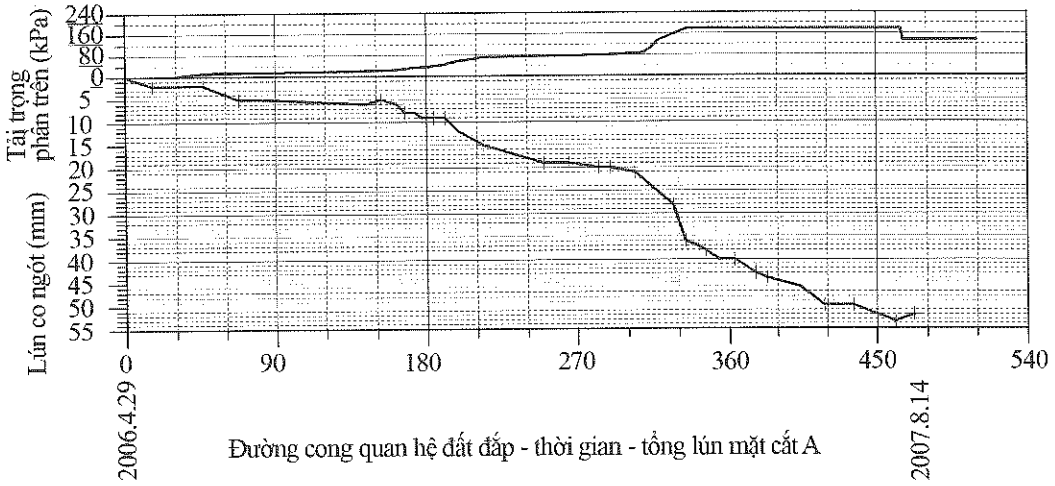
4. Lún trong các điều kiện biên khác nhau.

Dựa trên nội dung nghiên cứu và các tham số thiết kế công trình, ba mặt cắt DK84+050, DK84+150 và DK84+200 được chọn để tiến hành các thử nghiệm liên quan, bao gồm:

- Đo lún phân lớp tại trung tâm tuyến và chân taluy.
- Đo áp lực nước lỗ rỗng ở các độ sâu và lớp đất khác nhau.
- Đo áp lực bên trên, bên dưới bản bê tông cốt thép, trên cọc và giữa các cọc.
- Đo lún mặt cắt ngang tại đáy nền và đo dịch chuyển ngang tại chân taluy.

Theo kết luận nghiên cứu, công tác kiểm soát lún đã đạt được mục tiêu đề ra, với kết quả tính toán lý thuyết phù hợp tốt với dữ liệu quan trắc thực tế.

Đường cong quan hệ giữa tải trọng - thời gian - lún thực tế tại mặt cắt DK84+050 được thể hiện trong Hình 6-2-11.



Hình 6-2-11: *Đường cong quan hệ giữa tải trọng - thời gian - lún thực tế tại mặt cắt (DK84+050)*

Thông qua quá trình nghiên cứu, đã xác định được quy luật lún theo từng lớp, giá trị phân chia ứng suất giữa cọc và đất, phân bố lún của nền đường theo mặt cắt ngang và đặc điểm lún trong các điều kiện biên khác nhau, đồng thời kiểm chứng tính chính xác của lý thuyết kiểm soát lún sau thi công.

7. Công nghệ giao diện giữa nền đường và hệ thống sau nhà ga

Do kết cấu nền đáy của đường ray không ballast có yêu cầu cao về cường độ nền đường, việc thi công các hạng mục của hệ thống sau nhà ga cần được triển khai đồng bộ với công trình trước nhà ga để tránh gây hư hỏng nền đường và đảm bảo các điều

kiện kỹ thuật. Việc thiết kế và thi công các hạng mục liên quan được thực hiện đồng thời, trong đó phương án dự trữ nền đường được nghiên cứu chi tiết.

Tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân đã hoàn thiện các bản thiết kế chuyên biệt như "Bản vẽ thiết kế dự trữ tiếp địa" và "Bản vẽ thiết kế rãnh cáp và đường vượt", đồng thời phát hành đồng bộ cùng với bản vẽ thi công nền đường để triển khai đồng thời, đảm bảo tính hệ thống. Tại một số khu vực trong phạm vi nhà ga, việc bố trí cọc móng cũng đã đáp ứng yêu cầu dự trữ cho công trình nhà ga, tối ưu hóa toàn diện hệ thống và đảm bảo hiệu quả tổng thể.

II. CÔNG NGHỆ THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG CẦU

Toàn tuyến sử dụng kết cấu đường ray không ballast kiểu tấm trên cầu, do đó đặt ra yêu cầu cao đối với kết cấu cầu, bao gồm việc đảm bảo cường độ, độ cứng của kết cấu và kiểm soát lún của móng nhằm đảm bảo an toàn khi vận hành. Dự án đã tiếp thu kinh nghiệm từ việc xây dựng tuyến đường sắt chuyên dụng Bắc Kinh - Thẩm Dương, đồng thời cải tiến những hạn chế trong công trình cầu của tuyến này.

Sau khi so sánh kinh tế kỹ thuật các loại nhịp cầu phổ biến, dự án đã xác định nguyên tắc sử dụng chủ yếu dầm giản đơn 32 m, bổ sung dầm giản đơn 24 m, đồng thời nghiên cứu công nghệ chế tạo, vận chuyển và lắp đặt dầm hộp toàn khối 32 m. Dựa trên kinh nghiệm từ tuyến Bắc Kinh - Thẩm Dương và kết quả so sánh kinh tế kỹ thuật giữa đường đắp và cầu, dự án đã cân nhắc các yếu tố như: tuyến nằm giữa hai thành phố trực thuộc trung ương Bắc Kinh và Thiên Tân, mật độ dân cư cao, hệ thống giao thông dày đặc, hạ tầng ngầm phức tạp, đất đai hạn chế, và vị trí nằm trong khu vực có hiện tượng lún nền. Kết quả là tỷ lệ cầu trên toàn tuyến được nâng lên đáng kể, đạt 86,1%, chi tiết xem Bảng 6-2-2.

Bảng 6-2-2: Bảng chỉ tiêu toàn bộ cầu (Đơn vị: Nhân dân tệ/m)

Nhịp	Dầm đúc sẵn và lắp đặt	Giàn khuôn di động	Giàn giáo phủ toàn bộ	Giàn giáo Bailey	Trước giản đơn sau liên tục
Dầm giản đơn 32 m	46857	49287	51533	52225	-
Dầm giản đơn 24 m	47914	49740	52583	53122	-

2 × 32 m	-	50875	53429	53934	53815
2 × 40 m	-	50907	52830	53579	-
3 × 24 m	-	55455	58432	58898	58570

Dự án đã thực hiện nhiều nghiên cứu và thử nghiệm, bao gồm:

1- Thử nghiệm móng cầu và cống trên nền đất yếu: Thông qua đo lún và biến dạng thực tế của móng cầu và cống, đã kiểm chứng được các lý thuyết và phương pháp tính toán, từ đó xác định phương pháp tính toán phù hợp cho móng cầu và cống trên nền đất yếu, đất mềm và đất sét, đồng thời đề xuất các biện pháp kiểm soát lún hiệu quả cho móng cầu và cống.

2- Nghiên cứu kiểm soát công nghệ thi công dầm nhịp lớn: Nghiên cứu này giúp đảm bảo đường cong hình học của dầm chính và kết cấu vòm đạt trạng thái lý tưởng, đồng thời đảm bảo nội lực hoặc ứng suất của kết cấu phù hợp với trạng thái mong muốn, cung cấp cơ sở kỹ thuật để đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình thi công cầu.

Ngoài ra, dự án đã đổi mới tư duy thiết kế, lấy con người làm trung tâm và lần đầu tiên đưa ra khái niệm thiết kế cảnh quan cầu trên toàn tuyến. Hình dáng cầu được tối ưu hóa, mang lại vẻ đẹp hiện đại cho toàn bộ công trình. Đồng thời, dự án cũng chú trọng đến độ bền của cầu, sử dụng bê tông hiệu suất cao cho toàn bộ kết cấu cầu, đảm bảo tuổi thọ kết cấu chính đạt 100 năm.

1. So sánh kỹ thuật và kinh tế của các loại dầm giản đơn và dầm liên tục có nhịp thông dụng

Tỷ lệ cầu và cống trên toàn tuyến chiếm 86,1% chiều dài tuyến. Toàn bộ tuyến đi qua nền đất yếu, đất mềm và nằm ở trung tâm của vành đai động đất Bột Hải. Một số đoạn có hiện tượng lún nền do khai thác nước ngầm. Để đảm bảo an toàn vận hành và thuận tiện cho công tác bảo trì, dự án đã tiến hành phân tích tổng thể và so sánh chi tiết về mặt kỹ thuật cũng như kinh tế.

Các nhịp dầm thông dụng và kết cấu mố trụ được lựa chọn dựa theo tiêu chuẩn tuyến đường sắt chuyên dụng vận tải hành khách với tốc độ 350 km/h. Trong quá trình lựa chọn móng, đã tiến hành tối ưu hóa toàn diện các phương án cho từng loại dầm, bao gồm việc so sánh đường kính cọc và tính toán nghiêm ngặt khả năng kiểm soát lún. Trên cơ sở đảm bảo các yêu cầu về cường độ, độ cứng, độ dịch chuyển và độ lún của kết cấu dưới cầu, các phương án móng cho từng loại dầm được tối ưu hóa. Kết quả là lựa chọn các dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực có nhịp tiêu chuẩn 24 m và 32 m

dạng giản đơn và dầm hộp liên tục dự ứng lực với nhịp 2 × 32 m, 3 × 24 m và 2 × 40 m. Việc lựa chọn này được thực hiện dựa trên các yếu tố địa chất công trình, tiến độ thi công và phương pháp thi công của tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân, đồng thời tiến hành so sánh kỹ thuật và kinh tế toàn diện.

Lấy ví dụ đoạn cầu lớn tại khu vực Thiên Tân:

Đối với dầm giản đơn, khi áp dụng cùng một phương pháp thi công, các chỉ tiêu kinh tế của dầm 32 m và dầm 24 m là tương đương nhau. Tuy nhiên, tùy theo phương pháp thi công, chỉ tiêu toàn bộ cầu của dầm 32 m thấp hơn dầm 24 m từ 0,34% đến 1,67%.

Đối với cùng một loại dầm giản đơn, chỉ tiêu toàn bộ cầu theo thứ tự từ thấp đến cao cho 4 phương pháp thi công như sau:

1- Dầm đúc sẵn và lắp đặt.

2- Giàn khuôn di động.

3- Giàn giáo phủ toàn bộ.

4- Giàn giáo Bailey.

5- Trong đó, chỉ tiêu của giàn khuôn di động cao hơn dầm đúc sẵn và lắp đặt khoảng 5,2%; giàn giáo phủ toàn bộ cao hơn khoảng 9,4%; giàn giáo Bailey có chỉ tiêu toàn bộ cầu tương đương với giàn giáo phủ toàn bộ nhưng cao hơn khoảng 2%. Chỉ tiêu toàn bộ cầu của từng phương pháp được thể hiện trong Bảng 6-2-3.

Bảng 6-2-3: Chỉ tiêu toàn bộ cầu theo các phương pháp thi công (Đơn vị: Nhân dân tệ/m).

Nhịp cầu	Giàn khuôn di động	Giàn giáo phủ toàn bộ	Giàn giáo Bailey
2 × 32 m	50226	52493	53285
2 × 40 m	51605	52896	54278
3 × 24 m	55614	58312	59058

Khi áp dụng cùng một phương pháp thi công, chỉ tiêu toàn bộ cầu của các loại dầm liên tục theo thứ tự từ thấp đến cao như sau: 2 × 32 m, 2 × 40 m, 3 × 24 m (lưu ý rằng dầm liên tục 2 × 40 m không thể áp dụng phương pháp thi công trước giản đơn sau liên tục).

Đối với dầm liên tục 2 × 32 m và 3 × 24 m, chỉ tiêu toàn bộ cầu theo thứ tự từ thấp đến cao cho 4 phương pháp thi công là: giàn khuôn di động, giàn giáo phủ toàn bộ, trước giản đơn sau liên tục, giàn giáo Bailey.

Đối với dầm liên tục 2 × 40 m, chỉ tiêu toàn bộ cầu theo thứ tự từ thấp đến cao cho 3 phương pháp thi công là: giàn khuôn di động, giàn giáo phủ toàn bộ, giàn giáo Bailey.

Trong quá trình xây dựng một tuyến đường sắt chuyên dụng vận tải hành khách, việc thi công dầm giản đơn hoặc dầm liên tục nên được tổ chức tập trung theo từng đoạn. Thông thường, trong một đoạn nhất định, loại dầm và phương pháp thi công chủ đạo cần được thống nhất và đồng bộ.

Dựa trên kết quả so sánh các loại nhịp dầm và kết hợp với thiết bị vận chuyển, thiết bị thi công, cùng với phương thức tổ chức thi công, tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân đã lựa chọn nhịp dầm thông dụng là dầm giản đơn 32 m làm chủ đạo, bổ sung dầm giản đơn 24 m. Phương pháp thi công chủ yếu là đúc sẵn tập trung và lắp đặt bằng máy lao lắp dầm. Đối với một số vị trí kiểm soát đặc biệt, dự án đã sử dụng giàn khuôn di động và phương pháp đổ bê tông tại chỗ trên giàn giáo. Kết quả thực tế thi công đạt hiệu quả tốt, đồng thời cung cấp cơ sở lựa chọn nhịp dầm cho các tuyến đường sắt chuyên dụng khác.

2. Công nghệ thiết kế, chế tạo, vận chuyển và lắp đặt dầm hộp toàn khối 900 tấn

Dựa trên công nghệ đúc sẵn và lắp đặt dầm hộp toàn khối 600 tấn - 24 m được sử dụng trên tuyến đường sắt chuyên dụng Bắc Kinh - Thẩm Dương, kết hợp với sự phát triển của trình độ công nghệ công nghiệp trong nước, tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân đã phát triển công nghệ thiết kế, chế tạo, vận chuyển và lắp đặt dầm hộp toàn khối 900 tấn - 32 m. Về thiết kế cầu, quy trình thi công và thiết bị vận chuyển lắp đặt, dự án đã có những bước tiến vượt bậc so với tuyến Bắc Kinh - Thẩm Dương.

Thông qua các phép tính tĩnh lực, động lực và thử nghiệm mô hình, các chỉ tiêu kỹ thuật của dầm hộp giản đơn toàn khối và các cầu đặc biệt có nhịp lớn đều đáp ứng yêu cầu vận hành an toàn, ổn định của đoàn tàu với tốc độ 350 km/h và mang lại sự thoải mái cho hành khách. Các thiết bị như máy nâng dầm 450 tấn, máy lao dầm 900 tấn, xe vận chuyển dầm 900 tấn, máy tạo cầu bằng giàn khuôn di động 900 tấn đã được nghiên cứu chế tạo, đảm bảo hiệu suất thi công, tính an toàn và độ tin cậy đáp ứng tốt yêu cầu xây dựng.

2.1. Thiết kế dầm hộp toàn khối

Dầm hộp giản đơn bê tông dự ứng lực được thiết kế theo dạng thành xiên. Góc nghiêng của thành dầm không chỉ là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của dầm mà còn tác động trực tiếp đến tính thẩm mỹ của cây cầu. Thông qua phân tích và tính toán, dự án đã xác định được góc nghiêng hợp lý cho mặt cắt

ngang dầm, giúp tối ưu hóa thiết kế. Hình dạng mặt cắt này vừa đơn giản hóa công tác bố trí cốt thép, đáp ứng yêu cầu chịu lực, vừa đảm bảo kết cấu chịu lực hợp lý, tiết kiệm vật liệu, hiệu quả kinh tế cao và mang lại vẻ đẹp thẩm mỹ cho cầu.

Dầm hộp giản đơn được thiết kế với mặt cắt đơn hộp, đơn khoang có chiều cao không đổi. Chiều rộng cầu bên trong lan can là 9,4 m, chiều rộng hữu dụng bên trong lan can của lối đi bộ trên cầu là 13,2 m, và tổng bề rộng kết cấu cầu là 13,8 m. Khi nhịp dài 32 m, chiều cao dầm là 3,05 m.

Các giới hạn biến dạng của dầm được kiểm soát nghiêm ngặt. Dưới tác dụng của tải trọng tiêu chuẩn ZK, giới hạn độ võng theo phương đứng của dầm hộp giản đơn đa nhịp dài 32 m là L/1500, góc nghiêng của đầu dầm theo phương đứng không vượt quá 1‰, và sau khi hoàn thành việc lắp đặt đường ray không ballast, độ võng ngược do hiện tượng từ biến trên mặt cầu không ballast không vượt quá 10 mm.

2.2. Chế tạo dầm hộp toàn khối

Việc áp dụng quy mô lớn dầm hộp toàn khối giản đơn 32 m trên tuyến đường sắt chuyên dụng tốc độ 350 km/h là lần đầu tiên trong lịch sử xây dựng đường sắt tại Trung Quốc, tạo tiền đề cho việc sản xuất dầm giản đơn cho các tuyến đường sắt chuyên dụng. Do sử dụng công nghệ đường ray không ballast, tiêu chuẩn kỹ thuật cho dầm đúc sẵn được nâng cao và yêu cầu nghiêm ngặt trong việc kiểm soát biến dạng dài hạn của dầm. Dầm được chế tạo bằng bê tông hiệu suất cao, với độ bền kết cấu được nhấn mạnh và tuổi thọ dầm lên đến 100 năm. Việc áp dụng hàng loạt công nghệ, quy trình, thiết bị mới đã làm tăng yêu cầu đối với nguyên vật liệu và sản phẩm dầm hoàn chỉnh. Trong điều kiện bất lợi với nhiều công đoạn phức tạp như xây dựng bãi đúc, chế tạo dầm, di chuyển và lắp đặt, một bộ công nghệ hoàn chỉnh đã được xây dựng, mang lại kinh nghiệm quý báu cho việc xây dựng các tuyến đường sắt chuyên dụng trong tương lai.

Các công nghệ quan trọng trong sản xuất dầm đúc sẵn bao gồm:

1- Thi công hợp lý khi sử dụng bê tông hiệu suất cao, lựa chọn quy trình thi công và thiết kế cấp phối.

2- Kiểm soát nhiệt độ trong quá trình bảo dưỡng bê tông.

3- Kiểm soát chính xác chất lượng thi công dự ứng lực.

4- Kiểm tra và kiểm soát chất lượng trong suốt quá trình thi công.

5- Kiểm soát hiệu quả việc hình thành các vết nứt sớm của dầm.

6- Kiểm soát biến dạng dài hạn của dầm.

7- Kiểm soát chất lượng ngoại quan của dầm hoàn chỉnh.

Việc đúc sẵn dầm hộp chủ yếu sử dụng bê tông hiệu suất cao, bảo dưỡng bằng hơi nước với hệ thống điều khiển nhiệt độ tự động và áp dụng các công nghệ kiểm

soát nứt, từ biến để đảm bảo chất lượng và tiến độ sản xuất dầm. Do dầm hộp có trọng lượng lớn, phần móng của bãi sản xuất và nền móng lưu trữ, di chuyển dầm đều được gia cố bằng cọc.

Công đoạn buộc cốt thép được thực hiện trên các khuôn chuyên dụng, cho phép kiểm soát khoảng cách giữa các thanh thép và đảm bảo đủ độ bền, độ cứng và độ ổn định để ngăn ngừa biến dạng, xoắn trong quá trình buộc và di chuyển. Khung cốt thép của một dầm được chia thành hai phần: thành bụng và mặt đáy, cũng như mặt trên dầm, và các phần này sẽ lần lượt được lắp đặt khi đưa vào khuôn.

Khuôn đúc sử dụng khuôn thép nguyên khối với độ cứng và độ phẳng cao. Dưới mỗi khuôn bên ngoài có hai đường ray ngang. Sau khi tháo khuôn ngoài, khuôn được đặt lên xe di chuyển ngang và đưa đến bãi đúc tiếp theo để sản xuất dầm mới. Khuôn bên trong được chia thành ba phần: mặt trên và hai thành bên, kết nối bằng thanh thủy lực, có thể tự động thu vào hoặc mở ra.

Việc đúc sẵn dầm hộp sử dụng bê tông hiệu suất cao. Bê tông được trộn tại trạm trộn và bơm vào khuôn bằng bơm bê tông. Quá trình đổ bê tông sử dụng kết hợp máy rung gắn cố định và thanh rung cầm tay. Để kiểm soát nhiệt độ khi đổ bê tông, trạm trộn được trang bị thiết bị sản xuất đá lạnh và thiết bị gia nhiệt. Vào mùa hè, sử dụng nước đá để giảm nhiệt, còn vào mùa đông dùng nước nóng để trộn bê tông, đảm bảo nhiệt độ khi đổ bê tông luôn nằm trong khoảng 5 - 30°C.

Quá trình căng kéo dự ứng lực của dầm đúc sẵn được chia thành ba giai đoạn: căng kéo sơ bộ, căng kéo lần đầu và căng kéo cuối cùng:

1- Căng kéo sơ bộ được thực hiện khi cường độ bê tông đạt 50% giá trị thiết kế, nhằm kiểm soát việc hình thành vết nứt sớm.

2- Căng kéo lần đầu được thực hiện khi cường độ bê tông đạt 80% giá trị thiết kế và sau khi tháo khuôn theo yêu cầu.

3- Căng kéo cuối cùng được thực hiện khi cường độ bê tông và mô đun đàn hồi đạt giá trị thiết kế, với tuổi bê tông không ít hơn 10 ngày. Việc căng kéo được thực hiện đồng bộ ở cả hai đầu dầm, tuân thủ thứ tự căng kéo và đảm bảo độ giãn dài tại hai đầu dầm gần như tương đương.

Sau khi hoàn thành căng kéo cuối cùng, quá trình ép vữa chân không cho các ống dự ứng lực được tiến hành trong vòng 48 giờ.

2.3. Vận chuyển và lắp đặt dầm hộp toàn khối

(1) Máy nâng dầm 450 tấn

Máy nâng dầm 450 tấn được sử dụng để nâng dầm hộp dự ứng lực đôi tuyến có chiều dài 20 m, 24 m và 32 m đã được đúc sẵn. Hai máy hoạt động đồng bộ có thể thực

hiện di chuyển dầm theo hướng thẳng và dịch chuyển ngang dầm hộp với tải trọng lớn. Máy nâng dầm có độ ổn định cao trong quá trình nâng: hai máy phối hợp nhịp nhàng đảm bảo đồng bộ trong việc nâng hạ, điều chỉnh ngang và cho phép di chuyển dầm theo ba chiều, đảm bảo độ chính xác khi đặt dầm. Việc nâng dầm được thực hiện bằng phương pháp nâng tại bốn điểm, cân bằng tại ba điểm, giúp dầm chịu tải tốt và ổn định.

(2) Thiết bị vận chuyển và lắp đặt dầm 900 tấn

Thiết bị vận chuyển và lắp đặt dầm 900 tấn trên tuyến bao gồm:

- Thiết bị vận chuyển và lắp đặt dầm loại 900 tấn do Công ty Cơ khí Vạn Kiều Bắc Kinh phát triển, dùng để vận chuyển và lắp đặt dầm hộp đôi tuyến có chiều dài 24 m và 32 m.
- Thiết bị vận chuyển và lắp đặt dầm TLJ900 do Viện Nghiên cứu Thiết kế Xây dựng Đường sắt và Công ty Cơ khí Cầu đường Thông Liên Bắc Đới Hà phát triển, dùng để vận chuyển và lắp đặt dầm hộp đôi tuyến có chiều dài 24 m và 32 m.

Tuyến đường này đã sử dụng nhiều bộ thiết bị vận chuyển và lắp đặt dầm do các đơn vị trong nước tự phát triển, và các thiết bị này đã được chứng minh đạt hiệu quả tốt trong quá trình thi công.

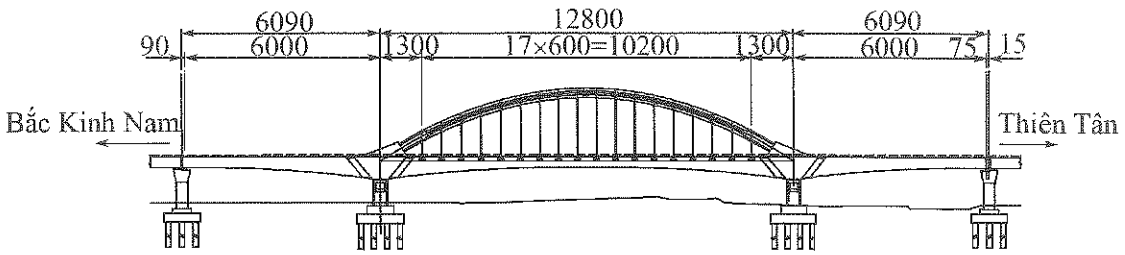
3. Công nghệ thiết kế và xây dựng cầu đặc biệt có nhịp lớn

Để đáp ứng yêu cầu vượt qua các tuyến đường đô thị, đường cao tốc cấp cao và sông ngòi, tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân đã sử dụng 40 liên nhịp lớn dạng dầm liên tục, trong đó có 22 liên nhịp có khẩu độ nhịp chính từ 64 m trở lên. Cầu có nhịp dài nhất là cầu liên tục sử dụng kết cấu dầm - vòm tăng cường vượt qua đường vành đai 4 Bắc Kinh với nhịp (60 + 128 + 60) m, và cầu liên tục bê tông dự ứng lực vượt qua đường vành đai 5 Bắc Kinh với nhịp (80 + 128 + 80) m, lần đầu tiên được áp dụng trên tuyến đường sắt chuyên dụng vận tốc cao tại Trung Quốc. Điểm khó trong công trình cầu này là làm thế nào để kiểm soát hiệu quả biến dạng của dầm liên tục nhịp lớn, đặt ra các yêu cầu mới trong thiết kế và thi công. Qua quá trình thi công trên tuyến đường sắt Bắc Kinh - Thiên Tân, nhiều kinh nghiệm đã được tích lũy, làm cơ sở cho việc thiết kế và xây dựng cầu nhịp lớn trên các tuyến đường sắt chuyên dụng khác trong tương lai.

3.1. Thiết kế cầu nhịp lớn

(1) Cầu vượt đường vành đai 4 Bắc Kinh (60 + 128 + 60) m dạng dầm liên tục vòm tăng cường

Cầu chính vượt qua đường vành đai 4 sử dụng kết cấu liên tục dạng (60 + 128 + 60) m kết hợp giữa dầm liên tục và vòm. Bố trí cầu chính được thể hiện trong Hình 6-2-12.



Hình 6-2-12: *Sơ đồ bố trí kiểu cầu (Đơn vị kích thước: cm)*

1- Kết cấu dầm chính

Dầm chính được thiết kế bằng bê tông dự ứng lực với mặt cắt hộp đơn hai khoang thay đổi chiều cao. Chiều cao dầm tại giữa nhịp và các gối biên là 3,5 m, tại gối giữa là 7,0 m, chiều cao dầm thay đổi theo đường parabol bậc hai. Bề rộng bản mặt cầu là 18,0 m, thu hẹp dần qua đoạn biến đổi dài 9,75 m đến đầu dầm với bề rộng 13,4 m. Chiều rộng đáy dầm là 12,2 m, tại gối giữa chiều rộng đáy cục bộ là 14,6 m.

2- Kết cấu vòm

Vòm được thiết kế bằng kết cấu ống thép bê tông với nhịp tính toán L = 128 m, tỷ lệ chiều cao vòm trên nhịp là 1/6, trục vòm là đường parabol bậc hai. Vòm có mặt cắt dạng quả tạ với chiều cao mặt cắt 3,0 m, đường kính ống thép là 1,0 m, bên trong được đổ bê tông C55 không co ngót.

3- Hệ dây treo

Cầu có tổng cộng 18 đôi dây treo, khoảng cách dọc theo cầu là 6 m. Neo dây sử dụng loại neo đầu ép nguội LZM7-109. Dưới mép vòm được lắp hộp neo bằng thép, dưới cánh ngoài của dầm hộp bố trí khối neo hình thang dùng để neo dây treo. Dây treo được căng kéo ở đầu dưới, kết cấu neo đã tính đến khả năng thay thế dây treo khi cần thiết.

4- Phân tích động lực học mô phỏng sự tương tác giữa tàu và cầu

Do loại kết cấu cầu này lần đầu tiên được áp dụng trên tuyến đường sắt chuyên dụng tốc độ 350 km/h sử dụng đường ray không ballast, đã tiến hành phân tích động lực học mô phỏng sự tương tác giữa tàu và cầu với các kết luận như sau:

a. Trong phạm vi loại tàu và tốc độ phân tích, các chỉ tiêu động lực học của cầu đều đáp ứng yêu cầu kỹ thuật.

b. Do nhịp cầu lớn, trọng lượng bản thân lớn, tần số dao động cơ bản theo phương thẳng đứng của kết cấu thấp, tốc độ lý thuyết gây cộng hưởng bậc nhất vào khoảng 150 km/h, trong phạm vi tốc độ phân tích không xuất hiện hiện tượng cộng hưởng rõ rệt. Phản ứng động lực của cầu tăng dần theo tốc độ.

c. Khi sử dụng các đoàn tàu động lực phân tán như tàu Nhật Bản loại 500, tàu TGV của Pháp, tàu ICE3 của Đức và tàu nội địa tốc độ 300 km/h, trong phạm vi tốc độ

từ 250 - 350 km/h, độ thoải mái khi vận hành đạt mức "rất tốt" trở lên; trong phạm vi tốc độ từ 375 - 420 km/h, độ thoải mái đạt mức "tốt" hoặc "đạt".

5- Phương pháp thi công

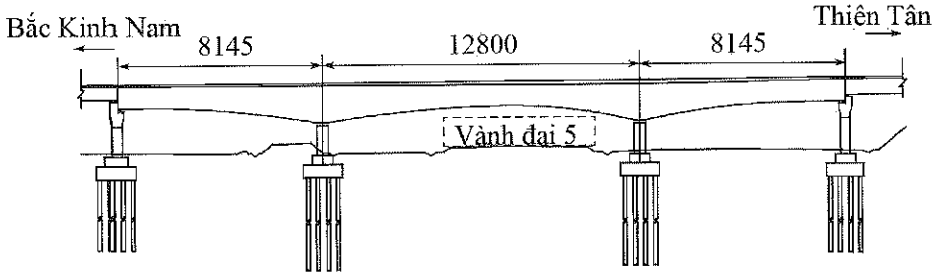
Cầu sử dụng phương pháp thi công "dầm trước, vòm sau", dầm chính được đúc hẫng cân bằng bằng xe đúc hẫng. Sau khi hợp long dầm chính và hoàn tất việc chuyển đổi hệ kết cấu, tiến hành dựng trụ tạm và giàn giáo trên mặt cầu, lắp ráp vòm thép bằng cần cẩu. Các đoạn vòm thép được chế tạo và thử lắp ráp tại nhà máy, sau đó vận chuyển đến công trường, lắp ráp hoàn chỉnh trên giàn giáo và hàn nối các đoạn. Sau khi căng kéo bó cáp thép dọc dầm, bơm bê tông không co ngót vào ống thép vòm và khoang bụng, tiến hành căng kéo dây treo theo thứ tự, điều chỉnh lực căng dây treo, hoàn thiện hệ mặt cầu và hoàn tất thi công toàn bộ cầu. Phương pháp này giúp giảm thiểu tối đa sự ảnh hưởng đến giao thông bên dưới cầu.

Do tỷ lệ chiều dài nhịp biên và nhịp giữa của hệ dầm – vòm liên tục này tương đối nhỏ, nếu áp dụng thứ tự thi công như cầu liên tục thông thường, khi thi công đến đoạn nhịp giữa với chiều dài lớn nhất, kết cấu tạm thời của trụ giữa sẽ phải chịu mô men uốn không cân bằng rất lớn về phía nhịp giữa, cộng với yêu cầu về khoảng trống thông xe dưới cầu, thiết kế trụ tạm sẽ rất phức tạp. Vì vậy, thứ tự thi công được áp dụng là: sau khi hợp long nhịp biên, tiến hành căng kéo bó cáp thép đáy nhịp biên, sau đó tháo bỏ giàn giáo đúc tại chỗ ở nhịp biên (chưa lắp đặt gối cầu nhịp biên), để nhịp biên ở trạng thái tự do, tiếp tục đúc hẫng nhịp giữa, hợp long nhịp giữa, căng kéo bó cáp đáy một phần, sau đó nâng đầu dầm tại vị trí gối nhịp biên, điều chỉnh nội lực và tuyến hình về đúng vị trí, cuối cùng lắp đặt gối cầu nhịp biên và căng kéo bó cáp đáy còn lại.

Do hệ kết cấu cầu này có quá trình chuyển đổi phức tạp và việc kiểm soát tuyến hình rất khó khăn, trong quá trình thi công đã tăng cường giám sát tuyến hình và trạng thái ứng suất của từng phần dầm và vòm.

(2) Cầu vượt đường vành đai 5 Bắc Kinh (80 + 128 + 80) m dạng dầm liên tục

Cầu chính vượt qua đường vành đai 5 sử dụng kết cấu dầm liên tục bê tông dự ứng lực với nhịp (80 + 128 + 80) m, tổng chiều dài liên là 290,9 m, như thể hiện trong Hình 6-2-13.



Hình 6-2-13: *Hình chiếu đứng (Đơn vị kích thước: cm)*

Dầm liên tục có ưu điểm về tính toàn khối cao, độ cứng lớn, ít khe nối dầm, biến dạng nhỏ và độ êm thuận cao của đường ray, rất phù hợp cho việc chạy tàu cao tốc. Đây là kết cấu cầu dầm liên tục bê tông dự ứng lực có nhịp lớn nhất trên tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân.

Cầu được thi công bằng phương pháp đúc hẫng cân bằng bằng xe đúc hẫng. Vào tháng 2 năm 2007, phương pháp thi công được điều chỉnh thành kết hợp giữa đúc hẫng và đổ bê tông tại chỗ trên giàn giáo, tức là sau khi thi công dầm chính đến đoạn thứ 4, lắp đặt giàn giáo thi công và các đoạn còn lại được đổ bê tông tại chỗ trên giàn giáo.

① Kết cấu dầm chính

Dầm chính là dầm hộp bê tông dự ứng lực liên tục với chiều dài nhịp tính toán là (80,6 + 128 + 80,6) m. Bề rộng bản mặt cầu là 13,4 m, tổng bề rộng kết cấu cầu là 13,8 m. Chiều cao dầm tại gối giữa là 9,6 m, tại gối biên và giữa nhịp là 5,6 m. Kết cấu dầm sử dụng hệ dự ứng lực ba phương.

② Tính toán độ võng và thiết lập độ vồng trước

Do cầu sử dụng đường ray không ballast, nên yêu cầu nghiêm ngặt hơn đối với độ dịch chuyển theo phương thẳng đứng và góc xoay tại đầu dầm so với cầu sử dụng đường ray có ballast. Dưới tác dụng của tải trọng hoạt tải, độ võng lớn nhất tại giữa nhịp giữa là 4,94 cm và tại giữa nhịp biên là 1,95 cm, đáp ứng giới hạn quy định là 1/1000. Góc xoay tại đầu dầm là 0,91‰ và góc xoay ngược là 0,71‰, đều nhỏ hơn giới hạn quy định 1,0‰. Dầm có độ cứng lớn và độ êm thuận cao, giúp tăng cường hiệu quả vận hành tàu cao tốc.

Để đảm bảo độ êm thuận tốt hơn, cầu sử dụng đường ray không ballast phải thiết lập độ vồng trước. Độ vồng được thiết lập bằng cách đảo ngược tổng độ võng gây ra bởi tải trọng tĩnh và một nửa tải trọng hoạt tải. Đồng thời, quá trình thi công được tăng cường giám sát.

③ Phân tích động lực học mô phỏng sự tương tác giữa tàu và cầu

Dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn không gian, mô hình phân tích động lực học toàn cầu của cầu được xây dựng để phân tích phản ứng động lực học tương tác giữa tàu và cầu. Phân tích đã xem xét đến độ cứng của trụ cầu và nền móng. Phản ứng rung động không gian của cầu khi chịu tác động của các loại đoàn tàu khác nhau được tính toán và cho ra các kết luận như sau:

a. Trong phạm vi loại tàu và tốc độ phân tích, các chỉ tiêu động lực học của cầu đều đáp ứng yêu cầu của tiêu chuẩn.

b. Do cầu có nhịp lớn và trọng lượng bản thân lớn, nên tần số dao động cơ bản của kết cấu theo phương thẳng đứng thấp. Trong phạm vi tốc độ phân tích,

không xuất hiện hiện tượng cộng hưởng rõ rệt và phản ứng động lực của cầu tăng dần theo tốc độ.

c. Kết quả phân tích động lực học cho thấy cầu vượt đường vành đai 5 Bắc Kinh có đủ độ cứng động lực học và đáp ứng các yêu cầu về vận hành tàu cao tốc.

④ Phương pháp thi công

Dầm chính được thi công bằng phương pháp kết hợp giữa đúc hẫng cân bằng và đổ bê tông tại chỗ trên giàn giáo. Đối với cầu nhịp lớn trên tuyến đường sắt chuyên dụng, dầm có chiều cao lớn, mặt cắt lớn và khối lượng bê tông lớn. Nếu phân chia các đoạn đúc lớn, trọng lượng của xe đúc hẫng sẽ rất lớn, gây bất lợi cho thi công. Do đó, chiều dài mỗi đoạn đúc được chọn từ 2,5 m đến 3,5 m, và trọng lượng tối đa của mỗi đoạn không vượt quá 1800 kN.

Do phương pháp thi công của cầu này mang tính đột phá so với phương pháp thông thường, và vì việc điều chỉnh từ thi công đúc hẫng sang đổ bê tông trên giàn giáo chỉ được thực hiện sau khi hoàn thành đoạn đúc hẫng từ số 0 đến số 2, nên không có nhiều dư địa để điều chỉnh bó thép dự ứng lực. Các chỉ tiêu của dầm trong phương án thi công này có sự thay đổi nhất định so với phương án đúc hẫng ban đầu. Vì vậy, việc thi công tải trọng tĩnh giai đoạn hai được chia thành hai đợt.

3.2. Công nghệ thi công dầm nhịp lớn

Cầu vượt đường vành đai 4 sử dụng kết cấu dầm liên tục vòm có dây treo bê tông dự ứng lực với nhịp (60 + 128 + 60) m, và cầu vượt đường vành đai 5 sử dụng kết cấu dầm liên tục bê tông dự ứng lực với nhịp (80 + 128 + 80) m. Dầm chính được thi công bằng phương pháp đúc hẫng hoặc kết hợp đổ bê tông tại chỗ, với nhiều công đoạn thi công và chuyển đổi hệ kết cấu. Các giai đoạn thi công có sự ảnh hưởng lẫn nhau nhưng cũng có nhiều điểm khác biệt. Để đảm bảo đường tuyến của dầm chính và vòm chính đạt trạng thái thiết kế lý tưởng, đảm bảo nội lực của kết cấu phù hợp với nội lực thiết kế, đồng thời kiểm soát tuyến hình của kết cấu theo thiết kế, đảm bảo thi công an toàn và thuận lợi, cũng như dự báo thời điểm phù hợp để tiến hành thi công đường ray không ballast, đã tiến hành nghiên cứu kiểm soát thi công.

(1) Tiến hành tính toán và phân tích trước thi công và theo dõi trong quá trình thi công

Sử dụng các tham số kết cấu tương tự thiết kế để mô phỏng quá trình thi công bằng phương pháp phần tử hữu hạn đối với cầu vượt đường vành đai 4 và vành đai 5, sau đó so sánh kết quả với thiết kế. Sau khi bắt đầu thi công kết cấu phần dầm, tiến hành điều chỉnh các tham số thực tế của kết cấu và theo dõi tính toán trong quá trình thi công dầm chính. Thực hiện tính toán và phân tích các giai

đoạn thi công của cầu chính để xác định tuyến hình lý tưởng của kết cấu dầm trong từng giai đoạn thi công.

(2) Giám sát thi công

Lập và trình phương án giám sát tuyến hình, bố trí các điểm đo giám sát tuyến hình. Đưa ra cao độ lắp dựng cốp pha cho từng đoạn dầm. Sau khi đổ bê tông và căng kéo dự ứng lực, tiến hành đo cao độ tại các điểm đo trên dầm và phân tích sai số theo thời gian thực, so sánh với trạng thái lý thuyết. Để giảm thiểu khối lượng công việc điều chỉnh độ phẳng của mặt dầm sau khi hoàn thành cầu, dự báo cao độ mặt dầm khi sắp hoàn thành đổ bê tông. Tiến hành dự báo các biến dạng kết cấu do biến dạng của xe đúc hẫng, đổ bê tông, căng kéo dự ứng lực và di chuyển xe đúc hẫng trong giai đoạn thi công tiếp theo.

(3) Thu thập các tham số kết cấu

① Thử nghiệm ma sát ống dẫn cáp, phân tích hệ số ma sát để hướng dẫn thi công và điều chỉnh tính toán.

② Xác định khối lượng bê tông vượt mức dựa trên kích thước thực tế của mặt cắt dầm.

③ Xem xét ảnh hưởng của cốt thép đến trọng lượng dầm và đặc tính mặt cắt dầm theo tình hình thực tế.

④ Thu thập dữ liệu nhiệt độ dầm, từ đó điều chỉnh kết quả kiểm tra ứng suất và tuyến hình.

⑤ Kiểm tra trọng lượng và vị trí của tải trọng tạm thời trong từng giai đoạn thi công.

⑥ Giá trị mô đun đàn hồi của cáp dự ứng lực và bê tông được lấy theo kết quả thí nghiệm tại công trường.

⑦ Biến dạng của xe đúc hẫng và giàn giáo được tham khảo từ kết quả thử nghiệm gia tải trước và biến dạng thực tế ở các giai đoạn trước đó.

(4) Tiêu chuẩn kiểm soát sai số

Sai số giữa tuyến hình của cầu sau khi hoàn thành và tuyến hình thiết kế tại từng điểm phải đáp ứng các quy định liên quan trong "Tiêu chuẩn nghiệm thu chất lượng thi công cầu và cống đường sắt cao tốc". Dựa trên mục tiêu này, tiêu chuẩn kiểm soát sai số được xây dựng như sau:

① Sai số giữa cao độ định vị của xe đúc hẫng và cao độ dự báo phải được kiểm soát trong phạm vi 0,5 cm.

② Sau khi căng kéo hoàn tất bó cáp thép dự ứng lực dọc, nếu sai số giữa cao độ đo được tại điểm đầu dầm và cao độ dự báo vượt quá ±0,5 cm, cần phân tích nguyên nhân sai số và xác định các biện pháp điều chỉnh tiếp theo.

③ Xác định cao độ của mặt dầm khi sắp hoàn thành đổ bê tông. Dựa vào cao độ này, tiến hành đổ bê tông và kiểm soát cao độ mặt dầm trong quá trình thi công.

(5) Dự báo cao độ và phân tích sai số tại từng giai đoạn

Trong quá trình kiểm soát thi công, việc phân tích sai số là một điểm khó khăn trong kiểm soát tuyến hình, do có nhiều yếu tố ảnh hưởng như độ cứng của kết cấu, khối lượng bê tông dư, biến dạng của xe đúc hẫng, căng kéo dự ứng lực, tải trọng tạm thời, nhiệt độ và ánh nắng mặt trời. Chỉ bằng cách tăng cường các điều kiện kiểm tra, bổ sung nội dung kiểm tra và thu thập nhiều dữ liệu đo đạc mới có thể tiến hành phân tích sai số và điều chỉnh tính toán, nhằm kiểm soát độ sai lệch của tuyến hình ở trạng thái lý tưởng.

(6) Kết quả kiểm soát thi công

Thông qua việc phân tích, đối chiếu kết quả kiểm soát tuyến hình và đo cao độ sau khi hoàn thành cầu vượt đường vành đai 4 và vành đai 5, có thể rút ra các kết luận sau:

① Tuyến hình của dầm gần như trùng khớp với tuyến hình lý thuyết, cao độ đáy dầm thay đổi đều đặn, đáp ứng các yêu cầu của tiêu chuẩn.

② Dịch chuyển của dầm trong quá trình thi công về cơ bản phù hợp với kết quả tính toán lý thuyết, chứng tỏ các tham số được sử dụng trong tính toán kiểm soát là phù hợp với thực tế.

③ Dựa trên dữ liệu đo đạc thực tế, đánh giá độ biến dạng của dầm và xác định rằng kết cấu đã đáp ứng yêu cầu cho việc thi công đường ray không ballast.

Thông qua quá trình kiểm soát thi công, đã tích lũy được nhiều kinh nghiệm trong thiết kế và thi công, tạo điều kiện tham khảo và cung cấp dữ liệu thực nghiệm cho việc xây dựng các cầu tương tự trên các tuyến đường sắt chuyên dụng khác trong tương lai. Việc này không chỉ giúp nâng cao trình độ xây dựng tuyến đường sắt chuyên dụng và đường sắt cao tốc của Trung Quốc, mà còn cung cấp căn cứ đáng tin cậy cho công tác thiết kế và thi công cầu trong tương lai. Đồng thời, tạo điều kiện thuận lợi cho việc giám sát an toàn vận hành cầu sau này và cung cấp cơ sở cho công tác bảo dưỡng cầu.

4. Hoàn thiện công nghệ thiết kế và thi công dầm hộp giản đơn bằng xe đúc hẫng và giàn giáo đỡ toàn phần

4.1. Xe đúc hẫng

Hệ thống xe đúc hẫng là một công nghệ tiên tiến trong thi công cầu, không cần lắp đặt hệ thống giàn giáo đỡ dưới cầu. Hệ thống này sử dụng hai dầm chính bằng

kết cấu thép để đỡ hệ cốp pha, hai dầm chính được đỡ bởi các giá đỡ tại thân trụ hoặc móng trụ. Xe đúc hẫng chủ yếu bao gồm các bộ phận như giá đỡ, xe đẩy, dầm chính, dầm mũi, dầm ngang, hệ cốp pha trong và ngoài. Mỗi bộ phận đều được trang bị hệ thống thủy lực hoặc cơ khí tương ứng.

Ưu điểm của xe đúc hẫng là thi công dầm trực tiếp tại vị trí cầu, không cần thiết bị vận chuyển và cẩu lắp lớn, đảm bảo tính liên tục của cầu; có đặc điểm sản xuất công nghiệp hóa, giúp tăng hiệu suất và tận dụng tối đa máy móc; dầm chính của xe đúc hẫng được làm bằng kết cấu thép dạng hộp, có khả năng chịu tải lớn và độ cứng chống uốn cao. Dựa vào trọng lượng bản thân của dầm, có thể tính toán trước độ vồng, giúp dễ dàng kiểm soát tuyến hình và cao độ của dầm trong quá trình thi công, đồng thời đảm bảo tính liên tục của kết cấu và giảm thiểu nguy cơ nứt dầm. Hệ thống xe đúc hẫng sử dụng quy trình vận hành tiêu chuẩn hóa, không cần giàn giáo kiểu bát và sử dụng ít thiết bị phụ trợ, rút ngắn chu kỳ thi công và dễ dàng kiểm soát chất lượng.

Xe đúc hẫng phù hợp với việc thi công cầu vượt sông, khu vực cầu có trụ cao hoặc những nơi việc sử dụng giàn giáo hoặc các phương pháp thi công khác không đạt hiệu quả kinh tế, đặc biệt khi yêu cầu không gian thông thoáng dưới cầu. Phương pháp này thích hợp cho những khu vực có nền đất yếu, khó xử lý nền móng cho giàn giáo và chi phí đầu tư cao.

Trên tuyến đường này, việc thi công 14 nhịp dầm giản đơn 40 m vượt sông Vĩnh Định và một phần dầm giản đơn 32 m vượt sông Tân Khai đã sử dụng xe đúc hẫng.

4.2. Thi công đổ bê tông tại chỗ bằng giàn giáo đỡ toàn phần

Cầu lớn vượt sông Tân Khai nằm trong khu vực nội thành Thiên Tân. Các nhịp dầm 32 m và 24 m được thi công bằng phương pháp đổ bê tông tại chỗ trên giàn giáo đỡ toàn phần sử dụng giàn giáo kiểu bát.

Trước khi thi công, đã tiến hành tính toán kiểm tra tải trọng giàn giáo, bao gồm tải trọng từ công nhân, vật liệu thi công, máy móc di chuyển và xếp dỡ. Kết quả xác định phương án bố trí giàn giáo như sau:

- Phần dầm chính: các cột đỡ đứng được bố trí với khoảng cách dọc 0,6 m, ngang 0,6 m, các thanh ngang được bố trí ở độ cao 1,2 m.
- Phần bản cánh dầm: các cột đỡ đứng được bố trí với khoảng cách dọc 0,9 m, ngang 1,2 m, các thanh ngang được bố trí ở độ cao 1,2 m.
- Để tăng cường độ ổn định của hệ giàn giáo, các thanh giằng chéo bằng ống thép ϕ50 mm được lắp đặt theo hướng dọc và ngang theo trục cầu.

Gia cố nền móng: nền móng của giàn giáo được xử lý bằng cách đầm chặt bề mặt, sau đó rải các lớp đất trộn vôi hoặc đất đá phân lớp và lu lèn chặt. Trên nền móng đã xử

lý, lắp đặt một lớp đà gỗ vuông 15 cm × 15 cm theo phương ngang trục cầu và một lớp đà gỗ vuông cùng kích thước theo phương dọc trục cầu tại vị trí các cột đỡ đứng.

Gia tải trước giàn giáo: trước khi đổ bê tông, tiến hành gia tải trước giàn giáo bằng cách đặt các bao cát hoặc thép có trọng lượng không nhỏ hơn 1,2 lần trọng lượng dầm lên đà gỗ hoặc cốp pha đáy dầm để loại bỏ biến dạng phi đàn hồi và biến dạng lún nền móng, đồng thời xác định giá trị biến dạng đàn hồi, cung cấp số liệu cho việc thiết lập cao độ lắp đặt cốp pha.

Việc thi công phần móng cầu, trụ cầu và dầm đã được kiểm nghiệm về quy trình và công nghệ, đặc biệt là công nghệ đúc sẵn dầm hộp tải trọng lớn, thi công đổ bê tông tại chỗ bằng xe đúc hẫng và giàn giáo đỡ toàn phần. Kết quả theo dõi và đo đạc cho thấy các tọa độ và cao độ của cầu đều được kiểm soát chính xác và hiệu quả.

5. Kiểm soát và đánh giá lún

Kiểm soát lún móng cầu là yếu tố then chốt để đảm bảo an toàn cho đường ray không ballast. Việc kiểm soát hiệu quả lún của móng cầu là điều kiện tiên quyết để thi công đường ray không ballast. Tuyến đường sắt liên vận cao tốc Bắc Kinh – Thiên Tân đã kế thừa lý thuyết tính toán lún và kết quả nghiên cứu lún từ tuyến đường sắt chuyên dụng Tần Sơn, đồng thời căn cứ vào điều kiện thực tế của tuyến để đưa ra các tiêu chuẩn kiểm soát lún phù hợp. Kết quả kiểm soát lún cho thấy hiệu quả tốt, độ lún của các trụ và mố cầu đều nằm trong giới hạn cho phép. Thông qua đánh giá và dự báo lún, kết cấu đã đáp ứng các điều kiện kỹ thuật cho việc thi công đường ray không ballast.

5.1. Kiểm soát lún móng cầu

Căn cứ vào điều kiện thực tế của tuyến đường sắt liên vận cao tốc Bắc Kinh – Thiên Tân, đã tiến hành nghiên cứu phương pháp kiểm soát lún cho các đoạn móng cầu và cống đi qua đất mềm, đất yếu và đất sét:

- Triển khai nghiên cứu phân tích tính toán lún móng cầu và cống, so sánh các phương pháp tính toán lún theo các quy chuẩn khác nhau.
- Kết hợp với tiến độ thi công, tiến hành đo đạc và thử nghiệm độ lún thực tế của móng cầu và cống để kiểm chứng lý thuyết tính toán, từ đó xác định phương pháp tính toán lún phù hợp cho các đoạn đất mềm, đất yếu và đất sét.
- Dựa trên kết quả so sánh giữa dữ liệu tính toán và số liệu đo đạc thực tế, đề xuất các biện pháp và phương pháp kiểm soát lún móng cầu và cống.

Thông qua việc so sánh phân tích giữa tính toán lý thuyết và số liệu quan trắc thực tế, đã kiểm chứng được tính hợp lý của phương pháp tính toán lún đang được sử dụng. Kết quả này đã cung cấp các dữ liệu kỹ thuật tham khảo để tối ưu hóa thiết

kế móng cho các cầu có điều kiện địa chất tương tự. Dựa trên kết quả thử nghiệm và phân tích lý thuyết, đã xây dựng được một bộ phương pháp kiểm soát lún cho các móng cầu và cống trên nền đất yếu tương tự, bao gồm công thức mô tả mối quan hệ giữa độ lún, tải trọng và thời gian, làm cơ sở kỹ thuật cho tuyến đường này và các dự án khác trong tương lai.

5.2. Đánh giá lún cầu

Dựa trên "Hướng dẫn đánh giá điều kiện thi công đường ray không ballast trên tuyến đường sắt chuyên dụng" và kết hợp với đặc điểm của hệ thống đường ray không ballast dạng tấm được sử dụng trên tuyến, đã tiến hành phân tích và tính toán trạng thái lún của kết cấu cầu trước khi thi công đường ray không ballast, từ đó đưa ra thời điểm thích hợp để tiến hành thi công.

- Trước hết, đã lập các yêu cầu kỹ thuật chi tiết cho công tác quan trắc lún bao gồm tuyến quan trắc, độ chính xác, tần suất, cách thức cắm các mốc quan trắc và định dạng nhập liệu. Công tác này được các đơn vị quan trắc thực hiện, đơn vị giám sát kiểm tra và bên thứ ba thực hiện kiểm tra song song. Đơn vị tư vấn tổ chức họp kiểm tra định kỳ hàng tháng.
- Tiếp theo, đã xây dựng quy trình họp đánh giá lún định kỳ, theo đó mỗi tuần chủ đầu tư tổ chức họp với các đơn vị tư vấn, thiết kế, giám sát và quan trắc để tổng hợp và đánh giá tình hình quan trắc lún.

Phương pháp dự báo sử dụng hồi quy đường cong, yêu cầu hệ số tương quan không nhỏ hơn 0,92, giá trị đo lún không nhỏ hơn 75% tổng độ lún dự báo, đồng thời yêu cầu chênh lệch giữa hai lần dự báo lún liên tiếp không vượt quá 8 mm.

Việc phân tích dữ liệu quan trắc tại mỗi trụ cầu được thực hiện qua 4 giai đoạn:

1- Trước khi lắp dầm.

2- Sau khi lắp dầm đến trước khi thi công tải trọng tĩnh giai đoạn 2.

3- Sau khi thi công tải trọng tĩnh giai đoạn 2 đến trước khi khóa ray.

4- Sau khi khóa ray.

Dựa trên kết quả tính toán và phân tích đường cong thời gian - độ lún qua 4 giai đoạn nêu trên, đã đưa ra được kết luận về dự báo lún của cầu.

Đối với mỗi cây cầu, không chỉ cần kiểm soát độ lún của từng trụ mà còn cần kiểm soát độ lún không đều giữa các trụ liền kề. Do đó, đã tiến hành hồi quy đường cong và phân tích dữ liệu lún của các trụ cầu có điều kiện địa chất tương tự trong một phạm vi nhất định, từ đó xây dựng báo cáo dự báo tổng thể cho toàn cầu, đưa ra giá trị dự báo lún tổng và lún sau khi hoàn thành. Đồng thời xác định thời điểm thích hợp để tiến hành thi công đường ray không ballast. Qua tính toán, đã đưa ra kết luận:

- Sau 3 tháng kể từ khi lắp dầm, có thể tiến hành dự báo lún lần đầu tiên. Thông thường, kết quả dự báo sẽ cho thấy lún đã ổn định trong giai đoạn từ sau khi lắp dầm đến trước khi thi công tải trọng tĩnh giai đoạn 2, với tổng độ lún dự báo là 5 - 10 mm, lún sau khi hoàn thành là 2 - 5 mm.

Việc so sánh giữa số liệu đo đạc thực tế và giá trị thiết kế tại từng giai đoạn gia tải cho thấy sự phù hợp cao, qua đó chứng minh rằng phương pháp tính toán lún được áp dụng là hợp lý và chính xác.

6. Thiết kế đảm bảo độ bền lâu dài

Thiết kế cầu được thực hiện theo nguyên tắc vòng đời công trình, trong đó tuổi thọ của kết cấu chính là 100 năm, còn tuổi thọ của các kết cấu phụ là 30 năm.

Các biện pháp cụ thể nhằm đảm bảo độ bền lâu của kết cấu gồm có:

- Toàn tuyến sử dụng bê tông hiệu suất cao cho kết cấu cầu, giúp tăng cường độ bền và kéo dài tuổi thọ công trình.
- Thiết kế bền vững cho kết cấu, bao gồm: bố trí hợp lý kết cấu và chi tiết cấu tạo, ngăn ngừa phản ứng kiềm - cốt liệu, kiểm soát giới hạn độ vồng do từ biến, cải thiện hệ thống chống thấm và thoát nước trên bề mặt cầu, đảm bảo lớp bảo vệ bê tông đạt tiêu chuẩn, tăng cường cốt thép tại các vị trí dễ phát sinh vết nứt, đồng thời tối ưu hóa khả năng chống động đất.
- Tại các khu vực có nước ngầm và nước mặt chứa sunfat từ yếu đến mạnh, đã áp dụng các biện pháp chống ăn mòn bê tông thích hợp.
- Thực hiện kết nối tiếp đất để xử lý dòng điện rò, ngăn ngừa sự ăn mòn cốt thép do dòng điện gây ra.

7. Thiết kế cảnh quan

Thiết kế cảnh quan cầu đường sắt ở nước ngoài đã phát triển từ rất sớm, trở thành một lĩnh vực khoa học có hệ thống và hoàn thiện với nền tảng lý thuyết đầy đủ. Trước đây, các tuyến đường sắt tại Trung Quốc ít chú trọng đến thiết kế cảnh quan tổng thể, chỉ thực hiện tại một số công trình trọng điểm. Nhằm kết hợp hài hòa giữa tuyến đường sắt liên vận cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân với môi trường xung quanh, nâng cao hiệu quả thẩm mỹ của cầu, đã tiến hành nghiên cứu thiết kế cảnh quan cầu toàn tuyến. Thiết kế này đã được triển khai đồng bộ trong thực tế thi công, mang lại hiệu quả rất tích cực.

Thiết kế cảnh quan tập trung vào việc tạo hiệu ứng thẩm mỹ tổng thể cho cầu, đảm bảo sự hài hòa với môi trường xung quanh, chú trọng chi tiết và thể hiện rõ nét phong cách hiện đại.

Để làm nổi bật hiệu ứng cảnh quan tổng thể của cầu, kết cấu chính được thiết kế theo hướng đơn giản, tinh tế, tránh tạo cảm giác rườm rà. Tại các khu vực đô thị, hệ thống giá treo giỏ kiểm tra trên đỉnh trụ cầu được loại bỏ, thay thế bằng thiết bị kiểm tra nâng hạ. Để không làm ảnh hưởng đến tổng thể kết cấu, hệ thống thoát nước dọc trụ cầu được lắp đặt trong rãnh ở thân trụ. Dầm cầu ưu tiên sử dụng loại dầm có chiều cao đồng nhất, đảm bảo sự đồng đều của tuyến hình cầu, đồng thời thiết kế tấm che dầm theo kiểu dáng khí động học.

Phần bao ngoài của dầm được thiết kế với bản bụng nghiêng, các góc cạnh được bo tròn, tạo cảm giác mềm mại và mượt mà khi nhìn. Để đảm bảo sự chuyển tiếp hài hòa giữa các nhịp cầu, các dầm giản đơn 24 m và 32 m được thiết kế đồng cao, trong đó dầm 24 m được sử dụng làm dầm điều chỉnh nhịp, trên nguyên tắc chính là dùng dầm giản đơn 32 m. Với những cầu lớn có nhịp dài, do kích thước lớn và khối lượng đồ sộ, việc thiết kế nhấn mạnh sự kết hợp giữa yếu tố cơ học và mỹ thuật. Vì tốc độ chạy tàu trên tuyến đường sắt chuyên dụng rất cao, yêu cầu độ tin cậy của kết cấu cầu cũng rất khắt khe, do đó thiết kế cần cân nhắc đồng bộ giữa an toàn, kinh tế, thi công, thẩm mỹ và tính thực tiễn, tránh việc chỉ tập trung vào yếu tố cơ học hoặc tìm kiếm sự khác biệt, mới lạ.

Ví dụ điển hình là cầu lớn Bắc Kinh - tuyến vòng ngoài, nhịp vượt đường vành đai 4 sử dụng kết cấu liên tục (60 + 128 + 60) m dầm bê tông dự ứng lực và vòm giằng tăng cường. Đây là công trình tiêu biểu về thiết kế cảnh quan cầu trên tuyến, với kết cấu kết hợp hài hòa giữa dầm và vòm, đồng bộ với kiến trúc xung quanh, tạo nên vẻ đẹp của sự phối hợp nhịp nhàng. Kết cấu này giúp giảm chiều cao của cầu, tăng không gian thoáng dưới cầu, mang lại cảm giác thông thoáng cho các phương tiện di chuyển trên đường vành đai 4.

Đối với các công trình cầu trong nội đô, thiết kế mố trụ đã được điều chỉnh sao cho hài hòa với cảnh quan và môi trường. Toàn tuyến sử dụng hai loại trụ cầu phổ biến: trụ cầu hình tròn hai đường ray và trụ cầu hình chữ nhật hai đường ray. Trụ cầu hình chữ nhật có các góc được bo tròn nhẹ, tạo đường cong mềm mại, mang lại hiệu ứng thẩm mỹ tốt hơn. Loại trụ này chủ yếu được sử dụng trong khu vực nội thành Bắc Kinh, nơi yêu cầu cao về hiệu ứng cảnh quan. Đối với các công trình cầu trọng điểm, thiết kế trụ cầu được điều chỉnh dựa trên kiểu kết cấu cầu và môi trường xung quanh. Ví dụ, các cầu vượt đường vành đai 2, vành đai 3, vành đai 4 và vành đai 5 sử dụng các kiểu trụ cầu khác nhau.

Thiết kế cảnh quan lan can cầu cũng rất được chú trọng, vì lan can là thành phần dễ tiếp xúc nhất trên cầu và có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu ứng thẩm mỹ tổng thể. Dựa vào môi trường tự nhiên nơi cầu đi qua, đã phát triển nhiều loại lan can với vật liệu và kiểu dáng khác nhau. Việc lựa chọn màu sắc cho lan can là một phần quan

trọng trong thiết kế cảnh quan cầu, giúp tạo sự hài hòa giữa kết cấu chính và kết cấu phụ. Màu sắc tự nhiên của bê tông xám được chọn làm tông màu chủ đạo cho kết cấu chính, đây là màu tiêu chuẩn của các công trình xây dựng. Màu sắc của lan can được chọn theo hướng sáng và tươi mới, với mục tiêu đảm bảo hiệu ứng thị giác tốt nhất vào ban ngày, đồng thời phối hợp hài hòa với môi trường xung quanh.

8. Gối cầu có thể điều chỉnh cao độ

Toàn bộ tuyến đi qua khu vực dễ bị lún, để giải quyết vấn đề lún không đều có thể xảy ra ở móng cầu trong giai đoạn vận hành, đã nghiên cứu và phát triển loại gối cầu có thể điều chỉnh cao độ phù hợp với tuyến này. Đây là lần đầu tiên gối cầu có thể điều chỉnh cao độ được áp dụng trên cầu đường sắt tại Trung Quốc.

Các cầu trên tuyến sử dụng dầm hộp đúc sẵn nguyên khối, có độ cứng lớn, yêu cầu nghiêm ngặt về độ lún không đều tại các điểm tựa. Đặc biệt, khi cầu bị lún không đều, hệ thống đường ray không ballast trên cầu sẽ bị ảnh hưởng, gây mất tính đồng đều và ảnh hưởng đến sự êm thuận của tuyến đường ray. Do phần lớn các cầu trên tuyến đi qua khu vực đất mềm và đất yếu, chịu tác động từ hiện tượng lún sụt khu vực, để giải quyết hiệu quả vấn đề này, đã nghiên cứu và phát triển loại gối cầu cao su chậu có thể điều chỉnh cao độ, phù hợp với tuyến đường sắt chuyên dụng tốc độ 350 km/h.

Loại gối cầu cao su chậu có thể điều chỉnh cao độ này là sản phẩm mới do Trung Quốc tự phát triển, lần đầu tiên được áp dụng trên tuyến, với nhiều cải tiến về tiêu chuẩn kỹ thuật, vật liệu chính và tính năng sử dụng so với gối cầu cao su chậu thông thường, đặc biệt bổ sung thêm khả năng điều chỉnh cao độ.

❖ **Đặc điểm chính của gối cầu điều chỉnh cao độ**

1- Phạm vi ứng dụng rộng: Loại gối này thích hợp cho các khu vực đất mềm, dễ lún và các cầu đường sắt không ballast có yêu cầu nghiêm ngặt về độ lún không đều tại các điểm tựa.

2- Số lần điều chỉnh cao độ không giới hạn: Gối cầu thuộc dòng TGPZ sử dụng phương pháp điều chỉnh bằng cách chèn thêm tấm đệm thép, cho phép điều chỉnh nhiều lần, không bị giới hạn số lần như các loại gối cầu điều chỉnh bằng vật liệu đệm cố định khác.

3- Khả năng điều chỉnh cao độ lớn: Gối cầu được thiết kế với khả năng điều chỉnh cao độ tối đa lên đến 60 mm, có thể tái sử dụng nhiều lần thông qua việc gia tăng chiều cao đệm.

4- Khối lượng nhẹ: So với các loại gối cầu thông thường, loại gối này có khối lượng nhẹ hơn.

5- Dễ dàng thao tác: Quá trình điều chỉnh cao độ đơn giản, nhanh chóng và an toàn. Gối cầu dòng TGPZ có sẵn buồng dầu, có thể thay thế các loại kích nâng dầm truyền thống. Khi điều chỉnh, chỉ cần đặt bơm dầu trên mặt cầu, tránh được những khó khăn trong việc vận chuyển và di chuyển kích nâng dầm cỡ lớn.

6- Tính kinh tế cao: Gối cầu này không chỉ có chi phí đầu tư ban đầu hợp lý mà chi phí điều chỉnh sau này cũng thấp hơn nhiều so với các loại gối cầu khác.

Việc áp dụng loại gối cầu cao su chậu có thể điều chỉnh cao độ trên tuyến đường sắt liên vận cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân đã được tính toán kỹ lưỡng theo nhu cầu thực tế của công trình và mang lại hiệu quả cao.

9. Phối hợp giao diện công trình phần sau nhà ga

Thực hiện ý tưởng mới bằng cách nghiên cứu trước các giao diện của công trình phần sau nhà ga và tiến hành tối ưu hóa hệ thống tổng thể. Trong quá trình thi công công trình phần trước, dựa theo yêu cầu của công trình phần sau, đã chủ động chừa sẵn các điều kiện thi công, bao gồm: lắp đặt hệ thống tiếp đất trong dầm và mố trụ, bố trí thép tiếp đất và đầu nối tiếp đất. Đồng thời, trên cầu đã chừa sẵn các kênh dẫn cáp và điều kiện đi dây cáp qua cầu.

Những biện pháp này không chỉ giúp tránh hư hỏng công trình phần dưới trong quá trình thi công công trình phần sau, mà còn giảm thiểu lãng phí không cần thiết, tối ưu hóa chi phí đầu tư và nâng cao hiệu quả thi công toàn bộ dự án.

III. THIẾT KẾ VÀ CÔNG NGHỆ THI CÔNG ĐƯỜNG RAY KHÔNG BALLAST

Dựa trên việc tiếp thu kinh nghiệm từ công trình thực tế sử dụng đường ray không ballast dạng dầm dài chìm và dạng tấm trên tuyến đường sắt chuyên dụng Tần - Thẩm, đồng thời tiếp nhận, ứng dụng và đổi mới công nghệ tiên tiến từ nước ngoài, quá trình nghiên cứu phát triển kỹ thuật đã được thực hiện phù hợp với điều kiện thực tế của Trung Quốc, đặc biệt là tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân. Kết quả nghiên cứu đã hoàn thiện công nghệ đường ray không ballast dạng tấm kiểu II trong nước, tạo nền móng vững chắc cho việc xây dựng tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải.

Trong quá trình xây dựng tuyến này, đã hình thành một hệ thống lý thuyết kỹ thuật thống nhất về đường ray không ballast. Hệ thống này kiểm soát chặt chẽ các thông số như tải trọng tàu, ảnh hưởng của nhiệt độ và biến dạng nền móng, đồng

thời tích hợp các yếu tố về kiểm soát vết nứt, độ bền lâu (tuổi thọ 60 năm), độ cứng, tính động lực học, giao diện giữa công trình phần trước và phần sau nhà ga, cũng như hiệu quả kinh tế. Hệ thống lý thuyết bao gồm tiêu chuẩn tính toán hình học đường ray, thiết kế bố trí tấm ray và cấu trúc các bộ phận đúc sẵn, tính toán và thiết kế kết cấu cho các khu vực địa chất khác nhau, thiết kế đoạn chuyển tiếp giữa các hệ thống đường ray khác nhau. Đồng thời, đã làm chủ công nghệ thi công đường ray không ballast, công nghệ sản xuất thiết bị thi công và nội địa hóa toàn bộ các vật liệu, công nghệ sản xuất và công cụ thi công. Điều này không chỉ cung cấp nền tảng kỹ thuật mạnh mẽ cho việc xây dựng tuyến đường sắt chuyên dụng mà còn nâng cao trình độ công nghiệp liên quan, thúc đẩy quá trình công nghiệp hóa.

Đường ray không ballast dạng tấm kiểu II trên tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân sở hữu nhiều ưu điểm nổi bật như: độ chính xác cao khi sản xuất tại nhà máy, khối lượng thi công hiện trường nhỏ, độ chính xác định vị lớn, tính đồng đều cao, thẩm mỹ đẹp, khả năng sửa chữa tốt và loại bỏ được bộ điều chỉnh giãn nở.

Đường ray không ballast dạng tấm kiểu II được thiết kế ứng suất trước theo phương ngang, các tấm ray liên kết thành một khối thống nhất theo phương dọc bằng các thanh thép ren. Các tấm ray được sản xuất theo phương pháp căng trước trên bàn đúc dài, rãnh ray được gia công bằng máy mài điều khiển số, và phần nền được lấp đầy bằng vữa nhựa đường - xi măng hiệu suất cao. Các công nghệ quan trọng bao gồm: thiết kế bố trí tấm ray, tính toán lực học tấm ray, tính toán lực học hệ thống đường ray và thiết kế kết cấu cho các khu vực địa chất khác nhau, thiết kế đoạn chuyển tiếp giữa các hệ thống đường ray khác nhau, công nghệ giao diện với công trình phần sau nhà ga, tiêu chuẩn kỹ thuật vật liệu và quy trình sản xuất.

1. Hệ thống bố trí tấm ray

Khác biệt rõ rệt so với các hệ thống đường ray khác, đường ray không ballast dạng tấm kiểu II sử dụng hệ thống bố trí tấm ray để tính toán các dữ liệu liên quan cho từng tấm ray. Đồng thời, mỗi rãnh ray của tấm ray được gia công chính xác bằng máy công cụ điều khiển số (độ chính xác ±0,1 mm), đảm bảo kích thước hình học của đường ray đạt độ chính xác cao, từ đó bảo đảm an toàn, êm thuận và thoải mái khi tàu chạy với tốc độ cao.

Với sự hỗ trợ của hệ thống bố trí tấm ray, toàn bộ dữ liệu hình học cần thiết cho quá trình sản xuất, gia công, định vị và lắp đặt từng tấm ray được tính toán. Điều này xác định tính duy nhất của từng tấm ray, yêu cầu khi thi công phải tuân thủ đúng dữ liệu bố trí tấm ray để lắp đặt từng tấm một. Kết quả là hệ thống đã cung cấp bản vẽ bố trí tấm ray, dữ liệu cho máy mài trong hệ tọa độ tổng thể hoặc cục bộ, dữ liệu mặt cắt ngang của đường nền và cầu, cũng như dữ liệu về lắp đặt và tinh chỉnh tấm ray.

Các tấm ray được sản xuất dựa trên các dữ liệu kể trên giúp giảm đáng kể khối lượng công việc khi lắp đặt, đặc biệt phát huy ưu thế rõ rệt khi tiến độ thi công bị giới hạn. Điều này đã được chứng minh trong quá trình xây dựng tuyến đường sắt liên vận cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân, mang lại giải pháp mới cho việc xây dựng tuyến đường sắt chuyên dụng với tiến độ chặt chẽ.

2. Tối ưu hóa kết cấu tấm ray kiểu II

Dựa trên việc tiếp thu công nghệ tiên tiến từ nước ngoài, thông qua quá trình nghiên cứu và cải tiến kỹ thuật, đã xây dựng thành công hệ thống lý thuyết tính toán kết cấu đường ray không ballast dựa trên lý thuyết dầm - tấm trên nền đàn hồi, có xét đến các yếu tố ảnh hưởng như nhiệt độ, biến dạng nền móng và độ bền lâu dài. Kết quả nghiên cứu đã xác định chi tiết cấu trúc của tấm ray.

3. Nắm vững công nghệ thiết kế và xây dựng đường ray không ballast dạng tấm kiểu II trên nền đất yếu

Do tuyến này đi qua các khu vực có nền đất yếu và mềm, đồng thời nằm trong vùng chịu ảnh hưởng của lún mặt đất, thông qua một lượng lớn các phân tích, tính toán, nghiên cứu và thí nghiệm thực địa, đã phát triển và hoàn thiện công nghệ thiết kế, thi công đường ray không ballast dạng tấm kiểu II trên nền đất yếu.

4. Nắm vững công nghệ thiết kế và xây dựng đường ray không ballast dạng tấm kiểu II trên đoạn cầu

Đã tiến hành nghiên cứu chuyên sâu cho phần công trình cầu trên tuyến, giải quyết hàng loạt vấn đề kỹ thuật liên quan đến thiết kế kết cấu, quy trình thi công và thiết bị thi công của đường ray không ballast trên các cầu dài.

Kết cấu đường ray không ballast dạng tấm kiểu II trên đoạn cầu là kết cấu bản liên tục siêu tĩnh, áp dụng phương pháp tính lý thuyết bậc hai theo "Tiêu chuẩn kết cấu chịu lực bằng bê tông, bê tông cốt thép và bê tông dự ứng lực", tức là khi ứng suất của mặt cắt tăng đáng kể, việc tính toán được thực hiện trên cơ sở trạng thái cân bằng sau biến dạng của kết cấu chịu lực. Các nội dung chính trong tính toán và thiết kế bao gồm: kiểm tra bản đế dưới các điều kiện làm việc khác nhau, tính ứng suất kéo bản đế khi chịu tải trọng đơn tuyến, tính ứng suất kéo bản đế và ray khi chịu tải trọng nhiệt, tính tổng thể đoạn đường nền phía sau mố cầu và cầu, thiết kế cốt thép bản đế như một dải kéo, thiết kế liên kết giữa cầu và bản đế, kết cấu chặn bên, công nghệ tấm ma sát và đầu dầm.

Thông qua việc phân tích lực học chi tiết, đã hoàn thành tối ưu hóa kết cấu bản liên tục trên đoạn cầu toàn tuyến. Chiều dài lớn nhất của đoạn bản đế và tấm ray liên

tục đạt 35 km, cầu có nhịp lớn nhất là (80 + 128 + 80) m, loại bỏ bộ điều chỉnh giãn nở của ray, đơn giản hóa quy trình sản xuất tấm ray và nâng cao hiệu suất thi công.

Cấu trúc đường ray không ballast dạng tấm kiểu II trên cầu sử dụng các bộ phận đặc thù như hai lớp bố một màng trượt, tấm xốp cứng, chất kết dính, tấm chắn định vị. Trên cơ sở công nghệ nhập khẩu, kết hợp chỉ tiêu kỹ thuật của nguyên vật liệu trong nước, thông qua một lượng lớn thử nghiệm, đã nghiên cứu thành công các bộ phận đường ray đạt tiêu chuẩn quốc tế tương đương, nội địa hóa hoàn toàn nguyên vật liệu và giảm đáng kể chi phí công trình. Công nghệ này đã tạo ra hiệu quả mẫu mực trong việc xây dựng tuyến đường sắt cao tốc chuyên dụng và cung cấp nền tảng kỹ thuật hiệu quả cho tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải.

5. Nắm vững công nghệ thiết kế và xây dựng đường ray không ballast tại khu vực chuyển đổi

Trên cơ sở tiếp thu rộng rãi kinh nghiệm kỹ thuật đường ray không ballast tại khu vực chuyển đổi trong và ngoài nước, thông qua nghiên cứu và phân tích chuyên sâu, tuyến này đã áp dụng hai loại kết cấu đường ray không ballast cho khu vực chuyển đổi: đường ray không ballast dạng dầm chìm và đường ray không ballast dạng tấm kiểu II, đồng thời đã hoàn tất việc lắp đặt trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân.

Thông qua quá trình thiết kế và thi công đường ray không ballast tại khu vực chuyển đổi, đã nắm vững hoàn toàn công nghệ vận chuyển, lắp ráp và thi công các bộ phận đường ray có kích thước lớn, tích lũy nhiều kinh nghiệm thực tiễn và kỹ thuật cho việc đổi mới kết cấu đường ray không ballast tại khu vực chuyển đổi, cũng như xây dựng các tuyến đường sắt chuyên dụng khác.

6. Nắm vững công nghệ thiết kế và thi công đoạn chuyển tiếp

Tuyến này bao gồm nhiều đoạn chuyển tiếp giữa các loại kết cấu khác nhau như: đoạn chuyển tiếp giữa đường nền và cầu, đoạn chuyển tiếp giữa đường ray không ballast và đường ray có ballast, đoạn chuyển tiếp giữa đường ray không ballast dạng dầm chìm và đường ray không ballast dạng tấm kiểu II tại khu vực chuyển đổi. Thông qua các nghiên cứu chuyên sâu, đã hoàn toàn làm chủ công nghệ thiết kế và thi công kết cấu đoạn chuyển tiếp giữa các công trình phần dưới khác nhau trên tuyến.

7. Chi tiết hóa công nghệ giao diện giữa đường ray và công trình phần dưới

Nhằm đảm bảo vận hành an toàn cho tuyến đường sắt cao tốc, đã tiến hành nghiên cứu chi tiết công nghệ giao diện giữa đường ray không ballast và công trình

phần dưới, từ đó xác định các phương án kết nối phù hợp cho từng khu vực khác nhau cũng như thiết lập tiêu chuẩn kỹ thuật chung để kiểm soát biến dạng nền đường và cầu.

Kết quả đã đáp ứng được yêu cầu nghiêm ngặt về độ dịch chuyển thẳng đứng tương đối giữa các điểm đỡ ray ở hai bên khe nối cầu không vượt quá 1 mm. Ngoài ra, vấn đề dịch chuyển thẳng đứng tương đối do sự dịch chuyển ngang của gối cầu cũng được giải quyết triệt để.

8. Nghiên cứu và đề xuất giải pháp giao diện với công trình phần sau

(1) Nghiên cứu khả năng tương thích giữa đường ray không ballast và hệ thống mạch đường ray không cách điện

Trước yêu cầu thích ứng giữa đường ray không ballast và hệ thống mạch đường ray không cách điện, đã tiến hành nhiều giai đoạn nghiên cứu và thử nghiệm gồm: đề xuất phương án xử lý cách điện cho từng đơn vị tấm ray, kiểm tra khả năng cách điện, thử nghiệm thông số mạch đường ray trên đoạn thử nghiệm 200 m trong nhà máy với nhiều phương án cách điện khác nhau, và kiểm tra thông số mạch đường ray trên đoạn công trình thực tế cũng dài 200 m. Qua đó, đã xác định được phương án xử lý cách điện đáp ứng đầy đủ yêu cầu kỹ thuật cho hệ thống mạch đường ray không cách điện trên tuyến đường sắt cao tốc chuyên dụng.

(2) Công nghệ tiếp đất tổng hợp cho đường ray không ballast

Để ngăn ngừa các nguy cơ do sự cố đường dây cao áp của lưới tiếp xúc gây ra, có thể dẫn đến xuất hiện điện áp bước cao và điện áp tiếp xúc, gây ảnh hưởng đến bê tông đường ray không ballast, an toàn của con người và thiết bị, đã xây dựng các yêu cầu kỹ thuật chính cho hệ thống tiếp đất tổng hợp như sau:

- Lắp đặt 4 thanh thép tiếp đất dọc trong mỗi tấm ray đúc sẵn. Các thanh thép tiếp đất được tích hợp với thanh thép kết cấu bên trong tấm ray, đường kính không nhỏ hơn 16 mm. Bốn thanh thép tiếp đất dọc này được kết nối tại một đầu tấm ray bằng một thanh thép ngang có đường kính không nhỏ hơn 16 mm hoặc thanh thép dẹt với tiết diện không nhỏ hơn 200 mm^2.
- Liên kết các tấm ray liền kề bằng thanh thép dẹt mạ kẽm nhúng nóng, tạo thành đoạn tiếp đất có chiều dài khoảng 100 m. Tại vị trí giữa mỗi đoạn tiếp đất, kết nối với các đầu nối tiếp đất dọc tuyến để đưa vào hệ thống tiếp đất tổng hợp.
- Đầu nối tiếp đất được chế tạo bằng thép không gỉ, dây dẫn kết nối giữa các tấm ray sử dụng cáp đồng bện tiết diện 50 mm^2 hoặc thanh thép dẹt mạ kẽm nhúng nóng tiết diện 200 mm^2.

(3) Lắp đặt và bố trí thiết bị tín hiệu bên đường

Thông qua các nghiên cứu, đã đề xuất phương án lắp đặt cho từng loại thiết bị tín hiệu bên đường. Đồng thời, trong quá trình xây dựng đường ray, đã bố trí sẵn các điều kiện thi công, đảm bảo đầy đủ yêu cầu cho quá trình xây dựng và lắp đặt thiết bị tín hiệu.

9. Tăng cường biện pháp giảm rung và giảm tiếng ồn

Dựa trên tình hình thực tế của các khu vực mà tuyến đường đi qua, đã tiến hành nghiên cứu các biện pháp giảm rung và giảm tiếng ồn cho những đoạn đặc thù của đường ray không ballast. Hoàn thành việc thiết kế và xây dựng tấm hấp thụ âm thanh LZ (sử dụng xi măng phốt phát kết hợp với đá trân châu mở rộng), mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm tiếng ồn và tạo giá trị thẩm mỹ cho công trình.

10. Nghiên cứu và nội địa hóa thiết bị thi công vữa nhựa đường xi măng

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu và thử nghiệm, đã thực hiện nội địa hóa thành công vữa nhựa đường xi măng cũng như các thiết bị thi công liên quan. Đồng thời làm chủ công nghệ phối trộn vật liệu, quy trình sản xuất và yêu cầu kỹ thuật trong quá trình thi công vữa nhựa đường xi măng. Đã phát triển và ứng dụng các thiết bị quan trọng như máy đánh bóng, xe trộn vữa nhựa đường, thiết bị vận chuyển và lắp đặt tấm ray, cùng hệ thống điều chỉnh chính xác vị trí tấm ray trong thi công.

Việc ứng dụng đường ray không ballast mang lại nhiều ưu điểm vượt trội trong việc duy trì độ bằng phẳng và ổn định của tuyến đường, loại bỏ hoàn toàn bộ điều chỉnh giãn nở trên các cầu lớn. Nhờ đó, điều kiện vận hành tuyến đường được cải thiện đáng kể, khối lượng công việc bảo trì bảo dưỡng giảm thiểu rõ rệt, thời gian sửa chữa trong các khoảng trống giờ ("khoảng trống an toàn") được rút ngắn. Đồng thời, việc này cũng tạo điều kiện thuận lợi hơn cho việc khai thác và vận hành các đoàn tàu liên tuyến.

IV. KỸ THUẬT THIẾT KẾ VÀ THI CÔNG ĐƯỜNG RAY LIỀN KHỐI QUA CÁC KHU VỰC

Đường ray liền khối loại bỏ hoàn toàn các mối nối trên thép ray, giúp tăng đáng kể độ bằng phẳng của tuyến đường, giảm thiểu đáng kể khối lượng bảo trì bảo dưỡng và mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm rung, giảm tiếng ồn. Toàn tuyến

được triển khai lắp đặt đường ray liền khối qua các khu vực trong một lần, sử dụng thép ray tiêu chuẩn dài 100 m. Tại cơ sở lắp đặt ray, thép ray dài 100 m được hàn thành các đoạn ray dài 500 m rồi vận chuyển đến công trường để lắp đặt và hàn nối. Qua quá trình thực hiện, đã tích lũy nhiều kinh nghiệm quý báu trong việc vận chuyển, nghiệm thu linh kiện, lắp đặt sơ bộ, đo đạc tinh chỉnh lần đầu, điều chỉnh chính xác, đổ bê tông, đo đạc tinh chỉnh lần hai, giải phóng ứng suất và lắp đặt đồng bộ thiết bị cho loại đường ray dùng cho tàu chạy với tốc độ 350 km/h.

Toàn tuyến đường chính sử dụng thép ray U71Mn(k) do nhà máy sản xuất với chiều dài tiêu chuẩn 100 m và trọng lượng 60 kg/m. So với loại thép ray tiêu chuẩn 25 m, số lượng mối nối hàn giảm 3/4, nhờ đó giảm đáng kể khối lượng công việc hàn nối, đồng thời đảm bảo chất lượng và độ bằng phẳng của đường ray, tạo điều kiện thuận lợi cho công tác đánh bóng ray sau khi lắp đặt.

Tại khu vực Vũ Thanh, đã xây dựng cơ sở hàn nối ray, hàn nối các đoạn thép ray dài 100 m thành đoạn dài 500 m. Sau đó, sử dụng tổ hợp thiết bị lắp đặt đường ray không ballast WZ500 do trong nước tự nghiên cứu phát triển để vận chuyển và lắp đặt các đoạn thép ray dài 500 m từ Vũ Thanh về phía Bắc đi Bắc Kinh và về phía Nam đi Thiên Tân. Các mối nối trên đường chính đều được hàn bằng công nghệ hàn di động bằng hồ quang chớp, trong khi các mối nối tại khu vực đường ray chuyển hướng được hàn bằng công nghệ hàn nhiệt nhôm. Đã tiến hành nhiều thử nghiệm hàn nối và làm chủ công nghệ hàn nối, vận chuyển và lắp đặt đường ray trong các điều kiện phức tạp.

Ngoài ra, đã thực hiện nghiên cứu và thử nghiệm thực tế việc vận chuyển, lắp đặt và thi công loại đường ray chuyển hướng có kích thước lớn. Qua đó, tích lũy nhiều kinh nghiệm thi công đường ray chuyển hướng, làm chủ các công nghệ về vận chuyển đường ray tốc độ cao dùng cho tàu chạy với tốc độ 350 km/h, nghiệm thu linh kiện đường ray chuyển hướng, lắp đặt sơ bộ, đo đạc tinh chỉnh lần đầu, điều chỉnh chính xác, đổ bê tông, đo đạc tinh chỉnh lần hai, giải phóng ứng suất và lắp đặt đồng bộ thiết bị.

V. KỸ THUẬT VÀ ỨNG DỤNG ĐO LƯỜNG CHÍNH XÁC

Kỹ thuật đo lường không ballast cho tuyến đường này lần đầu tiên được áp dụng trong nước, chưa có quy trình và quy phạm sẵn có để tham khảo. Phương pháp đo lường khác nhau qua từng giai đoạn thi công, do đó đã tiến hành nghiên cứu các

phương pháp đo lường và yêu cầu độ chính xác ở từng giai đoạn, đồng thời tổng kết và tối ưu hóa trong quá trình thi công thực tế. Dự án đã tập trung giải quyết các vấn đề kỹ thuật khó khăn sau:

1. Xây dựng hệ tọa độ phục vụ thi công cho đường ray không ballast loại II.
2. Thiết kế và chôn lấp các điểm đo trên nền đá và điểm đo nước sâu.
3. Xử lý dữ liệu quan trắc GPS bằng lịch thiên văn chính xác.
4. Nghiên cứu bố trí mạng lưới GPS, mạng đường chuyền, mạng lưới cọc mốc đường ray, phương pháp quan trắc, chỉ tiêu độ chính xác, phương pháp xử lý dữ liệu và phần mềm liên quan.
5. Nghiên cứu và phát triển thiết bị định tâm cưỡng bức.

Thông qua kiểm nghiệm thực tế tại công trường, việc bố trí phân cấp đo lường kiểm soát mặt phẳng và cao độ là hợp lý. Các chỉ tiêu đo lường và phương pháp được xây dựng đã đáp ứng yêu cầu tổng thể của việc lắp đặt đường ray không ballast. Kỹ thuật đo lường chính xác của tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh – Thiên Tân đã tích lũy nhiều kinh nghiệm quý báu cho việc đo lường các tuyến đường sắt không ballast khác trong tương lai.

1. Nghiên cứu phương pháp đo lường

1.1. Chôn cọc mốc

Dựa trên việc nghiên cứu tài liệu địa chất dọc tuyến, đã xác định độ sâu chôn lấp, khoảng cách và phương pháp chôn các điểm đo trên nền đá, điểm đo nước sâu và các điểm đo cao độ gia cố, với các cấp độ như sau:

- Điểm trên nền đá: Lần lượt bố trí các điểm trên nền đá tại ga Bắc Kinh Nam và ga Thiên Tân.
- Điểm đo nước sâu: Bố trí 28 điểm đo nước sâu trên toàn tuyến, khoảng cách trung bình giữa các điểm là 4 km.
- Điểm đo cao độ thông thường: Kết hợp chung với điểm đo đường chuyền.

Đối với điểm đo kiểm soát mặt phẳng, đã tiến hành nghiên cứu độ sâu chôn lấp, khoảng cách và phương pháp chôn các điểm như sau:

- Trạm cơ sở GPS: Sử dụng cọc định tâm cưỡng bức, bố trí 5 trạm trên toàn tuyến.
- Điểm đo GPS gia cố: Lựa chọn và chôn 77 cặp điểm GPS gia cố trên toàn tuyến.
- Điểm đo đường chuyền: Chọn và chôn 440 điểm đo đường chuyền chính xác.
- Điểm đo cọc mốc đường ray: Cứ 60 m bố trí một cặp điểm.
- Điểm đo mạng lưới cơ sở đường ray: Cứ 6,5 m bố trí một điểm.

1.2. Đo lường mặt phẳng

(1) Mạng lưới điểm cơ sở GPS

Bố trí cứ khoảng 25 km một điểm, tiến hành phân tích và luận chứng phương pháp đo lường, xử lý bình sai và độ chính xác của điểm cơ sở GPS.

(2) Mạng lưới điểm gia cố GPS

Bố trí cứ khoảng 2 km một cặp điểm, kết hợp với kết quả nghiên cứu điểm cơ sở GPS để tiến hành phân tích và luận chứng phương pháp đo lường, xử lý bình sai và độ chính xác của điểm gia cố GPS.

(3) Mạng lưới đường chuyền chính xác

Bố trí cứ 250 - 350 m một điểm. Thông qua phân tích và luận chứng lý thuyết, xác định độ chính xác của mạng lưới đường chuyền chính xác được kiểm soát như sau:

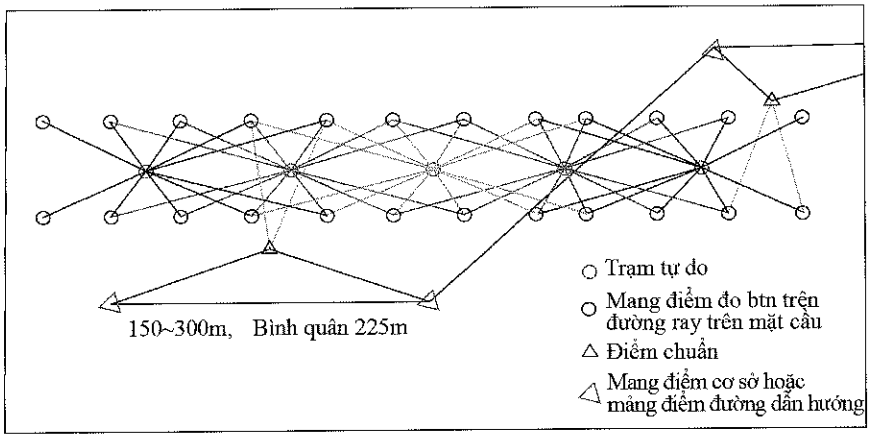
- Sai số trung bình đo góc không vượt quá 1.41″.
- Sai số trung bình tương đối đo khoảng cách không vượt quá 1/100000.
- Khi khép hợp với mạng lưới điểm gia cố GPS, sai số khép tọa độ không vượt quá 1/59000 (tương ứng với sai số biến dạng chiếu không vượt quá 1/100000) và sai số khép góc không vượt quá $2.82\sqrt{n}$.
- Sai số trung bình tương đối giữa các điểm liền kề không vượt quá ±5 mm.
- Mạng lưới đường chuyền chính xác được xử lý bằng phương pháp bình sai nghiêm ngặt.

(4) Mạng lưới điểm cọc mốc đường ray

Kết hợp với đặc điểm dọc tuyến, tiến hành nghiên cứu chi tiết về phương pháp bố trí, quan trắc và phần mềm xử lý bình sai của mạng lưới điểm cọc mốc đường ray. Cuối cùng xác định mạng lưới điểm cọc mốc đường ray của tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân được bố trí như sau:

- Cứ 60 m bố trí một cặp điểm.
- Tại đoạn cầu, điểm đo được bố trí phía ngoài tường chắn chống va đập tại đầu cố định của cầu.
- Tại đoạn đường nền, điểm đo được bố trí trên bệ móng của cột tiếp xúc điện.

Phương pháp đo lường bên trong mạng lưới điểm cọc mốc đường ray và phương pháp liên kết với mạng lưới đường chuyền chính xác được mô tả trong Hình 6-2-14.



Hình 6-2-14: *Sơ đồ liên kết mạng thiết lập trên đường ray*

(5) Mạng lưới điểm chuẩn đường ray

Bố trí cứ khoảng 6,5 m một điểm, sử dụng phương pháp thiết lập trạm tự do để đo lường mạng lưới điểm chuẩn đường ray từ các điểm trong mạng lưới điểm cọc mốc đường ray.

1.3. Đo đạc cao độ

Việc bố trí cao độ được chia thành bốn cấp. Thông qua phân tích lý thuyết, các chỉ tiêu của từng cấp được kiểm soát với độ chính xác như sau:

(1) Điểm đá gốc và điểm thủy chuẩn chôn sâu

Việc đo đạc tại các điểm đá gốc và điểm thủy chuẩn chôn sâu tuân theo tiêu chuẩn đo đạc thủy chuẩn hạng nhất quốc gia. Sai số giới hạn của chênh lệch cao độ đo đi đo về và sai số khép tuyến hoặc tuyến phụ không được vượt quá $\pm 1{,}8\sqrt{l}$.

Sai số ngẫu nhiên trên mỗi km đo thủy chuẩn không vượt quá ±0,45 mm.

(2) Điểm thủy chuẩn bổ sung

Các điểm thủy chuẩn bổ sung được đo theo yêu cầu độ chính xác của đo đạc thủy chuẩn hạng hai quốc gia. Sai số giới hạn của chênh lệch cao độ đo đi đo về và sai số khép tuyến hoặc tuyến phụ không vượt quá $\pm 4\sqrt{l}$, sai số ngẫu nhiên trên mỗi km đo thủy chuẩn không vượt quá ±1,0 mm, sai số trung bình toàn tuyến không vượt quá ±2,0 mm.

(3) Mạng lưới thiết lập trên đường ray

Được đo theo yêu cầu độ chính xác của đo đạc thủy chuẩn hạng hai quốc gia. Sai số giới hạn của chênh lệch cao độ đo đi đo về được kiểm soát trong phạm vi 0,5 mm, sai số khép tuyến hoặc tuyến phụ không vượt quá $\pm 4\sqrt{l}$.

(4) Mạng lưới cơ sở trên đường ray

Được đo theo yêu cầu độ chính xác của đo đạc thủy chuẩn hạng hai quốc gia. Sai số giới hạn của chênh lệch cao độ đo đi đo về được kiểm soát trong phạm vi 0,1 mm, sai số khép tuyến hoặc tuyến phụ không vượt quá $\pm 4\sqrt{l}$.

(5) Nghiên cứu và phát triển phương pháp đo cao độ tam giác từ mặt đất lên cầu cạn

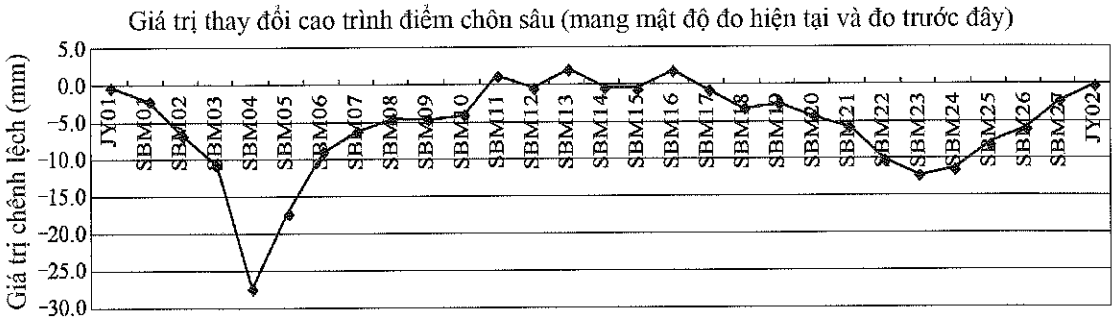
Do toàn tuyến phần lớn là cầu, với chiều cao trung bình của cầu khoảng 10 m, việc thực hiện đo thủy chuẩn chính xác gặp nhiều khó khăn. Vì vậy, một phương pháp đo cao độ tam giác kết hợp với đo thủy chuẩn hạng hai đã được nghiên cứu và phát triển, giúp giải quyết vấn đề truyền cao độ mà không cần đo chiều cao của máy và gương. Tuyến đo thủy chuẩn được bố trí thành các đoạn, mỗi đoạn dài khoảng 2 km.

2. Ứng dụng kết quả

2.1. Điểm thủy chuẩn trên đá gốc và điểm thủy chuẩn chôn sâu

Việc thiết lập các điểm thủy chuẩn trên đá gốc và điểm thủy chuẩn chôn sâu đã tạo ra chuẩn cao độ ổn định cho việc thi công đường ray không ballast trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân. Thông qua quá trình kiểm nghiệm thực tế, các điểm thủy chuẩn chôn nông dọc tuyến và các điểm thủy chuẩn cơ sở dùng để quan trắc biến dạng công trình ngầm do chôn ở độ sâu không đủ và nằm dọc theo tuyến thi công nên bị ảnh hưởng lớn bởi quá trình thi công cũng như các yếu tố khác, dẫn đến hiện tượng lún không đồng đều rõ rệt. Ngược lại, các điểm thủy chuẩn trên đá gốc và điểm thủy chuẩn chôn sâu đã giải quyết tốt vấn đề này. Nhờ việc đo liên kết định kỳ với các điểm thủy chuẩn liền kề, toàn bộ dữ liệu cao độ trên tuyến được kết nối một cách thông suốt, đảm bảo việc quan trắc biến dạng lún diễn ra thuận lợi và dữ liệu thu thập được đáng tin cậy.

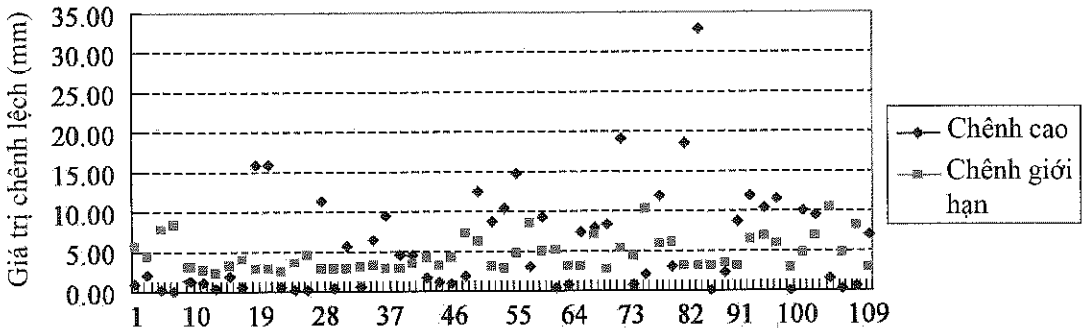
Trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân, các điểm thủy chuẩn trên đá gốc và điểm thủy chuẩn chôn sâu được đo đạc theo tiêu chuẩn thủy chuẩn hạng nhất quốc gia. Hai lần đo đạc được tiến hành vào cuối năm 2006 và tháng 6 năm 2007. Theo hình 6-2-15, ngoại trừ hai điểm SBM04 và SBM05 có sự thay đổi đáng kể về kết quả cao độ, các điểm thủy chuẩn khác đều duy trì tính ổn định tương đối. Việc hai điểm SBM04 và SBM05 có sự thay đổi lớn về cao độ là do công trình tại hai điểm này vừa hoàn thành xong khi bắt đầu tiến hành đo thủy chuẩn hạng nhất, các mốc thủy chuẩn chôn sâu vẫn chưa hoàn toàn ổn định, dẫn đến sai lệch về cao độ lớn hơn ở hai điểm này. Ngoại trừ SBM04, chênh lệch cao độ giữa các điểm liền kề khác đáp ứng yêu cầu sai số giới hạn của thủy chuẩn hạng hai.



Hình 6-2-15: *Biến đổi cao độ của điểm chôn sâu.*

Trong khi đó, các điểm thủy chuẩn chôn bổ sung ở độ sâu 4,0 m dọc tuyến có sự thay đổi lớn về cao độ, hiện tượng lún không đồng đều nghiêm trọng, và rất ít khi đáp ứng yêu cầu sai số giới hạn của thủy chuẩn hạng hai giữa các điểm liền kề. Cuối cùng, cao độ của các điểm thủy chuẩn chôn nông được điều chỉnh lại dựa trên cao độ của các điểm thủy chuẩn chôn sâu làm chuẩn. Sau khi điều chỉnh, kết quả cao độ của các điểm thủy chuẩn chôn nông vẫn xuất hiện sai khác so với kết quả đo ban đầu, và chênh lệch này nằm ngoài phạm vi sai số cho phép. Kết quả so sánh được thể hiện ở Hình 6-2-16. Điều đó cho thấy, các điểm thủy chuẩn trên đá gốc và điểm thủy chuẩn chôn sâu đóng vai trò vô cùng quan trọng. Nếu không thiết lập các điểm thủy chuẩn chôn sâu, quá trình lắp đặt dầm và thi công đường ray không ballast sẽ gặp nhiều trở ngại. Nhờ có các điểm thủy chuẩn này, vấn đề trên đã được xử lý hiệu quả.

Kinh nghiệm thực tế từ việc thiết lập các điểm thủy chuẩn trên đá gốc và điểm thủy chuẩn chôn sâu của tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân đã mang lại nhiều bài học quý giá cho các tuyến đường sắt khác. Các tuyến đường sắt cao tốc như Bắc Kinh - Thượng Hải, Cáp Nhĩ Tân - Đại Liên và các tuyến Bắc Kinh - Thạch Gia Trang, Thạch Gia Trang - Vũ Hán đã tiếp thu kinh nghiệm này để triển khai việc thiết lập các điểm thủy chuẩn trên đá gốc và điểm thủy chuẩn chôn sâu trong quá trình thi công.



Hình 6-2-16: *Biến đổi cao độ của điểm chôn nông.*

2.2. Trạm chuẩn GPS

Trạm chuẩn GPS được thiết lập đã cung cấp hệ tọa độ ổn định và đáng tin cậy cho việc xây dựng tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân, bảo đảm yêu cầu về thời gian thi công ở các giai đoạn khác nhau. Mô hình đo đạc mạng lưới chuẩn sử dụng lịch vệ tinh IGS chính xác và phần mềm giải tính tuyến cơ sở chính xác được phát triển trong dự án đã được công nhận rộng rãi, đồng thời tiếp tục ứng dụng trên các tuyến đường sắt cao tốc khác như Bắc Kinh - Thượng Hải, Cáp Nhĩ Tân - Đại Liên, Bắc Kinh - Thạch Gia Trang, Thạch Gia Trang - Vũ Hán, giúp tích lũy nhiều kinh nghiệm thực tiễn phong phú.

2.3. Mạng lưới GPS tăng cường và mạng lưới tuyến chính xác

Mạng lưới GPS tăng cường và mạng lưới tuyến chính xác được thiết lập đã cung cấp tọa độ chuẩn cho việc thi công cầu, trụ cầu và nền đường, đồng thời cung cấp điểm khống chế cho việc thiết lập mạng lưới đo đạc đường ray không ballast sau này. Thông qua kiểm nghiệm trong quá trình thi công, phương pháp xử lý dữ liệu và các tiêu chuẩn được xây dựng cho mạng lưới GPS tăng cường và mạng lưới tuyến chính xác đã đáp ứng yêu cầu về độ chính xác trong thi công nền móng và lắp đặt dầm. Kết quả kiểm tra liên kết với mạng lưới đo đạc đường ray cho thấy các tiêu chuẩn về độ chính xác đều đạt yêu cầu khởi tính của mạng lưới đo đạc.

2.4. Điểm chuẩn cao độ tăng cường

Điểm chuẩn cao độ tăng cường chủ yếu cung cấp cao độ chuẩn cho thi công phần móng và mặt dầm. Thông qua kiểm nghiệm thực tế, các tiêu chuẩn và độ chính xác trong đo đạc mạng lưới kiểm soát cao độ được xây dựng đã đáp ứng yêu cầu thi công ở từng giai đoạn. Các điểm này phù hợp cho việc lắp đặt đường ray không ballast loại II. Tuy nhiên, do các điểm chuẩn cao độ tăng cường được đặt gần khu vực thi công, nên dễ bị ảnh hưởng bởi hoạt động xây dựng, dẫn đến độ ổn định không cao. Trong quá trình thi công, để bảo đảm sự liên kết cao độ trên toàn tuyến, cần thường xuyên bảo trì các điểm này và tiến hành đo đạc liên kết với các điểm chuẩn cơ bản như điểm đá gốc và điểm chôn sâu để kiểm tra độ ổn định.

2.5. Điểm mạng lưới đo đạc đường ray

Điểm mạng lưới đo đạc đường ray chủ yếu cung cấp điểm khống chế cho mạng lưới chuẩn đường ray và công tác tinh chỉnh đường ray không ballast sau này, đồng thời hỗ trợ cho việc bảo trì và sửa chữa trong quá trình vận hành. Mạng lưới đo đạc đường ray được thiết lập theo từng giai đoạn, gồm hai lần đo: lần thứ nhất trước khi đổ bê tông lớp đế và lần thứ hai trước khi tinh chỉnh đường ray không ballast. Do tài

liệu đo đạc phức tạp, các đơn vị thi công trải dài dọc tuyến, nhiều mốc thời gian thi công khác nhau, nên cần có sự tổ chức và sắp xếp chặt chẽ, tối ưu hóa kế hoạch đo đạc. Thông qua kiểm nghiệm thực tế, phương pháp đo đạc và quy trình xây dựng mạng lưới đo đạc đường ray cũng như mạng lưới chuẩn đường ray đã đáp ứng các yêu cầu khắt khe về độ chính xác khi lắp đặt đường ray không ballast loại II.

Mạng lưới đo đạc chính xác đã đáp ứng đầy đủ các yêu cầu thi công đường ray không ballast, đồng thời sau khi hoàn thành công trình, mạng lưới này còn được sử dụng làm hệ thống khống chế giám sát kỹ thuật trong quá trình vận hành, bảo đảm độ ổn định và an toàn của tuyến đường sắt.

VI. BẢO VỆ MÔI TRƯỜNG VÀ CÔNG NGHỆ GIẢM RUNG, GIẢM TIẾNG ỒN

Dựa trên việc xây dựng và thử nghiệm tấm chắn tiếng ồn của tuyến khách quốc gia Tần Thẩm, các yêu cầu về kết nối tấm chắn tiếng ồn với cầu và nền đường, cũng như phạm vi kiểm soát hiệu quả và chiều dài bổ sung của tấm chắn đã được giải quyết, mang lại kinh nghiệm quý báu cho dự án này.

Đã tiến hành phân tích động lực mô phỏng tấm chắn tiếng ồn trên cầu và đoạn nền đường. Mô hình phần tử hữu hạn của kết cấu tấm chắn tiếng ồn được xây dựng dựa trên cấu trúc thực tế của nó. Qua phân tích dao động riêng, các tần số dao động tự nhiên và dạng dao động đã được xác định. Ngoài ra, đã thực hiện phân tích ứng suất trên các đơn vị tấm chắn tiếng ồn tại vị trí đầu, giữa và tại các khe co giãn của cầu. Kết quả cho thấy rằng, với điều kiện tàu chạy tốc độ 350 km/h, tấm chắn tiếng ồn dạng lắp ghép hoàn toàn đảm bảo an toàn.

Nghiên cứu và triển khai tấm chắn tiếng ồn dạng lắp ghép trên tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân đã giải quyết các vấn đề kỹ thuật như: tính toán lực động xung của tàu, kết nối giữa tấm chắn tiếng ồn với tấm chắn trên cầu, xử lý khe co giãn của cầu, thiết kế nền móng tấm chắn tiếng ồn trên nền đường, và kiểm soát độ chính xác trong thi công. Kết quả này cung cấp cơ sở kỹ thuật quan trọng cho việc sử dụng tấm chắn tiếng ồn dạng lắp ghép trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải.

1. Nguyên tắc lắp đặt

(1) Lấy yếu tố con người làm trung tâm, hướng đến xây dựng một xã hội hài hòa, tiết kiệm tài nguyên và thân thiện với môi trường. Việc lắp đặt tấm chắn

tiếng ồn được tiến hành đồng bộ với quy hoạch tổng thể của thành phố Bắc Kinh, dự trữ điều kiện lắp đặt trong phạm vi đường vành đai 5. Tại thành phố Thiên Tân, việc xây dựng tấm chắn tiếng ồn được thực hiện đồng bộ với quy hoạch chi tiết của quận Vũ Thanh. Các tấm chắn tiếng ồn tại các công trình nhạy cảm đang xây dựng được hoàn thành một lần, đồng thời dự trữ điều kiện lắp đặt cho các công trình nhạy cảm trong quy hoạch 3 năm.

*(2) **Tiếp thu và cải tiến công nghệ***: Tiếp thu kinh nghiệm từ tuyến đường sắt cao tốc Cologne - Frankfurt của Đức về sự phá hủy tấm chắn tiếng ồn do lực động xung của tàu, tham khảo công nghệ tiên tiến của nước ngoài, kết hợp với điều kiện thực tế để tiến hành tính toán lực động xung và kiểm tra khả năng chống mỏi của vật liệu.

*(3) **Đảm bảo tính thẩm mỹ và sự hài hòa với môi trường***: Thiết kế tấm chắn tiếng ồn phải phù hợp với cảnh quan và môi trường xung quanh. Điều này bao gồm hình thức, màu sắc của tấm chắn, biện pháp bảo vệ mái taluy nền đường, cấu trúc và màu sắc của cầu cũng như cảnh quan tổng thể.

2. Phân tích điểm nhạy cảm và các biện pháp bảo vệ môi trường

Dọc theo tuyến đường, các mục tiêu chính cần bảo vệ môi trường bao gồm 13 điểm nhạy cảm như trường học, bệnh viện, viện dưỡng lão và khu dân cư tập trung. Các điểm nhạy cảm bao gồm nhà cấp 4 và nhà cao tầng. Dựa vào vị trí tương đối giữa điểm nhạy cảm và đường sắt, đã thiết kế và lắp đặt 5 loại tấm chắn tiếng ồn có chiều cao khác nhau, cụ thể như sau:

- Tấm chắn cao 2,15 m dài 19.149 m.
- Tấm chắn cao 3,15 m dài 2.226 m.
- Tấm chắn cao 3,5 m dài 814 m.
- Tấm chắn cao 4 m dài 430 m.
- Tấm chắn cao 5 m dài 950 m.

(1) Đoạn cầu cạn từ DK88 + 933 đến DK90 + 046

Tại đoạn cầu cạn này, tàu chạy với tốc độ 350 km/h, hai bên đường sắt là khu dân cư mới xây dựng gồm các tòa nhà 6 tầng. Qua tính toán âm học, chiều cao của tấm chắn tiếng ồn được thiết kế là 3,15 m tính từ đỉnh tấm chắn, vượt quá chiều cao từ mặt đường ray đến đáy cửa sổ tàu. Phần trên của tấm chắn, tính từ đáy cửa sổ tàu trở lên, được làm bằng vật liệu trong suốt. Hiện nay, trong nước và quốc tế chưa có tiền lệ về việc lắp đặt tấm chắn tiếng ồn trong suốt cho đường sắt cao tốc. Do đó, đã tiến hành nghiên cứu, tiếp thu và cải tiến công nghệ nước ngoài, kết hợp thực tế của

tuyến đường sắt liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân, thực hiện mô phỏng động lực để giải quyết các vấn đề kỹ thuật khi lắp đặt tấm chắn tiếng ồn.

(2) Khu dân cư Giếng Lưu Ly

Khu dân cư Giếng Lưu Ly nằm trong nội thành Bắc Kinh, gồm các tòa nhà 12 tầng, thuộc đoạn đường sắt trên nền đường, có yêu cầu cao về giảm tiếng ồn và thẩm mỹ. Tấm chắn tiếng ồn được thiết kế cao 5 m, sử dụng kết hợp các vật liệu như bê tông, nhôm và vật liệu trong suốt. Phần trên của tấm chắn được thiết kế dạng vòng cung để giảm chiều cao tổng thể, vừa đảm bảo hiệu quả giảm tiếng ồn, vừa cân nhắc đến tầm nhìn của hành khách bên trong tàu và sự hài hòa với cảnh quan xung quanh.

(3) Làng Tiền Tiến

Làng Tiền Tiến nằm tại khu vực ngoại thành, thuộc đoạn đường sắt nền đường với tốc độ 350 km/h, là khu vực nhà ở cấp 4. Sau khi xem xét các yếu tố về hiệu quả giảm tiếng ồn, yêu cầu cảnh quan và ảnh hưởng của lực động xung, đã lựa chọn phương án sử dụng tấm chắn tiếng ồn bằng bê tông có cấu trúc thẳng đứng, tối ưu hóa chi phí đầu tư.

(4) Các biện pháp giảm rung và giảm tiếng ồn từ nguồn gốc

Toàn tuyến sử dụng đường ray dài liền mạch không mối nối, thép ray nặng, đoàn tàu thế hệ mới và loại đường ray tiên tiến, giúp giảm độ gồ ghề của bánh xe và cải thiện độ phẳng của tuyến đường, từ đó đạt được mục tiêu giảm rung và giảm tiếng ồn từ nguồn gốc.

(5) Nghiên cứu thẩm mỹ cho tấm chắn tiếng ồn

Đã tiến hành nghiên cứu chuyên sâu về thiết kế cảnh quan của tấm chắn tiếng ồn, đảm bảo vừa đáp ứng yêu cầu kết cấu và công năng sử dụng, vừa cân nhắc đến yếu tố thẩm mỹ. Phần trên tấm chắn vượt quá đáy cửa sổ tàu và các đoạn đường sắt đi qua khu đô thị, giao lộ, hoặc khe co giãn của cầu đều sử dụng vật liệu trong suốt. Các vật liệu trong suốt này được xử lý chống va chạm với chim, chống lóa, chống nứt vỡ và chống lão hóa. Phần tấm chắn bằng nhôm được sơn phủ với màu sắc từ đậm đến nhạt dần, hòa hợp với môi trường xung quanh và các công trình kiến trúc gần đó.

3. Kỹ thuật quan trọng và hiệu quả ứng dụng

(1) Kỹ thuật quan trọng của rào chắn âm thanh đường sắt cao tốc là khả năng chống chịu lực xung kích do đoàn tàu chạy ở tốc độ cao tạo ra, đảm bảo an toàn, bền vững và không bị hư hại trong suốt thời gian sử dụng. Để giải quyết vấn đề kỹ thuật

trọng yếu này, điều quan trọng đầu tiên là tìm ra phương pháp tính toán lực xung kích một cách chính xác.

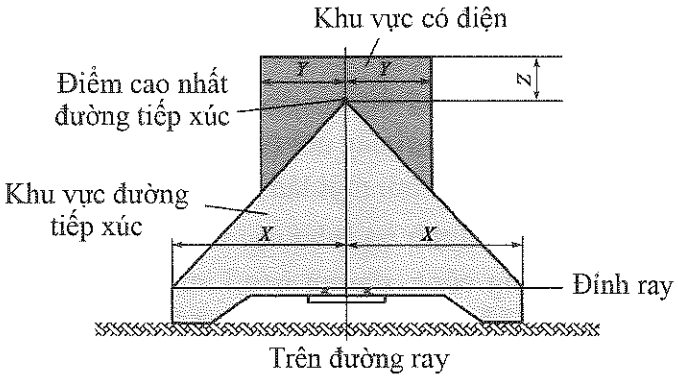
Thông qua việc hợp tác nghiên cứu với các công ty quốc tế, đã phát triển phương pháp tính toán lực xung kích tác động lên rào chắn âm thanh. Kết hợp cùng các trường đại học trong nước và điều kiện thực tế của tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân, nhóm nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng lực xung kích bằng máy tính khi đoàn tàu chạy ở các tốc độ khác nhau. Kết quả mô phỏng được so sánh với dữ liệu thực tế từ các quốc gia khác, tiêu chuẩn quốc tế và kết luận mô phỏng, cho thấy giá trị lực xung kích cũng như kết quả tính toán ứng suất và biến dạng của rào chắn âm thanh là chính xác và đáng tin cậy.

(2) Dựa trên kết quả xác định tác động của lực xung kích, đã giải quyết các vấn đề kết nối giữa rào chắn âm thanh với cầu, nền đường và hệ thống tiếp địa tổng hợp. Đồng thời, nhóm nghiên cứu cũng đưa ra các yêu cầu về tính năng của vật liệu, chất liệu cấu kiện và phương pháp lắp đặt phù hợp.

(3) Hiệu quả ứng dụng

Qua kết quả mô phỏng động lực bằng máy tính, rào chắn âm thanh trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân được xác nhận là an toàn và bền vững khi chịu tác động từ lực xung kích của đoàn tàu chạy với tốc độ 350 km/h và tải trọng gió.

VII. KỸ THUẬT TIẾP ĐỊA TỔNG HỢP



Hình 6-2-17: *Sơ đồ minh họa khu vực dây tiếp xúc và bộ thu điện.*

Trên cơ sở rút kinh nghiệm từ thực tiễn tuyến đường sắt khách tốc độ cao Tần Hoàng Đảo - Thẩm Dương, kết hợp tham khảo kinh nghiệm vận hành thực tế từ các

tuyến đường sắt cao tốc quốc tế, đồng thời đáp ứng nhu cầu sử dụng mạch đường ray và công nghệ đường ray không ballast trong nước, đã nghiên cứu và làm chủ công nghệ tiếp địa tổng hợp cho đường sắt cao tốc. Từ đó, xây dựng được hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật tiếp địa tổng hợp hoàn chỉnh, tạo nền tảng kỹ thuật vững chắc cho việc xây dựng tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải (Hình 6-2-17).

1. Xác định các nguyên tắc kỹ thuật chính của hệ thống tiếp địa tổng hợp

(1) Hệ thống tiếp địa tổng hợp chủ yếu nhằm đảm bảo an toàn cho nhân viên bảo trì và đảm bảo các thiết bị bên cạnh đường ray hoạt động bình thường. Nội dung bảo vệ bao gồm: ngăn ngừa nhiễu điện khí hóa, đảm bảo dòng điện kéo ngược, bảo vệ quá áp do sét đánh và kết nối tiếp địa cho các kết cấu kim loại. Ý tưởng cốt lõi của hệ thống tiếp địa tổng hợp là kết nối đồng điện thế.

(2) Các kết cấu kim loại và thiết bị nằm trong phạm vi 5 m tính từ phần dẫn điện của hệ thống dây tiếp xúc phải được tiếp địa.

(3) Các thiết bị và cơ sở vật chất của đường sắt cần tiếp địa trong phạm vi 20 m tính từ hai bên đường ray phải được kết nối vào hệ thống tiếp địa tổng hợp.

(4) Các dây dẫn trần trong khu vực dây tiếp xúc và bộ thu điện phải được đưa vào hệ thống tiếp địa tổng hợp.

(5) Tất cả các dây dẫn trần trong khu vực dây tiếp xúc nằm trong phạm vi 5 m từ tim đường ray (X = 5 m) và trong khu vực bộ thu điện với các giới hạn Y = 2 m, Z = 9 m phải được đưa vào hệ thống tiếp địa tổng hợp.

(6) Điện trở của hệ thống tiếp địa tổng hợp không được lớn hơn 1 Ω.

(7) Để ngăn ngừa tác động đến thép dự ứng lực, thép dự ứng lực không được kết nối vào hệ thống tiếp địa tổng hợp.

(8) Thanh thép tiếp địa dọc trong đường ray không ballast, về nguyên tắc, phải được kết nối một điểm hình chữ T với dây nối tiếp địa xuyên suốt mỗi 100 m. Thanh thép tiếp địa dọc phải được ngắt kết nối một lần sau mỗi khoảng 100 m.

(9) Các cơ sở hạ tầng của bên thứ ba (như các tòa nhà công cộng ngoài phạm vi đường sắt, hệ thống điện công cộng, đường ống kim loại, v.v.) hoặc các hệ thống tiếp địa khác không thể kết nối đồng điện thế với hệ thống tiếp địa tổng hợp của đường sắt phải được thực hiện các biện pháp cách ly hoặc cách điện đáng tin cậy.

2. Kết quả kiểm nghiệm thực tế

Tham khảo các phương pháp theo tiêu chuẩn châu Âu, đã xác định rõ phương án cụ thể để triển khai hệ thống tiếp địa tổng hợp và trên cơ sở đó thống nhất phương

án thực hiện cho tất cả các tuyến đường sắt chuyên dụng chở khách trên toàn hệ thống. Thông qua việc triển khai thực tế tại tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh – Thiên Tân, các vấn đề chính sau đây đã được giải quyết:

(1) Lựa chọn và yêu cầu về kỹ thuật kết nối thép tiếp địa cho các bộ phận của cầu

(2) Bao gồm dầm cầu, trụ cầu, bệ đỡ và cọc móng, cũng như yêu cầu về vật liệu, quy cách và phương pháp kết nối của các đầu tiếp địa và đầu thử nghiệm trên cầu. Kết quả kiểm nghiệm tại hiện trường cho thấy điện trở tiếp địa của các đầu thử nghiệm tại khu vực cầu đều nhỏ hơn 1Ω, khoảng từ 0,5 đến 0,6Ω. Ở khu vực đường nền khi dây tiếp địa được lắp đặt liên tục với chiều dài khoảng 200 m, điện trở tiếp địa cũng nhỏ hơn 1Ω, đạt được hiệu quả mong muốn.

(3) Phương pháp bố trí các đầu tiếp địa và kết nối tiếp địa cho kết cấu cứng ở khu vực đường nền.

(4) Yêu cầu về quy trình lắp đặt và kết nối dây tiếp địa liên tục cho cầu, đường nền và khu vực nhà ga.

(5) Tổng thể hóa các biện pháp tiếp địa cho tấm ray không ballast, kết quả kiểm nghiệm đáp ứng yêu cầu về truyền tín hiệu.

(6) Tiếp địa cho các cơ sở đường sắt dọc tuyến

(7) Bao gồm các cột dây tiếp xúc, màn chắn âm thanh bằng kim loại, hàng rào kim loại, các thiết bị tín hiệu và thiết bị điện nhẹ bên cạnh đường ray.

(8) Kết nối tiếp địa chống sét cho các công trình kiến trúc, bảo vệ an toàn cho người tại nhà ga và sân ga.

(9) Xác định giải pháp bảo vệ an toàn cho con người và đảm bảo hoạt động bình thường của hệ thống mạch tín hiệu thông qua hệ thống tiếp địa tổng hợp.

(10) Giải pháp tiếp địa giữa hệ thống đường sắt điện xoay chiều và hệ thống tiếp địa của đường tàu điện ngầm một chiều cùng khu vực nhà ga.

(11) Quy trình thi công và tiêu chuẩn nghiệm thu liên quan đến hệ thống tiếp địa tổng hợp.

VIII. DỰ BÁO VÀ NGHIÊN CỨU PHÂN TÍCH VỀ HIỆN TƯỢNG LÚN MẶT ĐẤT KHU VỰC

Do việc khai thác nước ngầm, một số đoạn của tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân nằm trong khu vực bị lún mặt đất. Để đảm bảo an toàn khi xây dựng

đường ray không ballast và vận hành trong điều kiện khu vực bị lún, cần nghiên cứu kỹ lưỡng cơ chế hình thành, xu hướng phát triển và các biện pháp ứng phó với hiện tượng lún mặt đất. Thông qua việc phân tích tình trạng lún mặt đất hiện tại của khu vực tuyến đường, kết hợp với tình hình sử dụng nước dọc tuyến, đã dự báo xu hướng phát triển của hiện tượng lún và đề xuất các biện pháp kiểm soát cùng khuyến nghị xử lý kỹ thuật.

Sau nhiều lần tổ chức thảo luận với các chuyên gia do Bộ Đường sắt chủ trì, kết luận rằng các kết quả nghiên cứu về hiện tượng lún mặt đất trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân là khả thi và các biện pháp xử lý công trình là phù hợp. Đồng thời, khuyến nghị phối hợp với các cơ quan chức năng ở Bắc Kinh và Thiên Tân để thực hiện các biện pháp tổng hợp nhằm kiểm soát việc khai thác nước ngầm.

Dựa trên kết quả nghiên cứu, tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân đã áp dụng hệ thống đường ray không ballast kiểu tấm II có khả năng phục hồi tốt, các loại gối cầu và bộ kẹp ray có thể điều chỉnh độ cao, đồng thời xây dựng hệ thống lưới đo đạc kiểm soát chính xác nhằm đảm bảo an toàn khi xây dựng đường ray không ballast trong điều kiện lún mặt đất. Tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải đi qua nhiều khu vực bị lún mặt đất đã áp dụng thành công các biện pháp ứng phó tổng hợp của tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân làm mẫu tham khảo tốt.

1. Nội dung nghiên cứu

1.1. Điều tra lịch sử và hiện trạng lún mặt đất dọc tuyến

Dựa trên dữ liệu quan trắc thủy chuẩn nhiều năm tại Bắc Kinh và Thiên Tân, do việc khai thác quy mô lớn nước ngầm từ tầng đất bồi tích đệ tứ trong thời gian dài, đất nền bị ép chặt gây ra hiện tượng lún mặt đất trên diện rộng và hình thành nhiều tâm lún.

(1) Lịch sử phát triển hiện tượng lún mặt đất dọc tuyến:

- Ở Bắc Kinh, hiện tượng lún mặt đất bắt đầu hình thành từ những năm 1950 - 1960, phát triển nhanh từ những năm 1970. Đến năm 1983, đã hình thành nhiều tâm lún như Đông Giáo Bát Lý Trang, Đại Giáo Đình, Lai Quảng Doanh với tổng độ lún lớn nhất là 590 mm và tốc độ lún trung bình hàng năm là 31 mm.
- Ở Thiên Tân, lịch sử lún mặt đất được chia làm ba giai đoạn chính:
  - Giai đoạn đầu tiên từ năm 1923 - 1958, tốc độ lún trung bình từ 10 đến 20 mm/năm.
  - Giai đoạn phát triển từ năm 1959 - 1985, tốc độ lún cao nhất vượt quá 100 mm/năm.

- Từ năm 1986 đến nay, tốc độ lún tại khu vực trung tâm thành phố được kiểm soát ở mức từ 10 đến 15 mm/năm. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển kinh tế tại các quận huyện ngoại ô, đã xuất hiện các tâm lún mới tại các khu vực như quận Bắc Thần và thị trấn Dương Thôn, huyện Vũ Thanh.

(2) Hiện trạng lún mặt đất dọc tuyến

- Đoạn Bắc Kinh:
- Bị ảnh hưởng bởi hai khu vực lún chính là khu vực lún Đông Bát Lý Trang - Đại Giáo Đình và khu vực lún Đại Hưng Ngọc Phàm - Lễ Hiền. Tổng độ lún mặt đất tích lũy từ năm 1955 đến năm 1999 trên đoạn Bắc Kinh của tuyến đường sắt là từ 100 đến 200 mm.
- Đoạn Thiên Tân:
- Tuyến đường đi qua hai khu vực phễu lún là quận Vũ Thanh và khu vực thành phố Thiên Tân cùng vùng ngoại ô. Tổng độ lún mặt đất tích lũy từ năm 1985 đến năm 2003 trên đoạn Thiên Tân là từ 200 đến 1200 mm, với tốc độ lún trung bình hàng năm từ 10 đến 70 mm, hiện tượng lún không đồng đều khá nghiêm trọng.

1.2. Dự báo xu hướng phát triển hiện tượng lún mặt đất khu vực

(1) Phân tích các tầng địa chất gây lún mặt đất dọc tuyến

Các nghiên cứu cho thấy lớp đất trong phạm vi 100 m phía trên bề mặt (nhóm tầng nén ép thứ nhất) là lớp đất chính gây ra hiện tượng lún mặt đất ở đoạn Bắc Kinh. Từ độ sâu 100 m đến 280 m là tầng trầm tích Pleistocene giữa, có độ chặt cao, tính chất kết dính tốt và độ nén ép thấp. Hiện nay việc khai thác nước ngầm tại tầng này tương đối ít, nên lượng lún xảy ra trong giai đoạn này không đáng kể.

Theo dữ liệu quan trắc, trước năm 1985, hiện tượng lún mặt đất ở đoạn Thiên Tân chủ yếu xảy ra tại tầng chứa nước số 2, chiếm khoảng 40% - 50% tổng lượng lún. Sau năm 1985, tầng địa chất gây lún chính đã chuyển từ tầng chứa nước số 2 xuống các tầng chứa nước dưới số 4, chiếm từ 60% - 70% tổng lượng lún. Tại khu vực quy hoạch đô thị Vũ Thanh, việc khai thác nước ngầm chủ yếu diễn ra ở dưới tầng chứa nước số 2. Hiện nay, tầng chứa nước chính gây lún tại thị trấn Dương Thôn là dưới tầng chứa nước số 3.

(2) Dự báo xu hướng lún mặt đất

Các yếu tố chính ảnh hưởng đến hiện tượng lún mặt đất bao gồm tính chất của tầng đất và sự thay đổi của mực nước ngầm. Tính chất của tầng đất là nguyên nhân

nội tại gây ra hiện tượng lún, trong khi sự thay đổi mực nước ngầm là yếu tố bên ngoài và là nguyên nhân kích hoạt lún mặt đất.

Dựa trên các kết quả nghiên cứu về hiện tượng lún mặt đất tại Bắc Kinh, các phân tích và dự báo tốc độ lún trong khu vực, kết hợp với đặc điểm địa chất và triển vọng khai thác nước ngầm tại đoạn Bắc Kinh, khu vực này được chia thành:

- Khu vực không lún (dưới 1 mm/năm).
- Khu vực lún chậm (1 - 5 mm/năm).
- Khu vực lún nhanh (5 - 10 mm/năm).
- Khu vực lún rất nhanh (trên 10 mm/năm).

Khu vực lún rất nhanh chủ yếu tập trung ở phía nam đồng bằng Bắc Kinh thuộc quận Đại Hưng và phía bắc quận Thuận Nghĩa, Xương Bình. Tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân đoạn Bắc Kinh chủ yếu đi qua khu vực lún nhanh, lún chậm và khu vực không lún.

Dựa trên dữ liệu nhiều năm về khai thác nước ngầm và quan trắc lún mặt đất tại Thiên Tân, bằng phương pháp mô phỏng số và hồi quy đa biến, đã dự báo xu hướng phát triển hiện tượng lún mặt đất dọc tuyến đường sắt đoạn Thiên Tân. Giả định rằng việc khai thác nước ngầm vẫn duy trì như hiện tại, tốc độ lún sẽ giữ nguyên, với tổng lượng lún tích lũy trong 10 năm tới dao động từ 50 đến 400 mm. Hiện tượng lún không đồng đều sẽ trở nên nghiêm trọng hơn. Tuy nhiên, nếu áp dụng các biện pháp giảm khai thác nước ngầm khác nhau cho từng khu vực lún, đến năm 2020, tốc độ lún sẽ giảm xuống còn 9 - 13 mm/năm. Đồng thời, hiện tượng lún không đồng đều sẽ được cải thiện đáng kể.

1.3. Phân tích nguyên nhân gây lún mặt đất

Dựa trên các tài liệu nghiên cứu liên quan và phân tích tổng hợp, nguyên nhân chính gây ra hiện tượng lún mặt đất dọc tuyến là việc khai thác nước ngầm quá mức. Hiện tượng lún mặt đất do hoạt động kiến tạo gây ra có tốc độ lún cơ bản từ 1,3 đến 2,0 mm/năm.

(1) Hiện tượng lún mặt đất có sự phát triển và thay đổi phù hợp với lịch sử khai thác nước ngầm.

(2) Tốc độ lún mặt đất có mối quan hệ mật thiết với mực nước ngầm.

(3) Lượng khai thác nước ngầm có mối tương quan tốt với lượng lún mặt đất.

2. Kết luận nghiên cứu về lún mặt đất khu vực

(1) Ảnh hưởng của lún mặt đất tại các đoạn tuyến

Tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân đoạn qua Bắc Kinh chịu tác động chính từ hai khu vực lún:

- Khu vực lún Bát Lý Trang - Đại Giao Đình ở phía Bắc.
- Khu vực lún Dụ Phường - Lễ Hiền ở phía Nam.

Đoạn tuyến qua Thiên Tân lần lượt đi qua hai khu vực phễu lún gồm khu vực nội thành và ngoại ô Thiên Tân, cùng khu vực Vũ Thanh. Cao độ mặt đất dọc tuyến dao động từ 1,5 m đến 6,5 m, mức chênh lệch lớn. Theo kết quả đo thủy chuẩn giai đoạn 1985 - 2003, tổng lượng lún mặt đất dọc tuyến dao động từ 200 mm đến 1200 mm. Trong giai đoạn 1997 - 2003, tốc độ lún trung bình là 10 mm/năm đến 70 mm/năm. Giai đoạn 1993 - 2003, mức giảm cao độ lớn nhất lên đến 875,9 mm và nhỏ nhất là 92,2 mm.

(2) Nguyên nhân gây lún chính

Dựa trên đặc điểm địa chất, cấu trúc tầng đất và tình trạng khai thác chất lỏng ngầm dọc tuyến, các nguyên nhân gây lún chính được xác định như sau:

- Lún do hoạt động kiến tạo địa chất.
- Lún do khai thác nước ngầm quá mức.
- Lún do khai thác chất lỏng địa nhiệt.
- Trong đó, việc khai thác nước ngầm quá mức là nguyên nhân chủ yếu gây ra hiện tượng lún mặt đất dọc tuyến.

(3) Phân tích các tầng địa chất gây lún

Kết quả phân tích chỉ ra rằng, tại vùng đồng bằng sông Vĩnh Định của Bắc Kinh, hiện tượng lún mặt đất chủ yếu xảy ra ở:

- Tầng chứa nước thứ nhất thuộc hệ tầng thượng Pleistocene (độ sâu đáy nhỏ hơn 80 m).
- Tầng chứa nước thứ hai thuộc hệ tầng trung Pleistocene (độ sâu đáy nhỏ hơn 140 m).

Việc nén và biến dạng của lớp đất sét dính ở các tầng này, đặc biệt là tầng chứa nước thứ nhất, đóng vai trò kiểm soát hiện tượng lún.

Trước năm 1985, lớp địa chất gây lún chính tại Thiên Tân là tầng chứa nước số 2, chiếm 40% - 50% tổng lượng lún. Sau năm 1985, do việc giảm khai thác nước ngầm tại tầng này, lớp địa chất gây lún chính đã chuyển xuống các tầng sâu hơn bên dưới tầng thứ 4, chiếm 60% - 70% tổng lượng lún. Hiện nay, việc khai thác nước ngầm sâu bên dưới tầng thứ 3 là nguyên nhân chính gây lún tại khu vực Dương Thôn, Vũ Thanh, với mức giảm mực nước ngầm trung bình từ 1 m đến 3 m/năm trong giai đoạn 1998 - 2000.

(4) Dự báo tốc độ lún tại các đoạn tuyến

Theo kết quả dự báo:

- Đoạn Bắc Kinh, khu vực có tốc độ lún nhanh (5 - 10 mm/năm) bao gồm dải từ Vương Thôn đến Đại Lỗ Điếm - Cao Gia Doanh và khu vực từ Khúc Đầu đến Sài Xưởng Thôn. Khu vực có tốc độ lún chậm (0 - 5 mm/năm) bao gồm dải từ Thiết Tượng Doanh đến Thập Bát Lý Điếm - Vương Thôn và khu vực từ Tiểu Đỗ Xã đến Ngưu Bảo Thôn - Đức Nhân Vụ.
- Đoạn Thiên Tân, nếu việc khai thác nước ngầm tiếp tục duy trì như hiện tại, trong 10 năm tới, tổng lượng lún có thể dao động từ 50 mm đến 400 mm, và hiện tượng lún không đồng đều sẽ trở nên nghiêm trọng, gây ảnh hưởng không thể đảo ngược đến công trình.

(5) Ảnh hưởng của lún không đồng đều đến công trình

Do tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân có tỷ lệ cầu lớn, hiện tượng lún không đồng đều có thể gây ra lún móng trụ cầu và lún nền đường không đồng đều, làm suy giảm tính ổn định của cầu. Ở một số khu vực, hiện tượng lún không đồng đều có thể tạo ra các gợn sóng trên địa hình, gây nguy hiểm cho tàu khi chạy với tốc độ cao. Các khu vực có hiện tượng lún không đồng đều rõ rệt gồm:

- Đoạn từ DK87+000 đến DK90+000.
- Đoạn từ DK104+000 đến DK106+000.
- Hai đoạn này là những điểm tiềm ẩn nguy cơ lớn nhất ảnh hưởng đến hoạt động bình thường của tuyến đường sắt, cần được đặc biệt chú trọng trong quá trình xây dựng và vận hành.

(6) Ảnh hưởng của khai thác nước ngầm nông

Việc khai thác nước ngầm nông trong phạm vi 100 - 200 m dọc tuyến sẽ gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến công trình. Càng gần tuyến đường, mức độ ảnh hưởng càng lớn. Nếu có giếng khai thác nước ngầm trong phạm vi vài mét hai bên tuyến đường và mực nước giảm 10 m, ước tính lượng lún có thể lên đến 438 mm. Do đó, trong phạm vi 100 - 200 m hai bên tuyến đường, không nên có giếng khai thác nước ngầm.

(7) Biện pháp ứng phó với khu vực lún lớn

Tại các đoạn có dự báo lún lớn, nên sử dụng kết cấu cầu dạng dầm đơn giản và gối cầu có thể điều chỉnh độ cao. Hệ thống ray cần được thiết kế với bộ phận kẹp có khả năng điều chỉnh độ cao lớn và lựa chọn kết cấu ray có khả năng sửa chữa tốt.

(8) Kết luận

Bằng việc áp dụng các biện pháp ứng phó tổng hợp, tuyến đường sắt qua khu vực có lún lớn vẫn có thể lắp đặt đường ray không ballast và đảm bảo an toàn vận hành.

3. Biện pháp ứng phó công trình

3.1. Sử dụng hệ thống kẹp ray có khả năng điều chỉnh độ cao lớn

Thông qua việc sử dụng hệ thống kẹp ray có khả năng điều chỉnh độ cao lớn, các đoạn lún có thể được điều chỉnh bằng cách nâng hạ kẹp ray. Hệ thống kẹp ray được sử dụng trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân có khả năng điều chỉnh từ –4 mm đến +26 mm, trong trường hợp đặc biệt, khả năng điều chỉnh có thể lên đến 56 mm. Việc này giúp duy trì độ phẳng của mặt ray trong phạm vi đoạn đường có độ dốc thay đổi, đảm bảo yêu cầu về tốc độ cao và sự thoải mái cho tàu khi vận hành.

3.2. Lựa chọn kết cấu đường ray có khả năng sửa chữa cao

Qua phân tích chi tiết công nghệ đường ray không ballast trên các tuyến đường sắt cao tốc quốc tế, kết cấu đường ray không ballast loại II dạng tấm với khả năng sửa chữa cao đã được lựa chọn, phù hợp với yêu cầu ứng phó tại khu vực có hiện tượng lún mặt đất.

(1) Sửa chữa hệ thống kẹp ray khi bị hư hỏng

Dựa trên kinh nghiệm từ các tuyến đường sắt cao tốc của Đức, khi hệ thống kẹp ray bị hư hỏng, có thể lắp đặt hệ thống kẹp ray mới trên bệ đỡ hiện có, đảm bảo khả năng vận hành bình thường của tuyến đường.

(2) Điều chỉnh lớp đệm vữa dưới tấm ray

Khi lún không đồng đều của nền đường vượt quá khả năng điều chỉnh của hệ thống kẹp ray, có thể tiến hành tháo dỡ các tấm ray nối dọc và bổ sung vữa đệm dưới các tấm ray để khôi phục hoặc điều chỉnh độ cao mặt ray, đảm bảo sự liên tục và phẳng của đường ray.

(3) Thay thế tấm ray khi bị hư hỏng

Nếu tấm ray bị hư hỏng và không thể sửa chữa, có thể tiến hành tháo dỡ tấm ray bị hỏng và thay thế bằng tấm ray mới, đảm bảo duy trì chất lượng của tuyến đường sắt cao tốc.

3.3. Lựa chọn kết cấu cầu phù hợp

(1) Lựa chọn dạng dầm phù hợp

Toàn tuyến ưu tiên sử dụng kết cấu dầm giản đơn, chủ yếu là dầm hộp giản đơn 32 m, chỉ tại các đoạn cầu vượt đường bộ mới áp dụng dầm liên tục có nhịp lớn. Hạn

chế tối đa việc sử dụng cầu dầm cứng vì loại cầu này rất nhạy cảm với lún không đồng đều. Các loại dầm giản đơn bao gồm nhịp 20 m, 24 m, 32 m, 40 m, còn dầm liên tục có các loại nhịp (80 + 128 + 80) m, (60 + 100 + 60) m, (48 + 80 + 48) m, (40 + 64 + 40) m, (32 + 48 + 32) m.

Vì hiện tượng lún khu vực chủ yếu là lún đồng đều trên diện rộng nên không ảnh hưởng lớn đến kết cấu cầu. Tại các khu vực có tốc độ lún cao hơn, phần lớn các cầu đều sử dụng dầm giản đơn nhịp 32 m. Với loại kết cấu này, sự khác biệt về lún giữa các trụ cầu không gây tác động lớn đến kết cấu chịu lực của cầu mà chỉ cần đảm bảo độ biến dạng trong phạm vi cho phép để duy trì độ bằng phẳng của đường ray. Trong trường hợp sử dụng kết cấu dầm liên tục, lún khu vực không tạo ra sự khác biệt đáng kể về độ lún giữa các trụ mà chỉ gây ra lún đồng đều hoặc xoay chuyển nhỏ. Dựa trên dự báo mức độ lún, đã tiến hành phân tích lực học cho các kết cấu cầu. Với nhịp cầu tối đa 100 m và tốc độ lún không đồng đều hàng năm dưới 2 mm, kết cấu cầu đảm bảo an toàn và ổn định khi khai thác.

(2) Lựa chọn phương án móng cọc

Móng cọc được bố trí hợp lý, với chiều dài và kết cấu phù hợp. Phần đầu cọc được đặt vào tầng đất ổn định, đảm bảo kiểm soát tốt độ lún sau khi hoàn thành công trình và đáp ứng yêu cầu về độ lún không đồng đều giữa các trụ cầu, giới hạn không vượt quá 5 mm. Để tăng cường khả năng chịu lực và tính an toàn, thiết kế móng cọc cũng được bổ sung thêm hệ số an toàn dự trữ.

(3) Sử dụng gối cầu điều chỉnh độ cao

Dựa trên điều kiện thực tế của tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân, đã nghiên cứu và phát triển loại gối cầu có khả năng điều chỉnh độ cao lớn. Trong quá trình khai thác, nếu xảy ra lún không đồng đều, loại gối cầu TGPZ có thể điều chỉnh độ cao lên đến 60 mm mà không cần nâng cao lớp đệm kê gối cầu, giúp duy trì sự ổn định và an toàn của cầu.

3.4. Thiết lập mạng lưới giám sát công trình và lún mặt đất

Dựa trên yêu cầu của việc thi công đường ray không ballast và đặc điểm lún của khu vực, toàn tuyến đã xây dựng mạng lưới đo đạc và giám sát công trình chính xác. Mạng lưới này được thiết lập để tăng cường việc quan trắc lún trong quá trình thi công và vận hành, theo dõi các chỉ số quan trọng như:

- Mực nước ngầm.
- Độ cao mặt đất.
- Biến dạng bề mặt.

- Biến dạng không đồng đều của công trình đường sắt.
- Độ bằng phẳng dọc và ngang của đường ray.

Việc giám sát liên tục giúp đưa ra các cảnh báo sớm, phòng ngừa rủi ro và có biện pháp xử lý kịp thời khi cần thiết, đảm bảo an toàn cho công trình và vận hành tuyến đường.

3.5. Kiểm soát hoạt động khai thác nước ngầm

Phối hợp với các cơ quan chức năng của hai thành phố Bắc Kinh và Thiên Tân để xây dựng kế hoạch kiểm soát hoạt động khai thác nước ngầm dọc tuyến đường. Thực hiện các biện pháp quản lý nghiêm ngặt, đóng cửa các giếng nước tại khu vực khai thác quá mức hoặc giảm lượng nước khai thác nhằm đảm bảo việc khai thác nước ngầm ở mức hợp lý. Đồng thời, tại các khu vực dân cư có nhu cầu sử dụng nước lớn, cần tăng cường quản lý nguồn nước ngầm, khuyến khích tiết kiệm nước và hạn chế khai thác nước ngầm để giảm thiểu tác động lên địa tầng khu vực, góp phần đảm bảo an toàn cho công trình đường sắt cao tốc.

4. Hiệu quả đạt được

Tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân đã đi vào hoạt động được mười năm. Thực tế cho thấy, những giải pháp kỹ thuật ứng phó với tình trạng lún mà tuyến đường này áp dụng là hoàn toàn phù hợp, đảm bảo an toàn cho kết cấu đường ray không ballast trong điều kiện khu vực có hiện tượng lún.

CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC TRUNG QUỐC

CIVIL ENGINEERING IN CHINA'S HIGH-SPEED RAILWAY

(Tập II)

Chịu trách nhiệm xuất bản:
Giám đốc - Tổng biên tập
NGÔ ĐỨC VINH

Biên tập:	ĐINH THỊ PHƯỢNG
Chế bản điện tử:	PHÒNG THIẾT KẾ - CHẾ BẢN
Sửa bản in:	ĐINH THỊ PHƯỢNG
Trình bày bìa:	VŨ THỊ BÌNH MINH
Nhóm dịch:	TS. NGUYỄN QUỐC SINH

Bản quyền tiếng việt © 2025 NXB Xây dựng
Cuốn sách xuất bản theo hợp đồng trao tặng bản quyền giữa
NXB Xây dựng và Công ty TNHH Nhà xuất bản Giao thông Nhân dân Trung Quốc

Nghiêm cấm in sao và phát hành dưới mọi hình thức
nếu không có sự cho phép bằng văn bản của NXB Xây dựng

In 300 cuốn khổ 19×27cm, tại xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng số 10 Hoa Lư - Hà Nội. Số xác nhận đăng ký xuất bản: 278-2025/CXBIPH/02-24/XD ngày 20/01/2025. ISBN: 978-604-82-8381-0. Quyết định xuất bản số 06-2025/QĐ-XBXD ngày 21/01/2025. In xong nộp lưu chiểu quý I năm 2025.