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 I

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

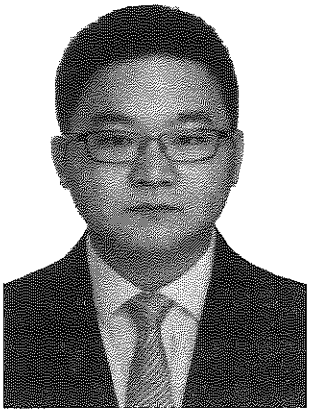
人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co.,Ltd.

GIỚI THIỆU BAN BIÊN TẬP



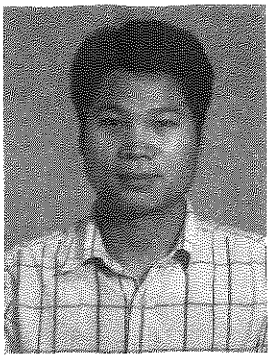
Trần Dung: Tiến sĩ Kỹ thuật, Giáo sư tại Đại học Giao thông Tây Nam, đồng thời là Giáo sư hướng dẫn nghiên cứu sinh. Ông tập trung giảng dạy và nghiên cứu các lĩnh vực đường sắt tốc độ cao, tải trọng nặng và động lực học giao thông đô thị. Ông đã chủ trì gần 20 đề tài khoa học cấp quốc gia hoặc tỉnh, 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.

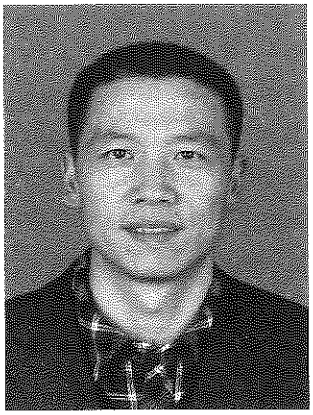




Tô Khiêm: Tiến sĩ Kỹ thuật, Giáo sư và Giáo sư hướng dẫn nghiên cứu sinh tại Đại học Giao thông Tây Nam. Chuyên gia trong lĩnh vực nghiên cứu và giảng dạy về đường sắt cao tốc và nền móng đường bộ, ông đã chủ trì nhiều đề tài cấp quốc gia và nhận các giải thưởng danh giá như Giải Đặc biệt Tiến bộ Khoa 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.



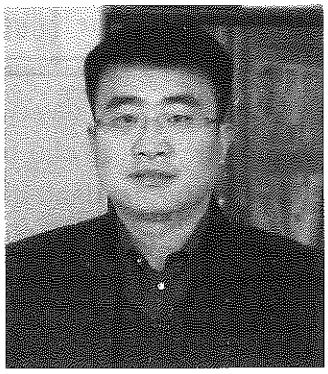
Hoàng Tuấn Kiệt: Tiến sĩ Kỹ thuật, Giảng viên và giáo viên hướng dẫn thạc sĩ tại Đại học Giao thông Tây Nam. Ông chuyên nghiên cứu và giảng dạy về nền móng đường sắt và đường bộ. Ông là thành viên của các hiệp hội quốc tế và quốc gia về vật liệu địa kỹ thuật. Với hơn 10 dự án nghiên cứu khoa học và 5 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 I. CÔNG NGHỆ ĐƯỜNG RAY

Chương 1. Kết cấu đường ray không ballast 3

I. Sự phát triển và ứng dụng công nghệ đường ray không ballast trên đường sắt cao tốc 3

II. Lý thuyết và phương pháp thiết kế đường ray không ballast 6

III. Kết cấu và yêu cầu kỹ thuật của đường ray không ballast trên đường cao tốc 15

IV. Công nghệ xây dựng đường ray không ballast trên đường sắt cao tốc 54

Chương 2. Kết cấu đường ray có ballast 70

I. Sự phát triển và ứng dụng của công nghệ đường ray có ballast 70

II. Các yêu cầu kỹ thuật chính đối với đường ray có ballast của đường sắt cao tốc 75

III. Đoạn chuyển tiếp giữa đường ray có ballast và không ballast trên đường sắt cao tốc 82

IV. Kỹ thuật thi công đường ray có ballast trên đường sắt cao tốc 87

Chương 3. Tuyến đường không mối nối giữa các đoạn 91

I. Sự phát triển và ứng dụng công nghệ đường sắt cao tốc không mối nối 91

II. Đặc điểm công nghệ tuyến không mối nối trên đường sắt cao tốc Trung Quốc 97

III. Tuyến không mối nối trên cầu 99

IV. Tuyến không mối nối tại khu vực đường ray chuyển hướng 110

V. Công nghệ thi công đường ray không mối nối xuyên khu vực 126

Chương 4. Đường ray thép 133

I. Yêu cầu đối với đường ray thép cho đường sắt cao tốc 134

II. Mặt cắt đường ray thép cho đường sắt cao tốc 135

III. Chiều dài tiêu chuẩn của đường ray thép 136
IV. Vật liệu đường ray thép cho đường sắt cao tốc 137
V. Các chỉ tiêu kỹ thuật chính của đường ray thép cho đường sắt cao tốc 143
VI. Đường ray sử dụng cho đầu ray mũi nhọn và cánh ray trong đường chuyển hướng cao tốc 145
VII. Hàn đường ray 146

Chương 5. Đường chuyển hướng cao tốc 159

I. Yêu cầu kỹ thuật và đặc điểm của đường chuyển hướng cao tốc 159
II. Tổng quan và hình dạng mặt bằng của đường chuyển hướng cao tốc 169
III. Lý thuyết thiết kế đường ray cao tốc 179
IV. Cấu trúc và đặc điểm kỹ thuật của đường ray chuyển hướng tốc độ cao 183
V. Công nghệ sản xuất đường ray cao tốc 200
VI. Công nghệ vận chuyển và lắp đặt đường ray cao tốc 205

Chương 6. Hệ thống cố định đường ray 219

I. Các tính năng chính 219
II. Phát triển kỹ thuật và ứng dụng thực tế 221
III. Đặc điểm cấu trúc và thông số thiết kế 227

Tài liệu tham khảo 234

PHẦN II. KỸ THUẬT NỀN ĐƯỜNG SẮT

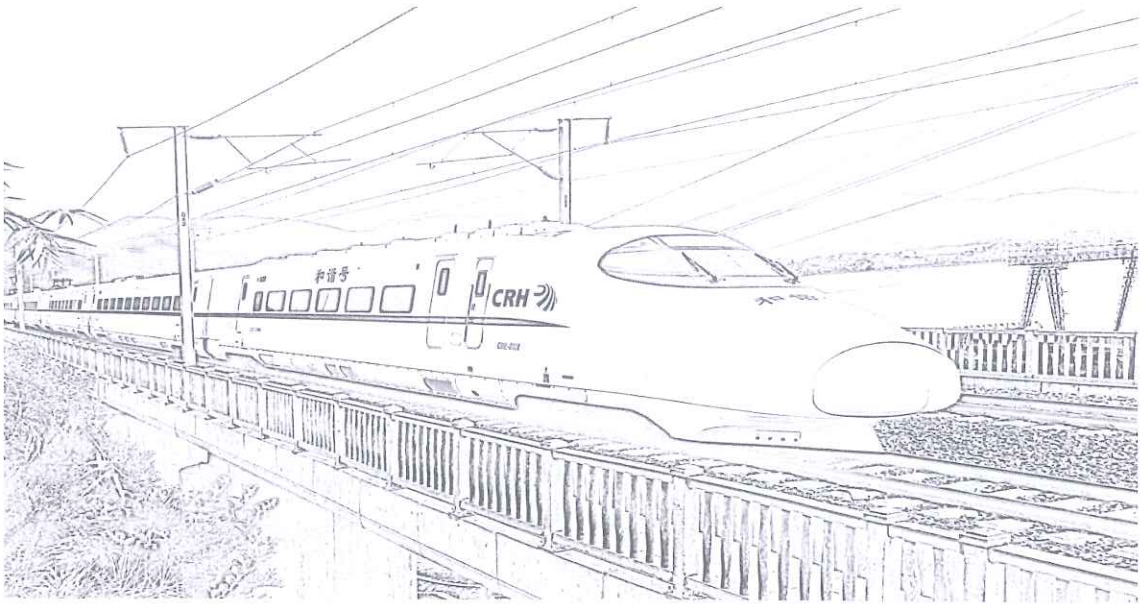
Chương 1. Đặc điểm kỹ thuật và vấn đề đối mặt của nền đường sắt cao tốc 244

I. Đặc điểm kỹ thuật nền đường sắt cao tốc 244
II. Những thách thức chính đối với nền đường sắt cao tốc 249

Chương 2. Tải trọng thiết kế nền đường và cấu trúc lớp nền 254

I. Đặc điểm tải trọng tĩnh và động của nền đường 254
II. Cấu trúc nền móng nền đường 259
III. Cấu trúc cơ bản của nền đường 271

Chương 3. Kỹ thuật kiểm tra vật liệu đắp nền đường và chất lượng đầm nén cho đường sắt cao tốc 276
I. Tổng quan 276
II. Yêu cầu cơ bản đối với vật liệu đắp 277
III. Phân loại vật liệu đắp và yêu cầu đối với vật liệu tại các bộ phận của nền đường 280
IV. Tính thích ứng và cải thiện vật liệu đắp 290
V. Thiết kế vật liệu đắp cải tạo đất 295
VI. Công nghệ kiểm tra chất lượng đầm nén nền đường 302
Chương 4. Công nghệ kiểm soát lún nền đường sắt cao tốc 307
I. Tổng quan 307
II. Tiêu chuẩn kiểm soát lún sau thi công của nền đường 307
III. Phương pháp tính toán và dự đoán độ lún của nền đường 315
IV. Xử lý nền móng 340
Chương 5. Công nghệ giám sát và đánh giá trạng thái nền đường sắt cao tốc 348
I. Tổng quan 348
II. Giám sát hiện trường tại chỗ 349
III. Hệ thống giám sát nền đường 353
IV. Đánh giá lún nền móng 368
Tài liệu tham khảo 371



PHẦN I. CÔNG NGHỆ ĐƯỜNG RAY

Các yêu cầu kỹ thuật cao của đường sắt cao tốc về độ bằng phẳng, độ ổn định, độ bền lâu dài và ít cần bảo trì đã thúc đẩy sự phát triển vượt bậc của công nghệ đường ray tại Trung Quốc. Trên cơ sở tổng kết nhiều năm nghiên cứu khoa học và tiếp thu, cải tiến công nghệ đường sắt cao tốc tiên tiến trên thế giới, Trung Quốc đã sáng tạo và xây dựng hệ thống công nghệ đường ray mang đặc trưng riêng. Hệ thống này có các đặc điểm chính sau:

1. Đường ray không ballast cho tốc độ cao

Đối với các tuyến đường sắt có tốc độ thiết kế trên 300 km/h, Trung Quốc chủ yếu sử dụng đường ray không ballast. Các tuyến đường sắt có tốc độ thiết kế từ 200-250 km/h thường sử dụng đường ray có ballast, nhưng trong các đoạn hầm dài, vẫn ưu tiên sử dụng đường ray không ballast. Tùy thuộc vào điều kiện kỹ thuật và môi trường, đã áp dụng sáu loại kết cấu đường ray không ballast: dạng tấm CRTS I, CRTS II, CRTS III, dạng hai khối, dạng vùi tà vẹt khu vực đường ray chuyển hướng, và dạng tấm. Các hệ thống gắn kết đường ray không ballast sử dụng các loại như WJ-7, WJ-8, 300-1, SFC, và hệ thống đàn hồi ở khu vực chuyển hướng. Với đường ray có ballast, các hệ thống gắn kết sử dụng các loại như Elastic Bar IV, Elastic Bar V, và FC.

2. Công nghệ đường ray không mối nối xuyên khu vực

Công nghệ này cho phép các thanh ray dài chạy xuyên suốt toàn bộ khu vực tuyến đường cao tốc và được hàn nối với các đoạn chuyển hướng không mối nối, loại bỏ hoàn toàn các mối nối thép và vùng đệm, nâng cao độ bằng phẳng của đường ray. Để thích ứng với sự tương tác giữa cầu dài và đường ray không mối nối, Trung Quốc đã tự phát triển bộ điều chỉnh giãn nở cho thanh ray thép 60 kg/m dành cho các tuyến đường sắt cao tốc với tốc độ thiết kế 350 km/h.

3. Thanh ray thép dài tiêu chuẩn cao

Các tuyến đường sắt cao tốc sử dụng thanh ray thép dài tiêu chuẩn 100m, loại U71MnG 60 kg/m. Công nghệ tự phát triển bao gồm sản xuất, hàn nối, vận chuyển và lắp đặt thanh ray dài đã đảm bảo đáng tin cậy cho độ bằng phẳng, độ ổn định và độ an toàn của đường ray.

4. Sử dụng các bộ chuyển hướng tốc độ cao lớn

Bộ chuyển hướng này được áp dụng cho các kết cấu khác nhau như nền đường và cầu cạn. Đường sắt cao tốc phân thành ba loại: tuyến hành khách chuyên dụng, CN và CZ. Trong đó, Trung Quốc đã tự nghiên cứu và phát triển các bộ chuyển hướng cho phép tốc độ thông qua ngang lần lượt là 80 km/h, 160 km/h, và 220 km/h, ứng với các loại chuyển hướng số 18, số 42, và số 62.

5. Hệ thống đo lường chính xác cao

Dọc tuyến, hệ thống lưới kiểm soát mặt bằng và cao độ chính xác cao được thiết lập, cung cấp nền tảng đo lường tin cậy cho việc lắp đặt và bảo trì đường ray. Điều này bảo đảm độ chính xác không gian và duy trì lâu dài hình dạng hình học của đường ray trong các tuyến đường sắt cao tốc.

Những tiến bộ trong công nghệ đường ray này đã đóng góp quan trọng vào sự phát triển toàn diện của hệ thống đường sắt cao tốc Trung Quốc, khẳng định vị trí hàng đầu của đất nước trong lĩnh vực giao thông đường sắt toàn cầu.

CHƯƠNG 1. KẾT CẤU ĐƯỜNG RAY KHÔNG BALLAST

I. SỰ PHÁT TRIỂN VÀ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ĐƯỜNG RAY KHÔNG BALLAST TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

1. Sự phát triển của công nghệ đường ray không ballast trên đường sắt cao tốc

Với sự gia tăng tốc độ chạy tàu, đường ray có ballast thường gặp hiện tượng bột hóa ballast và biến dạng tích lũy ở tầng nền, đòi hỏi phải tăng cường kết cấu đường ray và bảo trì thường xuyên để đáp ứng các yêu cầu về độ bằng phẳng và ổn định của đường sắt cao tốc. So với đường ray có ballast, đường ray không ballast có các ưu điểm vượt trội như: độ bằng phẳng cao, độ ổn định tốt, độ cứng đồng đều, độ bền cao và khối lượng bảo trì giảm đáng kể.

Từ những năm 1960, nhiều quốc gia trên thế giới đã nghiên cứu công nghệ đường ray không ballast với kết cấu tầng nền được cố định thay vì sử dụng lớp đá ballast truyền thống. Một số quốc gia đã áp dụng đường ray không ballast làm loại kết cấu chính cho đường sắt cao tốc và phổ biến rộng rãi.

1.1. Sự phát triển công nghệ đường ray không ballast ở nước ngoài

Nhật Bản và Đức là hai quốc gia áp dụng rộng rãi công nghệ đường ray không ballast cho đường sắt cao tốc, trong khi Hàn Quốc, Pháp và một số quốc gia khác cũng đã có những ứng dụng thực tiễn.

• **Nhật Bản**: Từ giữa những năm 1950, Nhật Bản bắt đầu nghiên cứu công nghệ đường ray không ballast, dựa trên điều kiện địa hình và yêu cầu kinh tế quốc gia. Các nguyên tắc chính là chi phí thấp, hiệu quả thi công cao, và khả năng sửa chữa dễ dàng. Nhật Bản đã lựa chọn kết cấu đường ray không ballast dạng tấm đơn vị cho tuyến Shinkansen, tiến hành các thử nghiệm mô hình, xây dựng hơn 20 đoạn thử nghiệm thực địa, và thực hiện các thí nghiệm động lực học cũng như quan sát trạng thái. Đến nay, Nhật Bản đã lắp đặt khoảng 3.000 km đường ray không ballast, ban đầu tập trung tại các đoạn hầm, cầu cạn, và sau đó mở rộng ra nền đất từ những năm 1990.

• **Đức**: Công nghệ đường ray không ballast của Đức đã phát triển trong gần 40 năm, từ phân tích lý thuyết, thí nghiệm trong phòng, thử nghiệm trên các đoạn ngắn, đến ứng dụng phổ biến hiện nay. Ban đầu, công nghệ này gặp nhiều nghi ngờ vì chi phí cao và kỹ thuật chưa hoàn thiện. Nhưng từ những năm 1990, sau các thử nghiệm thành công, Đức đã quyết định sử dụng đường ray không ballast trên các đoạn hầm, vùng chuyển hướng, và các tuyến mới có tốc độ thiết kế 300 km/h. Hiện Đức đã có khoảng 800 km đường ray không ballast, chủ yếu sử dụng cấu trúc bê tông đúc sẵn và các loại cấu trúc tấm nối tiếp.

Khía cạnh kinh tế của đường ray không ballast

Theo thống kê từ Đức, chi phí lắp đặt đường ray không ballast cao hơn đường ray có ballast khoảng 1,3-1,7 lần, nhưng chi phí bảo trì thấp hơn đáng kể. Khi xây dựng tuyến mới, đường ray không ballast giúp giảm chiều cao và bề rộng của kết cấu đường ray, tiết kiệm chi phí cho cầu và hầm. Ngoài ra, đường ray không ballast có độ ổn định tốt, khả năng giữ trạng thái hình học cao, và cho phép thiết kế linh hoạt hơn.

1.2. Sự phát triển công nghệ đường ray không ballast tại Trung Quốc

Nghiên cứu công nghệ đường ray không ballast tại Trung Quốc bắt đầu từ cuối những năm 1950, trải qua các giai đoạn từ nghiên cứu lý thuyết, thử nghiệm mô hình, xây dựng đoạn thử nghiệm thực tế, đến ứng dụng quy mô lớn trên các tuyến cao tốc. Quá trình phát triển này tương tự như các quốc gia khác, bắt đầu từ các đoạn nền vững chắc như hầm, sau đó mở rộng ra cầu và nền đất.

(1) Nghiên cứu và ứng dụng trên đường sắt thông thường

Từ năm 1957 đến 1984, Trung Quốc đã lắp đặt khoảng 300 km đường ray không ballast trong 142 hầm đơn có chiều dài trên 1.000 m thuộc các tuyến Thành Côn, Kinh Nguyên, Kinh Thông, và Nam Cương. Kết cấu chủ yếu là đường ray không ballast với khối bê tông cốt thép đỡ.

(2) Nghiên cứu sơ bộ về công nghệ đường ray không ballast cho đường sắt cao tốc

Từ năm 1998 đến 2003, với sự hỗ trợ của các dự án nghiên cứu quốc gia, Trung Quốc đã thực hiện các thử nghiệm trên các cầu lớn và hầm như cầu Sa Hà, cầu Cẩu Hà, và hầm Ngư Khẩu thuộc tuyến Tần Thẩm. Nghiên cứu tập trung vào thiết kế lý thuyết, phương pháp, và thông số kỹ thuật của đường ray không ballast, cũng như tác động của nền biến dạng. Qua các thí nghiệm tĩnh tải, mỏi, và va đập, đã xác nhận tính ổn định và độ cứng của các kết cấu đường ray không ballast.

(3) Đoạn thử nghiệm trên tuyến Toại Du

Từ năm 2004 đến 2006, Trung Quốc xây dựng đoạn thử nghiệm dài 13,157 km trên tuyến Toại Du để nghiên cứu các vấn đề kỹ thuật quan trọng. Kết quả là phát triển thành công các kết cấu đường ray không ballast dạng tấm đơn, tấm liên tục, hai khối, và kết cấu vùi tà vẹt khu vực chuyển hướng, cùng hệ thống gắn kết WJ-7 và WJ-8.

(4) Tiếp nhận công nghệ từ nước ngoài

Năm 2005, Trung Quốc tiếp nhận các công nghệ đường ray không ballast từ Đức và Nhật Bản, áp dụng vào các tuyến cao tốc như Bắc Kinh - Thiên Tân, Vũ Hán - Quảng Châu, và Trịnh Châu - Tây An. Các công nghệ này bao gồm thiết kế, thi công, kiểm tra và bảo trì, thúc đẩy sự phát triển công nghệ trong nước.

(5) Cải tiến và sáng tạo lại công nghệ

Từ năm 2006, Trung Quốc đã tiến hành nghiên cứu cải tiến trên cơ sở phân tích các kết quả trước đó và tiếp thu công nghệ nước ngoài. Các nghiên cứu đã được áp dụng trên các tuyến thử nghiệm như Vũ Hán - Quảng Châu và tuyến lạnh Băng Tuyến, xây dựng hệ thống tiêu chuẩn và phương pháp thiết kế phù hợp với điều kiện địa lý và môi trường phức tạp tại Trung Quốc. Những nghiên cứu và phát triển này đã giúp Trung Quốc hoàn thiện hệ thống công nghệ đường ray không ballast, bao gồm thiết kế, thi công, vật liệu, và kiểm tra chất lượng.

2. Ứng dụng đường ray không ballast trên đường sắt cao tốc tại Trung Quốc

Dựa trên mô hình tổ chức vận tải đường sắt cao tốc của Trung Quốc, điều kiện nền móng với tỷ lệ cầu và hầm cao, cùng các yêu cầu khắt khe về độ ổn định, độ bằng phẳng và độ bền của kết cấu đường ray, Trung Quốc đã tiến hành phân tích và đánh giá toàn diện về kỹ thuật và kinh tế. Từ đó, đưa ra nguyên tắc chung: các tuyến đường sắt cao tốc có tốc độ thiết kế từ 300 km/h trở lên sẽ chủ yếu áp dụng kết cấu đường ray không ballast, trong khi các tuyến đường sắt có tốc độ thiết kế từ 200 đến 250 km/h sẽ sử dụng kết cấu đường ray có ballast, ngoại trừ các hầm dài và khó bảo trì, nơi sẽ áp dụng đường ray không ballast.

Hệ thống đường ray không ballast trên đường sắt cao tốc tại Trung Quốc được chia thành hai nhóm lớn với sáu loại kết cấu khác nhau. Các loại kết cấu và ứng dụng thực tiễn được trình bày trong Bảng 1-1-1. Tính đến thời điểm hiện tại, tổng chiều dài đường ray không ballast đang vận hành tại Trung Quốc đã vượt hơn 5.500 km, giữ vị trí số một thế giới.

Bảng 1-1-1: Các loại kết cấu đường ray không ballast và ứng dụng

Loại kết cấu đường ray không ballast		Tuyến đường áp dụng
Đường ray không ballast dạng tấm đúc sẵn	CRTSI dạng tấm	Cáp Nhĩ Tân - Đại Liên, Quảng Châu - Thâm Quyến, Cáp Nhĩ Tân - Tề Tề Cáp Nhĩ, Thành Đô - Miên Dương - Lạc Sơn, Thượng Hải - Nam Kinh, Quảng Châu - Chu Hải, Nam Kinh - An Khánh
	CRTSII dạng tấm	Bắc Kinh - Thiên Tân, Bắc Kinh - Thượng Hải, Thượng Hải - Hàng Châu, Nam Kinh - Hàng Châu, Hàng Châu - Trường Sa, Bắc Kinh - Thạch Gia Trang - Vũ Hán, Hợp Phì - Bạng Phụ, Thiên Tân - Tần Hoàng Đảo
	CRTSIII dạng tấm	Thành Đô - Quản Đô, Bàn Doanh, các tuyến nội đô thành phố Vũ Hán, Thẩm Dương - Đan Đông, Thành Đô - Miên Dương - Lạc Sơn
	Dạng tấm khu vực chuyển hướng	Tuyến Vũ Hán - Quảng Châu, Bắc Kinh - Thượng Hải, Bắc Kinh - Thạch Gia Trang, Thạch Gia Trang - Vũ Hán
Đường ray không ballast dạng bê tông đúc tại chỗ	Dạng hai khối	Tuyến Vũ Hán - Quảng Châu, Trịnh Châu - Tây An, Thành Đô - Trùng Khánh, Lan Châu - Tân Cương
	Dạng vùi tà vẹt khu vực chuyển hướng	Tuyến Vũ Hán - Quảng Châu, Trịnh Châu - Tây An, Cáp Nhĩ Tân - Đại Liên

II. LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ ĐƯỜNG RAY KHÔNG BALLAST

Cấu trúc đường ray không ballast là một dạng kết cấu dạng dải, được lắp đặt trên nền móng đàn hồi và phải chịu tải trọng lặp đi lặp lại từ tàu, cùng với các biến đổi môi trường trong thời gian dài. Cấu trúc này bao gồm nhiều bộ phận với các chức năng khác nhau. Trong thiết kế, cấu trúc đường ray cần đảm bảo đủ khả năng chịu tải, chống biến dạng và độ bền trong các điều kiện tải trọng từ tàu và tác động của môi trường.

1. Tải trọng thiết kế cho đường ray không ballast

Tải trọng thiết kế cho kết cấu đường ray không ballast bao gồm các loại như tải trọng từ tàu, tải trọng nhiệt độ, tải trọng kéo/phanh và các tác động từ biến dạng nền móng bên dưới (như lún hoặc biến dạng nền móng). Phân loại tải trọng được trình bày trong Bảng 1-1-2. Tải trọng được chia thành ba loại chính: tải trọng chính, tải trọng phụ và tải trọng đặc biệt. Dựa trên đặc điểm chịu lực của kết cấu, các tổ hợp tải trọng khác nhau sẽ được xem xét để kiểm tra cường độ, tính ổn định và khả năng chịu mỏi của cấu trúc.

Bảng 1-1-2: Phân loại tải trọng đường ray không ballast

Phân loại tải trọng		Tên tải trọng
Tải trọng chính	Tĩnh tải	Trọng lượng kết cấu
		Co ngót và từ biến của bê tông
	Hoạt tải	Tải trọng từ tàu
		Tải trọng nhiệt độ
		Độ võng của cầu
Tải trọng phụ		Lực phanh/kéo
		Tải trọng từ lún không đồng đều của nền móng
Tải trọng đặc biệt		Tải trọng tạm thời trong thi công

1.1. Tải trọng từ tàu

(1) Tải trọng thiết kế thẳng đứng:

$$P_d = \alpha \cdot P_j \tag{1-1-1}$$

trong đó:

P_d - tải trọng thiết kế thẳng đứng (kN);

P_j - tải trọng tĩnh của bánh xe (kN);

α - hệ số tải trọng động, với:

+ Tuyến có tốc độ thiết kế từ 300 km/h trở lên, $\alpha = 3.0$;

+ Tuyến có tốc độ thiết kế 250 km/h, $\alpha = 2.5$.

(2) Tải trọng thiết kế ngang:

$$Q = 0.8 \cdot P_d \tag{1-1-2}$$

trong đó:

Q - tải trọng thiết kế ngang (kN).

(3) Tải trọng kiểm tra mỏi:

Thẳng đứng: $$P_f = 1.5 \cdot P_j \quad (1\text{-}1\text{-}3)$$

Nằm ngang: $$Q_f = 0.4 \cdot P_j \quad (1\text{-}1\text{-}4)$$

trong đó:

P_f - tải trọng kiểm tra mỏi thẳng đứng (kN);

Q_f - tải trọng kiểm tra mỏi ngang (kN).

1.2. Tải trọng nhiệt độ và tải trọng tương đương từ co ngót bê tông

Sự thay đổi nhiệt độ môi trường có ảnh hưởng đáng kể đến đường ray không ballast, bao gồm hai yếu tố chính: biến đổi nhiệt độ năm và biến đổi nhiệt độ ngày. Đối với hiện tượng co ngót của bê tông đúc tại chỗ, thiết kế thường quy đổi thành tải trọng giảm nhiệt độ tương đương để dễ dàng tính toán.

Biến đổi nhiệt độ năm

Biến đổi nhiệt độ năm chủ yếu ảnh hưởng đến các cấu trúc đường ray không ballast liên tục theo phương dọc, như đường ray không ballast dạng tấm CRTS II hoặc dạng hai khối trên nền đường. Trong thiết kế, biên độ biến đổi nhiệt độ năm thường được xác định bằng sự chênh lệch giữa nhiệt độ trung bình của tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất trong năm.

Do biến đổi nhiệt độ năm diễn ra chậm và lâu dài, khi tính toán ứng suất nhiệt trong cấu trúc bê tông, cần xem xét đến môđun đàn hồi từ biến của bê tông để đảm bảo độ chính xác.

Biến đổi nhiệt độ ngày

Biến đổi nhiệt độ ngày là sự thay đổi nhiệt độ không khí trong một chu kỳ 24 giờ, chủ yếu do bức xạ nhiệt từ mặt trời. Do bê tông có khả năng dẫn nhiệt kém, lớp bê tông phía trên của đường ray không ballast hoặc tấm nền chịu tác động trực tiếp từ ánh sáng mặt trời và nhiệt độ không khí, dẫn đến hình thành gradient nhiệt độ theo chiều cao. Gradient này gây ra hiện tượng biến dạng cong vênh và xuất hiện ứng suất cong vênh trong tấm nền hoặc đường ray.

Trong thiết kế, giá trị gradient nhiệt độ được xác định dựa trên đặc điểm khí hậu của khu vực và loại kết cấu đường ray không ballast, thông thường được lấy là 45°C/m.

Tải trọng tương đương từ co ngót bê tông. Hiện tượng co ngót của bê tông chủ yếu bị ảnh hưởng bởi:

- Tỷ lệ phối trộn của bê tông;
- Phương pháp thi công;

- Điều kiện khí hậu tại công trình;

- Mức độ bảo dưỡng.

Theo tiêu chuẩn "Quy chuẩn Thiết kế Cầu và Cống Đường sắt" (TB 10002-2017), tác động của co ngót bê tông được quy đổi thành một mức giảm nhiệt độ tương đương trong tính toán. Thông thường, giá trị này được lấy là 10°C để đảm bảo tính đơn giản và nhất quán trong thiết kế.

1.3. Ảnh hưởng của biến dạng nền móng

Biến dạng nền móng bao gồm các yếu tố chính như:

- Lún không đồng đều của nền đường;

- Độ võng của cầu;

- Góc quay tại đầu dầm;

- Lún không đồng đều của trụ và móng cầu.

Biến dạng lún của nền móng phía dưới có thể gây ra mômen uốn phụ trên cấu trúc đường ray không ballast phía trên.

- ***Lún không đồng đều của nền đường:***

Mômen uốn phụ do lún không đồng đều của nền đường được coi là tải trọng ngẫu nhiên với xác suất xảy ra thấp. Hình dạng lún không đồng đều được giả định là một nửa đường sóng hình sin lõm xuống. Khi tính toán khả năng chịu tải của đường ray không ballast, cần xem xét một mức độ lún không đồng đều nhất định. Thông thường, giá trị được lấy là 15 mm/20 m hoặc giới hạn góc quay mặt ray là 1‰.

- Tại các đoạn nền đường thông thường, chỉ cần xem xét lún không đồng đều theo phương dọc.

- Tại khu vực chuyển hướng, cần tính đến cả lún không đồng đều theo phương ngang.

- ***Độ võng của cầu:***

Khi cầu chịu tải trọng từ tàu, độ võng thường được tính toán dựa trên giới hạn thiết kế góc quay tại đầu dầm quy định trong tiêu chuẩn hoặc giá trị độ võng thực tế trong điều kiện vận hành.

- ***Kiểm tra ứng suất và ổn định kết cấu trên cầu:***

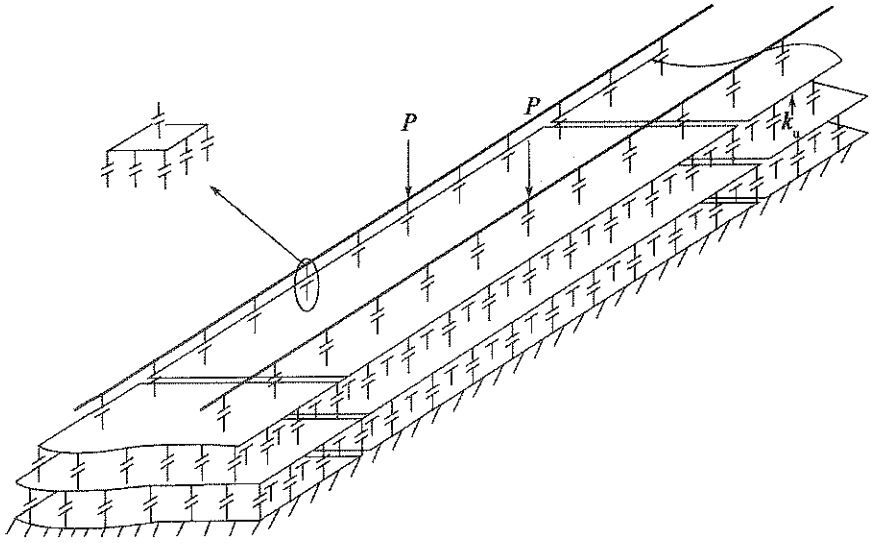
Đối với đường ray không ballast dạng tấm liên tục dọc trên cầu, việc kiểm tra ứng suất của tấm nền và ổn định của kết cấu đường ray tại đầu dầm cần xem xét đến lún không đồng đều giữa các trụ cầu hoặc móng cầu liền kề. Giới hạn lún sẽ được xác định dựa trên các quy định trong tiêu chuẩn thiết kế tương ứng.

2. Ứng suất tải trọng tàu trên đường ray không ballast

Trong cấu trúc đường ray không ballast, các lớp chịu tải có chiều dày nhỏ hơn rất nhiều so với chiều dài và chiều rộng. Độ võng dưới tác dụng của tải trọng cũng nhỏ hơn đáng kể so với chiều dày, phù hợp với đặc điểm của tấm mỏng đàn hồi và có thể mô phỏng bằng mô hình tấm vỏ.

• Thanh ray thuộc dạng cấu trúc dài và mảnh, phù hợp để mô phỏng bằng mô hình dầm.

• Các bộ phận đàn hồi, bao gồm hệ thống gắn kết, lớp trung gian (như lớp vữa, lớp giảm chấn), và nền móng bên dưới được mô phỏng bằng các lò xo đàn hồi khác nhau. Tất cả tạo thành mô hình dầm-tấm trên nền đàn hồi của đường ray không ballast (Hình 1-1-1).



Hình 1-1-1: *Mô hình dầm-tấm trên nền đàn hồi của đường ray không ballast*

Trong mô hình này, các thành phần như thanh ray, hệ thống gắn kết, tấm nền (hoặc tấm đáy), lớp vữa, lớp đế (hoặc lớp chịu lực), và nền móng bên dưới được mô phỏng với các thông số tính toán dựa trên các nguyên tắc sau:

(1) Thanh ray được coi là dầm đàn hồi có điểm gắn kết, với độ cứng chống uốn được xác định bởi $E_R J_R$. Trong thiết kế, sử dụng thanh ray mới 60 kg/m để tính toán.

(2) Đường ray không ballast chịu tải trọng động từ tàu, vì vậy, độ cứng lò xo tại các điểm gắn kết được lấy từ độ cứng động của hệ thống gắn kết. Nếu không có dữ liệu thực nghiệm, độ cứng động có thể ước tính bằng 1,5 lần độ cứng tĩnh. Khoảng cách giữa các lò xo gắn kết được xác định bằng khoảng cách giữa các điểm hỗ trợ của thanh ray α.

(3) Tấm nền (hoặc tấm đáy) và lớp đế (hoặc lớp chịu lực) được coi là các vật liệu đàn hồi có môđun đàn hồi E_i, hệ số Poisson γ_i và chiều dày đồng nhất h_i.

(4) Các lớp chịu tải trong đường ray không ballast bao gồm:

- Bê tông cốt thép dự ứng lực: không cho phép xuất hiện vết nứt.

- Bê tông cốt thép thường: cho phép xuất hiện vết nứt nhưng cần kiểm soát độ rộng vết nứt thông qua thiết kế cốt thép.

- Bê tông thường và vật liệu thủy hóa: cho phép xuất hiện vết nứt, nhưng cần sử dụng môđun đàn hồi giảm để tính toán.

(5) Lò xo đàn hồi giữa hai lớp tấm vỏ được mô phỏng bằng hệ lò xo tuyến tính đồng nhất liên tục. Độ cứng bề mặt của lò xo được tính theo nguyên tắc: $k_i = E_i/h_i$. Độ cứng tổng của lò xo bề mặt giữa hai lớp tấm vỏ được xác định bằng cách liên kết nối tiếp các lò xo bề mặt: $1/k = \frac{\sum 1}{k_i}$

(6) Độ cứng nền móng bị ảnh hưởng bởi đường kính của tấm chịu tải. Khi đường kính tấm chịu tải nhỏ, độ cứng nền móng sẽ tăng. Khi đường kính D ≥ 76 cm, sự thay đổi này ít ảnh hưởng đến độ cứng nền móng. Đối với đường ray không ballast, diện tích chịu tải của tấm nền hoặc tấm đáy khá lớn, giá trị k76 (độ cứng nền với tấm đường kính 76 cm) thường được sử dụng. Nếu không có giá trị k76 có thể sử dụng 0,4 lần giá trị k30 để tính toán. Khi chỉ số nén chặt của lớp nền được biểu thị bằng môđun biến dạng, có thể áp dụng lý thuyết hệ đàn hồi phân lớp để tính toán. Lý thuyết này phân tích chuyển vị của mặt nền đường dưới tải trọng phân bố đều từ tấm chịu tải cứng, từ đó suy ra độ cứng chịu tải của bề mặt nền.

3. Ứng suất nhiệt độ của đường ray không ballast

Tải trọng nhiệt độ, bao gồm biến đổi nhiệt độ năm và co ngót bê tông (tương đương với giảm nhiệt độ), có ảnh hưởng đáng kể đến lực tác động trong cấu trúc đường ray không ballast. Đặc biệt, trong các hệ thống đường ray không ballast liên tục theo phương dọc như CRTS II hoặc đường ray không ballast dạng hai khối trên nền đường, sự thay đổi nhiệt độ gây ra lực kéo/nén lớn bên trong kết cấu. Đây là yếu tố quan trọng trong thiết kế cốt thép của đường ray không ballast.

3.1. Ứng suất nhiệt độ trong đường ray không ballast liên tục theo phương dọc

Trong các cấu kiện bê tông cốt thép chịu kéo theo phương trục, vết nứt có thể xuất hiện dưới hai dạng:

- Vết nứt không ổn định: Khi tải trọng tăng, độ rộng của vết nứt lớn nhất không thay đổi, nhưng số lượng vết nứt tăng lên và khoảng cách giữa các vết nứt giảm.
- Vết nứt ổn định: Khi tải trọng tăng, số lượng vết nứt không đổi, nhưng độ rộng của các vết nứt lớn dần.

Trong thiết kế, để kiểm soát vết nứt trong tấm đáy liên tục (hoặc tấm nền), vết nứt phải được giữ ở trạng thái không ổn định nhằm hạn chế các tác động xấu đến kết cấu.

Trong trạng thái vết nứt không ổn định, lực kéo nhiệt độ lớn nhất trong tấm đáy hoặc tấm nền được tính như sau:

$$P_t = f_t A \tag{1-1-5}$$

trong đó: P_t - lực kéo nhiệt độ lớn nhất (N);

f_t - cường độ chịu kéo của bê tông (MPa);

A - diện tích mặt cắt của tấm đáy (hoặc tấm nền) (mm^2).

Độ rộng vết nứt lớn nhất:

$$W_{cr,\max} = \frac{f_t \alpha d(1+n\rho)}{E_s \rho^2} \tag{1-1-6}$$

trong đó: $W_{cr,\max}$ - độ rộng vết nứt lớn nhất (mm);

E_s - môđun đàn hồi của thép (MPa);

ρ - tỷ lệ cốt thép của tấm đáy (hoặc tấm nền) (%);

α - hệ số hình dạng của thép (0.16 đối với thép trơn, 0.14 đối với thép gân);

d - đường kính của cốt thép (mm);

n - tỷ lệ giữa môđun đàn hồi của thép và bê tông.

Ứng suất lớn nhất của cốt thép:

$$\sigma_{s,\max} = \frac{f_t}{\rho} + nf_t \tag{1-1-7}$$

trong đó: $\sigma_{s,\max}$ - ứng suất lớn nhất của cốt thép (MPa).

3.2. Phương pháp tính ứng suất giãn nở trong đường ray không ballast dạng đơn vị

Đối với đường ray không ballast dạng đơn vị, khi liên kết giữa các lớp không đủ chặt, lực dọc trong tấm nền được kiểm soát bởi:

- Lực ma sát tương đương bên dưới tấm nền;
- Lực cản dọc từ hệ thống gắn kết;
- Kết cấu hạn chế chuyển vị.

Khi tải trọng nhiệt độ vượt quá cường độ chịu kéo của bê tông trong đường ray không ballast dạng đơn vị, phương pháp tính toán sẽ chuyển sang sử dụng mô hình của đường ray không ballast liên tục theo phương dọc để đảm bảo độ bền và an toàn cho kết cấu.

4. Ứng suất cong vênh trong đường ray không ballast

Do bê tông là loại vật liệu nhạy cảm với thể tích, tấm đường ray (hoặc tấm nền) trực tiếp chịu ảnh hưởng từ sự thay đổi nhiệt độ và độ ẩm bên ngoài, dẫn đến biến đổi nhiệt độ và trạng thái độ ẩm hàng ngày cũng như hàng năm. Ảnh hưởng của sự thay đổi khí quyển này giảm dần khi độ sâu từ bề mặt tăng lên. Sự biến đổi nhiệt độ và trạng thái độ ẩm theo thời gian và chiều sâu làm tấm đường ray (hoặc tấm nền) phát sinh hiện tượng biến dạng cong vênh và ứng suất cong vênh.

Để thuận tiện trong tính toán, ứng suất cong vênh của tấm đường ray (hoặc tấm nền) theo phương ngang và dọc trong đường ray không ballast dạng đơn vị hoặc liên tục được tính toán theo công thức cong vênh của tấm vô hạn của Westergaard:

- Ứng suất cong vênh ngang và dọc:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{E_c \alpha \Delta T}{2(1-\gamma)} \tag{1-1-8}$$

- Mômen cong vênh ngang và dọc:

$$M_x = M_y = \frac{E_c \alpha \Delta T^2}{12(1-\gamma)} \tag{1-1-9}$$

trong đó:

σ_x, σ_y - ứng suất cong vênh ngang và dọc trong tấm đường ray (hoặc tấm nền);

M_x, M_y - mômen cong vênh ngang và dọc trong tấm đường ray (hoặc tấm nền);

E_c - môđun đàn hồi của bê tông trong tấm đường ray (hoặc tấm nền) (MPa);

γ - hệ số Poisson của bê tông;

α - hệ số giãn nở nhiệt của bê tông ($°C^{-1}$);

ΔT - biến đổi nhiệt độ gây ra cong vênh trong tấm đường ray (hoặc tấm nền);

h - chiều dày của tấm đường ray (hoặc tấm nền).

5. Biến dạng nền móng

Đối với biến dạng nền móng dạng hình sin, có thể sử dụng phương pháp nền móng cứng hoặc phương pháp phần tử hữu hạn dầm-tấm để tính toán:

- Phương pháp nền móng cứng: Giả định rằng lớp chịu tải của đường ray không ballast biến dạng đồng nhất với sự lún của nền móng. Mômen uốn của lớp chịu tải được tính bằng tích của độ cứng chống uốn của tấm nền và độ cong của biến dạng.

- Phương pháp phần tử hữu hạn dầm-tấm: Sử dụng mô hình dầm-tấm trên nền đàn hồi đã được xây dựng trước đó, điều chỉnh vùng có lún không đồng đều thành giá đỡ phi tuyến. Kết quả tính toán sẽ khác nhau tùy thuộc vào độ dài tấm ray, phạm vi lún, cũng như vị trí tương đối giữa vùng lún và khe nối của cấu trúc đường ray.

Việc sử dụng mô hình phần tử hữu hạn để tính toán chi tiết các tải trọng và đường cong lún nhằm tìm ra mômen uốn phụ lớn nhất do lún là một quá trình phức tạp. Trong thiết kế thông thường, phương pháp nền móng cứng thường được ưu tiên sử dụng.

6. Thiết kế cấu trúc đường ray không ballast

6.1. Đường ray không ballast dạng đơn vị theo phương dọc

Áp dụng cho các cấu trúc như đường ray không ballast dạng tấm CRTS I, CRTS III, hoặc đường ray không ballast dạng hai khối trên cầu.

Trong thiết kế kết cấu chính của tấm nền (hoặc tấm đáy), cần xem xét:

- Tải trọng từ đoàn tàu;

- Tải trọng tạm thời trong quá trình thi công;

- Tải trọng nhiệt độ;

- Ảnh hưởng của co ngót và từ biến của bê tông.

Đồng thời, cần kiểm tra khả năng chịu tải của cấu trúc trong điều kiện lún không đồng đều ở mức giới hạn, cũng như ảnh hưởng của góc xoay hoặc dịch chuyển tại đầu dầm đối với hệ thống gắn kết và sự ổn định của đường ray. Trong điều kiện tải trọng bình thường, đường ray không ballast dạng đơn vị thường làm việc trong trạng thái đàn hồi, và phương pháp ứng suất cho phép thường được áp dụng để thiết kế cốt thép.

6.2. Đường ray không ballast liên tục theo phương dọc

Áp dụng cho các cấu trúc như đường ray không ballast dạng tấm CRTS II hoặc đường ray không ballast dạng hai khối trên nền đường.

Trong thiết kế, ngoài việc xem xét các yếu tố như:

- Tải trọng từ đoàn tàu;

- Ảnh hưởng của co ngót và từ biến của bê tông.

Cần lưu ý ảnh hưởng lớn của tải trọng nhiệt độ đến lực tác động lên đường ray, tương tự như trong các tuyến đường ray không mối nối.

- Tấm bê tông của đường ray được thiết kế như một thanh chịu kéo/nén theo phương trục.

- Cho phép bê tông xuất hiện vết nứt nhưng cần giảm độ cứng của mặt cắt bê tông sau khi nứt.

6.3. Các yếu tố thiết kế riêng biệt

- Khu vực nền đường: Tập trung vào tải trọng nhiệt độ, tải trọng đoàn tàu, và ảnh hưởng của co ngót và từ biến bê tông.

- Khu vực cầu: Đối với đường ray không ballast liên tục trên các khe nối cầu, cần xem xét thêm tải trọng kéo/phanh, độ võng của cầu, và góc xoay tại đầu dầm.

Cần thực hiện:

- Thiết kế cốt thép dựa trên điều kiện chịu kéo bất lợi nhất theo trục, kiểm tra vết nứt bê tông và khả năng chịu tải theo trạng thái giới hạn sử dụng và giới hạn khả năng chịu tải.

- Kiểm tra ổn định chống uốn trong điều kiện chịu nén bất lợi nhất theo trục.

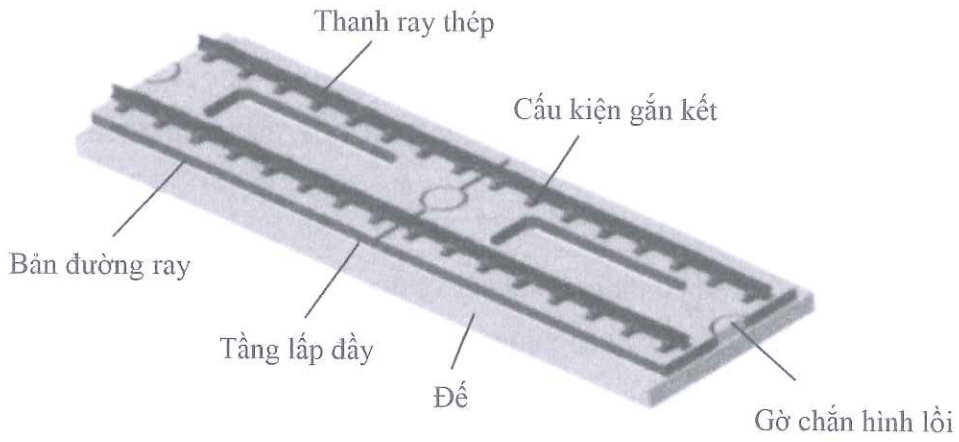
- Thiết kế kết nối chống cắt dọc tại các điểm cuối hoặc đoạn gián đoạn thi công trong đường ray không ballast liên tục.

III. KẾT CẤU VÀ YÊU CẦU KỸ THUẬT CỦA ĐƯỜNG RAY KHÔNG BALLAST TRÊN ĐƯỜNG CAO TỐC

1. Đường ray không ballast dạng tấm CRTS I

1.1. Kết cấu và chức năng

Hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS I bao gồm các thành phần: thanh ray thép, hệ thống gắn kết, tấm bê tông ray, lớp vữa xi măng-nhựa đường nhũ hóa, đế bê tông cốt thép, gờ chắn, và vật liệu nhựa xung quanh gờ chắn, như minh họa trong Hình 1-1-2.



Hình 1-1-2: *Đường ray không ballast dạng tấm CRTS I*

(1) Hệ thống gắn kết

Hệ thống gắn kết của đường ray CRTS I sử dụng loại gắn kết đàn hồi tách biệt có khả năng điều chỉnh mạnh vị trí trái-phải và cao-thấp của thanh ray (như hệ thống gắn kết WJ-7). Các chức năng chính:

- Duy trì khổ đường ray;
- Cung cấp độ đàn hồi cho đường ray;
- Điều chỉnh hình dáng và vị trí hình học của đường ray;
- Đáp ứng yêu cầu cách điện của đường ray;
- Điều chỉnh lực cản dọc tuyến.

(2) Tấm bê tông ray

Tấm bê tông ray là thành phần trực tiếp chịu tải của hệ thống đường ray không ballast CRTS I. Tùy theo điều kiện môi trường, tấm bê tông ray có ba loại cấu trúc chính:

- Tấm bê tông dự ứng lực dạng liền khối (P);
- Tấm bê tông dự ứng lực dạng khung (PF);
- Tấm bê tông thường dạng khung (RF).

Chức năng chính:

- Định vị và lắp đặt thanh ray và hệ thống gắn kết;
- Chịu tải trọng và truyền tải trọng đứng xuống lớp vữa và đế bê tông;
- Truyền tải trọng ngang đến gờ chắn;
- Cung cấp giao diện cho các kết cấu đường ray với mạch tín hiệu và hệ thống nối đất tích hợp.

(3) Gờ chắn và vật liệu nhựa xung quanh

- Gờ chắn là cấu trúc giới hạn của hệ thống CRTS I, được lắp đặt ở giữa hai đầu của đế bê tông.

Chức năng chính:

+ Giới hạn chuyển vị theo phương ngang và dọc của tấm bê tông ray;

+ Chịu tải trọng ngang và truyền xuống đế bê tông và nền móng;

+ Làm điểm kiểm soát mạng lưới chuẩn cho đường ray.

- Vật liệu nhựa: Lấp đầy khoảng trống giữa tấm bê tông ray và gờ chắn, giảm lực va đập ngang, và điều hòa biến dạng nhiệt của tấm bê tông ray.

(4) Lớp vữa xi măng-nhựa đường nhũ hóa

Lớp vữa xi măng-nhựa đường nhũ hóa có:

- Cường độ và môđun đàn hồi thấp;
- Khả năng thi công tốt (thi công bằng phương pháp túi chứa).

Chức năng chính:

- Điều chỉnh độ phẳng trong thi công;
- Đảm bảo sự hỗ trợ đồng đều cho tấm bê tông ray;
- Truyền tải trọng, giảm va đập, và điều hòa biến dạng cong vênh do nhiệt độ của tấm bê tông ray.

(5) Đế bê tông

Đế bê tông được thiết kế dạng từng đoạn từ bê tông cốt thép.

Chức năng chính:

- Chịu tải trọng từ các lớp phía trên và truyền xuống nền móng;
- Cố định gờ chắn;
- Tạo điều kiện cho việc thiết lập độ siêu cao ở các đoạn đường cong.

1.2. Đặc điểm kỹ thuật của kết cấu đường ray

(1) Cấu trúc đồng nhất trên các loại nền móng khác nhau

Cấu trúc đường ray trên các loại nền móng như nền đường, cầu và hầm được thiết kế giống nhau, giúp tiêu chuẩn hóa việc thiết kế và thi công cả cấu trúc đường ray và nền móng.

(2) Hệ thống truyền tải trọng rõ ràng

- Gờ chắn chịu tải trọng ngang;
- Tấm bê tông ray, lớp vữa xi măng-nhựa đường nhũ hóa, và đế bê tông chịu tải trọng đứng;
- Lớp vữa xi măng-nhựa đường được bơm bằng phương pháp "túi chứa", giúp tấm bê tông ray và đế bê tông có trạng thái phân tách, tăng khả năng sửa chữa.

(3) Khả năng chịu lực và độ bền cao ở vùng khí hậu khắc nghiệt

- Ở khu vực lạnh và rất lạnh, tấm ray đúc sẵn được gia cố dự ứng lực theo cả hai phương, thiết kế nhằm kiểm soát ứng suất kéo của bê tông và không cho phép xuất hiện vết nứt, đảm bảo độ bền lâu dài.
- Ở khu vực khí hậu ấm áp, có thể sử dụng tấm ray bê tông thường dạng khung để tăng hiệu quả kinh tế, nhưng cần đảm bảo hệ thống thoát nước bên trong tấm khung luôn thông thoáng trong quá trình vận hành và bảo trì.

(4) Hệ thống gắn kết không có gờ chặn

- Hệ thống gắn kết đàn hồi tách biệt được sử dụng phổ biến.

- Vị trí ngang của thanh ray được điều chỉnh mà không cần thay thế linh kiện, thông qua việc di chuyển tấm sắt có lỗ dài.

- Vị trí cao-thấp của thanh ray được điều chỉnh bằng tấm đệm nhựa đổ đầy nhựa resin, đảm bảo độ bằng phẳng cao của đường ray.

(5) Thiết kế giảm tác động của nhiệt độ trên cầu

- Đế bê tông và tấm ray được thiết kế dạng đơn vị trên cầu, giúp giảm tác động của tải trọng nhiệt độ.

- Tác động tương tác giữa cầu và đường ray được giảm thiểu bằng cách giảm lực cản dọc tuyến thông qua việc giảm áp lực của hệ gắn kết và sử dụng tấm đệm composite.

- Đối với các cây cầu có khoảng nhiệt lớn, cần lắp đặt thiết bị điều chỉnh giãn nở của thanh ray.

(6) Lượng bê tông đổ tại chỗ ít, hiệu quả thi công cao

Thi công cần rất ít bê tông đổ tại chỗ, giúp tăng tốc độ và hiệu quả của quá trình thi công.

1.3. Yêu cầu kỹ thuật thiết kế kết cấu và liên kết tương quan của đường ray

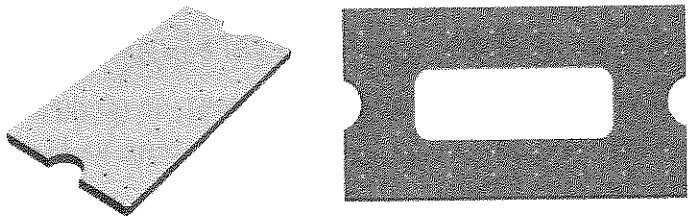
(1) Tấm bê tông ray

Phân loại:

- Tấm bê tông ray có thể được chia thành loại nguyên khối và dạng khung (Hình 1-1-3). Về mặt cấu trúc, chúng được chia thành loại dự ứng lực và loại bê tông thường.

+ Ở các khu vực lạnh và rất lạnh, để đảm bảo độ bền, thường sử dụng tấm ray dự ứng lực hai chiều.

+ Ở các khu vực ấm áp, có thể sử dụng tấm ray bê tông thường dạng khung, phù hợp về kinh tế.



a) Dạng nguyên khối b) Dạng khung

Hình 1-1-3: *Tấm bê tông đường ray không ballast dạng tấm CRTS I*

Thiết kế cốt thép:

- Thiết kế cốt thép của tấm bê tông ray được dựa trên mômen uốn thiết kế và sử dụng mô hình dầm-tấm trên nền đàn hồi để tính toán, với các yếu tố sau được xem xét:

+ Tải trọng từ đoàn tàu;

+ Tải trọng nhiệt độ;

+ Tải trọng tạm thời trong quá trình nâng, vận chuyển và lắp đặt.

Kết quả được xác định thông qua phân tích phần tử hữu hạn.

Tấm ray dự ứng lực:

- Sử dụng cấu trúc dự ứng lực sau kéo hai chiều, với cả thép dự ứng lực và thép thường bên trong. Kiểm tra và thiết kế đảm bảo:

+ Ứng suất kéo tại biên của mặt cắt bê tông không vượt quá $0.71f_{ct}$ (trong đó: f_{ct} là cường độ chịu kéo của bê tông);

+ Kiểm tra và giới hạn ứng suất nén lớn nhất của bê tông và biên độ ứng suất của thép.

Tấm ray bê tông thường dạng khung:

- Kiểm tra thiết kế với các yêu cầu:

+ Tỷ lệ cốt thép tối thiểu;

+ Ứng suất nén lớn nhất tại biên của mặt cắt bê tông;

+ Ứng suất kéo lớn nhất của thép;

+ Độ rộng vết nứt của bê tông, với giới hạn thiết kế không vượt quá 0.2 mm.

- Thông số tiêu chuẩn của tấm bê tông ray:

+ Chiều dài: 4962 mm;

+ Chiều rộng: 2400 mm;

+ Độ dày tối thiểu: 190 mm;

+ Hai đầu tấm có các khe hở nửa vòng tròn với bán kính 300 mm.

+ Cường độ bê tông:

- Tấm dự ứng lực: C60.

- Tấm khung bê tông thường: C50.

Năm 2008, dựa trên kết quả nghiên cứu cải tiến và thực tiễn triển khai đường ray không ballast, Trung Quốc đã xây dựng tiêu chuẩn tạm thời "Điều kiện kỹ thuật tấm bê tông ray CRTS I cho đường ray không ballast trên tuyến đường sắt hành khách", quy định chi tiết các yêu cầu về:

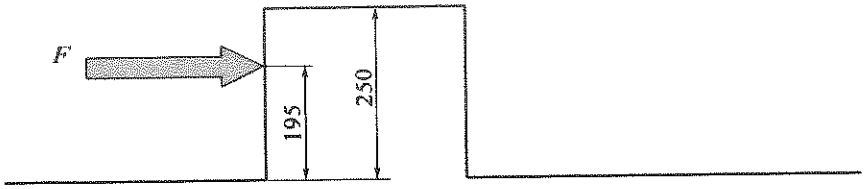
- Nguyên liệu sử dụng;
- Quy trình sản xuất và yêu cầu chất lượng;
- Phương pháp thử nghiệm;
- Quy tắc kiểm tra;
- Bảo quản, vận chuyển, và bốc dỡ.

Các dạng hư hỏng của tấm ray bao gồm: nứt bê tông, mất hoặc bong tróc các mảnh, khe hở hoặc bong tróc tại các điểm neo. Trong quá trình vận hành, nếu mức độ hư hỏng đạt cấp II, cần sửa chữa kịp thời; nếu đạt cấp III, phải sửa chữa ngay để đảm bảo độ bền của kết cấu. Trong quá trình vận hành, nếu mức độ hư hỏng đạt cấp II, cần sửa chữa kịp thời. Nếu đạt cấp III, phải sửa chữa ngay để đảm bảo độ bền của kết cấu.

(2) Gờ chắn

Gờ chắn được thiết kế như một cấu kiện dầm chìa cố định trên đế bê tông. Các tải trọng thiết kế theo phương ngang chủ yếu bao gồm: lực nhiệt, lực phanh, lực ngang từ bánh xe-đường ray, và lực kháng ngang của đường ray.

Dựa trên các tổ hợp tải trọng khác nhau, tải trọng ngang bất lợi nhất được áp dụng dưới dạng lực tập trung tác động lên gờ chắn. Điểm tác dụng của tải trọng cách mặt trên của đế bê tông 195 mm, từ đó xác định mômen uốn lớn nhất trong thiết kế. Cách chịu lực được thể hiện như trong Hình 1-1-4.



Hình 1-1-4: *Sơ đồ minh họa lực tác dụng lên gờ chắn (Đơn vị: mm)*

Dựa trên mômen thiết kế của gờ chắn, gờ chắn dạng tròn được quy đổi thành mặt cắt hình chữ nhật để tính toán cốt thép cho kết cấu. Ở các đoạn cầu có biến thiên nhiệt độ lớn, gờ chắn ở đầu dầm và các vị trí kết nối với đế bê tông chịu lực lớn, cần thiết kế đặc biệt.

Về hình dạng, gờ chắn được chia thành dạng tròn và nửa tròn, với bán kính thông thường là 260 mm. Cường độ bê tông của gờ chắn là C40.

(3) Lớp vữa xi măng nhũ tương nhựa đường

Lớp vữa xi măng nhũ tương nhựa đường trong cấu trúc đường ray không ballast CRTS I được tạo thành từ các nguyên liệu như xi măng, nhũ tương nhựa đường, nhũ tương polymer, cốt liệu mịn (cát), nước, bột nhôm và nhiều phụ gia khác.

Lớp vữa này được thiết kế với độ dày tiêu chuẩn là 50 mm, yêu cầu khi thi công không được mỏng hơn 40 mm và không dày quá 100 mm. Độ dày của lớp vữa phụ thuộc nhiều vào khả năng kiểm soát cao độ của mặt trên đế bê tông trong quá trình thi công.

Để đảm bảo chất lượng, lớp vữa cần đáp ứng các yêu cầu về cơ học, thi công và độ bền. Về mặt cơ học, vữa phải có môđun đàn hồi trong khoảng 100 - 300 MPa và cường độ chịu nén sau 28 ngày phải lớn hơn 1.8 MPa. Về khả năng thi công, lớp vữa cần đảm bảo được đổ đầy, có độ chảy phù hợp, thời gian thi công và tỷ lệ giãn nở đạt tiêu chuẩn để giúp tấm ray được hỗ trợ đồng đều. Chất lượng của lớp vữa ảnh hưởng trực tiếp đến độ bền lâu dài của cấu trúc đường ray.

Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng của vữa không chỉ bao gồm thành phần vật liệu, mà còn liên quan đến hiệu suất thiết bị phun, kỹ thuật thi công và điều kiện nhiệt độ trong quá trình thi công. Để đạt độ bền cao, lớp vữa cần có khả năng chống băng giá và chịu được các điều kiện thời tiết khắc nghiệt.

Năm 2008, dựa trên việc nghiên cứu sáng tạo và cải tiến công nghệ nhập khẩu, các tiêu chuẩn kỹ thuật tạm thời dành cho lớp vữa xi măng nhũ tương nhựa đường trong hệ thống CRTS I đã được ban hành. Tiêu chuẩn này quy định chi tiết các yêu cầu kỹ thuật về nguyên liệu, phương pháp thử nghiệm, quy trình thi công và kiểm tra chất lượng. Đặc biệt, đối với các khu vực có khí hậu khắc nghiệt, tiêu chuẩn đã bổ sung thêm các chỉ số kỹ thuật cụ thể cho vật liệu và hiệu suất vữa.

Lớp vữa xi măng nhũ tương nhựa đường là một bộ phận yếu trong cấu trúc CRTS I, cần được thi công cẩn thận và kiểm tra thường xuyên trong quá trình vận hành. Những dạng hư hỏng phổ biến gồm lớp vữa tách khỏi tấm ray, các mép và góc bị treo lơ lửng, vữa bị nứt, hư hỏng hoặc bong tróc. Đặc biệt, khi khe tách đạt đến giới hạn về chiều rộng và chiều sâu, cần tiến hành sửa chữa kịp thời để đảm bảo sự hỗ trợ ổn định của tấm ray và ngăn nước mưa xâm nhập qua khe, tránh làm trầm trọng thêm hư hỏng.

(4) Đế bê tông

Đế là một cấu trúc bê tông cốt thép với cấp độ bền bê tông là C40. Kích thước hình học của đế được xác định dựa trên thiết kế tải trọng. Việc thiết kế cốt thép của đế dựa trên sự kiểm toán về cường độ và độ rộng vết nứt do các tác động đồng thời của tải trọng tàu, tải trọng nhiệt độ và sự co ngót của bê tông. Ngoài ra, sự biến dạng lún của nền móng cũng được xem xét khi tính toán khả năng chịu lực của cấu trúc.

Lực uốn của đế do tải trọng tàu tác động được tính toán dựa trên mô hình phần tử hữu hạn của dầm trên nền đàn hồi. Do đế nằm dưới tấm ray, ứng suất uốn do nhiệt độ gây ra thường không được xem xét.

Đế được thiết kế chia đoạn dọc theo đường trên các nền móng khác nhau và có khe co giãn rộng 20 mm giữa các đoạn. Trên đoạn đường nền đất, để giảm thiểu tác động của lún không đều đến cấu trúc ray, đế bê tông được lát liên tục dọc theo chiều dài tuyến. Tùy theo điều kiện môi trường và giới hạn thiết kế vết nứt, khe co giãn ngang được đặt cách nhau 10 - 25 m. Nếu cần thiết, cấu trúc truyền lực cắt sẽ được thiết kế giữa các đế để truyền lực cắt, ngăn ngừa sự dịch chuyển dọc theo phương thẳng đứng giữa các đoạn đế liền kề.

Trên đoạn cầu, để giảm ứng suất uốn do độ cong của cầu và tải trọng nhiệt độ, khe co giãn của đế trên cầu được bố trí phù hợp với từng tấm ray, chiều dài thường từ 4-6 m. Trong đoạn hầm, thiết kế của đế xem xét tải trọng tàu và sự co ngót của bê tông, thực hiện kiểm toán về cường độ và vết nứt. Do nhiệt độ trong hầm thay đổi tương đối ít, tải trọng nhiệt độ không được xem xét, và chiều dài liên tục của đế có thể được mở rộng.

• Độ dày của đế thường là 300 mm trên đoạn nền đất, và 200 mm trên đoạn cầu và hầm. Trong các đoạn đường cong có siêu cao, độ dày tối thiểu của đế không được nhỏ hơn 100 mm.

• Việc thiết kế cốt thép của đế tuân thủ giới hạn độ rộng vết nứt là 0.2 mm, cho phép bê tông của đế xuất hiện vết nứt trong giai đoạn vận hành, nhưng khi vết nứt vượt quá giới hạn, cần được sửa chữa kịp thời.

Đế là nền tảng hỗ trợ tấm ray và là giao diện giữa đường ray không ballast và các cấu trúc nền bên dưới. Trong quá trình thi công và vận hành, cần chú ý những yếu tố quan trọng sau để đảm bảo độ bền lâu dài của cấu trúc ray:

① Kiểm soát chặt chẽ độ lệch cao độ của mặt trên đế (±5 mm) để đảm bảo lớp vữa nhũ tương nhựa đường đạt độ dày trong phạm vi thiết kế.

② Trong đoạn đường cong, bê tông đế bên ngoài của tấm ray cần được làm dốc ngược theo yêu cầu thiết kế để ngăn nước mưa xâm nhập vào lớp vữa.

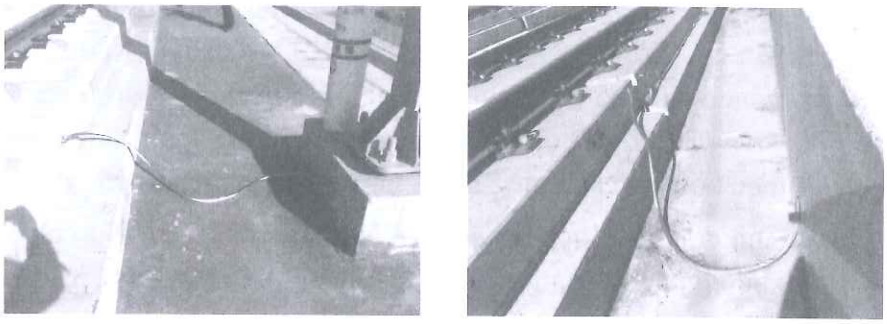
③ Các khe co giãn giữa các đế cần được niêm phong bề mặt. Vật liệu khe co giãn phải có khả năng kết dính với bê tông và có độ đàn hồi nhất định. Trong giai đoạn vận hành, khe co giãn không được xuất hiện các khe hở do sự co giãn nhiệt độ của bê tông. Nếu đạt mức hư hỏng cấp II, cần sử dụng vật liệu đàn hồi để sửa chữa.

④ Trên đoạn nền đất, ngoài việc kiểm soát chặt chẽ hàm lượng hạt mịn trong lớp lót, cần có biện pháp ngăn nước mưa xâm nhập vào vị trí tiếp giáp giữa lớp chống thấm của đế và mặt nền.

⑤ Giao diện giữa đường ray không ballast và mạch điện đường ray, hệ thống tiếp đất tích hợp.

Để phù hợp với mạch điện đường ray cộng hưởng ZPW-2000 của đường sắt cao tốc Trung Quốc, hệ thống CRTS I được thiết kế để đảm bảo tính cách điện của hệ thống bộ kẹp ray. Trong quá trình thiết kế tấm ray đúc sẵn, lưới thép thường được xử lý cách điện. Đối với các tấm ray sử dụng công nghệ căng trước sau, các tấm neo dọc được bố trí tách biệt, không tạo thành vòng kín giữa các thanh cốt thép, nhằm giảm tổn hao truyền dẫn của mạch điện đường ray.

Để bảo vệ thiết bị và đảm bảo an toàn cho con người trước các điện áp cảm ứng cao do lỗi lưới điện, hệ thống tiếp đất tích hợp được áp dụng trên cầu, hầm, và đường ray không ballast. Trong hệ thống CRTS I, tấm ray được thiết kế có các điểm tiếp đất tích hợp bao gồm thanh tiếp đất dọc, thanh nối ngang, và đầu nối tiếp đất. Các thanh tiếp đất dọc giữa các tấm ray trong khoảng 100 m được kết nối thông qua đầu nối tiếp đất, tạo thành một hệ thống điện thế đồng nhất, đồng thời kết nối với điểm tiếp đất được chôn gần tuyến đường qua giao diện hình chữ T, như được minh họa trong hình 1-1-5.



a) *b)*

Hình 1-1-5: *Liên kết giữa hệ thống CRTS I dạng tấm không ballast và hệ thống tiếp đất tích hợp*

1.4. Công nghệ cốt lõi trong cấu trúc đường ray

Cấu trúc đường ray không ballast CRTS I dạng tấm yêu cầu áp dụng nhiều công nghệ quan trọng trong thiết kế, sản xuất và thi công, nhằm đảm bảo độ phẳng, độ ổn định và độ bền của hệ thống.

(1) Kiểm soát chất lượng sản xuất tấm ray

Tấm ray là thành phần trực tiếp chịu tải trọng từ tàu và các yếu tố môi trường, vì vậy cần đảm bảo đủ độ bền, bề mặt phẳng và ngoại quan chất lượng cao. Đồng thời, tấm ray cũng kết nối với mạch điện đường ray và hệ thống tiếp đất tích hợp.

Các yếu tố chính để kiểm soát chất lượng tấm ray bao gồm:

- Đảm bảo chất lượng của các nguyên liệu như bê tông, hệ thống căng trước và vữa lấp kín lỗ neo;

- Xử lý cách điện cho cốt thép trong tấm ray, lắp đặt thanh tiếp đất và đầu nối tiếp đất;

- Kiểm soát chính xác lực căng trước;

- Xử lý thô bề mặt quanh lỗ neo và đảm bảo vữa lấp kín được nén chặt;

- Kiểm soát nhiệt độ dưỡng hộ bê tông trong quá trình sản xuất;

- Đảm bảo bề mặt tấm ray phẳng và khả năng cách điện đạt tiêu chuẩn.

(2) Sản xuất và bơm vữa xi măng nhũ tương nhựa đường và nhựa tổng hợp

Cấu trúc CRTS I yêu cầu sử dụng các vật liệu như vữa xi măng nhũ tương nhựa đường và nhựa tổng hợp. Chất lượng sản xuất và thi công của các vật liệu này ảnh hưởng trực tiếp đến sự ổn định và độ bền của cấu trúc đường ray. Ngoài chất lượng nguyên liệu, hiệu suất thiết bị bơm, kỹ thuật thi công và nhiệt độ môi trường cũng là các yếu tố quan trọng.

Quy trình sản xuất và thi công vữa xi măng nhũ tương nhựa đường cần được thực hiện bởi các chuyên gia. Trước khi thi công, cần đào tạo chuyên sâu cho nhân viên và tiến hành thí nghiệm tại chỗ để xác định tỷ lệ phối trộn phù hợp. Trong quá trình thi công, mỗi túi vữa cần được bơm đầy trong một lần, và kích thước túi vữa phải được điều chỉnh theo khoảng cách giữa đế và tấm ray để đảm bảo vữa được lấp đầy.

Nhựa xung quanh gờ chắn được thi công và nghiệm thu theo tiêu chuẩn kỹ thuật tạm thời, với nhiệt độ thi công trong khoảng 5 - 40°C, và không được thi công trong điều kiện mưa hoặc tuyết.

(3) Kỹ thuật điều chỉnh chính xác đường ray

Điều chỉnh chính xác bao gồm định vị tấm ray và điều chỉnh vị trí thanh ray. Trong thực tế, độ chính xác của sản xuất và định vị tấm ray ảnh hưởng lớn đến khối lượng công việc điều chỉnh thanh ray sau này. Vì vậy, cần kiểm soát chặt chẽ độ phẳng bề mặt tấm ray trong các khâu sản xuất, vận chuyển và lưu trữ, đồng thời sử dụng mạng lưới CPIII và các điểm chuẩn trên gờ chắn để định vị chính xác.

Sau khi lắp đặt và khóa chặt thanh ray dài, công đoạn điều chỉnh thanh ray là bước quan trọng để đảm bảo độ phẳng và độ cứng đồng đều của hệ thống CRTS I. Sử dụng hệ thống kẹp ray với khả năng điều chỉnh vị trí chính xác, công đoạn này sẽ định hình không gian của thanh ray một cách hoàn hảo.

(4) Đường ray không ballast trên cầu lớn

Các cầu lớn trên tuyến đường sắt cao tốc Trung Quốc có số lượng và loại hình đa dạng hơn so với các quốc gia khác. Trên các cầu có biến thiên nhiệt độ lớn, gờ chắn bán tròn và nhựa xung quanh ở đầu cầu chịu tác động mạnh từ tương tác giữa cầu và

đường ray. Thiết kế phải đảm bảo cả độ bền và ổn định của đường ray không nối, đồng thời điều chỉnh cấu trúc đường ray dựa trên biến thiên nhiệt độ, điều kiện khí hậu và lực kháng dọc để duy trì sự ổn định.

Trong giai đoạn xây dựng, cần tuân thủ chặt chẽ thiết kế, bố trí các kẹp ray chịu lực thấp và siết chặt bulông đàn hồi đúng với mômen xoắn yêu cầu. Trong giai đoạn vận hành, cần tăng cường kiểm tra định kỳ cấu trúc đường ray ở đầu cầu, đặc biệt là lực siết của bulông đàn hồi. Nếu bề mặt tấm đệm bị gỉ nghiêm trọng, cần thay thế kịp thời để đảm bảo an toàn và hiệu quả vận hành.

2. Đường ray không ballast dạng tấm CRTS II

Trên cơ sở tiếp thu công nghệ nhập khẩu và nghiên cứu đổi mới, Trung Quốc đã tiến hành nghiên cứu toàn diện về thiết kế cấu trúc, vật liệu kỹ thuật và công nghệ xây dựng của hệ thống CRTS II để phù hợp với các điều kiện kỹ thuật sau thi công, nền móng và môi trường của đường sắt cao tốc. Kết quả đổi mới đã được triển khai rộng rãi trên nhiều tuyến đường sắt cao tốc như Bắc Kinh - Thượng Hải, Thượng Hải - Hàng Châu, Bắc Kinh - Thạch Gia Trang - Vũ Hán, Hợp Phì - Bạng Phụ, Thiên Tân - Tần Hoàng Đảo.

2.1. Thành phần cấu trúc của đường ray

Đường ray CRTS II có đặc điểm chính là cấu trúc đường ray dọc theo tuyến có tính liên tục. Thành phần cấu trúc của đoạn đường trên nền đất và trong hầm tương đối giống nhau, trong khi cấu trúc trên cầu phức tạp hơn, với sự khác biệt đáng kể so với đường ray trên nền đất và trong hầm.

(1) Đoạn đường nền đất và trong hầm:

Gồm các thành phần:

- Thanh ray
- Hệ thống kẹp đàn hồi không tách biệt
- Tấm ray đúc sẵn (có vai chặn)
- Lớp vữa xi măng nhũ tương nhựa đường
- Lớp đỡ.

(2) Đoạn đường trên cầu:

Kết cấu phức tạp hơn, bao gồm:

- Thanh ray
- Hệ thống kẹp đàn hồi không tách biệt
- Tấm ray đúc sẵn (có vai chặn)

- Lớp vữa xi măng nhũ tương nhựa đường
- Tấm đáy
- Lớp trượt
- Tấm cách nhiệt chịu lực cao
- Khối chặn bên
- Tấm giới hạn đàn hồi.

Ngoài ra, phần nền đất phía sau mố cầu được trang bị:

- Cấu trúc neo (bao gồm tấm ma sát, vải địa kỹ thuật, và các đầu móc)
- Tấm chuyển tiếp.

2.2. Đặc điểm kỹ thuật của cấu trúc đường ray CRTS II

(1) Kết cấu đường ray có tính liên tục dọc theo tuyến

Trên các đoạn nền đất, cầu và hầm, các tấm ray được kết nối dọc theo tuyến bằng 6 thanh thép ren chính xác. Giữa tấm ray và nền đỡ được lót một lớp vữa xi măng nhũ tương nhựa đường dày 30mm:

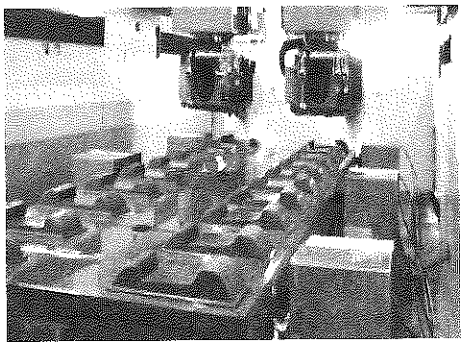
- Trên nền đất và trong hầm: Nền đỡ là lớp hỗ trợ không có cốt thép.
- Trên cầu: Nền đỡ là tấm đáy bằng bê tông cốt thép, được nối tiếp qua các khe dầm, giúp chuẩn hóa quy trình thiết kế, sản xuất và thi công cho các tấm ray đúc sẵn trên các nền móng khác nhau.

(2) Quy trình sản xuất tấm ray hiện đại

Sử dụng phần mềm thiết kế để tính toán toàn bộ dữ liệu hình học, bao gồm bố trí, sản xuất, mài và lắp đặt các tấm ray. Dữ liệu được đồng bộ giữa các giai đoạn thiết kế, sản xuất và thi công, đảm bảo tính chính xác và hiệu quả.

(3) Tấm ray trang bị hệ thống kẹp đàn hồi không tách biệt

Các tấm ray được thiết kế có vai chặn, phần chịu lực của thanh ray được mài bằng máy CNC (Hình 1-1-6). Quy trình sản xuất chính xác và định vị tấm ray giảm thiểu khối lượng công việc điều chỉnh, đảm bảo độ phẳng cao cho toàn bộ hệ thống đường ray.



Hình 1-1-6: *Gia công phần chịu lực của tấm ray bằng máy CNC*

(4) Lớp trượt trên bề mặt cầu

• "Hai lớp vải, một lớp màng" được bố trí để giảm tác động lực dọc bổ sung lên thanh ray và tấm đáy do sự giãn nở của cầu.

• Tấm đáy được thiết kế nối tiếp qua các khe dầm, giảm số lượng bộ điều chỉnh giãn nở cần thiết cho các cầu lớn.

• Tấm cách nhiệt chịu lực cao được lắp đặt ở gần đầu cầu để giảm tác động từ chuyển vị góc tại đầu cầu đối với đường ray.

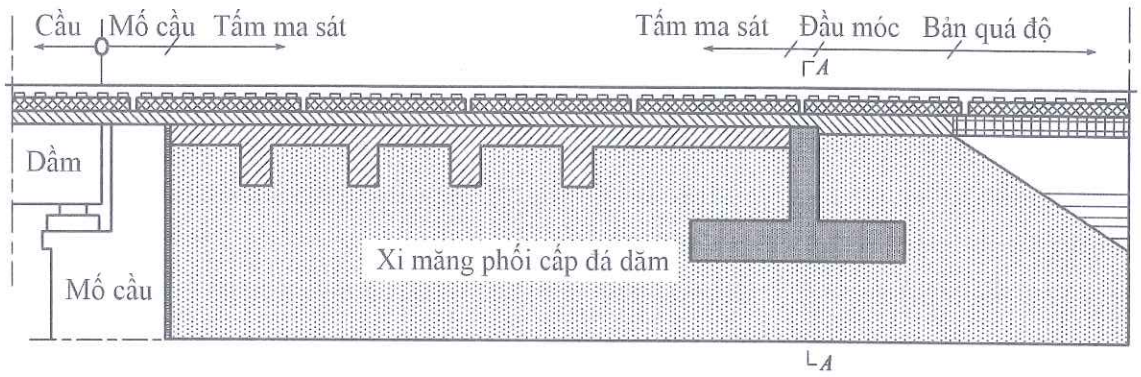
(5) Khối chặn ngang trên tấm đáy của cầu

Hai bên tấm đáy trên cầu được lắp đặt khối chặn ngang để cung cấp giới hạn ngang và dọc, đảm bảo sự ổn định của đường ray trước tác động của tải trọng tàu và nhiệt độ.

(6) Kết cấu răng chịu lực và thanh neo ở gối cố định cầu

• Rãnh răng chịu lực và thanh neo được lắp giữa cầu và tấm đáy giúp truyền lực phanh và lực nhiệt đến mố trụ cầu.

• Phần nền đất sau mố cầu được trang bị tấm ma sát và hệ thống neo dọc đầu móc (Hình 1-1-7), giúp chịu tải trọng nhiệt, tải trọng phanh và co ngót bê tông, đảm bảo độ ổn định của nền đất và cấu trúc đường ray trên cầu.



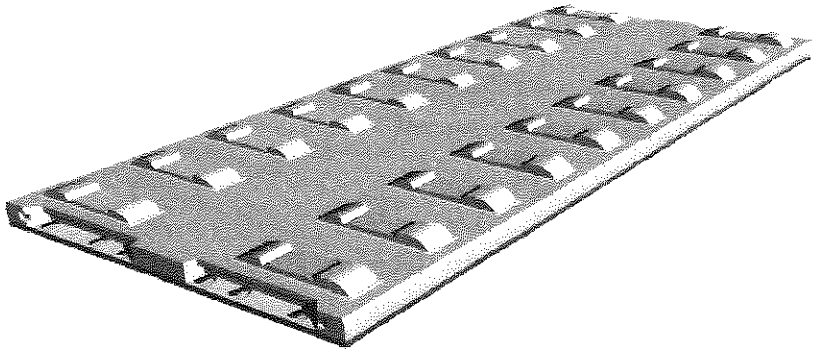
***Hình 1-1-7:** Cấu trúc neo dọc phía sau mố cầu*

2.3. Kết cấu và yêu cầu kỹ thuật của tấm ray

Đường ray không ballast dạng tấm CRTS II sử dụng tấm ray đúc sẵn bằng bê tông dự ứng lực một chiều (Hình 1-1-8), với cấp độ bền bê tông là C55.

- *Kích thước tiêu chuẩn của tấm ray:* 6450mm × 2550mm × 200mm.

- *Đặc điểm cấu trúc:* Tấm ray được thiết kế có vai chặn và đi kèm với hệ thống kẹp đàn hồi không tách biệt WJ-8 hoặc 300-1. Mỗi tấm ray được lắp 10 cặp kẹp với khoảng cách giữa các nút là 650mm. Các khe nứt ngang dự kiến được thiết kế giữa các bệ chịu lực liền kề trên mặt tấm ray.



Hình 1-1-8: *Tấm ray bê tông trong đường ray không ballast dạng tấm CRTS II*

- *Cấu trúc gia cường:* Tấm ray được gia cường dự ứng lực theo phương ngang và lắp 6 thanh thép ren chính xác Φ20mm theo phương dọc để kết nối các tấm ray khi lắp đặt.

**** Thiết kế cấu trúc tấm ray***

- Theo phương dọc:

+ Thiết kế chịu tác động của tải trọng tàu, tải trọng nhiệt và tải trọng tương đương từ sự co ngót của bê tông. Mômen uốn dọc do tải trọng tàu gây ra được tính toán theo mô hình "dầm trên nền đàn hồi".

+ Tấm ray có độ dày tính toán là 160mm.

+ Phối hợp chịu lực giữa tấm ray và lớp đỡ bên dưới được tính theo độ cứng tương đương, với độ dày tính toán của "dầm" là 196mm.

- Theo phương ngang: Tấm ray được đơn giản hóa thành mô hình "thanh ngang" dài 650mm để tính toán, xem xét các điều kiện chịu lực khác nhau để xác định mômen uốn bất lợi nhất cho thiết kế cốt thép.

- Kết nối dọc: Thiết kế kết nối dọc giữa các tấm ray chịu tác động của tải trọng tàu, tải trọng nhiệt và tải trọng tương đương từ sự co ngót của bê tông. Các chỉ tiêu kiểm tra bao gồm:

+ Ứng suất nén của bê tông;

+ Ứng suất kéo của cốt thép;

+ Độ rộng của vết nứt tại vị trí khe nối.

** Tương thích với hệ thống điện và tiếp đất*

Để tương thích với mạch điện tín hiệu của đường sắt cao tốc và hệ thống tiếp đất tổng hợp, các lưới thép thường bên trong tấm ray được thiết kế xử lý cách điện.

Cấu trúc tiếp đất:

- Bố trí thanh thép tiếp đất theo phương dọc;
- Thanh thép kết nối ngang và đầu tiếp đất;
- Các tấm ray liền kề được kết nối đồng điện thế tại hiện trường bằng dây nối.

** Quy trình sản xuất và tiêu chuẩn kỹ thuật*

- Công nghệ sản xuất:

+ Sản xuất tấm ray bằng phương pháp bệ dài. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu đổi mới về đường ray không ballast, năm 2008 đã ban hành tiêu chuẩn tạm thời "Tấm ray bê tông CRTS II dạng tấm có vai chặn cho đường sắt cao tốc".

+ Tiêu chuẩn này quy định chi tiết về nguyên liệu, quy trình sản xuất, yêu cầu chất lượng, phương pháp thử nghiệm, quy tắc kiểm tra, lưu trữ, vận chuyển và bốc dỡ.

** Hư hỏng và bảo trì*

- Hình thức hư hỏng:

+ Vết nứt bê tông (ngoài vùng khe nứt dự kiến);

+ Mảnh vỡ hoặc khuyết tật.

- Bảo trì: Trong quá trình vận hành, khi hư hỏng đạt cấp độ II cần sửa chữa kịp thời. Nếu đạt cấp độ III, phải sửa chữa ngay để đảm bảo độ bền của kết cấu.

2.4. Yêu cầu kỹ thuật lớp vữa nhựa xi măng nhũ tương

Lớp vữa nhựa xi măng nhũ tương là thành phần quan trọng trong kết cấu đường ray không ballast dạng tấm CRTS II. Hiệu suất của lớp vữa ảnh hưởng trực tiếp đến tính ổn định và độ bền của toàn bộ kết cấu. Vữa được tạo thành từ nhựa nhũ tương, xi măng, cốt liệu mịn, nước và các phụ gia khác, qua quy trình trộn đặc biệt. Lớp vữa này cần đáp ứng tốt các yêu cầu về cơ học, thi công và độ bền.

- Độ dày thiết kế:

- Độ dày tiêu chuẩn của lớp vữa là 30mm, với sai số thi công cho phép là ±10mm.

** Quy trình nghiên cứu và phát triển*

Trong giai đoạn đổi mới công nghệ đường ray không ballast, Trung Quốc đã thực hiện nghiên cứu chuyên sâu bao gồm:

- Lựa chọn nguyên liệu phù hợp;
- Thiết kế tỷ lệ pha trộn tối ưu;

- Thử nghiệm trong phòng thí nghiệm để kiểm tra hiệu suất;

- Thử nghiệm thực địa quy mô lớn.

Thông qua các thử nghiệm tại các đoạn thử nghiệm tổng hợp trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thiên Tân, nước này đã phát triển thành công loại vữa nhựa xi măng nhũ tương đáp ứng các yêu cầu khắt khe của hệ thống đường ray CRTS II. Năm 2008, Trung Quốc đã ban hành tiêu chuẩn tạm thời "Vữa nhựa xi măng nhũ tương cho đường ray không ballast dạng tấm CRTS II", bao gồm:

- Quy định về nguyên liệu;

- Yêu cầu hiệu suất;

- Quy trình thi công;

- Phương pháp thử nghiệm;

- Quy tắc kiểm tra chất lượng.

Tiêu chuẩn này đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát chất lượng lớp vữa nhựa xi măng nhũ tương.

**** Yêu cầu thiết kế và vận hành***

- Lớp vữa phải đảm bảo liên kết chắc chắn giữa tấm ray phía trên và lớp đỡ hoặc tấm đế phía dưới.

- Trong giai đoạn thi công: Cần thực hiện tỉ mỉ, đảm bảo chất lượng.

- Trong giai đoạn vận hành: Tăng cường kiểm tra định kỳ để phát hiện sớm các vấn đề.

**** Các dạng hư hỏng phổ biến của lớp vữa***

- Xuất hiện khe hở giữa lớp vữa và tấm ray;

- Nứt lớp vữa;

- Bong tróc hoặc mất đi một phần lớp vữa.

**** Xử lý hư hỏng nghiêm trọng:***

- Đối với hư hỏng lớn, cần tiến hành phân tích nguyên nhân.

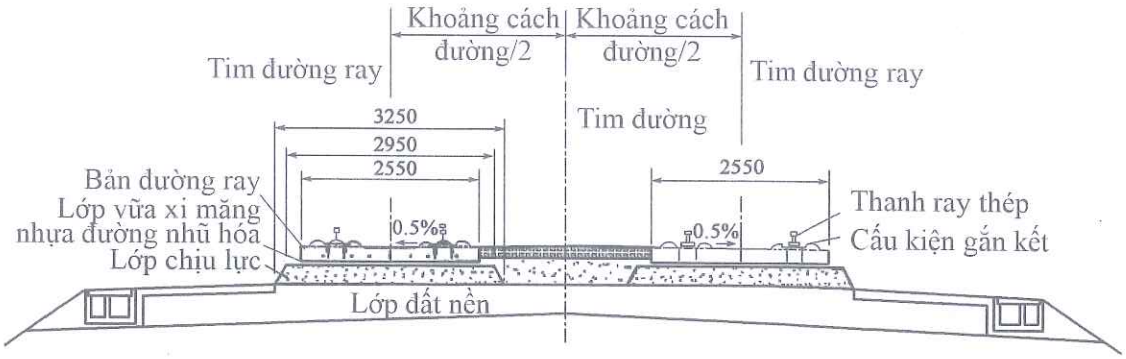
- Nếu khe hở liên tục, có kích thước lớn và thay đổi theo nhiệt độ, có thể do hiện tượng cong vênh tấm ray do lực nhiệt gây ra. Trong trường hợp này, cần giải phóng ứng suất và khóa lại nhiệt độ theo thiết kế ban đầu.

- Cuối cùng, tiến hành sửa chữa bằng cách bơm vữa để phục hồi chất lượng và đảm bảo tính ổn định của lớp vữa.

2.5. Cấu trúc và yêu cầu kỹ thuật của đường ray không ballast CRTS II trên đoạn nền đường

** Cấu trúc tiêu chuẩn của đoạn nền đường:*

Cấu trúc mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đoạn nền đường với đường ray không ballast CRTS II được minh họa trong Hình 1-1-9.



Hình 1-1-9. *Mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trên đoạn nền đường (đơn vị: mm)*

(1) Lớp bề mặt tầng nền

- Lớp bề mặt tầng nền là giao diện giữa cấu trúc đường ray không ballast và nền đường.

- Độ dày thiết kế: 0.4m, sử dụng đá dăm phân loại có yêu cầu kích thước hạt và cấp phối cụ thể, được đầm nén theo từng lớp.

- Yêu cầu kỹ thuật:

+ Cấp phối và chỉ số đầm nén phải tuân thủ tiêu chuẩn đường sắt cao tốc không ballast.

+ Đối với các đoạn đường cong, siêu cao được bố trí trên lớp bề mặt tầng nền.

+ Độ dốc ngang:

Tối thiểu 0.5% ở các đoạn không có siêu cao,

4% ở khu vực rìa.

+ Sai số độ cao mặt lớp nền: ±20mm.

+ Độ phẳng mặt nền: Không quá 20mm/4m.

(2) Lớp hỗ trợ

- Lớp hỗ trợ là lớp nền trực tiếp đỡ các tấm ray trên đoạn nền đường và trong hầm.

- Độ dày thiết kế: 300mm, sử dụng vật liệu kết hợp thủy lực hoặc bê tông xi măng có độ dẻo thấp.

- Phương pháp thi công:

+ Vật liệu kết hợp thủy lực: Được tạo từ cốt liệu mịn, cốt liệu thô, một lượng nhỏ vật liệu kết dính và nước.

+ Bê tông xi măng dẻo thấp: Có độ sụt ≤ 30mm, được đầm nén đảm bảo tỷ lệ nén ≥ 98%.

- Đối với đoạn đường có cầu và hầm, để thuận tiện cho tổ chức thi công, thường sử dụng bê tông xi măng dẻo thấp cùng phương pháp đúc khuôn.

- Thiết kế lớp hỗ trợ:

+ Liên tục theo chiều dài tuyến, cách khoảng 5m cắt một khe ngang với độ sâu ≥ 1/3 độ dày lớp hỗ trợ.

+ Thời gian cắt khe: Tùy thuộc vào điều kiện môi trường, thường thực hiện trong vòng 12 giờ sau khi thi công.

- Yêu cầu kỹ thuật lớp hỗ trợ:

+ Độ phẳng mặt lớp hỗ trợ không vượt quá 10mm/3m.

+ Sai số vị trí trung tâm không lớn hơn 10mm.

+ Sai số độ cao: -15mm đến +5mm.

+ Sai số độ dày: ±20mm.

+ Sai số chiều rộng: 0 đến +15mm.

- Yêu cầu về cấu trúc:

+ Lớp hỗ trợ không được gia cường thép, cho phép nứt nhưng không được có vết nứt xuyên thẳng đứng để ngăn nước mưa thấm qua khe nứt vào lớp nền.

+ Nếu khe nứt rộng, phải dùng vật liệu đàn hồi để xử lý.

(3) Các yêu cầu kỹ thuật khác

- Lớp đá dăm phân loại giữa hai đường ray:

+ Bề mặt: Phủ kín bằng lớp bê tông C25 ở đoạn đường thẳng.

+ Đoạn cong: Thiết kế hố thu nước ở giữa hai đường ray.

- Chống thấm: Đối với lớp hỗ trợ bằng vật liệu kết hợp thủy lực, cần xử lý chống thấm mặt bằng nhũ tương nhựa đường.

- Bảo vệ tầng nền:

+ Cần có biện pháp ngăn nước mưa xâm nhập vào tầng nền, gây hiện tượng "thấm nhão".

+ Trong quá trình xây dựng, kiểm soát chặt chẽ hàm lượng hạt mịn trong vật liệu nền.

+ Tăng cường liên kết dọc giữa lớp hỗ trợ và lớp phủ kín giữa các ray.

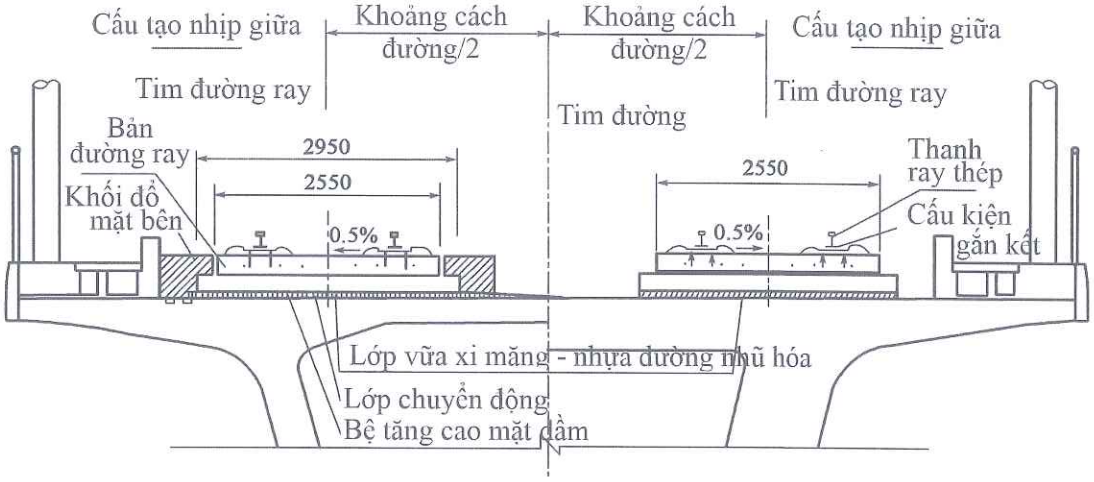
- Kiểm tra và xử lý:

+ Trong giai đoạn vận hành, cần tăng cường kiểm tra định kỳ.

+ Khi xuất hiện hiện tượng thấm nhão, phải tiến hành xử lý kịp thời để đảm bảo sự ổn định và độ bền của cấu trúc đường ray.

2.6. Kết cấu và yêu cầu kỹ thuật của đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trên cầu

Mặt cắt ngang tiêu chuẩn của kết cấu đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trên đoạn cầu được thể hiện ở Hình 1-1-10. Phần siêu cao trên đoạn đường cong được bố trí trên tấm đế.



Hình 1-1-10: *Mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trên đoạn cầu (Đơn vị đo: mm)*

(1) Yêu cầu kỹ thuật giao diện giữa kết cấu đường ray và cầu

Ngoài các yêu cầu chung về độ lún của móng cầu, độ cứng của cầu và sự co giãn của dầm, hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II, với kết cấu liên tục dọc qua khe cầu, đặt ra các yêu cầu kỹ thuật đặc biệt:

1) Yêu cầu về cấu tạo mặt cầu:

Mặt cầu phải thiết kế thoát nước sáu hướng, đồng thời bố trí các nền bê tông nâng cao.

2) Yêu cầu về độ phẳng của mặt dầm:

- Phạm vi sử dụng tấm xốp ép cường độ cao tại đầu dầm có sai số tối đa cho phép là 2 mm/1 m.

- Các khu vực còn lại của tấm đế trên mặt dầm cho phép sai số tối đa là 3 mm/4 m.

3) Yêu cầu về lắp đặt cầu:

- Sai số độ cao tại khe nối giữa các dầm liền kề không được vượt quá 10 mm.

- Độ cao mặt dầm cho phép sai số trong khoảng (-20, 0) mm.

4) Yêu cầu về rãnh răng và các linh kiện gắn sẵn:

- Phía trên gối cầu cố định phải bố trí các rãnh răng chịu cắt và lắp đặt ống lót bulông neo gắn sẵn.

- Hai bên tấm đế bố trí rãnh răng chặn ngang, kết hợp lắp đặt các đầu nối thép gắn sẵn.

(2) Lớp trượt "Hai vải một màng"

Lớp trượt giữa kết cấu đường ray và cầu được thiết kế theo mô hình "hai vải một màng", gồm hai lớp vải địa kỹ thuật polypropylene kẹp giữa một lớp màng polyethylene mật độ cao (HDPE) dày 1 mm. Chức năng chính của lớp trượt là:

- Giảm ảnh hưởng của sự co giãn nhiệt độ của cầu đến kết cấu đường ray.

- Cho phép tấm đế nối dài liên tục qua khe cầu, đồng thời thống nhất kết cấu tấm ray và bộ phận kẹp ray trên các nền tảng khác nhau.

Lớp trượt là một phần quan trọng trong hệ thống đường ray không ballast, yêu cầu phải đáp ứng các tiêu chuẩn về tính năng cơ học, vật lý và độ bền. Dựa trên các kết quả nghiên cứu, năm 2009, Trung Quốc ban hành "Điều kiện kỹ thuật tạm thời cho lớp trượt của đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trên các tuyến đường sắt cao tốc", trong đó quy định chi tiết về:

- Vật liệu của lớp trượt.

- Tính chất cơ học và tổng thể.

- Phương pháp thử nghiệm và quy tắc kiểm định.

(3) Tấm xốp ép cường độ cao tại đầu dầm

Trên mặt dầm, trước và sau khe cầu, trong một phạm vi nhất định, được lắp đặt các tấm xốp ép cường độ cao. Những tấm này giúp hấp thụ biến dạng thẳng đứng của đầu dầm do độ cong của cầu gây ra, giảm thiểu ảnh hưởng của góc xoay đầu dầm lên kết cấu đường ray.

Năm 2009, Trung Quốc đã ban hành "Điều kiện kỹ thuật tạm thời cho tấm xốp ép cường độ cao của đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trên các tuyến đường sắt cao tốc", trong đó quy định rõ:

- Vật liệu của tấm xốp.
- Các đặc tính cơ học, vật lý và tổng thể.
- Phương pháp thử nghiệm và quy tắc kiểm định.

(4) Bản đáy

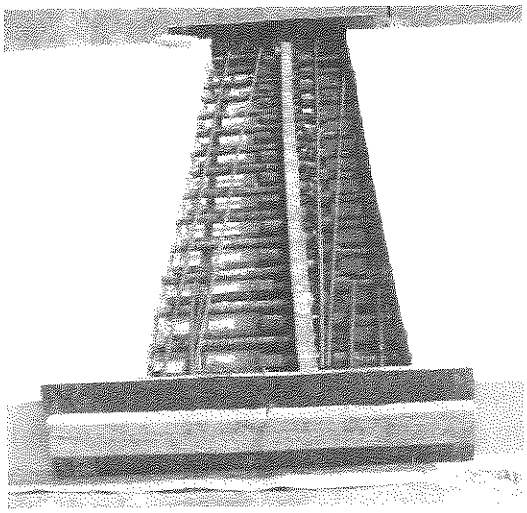
Bản đáy là một cấu kiện chịu lực quan trọng trong hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trên đoạn cầu. Được đặt trên lớp trượt ở mặt cầu và đổ bê tông cốt thép liên tục tại hiện trường, bản đáy có kích thước chiều rộng 2950 mm và chiều dày 200 mm. Thiết kế bản đáy tuân theo phương pháp trạng thái giới hạn, hoạt động như một cấu kiện chịu lực nén kéo theo trục. Các tải trọng thiết kế chính bao gồm: tải trọng nhiệt (bao gồm biến đổi nhiệt độ toàn thể, nhiệt độ giảm tương đương do co ngót bê tông, chênh lệch nhiệt độ giữa bản ray và bản đáy), tải trọng phanh, và tải trọng thẳng đứng từ đoàn tàu.

Bản đáy được thiết kế cho phép xuất hiện các vết nứt, với giới hạn kiểm toán vết nứt tối đa là 0,3 mm. Khi bê tông xuất hiện vết nứt, độ cứng của cấu kiện sẽ được điều chỉnh giảm, và thiết kế cốt thép được kiểm toán dựa trên trạng thái giới hạn sử dụng và trạng thái giới hạn chịu lực, phù hợp với từng tổ hợp tải trọng khác nhau.

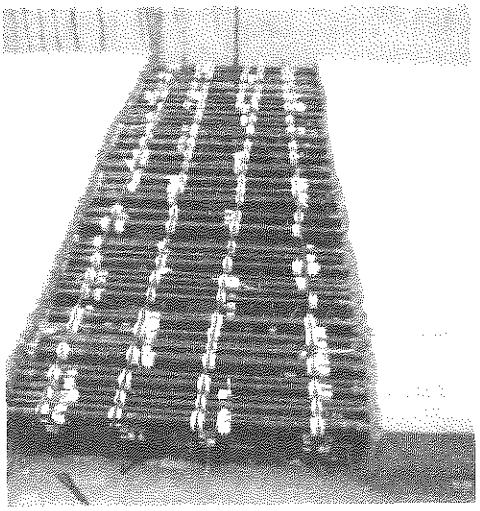
Bản đáy là một cấu trúc bê tông cốt thép liên tục qua các khe nối cầu. Để phù hợp với yêu cầu thi công trên các cầu dài, bản đáy liên tục có thể được chia thành các phân đoạn đổ bê tông riêng biệt. Theo thiết kế tổ chức thi công, các đoạn đổ bê tông liên tục được chia thành hai khu vực: khu vực thông thường và khu vực tạm thời. Trong khu vực thông thường, mỗi nhịp cầu có một khe sau nối bằng thép tấm tại điểm giữa (Hình 1-1-11). Khu vực tạm thời ở hai đầu, mỗi khu vực dài 800 mm, bố trí 6 khe sau nối bằng thép tấm. Tại vị trí trên các gối cầu cố định, bản đáy được thiết kế thêm các khe răng chịu cắt (Hình 1-1-12).

Việc liên kết dọc các đoạn bản đáy yêu cầu thực hiện ở nhiệt độ môi trường phù hợp với giới hạn thiết kế. Nếu nhiệt độ môi trường vượt ngưỡng cho phép, cần áp dụng các biện pháp kỹ thuật đặc biệt.

Dưới tác động của tải trọng nhiệt, các vết nứt dọc sẽ xuất hiện trên bản đáy liên tục theo khoảng cách nhất định. Theo thiết kế, chiều rộng vết nứt tối đa cho phép là 0,3 mm, phù hợp với trạng thái làm việc bình thường. Trong giai đoạn vận hành, việc bơm keo sửa chữa các vết nứt bê tông của bản đáy bị nghiêm cấm. Trong trường hợp mùa nóng làm vết nứt lớn hơn giới hạn cho phép, có thể sử dụng vật liệu đàn hồi để đóng kín hoặc sửa chữa trong phạm vi nhiệt độ khóa liên kết đã thiết kế.



Hình 1-1-11: *Dải đổ bê tông sau với đầu nối tấm thép*

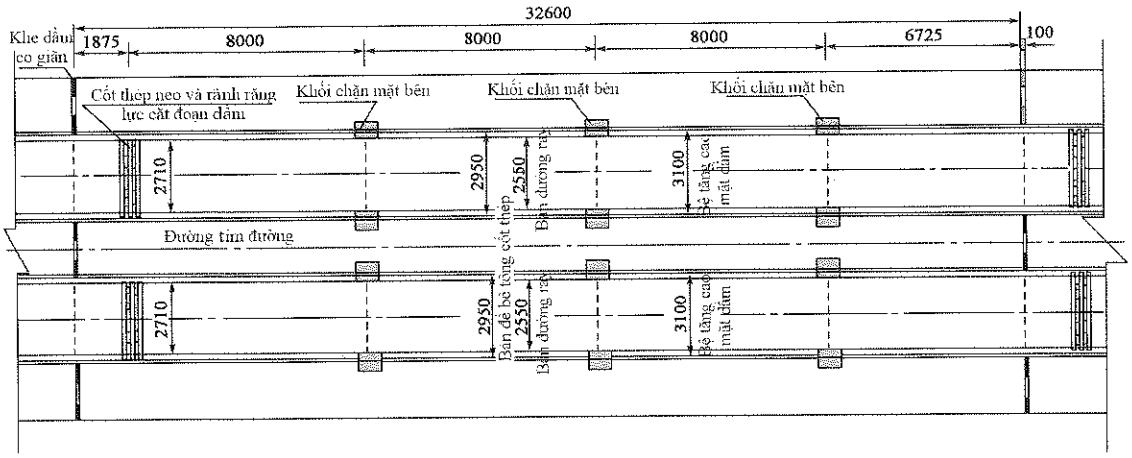


Hình 1-1-12: *Dải đổ bê tông sau với rãnh răng cắt*

(5) Khối chặn bên và tấm giới hạn đàn hồi

Ở khu vực cầu, hai bên của tấm đáy trong kết cấu đường ray không ballast dạng tấm CRTS II được lắp đặt các khối chặn bên. Giữa khối chặn bên và tấm đáy được lắp tấm giới hạn đàn hồi, bao gồm các lớp cao su và thép không gỉ, nhằm đảm bảo khả năng ổn định chống uốn ngang và dọc cho hệ thống đường ray không ballast, đồng thời cho phép cầu và đường ray co giãn tự do theo chiều dọc. Các khối chặn bên chịu tải trọng chính bao gồm tải gió, lực rung lắc, lực ly tâm và tải trọng nhiệt.

Trên một nhịp dầm đơn dài 32m, bố trí 3 hàng gồm 12 khối chặn bên dạng siết chặt, sơ đồ bố trí được minh họa ở Hình 1-1-13.



Hình 1-1-13: *Bố trí mặt phẳng của khối chặn bên trên dầm đơn giản 32m thuộc đường ray không ballast dạng tấm CRTS II (đơn vị kích thước: mm)*

Năm 2009, Trung Quốc đã nghiên cứu và ban hành "Điều kiện kỹ thuật tạm thời cho tấm giới hạn đàn hồi trong đường ray không ballast dạng tấm CRTS II dành cho đường sắt cao tốc", trong đó quy định chi tiết các yêu cầu về nguyên liệu, tính chất cơ học và vật lý, phương pháp thử nghiệm và tiêu chuẩn kiểm tra tấm giới hạn đàn hồi.

Trong quá trình thi công, cần tránh việc bê tông của khối chặn bên dính vào tấm đáy hoặc tấm đường ray để ngăn ngừa hư hỏng khối chặn do hiện tượng co giãn của cầu.

(6) Kết cấu neo sau mố cầu

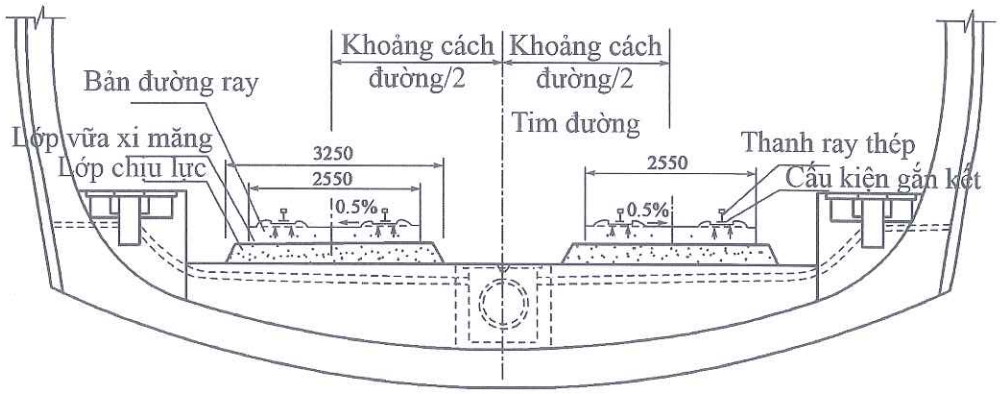
Hệ thống đường ray không ballast dạng tấm CRTS II yêu cầu lắp đặt kết cấu neo tại khu vực mố cầu trên đoạn đường nền ở hai đầu mỗi cầu. Kết cấu neo sau mố cầu bao gồm các tấm ma sát có gân và chốt neo (minh họa ở Hình 1-1-7) để chống lại lực dọc do hệ thống đường ray trên cầu truyền đến, bao gồm tải trọng nhiệt và tải trọng kéo/phanh.

Thiết kế và tính toán kết cấu neo sau mố cầu cần kiểm soát chuyển vị ngang của đỉnh chốt neo dưới tác động của các tổ hợp tải trọng bất lợi nhất, nhằm đảm bảo sự ổn định của kết cấu đường ray trên nền đất.

Để đạt được sự chuyển tiếp êm mượt giữa kết cấu đường ray trên cầu và đường nền, phía mố cầu hướng về phía nền đất được lắp đặt tấm chuyển tiếp. Dưới tấm chuyển tiếp được bố trí các tấm xốp ép cường độ cao với độ dày khác nhau.

2.7. Cấu trúc và yêu cầu kỹ thuật của đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trong đoạn hầm

Cấu trúc mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trong đoạn hầm được minh họa trong Hình 1-1-14.



Hình 1-1-14: *Mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trong đoạn hầm (Đơn vị kích thước: mm)*

Các thành phần như tấm ray, lớp điền đầy bằng vữa nhũ tương xi măng và lớp đệm trong đoạn đường ray tại hầm được áp dụng các yêu cầu kỹ thuật tương tự như đoạn đường trên nền đất. Tuy nhiên, có một số điểm khác biệt:

- Trong quá trình thi công, bề mặt nền của hầm cần được xử lý để tạo độ nhám.
- Việc cắt khe lớp đệm cần xem xét đến các khe lún trong lớp lót hầm.
- Độ nghiêng tại các đoạn đường cong nên được thiết lập trên lớp đổ lấp vòm hầm, tấm bê tông nền, hoặc trực tiếp trên lớp bê tông đệm.

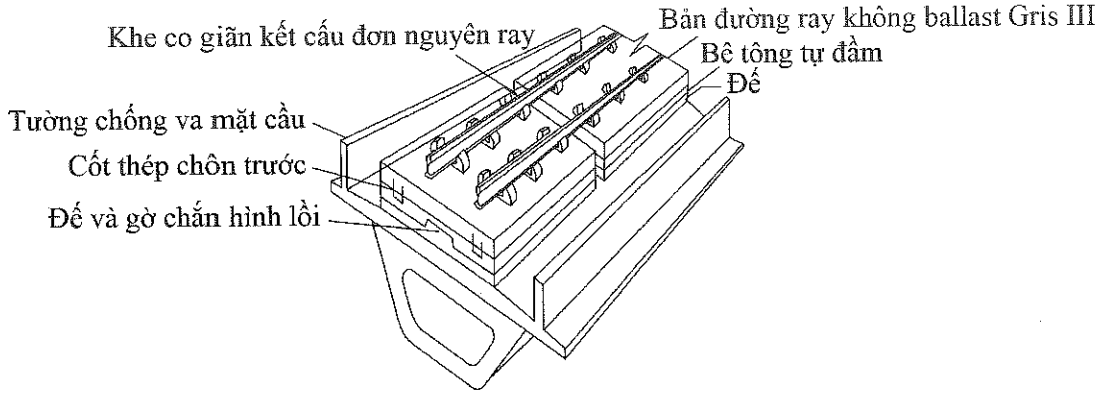
Tại khu vực cửa hầm, do sự thay đổi nhiệt độ đáng kể, cần thiết kế các kết nối chống cắt cho tấm ray để đảm bảo sự ổn định và độ bền của hệ thống đường ray.

3. Cấu trúc đường ray không ballast dạng tấm CRTS III

3.1. Thành phần và chức năng

Để hoàn thiện hệ thống công nghệ đường ray không ballast của đường sắt cao tốc và cải thiện hiệu quả kinh tế cũng như độ bền, hệ thống CRTS III được phát triển dựa trên các nghiên cứu tối ưu hóa của tuyến Thành-Quản và các công nghệ quốc tế. Hệ thống này đã được áp dụng rộng rãi trên các tuyến như Bàn Doanh, Thành Miên Lạc và các tuyến đường sắt đô thị quanh vùng Vũ Hán.

Cấu trúc CRTS III trên các nền đường, cầu và hầm có thành phần cơ bản giống nhau, bao gồm: thanh ray, hệ thống khóa ray, tấm ray đúc sẵn, lớp vữa tự lèn bê tông, lớp cách ly và tấm đáy bê tông, như minh họa trong Hình 1-1-15.



Hình 1-1-15: *Thành phần cấu trúc đường ray không ballast dạng tấm CRTS III*

(1) Hệ thống khóa ray

Sử dụng hệ thống khóa ray đàn hồi không tách rời (như loại WJ-8), với các chức năng chính:

- Duy trì khoảng cách chuẩn giữa các thanh ray.
- Cung cấp tính đàn hồi cho đường ray.

- Điều chỉnh hình dạng hình học của đường ray.

- Đảm bảo khả năng cách điện của hệ thống.

- Điều chỉnh lực kháng dọc tuyến.

(2) Tấm ray đúc sẵn

Tấm ray đúc sẵn được thiết kế phù hợp với hệ thống khóa ray, với vai chắn trên bề mặt tấm để cố định thanh ray và khóa ray. Các chức năng chính:

- Cố định vị trí của thanh ray và khóa ray.

- Chịu tải trọng và truyền lực xuống lớp nền thông qua vữa tự lèn bê tông và cấu trúc rãnh giữ với tấm đáy.

- Cung cấp giao diện cho hệ thống điện đường ray và hệ thống tiếp đất tổng hợp.

(3) Lớp tự lèn bê tông

Sử dụng vữa tự lèn bê tông với cường độ cao, tính lưu động và độ bền vượt trội. Đây là đặc điểm kỹ thuật nổi bật của CRTS III, đóng vai trò quan trọng trong việc:

- Là lớp đệm điều chỉnh và hỗ trợ tấm ray.

- Sau khi đổ, lớp này liên kết chặt chẽ với tấm đáy, tạo thành cấu trúc rãnh giữ, chịu tải trọng theo phương đứng và ngang.

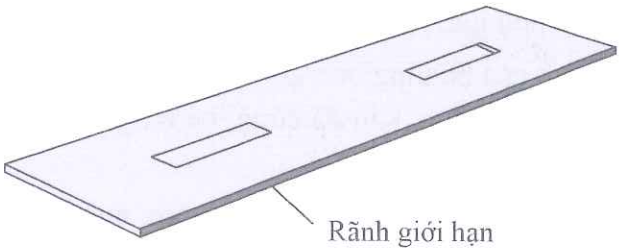
(4) Tấm đáy, lớp cách ly, rãnh giữ và lớp đệm đàn hồi

Tấm đáy là kết cấu chịu tải chính của CRTS III, được phân đoạn và đặt dọc theo tuyến đường. Phần giữa tấm đáy được thiết kế với rãnh giữ (Hình 1-1-16), trong đó vữa tự lèn bê tông được đổ để giới hạn chuyển động ngang của tấm ray. Bề mặt tấm đáy được phủ lớp cách ly (vải địa kỹ thuật), còn mặt bên của rãnh giữ được lót đệm đàn hồi.

Chức năng chính của tấm đáy:

- Chịu tải trọng và truyền lực xuống lớp nền.

- Đảm bảo siêu cao ở các đoạn đường cong.



Hình 1-1-16: *Kết cấu đáy và rãnh giới hạn*

3.2. Các yêu cầu kỹ thuật đối với kết cấu đường ray và giao diện liên quan

Cấu trúc đường ray CRTS III có khả năng chịu lực rõ ràng: tải trọng thẳng đứng được truyền từ trên xuống qua các lớp, trong khi tải trọng ngang được truyền qua cấu trúc rãnh giới hạn giữa lớp bê tông tự đầm và đáy tới nền dưới. Thiết kế tải trọng bao gồm tải trọng hoạt động, tải trọng nhiệt (bao gồm thay đổi nhiệt độ tổng thể và gradient nhiệt độ), tải trọng tương đương từ co ngót bê tông, đồng thời xem xét tác động của sự lún không đồng đều của nền tới khả năng chịu tải của kết cấu.

(1) Tấm ray bê tông

Tấm ray bê tông đúc sẵn kết hợp với lớp bê tông tự đầm để tạo thành một cấu trúc tổng hợp. Kết cấu này được thiết kế dựa trên mô hình dầm-bản trên nền đàn hồi để tính toán mômen uốn dưới tác động của tải trọng đoàn tàu. Thiết kế còn xem xét tác động của tải trọng nhiệt, tải trọng tạm thời trong quá trình thi công và sự lún không đồng đều của nền.

- Tấm ray thường sử dụng bê tông dự ứng lực, được thiết kế thép gia cường dựa trên mômen thiết kế. Kiểm tra thiết kế đảm bảo ứng suất kéo tại mép mặt cắt không vượt quá $0.7f_t$ (với f_t là cường độ chịu kéo của bê tông thiết kế). Đồng thời, kiểm tra ứng suất nén tối đa tại mép mặt cắt và biên độ ứng suất trong thép.

- Kích thước tiêu chuẩn của tấm ray là 5600mm × 2500mm × 210mm, khoảng cách giữa các nút của hệ thống bulông kẹp là 630mm, cường độ bê tông đạt C60.

- Yêu cầu về sản xuất và kiểm tra tấm ray tương tự như CRTS I, tuy nhiên, CRTS III có các yêu cầu khác biệt về kích thước hình học của vị trí tiếp xúc ray, các thanh thép kết nối sẵn tại mặt đáy và xử lý các thanh kéo cố định.

(2) Lớp bê tông tự đầm

Lớp bê tông tự đầm vừa là lớp điều chỉnh vừa là lớp chịu tải, đây là một đặc điểm kỹ thuật quan trọng của CRTS III. Lớp này được đổ bằng trọng lực, đảm bảo độ chắc chắn và đồng đều.

- Thành phần gồm xi măng, chất phụ gia khoáng, cốt liệu mịn, cốt liệu thô (đường kính tối đa 10mm), chất phụ gia, chất cải thiện độ bám dính và nước.

- Yêu cầu về tính chất của bê tông bao gồm độ chảy, độ lấp đầy, khả năng đi qua khe và khả năng chống phân tách. Khi đã cứng, bê tông cần đạt độ bền nén, môđun đàn hồi, độ co ngót và độ bền lâu dài.

- Dựa trên các nghiên cứu lý thuyết và thử nghiệm, nước ta đã xây dựng các yêu cầu kỹ thuật cho bê tông tự đầm CRTS III, quy định chi tiết về nguyên liệu, phối trộn, yêu cầu kỹ thuật, phương pháp kiểm tra và quy trình thi công.

(3) Đáy bê tông

Thiết kế và yêu cầu kỹ thuật của lớp đáy tương tự như CRTS I. Đáy sử dụng bê tông cốt thép với cường độ C40, được phân đoạn dọc theo tuyến đường.

- Đáy đặt khe co dãn, khoảng cách từ 10 đến 25m trên đường nền hoặc từ 4 đến 6m trên cầu, đảm bảo kết nối với các thanh thép hoặc bulông gắn trên cầu.

- Kết cấu rãnh giới hạn giữa đáy và lớp bê tông tự đầm giúp chịu tải trọng ngang, thiết kế dựa trên tải trọng đoàn tàu, nhiệt độ, lực ly tâm và tải trọng gió.

(4) Lớp cách ly và lớp đệm đàn hồi

Lớp cách ly được đặt trên mặt đáy, cho phép sửa chữa khi cần và giảm ứng suất nhiệt. Lớp đệm đàn hồi ở rãnh giới hạn giảm tác động của tải trọng ngang lên cấu trúc đường ray.

(5) Giao diện với hệ thống điện và tiếp đất

Các yêu cầu về giao diện với hệ thống điện và tiếp đất của CRTS III tương tự như CRTS I, bao gồm thiết kế đảm bảo tương thích giữa cấu trúc đường ray với hệ thống điện và tiếp đất tổng hợp.

4. Đường ray không ballast loại hai khối

4.1. Cấu trúc đường ray

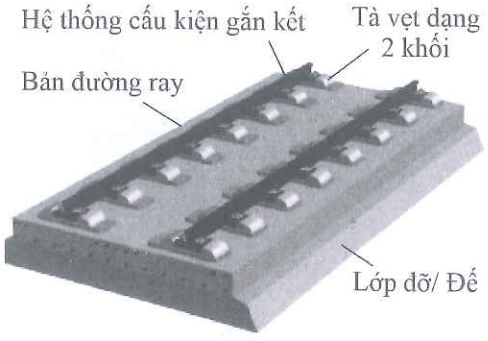
Cấu trúc của đường ray không ballast loại hai khối được minh họa trong Hình 1-1-17. Ngoài các bộ phận cơ bản như đường ray, hệ thống bulông kẹp (loại đàn hồi không tách rời) và tà vẹt song khối, cấu trúc đường ray có sự khác biệt ở các đoạn đường nền, cầu, và hầm như sau:

(1) Đoạn đường nền

Đoạn đường nền bao gồm bản đường ray bằng bê tông và lớp đỡ:

- Tấm đường ray được lắp đặt dọc theo tuyến đường và liên tục.

- Lớp đỡ bên dưới sử dụng bê tông xi măng ít dẻo hoặc hỗn hợp thủy cứng không cốt thép, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật về cường độ và độ bền.



Hình 1-1-17: Cấu tạo của đường ray không ballast loại hai khối

(2) Đoạn cầu

Đoạn cầu bao gồm tấm đường ray bằng bê tông và đáy bê tông:

- Tấm đường ray được thiết kế theo cấu trúc phân đoạn đơn lẻ.
- Đáy bê tông cốt thép bên dưới có chiều dài tương ứng với tấm đường ray.
- Mặt trên của đáy bê tông được phủ một lớp cách ly bằng vải địa kỹ thuật.
- Đáy bê tông được thiết kế có các rãnh, bề mặt rãnh được dán lớp đệm đàn hồi.
- Bê tông của tấm đường ray được đổ vào rãnh, tạo nên cấu trúc rãnh khóa để cung cấp khả năng giới hạn ngang cho cấu trúc đường ray.

(3) Đoạn hầm

- Cấu trúc đơn giản hơn so với các khu vực khác.
- Tùy thuộc vào cấp độ vòm đá và điều kiện nền của hầm, tấm đường ray có thể được lắp đặt trực tiếp trên lớp đổ lấp vòm hầm hoặc trên tấm bê tông cốt thép của nền hầm.

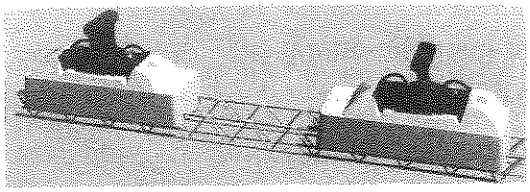
4.2. Đặc điểm kỹ thuật của kết cấu đường ray

So với ba loại đường ray không ballast dạng tấm đã nêu, đường ray không ballast dạng song khối có các đặc điểm kỹ thuật chính như sau:

(1) Cấu trúc chính của đường ray

Cấu trúc chính của đường ray là tấm bê tông đổ tại chỗ, chịu tải trọng từ đoàn tàu và nhiệt độ. Các thanh tà vẹt song khối bằng bê tông, được sản xuất trong nhà máy, là một phần của tấm đường ray. Trong quá trình thi công, các thanh tà vẹt song khối được lắp ráp thành khung đường ray, sau đó điều chỉnh chính xác hình dạng hình học của đường ray và cuối cùng đổ bê tông để tạo thành tấm đường ray liền mạch, trong đó khung đường ray và tấm đường ray cùng chịu lực.

(2) Thanh tà vẹt bê tông song khối sản xuất tại nhà máy



Hình 1-1-18: *Thanh tà vẹt song khối SK-2*

Thanh tà vẹt song khối được sản xuất trong nhà máy và phải tương thích với hệ thống bộ kẹp ray được sử dụng. Hiện nay, tại Trung Quốc, chủ yếu sử dụng loại thanh tà vẹt SK-1, tương thích với bộ kẹp ray loại WJ-7, và loại thanh tà vẹt SK-2, tương thích với bộ kẹp ray loại WJ-8 hoặc 300-1 (Hình 1-1-18). Thanh tà vẹt song khối

được sản xuất theo công nghệ dây chuyền dài. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu cải tiến công nghệ không ballast, năm 2008, Trung Quốc đã xây dựng "Tiêu chuẩn kỹ thuật tạm thời cho thanh tà vẹt song khối bê tông của đường ray không ballast dạng song khối trong đường sắt cao tốc", trong đó quy định chi tiết các yêu cầu về nguyên liệu, chất lượng sản phẩm, phương pháp kiểm tra, quy tắc nghiệm thu, lưu trữ, vận chuyển và bốc dỡ.

(3) Không cần sử dụng lớp vữa chèn hoặc lớp bê tông tự đông đặc

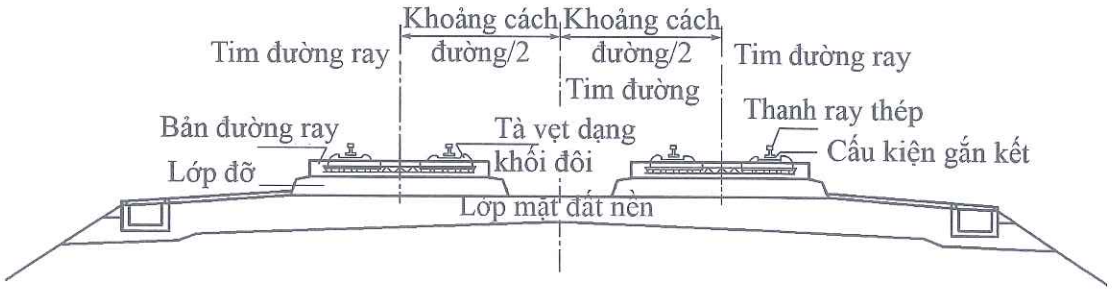
Do tấm đường ray được đổ bê tông trực tiếp tại hiện trường, không cần sử dụng lớp vữa chèn bằng xi măng nhũ tương hoặc lớp bê tông tự đông đặc như trong các kết cấu đường ray dạng tấm. Yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến độ bền của kết cấu đường ray không ballast dạng song khối là các vết nứt trong tấm đường ray và tại giao diện giữa bê tông đổ tại chỗ với thanh tà vẹt song khối.

(4) Xử lý giao diện với mạch điện đường ray và hệ thống tiếp đất tổng hợp

Giao diện của đường ray không ballast dạng song khối với mạch điện và hệ thống tiếp đất tổng hợp được xử lý trong tấm bê tông đổ tại chỗ. Các điểm giao cắt của thép dọc và thép ngang (bao gồm cả thép gia cố) trong tấm bê tông, cũng như các điểm nối thép dọc, được cách điện. Đồng thời, trong tấm bê tông cũng bố trí thép tiếp đất và đầu nối tiếp đất. Quá trình xử lý cách điện và tiếp đất được thực hiện trực tiếp tại công trường thi công.

4.3. Cấu trúc và yêu cầu kỹ thuật của đoạn đường ray không ballast kiểu song khối trên nền đường

Hệ thống đường ray không ballast kiểu song khối trên nền đường bao gồm các lớp cấu trúc dạng tầng với độ cứng giảm dần từ trên xuống, bao gồm tấm đường ray, lớp hỗ trợ, bề mặt nền đường, và lớp nền đáy. Mặt cắt ngang tiêu chuẩn được minh họa trong Hình 1-1-19. Phần siêu cao thường được thiết kế trên bề mặt nền đường.



Hình 1-1-19: *Mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đường ray không ballast kiểu song khối trên nền đường*

(1) Lớp hỗ trợ nền đường

Lớp hỗ trợ là nền móng cho hệ thống đường ray không ballast kiểu song khối, đóng vai trò chịu tải trọng và phân tán tải trọng xuống mặt nền. Ngoài ra, lớp này còn đóng vai trò chuyển tiếp môđun đàn hồi, giảm hiện tượng tập trung ứng suất tại bề mặt nền, và hạn chế nứt phát sinh từ tác động của lực nhiệt. Lớp hỗ trợ được xây dựng trên bề mặt nền đường, với các yêu cầu kỹ thuật tương tự như lớp hỗ trợ của đường ray không ballast kiểu tấm CRTS II.

- Thông số kỹ thuật:

+ Chiều rộng: 3400 mm;

+ Độ dày: 300 mm;

+ Tùy thuộc vào loại hình công trình, lớp hỗ trợ có thể được thi công bằng phương pháp đổ bê tông trượt hoặc đúc khuôn, sử dụng vật liệu hỗn hợp thủy hóa hoặc bê tông xi măng có độ dẻo thấp;

+ Để tránh nứt do tác động của lực nhiệt, lớp hỗ trợ được thiết kế các khe giả sâu bằng 1/3 độ dày, với khoảng cách 5 m.

- Yêu cầu thi công:

+ Bề mặt lớp hỗ trợ trong phạm vi chiều rộng tấm đường ray phải được xử lý bằng phương pháp làm nhám.

+ Trước khi đổ bê tông tấm đường ray, cần làm ẩm lớp hỗ trợ.

(2) Tấm đường ray bê tông

Tấm đường ray được thiết kế theo mô hình cho phép xuất hiện vết nứt. Tuy nhiên, việc kiểm soát độ rộng vết nứt là yếu tố quan trọng, đặc biệt ở vùng tiếp giáp với thanh tà vẹt song khối, nhằm đảm bảo tính ổn định và độ bền lâu dài của cấu trúc đường ray.

- Thông số kỹ thuật:

+ Độ dày: 260 mm.

+ Thiết kế gia cường bằng hai lớp thép, đảm bảo tương thích với hệ thống tín hiệu đường ray.

+ Các thanh tà vẹt song khối phải được thiết kế để tích hợp liền mạch với tấm đường ray, hạn chế các vết nứt và hiện tượng lơ lửng tại vị trí tiếp xúc.

- Chất lượng thi công:

+ Tấm đường ray và thanh tà vẹt song khối phải được kết nối chặt chẽ.

+ Trước khi đổ bê tông, cần làm ẩm bề mặt bên của tà vẹt hoặc sử dụng chất tạo liên kết bề mặt.

+ Đảm bảo bê tông ở đáy và xung quanh thanh tà vẹt được đầm kỹ.

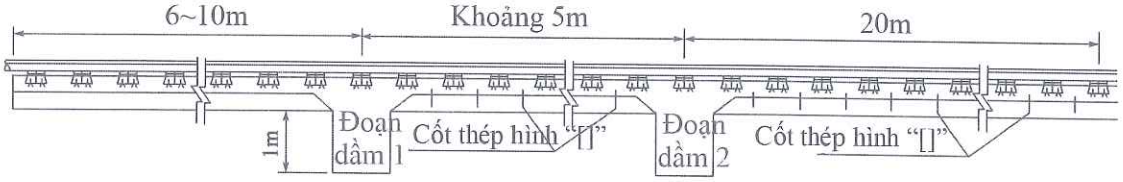
(3) Các biện pháp xử lý

- Trong giai đoạn vận hành, các vết nứt xuyên ngang trên tấm đường ray có thể được xử lý bằng phương pháp bít kín bề mặt hoặc sửa chữa bằng vật liệu đàn hồi.

- Các vết nứt lớn ở vùng tiếp xúc và hiện tượng lơ lửng tại tà vẹt có thể được khắc phục bằng phương pháp bơm vữa.

(4) Kết cấu neo giữ

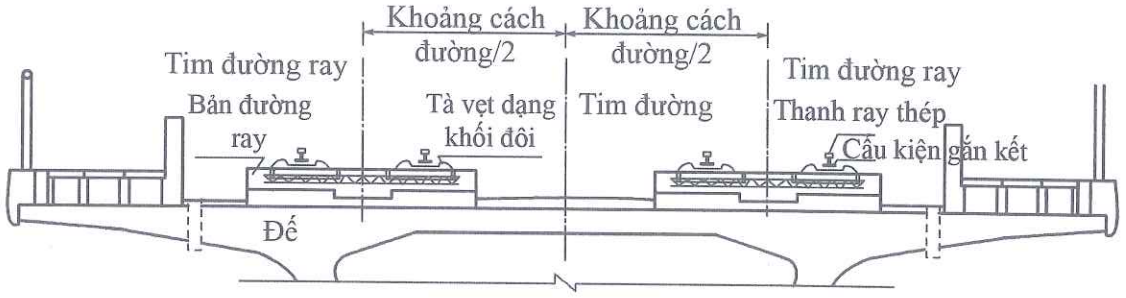
Phần cuối của tấm đường ray liên tục (như khu vực chuyển tiếp đường cầu) cần được thiết kế kết cấu neo giữ để đảm bảo sự ổn định của cấu trúc đường ray. Hình minh họa cho kết cấu neo giữ tại các điểm nối được thể hiện trong Hình 1-1-20. Ở những vị trí gián đoạn do thi công hoặc tại hành lang làm việc, tấm đường ray đã thi công cần được liên kết và cố định.



Hình 1-1-20: *Cấu trúc neo đầu của tấm nền đường ray liên tục*

4.4. Thiết kế và yêu cầu kỹ thuật cấu trúc đường ray không ballast loại hai khối tại khu vực cầu

Mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đường ray không ballast loại hai khối tại khu vực cầu được thể hiện trong Hình 1-1-21. Phần siêu cao của đường ray trên đường cong được đặt trên đáy tấm. Đối với khu vực đường thẳng, độ dày của đáy tấm thường không nhỏ hơn 210 mm, và ở phía trong của đường cong, độ dày yêu cầu không nhỏ hơn 100 mm.



Hình 1-1-21: *Mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đường ray không ballast loại hai khối tại khu vực cầu*

Tấm nền và đáy tấm được xây dựng thành từng khối dọc theo tuyến đường trên bề mặt dầm, với chiều dài mỗi khối từ 5 đến 7 m. Đáy tấm được liên kết với dầm cầu thông qua các ống cấy sẵn hoặc các thanh thép chờ đã được đặt trước. Trong phạm vi 2,6 m từ tâm đường ray, bề mặt dầm được xử lý sần nhằm đảm bảo kết nối tốt giữa đáy tấm và dầm cầu.

Bề mặt trên của đáy tấm được lót một lớp cách ly (vải địa kỹ thuật), giúp tăng khả năng sửa chữa của tấm nền trong các trường hợp đặc biệt, đồng thời hỗ trợ điều chỉnh biến dạng nhiệt của tấm nền. Mỗi khối đáy tấm được thiết kế với rãnh giới hạn, và khi được đổ bê tông, tấm nền sẽ tạo thành cấu trúc giới hạn lồi lõm. Bên cạnh các rãnh giới hạn, các lớp đệm đàn hồi được đặt để giảm tác động của lực ngang. Chiều dài và chiều rộng của đáy tấm bằng với tấm nền phía trên. Hình dạng và kích thước của rãnh giới hạn trên đáy tấm được xác định dựa trên tính toán tải trọng ngang theo thiết kế. Trong phạm vi đáy tấm, không đặt lớp chống thấm hoặc lớp bảo vệ trên bề mặt dầm.

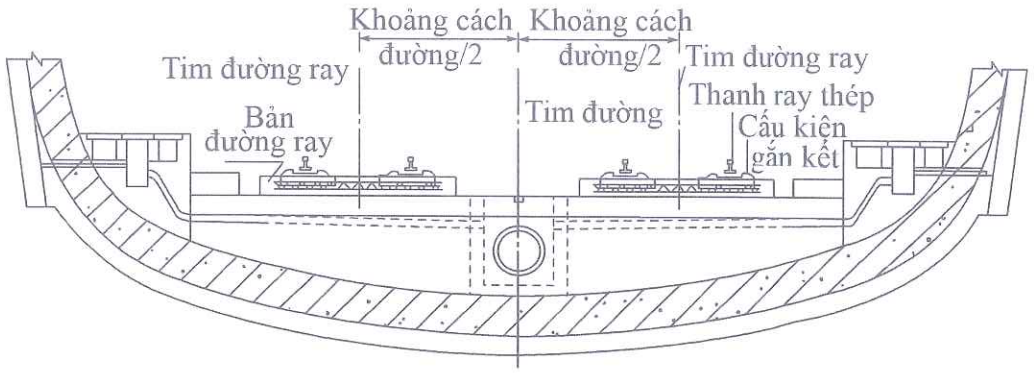
Dựa vào loại cầu và khẩu độ nhịp, thiết kế đường ray không mối nối trên cầu và phân tích độ ổn định của cấu trúc đường ray tại đầu dầm được tiến hành để xác định các yếu tố: cấu trúc đường ray tại đầu dầm, hình thức và yêu cầu đối với lực cản dọc tuyến, cũng như bố trí các thiết bị điều chỉnh giãn nở và các thiết bị giảm lực cản nhỏ.

So với khu vực đường nền, tấm nền và đáy tấm tại khu vực cầu ít chịu ảnh hưởng bởi tải trọng nhiệt. Khi xuất hiện các hư hỏng do vết nứt bê tông hoặc nứt tại các bề mặt giao tiếp vượt quá giới hạn, có thể áp dụng phương pháp bơm vữa hoặc đóng kín bề mặt để sửa chữa.

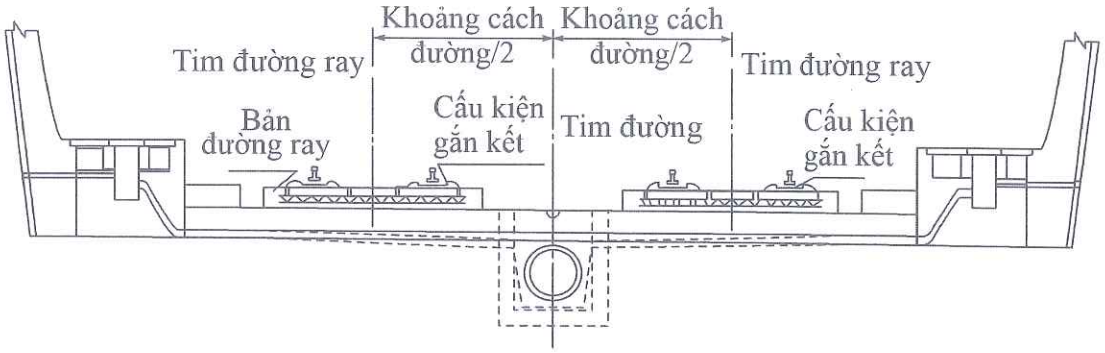
4.5. Cấu trúc và yêu cầu kỹ thuật của đường ray không ballast loại hai khối tại khu vực hầm

Mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đường ray không ballast loại hai khối trong hầm có vòm và không vòm được thể hiện trong Hình 1-1-22, với đường cong siêu cao được thiết lập trên tấm đường ray.

Trong hầm, tấm đường ray của đường ray không ballast loại hai khối được xây dựng liên tục dọc theo lớp đệm vòm (đối với hầm có vòm) hoặc tấm nền (đối với hầm không vòm). Bề mặt của lớp đệm vòm hoặc tấm nền trong phạm vi chiều rộng của tấm đường ray cần được xử lý làm nhám. Trong phạm vi 200 m từ cửa hầm, cấu trúc tấm đường ray bên trong hầm tương tự như đoạn đường ray trên nền đất. Trong phạm vi khoảng 100 m gần cửa hầm, lớp đệm vòm hoặc tấm nền cần được trang bị cốt thép để kết nối với tấm đường ray.



a) Hầm có vòm



b) Hầm không vòm

Hình 1-1-22: *Mặt cắt ngang tiêu chuẩn của đường ray không ballast loại hai khối tại khu vực hầm*

4.6. Hệ thống thoát nước

Đường ray không ballast loại hai khối tại các khu vực có nhiều tuyến thường cần thiết lập hệ thống thoát nước giữa các tuyến hoặc áp dụng các biện pháp phù hợp để đảm bảo nước trên bề mặt tấm đường ray được thoát ra hai bên. Thiết kế hệ thống thoát nước trong phạm vi đường ray không ballast cần xem xét cả thoát nước dọc tuyến, trong đó tấm đường ray tại các đoạn thẳng cần có độ dốc ngang để tránh nước đọng trên bề mặt.

- **Đoạn nền đất**: Hệ thống thoát nước giữa các tuyến của đường ray không ballast loại hai khối có thể bao gồm việc lắp đặt giếng thoát nước (hoặc kênh thoát nước) hoặc không lắp đặt giếng thoát nước mà sử dụng đá dăm cấp phối.

+ Khu vực ẩm áp: Hệ thống thoát nước thường sử dụng giếng thoát nước giữa các tuyến với khoảng cách giữa các giếng được xác định dựa trên diện tích thu gom nước và điều kiện thời tiết địa phương.

+ Khu vực lạnh: Đoạn thẳng sử dụng đá dăm cấp phối trên bề mặt để thoát nước, trong khi đoạn cong sử dụng giếng thoát nước, tập trung nước từ giữa các tuyến đến giếng, sau đó thoát ra hai bên qua các ống thoát nước ngang được đặt trong nền đường. Các biện pháp chống đóng băng cần được thực hiện.

- **Đoạn cầu**: Hệ thống thoát nước thường sử dụng hai hàng lỗ thoát nước nằm hai bên cầu, với vị trí dọc tương ứng với khe co giãn giữa các tấm đường ray.

- **Đoạn hầm**: Hệ thống thoát nước thường sử dụng rãnh thoát nước giữa các tuyến, cùng với độ dốc dọc hai bên tuyến. Nếu cần, có thể thực hiện thiết kế thoát nước đặc biệt để đảm bảo hiệu quả thoát nước trong điều kiện đặc thù.

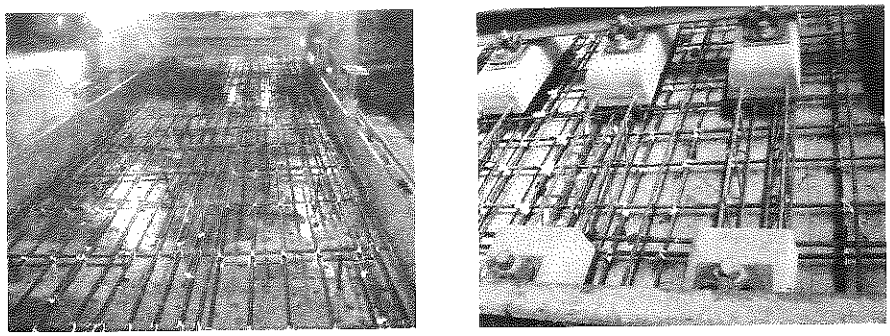
4.7. Yêu cầu kỹ thuật giao diện với mạch điện đường ray và hệ thống tiếp địa tổng hợp

Đường ray không ballast loại hai khối tích hợp giao diện với mạch điện đường ray và hệ thống tiếp địa tổng hợp trong cấu trúc tấm đệm đường ray hiện tại.

(1) Xử lý cách điện trong tấm đệm đường ray

- Tại các vị trí giao cắt giữa thép dọc và ngang trong tấm đệm hoặc tại các điểm nối chồng thép dọc, trừ các thanh thép đáp ứng yêu cầu tiếp địa tổng hợp cần được hàn nối, tất cả các vị trí khác phải sử dụng kẹp cách điện hoặc ống cách điện để cách ly, như minh họa trong Hình 1-1-23.

- Trước khi đổ bê tông cốt thép, phải kiểm tra tính năng cách điện của thép trong tấm đệm. Điện trở cách điện tối thiểu phải đạt 2MΩ.



a) *b)*

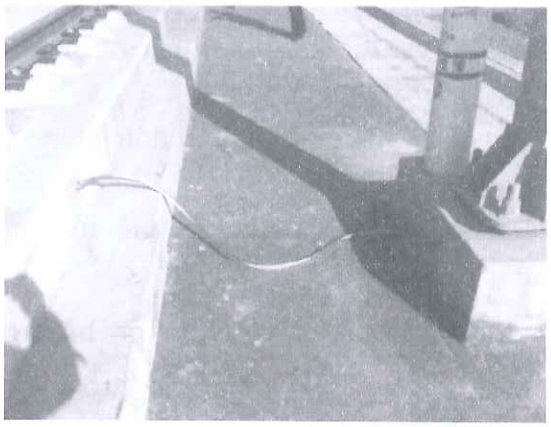
Hình 1-1-23: *Xử lý cách điện cho cốt thép trong tấm đệm đường ray*

(2) Cài đặt hệ thống tiếp địa

- Trong tấm đệm đường ray, các thanh thép tiếp địa và đầu nối tiếp địa được cài đặt. Về chiều dọc, tấm đệm được chia thành các đơn vị tiếp địa với chiều dài không quá 100m, mỗi đơn vị được kết nối theo dạng hình chữ T với đường dây tiếp địa chung tại một điểm duy nhất.

- Thanh thép tiếp địa sử dụng thép kết cấu lớp trên của tấm đệm đường ray. Trong mỗi đơn vị tiếp địa, chọn một thanh thép ngang làm thanh thép tiếp địa ngang và hàn nối với các thanh thép tiếp địa khác.

- Đầu nối tiếp địa được bố trí gần cột đỡ dây tiếp xúc (Hình 1-1-24). Ở khu vực cầu, các tấm đệm đường ray giữa các đơn vị được kết nối qua dây tiếp địa (Hình 1-1-25).



Hình 1-1-24: *Hệ thống nối đất tổng hợp cho đường ray khu vực đường nền*

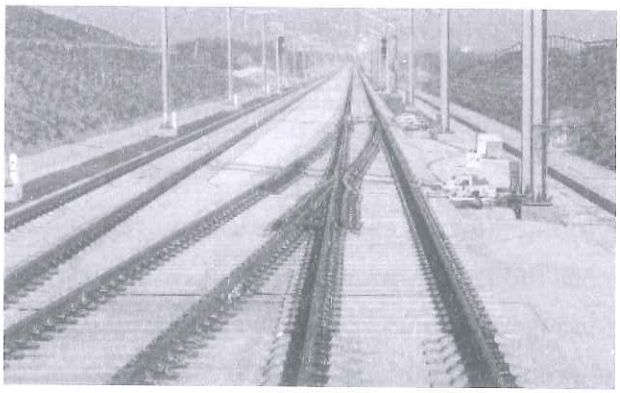


Hình 1-1-25: *Kết nối nối đất giữa các tấm nền đường ray khu vực cầu*

5. Đường ray không ballast kiểu chôn gối ray trong khu vực đường chuyển hướng

5.1. Thành phần cấu trúc của đường ray

Đường ray không ballast kiểu chôn gối ray trong khu vực đường chuyển hướng bao gồm các thành phần: bộ phận đường chuyển hướng, hệ thống kẹp ray, gối ray dự ứng lực dạng giàn, tấm nền, và nền móng hoặc lớp đệm hỗ trợ, như minh họa trong Hình 1-1-26.



Hình 1-1-26: *Đường ray không ballast kiểu chôn gối ray trong khu vực chuyển hướng trên nền*

Các đặc điểm kỹ thuật chính của cấu trúc này:

1- Ở khu vực đường nền, tấm nền được đổ liên tục trên lớp hỗ trợ hoặc đổ theo từng phần trên nền móng.

2- Trong khu vực đường hầm, tấm nền có cấu trúc liên tục, được đổ trực tiếp trên lớp lót đáy hầm hoặc tấm bê tông cốt thép.

3- Ở khu vực cầu, tấm nền được chia thành các phần riêng lẻ, được đổ trên nền móng. Giữa tấm nền và nền móng có lớp cách ly (vải địa kỹ thuật), cùng với cấu trúc giới hạn gờ. Xung quanh gờ có lớp đệm đàn hồi để giảm tải trọng.

4- Độ cứng của đường ray trong khu vực chuyển hướng được duy trì đồng đều và tương thích với độ cứng của đường ray chính.

5- Thiết kế cấu trúc đường ray cần tính đến các yêu cầu lắp đặt của thiết bị điều khiển điện trong khu vực chuyển hướng.

5.2. Cấu trúc và yêu cầu kỹ thuật của đường ray khu vực chuyển hướng trên nền

Tấm nền được xây dựng trên nền móng hoặc lớp hỗ trợ. Khi sử dụng nền móng, tấm nền thường có cấu trúc từng phần; khi sử dụng lớp hỗ trợ, tấm nền thường có cấu trúc liên tục dọc theo chiều dài tuyến.

- Nền móng:

+ Độ dày: 300 mm.

+ Cấp độ bền bê tông: C30.

+ Chiều rộng được điều chỉnh theo kích thước đường chuyển hướng.

+ Có cốt thép nối với tấm nền.

- Lớp hỗ trợ:

+ Yêu cầu kỹ thuật tương tự lớp hỗ trợ trong cấu trúc đường ray không ballast kiểu tấm CRTS II.

+ Do bề rộng của tấm nền thay đổi trong khu vực chuyển hướng, lớp hỗ trợ cần rộng hơn 300 mm so với mép tấm nền.

5.3. Cấu trúc và yêu cầu kỹ thuật của đường ray khu vực chuyển hướng trên cầu

Để giảm tác động tương tác giữa cầu và cấu trúc đường ray:

- Giữa tấm nền và nền móng có lớp cách ly nhằm đảm bảo truyền tải trọng hiệu quả.

- Tấm nền và nền móng được thiết kế với cấu trúc gờ giới hạn:

+ Kích thước: chiều rộng 700 mm, độ sâu 130 mm.

+ Chiều dài và số lượng gờ được thiết kế dựa trên yêu cầu bố trí và tải trọng.

+ Gờ có lớp đệm đàn hồi ở mặt bên.

Tấm nền được thiết kế từng phần dọc theo tuyến, với các khe co giãn ngang giữa các tấm nền liền kề.

- Nền móng được đổ tại chỗ trên mặt cầu và kết nối với cầu qua cốt thép hoặc ống nối được chôn sẵn.

- Kích thước nền móng:

+ Chiều dài: tương ứng với tấm nền.

+ Chiều rộng: rộng hơn 250 mm so với mỗi mép tấm nền.

- Khu vực mở rộng có độ dốc ngang ít nhất 3% để thoát nước.

5.4. Đường ray khu vực chuyển hướng trong đường hầm

Tấm nền trong khu vực đường hầm là kết cấu bê tông cốt thép liên tục dọc theo tuyến, được đổ trực tiếp trên lớp lót đáy hầm hoặc tấm đáy bê tông.

Trong phạm vi bề rộng của tấm nền, bề mặt lớp lót đáy hầm hoặc tấm đáy bê tông cần được làm nhám và bố trí cốt thép để nối với tấm nền.

5.5. Công nghệ kỹ thuật chính trong cấu trúc đường ray

(1) Chiều dài phân đoạn của tấm đường ray

Chiều rộng và độ dày của tấm đường ray tại khu vực chuyển hướng thay đổi theo chiều dọc tuyến, đặc biệt chiều rộng của tấm đường ray phụ thuộc vào cấu trúc phần trên của đường ray chuyển hướng. Số lượng phân đoạn càng nhiều, việc thiết kế cốt thép càng phức tạp, đồng thời yêu cầu đầu tư khuôn mẫu và khối lượng công việc thi công tăng lên. Cần cân nhắc tổng thể giữa khả năng chịu lực của cấu trúc, bố trí phần trên của đường ray chuyển hướng và quy trình thi công để xác định chiều dài phân đoạn hợp lý.

(2) Yêu cầu đối với khu vực đặt máy chuyển hướng

Tại khu vực đặt máy chuyển hướng, do yêu cầu không gian cho các thanh kéo của máy chuyển hướng, thiết kế tấm đường ray phải dự trù trước các khoảng trống phù hợp, bao gồm chiều rộng của hố chừa sẵn, khoảng cách và chiều rộng giữa các gối ray, đồng thời đảm bảo lớp bảo vệ bê tông ở lớp ngoài cùng tại các vị trí chừa sẵn.

(3) Yêu cầu về thoát nước

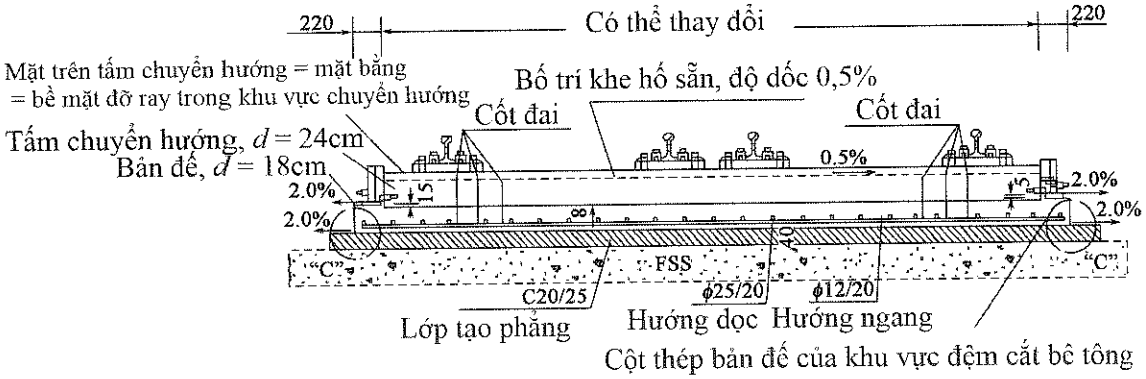
Khu vực đường ray chuyển hướng trong hệ thống không ballast có tấm đường ray rộng hơn so với tuyến đường thẳng, và bề mặt tấm đường ray bị cản trở bởi các gối ray dài, khiến nước không thể thoát theo chiều dọc tuyến. Do đó, bề mặt tấm đường ray cần được thiết kế với độ dốc thoát nước ngang. Các yêu cầu thiết kế và thi công phải đảm bảo bề mặt tấm đường ray không bị ứ đọng nước.

6. Đường ray không ballast dạng tấm tại khu vực chuyển hướng

6.1. Đường ray không ballast dạng tấm tại khu vực chuyển hướng trên nền đường

(1) Thành phần cấu trúc

Đường ray không ballast dạng tấm tại khu vực chuyển hướng trên nền đường bao gồm các thành phần: cụm thiết bị chuyển hướng, tấm bê tông đúc sẵn dành cho khu vực chuyển hướng, lớp đế (lớp bê tông tự lèn chặt) và lớp điều chỉnh độ cao, như minh họa trong Hình 1-1-27.



Hình 1-1-27: *Mặt cắt ngang cấu trúc đường ray không ballast dạng tấm tại khu vực chuyển hướng trên nền đường (Đơn vị: mm)*

(2) Các đặc điểm kỹ thuật chính

- Lớp làm phẳng: Trên lớp mặt nền đường, đặt lớp bê tông làm phẳng dày 200 mm, sử dụng bê tông xi măng không cốt thép với cường độ cấp C25. Lớp này được trải liên tục theo hướng dọc, mỗi khoảng 5 m có khe cắt ngang, độ sâu cắt bằng 1/3 độ dày của lớp làm phẳng, và bề mặt được xử lý nhám.

- Tấm đường ray chuyển hướng: Các tấm đường ray được lắp đặt theo từng đơn nguyên, không kết nối theo chiều dọc. Tấm được sản xuất sẵn tại nhà máy (Hình 1-1-28), làm từ bê tông thường với độ dày 240 mm. Chiều dài và chiều rộng của tấm được thiết kế theo kích thước hình học của từng loại chuyển hướng. Dưới đáy tấm có sẵn các thanh thép hình cửa để liên kết với lớp nền (lớp bê tông tự lèn).



Hình 1-1-28: *Tấm bê tông đúc sẵn cho đường ray chuyển hướng*

- Xử lý cách điện và tiếp đất: Hệ thống cốt thép bên trong tấm được xử lý cách điện, đồng thời có gắn thép tiếp đất và các đầu nối tiếp đất.

- Lớp nền bê tông cốt thép: Bên dưới tấm chuyển hướng, lắp đặt lưới cốt thép và đổ lớp bê tông tự lèn để tạo thành nền bê tông cốt thép - đặc điểm thiết kế chính của cấu trúc đường ray không ballast dạng tấm tại khu vực chuyển hướng trên nền đường. Lớp nền này có độ dày 180 mm, cường độ cấp C40. Nền kéo dài bao phủ toàn bộ khu vực chuyển hướng, với chiều rộng lớn hơn chiều rộng của tấm chuyển hướng thêm 440 mm (mỗi bên mở rộng 220 mm). Các mép nhô ra bên ngoài được thiết kế với độ dốc ngang 2% để thoát nước.

6.2. Đường ray chuyển hướng dạng tấm không ballast trên cầu

(1) Cấu trúc thành phần

Cấu trúc đường ray chuyển hướng dạng tấm trên cầu tương tự như đường ray không ballast dạng tấm CRTS II trên cầu, bao gồm các thành phần: bộ phận chuyển hướng, tấm bê tông đúc sẵn cho đường ray chuyển hướng, lớp đệm vữa nhũ tương xi măng, tấm đáy, lớp trượt "hai lớp vải một lớp màng", tấm cách nhiệt cường độ cao, cấu trúc hạn chế dọc, chốt chặn bên, tấm hạn chế đàn hồi và cấu trúc neo phía sau cầu (gồm thanh neo và tấm ma sát), như minh họa trong Hình 1-1-29.



Hình 1-1-29: *Đường ray chuyển hướng dạng tấm không ballast trên cầu*

(2) Các đặc điểm kỹ thuật chính

- Giảm tác động tương hỗ giữa cầu và cấu trúc đường ray: Trong phạm vi tấm đáy bê tông cốt thép trên cầu, một lớp trượt "hai lớp vải một lớp màng" được bố trí.

- Tấm đáy: Là bộ phận chịu lực chính của đường ray chuyển hướng dạng tấm trên cầu, được đặt dọc theo cầu một cách liên tục. Tấm đáy sử dụng bê tông cường độ cấp C30, với độ dày 180 mm và chiều rộng mở rộng thêm 200 mm so với tấm đường ray chuyển hướng. Phần mép mở rộng được thiết kế với độ dốc thoát nước ngang là 2%. Giữa mỗi tấm đường ray chuyển hướng và tấm đáy được bố trí chốt chống cắt.

- Tấm đường ray chuyển hướng: Không bố trí thanh thép hình cổng kết nối với lớp đệm. Các yêu cầu kỹ thuật khác tương tự như đường ray chuyển hướng ở khu vực nền đường.

- Chốt chặn bên và tấm hạn chế đàn hồi: Hai bên tấm đáy được bố trí chốt chặn bên, giữa tấm đáy và chốt chặn có các tấm hạn chế đàn hồi cấu thành từ lớp đệm cao su và thép không gỉ, nhằm đảm bảo ổn định chống cong ngang và dọc của hệ thống đường ray, cũng như tạo điều kiện giãn nở tự do giữa cầu và đường ray.

- Lớp đệm vữa nhũ tương xi măng: Lớp đệm giữa tấm đáy và tấm đường ray được lấp đầy bằng vữa nhũ tương xi măng theo các tiêu chuẩn kỹ thuật tương tự như đường ray không ballast dạng tấm CRTS II.

- Yêu cầu vật liệu: Các vật liệu như vữa nhũ tương xi măng, lớp trượt, tấm cách nhiệt cường độ cao và tấm hạn chế đàn hồi phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật tương tự như trong cấu trúc đường ray không ballast dạng tấm CRTS II.

IV. CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG ĐƯỜNG RAY KHÔNG BALLAST TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Dựa trên các kết quả nghiên cứu trước đây và việc tiếp thu, cải tiến các công nghệ nhập khẩu, Trung Quốc đã kết hợp điều kiện công trình đường sắt cao tốc và đặc điểm cấu trúc của đường ray không ballast để đổi mới công nghệ. Điều này đã giúp phát triển các kỹ thuật sản xuất, thiết bị thi công và quy trình phù hợp với điều kiện thực tế. Nhờ đó, hình thành các bộ công nghệ xây dựng đường ray không ballast hoàn chỉnh với nhiều cấu trúc khác nhau như: kiểu tấm CRTS I, kiểu tấm CRTS II, kiểu song khối, kiểu nhúng thanh ray tại khu vực chuyển hướng và kiểu tấm tại khu vực chuyển hướng.

1. Công nghệ sản xuất đường ray không ballast

Đường ray không ballast bao gồm nhiều loại cấu kiện bê tông đúc sẵn khác nhau, chẳng hạn như tấm ray bê tông CRTS I, CRTS II, thanh ray bê tông kiểu song khối, thanh ray chuyển hướng dạng khung, và tấm ray chuyển hướng bê tông. Do quy mô xây dựng đường sắt cao tốc tại Trung Quốc rất lớn và để giảm chi phí vận chuyển, các cấu kiện bê tông đúc sẵn thường được sản xuất trực tiếp tại hiện trường theo tiêu chuẩn hóa của nhà máy.

Các công trình đường sắt cao tốc được tổ chức nghiên cứu, biên soạn các hướng dẫn chi tiết về quy trình sản xuất. Các hướng dẫn này bao gồm: quy trình làm việc, công nghệ sản xuất, yêu cầu nguyên vật liệu, trang thiết bị, tổ chức sản xuất

(bao gồm thiết kế tổng thể khu sản xuất, thiết kế chức năng, tổ chức nhân lực, chuẩn bị tài liệu kỹ thuật), quản lý chất lượng, và các biện pháp an toàn, bảo vệ môi trường. Điều này đảm bảo sản xuất các cấu kiện bê tông đúc sẵn đạt tiêu chuẩn hóa và kiểm soát chất lượng cao.

Dưới đây là phần giới thiệu về quy trình sản xuất và các công nghệ quan trọng đối với tấm ray bê tông CRTS I, CRTS II và thanh ray kiểu song khối.

1.1. Tấm ray bê tông CRTS I

(1) Bố trí tổng thể khu sản xuất và dây chuyền sản xuất

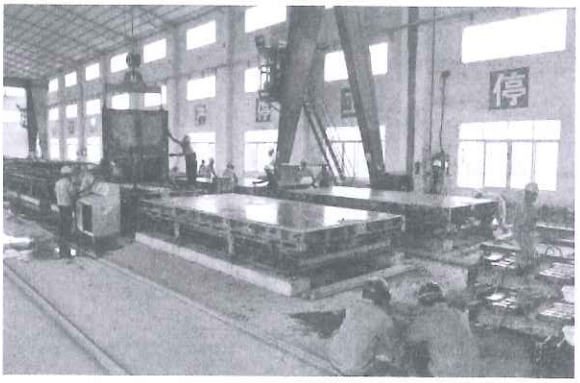
Khu sản xuất tấm ray được chia thành:

- Khu sản xuất: Bao gồm trạm trộn bê tông, trạm cung cấp hơi nước, khu gia công cốt thép, khu đúc tấm ray, khu kéo căng và bơm keo, khu bảo dưỡng bằng nước, và khu kiểm tra sản phẩm hoàn thiện.

- Khu lưu trữ tấm ray: Lưu trữ các sản phẩm đã hoàn thiện.

- Khu văn phòng và sinh hoạt: Bao gồm các khu vực làm việc và tiện ích cho nhân viên.

Dựa trên đặc điểm thiết kế cấu trúc của tấm ray bê tông CRTS I, công nghệ sản xuất sử dụng phương pháp độc lập trên bệ đỡ. Hình 1-1-30 minh họa dây chuyền sản xuất tấm ray bê tông CRTS I.



Hình 1-1-30: *Dây chuyền sản xuất tấm ray bê tông CRTS I*

(2) Các công đoạn quan trọng và kiểm soát chất lượng

① *Khuôn thép của tấm ray:*

Độ chính xác trong chế tạo khuôn là yếu tố then chốt để đảm bảo chất lượng sản xuất tấm ray. Yêu cầu thiết kế đảm bảo độ chính xác của khuôn nằm trong phạm vi 1/2 sai số cho phép của thành phẩm. Trong đó, độ phẳng của khuôn và độ chính xác trong định vị của ống chôn sẵn là yếu tố kỹ thuật quan trọng.

② *Lắp ghép cốt thép và lắp đặt linh kiện chôn sẵn:*

Khung cốt thép được gia công trên giá đỡ chuyên dụng. Để đảm bảo tính cách điện của tấm ray, trong quá trình lắp ghép cốt thép, ngoài việc kiểm tra khoảng cách giữa các thanh thép, cần đặc biệt chú trọng xử lý cách điện giữa thép dọc và thép ngang. Sử dụng đồng hồ đo điện trở cách điện 500V để xác nhận điện trở giữa các thanh cốt thép không nhỏ hơn 2 MΩ.

③ *Tỷ lệ trộn bê tông và kiểm soát nhiệt độ:*

Dựa trên yêu cầu thiết kế và nguyên vật liệu tại chỗ, tỷ lệ trộn bê tông được xác định qua thí nghiệm. Trong quá trình đổ bê tông và dưỡng hộ bằng hơi nước, cần kiểm soát chặt chẽ nhiệt độ hỗn hợp khi vào khuôn. Hệ thống kiểm soát nhiệt độ tự động được sử dụng để kiểm soát tốc độ tăng (giảm) nhiệt, thời gian dưỡng hộ, nhiệt độ hơi nước cao nhất và nhiệt độ trong lõi tấm bê tông theo từng giai đoạn.

④ *Tháo khuôn và căng ứng suất trước:*

Khi tháo khuôn, cường độ bê tông phải đạt ít nhất 40 MPa. Khi thi công căng ứng suất, cường độ và môđun đàn hồi của bê tông phải đạt ít nhất 80% giá trị thiết kế. Giá trị ứng suất trước được kiểm soát kép, chủ yếu dựa vào lực căng và được kiểm tra bằng độ giãn dài của dây cáp. Để đảm bảo chất lượng thi công ứng suất trước, khu vực sản xuất cần trang bị hệ thống căng tự động.

⑤ *Trám lỗ neo:*

Khu vực xung quanh lỗ neo cần được xử lý nhám theo yêu cầu thiết kế, sau đó dùng vữa trám đặc biệt để lấp đầy, nén chặt từng lớp bằng dụng cụ nén và dùng búa khí để rung đều vữa.

⑥ *Dưỡng hộ trong nước:*

Khu vực sản xuất trang bị bể dưỡng hộ nước. Sau khi hoàn thành trám lỗ neo, tấm ray cần được đưa vào dưỡng hộ nước kịp thời, khoảng thời gian từ tháo khuôn đến dưỡng hộ nước không vượt quá 8-10 giờ. Tấm ray cần được dưỡng hộ trong nước ít nhất 3 ngày với nhiệt độ nước không thấp hơn 5°C.

⑦ *Kiểm tra chất lượng tấm ray:*

Các mục kiểm tra quan trọng bao gồm chất lượng nguyên vật liệu (bê tông, thép, linh kiện chôn sẵn, v.v...), vị trí và lực kháng kéo của các ống chôn sẵn dành cho khóa ray, độ phẳng của bề mặt trên tấm ray, độ chính xác của giá trị ứng suất trước, chất lượng trám lỗ neo và khả năng cách điện của tấm ray thành phẩm.

⑧ *Lưu trữ tấm ray:*

Để đảm bảo độ phẳng của tấm ray, các tấm cần được dựng đứng khi lưu trữ. Khi lưu trữ tạm thời (không quá 7 ngày), tấm ray có thể được đặt phẳng nhưng không được xếp quá 4 lớp. Các ống chôn sẵn và ống nâng cần được trang bị nắp bảo vệ.

1.2. Tấm ray bê tông CRTS II

(1) Thiết kế tổng thể nhà máy sản xuất tấm ray và dây chuyền sản xuất

Tấm ray bê tông CRTS II là cấu trúc ứng suất trước theo phương dọc, được sản xuất bằng công nghệ sử dụng bàn khuôn dài. Thiết kế tổng thể nhà máy sản xuất tấm ray được thực hiện dựa trên đặc điểm cấu trúc thiết kế và điều kiện của từng công trình cụ thể, đảm bảo quá trình sản xuất mạch lạc, dòng chảy vật liệu hợp lý.

Nhà máy sản xuất tấm ray thường được chia thành 8 khu vực độc lập nhưng có mối liên hệ với nhau, bao gồm: khu gia công thép, khu đúc phôi, khu trộn bê tông, khu mài và lắp ráp tấm ray, khu lưu trữ tấm ray, khu lưu trữ cát và đá, khu hỗ trợ sản xuất và khu văn phòng, sinh hoạt. Hình 1-1-31 thể hiện dây chuyền sản xuất phôi tấm ray.



Hình 1-1-31: *Dây chuyền sản xuất phôi tấm ray bê tông CRTS II*

(2) Các công đoạn chính và kiểm soát chất lượng

① *Khuôn thép của tấm ray:*

Để đảm bảo độ chính xác hình dạng, kích thước của tấm ray và vị trí các linh kiện được chôn sẵn, khuôn thép cần có đủ độ bền, độ cứng và tính ổn định. Khuôn phải được kiểm tra đạt chuẩn trước khi sử dụng. Độ phẳng của khuôn, kích thước chi tiết của rãnh đỡ ray, sai lệch chiều cao giữa các khuôn, và độ chính xác vị trí của ống chôn sẵn là những yếu tố kỹ thuật then chốt để đảm bảo chất lượng tấm ray.

② *Tỷ lệ trộn bê tông:*

Bê tông của tấm ray có cường độ thiết kế là C55. Trước khi sản xuất hàng loạt, cần tiến hành thiết kế tỷ lệ trộn bê tông dựa trên thời gian chu kỳ sản xuất, độ nhám của đáy tấm ray và chất lượng bề mặt của tấm.

③ *Gia công lưới thép:*

Tấm ray được gia cố bằng hai lớp lưới thép thông thường. Lưới thép được gia công trên khuôn chuyên dụng. Theo yêu cầu thiết kế, cần xử lý cách điện tại các điểm giao nhau của lưới thép, đảm bảo điện trở cách điện giữa các thanh thép không nhỏ hơn 2 MΩ.

④ *Căng ứng suất trước:*

Ứng suất trước được căng theo phương pháp toàn bộ, gồm hai giai đoạn: căng ban đầu và căng cuối cùng. Ở giai đoạn căng ban đầu, thép dự ứng lực được căng đến khoảng 20% giá trị thiết kế, sau đó cố định vào khuôn. Trong giai đoạn căng cuối cùng, thép dự ứng lực được căng đến giá trị thiết kế.

- Ứng suất trước được kiểm soát kép, với lực căng là yếu tố chính và độ giãn dài của thép làm cơ sở đối chiếu.

- Sai lệch giữa lực căng thực tế và giá trị thiết kế không được vượt quá 5%, và sai lệch giữa các đầu xi lanh thủy lực không được vượt quá 2 mm (cùng đầu) hoặc 4 mm (khác đầu).

⑤ *Kiểm soát chất lượng bề mặt đáy tấm ray:*

Để đảm bảo độ bám dính giữa đáy tấm ray và lớp vữa nhựa đường xi măng, bề mặt bê tông của đáy tấm ray cần đạt độ nhám thích hợp. Việc xử lý nhám được thực hiện trước khi bê tông bắt đầu đông kết.

⑥ *Kiểm soát nhiệt độ:*

- Nhiệt độ của bê tông khi đổ khuôn phải nằm trong khoảng 5-30°C. Sau khi đổ khuôn, tấm ray cần được phủ bảo vệ và dưỡng hộ ngay lập tức. Trong quá trình dưỡng hộ, nhiệt độ lõi bê tông không được vượt quá 55°C, và chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt tấm ray và môi trường xung quanh khi tháo khuôn không được lớn hơn 20°C.

⑦ *Kiểm soát chất lượng mài tấm ray:*

Việc mài chính xác các vị trí đỡ ray trên tấm ray bằng máy mài điều khiển số (CNC) là một khâu quan trọng trong quy trình sản xuất. Trước khi sản xuất hàng loạt, cần tiến hành thử nghiệm và hiệu chỉnh máy mài cũng như phần mềm liên quan, đảm bảo các dữ liệu mài đạt độ chính xác cao.

⑧ *Kiểm tra chất lượng:*

Các mục kiểm tra quan trọng bao gồm:

- Chất lượng nguyên vật liệu (bê tông, thép, linh kiện chôn sẵn).
- Vị trí và lực kháng kéo của các ống chôn sẵn cho khóa ray.
- Kích thước hình học của các vị trí đỡ ray.
- Giá trị ứng suất trước.
- Chất lượng bề mặt và khả năng cách điện.
- Hiệu quả xử lý nhám đáy tấm ray.

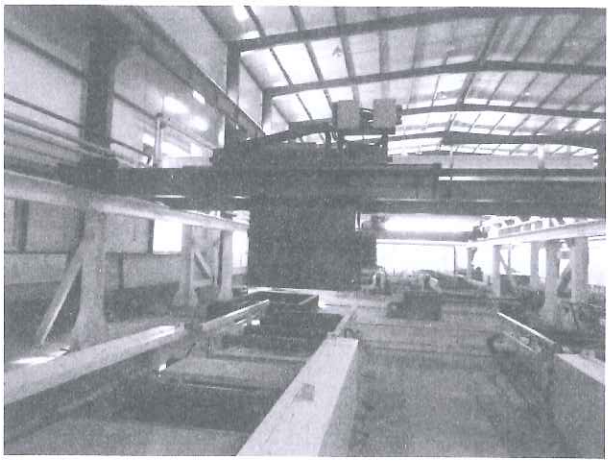
⑨ *Lưu trữ và vận chuyển tấm ray:*

Khi lưu trữ, số lượng tấm xếp chồng không được vượt quá 9 lớp. Để đảm bảo độ chính xác của kết nối tấm ray, cần kiểm tra kỹ lưỡng kích thước ren của thép và thực hiện bảo vệ các phần có ren trong suốt quá trình lưu trữ và vận chuyển.

1.3. Tà vẹt bê tông song khối

(1) Thiết kế tổng thể nhà máy sản xuất tà vẹt và dây chuyền sản xuất

Tà vẹt song khối là cấu trúc bê tông thông thường, được sản xuất theo quy trình dây chuyền liên tục.



Hình 1-1-32: *Dây chuyền sản xuất tà vẹt song khối*

Nhà máy sản xuất tà vẹt được chia thành 6 khu vực chính:

- Khu vực nguyên vật liệu;
- Khu vực sản xuất (bao gồm dây chuyền gia công cốt thép và dây chuyền sản xuất tà vẹt song khối);
- Khu vực sản xuất phụ trợ;

- Khu vực kiểm định chất lượng sản phẩm;
- Khu vực lưu trữ;
- Khu vực văn phòng và sinh hoạt.

(2) Quy trình chính và kiểm soát chất lượng

① *Khuôn tà vẹt song khối:*

Độ chính xác của khuôn phải đảm bảo sai số trong phạm vi 1/2 của sai số cho phép đối với sản phẩm hoàn thiện. Các hạng mục kiểm soát chất lượng chính của khuôn bao gồm:

- Kích thước chi tiết tại vị trí đặt ray.
- Độ phẳng bề mặt.
- Sai lệch chiều cao giữa các khuôn.
- Định vị chính xác các ống chôn sẵn.

② *Lắp ráp cốt thép:*

Cốt thép cần thiết cho tà vẹt bao gồm khung lưới cốt thép, thép đai và thép xoắn. Trong đó, khung lưới cốt thép được sản xuất trên dây chuyền tự động.

③ *Kiểm soát nhiệt độ:*

- Nhiệt độ của hỗn hợp bê tông khi đổ khuôn phải trong khoảng 5°C - 30°C.
- Tà vẹt song khối có thể được bảo dưỡng tự nhiên hoặc bằng hơi nước.
- Nếu sử dụng hơi nước, cần có hệ thống điều khiển nhiệt độ tự động để kiểm soát tốc độ và thời gian tăng/giảm nhiệt, cũng như nhiệt độ tối đa của hơi nước và phần lõi tà vẹt.
- Khi kết thúc bảo dưỡng bằng hơi nước, nhiệt độ bề mặt tà vẹt và môi trường không được chênh lệch quá 15°C.

④ *Cường độ bê tông khi tháo khuôn:*

Cường độ bê tông của tà vẹt song khối khi tháo khuôn không được nhỏ hơn 40 MPa.

⑤ *Kiểm tra chất lượng:*

Các hạng mục kiểm tra chất lượng quan trọng bao gồm:

- Chất lượng nguyên vật liệu (bê tông, thép, ống chôn sẵn, v.v...).
- Vị trí và lực chống kéo của ống chôn sẵn của phụ kiện kẹp ray.
- Kích thước hình học của phần đặt ray.
- Hình thức và bề ngoài của tà vẹt.

2. Công nghệ thi công đường ray không ballast

Thi công đường ray không ballast là yếu tố then chốt để đảm bảo kết cấu đường ray cao tốc đạt được độ ổn định cao, độ phẳng tốt và độ bền lâu dài. Dựa trên kết quả nghiên cứu và thực tiễn kỹ thuật, Trung Quốc đã tự phát triển các bộ thiết bị và quy trình thi công hoàn chỉnh cho nhiều loại đường ray không ballast, bao gồm các loại:

- CRTSI kiểu tấm;
- CRTSII kiểu tấm;
- Kiểu song khối;
- Kiểu chôn tà vẹt ở khu vực giao cắt;
- Kiểu tấm ở khu vực giao cắt.

Đồng thời, đã xây dựng hướng dẫn kỹ thuật thi công và tiêu chuẩn kiểm định chất lượng công trình đường ray không ballast dành riêng cho đường sắt cao tốc. Mỗi dự án đều có hướng dẫn thi công chi tiết dựa trên cấu trúc đường ray được sử dụng, đảm bảo tính tiêu chuẩn hóa và kiểm soát chất lượng trong toàn bộ quy trình thi công.

Phần sau đây sẽ tập trung giới thiệu các thiết bị, quy trình thi công và kỹ thuật chính của các loại đường ray không ballast CRTSI kiểu tấm, CRTSII kiểu tấm, và kiểu song khối.

2.1. Thi công đường ray không ballast kiểu tấm CRTSI

(1) Kế hoạch thi công tổng thể

Đường ray không ballast kiểu tấm CRTSI sử dụng phương pháp thi công từ dưới lên trên, bao gồm các bước:

1- Thi công đáy và gờ chắn lồi;

2- Lắp đặt tấm ray;

3- Bơm vữa nhũ tương xi măng asphalt và nhựa xung quanh gờ chắn;

4- Lắp đặt bộ phận giữ ray;

5- Trải ray thép.

Đáy và gờ chắn lồi được thi công theo phương pháp "đường thứ III", tức là tổ chức giao thông theo giao điểm giữa tuyến đường chính và tuyến đường công trường. Bề mặt nền đơn tuyến hoặc đáy được sử dụng làm lối đi tạm thời để vận chuyển.

• *Giai đoạn 1*: Sử dụng đường thứ II làm lối vận chuyển vật liệu, thi công đáy của đường thứ I.

• *Giai đoạn 2*: Sử dụng đáy của đường thứ I làm lối vận chuyển, thi công đáy của đường thứ II và gờ chắn lồi cho cả hai đường.

Trong các khu vực bị hạn chế bởi môi trường hoặc điều kiện giao thông như cầu dài, việc tổ chức vận chuyển vật liệu trên cầu gặp khó khăn. Vật liệu được vận chuyển theo đoạn bằng cần cẩu ô tô, bê tông được bơm lên mặt cầu bằng xe bơm hoặc bơm cố định.

Để thuận tiện cho vận chuyển và nâng hạ, các đoạn thi công đáy và gờ chắn lồi thường được kiểm soát trong phạm vi khoảng 3 km. Mỗi đoạn có thể bố trí hai mặt làm việc để thi công từ hai hướng.

Lắp đặt tấm ray sử dụng phương pháp "đường ray giữa tuyến". Bộ vận chuyển tấm ray bao gồm xe kéo ray và xe tải phẳng, được đẩy tới mặt làm việc thông qua đường ray vận chuyển tạm thời. Cần cẩu đi kèm xe hoàn thiện việc đặt tấm ray ở cả hai tuyến.

- Các bước tiếp theo bao gồm: căn chỉnh chính xác trạng thái tấm ray và bơm vữa nhũ tương xi măng asphalt.
- Mỗi mặt làm việc được chia thành ba khu vực thi công: lắp đặt tấm ray, căn chỉnh trạng thái tấm ray, và bơm vữa nhũ tương xi măng asphalt, tạo thành dây chuyền thi công liên tục.

Để đáp ứng nhu cầu vận chuyển vật liệu cho tấm ray và vữa nhũ tương xi măng asphalt, công trường thường chia thành các đoạn thi công dài từ 3 đến 5 km, với trạm bổ sung vật liệu và trạm nâng tấm ray đặt ở hai đầu đoạn thi công.

Vận chuyển và nâng hạ tấm ray:

- Vận chuyển tấm ray: Tấm ray được chở từ khu vực lưu trữ đến trạm nâng bằng xe tải phẳng.
- Nâng tấm ray: Dùng cần cẩu ô tô để nâng lên đường ray tạm hoặc đưa trực tiếp vào xe vận chuyển.
- Xe vận chuyển đẩy tấm ray dọc theo đường ray tạm đến khu vực lắp đặt.

Vận chuyển vật liệu vữa nhũ tương xi măng asphalt:

- Vật liệu lỏng như nhũ tương asphalt, polymer nhũ hóa, và nước được bơm trực tiếp lên xe.
- Vật liệu khô như xi măng và cát được đưa vào phễu bằng cần cẩu ô tô và chứa trong thùng xe trộn bơm vữa.

Các chất phụ gia như chất giãn nở, chất tạo bọt, chất khử bọt và bột nhôm được cân đo và đóng gói riêng tại trạm bổ sung vật liệu theo tỷ lệ phối trộn.

(2) Thiết bị thi công chính

Thi công đường ray không ballast kiểu tấm CRTSI sử dụng các thiết bị chính bao gồm:

- Khuôn đúc đáy và gờ chắn lồi;
- Máy vận chuyển và lắp đặt tấm ray tích hợp;
- Xe trộn và bơm vữa di động;
- Hệ thống đo lường căn chỉnh chính xác;
- Trạm trộn bê tông;
- Xe vận chuyển bê tông;
- Máy đầm rung;
- Máy trộn cầm tay.

Các thiết bị và dụng cụ kiểm tra chất lượng nguyên liệu như bê tông, vữa và nhựa cũng được bố trí để đảm bảo chất lượng công trình.

(3) Quy trình thi công quan trọng và kiểm soát chất lượng

① *Kiểm soát cao độ đáy và định vị chính xác gờ chắn lồi*

Cao độ của đáy và vị trí gờ chắn lồi ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng bơm vữa nhũ tương xi măng asphalt và nhựa xung quanh gờ chắn.

Theo yêu cầu tiêu chuẩn đo đạc, các biện pháp kỹ thuật được áp dụng để kiểm soát:

- Cao độ đáy: Sai số cho phép ± 5mm.
- Vị trí cốt thép nhúng kết nối với gờ chắn.
- Định vị chính xác gờ chắn lồi: Sai số cho phép ở trục giữa là 3mm và khoảng cách tâm là ± 5mm.

② *Bơm vữa nhũ tương xi măng asphalt*

Thi công vữa nhũ tương xi măng asphalt đòi hỏi tính chuyên nghiệp cao.

- Nguyên liệu, quy trình thi công và kiểm nghiệm phải tuân thủ nghiêm ngặt theo "Tiêu chuẩn tạm thời cho vữa nhũ tương xi măng asphalt của đường ray CRTSI".
- Phòng thí nghiệm vữa tại hiện trường cần được thiết lập để đảm bảo chất lượng.
- Tổ chức hợp lý kế hoạch thi công nhằm đảm bảo:

+ Nhiệt độ môi trường trong khoảng thích hợp (10 - 30°C).

+ Vữa bơm đầy và chặt kín, phần mép của tấm ray không được treo hẫng quá 30mm.

- Trước thi công, cần tiến hành thử nghiệm công nghệ cho thiết bị bơm và vật liệu vữa, đồng thời thực hiện kiểm tra lắp tấm thử nghiệm.

③ *Bơm nhựa xung quanh gờ chắn lồi*

- Vật liệu nhựa, quy trình thi công và nghiệm thu phải tuân thủ theo "Tiêu chuẩn tạm thời cho vật liệu nhựa Polyurethane của gờ chắn CRTSI".

- Điều kiện thi công:

+ Nhiệt độ môi trường từ 5 - 40°C.

+ Cấm thi công trong điều kiện mưa hoặc tuyết.

- Quy trình chính:

+ Vệ sinh vị trí bơm.

+ Lắp đặt túi bơm.

+ Trộn, bơm và bảo dưỡng nhựa.

④ *Căn chỉnh trạng thái đường ray*

Việc căn chỉnh trạng thái chính xác của đường ray CRTSI được thực hiện sau khi lắp đặt đường ray thép dài.

- Định vị hình học không gian của ray được thực hiện qua mạng lưới kiểm soát CPIII và điểm chuẩn trên gờ chắn lồi.

- Để đảm bảo độ êm mượt cao và độ cứng đồng đều:

+ Điều chỉnh ngang: Sử dụng tấm đệm sắt có lỗ tròn dài.

+ Điều chỉnh cao độ: Thay đổi độ dày tấm đệm hoặc chiều cao tấm đệm nhựa đổ đầy.

- Lực xiết của bulông gắn chốt đàn hồi và đế thép được kiểm soát nghiêm ngặt theo tiêu chuẩn thiết kế đường không mối nối.

2.2. Thi công đường ray không ballast kiểu tấm CRTSII

(1) Phương pháp và quy trình thi công

Thi công đường ray CRTSII kiểu tấm không ballast áp dụng phương pháp "thi công từ dưới lên trên". Do cấu tạo của đường ray tại khu vực đường ray trên nền, trong hầm và trên cầu khác nhau, quy trình thi công cũng được điều chỉnh tương ứng.

Quy trình thi công chính tại khu vực đường nền và hầm:

1- Thi công lớp đỡ (lớp hỗ trợ).

2- Lắp đặt và căn chỉnh, cố định tấm ray.

3- Bơm vữa nhũ tương xi măng asphalt.

4- Kết nối dọc các tấm ray.

5- Thi công khe nối giữa các tấm ray.

6- Lắp đặt và căn chỉnh chính xác đường ray thép.

Quy trình thi công chính tại khu vực cầu:

1- Lắp đặt lớp trượt và tấm xốp cường độ cao.

2- Thi công đáy tấm và cấu trúc neo sau cầu (bao gồm tấm ma sát và thanh neo).

3- Lắp đặt và căn chỉnh, cố định tấm ray.

4- Bơm vữa nhũ tương xi măng asphalt.

5- Kết nối dọc các tấm ray.

6- Thi công khe nối giữa các tấm ray.

7- Thi công khối chặn ngang.

8- Lắp đặt và căn chỉnh chính xác đường ray thép.

(2) Thiết bị thi công chính

Các thiết bị chính trong thi công đường ray kiểu tấm CRTSII bao gồm:

Trạm trộn bê tông: Sử dụng để đảm bảo bê tông được trộn đồng đều.

2- Xe vận chuyển bê tông: Vận chuyển bê tông từ trạm trộn đến nơi thi công.

3- Xe bơm bê tông và máy bơm bê tông: Dùng để bơm bê tông đến các vị trí cần thiết.

4- Máy rải bê tông kiểu trượt: Dùng cho việc trải bê tông lớp hỗ trợ.

5- Thiết bị gia công cốt thép: Gia công cốt thép theo thiết kế.

6- Xe vận chuyển tấm ray: Dùng để vận chuyển các tấm ray đến vị trí lắp đặt.

7- Cổng trục lắp đặt tấm ray: Lắp đặt tấm ray vào đúng vị trí.

8- Thiết bị định vị và căn chỉnh tấm ray: Đảm bảo các tấm ray được đặt chính xác.

9- Xe trộn vữa nhũ tương xi măng asphalt di động: Trộn vữa nhũ tương xi măng asphalt tại hiện trường.

10- Thiết bị bơm vữa nhũ tương xi măng asphalt: Dùng để bơm vữa vào các khe.

11- Côn định vị: Dùng để căn chỉnh các chi tiết trong quá trình thi công.

12- Hệ thống đo lường căn chỉnh chính xác: Đảm bảo sự chính xác trong quá trình thi công và lắp đặt.

(3) Các công đoạn quan trọng và kiểm soát chất lượng

① *Kiểm tra giao diện giữa đường ray không ballast và công trình nền dưới*

Trước khi thi công đường ray không ballast, cần thực hiện kiểm tra nghiêm ngặt chất lượng các giao diện với công trình nền dưới.

- Đối với khu vực cầu: Giao diện cần kiểm tra bao gồm:

+ Độ cao của mặt cầu.

+ Độ phẳng của mặt cầu.

+ Chênh lệch độ cao giữa hai đầu dầm liền kề.

+ Các rãnh chống cắt và thanh thép neo được lắp sẵn.

+ Vị trí các thanh thép kết nối với khối chặn ngang.

- Đối với khu vực nền đường và hầm: Các yếu tố cần kiểm tra gồm:

+ Độ cao của lớp nền đệm và lớp bù lấp đáy hầm.

+ Thiết lập siêu cao tại các đoạn cong theo thiết kế.

② *Chuẩn bị và bơm vữa nhũ tương xi măng asphalt*

- Vữa nhũ tương xi măng asphalt có thành phần phức tạp và nhạy cảm với điều kiện môi trường, đòi hỏi kỹ thuật thi công cao. Chất lượng bơm vữa chịu ảnh hưởng bởi:

+ Chất lượng của nhũ tương và vật liệu khô.

+ Hiệu suất của thiết bị bơm.

+ Độ phẳng của bề mặt tấm ray và lớp nền.

+ Chất lượng trải nhám và nhiệt độ trong quá trình thi công.

- Trước khi bơm vữa:

+ Kiểm tra chất lượng nguyên vật liệu theo các tiêu chuẩn kỹ thuật trong "Điều kiện kỹ thuật tạm thời về vữa nhũ tương xi măng asphalt cho CRTSII."

+ Xây dựng đoạn thử nghiệm để đánh giá chất lượng thi công, bao gồm thực hiện thử nghiệm bóc tấm để kiểm tra sự kết dính giữa lớp vữa, tấm ray và nền móng.

③ *Thi công tấm đáy tại khu vực cầu*

- Tấm đáy là công đoạn quan trọng trong thi công đường ray CRTSII kiểu tấm. Yêu cầu:

+ Kiểm soát chất lượng bê tông tấm đáy.

+ Đảm bảo độ cao tấm đáy trong sai số cho phép (±5mm).

- Ghép nối tấm đáy: Đây là công đoạn quan trọng với tấm đáy trên các cầu dài:

+ Thực hiện ghép nối trong phạm vi nhiệt độ thiết kế ±5°C để tránh tình trạng kéo căng tấm đáy.

+ Nếu nhiệt độ ghép nối thấp hơn thiết kế 5°C, cần sử dụng các thanh thép kết nối đặt ở khoảng cách thích hợp để đảm bảo độ ổn định.

+ Khi nhiệt độ vượt ngoài phạm vi cho phép, không được tiến hành ghép nối.

④ *Kết nối dọc các tấm ray*

- Điều kiện thực hiện:

+ Cường độ vữa nhũ tương xi măng asphalt đạt 9MPa.

+ Cường độ bê tông tại các khe hẹp đạt 20MPa.

- Quy trình thực hiện:

+ Bắt đầu từ giữa đoạn tuyến cần kết nối, tiến hành đối xứng ra hai đầu.

+ Trình tự căng thanh thép:

• Căng 2 thanh thép ở giữa trước.

• Tiếp tục căng đối xứng từ trong ra ngoài, hoàn thành tất cả các thanh thép còn lại.

- Các yêu cầu kỹ thuật:

+ Sử dụng vòng đệm cách điện để đảm bảo không ảnh hưởng đến mạch điện đường ray.

+ Siết chặt các thanh thép theo mômen xoắn thiết kế 450Nm.

+ Xử lý cách điện tại các điểm giao nhau của lưới thép, đồng thời tiến hành bảo dưỡng khe nối ngay sau khi hoàn thiện.

⑤ *Thi công khối chặn ngang*

- Trước khi thi công:

+ Kiểm tra vị trí các rãnh thép được lắp sẵn trong khối chặn ngang.

+ Đảm bảo khoảng cách từ tâm rãnh thép đến mép tấm đáy nằm trong sai số cho phép.

- Lắp đặt khối chặn ngang:

+ Đặt tấm đàn hồi giữa khối chặn ngang và tấm đáy để giảm tác động từ tải trọng ngang và nhiệt độ.

+ Tránh để bê tông khối chặn ngang dính vào tấm đáy nhằm tránh nứt vỡ do giãn nở nhiệt từ cầu gây ra.

2.3. Thi công đường ray không ballast kiểu hai khối

(1) Quy trình công nghệ thi công

Đường ray không ballast kiểu hai khối là cấu trúc đường ray với lớp bê tông nền được đổ tại chỗ. Thông thường, quy trình thi công theo hướng "từ trên xuống", với các bước chính:

1- Gắn kết cụm đường ray: Gồm khung ray kiểu hai khối, hệ thống gông kẹp và đường ray công cụ, để tạo thành một cụm ray hoàn chỉnh.

2- Đo đạc và cố định: Sau khi lắp ráp, đo đạc và cố định vị trí hình học của cụm ray.

3- Đổ bê tông nền đường ray: Hoàn thiện cấu trúc nền.

Tùy thuộc vào vị trí (đường nền, cầu, hoặc hầm), quy trình cụ thể khác nhau:

- Khu vực đường nền:

+ Thi công lớp nền đệm (lớp hỗ trợ).

+ Lắp ráp và cố định cụm ray.

- Khu vực cầu:

+ Thi công tấm nền bê tông và các rãnh định vị.

+ Lắp đặt lớp cách ly trên bề mặt tấm nền và đệm đàn hồi ở các cạnh rãnh.

+ Lắp ráp, đo đạc và cố định cụm ray.

+ Đổ bê tông nền đường ray, tháo dỡ đường ray công cụ, sau đó lắp đặt và tinh chỉnh đường ray chính.

- Khu vực hầm: Đơn giản hơn, thực hiện trên lớp nền đáy hầm hoặc nền bê tông. Các bước gồm lắp ráp và cố định cụm ray, đổ bê tông nền đường ray, tháo dỡ đường ray công cụ và lắp đặt, tinh chỉnh đường ray.

(2) Thiết bị thi công chính

Thi công đường ray không ballast kiểu hai khối cần các thiết bị chính sau:

- Khuôn mẫu cho tấm nền và tấm bê tông đường ray.
- Bộ dụng cụ lắp ráp cụm ray.
- Máy tinh chỉnh thô và điều chỉnh vít.
- Máy đổ bê tông, máy tháo rửa khuôn và lắp ráp khuôn.
- Hệ thống đo lường tinh chỉnh.
- Máy trộn bê tông, xe vận chuyển bê tông, máy bơm bê tông.
- Xe tự đổ, máy xúc và thiết bị nâng hạ.
- Đường ray công cụ và các phụ kiện hỗ trợ.

(3) Các bước quan trọng và kiểm soát chất lượng

① *Thi công lớp nền đệm (lớp hỗ trợ):*

- Lớp nền đệm là lớp hỗ trợ cơ bản cho đường ray không ballast khu vực đường nền.
- Tuân thủ các tiêu chuẩn về vật liệu và kỹ thuật thi công trong "Điều kiện kỹ thuật tạm thời cho lớp nền đệm của đường ray không ballast đường sắt cao tốc".
- Yêu cầu vật liệu: Ưu tiên sử dụng hỗn hợp vật liệu thủy lực kết hợp thi công bằng máy rải trượt. Nếu không khả thi (do địa hình), có thể thay thế bằng bê tông xi măng ít nhựa và công nghệ đúc khuôn.
- Kiểm soát chất lượng: Kiểm tra các chỉ tiêu về cường độ chịu nén, vị trí đường trung tâm, độ dày, chiều rộng, cao độ, khoảng cách và độ sâu của khe cắt, độ phẳng bề mặt và độ nhám.

② *Thi công nền đường ray (đổ bê tông nền):*

- Điều chỉnh và cố định cụm ray: Đây là bước quan trọng đảm bảo hình học chính xác của đường ray (bao gồm khoảng cách ray, độ phẳng, cao độ, khoảng cách giữa các khung ray, và tâm tuyến đường ray).

- Kiểm tra hệ thống cốt thép: Kiểm tra các giao điểm giữa các thanh thép dọc và ngang, xử lý cách điện theo tiêu chuẩn, lắp đặt hệ thống nối đất.

③ *Kiểm tra chất lượng thi công đường ray không ballast kiểu hai khối:*

- Kiểm tra vật liệu đầu vào: bê tông, lớp nền đệm, cốt thép, lớp cách ly, đệm đàn hồi.

- Đánh giá hình học đường ray.

- Kiểm tra các vết nứt tại bề mặt tiếp giáp giữa bê tông nền và khung ray hai khối.

- Đảm bảo chất lượng liên kết giữa lớp nền đệm và bê tông nền.

- Kiểm tra lớp phủ bảo vệ và liên kết giữa đường ray với lớp nền đệm ở hai bên tuyến.

CHƯƠNG 2. KẾT CẤU ĐƯỜNG RAY CÓ BALLAST

I. SỰ PHÁT TRIỂN VÀ ỨNG DỤNG CỦA CÔNG NGHỆ ĐƯỜNG RAY CÓ BALLAST

1. Tuyến Tokaido Shinkansen, Nhật Bản

Tuyến Tokaido Shinkansen, khai trương vào năm 1964, là tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên trên thế giới với chiều dài 516,6 km, sử dụng cấu trúc đường ray có ballast. Dưới đây là các thông số kỹ thuật và lịch sử vận hành của tuyến này:

Cấu trúc kỹ thuật ban đầu:

- Đường ray: Loại thép 50 kg/m.
- Tà vẹt bê tông: Dài 2,4 m, được lắp đặt 1720 thanh mỗi km.
- Hệ thống buộc chặt: Dùng các thiết bị kẹp đàn hồi hai lớp.
- Độ cứng lớp đệm dưới ray: 90 kN/mm.
- Lớp ballast: Gồm hai tầng:

+ Lớp mặt dày 30 mm.

+ Lớp đệm dưới dày 20 mm.

- Độ dốc taluy: 1:1,6.

Các vấn đề gặp phải trong giai đoạn đầu:

- Lún nền đường:

+ Nền đường bị lún nghiêm trọng ngay sau khi vận hành.

+ Năm 1965, xuất hiện hiện tượng bùn lầy trồi lên từ nền, buộc phải dùng vải địa kỹ thuật và thay ballast để khắc phục.

+ Từ năm 1966, trạng thái đường ray được cải thiện.

- Ballast bị vỡ và kết cứng:

+ Từ năm 1969, trên các đoạn có nền bê tông như cầu cạn, ballast bị vỡ thành bột và kết cứng.

+ Giải pháp: Đệm cao su dày 25 mm giữa nền bê tông và lớp ballast, hoặc sử dụng tà vẹt đàn hồi để giảm sự vỡ bột.

- Hư hại mối nối và ray:

+ Các mối nối hàn nhôm bị hư hại nghiêm trọng, với 153 chỗ gãy từ năm 1964 đến 1974.

+ Mòn ray: Từ năm 1965, phải thay 20-30 km ray mỗi năm.

+ Ray bị mỏi và hư hỏng nghiêm trọng hơn dự kiến, gây gián đoạn chạy tàu hơn 200 lần trong 10 năm đầu.

Các cải tiến kỹ thuật:

- Thay thế ray:

+ Từ năm 1967, thử nghiệm ray thép 60 kg/m không mối nối và bộ điều chỉnh giãn nở ray.

+ Từ năm 1973, thay toàn bộ ray 50 kg/m bằng ray 60 kg/m, hoàn thành vào năm 1976.

- Hàn nối ray: Đến năm 1976, tất cả mối nối hàn nhôm được thay thế bằng công nghệ mới.

- Nâng cấp tà vẹt: Tà vẹt 3T nặng 260 kg được thay bằng tà vẹt 3H và 4H nặng 325 kg.

- Độ cứng lớp đệm: Giảm từ 90 kN/mm xuống 60 kN/mm để tăng tính đàn hồi.

Bảo trì và vận hành:

- Mài ray: Cải thiện độ phẳng của bề mặt ray để giảm va đập và rung động, kéo dài chu kỳ bảo trì.

- Tốc độ vận hành:

+ Tốc độ thiết kế tối đa: 220 km/h.

+ Tốc độ khai thác ban đầu: 210 km/h (1964).

+ Tăng lên 220 km/h (1986) và 270 km/h (1992).

- Hạn chế:

+ Do khoảng cách giữa các đường ray chỉ 4,2 m, diện tích hầm đôi 64 m^2 và bán kính đường cong tối thiểu 2500 m, tốc độ tối đa hiện tại vẫn chỉ đạt 270 km/h, trong khi các tuyến đường sắt cao tốc có ballast ở Châu Âu đã vượt 300 km/h.

Tuyến Tokaido Shinkansen là minh chứng lịch sử về sự phát triển của công nghệ đường sắt cao tốc, đồng thời thể hiện những thách thức và cải tiến không ngừng để tối ưu hóa hệ thống vận hành.

2. Đường sắt cao tốc Pháp

Đường sắt cao tốc Pháp với đường ray có ballast là hình mẫu tiêu biểu cho công nghệ đường sắt cao tốc có ballast trên thế giới hiện nay. Về cấu trúc đường ray, Pháp áp dụng các biện pháp kỹ thuật chủ yếu sau:

2.1. Giảm tải trọng động tác động lên đường ray

- Sử dụng tuyến không mối nối liên tục, thực hiện hóa đường ray không mối nối hoàn toàn.

- Áp dụng loại chuyển ray có tâm di động để loại bỏ khoảng trống gây hại ở các đường ray rẽ.

- Thực hiện mài ray mới và mài ray định kỳ, cải thiện độ phẳng của bề mặt ray.

- Nâng cao tiêu chuẩn bảo dưỡng hình học của đường ray, kiểm soát biên độ không đồng đều của hình học đường ray.

Các biện pháp trên đã giúp giảm đáng kể tải trọng tần số cao và tần số trung bình giữa bánh xe và đường ray, từ đó cải thiện hiệu suất vận hành và độ bền của hệ thống.

2.2. Tăng cường cấu trúc đường ray, cải thiện hiệu suất linh kiện và nâng cao khả năng chịu tải

- Sử dụng ray thép UIC60, tăng cường độ bền của ray, với khả năng chịu kéo đạt:

+ 950 MPa đối với ray chống mòn.

+ 1.100 MPa đối với ray hợp kim crom-silicon.

+ 1.200 MPa đối với ray được tôi luyện.

- Cải thiện độ tinh khiết của thép ray: Trước khi xuất xưởng, ray được kiểm tra khuyết tật bằng siêu âm và phân loại sản phẩm theo 6 cấp:

+ Cấp 0-1: Sử dụng cho đường sắt cao tốc.

+ Cấp 1-3: Sử dụng cho các tuyến chính.

+ Cấp 4: Sử dụng cho đường ga.

+ Cấp 5: Không được xuất xưởng.

- Sử dụng tà vẹt bê tông hai khối kiểu U41, tăng trọng lượng từ 220 kg (đường thường) lên 250 kg (cao tốc), số lượng tà vẹt tăng từ 1.514 lên 1.712 chiếc/km.

- Dùng hệ thống buộc Nabal với lực buộc 11 kN, ngăn ray trượt trên độ dốc 3,5‰ trong nhiệt độ từ -20°C đến +50°C.

2.3. Tăng cường mặt cắt nền đường, cải thiện chất lượng ballast, đảm bảo tính ổn định ngang của cấu trúc đường ray

- Độ dày nền đường của các tuyến TGV:

+ Tuyến TGV Đông Nam (đưa vào vận hành năm 1981): Độ dày nền đường là 50 cm, bao gồm:

• Lớp ballast mặt trên: 30 cm.

• Lớp đệm ballast: 20 cm.

+ Tuyến Đại Tây Dương (khai trương năm 1989): Độ dày nền đường là 55 cm, bao gồm:

• Lớp ballast mặt trên: 35 cm.

• Lớp đệm ballast: 20 cm.

- Các thông số khác của nền đường:

+ Vai ballast rộng 50-65 cm, cao hơn mặt ray 10 cm.

+ Độ dốc taluy: 1:3 đến 2:3.

+ Ballast sử dụng đá cứng có đường kính 22-55 mm.

- Tăng cường nén chặt và ổn định nền đường:

+ Đảm bảo nền đường đạt độ chặt cần thiết để tăng khả năng chịu lực ngang.

+ Theo dữ liệu thí nghiệm của Pháp, khi chất lượng ballast, kích thước hạt, mặt cắt nền đường và độ nén chặt đạt tiêu chuẩn, lực ngang tối đa mà nền đường chịu được (H) có thể tính bằng công thức:

$$H = 0.85\left(10 + \frac{p}{3}\right) \text{ (kN)} \qquad (1\text{-}2\text{-}1)$$

trong đó: p - trọng tải trục bánh xe (kN).

Những cải tiến này giúp tăng cường tính ổn định ngang của cấu trúc đường ray, đảm bảo độ bền và an toàn vận hành ở tốc độ cao.

2.4. Nâng cao tính đàn hồi của đường ray và độ phẳng của bề mặt ray, giảm rung động và tiếng ồn của đường ray và môi trường

- Độ dày lớp đệm dưới ray:

+ Đường sắt thông thường: 4,5 mm.

+ Đường sắt cao tốc TGV: 9 mm.

+ Độ cứng của lớp đệm: 72,65 kN/mm, tăng gấp đôi tính đàn hồi so với đường ray thông thường.

- Các biện pháp cải thiện:

+ Duy trì sự sạch sẽ của nền đường và tính đàn hồi của lớp ballast.

+ Tăng trọng lượng của tà vẹt.

+ Đảm bảo bề mặt ray được giữ phẳng.

Những yếu tố này giúp giảm tải trọng tần số cao từ bánh xe lên đường ray, từ đó giảm rung động và tiếng ồn, cải thiện sự ổn định của hệ thống đường ray và giảm tác động đến môi trường.

2.5. Đảm bảo chất lượng vật liệu nền đường và ballast, tuân thủ nghiêm ngặt quy trình thi công, đảm bảo tính đàn hồi đồng đều hoặc chuyển tiếp mượt mà của cấu trúc dưới ray

- Bài học từ Tokaido Shinkansen (Nhật Bản):

+ Các vấn đề nền đường xảy ra sớm trên tuyến Tokaido Shinkansen đã mang lại bài học quan trọng cho việc xây dựng tuyến TGV của Pháp.

+ Chất lượng nền đường và ballast phụ thuộc vào hai yếu tố chính:

- Vật liệu: Là yếu tố nền tảng.
- Quy trình thi công: Là yếu tố cốt lõi.

- Yêu cầu về vật liệu và thi công:

+ Vật liệu nền đường và ballast phải đáp ứng nghiêm ngặt các tiêu chuẩn quy định.

+ Vật liệu nền đường và ballast khác loại cần được phân đoạn rõ ràng, đảm bảo chuyển tiếp mượt mà giữa các đoạn.

+ Tại các vị trí như cầu, hầm, đắp đường (embankment), đào đường (cutting), hoặc nơi thay đổi mặt cắt nền đường, cần có các biện pháp chuyển tiếp thích hợp.

- Quy trình thi công:

+ Quá trình đắp nền và nén chặt phải đảm bảo sự đồng đều theo chiều dọc của tuyến đường.

+ Ngăn ngừa các vấn đề kỹ thuật xảy ra và đảm bảo độ ổn định của đường ray, góp phần duy trì sự vận hành an toàn và trơn tru.

2.6. Tăng cường kiểm tra và bảo trì tuyến đường, đảm bảo tình trạng tốt của đường ray

- Kiểm tra và giám sát:

+ Ngoài việc kiểm tra kích thước hình học đường ray theo cách truyền thống, đường sắt cao tốc cần tiến hành kiểm tra hoặc giám sát định kỳ tải trọng tương tác giữa bánh xe và ray.

+ Các thông số ảnh hưởng đến an toàn vận hành và sự thoải mái của hành khách, như hệ số trật bánh, tỷ lệ giảm tải và độ rung của tàu, cần được đo lường và đánh giá.

+ Những dữ liệu này đảm bảo an toàn vận hành và cung cấp hướng dẫn cho công tác bảo trì tuyến đường.

- Bảo trì đường ray:

+ Đường sắt cao tốc yêu cầu độ phẳng của bề mặt ray cao hơn nhiều so với đường sắt thông thường.

+ Mài ray là một trong những nội dung quan trọng trong bảo trì đường ray.

- Các tuyến TGV và tốc độ vận hành:

+ Tuyến TGV Đông Nam (1981): Dài 417 km, tốc độ tối đa 270 km/h.

+ Tuyến Đại Tây Dương (1989-1990): Dài 280 km, tốc độ tối đa 300 km/h.

+ Tuyến Địa Trung Hải (2001): Dài 295 km, tốc độ thiết kế 350 km/h, tốc độ vận hành tối đa 320 km/h.

- Phá kỷ lục tốc độ:

+ Năm 1972, tàu TGV001 đạt tốc độ thử nghiệm 318 km/h.

+ Năm 2007, tàu TGV150 thiết lập kỷ lục thế giới với tốc độ thử nghiệm 574,8 km/h.

Những nỗ lực không ngừng trong kiểm tra, bảo trì và nâng cấp đã giúp đường sắt cao tốc Pháp không chỉ đảm bảo an toàn và hiệu suất vận hành mà còn liên tục thiết lập các tiêu chuẩn mới về tốc độ trên toàn cầu.

II. CÁC YÊU CẦU KỸ THUẬT CHÍNH ĐỐI VỚI ĐƯỜNG RAY CÓ BALLAST CỦA ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Đường ray có ballast sử dụng nền ballast dạng hạt rời làm cấu trúc nền dưới ray. Dưới tác động lặp đi lặp lại của tải trọng từ đoàn tàu, sự biến dạng tích lũy của ballast dẫn đến sự thay đổi hình học của đường ray diễn ra nhanh chóng. Để duy trì độ phẳng cao và tính ổn định của đường ray, ngoài việc:

- Tăng cường mặt cắt nền ballast.

- Cải thiện chất lượng vật liệu ballast.

- Nâng cao khả năng chịu tải của nền ballast.

Cần tiến hành các biện pháp tối ưu hóa thiết kế tổng thể cho cấu trúc đường ray, bao gồm các thành phần như ray thép, tà vẹt, và hệ thống buộc. Đồng thời, phải chuẩn hóa toàn diện các hoạt động:

- Hàn nối ray.

- Thiết kế và lắp đặt tuyến không mối nối.

- Đắp và nén chặt ballast trong thi công và bảo trì.

Những biện pháp này nhằm đảm bảo đường ray có ballast đáp ứng yêu cầu vận hành tốc độ cao.

Vì các nội dung liên quan đến ray thép, hệ thống buộc, đường ray rẽ và tuyến không mối nối đã được đề cập trong các chương riêng biệt, phần dưới đây sẽ tập trung giải thích các yêu cầu kỹ thuật đối với tà vẹt bê tông và nền ballast của đường sắt cao tốc.

1. Yêu cầu kỹ thuật chính và thông số thiết kế của tà vẹt bê tông

1.1. Các yêu cầu kỹ thuật chính

(1) Yêu cầu kỹ thuật đối với tà vẹt bê tông

Tà vẹt bê tông kết hợp với ray thép thông qua hệ thống buộc, tạo thành khung cấu trúc của đường ray. Độ cứng ngang của khung tổng thể là một thông số quan trọng để duy trì tính ổn định của tuyến đường không mối nối.

- Độ cứng chống xoắn của ray thép so với tà vẹt đóng vai trò quyết định đối với độ cứng ngang của toàn bộ khung.

- Do đó, các thiết bị neo giữ trên hệ thống buộc của tà vẹt không chỉ đảm bảo việc kẹp chặt ray thép một cách hiệu quả mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì độ cứng của khung đường ray.

(2) Lực cản ngang của tà vẹt

Lực cản ngang của tà vẹt là một thông số quan trọng ảnh hưởng đến tính ổn định của tuyến đường không mối nối. Lực cản ngang của mỗi tà vẹt được tạo thành từ lực cản tại ba vị trí:

- Mặt đáy của tà vẹt.

- Mặt đầu của tà vẹt.

- Mặt bên của tà vẹt.

Do đó, các yếu tố như chiều dài, hình dạng mặt cắt, diện tích mặt đầu, hoa văn mặt đáy, và khối lượng của tà vẹt đều ảnh hưởng đến tổng giá trị lực cản và tỷ lệ phân bố lực cản.

Theo quy định thiết kế đường sắt cao tốc của Trung Quốc: Trước khi đưa vào vận hành, lực cản ngang của tà vẹt loại III trên tuyến mới xây dựng phải đạt tối thiểu 12 kN/tà vẹt.

Dựa trên nghiên cứu thí nghiệm, tỷ lệ phân bố lực cản ngang của tà vẹt là:

- Mặt đáy: 40%.
- Mặt đầu: 30%.
- Mặt bên: 30%.

(3) Yêu cầu về diện tích đáy của tà vẹt

Tà vẹt phải có diện tích đáy đủ lớn để đảm bảo rằng ứng suất nén truyền từ đáy tà vẹt xuống bề mặt nền ballast không vượt quá giá trị cho phép.

(4) Vai trò của khối lượng tà vẹt trong hệ thống tương tác động lực giữa bánh xe và đường ray

Khối lượng của tà vẹt có vai trò cực kỳ quan trọng trong việc giảm gia tốc rung động của nền ballast trong hệ thống tương tác động lực giữa bánh xe và đường ray.

- Trong điều kiện vận hành tốc độ cao, lực tác động động lực từ bánh xe lên ray tạo ra gia tốc rung động của nền ballast lớn hơn so với các tuyến đường thông thường.
- Điều này dẫn đến:

+ Tăng tốc độ biến dạng tích lũy của nền ballast.

+ Làm xấu đi trạng thái hình học của đường ray.

Do đó, tăng khối lượng tà vẹt là một trong những tiêu chí quan trọng trong thiết kế tà vẹt cho đường sắt cao tốc, nhằm giảm thiểu các tác động tiêu cực và duy trì độ ổn định của hệ thống.

(5) Yêu cầu về khả năng cách điện của tà vẹt

Khả năng cách điện của tà vẹt là điều kiện tiên quyết để đảm bảo hoạt động bình thường của mạch điện đường ray. Vì vậy, các thiết bị neo giữ hệ thống buộc được gắn bên trong tà vẹt phải có khả năng cách điện tốt.

(6) Khả năng chịu tải của tà vẹt

Khả năng chịu tải của tà vẹt thường được biểu thị bằng **mô men chịu uốn** của mặt cắt dưới ray và mặt cắt giữa của tà vẹt.

- Đối với tà vẹt loại III sử dụng trên đường sắt cao tốc của Trung Quốc, mô men chịu uốn thiết kế là:

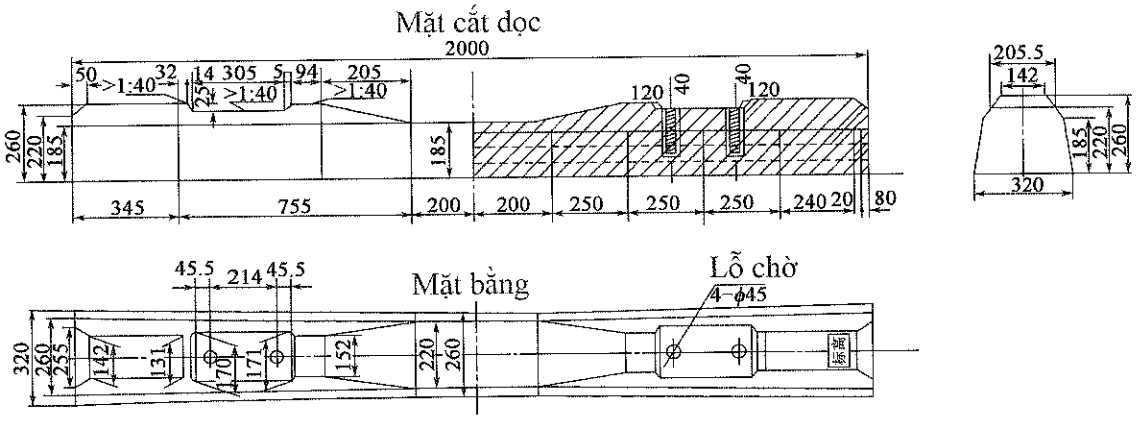
+ Mặt cắt dưới ray: 19,05 kN·m.

+ Mặt cắt giữa: -17,16 kN·m.

Những thông số này đảm bảo tà vẹt đáp ứng yêu cầu về khả năng chịu tải trong điều kiện vận hành tốc độ cao.

1.2. Thông số thiết kế

Tổng hợp các yêu cầu kỹ thuật chính đã nêu, tà vẹt loại III được thiết kế cho đường sắt cao tốc có hình dạng và kích thước như minh họa trong Hình 1-2-1. Các thông số thiết kế chính được liệt kê trong Bảng 1-2-1.



Hình 1-2-1: Hình dạng và kích thước của tà vẹt loại III (Đơn vị kích thước: mm)

Bảng 1-2-1: Các loại cấu trúc và ứng dụng của đường ray không ballast

Chiều dài (mm)	Diện tích đáy ray (cm^2)	Diện tích đầu ray (cm^2)	Khối lượng tà vẹt (kg)	Chiều cao (mm)		Độ rộng mặt trên (mm)		Độ rộng mặt đáy (mm)		Mômen chịu tải thiết kế (kN·m)	
				Dưới ray	Giữa ray	Dưới ray	Giữa ray	Dưới ray	Giữa ray	Dưới ray	Giữa ray
2600	7720	590	320	230	185	170	200	300	280	19.05	-17.3

2. Yêu cầu kỹ thuật chính và thông số thiết kế của nền ballast

Nền ballast là mắt xích yếu trong cấu trúc đường ray có ballast. Dưới tác động của lực va đập và rung động từ tàu cao tốc, các biến dạng tích lũy của nền ballast ảnh hưởng trực tiếp đến hình học và vị trí của đường ray, từ đó làm giảm độ phẳng và tính ổn định của đường ray.

So với các tuyến đường thông thường, nền ballast của đường sắt cao tốc đòi hỏi các yêu cầu kỹ thuật nghiêm ngặt hơn về:

- Chất lượng đá ballast.
- Kích thước mặt cắt của nền ballast.
- Quy trình thi công nền ballast.
- Tiêu chuẩn nghiệm thu.

2.1. Yêu cầu kỹ thuật đối với ballast

(1) Tính chất của ballast

Đường ray có ballast trên đường sắt cao tốc của Trung Quốc yêu cầu sử dụng ballast đặc biệt. Các yêu cầu về tính chất của vật liệu ballast được trình bày trong Bảng 1-2-2.

Bảng 1-2-2: Yêu cầu về tính chất của ballast đặc biệt

STT	Tính năng	Tham số	Chỉ số	Phương pháp đánh giá	
				Đánh giá từng mục	Đánh giá tổng hợp
1	Khả năng chống mài mòn	Tỷ lệ mài mòn Los Angeles LAA (%)	≤ 18	-	Đáp ứng tất cả các yêu cầu
2	Khả năng chống va đập	Cắt chuẩn IP (%)	≥ 110	Ít nhất đáp ứng một yêu cầu	
		Độ cứng mài mòn K (nghìn lần)	> 18.3		
3	Khả năng chống nghiền	Tỷ lệ nghiền tiêu chuẩn CB (%)	< 8	-	
4		Tỷ lệ nghiền ballast CB (%)	< 19	-	
5	Tính thấm	Chỉ số thấm Pm (10^{-6} cm/s)	> 4.5	Ít nhất đáp ứng một yêu cầu	
		Độ bền nén mẫu σ (MPa)	< 0.4		
		Độ chảy lỏng LL (%)	> 20		
		Độ dẻo PL (%)	> 11		
6	Khả năng chống ăn mòn hóa học	Tỷ lệ tổn thất khi ngâm dung dịch natri sunfat L (%)	< 10		
7	Tính ổn định	Mật độ ρ (g/cm³)	> 2.55		
8		Thể tích R (g/cm³)	> 2.50		

(2) Yêu cầu về kích thước và cấp phối hạt của ballast

Bảng 1-2-3: Yêu cầu về kích thước và cấp phối hạt của ballast đặc biệt

Kích thước lỗ sàng vuông (mm)	22.4	31.5	40	50	63
Tỷ lệ khối lượng qua sàng (%)	0 - 3	1 - 25	30 - 65	70 - 99	100
Phân bố hạt	Kích thước lỗ sàng vuông (mm)	31.5 - 50			
	Tỷ lệ khối lượng hạt (%)	≥ 50			

(3) Độ sạch của ballast

Các yêu cầu về độ sạch của ballast đặc biệt như sau:

- Chỉ số dạng kim: ≤ 20%.

- Chỉ số dạng tấm: ≤ 20%.

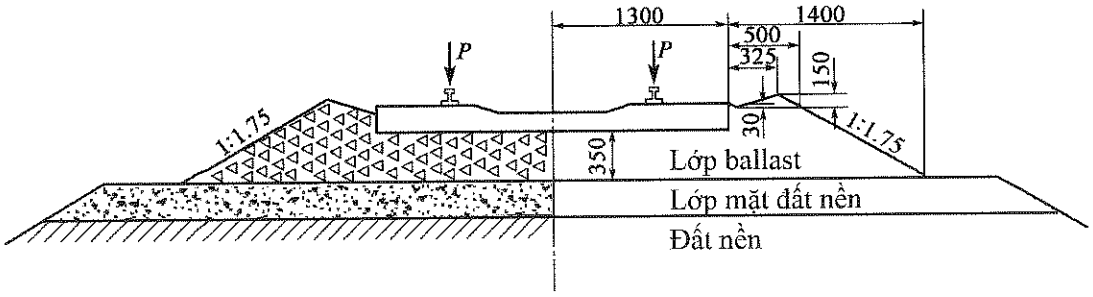
- Tỷ lệ hạt phong hóa và các tạp chất khác: ≤ 2%.

- Ballast thành phẩm phải được rửa nước: Độ sạch bề mặt hạt ≤ 0,17%.

2.2. Kích thước mặt cắt ngang của nền ballast

(1) Mặt cắt ngang nền ballast tại khu vực nền đường

Mặt cắt ngang nền ballast tại khu vực nền đường được minh họa trong Hình 1-2-2.



Hình 1-2-2: *Mặt cắt ngang nền ballast tại khu vực nền đường*
(Đơn vị kích thước: mm)

- Kích thước cụ thể:

+ Chiều rộng mặt trên của nền ballast: 3600 mm.

+ Độ dày nền ballast: 350 mm.

+ Độ dốc taluy: 1:1.75.

+ Mặt trên nền ballast: Ngang bằng với mặt trên của phần giữa tà vẹt loại III.

+ Tại khu vực tà vẹt cầu hoặc tà vẹt giao cắt, nền ballast thấp hơn bề mặt ray 40 mm.

+ Vai ballast được đắp cao thêm 150 mm.

- Thiết kế đối với nền đường đôi: Mặt trên của nền ballast cần được thiết kế riêng cho từng tuyến đơn.

- Tại các khu vực nền đường đá: Sử dụng tà vẹt đàn hồi hoặc lót lớp đệm đàn hồi dưới ballast.

(2) Mặt cắt ngang nền ballast trên cầu bê tông

Theo quy định trong "Tiêu chuẩn thiết kế đường sắt" (TB 10082-2017):

- Độ dày nền ballast trên cầu:

+ Đối với các tuyến tàu khách có tốc độ thiết kế ≤ 120 km/h, độ dày ballast không được nhỏ hơn 25 cm.

+ Trên các tuyến hạng nặng (heavy-duty) với tốc độ thiết kế ≤ 120 km/h tại khu vực nền đất, sử dụng nền ballast (đá dăm) hai lớp:

• Lớp ballast trên: Dày 30 cm.

• Lớp ballast dưới: Dày 20 cm.

- Điều này cho thấy, nền ballast trên cầu bê tông có thể mỏng hơn so với nền đất vì:

+ Trên đường sắt thông thường: Độ dày ballast được xác định dựa trên ứng suất nén cho phép của nền đất. Nếu ballast quá mỏng, ứng suất có thể vượt giới hạn cho phép.

+ Trên cầu bê tông: Dưới ballast là mặt cầu bê tông có khả năng chịu ứng suất cao hơn nhiều so với nền đất, vì vậy ballast có thể được làm mỏng hơn.

- Nền ballast trên đường sắt cao tốc:

+ Độ dày ballast: Được nâng lên 350 mm để đảm bảo độ đàn hồi của đường ray.

+ Đặc điểm:

• Trọng tải trục của tàu cao tốc thấp hơn tàu thông thường, nên ứng suất nén trên nền đất không còn là yếu tố quyết định độ dày của ballast.

• Nhiệm vụ chính của ballast trong đường sắt cao tốc là cung cấp độ đàn hồi cho đường ray.

- Trên cầu bê tông:

+ Mặt cầu có tính chất cứng, không đàn hồi như nền đất.

+ Mặc dù độ dày ballast tương đương nhau giữa khu vực nền đất và trên cầu, đường ray trên cầu lại có độ cứng cao hơn và độ đàn hồi thấp hơn.

+ Điều này dẫn đến tăng tương tác động lực giữa bánh xe và đường ray, gia tăng tiếng ồn, cũng như làm ballast rung động, vỡ vụn và bột hóa nhanh hơn so với trên nền đất.

- Các yêu cầu bổ sung cho ballast trên cầu bê tông:

+ Tiêu chuẩn thiết kế đường sắt cao tốc (TB 10621-2014):

• Ballast trên cầu phải tuân theo tiêu chuẩn của nền đất.

• Cần sử dụng tà vẹt đàn hồi hoặc lớp đệm đàn hồi dưới ballast.

• Ballast phải lấp đầy khoảng cách giữa vai ballast và tường chắn ballast để tăng cường hiệu quả giảm rung, cách rung.

(3) Mặt cắt ngang nền ballast trong hầm

Trong hầm, nền ballast được đặt trên móng bê tông vòm ngược. Do có tính chất cứng tương tự như mặt cầu bê tông, nền ballast trong hầm cũng cần tuân theo các tiêu chuẩn sau:

- Độ dày ballast: Giữ nguyên như ở khu vực nền đất, là 350 mm.

- Các biện pháp bổ sung: Cần thực hiện các biện pháp giảm rung và cách rung để cải thiện hiệu quả vận hành.

Theo "Tiêu chuẩn thiết kế đường sắt cao tốc" (TB 10621-2014):

- Tiêu chuẩn nền ballast trong hầm: Phải giống với khu vực nền đất.

- Cần sử dụng tà vẹt đàn hồi hoặc lót lớp đệm đàn hồi dưới ballast.

- Vai ballast: Phải được lấp đầy ballast, từ vai đến tường bên hoặc rãnh thoát nước cao.

III. ĐOẠN CHUYỂN TIẾP GIỮA ĐƯỜNG RAY CÓ BALLAST VÀ KHÔNG BALLAST TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Do sự khác biệt về cấu trúc, các thành phần và thông số kỹ thuật giữa đường ray có ballast và không ballast, nếu không thiết lập đoạn chuyển tiếp giữa hai loại đường ray này, các vấn đề sau có thể xảy ra khi tàu chạy từ đường ray có ballast sang không ballast (hoặc ngược lại):

- Tác động động lực bổ sung: Sự thay đổi đột ngột khiến tương tác động lực giữa bánh xe và ray gia tăng, gây ra tải trọng bổ sung và rung động.

- Ảnh hưởng đến an toàn vận hành: Làm giảm độ an toàn và sự thoải mái của hành khách.

1. Các thông số kỹ thuật liên quan:

- Theo số liệu thử nghiệm:

+ Độ cứng đỡ của tà vẹt trên cầu bê tông: Khoảng 172 kN/mm.

+ Độ cứng đỡ của tà vẹt trên nền đất: Khoảng 140 kN/mm.

- Nếu sử dụng độ cứng lớp đệm dưới ray cho đường ray có ballast là 60±10kN/mm, kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 1-2-4.

Bảng 1-2-4: Giá trị tính toán độ cứng hỗ trợ đường ray (kN/mm)

Hình thức nền ballast	Độ cứng lớp đệm dưới ray (kN/mm)	Độ cứng hỗ trợ tà vẹt (ballast) (kN/mm)	Độ cứng tại điểm tựa của ray (kN/mm)
Đường ray có ballast trên cầu	60 ± 10	172	40 ± 6
Đường ray có ballast trên nền đất	60 ± 10	140	42 ± 5
Đường ray không ballast	25 ± 5	∞	25 ± 5

Từ Bảng 1-2-4, có thể rút ra các kết luận sau:

a) So sánh đường ray có ballast và không ballast:

- Đường ray có ballast: Do độ cứng lớp đệm dưới ray lớn hơn, dù có độ đàn hồi từ nền ballast hỗ trợ tà vẹt, nhưng độ cứng tổng thể tại điểm tựa của ray vẫn cao hơn đường ray không ballast.

- Đường ray không ballast:

+ Độ võng động lực của ray lớn hơn đường ray có ballast.

+ Tuy nhiên, điều này không có nghĩa là tính đàn hồi của đường ray không ballast tốt hơn.

+ Đường ray không ballast tập trung tính đàn hồi vào lớp đệm dưới ray.

+ Không có hiệu ứng giảm rung từ nền ballast hoặc tà vẹt như ở đường ray có ballast.

b) So sánh đường ray có ballast trên nền đất và trên cầu:

- Đường ray có ballast trên nền đất: Nền đất dưới ballast cung cấp một mức độ đàn hồi tự nhiên, giúp giảm nhẹ độ cứng tại điểm tựa của tà vẹt so với cầu.

- Đường ray có ballast trên cầu: Do không có tính đàn hồi của nền đất, ballast trên cầu dễ bị vỡ vụn và hóa bột nhanh hơn so với trên nền đất.

c) Yêu cầu trong đoạn chuyển tiếp:

Để giảm thiểu sự thay đổi đột ngột và đảm bảo vận hành ổn định, đoạn chuyển tiếp phải đảm bảo:

- Độ cứng tại điểm tựa của ray (độ võng động lực của ray) dần dần chuyển tiếp.

- Độ cứng lớp đệm dưới ray và độ cứng hỗ trợ tà vẹt (ballast) cũng phải được chuyển tiếp một cách mượt mà.

2. Các biện pháp kỹ thuật trong thực tế:

- Thay đổi độ cứng hỗ trợ tà vẹt:

+ Thay đổi diện tích tiếp xúc dưới đáy tà vẹt bằng cách điều chỉnh chiều dài và khoảng cách tà vẹt.

+ Sử dụng lớp keo dán trên ballast hoặc thêm vải địa kỹ thuật trong ballast.

+ Thay đổi độ dày nền ballast.

+ Lắp đặt lớp đệm cao su dưới ray.

- Thay đổi độ cứng lớp đệm dưới ray: Sử dụng lớp đệm đàn hồi dưới ray với các mức độ cứng khác nhau.

- Gia tăng độ cứng cụm ray: Lắp đặt ray phụ trợ để tăng độ cứng của cụm ray, giúp:

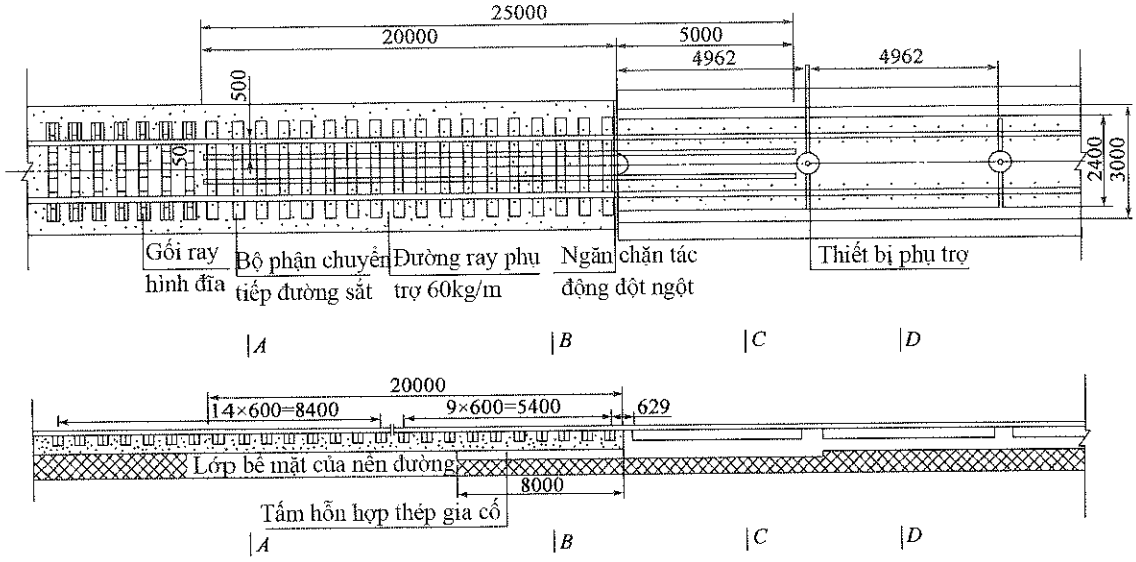
+ Giảm độ võng động lực của ray.

+ Giảm gradient độ võng.

+ Cải thiện độ phẳng của bề mặt ray, tăng hiệu suất vận hành.

Các biện pháp này giúp đảm bảo chuyển tiếp mượt mà giữa hai loại đường ray, giảm tác động động lực đột ngột, đồng thời cải thiện độ ổn định và tuổi thọ của hệ thống đường ray.

(1) Đoạn chuyển tiếp giữa đường ray có ballast và không ballast trên nền đất (nền móng dưới đoạn chuyển tiếp là nền đất)



Hình 1-2-3: *Hình thức cấu trúc đường ray trong đoạn chuyển tiếp giữa đường ray có ballast*

Hình thức cấu trúc đường ray trong đoạn chuyển tiếp được minh họa trong Hình 1-2-3, với các chi tiết sau:

① *Tổng chiều dài đoạn chuyển tiếp:*

- Tổng chiều dài: 25 m, trong đó:

+ Đường ray có ballast: 20 m.

+ Đường ray không ballast: 5 m.

- Trong đoạn chuyển tiếp, giữa hai ray chính bố trí hai ray phụ dài 25 m, mỗi ray nặng 60 kg/m, khoảng cách từ tâm ray chính đến tâm ray phụ là 500 mm.

- Các ray phụ được cố định bằng hệ thống buộc dạng tấm kẹp.

② *Khu vực gần điểm phân giới phía đường ray không ballast:*

- Các tấm ray hoặc tấm nền ballast được lắp sẵn các ống bọc dành cho buộc ray phụ, trong phạm vi 5 tấm ray liên tiếp.

- Sử dụng hệ thống buộc WJ-7B, với độ cứng tĩnh của lớp đệm dưới ray là (25 ± 5) kN/mm.

- Ở khu vực đoạn chuyển tiếp gần phía đường ray có ballast, sử dụng tà vẹt chuyển tiếp dài 2,6 m, được lắp sẵn ống bọc cho cả ray chính và ray phụ.

- Tà vẹt chính sử dụng hệ thống buộc WJ-7A, có độ cứng tĩnh của lớp đệm dưới ray giống với đường ray có ballast, là (60 ± 10) kN/mm.

③ *Khu vực gần điểm phân giới phía đường ray có ballast:*

- Dưới lớp ballast có bố trí tấm lót bê tông cốt thép.

- Chi tiết tấm bê tông cốt thép:

+ Chiều dài: 5 m.

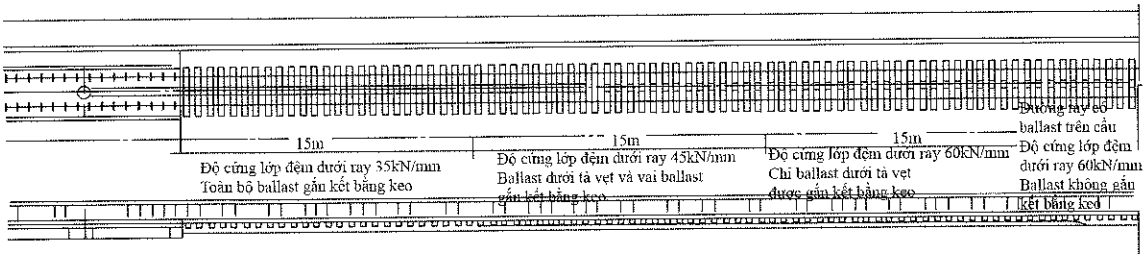
+ Độ dày: 250 mm.

+ Cường độ bê tông tương đương với bê tông nền của đường ray không ballast.

- Trong phạm vi tấm bê tông, độ dày nền ballast dưới tà vẹt là 35 cm.

(2) Đoạn chuyển tiếp giữa đường ray có ballast và không ballast trên cầu (nền móng dưới đoạn chuyển tiếp là cầu bê tông)

Đoạn chuyển tiếp trên các cây cầu như Cầu Hoàng Hà Tế Nam và Cầu Đại Thắng Quan Nam Kinh trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, giữa đường ray có ballast (cầu thép) và không ballast (cầu bê tông), được minh họa trong Hình 1-2-4, với chi tiết như sau:



Hình 1-2-4: *Hình thức cấu trúc đường ray trong đoạn chuyển tiếp giữa đường ray không có ballast*

① *Tổng chiều dài đoạn chuyển tiếp:*

- Tổng chiều dài: 50 m, trong đó:

+ Đường ray không ballast: 5 m.

+ Đường ray có ballast: 45 m.

- Trong đoạn chuyển tiếp, bố trí hai ray phụ dài 25 m giữa hai ray chính:

+ 5 m nằm trong khu vực đường ray không ballast.

+ 20 m nằm trong khu vực đường ray có ballast.

+ Khoảng cách từ tâm ray chính đến tâm ray phụ là 500 mm.

② *Khu vực đường ray không ballast:*

Các tấm ray được lắp sẵn ống bọc để cố định hệ thống buộc của ray chính và ray phụ.

③ *Khu vực gần điểm phân giới phía đường ray không ballast (20 m):*

- Sử dụng tà vẹt chuyển tiếp dài 2,6 m, được lắp sẵn ống bọc để cố định hệ thống buộc của ray chính và ray phụ.

- Ray chính: Lắp hệ thống buộc WJ-7.

- Ray phụ: Lắp hệ thống buộc dạng tấm kẹp.

④ *Khu vực gần điểm phân giới phía đường ray có ballast (45 m):*

- Phân đoạn 45 m được chia thành ba khu vực:

+ Khu vực 1 (15 m đầu tiên):

• Độ cứng lớp đệm dưới ray: 35 kN/mm.

• Toàn bộ ballast (bao gồm dưới tà vẹt, vai ballast, ballast trong hộp tà vẹt) được gắn kết bằng keo.

+ Khu vực 2 (15 m tiếp theo):

• Độ cứng lớp đệm dưới ray: 45 kN/mm.

• Ballast dưới tà vẹt và vai ballast được gắn kết bằng keo.

+ Khu vực 3 (15 m cuối):

• Độ cứng lớp đệm dưới ray: 60 kN/mm.

• Chỉ ballast dưới tà vẹt được gắn kết bằng keo.

- Phía ngoài phạm vi 45 m, là cấu trúc đường ray có ballast trên cầu:

+ Độ cứng lớp đệm dưới ray: 60 kN/mm.

+ Ballast không được gắn kết bằng keo.

- Mục tiêu: Bố trí này giúp đảm bảo sự chuyển tiếp dần dần về:

+ Độ cứng lớp đệm dưới ray.

+ Độ cứng hỗ trợ tà vẹt.

+ Độ cứng tại điểm tựa của ray.

Điều này làm giảm tác động động lực, nâng cao độ ổn định và đảm bảo sự vận hành mượt mà của hệ thống đường ray.

IV. KỸ THUẬT THI CÔNG ĐƯỜNG RAY CÓ BALLAST TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Thi công đường ray có ballast trên đường sắt cao tốc, ngoài việc tuân thủ nghiêm ngặt các tiêu chuẩn kỹ thuật đối với ray thép, hệ thống buộc, tà vẹt, đường ray rẽ, và tuyến ray không mối nối, còn cần tập trung vào các yếu tố quan trọng sau:

- Đảm bảo sự nén chặt và ổn định của nền ballast:

+ Cung cấp đủ lực cản dọc và ngang cho tuyến ray không mối nối.

+ Duy trì sự ổn định của đường ray và hình học chính xác trong quá trình thi công và sau khi nghiệm thu.

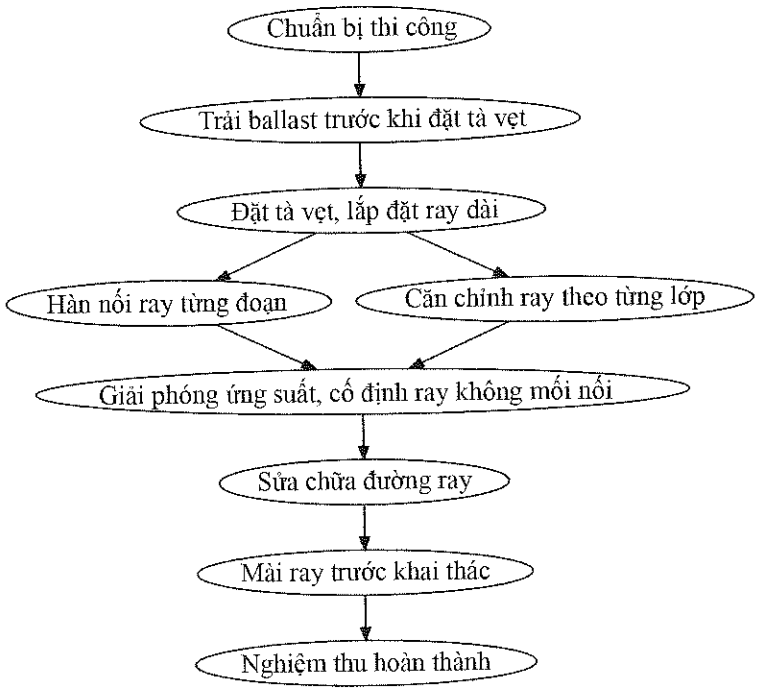
- Đảm bảo khả năng vận hành theo tốc độ thiết kế:

+ Đảm bảo đường ray đạt trạng thái ổn định và hình học chính xác, sẵn sàng cho khai thác với tốc độ theo thiết kế.

Quy trình thi công chính của đường ray có ballast được minh họa trong Hình 1-2-5.

(1) Chuẩn bị thi công

Chuẩn bị thi công là quá trình kiểm tra và nghiệm thu chất lượng thi công của nền đường và lớp nền trước khi thực hiện việc rải ballast và đặt tà vẹt. Chỉ khi đạt yêu cầu, quá trình thi công đường ray có ballast mới được tiến hành.



Hình 1-2-5: *Quy trình thi công chính của đường ray có ballast*

(2) Rải ballast trước khi đặt tà vẹt

Trước khi đặt tà vẹt, sử dụng máy rải ballast hoặc các thiết bị rải khác kết hợp với máy nén để rải một lớp ballast nền dày khoảng 150 mm trên mặt nền đường. Sau đó, lớp ballast này được nén chặt để đạt yêu cầu:

- Mật độ lớp ballast nền: Không nhỏ hơn 1,6 g/cm^3.

- Bề mặt lớp ballast nền: Phải phẳng, đảm bảo tà vẹt được đặt trên bề mặt lớp ballast nền mà không có ballast nhô lên ở khu vực giữa tà vẹt.

(3) Đặt tà vẹt và lắp đặt ray dài

Quá trình này bao gồm:

- Đặt tà vẹt: Tà vẹt được đặt lên trên bề mặt lớp ballast nền.

- Lắp đặt ray: Ray thép được đặt lên tà vẹt và tiến hành lắp ráp cụm ray.

- Cũng có thể sử dụng máy lắp ray để cẩu và lắp đặt cụm ray đã được lắp ráp sẵn tại cơ sở.

Sau khi hoàn thành lắp đặt, chất lượng cụm ray sẽ được kiểm tra và nghiệm thu.

Dựa trên điều kiện thời tiết và khí hậu tại khu vực, có thể lựa chọn trình tự thi công tiếp theo:

- Hàn nối ray từng đoạn.

- Căn chỉnh ray theo từng lớp và rải thêm ballast.

(4) Căn chỉnh ray và rải ballast theo từng lớp

Căn chỉnh ray và rải ballast theo từng lớp là bước thường được thực hiện sau khi cụm ray đã được lắp đặt và nghiệm thu. Vì cụm ray đặt trên lớp ballast nền ban đầu chưa có đủ lực cản dọc và ngang, nếu tiến hành hàn nối ray ngay sẽ có nguy cơ xảy ra hiện tượng giãn ray sau khi hàn.

① *Quy trình căn chỉnh ray và rải ballast:*

Sử dụng các thiết bị chuyên dụng, bao gồm xe rải ballast tự động, xe căn chỉnh ray cơ giới hóa (gọi tắt là tổ hợp xe MDZ), bao gồm các thiết bị như:

- Xe nâng ray, kéo ray.
- Xe dằn ballast và căn chỉnh.
- Xe ổn định lực.

Toàn bộ quy trình được chia thành 4 bước nâng ray, bổ sung ballast và dằn ballast, với các thông số cụ thể như sau:

+ Bước 1: Nâng ray không quá 80 mm → Bổ sung ballast → Dằn ballast 1 lần → Ổn định 2 lần.

+ Bước 2: Nâng ray không quá 80 mm → Bổ sung ballast → Dằn ballast 1 lần → Ổn định 1 lần.

+ Bước 3: Nâng ray không quá 50 mm → Bổ sung ballast → Dằn ballast 1 lần → Ổn định 1 lần.

+ Bước 4: Nâng ray không quá 50 mm → Bổ sung ballast → Dằn ballast 1 lần → Ổn định 1 lần.

② *Yêu cầu sau khi căn chỉnh và rải ballast:*

Sau khi hoàn thành căn chỉnh và rải ballast theo từng lớp, nền ballast phải đạt được trạng thái ổn định ban đầu với các chỉ số sau:

- Mật độ ballast: Không nhỏ hơn 1,7 g/cm^3.
- Độ cứng hỗ trợ tà vẹt: Không nhỏ hơn 70 kN/mm.
- Lực cản ngang của ballast: Không nhỏ hơn 7,5 kN/tà vẹt.

③ *Điều kiện để hàn nối ray từng đoạn:*

- Chỉ khi nền ballast đã đạt trạng thái ổn định ban đầu mới được phép tiến hành hàn nối ray từng đoạn tại công trường.
- Nếu nền ballast chưa ổn định, việc hàn nối sẽ không đảm bảo sự ổn định của ray, dẫn đến nguy cơ xảy ra giãn ray.
- Sau khi hàn nối ray, tiếp tục thực hiện quy trình căn chỉnh và rải ballast theo từng lớp để hoàn thiện cấu trúc đường ray.

(5) Giải phóng ứng suất và cố định tuyến ray không mối nối

Sau khi nền ballast đạt trạng thái ổn định ban đầu và quá trình hàn nối ray từng đoạn hoàn thành, các bước sau sẽ được thực hiện:

① *Giải phóng ứng suất:*

Thực hiện giải phóng ứng suất cho các đoạn ray đã hàn nối.

② *Cố định tuyến ray không mối nối:*

- Tiến hành hàn cố định ray ở nhiệt độ khóa ray trong phạm vi sai số cho phép theo thiết kế.
- Lắp đặt các cọc quan sát chuyển vị dọc của ray.
- Cố định toàn bộ tuyến ray không mối nối.

• *Công tác sau khi lắp đặt tuyến ray không mối nối:*

Từ khi lắp đặt đến trước khi đưa vào khai thác, phải thực hiện nhiều lần công tác căn chỉnh đường ray (nâng, dịch, dằn, ổn định) để đảm bảo nền ballast đạt trạng thái ổn định cơ bản.

• *Yêu cầu khi nghiệm thu và đưa vào khai thác:*

- Mật độ ballast: Không nhỏ hơn 1,75 g/cm^3.
- Độ cứng hỗ trợ tà vẹt: Không nhỏ hơn 120 kN/mm.
- Lực cản dọc: Không nhỏ hơn 14 kN/tà vẹt.
- Lực cản ngang: Không nhỏ hơn 12 kN/tà vẹt.

• *Kết luận:*

Các thử nghiệm và thực tế thi công đã chứng minh rằng, nếu tuân thủ quy trình thi công đúng theo quy định, các thông số kỹ thuật của nền ballast hoàn toàn có thể đạt được các tiêu chuẩn nêu trên, đảm bảo an toàn và hiệu quả khi đưa tuyến ray vào khai thác.

CHƯƠNG 3. TUYẾN ĐƯỜNG KHÔNG MỐI NỐI GIỮA CÁC ĐOẠN

I. SỰ PHÁT TRIỂN VÀ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC KHÔNG MỐI NỐI

1. Sự phát triển của tuyến đường không mối nối

Tuyến đường không mối nối được hình thành bằng cách hàn các thanh ray thép tiêu chuẩn thành những đoạn ray dài, còn được gọi là đường ray dài hàn nối. Đây là một công nghệ mới quan trọng trong cấu trúc đường ray hiện nay, phù hợp với nhu cầu của đường sắt cao tốc. Tuyến đường không mối nối giúp loại bỏ một lượng lớn các mối nối, mang lại nhiều ưu điểm vượt trội như vận hành êm ái, tạo sự thoải mái cho hành khách, giảm chi phí bảo trì cho đầu máy và đường ray, đồng thời kéo dài tuổi thọ sử dụng.

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, tuyến đường không mối nối có thể tiết kiệm chi phí bảo dưỡng từ 35% đến 75% so với tuyến đường có mối nối thông thường. Công nghệ này đã được phát triển nhanh chóng trên toàn thế giới, dần thay thế các tuyến đường có mối nối thông thường, và cho đến nay đã có hơn 500.000 km tuyến không mối nối được lắp đặt.

1.1. Quá trình phát triển trên thế giới

- Thời kỳ khởi đầu:

+ Từ những năm 1930, các nước bắt đầu thử nghiệm việc lắp đặt tuyến không mối nối trên đường sắt.

+ Từ thập niên 50 đến 60, nhờ sự phát triển của công nghệ hàn, việc áp dụng và mở rộng tuyến không mối nối đã tăng mạnh.

- Một số quốc gia tiêu biểu:

+ Đức: Là quốc gia tiên phong và phát triển nhanh nhất về tuyến không mối nối. Năm 1935, Đức thử nghiệm đoạn tuyến dài 1 km, đến năm 1945, họ đã quy định tuyến không mối nối là tiêu chuẩn và đạt 52.000 km vào năm 1974, chiếm 80% mạng lưới đường sắt hiện tại.

+ Liên Xô: Do biến đổi nhiệt độ lớn (tới 115°C), tuyến không mối nối được triển khai muộn vào năm 1956 và đến nay đã đạt khoảng 50.000 km.

+ Mỹ: Từ năm 1930 bắt đầu lắp đặt tuyến không mối nối trong các hầm. Đến năm 1970, mỗi năm Mỹ lắp đặt thêm hơn 8.000 km, hiện đạt tổng cộng 120.000 km - cao nhất thế giới.

+ Pháp: Sau các thử nghiệm vào năm 1948-1949, Pháp triển khai rộng rãi tuyến không mối nối, đạt 20.500 km vào thời điểm hiện tại, chiếm 59% mạng lưới đường sắt.

+ Nhật Bản: Bắt đầu triển khai vào thập niên 50, Nhật tập trung tăng cường độ bền đường ray và dần loại bỏ các bộ điều chỉnh giãn nở, áp dụng thành công trên các tuyến như Shinkansen.

1.2. Quá trình phát triển tại Trung Quốc

Trung Quốc bắt đầu thử nghiệm tuyến không mối nối vào năm 1957 trên tuyến Bắc Kinh - Thượng Hải. Đến năm 1961, tổng cộng 150 km đã được lắp đặt. Những năm 60-70, Trung Quốc tập trung nghiên cứu và thử nghiệm trên các đoạn tuyến đặc biệt như cầu, hầm, đường cong bán kính nhỏ. Thành công của tuyến hành khách cao tốc Tần Hoàng Đảo - Thẩm Dương năm 2000-2002 đánh dấu một bước ngoặt quan trọng trong công nghệ tuyến không mối nối, mở ra một giai đoạn mới trong phát triển đường sắt cao tốc tại Trung Quốc.

Về lý thuyết, chiều dài của thanh ray trong tuyến không mối nối có thể kéo dài vô tận, tạo nền tảng lý thuyết quan trọng để phát triển tuyến không mối nối liên khu vực. Tuy nhiên, trong thực tế, chiều dài thanh ray của tuyến không mối nối thông thường bị giới hạn bởi các yếu tố như vị trí máy tín hiệu, đường ray chuyển hướng (đạo tách) hay cầu lớn, thường chỉ đạt khoảng 12 km. Nhờ vào sự phát triển của hai công nghệ then chốt là mối nối cách điện dán keo và đường ray không mối nối tại đạo tách, việc xây dựng tuyến không mối nối liên khu vực vượt qua các phân khu tín hiệu và nhà ga đã trở thành hiện thực.

Cùng với việc nâng cao chất lượng nền đường trên các tuyến mới, giảm thiểu lún sau thi công, đồng thời cải thiện độ chặt và độ ổn định của lớp nền, các tuyến đường mới ngày nay có thể lắp đặt tuyến không mối nối liên khu vực ngay từ khi thi công. Điều này góp phần nâng cao đáng kể độ phẳng và sự ổn định của đường ray.

Sự thành công trong việc lắp đặt tuyến không mối nối liên khu vực trên tuyến hành khách cao tốc Tần Hoàng Đảo - Thẩm Dương đã đánh dấu bước ngoặt quan trọng, đưa công nghệ tuyến không mối nối của Trung Quốc bước vào giai đoạn phát triển mới.

• ***Những ưu điểm nổi bật của tuyến không mối nối liên khu vực:***

(1) Các thanh ray dài được lắp đặt xuyên suốt toàn bộ khu vực và hàn nối với các đường ray không mối nối tại nhà ga, loại bỏ hoàn toàn các vùng đệm và mối nối ray. Điều này giúp thực hiện triệt để việc không mối nối trên toàn tuyến, nâng cao đáng kể độ bằng phẳng và độ bền tổng thể của đường ray, giảm thiểu hao mòn các bộ phận đường ray, giảm khối lượng bảo dưỡng và sửa chữa, cải thiện điều kiện vận hành của đoàn tàu, đồng thời phát huy tối đa các ưu điểm của tuyến đường không mối nối.

(2) Các đỉnh lực nhiệt do chu kỳ nhiệt độ gây ra tại ranh giới giữa khu vực giãn nở và khu vực cố định, cũng như các đỉnh lực nhiệt phát sinh khi khu vực giãn nở bị kéo giãn quá mức mà không thể phục hồi, đều biến mất khi khu vực giãn nở được loại bỏ. Điều này góp phần tăng cường sự ổn định của đường ray và thuận lợi hơn cho công tác quản lý và bảo trì.

(3) Khả năng chống trượt vượt trội, lực dọc được phân bổ đồng đều hơn, nhiệt độ khóa ray dễ dàng duy trì, qua đó nâng cao đáng kể độ an toàn và độ tin cậy của tuyến đường.

(4) Lực nhiệt độ trên thanh ray dài của tuyến không mối nối tăng giảm đều đặn, không hình thành các đỉnh lực nhiệt, cho phép tăng nhiệt độ khóa ray một cách hợp lý, từ đó cải thiện đáng kể độ ổn định của đường ray.

2. Sự phát triển của tuyến không mối nối trên cầu

Năm 1963, Trung Quốc lần đầu tiên lắp đặt tuyến không mối nối trên cầu tại cầu "Sông Lưu Ly" thuộc tuyến Bắc Kinh - Quảng Châu. Nhờ sự nỗ lực không ngừng của nhiều thế hệ kỹ sư và công nhân đường sắt, nghiên cứu về tuyến không mối nối trên cầu đã đạt được những đột phá quan trọng.

Trên hệ thống đường sắt hiện có của Trung Quốc, số lượng các loại cầu rất lớn. Do đó, việc xây dựng lý thuyết thiết kế tuyến không mối nối trên cầu và nghiên cứu các cấu trúc đường ray phù hợp với cầu đã trở thành một trong những công nghệ cốt lõi trong phát triển tuyến không mối nối.

Trong nhiều năm, các đơn vị nghiên cứu đường sắt của Trung Quốc đã tiến hành thử nghiệm và nghiên cứu sâu rộng về lực giãn nở, lực uốn, lực khi gãy ray, lực phanh và các thông số liên quan trên tuyến không mối nối trên cầu. Những thành tựu đáng chú ý bao gồm việc chế tạo thành công bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray hình cong, thiết bị kẹp ray có lực cản nhỏ, thanh tà vẹt bê tông chuyên dụng cho cầu, và các mối nối ray dán keo với độ bền cao và tính linh hoạt tốt.

Trung Quốc cũng đã xây dựng lý thuyết thiết kế tuyến không mối nối trên cầu và áp dụng rộng rãi vào thực tiễn, góp phần quan trọng vào sự phát triển của hệ thống đường sắt hiện đại.

Trung Quốc hiện có khoảng 500 cây cầu đường sắt dài hơn 200m được lắp đặt tuyến không mối nối. Trong số đó, nổi bật là các cây cầu lớn bắc qua sông Dương Tử, bao gồm:

- Cầu Vũ Hán (kết cấu chính: dầm thép giàn liên tục 3 nhịp, mỗi nhịp dài 128m);

- Cầu Nam Kinh (kết cấu chính: dầm thép giàn liên tục 3 nhịp, mỗi nhịp dài 180m);

- Cầu Cửu Giang (kết cấu chính: dầm thép giàn liên tục với các nhịp 180m + 216m + 180m);

- Cầu Vu Hồ (kết cấu chính: dầm thép giàn kết hợp dầm bê tông, các nhịp 180m + 312m + 180m).

Ngoài ra, các cây cầu lớn bắc qua sông Hoàng Hà như:

- Cầu Tế Nam (kết cấu chính: dầm thép giàn liên tục với các nhịp 112m + 2 × 120m + 112m);

- Cầu Trịnh Châu và Cầu Tôn Khẩu (kết cấu chính: dầm thép giàn liên tục 4 nhịp với các nhịp 108.9m + 2 × 108m + 108.9m).

Bên cạnh đó còn có các cây cầu quan trọng khác như:

- Cầu Thạch Long trên tuyến Quảng Châu - Thâm Quyến;

- Cầu số 2 trên sông Tiền Đường (kết cấu chính: dầm bê tông liên tục 8 nhịp, mỗi nhịp dài 80m).

Với sự phát triển quy mô của hệ thống đường sắt cao tốc và việc áp dụng cấu trúc đường ray không đá dăm, công nghệ tuyến không mối nối trên các cầu lớn đã được áp dụng thành trên nhiều tuyến đường cao tốc như tuyến Bắc Kinh - Thiên Tân, Bắc Kinh - Thượng Hải, Vũ Hán - Quảng Châu, Trịnh Châu - Tây An, và các tuyến đường khác đã đi vào vận hành.

Do sự gia tăng độ dài cầu và ảnh hưởng của biến đổi nhiệt độ, để tránh tác động lực bổ sung quá lớn lên thanh ray do sự giãn nở và co rút của kết cấu cầu, từ thập niên 1950, Trung Quốc đã nghiên cứu và áp dụng các bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray dạng chéo và dạng gấp khúc.

Tuy nhiên, cả hai loại điều chỉnh này đều gặp phải những vấn đề kỹ thuật, như sự thay đổi độ rộng đường ray trong quá trình vận hành và sự cong vênh của thanh ray cơ bản làm ảnh hưởng đến độ bằng phẳng của đường ray. Do đó, Trung Quốc đã quyết định từ bỏ việc thử nghiệm và sản xuất hai loại bộ điều chỉnh giãn nở này.

Việc nghiên cứu và chế tạo bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray dạng cong ở Trung Quốc bắt đầu từ năm 1968. Cùng với sự phát triển của công nghệ đường sắt, bộ điều chỉnh giãn nở dạng cong liên tục được cải tiến bằng cách áp dụng các công nghệ và kỹ thuật mới, nhằm thích nghi với các điều kiện tuyến đường và yêu cầu vận hành khác nhau.

Sau khi bộ điều chỉnh giãn nở dạng cong loại CHN50 được ứng dụng rộng rãi, năm 1988, Trung Quốc tiếp tục chế tạo thành công loại CHN60, và đến năm 1995 đã thử nghiệm thành công bộ điều chỉnh giãn nở dạng cong hai chiều. Năm 2002, một loại bộ điều chỉnh dạng cong phù hợp với thiết bị kẹp thanh ray đàn hồi đã được phát triển. Mặc dù đã qua nhiều lần cải tiến và hoàn thiện, thiết kế cơ bản của bộ điều chỉnh này, bao gồm việc cố định thanh ray mũi nhọn và giãn nở của thanh ray chính, vẫn được giữ nguyên.

Do hiệu suất làm việc tốt, bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray dạng cong đã được ứng dụng rộng rãi trên các tuyến đường sắt chính và các cầu cạn trong giao thông đô thị tại Trung Quốc. Bộ điều chỉnh này không chỉ đáp ứng yêu cầu sử dụng trên các cầu thép có nhịp dài và mức độ giãn nở lớn mà còn phù hợp cho cả đường ray có hoặc không có đá dăm, đảm bảo vận hành an toàn trong cả hai hướng ở tốc độ cao.

Từ năm 1969 đến nay, hàng nghìn bộ điều chỉnh giãn nở dạng cong đã được lắp đặt tại Trung Quốc. Các cây cầu lớn như cầu Vũ Hán, cầu Cửu Giang, cầu Chi Thành trên sông Dương Tử và cầu Tế Nam trên sông Hoàng Hà đều sử dụng bộ điều chỉnh này và đạt hiệu quả sử dụng rất tốt.

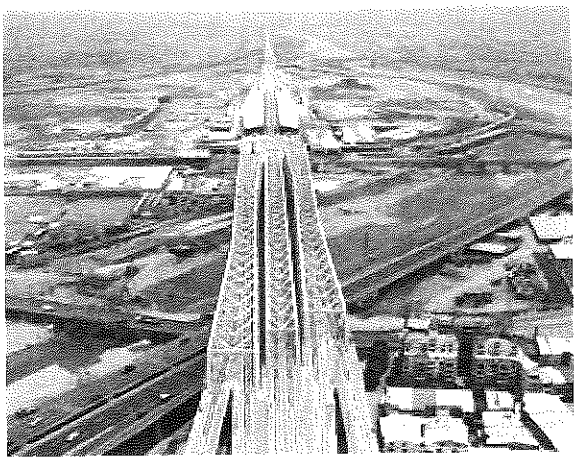
3. Sự phát triển của đường ray chuyển hướng không mối nối

Đường ray chuyển hướng không mối nối (vô mối đạo tách) là một trong những công nghệ then chốt để thực hiện tuyến không mối nối liên khu vực. So với các quốc gia như Đức và Pháp, công nghệ này tại Trung Quốc tuy bắt đầu muộn hơn, nhưng nhờ vào sáu lần tăng tốc trên các tuyến đường sắt hiện hữu và sự phát triển của đường sắt cao tốc, các lý thuyết thiết kế, cấu trúc và kỹ thuật thi công lắp đặt của Trung Quốc đã phát triển nhanh chóng.

Trung Quốc đã đạt được nhiều thành tựu quan trọng trong các lĩnh vực như cải tiến cấu trúc của đường ray chuyển hướng không mối nối, nghiên cứu sự thích nghi của thiết bị chuyển đổi tín hiệu điện với sự giãn nở của thanh ray mũi nhọn và thanh ray tim, phát triển lý thuyết và phương pháp thiết kế, công nghệ hàn nối giữa ray chuyển hướng không mối nối và ray trong khu vực, cùng với kỹ thuật lắp đặt và bảo trì đường ray chuyển hướng không mối nối. Những tiến bộ này đã đặt nền móng cho việc ứng dụng rộng rãi công nghệ tuyến không mối nối liên khu vực trong hệ thống đường sắt cao tốc tại Trung Quốc.

Công nghệ đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu

Trong quá trình phát triển đường sắt cao tốc và giao thông đường sắt liên tỉnh, do những hạn chế về môi trường, địa hình và điều kiện địa chất, một số nhà ga bắt buộc phải xây dựng trên kết cấu cầu. Điều này dẫn đến việc cần lắp đặt đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu. Công nghệ này tích hợp các kỹ thuật của cả đường ray chuyển hướng không mối nối và tuyến không mối nối trên cầu, được xem là sự phát triển và mở rộng của công nghệ tuyến không mối nối.



Hình 1-3-1: *Đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu thuộc tuyến đường sắt cao tốc tại Đài Loan*

Trên thế giới, các quốc gia như Đức và Nhật Bản đã triển khai lắp đặt đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu tại các tuyến đường sắt cao tốc. Tại Đài Loan, công nghệ này đã được áp dụng tại các nhà ga cao tốc như Đài Nam, Chương Hóa, Gia Nghĩa, và Vân Lâm (Hình minh họa 1-3-1).

Đặc thù tại Trung Quốc

Loại đường ray, kết cấu cầu, điều kiện địa lý và khí hậu của Trung Quốc có sự khác biệt lớn so với các quốc gia khác. Để giải quyết các khó khăn trong thiết kế và xây dựng đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu, Trung Quốc đã tiến hành các nghiên cứu và cải tiến trong nhiều lĩnh vực như:

- Lý thuyết và phương pháp thiết kế,
- Công nghệ kết nối giữa đường ray, cầu, và đạo tách,
- Kỹ thuật lắp đặt,
- Các thử nghiệm về tính năng động học.

Thành công

Công nghệ này đã được áp dụng thành công trên các tuyến đường sắt cao tốc với nhà ga trên cao như Vũ Hán - Quảng Châu, Trịnh Châu - Tây An, và Bắc Kinh - Thượng Hải. Sau nhiều năm vận hành, các đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu vẫn hoạt động tốt và đạt hiệu quả cao.

II. ĐẶC ĐIỂM CÔNG NGHỆ TUYẾN KHÔNG MỐI NỐI TRÊN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC TRUNG QUỐC

Để đảm bảo sự vận hành an toàn và êm ái của các đoàn tàu cao tốc, tuyến không mối nối trên đường sắt cao tốc phải đáp ứng các yêu cầu về độ bằng phẳng và độ ổn định cao. So với các tuyến không mối nối truyền thống, tuyến không mối nối trên đường sắt cao tốc áp dụng các tiêu chuẩn thiết kế và thi công khắt khe hơn.

Tại Trung Quốc, tuyến không mối nối trên đường sắt cao tốc đã được ứng dụng rộng rãi ở nhiều khu vực với điều kiện khí hậu và địa lý khác nhau, bao gồm:

- Khu vực Đông Bắc có biên độ chênh lệch nhiệt độ lớn nhất lên đến 100,5°C;
- Khu vực phía Tây khô hạn với cường độ tia cực tím mạnh;
- Khu vực ven biển Đông Nam với khí hậu nóng ẩm.

1. Công nghệ tuyến không mối nối liên khu vực

Đường sắt cao tốc sử dụng tuyến không mối nối liên khu vực, giúp giảm thiểu tối đa các mối nối thanh ray và loại bỏ vùng đệm. Điều này mang lại các ưu điểm như độ bằng phẳng cao, độ bền tổng thể lớn, khả năng chống trượt mạnh, và lực dọc của thanh ray được phân bổ đều, đảm bảo cấu trúc đường ray đạt được độ bằng phẳng và ổn định cao, giúp đoàn tàu cao tốc vận hành êm ái và an toàn.

Công nghệ không mối nối cho đường ray chuyển hướng là một bước đột phá quan trọng trong phát triển tuyến không mối nối liên khu vực. Đặc biệt, khi nhiệt độ thanh ray thay đổi so với nhiệt độ khóa ray, lực dọc và sự dịch chuyển của thanh ray trong khu vực đường ray chuyển hướng sẽ ảnh hưởng đến độ bền, độ ổn định của đường ray chuyển hướng và sự an toàn của đoàn tàu.

Với việc sử dụng hàn nối hoặc dán keo tại các mối nối thanh ray trong khu vực đường ray chuyển hướng, và cả hai đầu của đường ray chuyển hướng được hàn nối với các thanh ray dài không mối nối, các tuyến đường chuyển hướng không còn khe hở trên cả tuyến chính và tuyến phụ. Phân tích lực nhiệt bổ sung và sự biến dạng trong khu vực đường ray chuyển hướng trở thành trọng tâm và thách thức lớn nhất trong thiết kế, lắp đặt cũng như bảo trì đường ray chuyển hướng không mối nối. Đây là yếu tố quyết định sự thành công của công nghệ tuyến không mối nối liên khu vực.

2. Công nghệ tuyến không mối nối trên đường ray không đá dăm

Do đường ray không đá dăm loại bỏ lớp đá ballast, khả năng duy trì trạng thái hình học của đường ray được cải thiện, từ đó tăng cường độ ổn định và giảm khối lượng công việc bảo trì. Độ ổn định cao của đường ray không đá dăm tạo điều kiện thuận lợi cho việc lắp đặt tuyến không mối nối.

Tuy nhiên, trong thiết kế tuyến không mối nối, cần phải xem xét các đặc điểm chịu lực của từng loại kết cấu đường ray không đá dăm, lực cản dọc của tuyến đường không đá dăm, cũng như các yêu cầu kỹ thuật khắt khe về độ bằng phẳng của tuyến đường đối với đường sắt cao tốc.

3. Công nghệ tuyến không mối nối trên các cầu lớn

Để đáp ứng nhu cầu của đường sắt cao tốc khi vượt qua các sông, suối, thung lũng và các địa hình phức tạp, độ dài nhịp cầu ngày càng được mở rộng, dẫn đến sự phát triển của công nghệ tuyến không mối nối trên các cầu lớn.

Các cây cầu lớn thường gặp phải những thách thức như sự giãn nở, biến dạng uốn cong lớn và tương tác phức tạp giữa cầu và ray. Ngoài ra, các lực bổ sung do phanh tàu hoặc sự cố gãy ray trên cầu thường lớn hơn so với các cầu thông thường. Việc làm thế nào để giảm thiểu tương tác giữa cầu và ray trở thành công nghệ cốt lõi trong thiết kế tuyến không mối nối trên các cầu lớn.

Với sự phát triển của đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, các cấu trúc cầu lớn đã được áp dụng rộng rãi. Việc lắp đặt đường ray không đá dăm và tuyến không mối nối trên các cầu lớn là một trong những công nghệ quan trọng trong xây dựng đường sắt cao tốc và đặt ra những thách thức lớn đối với cả kỹ thuật cầu và kỹ thuật đường ray.

Để giảm tương tác giữa cầu và ray, các bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray được lắp đặt tại đầu cầu. Tuy nhiên, điều này có thể làm giảm sự thoải mái khi tàu vận hành, tăng khối lượng công việc bảo trì và tạo thành điểm yếu trong cấu trúc đường ray. Việc có nên lắp đặt bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray hay không là một vấn đề khó khăn trong thiết kế tuyến không mối nối trên các cầu lớn.

4. Công nghệ đường ray chuyển hướng không mối nối tại các nhà ga trên cao

Hệ thống đường sắt cao tốc của Trung Quốc có rất nhiều nhà ga trên cao, do đó, việc lắp đặt đường ray chuyển hướng không mối nối tại các nhà ga này đã trở thành một công nghệ then chốt trong tuyến không mối nối liên khu vực của đường sắt cao tốc.

Đường ray chuyển hướng không mối nối tại các nhà ga trên cao liên quan đến nhiều vấn đề mang tính hệ thống, bao gồm đường ray chuyển hướng không mối nối, tuyến không mối nối trên cầu, và khả năng thích nghi của cầu với đường ray chuyển hướng.

Công nghệ này đòi hỏi phải xem xét cả mối quan hệ phức tạp giữa lực tác động và biến dạng của thanh ray trong đường ray chuyển hướng không mối nối, cũng như sự tương tác giữa cầu và ray trong khu vực đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu.

III. TUYẾN KHÔNG MỐI NỐI TRÊN CẦU

1. Lý thuyết tính toán tuyến không mối nối trên cầu

Trung Quốc đã bắt đầu nghiên cứu lý thuyết và thử nghiệm về tuyến không mối nối trên cầu từ đầu thập niên 1960. Trong những năm gần đây, để giải quyết các vấn đề mới nảy sinh trong xây dựng đường sắt cao tốc, các nghiên cứu về tuyến không mối nối trên cầu đã được tiến hành một cách hệ thống và sâu rộng, bao gồm các khía cạnh lý thuyết, thử nghiệm, và ứng dụng kỹ thuật. Những nghiên cứu này đã đạt được nhiều kết quả quan trọng, thúc đẩy sự tiến bộ của công nghệ tuyến không mối nối trên cầu.

Tuyến không mối nối trên cầu khác biệt so với tuyến trên nền đường. Ngoài lực nhiệt độ, thanh ray trên cầu còn chịu các lực dọc bổ sung do kết cấu cầu gây ra. Khi cầu giãn nở và co rút do nhiệt độ thay đổi hoặc khi chịu tải trọng từ tàu, cầu sẽ bị uốn cong, dẫn đến sự dịch chuyển. Trên cầu không lát đá dăm, sự biến dạng dọc này (bao gồm giãn nở và dịch chuyển) sẽ tạo ra lực dọc bổ sung lên thanh ray thông qua sự ràng buộc giữa cầu và ray.

- Trong cầu lát đá dăm, lực cản do mối nối giữa thanh ray, thiết bị kẹp, và lớp đá dăm cùng tác động để hạn chế sự dịch chuyển tương đối giữa cầu và ray.

- Trong cầu không lát đá dăm, thiết bị kẹp sẽ trực tiếp hạn chế sự dịch chuyển tương đối này.

Lực bổ sung dọc do giãn nở cầu gây ra gọi là lực giãn nở, còn lực do uốn cong cầu gây ra gọi là lực uốn cong. Những lực bổ sung này cũng phản hồi lên các nhịp cầu hoặc các gối cầu cố định, làm biến dạng đàn hồi các trụ cầu và gây dịch chuyển dọc ở đỉnh trụ.

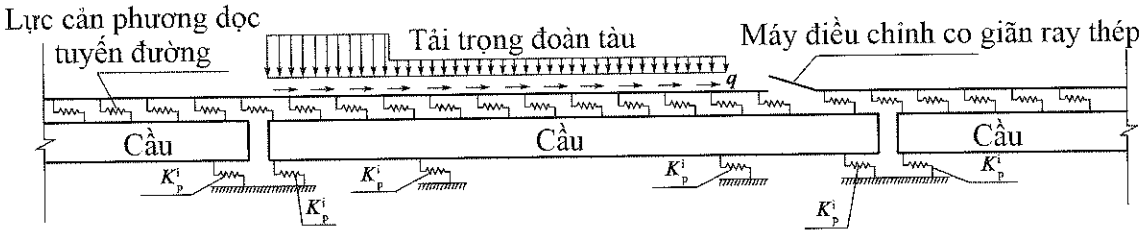
Ngoài ra, nếu xảy ra sự cố gãy ray trên cầu hoặc nếu khu vực giãn nở của tuyến không mối nối được đặt trên cầu, thì sự giãn nở của thanh ray sẽ thông qua sự ràng buộc giữa cầu và ray để tác động lực lên trụ cầu và các gối cầu cố định, gây ra lực gãy ray hoặc lực nhiệt độ.

Trong giai đoạn đầu, các tuyến không mối nối trên cầu ở Trung Quốc chủ yếu sử dụng cấu trúc lát đá dăm. Để tính toán lực dọc trong tuyến không mối nối trên cầu lát đá dăm, mô hình phần tử hữu hạn được sử dụng, như minh họa trong Hình 1-3-2.

- Trong mô hình này, thanh ray và cầu được chia thành các phần tử dầm nhỏ.

- Các đặc tính lực cản dọc của thiết bị kẹp và lớp đá dăm được mô phỏng bằng các phần tử lò xo phi tuyến.

- Độ cứng dọc của kết cấu dưới cầu được mô phỏng bằng các phần tử lò xo tuyến tính.



Hình 1-3-2: *Mô hình tính toán tương tác giữa cầu và ray*

Khi tính toán, mô hình còn xem xét đến một đoạn thanh ray và thiết bị kẹp trên nền đường ở hai đầu cầu để loại bỏ ảnh hưởng của điều kiện biên lên kết quả tính toán lực dọc và sự dịch chuyển trên tuyến không mối nối trên cầu.

Trong những năm gần đây, cùng với việc ứng dụng rộng rãi cấu trúc đường ray không đá dăm trên đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, việc lắp đặt tuyến không mối nối trên các cầu bê tông lớn với đường ray không đá dăm đã trở thành một trong những công nghệ then chốt của tuyến không mối nối trên đường sắt cao tốc.

Cấu trúc đường ray không đá dăm trên cầu tại Trung Quốc có thể được chia thành hai loại chính:

- Loại cấu trúc đường ray với các khối đơn lẻ trong từng nhịp cầu và bị ngắt tại khe nối giữa các nhịp cầu (như đường ray không đá dăm kiểu song khối hoặc kiểu tấm CRTS I).

- Loại cấu trúc đường ray liên tục theo chiều dọc qua các khe nối giữa các nhịp cầu (như đường ray không đá dăm kiểu tấm CRTS II).

Đối với tuyến không mối nối sử dụng đường ray không đá dăm kiểu song khối và kiểu tấm CRTS I trên cầu, cơ chế tương tác giữa cầu và ray tương tự như cơ chế của cầu sử dụng đường ray có đá dăm truyền thống, nhưng tương tác này chủ yếu được truyền qua các thiết bị kẹp ray.

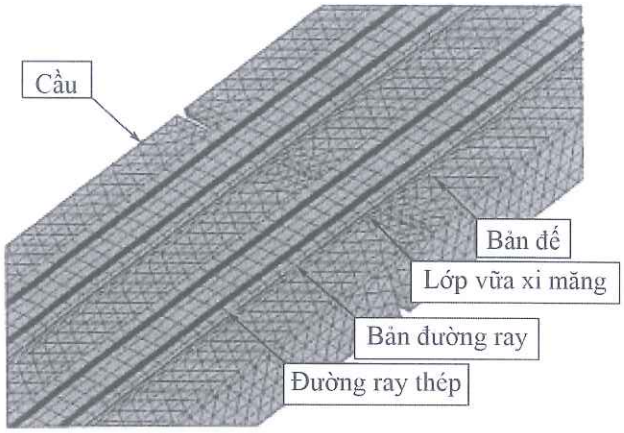
Để giảm thiểu tác động tương tác giữa cầu và ray, cũng như tránh cho thanh ray phải chịu lực bổ sung quá lớn, các cầu lớn thường sử dụng thiết bị kẹp ray có lực cản nhỏ hoặc lắp đặt bộ điều chỉnh giãn nở. Tuy nhiên, khi dầm cầu giãn nở dưới tác động của tải trọng nhiệt, hiện tượng thanh ray trượt tại đầu dầm có thể gia tăng đáng kể.

Để kiểm soát hiện tượng thanh ray trượt hoặc ngăn khe hở của thanh ray trở nên quá lớn khi xảy ra gãy ray ở nhiệt độ thấp, lực cản dọc của thiết bị kẹp không nên được thiết kế quá nhỏ.

Cấu trúc đường ray không đá dăm kiểu tấm CRTS II trên cầu được thiết kế dựa trên một ý tưởng hoàn toàn mới, mang lại một bước đột phá trong hệ thống đường ray không đá dăm. Để giảm thiểu tương tác giữa đường ray và cầu, hệ thống CRTS II được trang bị lớp trượt trên bề mặt dầm cầu.

Hệ thống CRTS II không chỉ thay đổi đáng kể quan điểm thiết kế của đường ray không đá dăm mà còn ảnh hưởng mạnh mẽ đến thiết kế tuyến không mối nối trên cầu. Việc bổ sung lớp trượt giữa tấm đáy và bề mặt dầm cầu đã thay đổi cơ chế truyền lực truyền thống giữa cầu và ray.

Để nghiên cứu và phân tích sự thay đổi này, Trung Quốc đã phát triển mô hình không gian kết hợp cho tuyến không mối nối trên cầu sử dụng hệ thống CRTS II, tập trung vào mối quan hệ giữa cấu trúc ray không đá dăm và dầm cầu (Hình 1-3-3).



Hình 1-3-3: *Mô hình không gian kết hợp cho tuyến không mối nối trên cầu với đường ray không đá dăm*

Phân tích lý thuyết cho thấy, khi lớp trượt hoạt động trong điều kiện lý tưởng với hệ số ma sát nhỏ, lớp này có khả năng giảm bớt tương tác giữa cầu và ray do sự thay đổi nhiệt độ và tải trọng từ tàu. Điều này không chỉ làm giảm lực dọc bổ sung tác động lên cầu và ray, mà còn giúp kiểm soát ứng suất và biến dạng, mang lại lợi ích rõ rệt cho cả cầu và đường ray.

Nhìn chung, sau hơn nửa thế kỷ nghiên cứu lý thuyết và thử nghiệm, Trung Quốc đã xây dựng thành công hệ thống lý thuyết thiết kế tuyến không mối nối trên cầu. Những lý thuyết này đã được kiểm chứng qua thực tiễn trên nhiều loại cầu có điều kiện vận hành phức tạp, khẳng định được tính an toàn và độ tin cậy, đồng thời nhận được sự công nhận từ các đơn vị vận hành. Công nghệ này cũng đã cho thấy rõ ràng hiệu quả về mặt kinh tế và kỹ thuật.

2. Các thông số thiết kế của tuyến không mối nối trên cầu

Các thông số thiết kế chính của tuyến không mối nối trên cầu bao gồm: nhiệt độ thanh ray, chênh lệch nhiệt độ của dầm cầu, nhiệt độ khóa ray thiết kế, ứng suất cho phép của thanh ray, lực cản dọc của tuyến đường, và giới hạn độ cứng ngang theo phương dọc của các trụ cầu.

2.1. Nhiệt độ thanh ray

Nhiệt độ thanh ray có mối liên hệ chặt chẽ với lực nhiệt bên trong thanh ray và ảnh hưởng trực tiếp đến độ bền cũng như độ ổn định của đường ray. Độ bền của thanh ray là một thông số quan trọng trong thiết kế, thi công và bảo trì tuyến không mối nối.

Dựa trên dữ liệu về nhiệt độ cao nhất và thấp nhất của 265 thành phố tại Trung Quốc trong vòng 30 năm (1981-2010) và các kết quả quan sát, phân tích nhiệt độ thanh ray, nhiệt độ cao nhất của thanh ray được xác định bằng nhiệt độ cao nhất trong vòng 30 năm cộng thêm 20°C, còn nhiệt độ thấp nhất của thanh ray được lấy là nhiệt độ thấp nhất trong vòng 30 năm qua.

2.2. Chênh lệch nhiệt độ dầm cầu

Chênh lệch nhiệt độ dầm cầu là một thông số quan trọng trong thiết kế tuyến không mối nối trên cầu, vì nó là nguyên nhân chính gây ra lực giãn nở bổ sung từ cầu tác động lên tuyến không mối nối. Do đó, nhiệt độ chênh lệch trong cấu trúc dầm cầu cũng được coi là tải trọng nhiệt gây ra lực giãn nở bổ sung giữa cầu và ray.

Việc xác định chênh lệch nhiệt độ dầm cầu cần dựa trên hai yếu tố:

- Dữ liệu thực tế về sự thay đổi nhiệt độ của dầm cầu.
- Đảm bảo mức độ an toàn đủ lớn thông qua các giá trị dự phòng.

• ***Các tiêu chuẩn quốc tế quy định chênh lệch nhiệt độ dầm cầu như sau:***

- Tiêu chuẩn Đức: Chênh lệch nhiệt độ dầm cầu thường được lấy ±30°C.
- Tiêu chuẩn Pháp (theo UIC): Với cầu dầm bê tông và cầu liên hợp, nhiệt độ chênh lệch được tính ±35°C.
- Tiêu chuẩn Nhật Bản: Chênh lệch nhiệt độ dầm cầu tại khu vực thông thường là ±20°C, còn tại khu vực lạnh là ±25°C.

Tiêu chuẩn Đức và UIC dựa trên chênh lệch nhiệt độ theo năm. Tuy nhiên, nghiên cứu tại Trung Quốc cho rằng lực giãn nở bổ sung trên tuyến không mối nối không tích lũy lâu dài, mà được giải phóng dần theo hoạt động của tàu. Do đó, các tiêu chuẩn Đức và UIC được xem là khá bảo thủ.

Trong thiết kế tuyến không mối nối trên cầu tại Trung Quốc, chênh lệch nhiệt độ dầm cầu được lấy như sau:

- Cầu dầm bê tông lát đá dăm: ±15°C.
- Cầu dầm bê tông không đá dăm: ±20°C.
- Cầu dầm thép: ±25°C.

2.3. Nhiệt độ khóa ray thiết kế

Nhiệt độ khóa ray là nhiệt độ của thanh ray tại thời điểm thi công khóa ray, còn được gọi là nhiệt độ thanh ray không có ứng suất. Nhiệt độ khóa ray thiết kế được xác định dựa trên dữ liệu khí tượng, sự cho phép tăng và giảm nhiệt độ của tuyến không mối nối. Đây là cơ sở để quyết định mức độ lực nhiệt trong thanh ray và là căn cứ quan trọng để hướng dẫn vận hành và bảo trì.

(1) Tiêu chuẩn quốc tế:

- Theo Tiêu chuẩn Thiết kế Đường ray Đức (DS820):

+ Nhiệt độ cao nhất của thanh ray: $T_{\max} = 65°C$

+ Nhiệt độ thấp nhất của thanh ray: $T_{\min} = 25°C$

+ Phạm vi nhiệt độ khóa ray: $T \pm 3°C$, tức $20°C \pm 3°C$

- Theo Tiêu chuẩn của Pháp và Liên minh Đường sắt Quốc tế (UIC-720):

+ Nhiệt độ khóa ray T_s được tính theo công thức:

$$T_s = T_m + X \tag{1-3-1}$$

trong đó:

T_m - nhiệt độ trung bình của thanh ray, $T_m = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$;

X - giá trị hiệu chỉnh nhiệt độ khóa, thường từ 0 đến 10°C;

Phạm vi nhiệt độ khóa ray thực tế: $T_s \pm 3°C$.

- Nhật Bản:

Nhiệt độ khóa ray thiết kế trên cầu được lấy theo nhiệt độ trung bình của thanh ray, có thể điều chỉnh dựa trên kết quả kiểm tra độ bền uốn và khe hở gãy ray. Phạm vi nhiệt độ khóa ray thực tế: $T_s \pm 5°C$.

(2) Tiêu chuẩn Trung Quốc:

Với lãnh thổ rộng lớn và sự chênh lệch nhiệt độ lớn giữa các khu vực Bắc và Nam, nhiệt độ khóa ray thiết kế tại Trung Quốc được xác định theo nguyên tắc:

- Dựa trên dữ liệu khí tượng địa phương.

- Tính toán sự cho phép tăng và giảm nhiệt độ của tuyến không mối nối, đồng thời bổ sung giá trị hiệu chỉnh phù hợp.

Phương pháp xác định nhiệt độ khóa ray cho đường ray không mối nối có đá dăm tại Trung Quốc đã rất hoàn thiện. Nhiệt độ khóa ray thiết kế T_c được tính theo công thức:

$$T_c = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} + \frac{[\Delta T_d] - [\Delta T_u]}{2} \pm \Delta T_k \quad (1\text{-}3\text{-}2)$$

trong đó:

$T_{\max}$ - nhiệt độ cao nhất của thanh ray, là nhiệt độ cao nhất từng ghi nhận cộng thêm 20°C;

$T_{\min}$ - nhiệt độ thấp nhất của thanh ray, là nhiệt độ thấp nhất từng ghi nhận;

$[\Delta T_d]$ - mức giảm nhiệt độ cho phép;

$[\Delta T_u]$ - mức tăng nhiệt độ cho phép;

ΔT_k - giá trị hiệu chỉnh nhiệt độ khóa ray, thường từ 0 đến 5°C.

(3) Ứng dụng thực tiễn:

Dựa trên kinh nghiệm thiết kế, lắp đặt và bảo trì tuyến không mối nối trên các tuyến cao tốc như Bắc Kinh - Thiên Tân, Vũ Hán - Quảng Châu, Bắc Kinh - Thượng Hải, để tránh hiện tượng phồng ray ảnh hưởng đến độ bằng phẳng của tuyến đường và sự vận hành ổn định của tàu, nhiệt độ khóa ray thiết kế trên tuyến không đá dăm không nên quá thấp.

Nhiệt độ khóa ray thiết kế T_e thường được tính theo công thức:

$$T_e = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \pm \Delta T_k \quad (1\text{-}3\text{-}3)$$

2.4. Ứng suất cho phép của thanh ray

Kiểm tra độ bền của thanh ray là một nội dung quan trọng trong thiết kế tuyến không mối nối trên cầu, và ứng suất cho phép của thanh ray là thông số kiểm soát chính trong thiết kế tuyến không mối nối.

Phương pháp kiểm tra độ bền của thanh ray và giá trị tham số giữa Trung Quốc và quốc tế có sự khác biệt. Tại Đức, độ bền của thanh ray được xác định theo phương pháp trạng thái giới hạn. Trong thiết kế tuyến không mối nối trên cầu, ứng suất bổ sung trong thanh ray được sử dụng làm điều kiện kiểm soát, và giá trị ứng suất được xác định dựa trên biểu đồ Smith, xem xét các yếu tố:

- Ứng suất do thay đổi nhiệt độ của thanh ray (σ_T);
- Cường độ mỏi (σ_A);
- Ứng suất dư (σ_E);
- Ứng suất uốn động do tải trọng đứng của bánh xe (σ_d).

Dựa trên các điều kiện này, các giá trị ứng suất bổ sung được xác định như sau:

- Đối với đường ray có đá dăm:

+ Ứng suất kéo bổ sung: 92 MPa;

+ Ứng suất nén bổ sung: 72 MPa.

- Đối với đường ray không đá dăm:

+ Ứng suất kéo bổ sung: 92 MPa;

+ Ứng suất nén bổ sung: 92 MPa.

Dựa trên kinh nghiệm thiết kế tuyến không mối nối tại Trung Quốc trong nhiều năm, việc kiểm tra độ bền của thanh ray trên tuyến không mối nối đường sắt cao tốc sử dụng phương pháp ứng suất cho phép. Tiêu chí kiểm soát là tổng ứng suất làm việc của thanh ray phải nhỏ hơn ứng suất cho phép của thanh ray (tức là giới hạn chảy chia cho hệ số an toàn K = 1.3, được biểu thị bằng công thức:

$$[\sigma]=\frac{\sigma_s}{K} \tag{1-3-3}$$

trong đó:

$[\sigma]$ - ứng suất cho phép của thanh ray (MPa);

K - hệ số an toàn, giá trị là 1.3, được sử dụng để xem xét các yếu tố như ứng suất mỏi, ứng suất dư, và các khuyết tật ở mối hàn;

σ_s - giới hạn chảy của thanh ray (MPa).

Đường sắt cao tốc tại Trung Quốc sử dụng thanh ray thép U71MnG, có giới hạn chảy là 457 MPa và ứng suất cho phép là 351 MPa.

2.5. Lực cản dọc của tuyến đường

Lực cản dọc của tuyến đường là một thông số quan trọng để chống lại sự giãn nở của thanh ray và ngăn chặn hiện tượng trượt của tuyến đường. Đây cũng là một thông số quan trọng trong tính toán tuyến không mối nối trên cầu.

- Đối với tuyến không đá dăm, lực cản dọc được xác định bởi lực cản dọc của thiết bị kẹp ray.

- Đối với tuyến có đá dăm, ngoại trừ các đoạn sử dụng thiết bị kẹp ray có lực cản nhỏ, lực cản dọc của tuyến được lấy bằng lực cản dọc của lớp đá dăm.

- Tại các đoạn sử dụng thiết bị kẹp ray có lực cản nhỏ, lực cản dọc của tuyến được lấy bằng lực cản dọc của thiết bị kẹp ray.

Do lực cản dọc của tuyến có tính liên quan đến cấu trúc và mang tính phân tán, các đơn vị nghiên cứu trong nước đã thực hiện nhiều thí nghiệm trong phòng thí nghiệm và đo lường thực tế tại hiện trường. Thông qua phân tích thống kê hồi quy trên dữ liệu từ nhiều thử nghiệm lực cản, các hàm lực cản đã được xác định cho các điều kiện tuyến đường khác nhau và được sử dụng trong các tính toán phân tích tuyến không mối nối ở giai đoạn đầu.

Từ khi xây dựng đường sắt cao tốc, do cấu trúc tuyến không mối nối trên cầu phức tạp và thời gian giải mô hình kéo dài, để cải thiện tốc độ tính toán mà vẫn đảm bảo độ chính xác, hàm lực cản song tuyến với đặc tính rất gần với đường cong dịch chuyển-lực cản thực tế đã được sử dụng rộng rãi.

(1) Lực cản dọc trên mỗi đơn vị chiều dài của lớp đá dăm trong đường ray có đá dăm

Khi đường ray có đá dăm sử dụng tà vẹt bê tông loại III hoặc loại II, lực cản dọc trên mỗi đơn vị chiều dài của lớp đá dăm (r) được lấy theo các giá trị trong Bảng 1-3-1.

Bảng 1-3-1: Giá trị lực cản dọc của lớp đá dăm trong đường ray có đá dăm (kN/m/đường ray)

Loại tà vẹt và số lượng lắp đặt	Có tải		Không tải
	Dưới tải trọng đầu máy	Dưới tải trọng toa xe	
Tà vẹt bê tông loại III (1667 cái/km)	r = 11.6x, x ≤ 2.0 mm r = 23.2, x > 2.0 mm	r = 7.5x, x ≤ 2.0 mm r = 15.0, x > 2.0 mm	r = 7.5x, x ≤ 2.0 mm r = 15.0, x > 2.0 mm
Tà vẹt bê tông loại II (1760 cái/km)	r = 6.8x, x ≤ 2.0 mm r = 13.6, x > 2.0 mm	r = 4.4x, x ≤ 2.0 mm r = 8.8, x > 2.0 mm	r = 4.4x, x ≤ 2.0 mm r = 8.8, x > 2.0 mm

Ghi chú: *x là độ dịch chuyển của tà vẹt.*

(2) Lực cản dọc trên mỗi đơn vị chiều dài của thiết bị kẹp ray trên đường ray không đá dăm

Khi đường ray không đá dăm sử dụng thiết bị kẹp ray loại WJ-7 hoặc WJ-8, với khoảng cách giữa các nút kẹp là 625 mm, lực cản dọc trên mỗi đơn vị chiều dài của thiết bị kẹp ray (r) được lấy theo các giá trị trong Bảng 1-3-2.

Bảng 1-3-2: Giá trị lực cản dọc của thiết bị kẹp ray trên mỗi đơn vị chiều dài (kN/m/đường ray)

Loại thiết bị kẹp ray	Có tải		Không tải
	Dưới tải trọng đầu máy	Dưới tải trọng toa xe	
Thiết bị kẹp ray WJ-7 hoặc WJ-8 (khoảng cách giữa các nút kẹp: 625 mm)	r = 18.6x, x ≤ 2.0 mm r = 37.2, x > 2.0 mm	r = 12.0x, x ≤ 2.0 mm r = 24.0, x > 2.0 mm	r = 12.0x, x ≤ 2.0 mm r = 24.0, x > 2.0 mm

Ghi chú: *x là độ dịch chuyển của thanh ray.*

(3) Lực cản dọc trên mỗi đơn vị chiều dài của thiết bị kẹp ray có lực cản nhỏ

Khi đường ray có đá dăm sử dụng thiết bị kẹp ray đàn hồi loại V có lực cản nhỏ, với khoảng cách giữa các nút kẹp là 600 mm, lực cản dọc trên mỗi đơn vị chiều dài (r) được lấy theo các giá trị trong Bảng 1-3-3.

Bảng 1-3-3: Giá trị lực cản dọc của thiết bị kẹp ray có lực cản nhỏ (kN/m/đường ray)

Loại thiết bị kẹp ray	Có tải		Không tải
	Dưới tải trọng đầu máy	Dưới tải trọng toa xe	
Thiết bị kẹp ray đàn hồi loại V (có lực cản nhỏ)	r = 24.8x, x ≤ 2.0 mm r = 12.4, x > 2.0 mm	r = 16.0x, x ≤ 2.0 mm r = 8.0, x > 2.0 mm	r = 16.0x, x ≤ 2.0 mm r = 8.0, x > 2.0 mm

Ghi chú: *x là độ dịch chuyển của thanh ray.*

Khi đường ray không đá dăm sử dụng thiết bị kẹp ray loại WJ-7 hoặc WJ-8 với lực cản nhỏ, và khoảng cách giữa các nút kẹp là 625 mm, lực cản dọc trên mỗi đơn vị chiều dài của thiết bị kẹp ray (r) được lấy theo các giá trị trong Bảng 1-3-4.

Bảng 1-3-4: Giá trị lực cản dọc của thiết bị kẹp ray loại WJ-7 hoặc WJ-8 có lực cản nhỏ (kN/m/đường ray)

Loại thiết bị kẹp ray	Có tải		Không tải
	Dưới tải trọng đầu máy	Dưới tải trọng toa xe	
Thiết bị kẹp ray WJ-7 hoặc WJ-8 (có lực cản nhỏ)	r = 20.2x, x ≤ 2.0 mm r = 10.1, x > 2.0 mm	r = 13.0x, x ≤ 2.0 mm r = 6.5, x > 2.0 mm	r = 13.0x, x ≤ 2.0 mm r = 6.5, x > 2.0 mm

Ghi chú: *x là độ dịch chuyển của thanh ray.*

2.6. Giới hạn độ cứng ngang theo phương dọc của đỉnh trụ cầu

Độ cứng ngang theo phương dọc của đỉnh trụ cầu là lực dọc cần thiết để tạo ra một đơn vị dịch chuyển ngang theo phương dọc tại đỉnh trụ hoặc mố cầu. Độ cứng này ảnh hưởng đến lực phanh bổ sung và sự phân bố của nó tại đỉnh trụ khi tàu thực hiện phanh:

- Độ cứng đỉnh trụ nhỏ giúp giảm lực phanh bổ sung tác động lên cầu nhưng tăng lực phanh bổ sung tác động lên thanh ray.

- Độ cứng đỉnh trụ lớn giúp giảm lực phanh bổ sung tác động lên thanh ray nhưng lại làm tăng lực phanh tại đỉnh trụ, tăng chi phí xây dựng và có thể ảnh hưởng đến tính thẩm mỹ của cầu.

Do đó, việc xác định giới hạn hợp lý cho độ cứng đỉnh trụ là yếu tố rất quan trọng trong thiết kế cầu và tuyến không mối nối.

Phương pháp tính toán quốc tế và ở Trung Quốc:

Phương pháp tính toán độ cứng ngang theo phương dọc của đỉnh trụ được sử dụng nhất quán trên toàn cầu. Tại Trung Quốc, độ cứng ngang này được xác định dựa trên:

- Độ bền và độ ổn định của tuyến không mối nối trên cầu.
- Độ dịch chuyển tương đối giữa cầu và ray dưới tác động của lực phanh.
- Giá trị khe hở gãy ray và khả năng chịu lực của trụ cầu.

Dựa trên các nghiên cứu trong và ngoài nước, Trung Quốc đã xác định giới hạn tối thiểu cho độ cứng ngang theo phương dọc tại đỉnh trụ để đáp ứng yêu cầu chịu lực của cầu và đường ray (không cần lắp đặt bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray). Những giới hạn này áp dụng cho các dầm đơn giản có nhịp 20 m, 24 m, 32 m, 40 m và 48 m, và đã được đưa vào "Quy phạm thiết kế đường sắt cao tốc" (TB 10621-2014), chi tiết xem trong Bảng 1-3-5.

Bảng 1-3-5: Giới hạn độ cứng ngang theo phương dọc tại đỉnh trụ cầu

Loại hình	Nhịp cầu (m)	Độ cứng ngang tối thiểu (kN/m)	
		Hai làn	Một làn
Cầu trụ	≤ 12	100	60
	16	160	100
	20	190	120
	24	270	170
	32	350	220
	40	559	340
	48	720	450
Mố cầu		3000	15000

3. Bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray

Nghiên cứu và phát triển bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray là một trong những công nghệ cốt lõi của tuyến không mối nối trên các cầu lớn trong hệ thống đường sắt cao tốc. Chức năng chính của bộ điều chỉnh là điều phối sự giãn nở và co rút tại đầu dầm cầu do chênh lệch nhiệt độ, đồng thời phối hợp với sự giãn nở và co rút của thanh ray dài. Điều này giúp tuyến không mối nối trên cầu tự động giải phóng lực nhiệt trong quá trình vận hành, từ đó giảm lực dọc tác động lên đường ray và trụ cầu.

Sau nhiều năm nghiên cứu lý thuyết và thử nghiệm, Trung Quốc đã tự phát triển các bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray dạng cong, phù hợp với nhiều điều kiện tuyến đường và hoạt động khác nhau.

Năm 2007, Trung Quốc đã tự phát triển bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray TKY60 series dành cho đường sắt cao tốc có vận tốc thiết kế 350 km/h với đường ray không đá dăm và ray thép 60 kg/m. Các mã sản phẩm trong dòng này bao gồm:

- **TKY60-400DZ:** Giãn nở động ±400 mm, giãn nở một chiều, đường ray không đá dăm dạng tà vẹt chôn.

- **TKY60-400DB:** Giãn nở động ±400 mm, giãn nở một chiều, đường ray không đá dăm dạng tấm.

- **TKY60-400SZ:** Giãn nở động ±400 mm, giãn nở hai chiều, đường ray không đá dăm dạng tà vẹt chôn.

- **TKY60-400SB:** Giãn nở động ±400 mm, giãn nở hai chiều, đường ray không đá dăm dạng tấm.

Các đặc điểm kỹ thuật của bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray dạng cong tại Trung Quốc:

(1) Phạm vi giãn nở động lớn, cho phép tối đa lên đến 1000 mm, đáp ứng yêu cầu sử dụng của tuyến không mối nối trên nhiều loại cầu với các kiểu dáng và nhịp khác nhau trong hệ thống đường sắt Trung Quốc.

(2) Cố định ray mũi nhọn, cho phép ray cơ bản giãn nở.

Bộ điều chỉnh giãn nở dạng cong một chiều chỉ cho phép ray cơ bản giãn nở, đảm bảo khoảng cách ray luôn được duy trì ổn định. Đối với bộ điều chỉnh giãn nở hai chiều, nhờ cơ chế tự khóa của ray mũi nhọn và việc sử dụng ray cơ bản hai chiều, các thanh ray dài liền kề bộ điều chỉnh chỉ được hàn với ray cơ bản. Vì vậy, sự giãn nở của các thanh ray dài chỉ tác động đến ray cơ bản, trong khi ray mũi nhọn không di chuyển, giúp duy trì khoảng cách ray một cách hiệu quả.

(3) Mũi nhọn của ray được thiết kế theo kiểu ẩn và khít chặt với ray cơ bản.

Khoảng cách giữa mũi nhọn và ray cơ bản tại khu vực mũi nhọn và lân cận không vượt quá 0,2 mm, trong khi khoảng cách ở các đoạn còn lại không vượt quá 0,5 mm. Thiết kế này đảm bảo an toàn ngay cả khi tàu chạy ngược chiều.

(4) Sử dụng tấm đệm nhỏ dạng rời.

Tấm đệm thép được thiết kế dưới dạng tấm đệm nhỏ dạng rời, giúp mở rộng phạm vi ứng dụng của bộ điều chỉnh. Thiết kế này có thể được sử dụng rộng rãi trên cầu dầm thép, cầu dầm bê tông, đường ray có đá dăm và đường ray không đá dăm.

(5) Mặc dù khoảng cách ray không thay đổi trong quá trình giãn nở của bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray dạng cong, nhưng do sai lệch có thể xảy ra trong quá trình lắp ráp và lắp đặt, cùng với tác động động lực của tàu trong quá trình vận hành, khoảng cách ray có thể bị thay đổi.

Bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray dạng cong được trang bị các tấm điều chỉnh khoảng cách ray bằng nylon, cho phép điều chỉnh trong phạm vi từ -12 mm đến +16 mm, giúp thuận tiện cho việc lắp đặt, bảo trì, và sửa chữa.

Dựa trên kinh nghiệm thực tiễn trong việc sử dụng bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray trên các tuyến đường hiện có và kết quả nghiên cứu đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, năm 2008, Trung Quốc đã xây dựng "Điều kiện kỹ thuật tạm thời cho bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray 60 kg/m trên đường ray không đá dăm của tuyến đường sắt hành khách tốc độ 350 km/h".

Tài liệu này quy định chi tiết các yêu cầu kỹ thuật, phương pháp kiểm tra, quy tắc kiểm tra, cũng như các quy định về đánh dấu, đóng gói, vận chuyển, và lưu trữ liên quan đến sản xuất, lắp ráp tại nhà máy, lắp đặt tại hiện trường, và bảo trì bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray. Đây là cơ sở kỹ thuật cho việc thiết kế, sản xuất, thi công, và vận hành bảo trì bộ điều chỉnh giãn nở thanh ray trên đường sắt cao tốc.

IV. TUYẾN KHÔNG MỐI NỐI TẠI KHU VỰC ĐƯỜNG RAY CHUYỂN HƯỚNG

1. Lý thuyết tính toán tuyến không mối nối tại đường ray chuyển hướng

1.1. Đặc điểm chịu lực và biến dạng của đường ray chuyển hướng không mối nối

Đường ray chuyển hướng không mối nối là một công nghệ quan trọng trong thiết kế tuyến không mối nối liên vùng. So với tuyến không mối nối thông thường và tuyến không mối nối trên cầu, nó có những đặc điểm khác biệt về chịu lực và biến dạng.

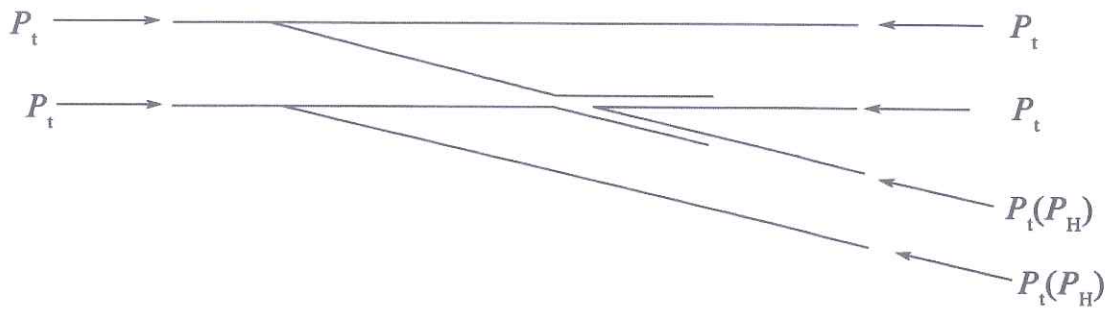
Dựa vào cấu trúc nền đường dưới ray, đường ray chuyển hướng không mối nối được chia thành hai loại:

- Đường ray chuyển hướng không mối nối có đá dăm.
- Đường ray chuyển hướng không mối nối không đá dăm.

Đối với đường ray chuyển hướng không mối nối có đá dăm, nó bao gồm các thành phần sau: thanh ray, thiết bị kẹp ray, tà vẹt chuyển hướng, bộ giới hạn và các tấm ngăn cách. Đặc điểm cơ học của loại đường ray này như sau:

(1) Sự mất cân bằng lực nhiệt độ tại hai đầu đường ray chuyển hướng không mối nối

Như minh họa trong Hình 1-3-4, khi cả thanh ray thẳng và thanh ray cong của đường ray chuyển hướng không mối nối đều được hàn nối với tuyến không mối nối liên vùng, đầu bên phải sẽ chịu lực nhiệt độ từ 4 thanh ray trong khu vực cố định (P_t), trong khi đầu bên trái chỉ chịu lực nhiệt độ từ 2 thanh ray trong khu vực cố định.



Hình 1-3-4: *Biểu đồ lực tác động trên đường ray chuyển hướng không mối nối*

Nếu chỉ có thanh ray thẳng của đường ray chuyển hướng không mối nối được hàn nối với tuyến không mối nối liên vùng, đầu bên phải sẽ có 2 thanh ray chịu lực nhiệt độ (P_t) và 2 thanh ray chịu lực cản tại mối nối P_h.

Điều này dẫn đến sự mất cân bằng lực nhiệt độ tại hai đầu của đường ray chuyển hướng không mối nối, làm cho thanh ray và tà vẹt chuyển hướng trong khu vực này bị dịch chuyển về phía đầu bên trái.

Trong đường ray chuyển hướng không mối nối, nhiều thanh ray tham gia vào quá trình truyền lực nhiệt. Ngay cả khi thanh ray cong không được hàn nối, do sự dịch chuyển dọc của tà vẹt chuyển hướng, lực nhiệt trong các thanh ray ngắn thông thường ở thanh ray cong cũng thay đổi. Sự thay đổi này, ngược lại, ảnh hưởng đến sự dịch chuyển của tà vẹt chuyển hướng, lực nhiệt và sự dịch chuyển của thanh ray thẳng.

(2) Tà vẹt chuyển hướng đóng vai trò quan trọng trong việc truyền lực nhiệt độ trong đường ray chuyển hướng không mối nối

Trong đường ray chuyển hướng, thanh ray bên trong tương tự như khu vực giãn nở của tuyến không mối nối, đóng vai trò là nguồn lực chính. Thanh ray này gây ra sự dịch chuyển dọc, lệch hướng và uốn cong của tà vẹt chuyển hướng, từ đó dẫn đến sự dịch chuyển của thanh ray bên ngoài đường ray chuyển hướng, tạo ra lực bổ sung do giãn nở.

(3) Giữa các thanh ray thẳng và thanh ray cong trong đường ray chuyển hướng không mối nối có các bộ phận truyền lực như bộ giới hạn và tấm ngăn cách

Để hạn chế sự giãn nở và dịch chuyển của ray mũi nhọn và ray tim, thông thường, một số bộ phận truyền lực được lắp đặt tại đầu gốc của ray mũi nhọn hoặc cuối ray cánh dài của ray tim di động. Các bộ phận này truyền lực nhiệt từ thanh ray dẫn hướng của đường ray chuyển hướng sang thanh ray cơ bản.

(4) Các yếu tố ảnh hưởng đến lực nhiệt và biến dạng trong đường ray chuyển hướng không mối nối

Nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng đến lực nhiệt và biến dạng của đường ray chuyển hướng không mối nối, bao gồm loại kết nối của đường ray chuyển hướng, phương thức hàn nối giữa thanh ray thẳng và thanh ray cong, hiện tượng trượt ray, sự khác biệt về nhiệt độ khóa ray giữa đường ray chuyển hướng và tuyến không mối nối liên vùng. Những yếu tố này có thể dẫn đến những thay đổi lớn trong lực nhiệt và biến dạng của đường ray chuyển hướng không mối nối.

Với việc nâng cấp tốc độ trên các tuyến hiện có và sự phát triển của đường sắt cao tốc, đường ray chuyển hướng không đá dăm đã được áp dụng rộng rãi, hình thành nên các đường ray chuyển hướng không mối nối trên đường ray không đá dăm. Do sử dụng tấm ray chuyển hướng và tấm đế (lớp đệm) thay cho lớp đá dăm, cơ sở hạ tầng dưới ray có tính ổn định cấu trúc tốt hơn. Các cấu trúc truyền lực như bộ giới hạn và tấm ngăn cách đóng vai trò chính trong việc truyền lực nhiệt.

Những cấu trúc truyền lực này không chỉ hạn chế sự dịch chuyển của ray mũi nhọn và ray tim mà còn truyền một phần lực nhiệt đến thanh ray cơ bản, tạo ra lực bổ sung do giãn nở, dẫn đến sự dịch chuyển của thanh ray cơ bản. Ngoài ra, lực và biến dạng của đường ray chuyển hướng cũng bị ảnh hưởng bởi các yếu tố trong đường ray không đá dăm, như gradient nhiệt độ và sự thay đổi độ cứng.

So với đường ray chuyển hướng không mối nối trên nền đất, đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu không chỉ chịu ảnh hưởng trực tiếp từ các cấu trúc như bộ giới hạn và tấm ngăn cách mà còn chịu tác động của sự giãn nở của dầm cầu và sự uốn cong của cầu, khiến cơ chế chịu lực và biến dạng trở nên phức tạp hơn.

1.2. Phương pháp tính toán đường ray chuyển hướng không mối nối

Với sự phát triển và ứng dụng rộng rãi của công nghệ tuyến không mối nối liên vùng, trong nước đã đề xuất nhiều phương pháp tính toán lý thuyết cho đường ray chuyển hướng không mối nối. Đối với đường ray chuyển hướng không mối nối trên nền đường có đá dăm, các lý thuyết tính toán tiêu biểu bao gồm:

1- Phương pháp thư giãn bậc hai của cấu trúc siêu tĩnh với đường ray chuyển hướng không mối nối dạng cố định ray tim.

2- Lý thuyết tính toán tham số cản tương đương dựa trên phân tích phi tuyến và nguyên lý chồng lực.

3- Phương pháp tính toán phi tuyến cho lực dọc và dịch chuyển của đường ray chuyển hướng không mối nối dựa trên nguyên lý tương tác giữa hai thanh ray.

4- Thuật toán phân tích cho đường ray chuyển hướng không mối nối dựa trên nguyên lý tương tác giữa hai thanh ray.

5- Lý thuyết tính toán phi tuyến cho đường ray chuyển hướng không mối nối.

6- Phương pháp biến phân tổng quát phân tích hệ thống cấu trúc đường ray chuyển hướng không mối nối dựa trên nguyên lý biến phân năng lượng.

Những lý thuyết và phương pháp tính toán trên được phát triển qua các giai đoạn khác nhau trong quá trình phát triển đường ray chuyển hướng không mối nối tại Trung Quốc. Do sự khác biệt trong các giả định tính toán, giá trị tham số và cơ chế truyền lực nhiệt, các phương pháp này đã thực hiện các đơn giản hóa toán học khác nhau, dẫn đến sự khác biệt giữa kết quả tính toán và thực tế. Tuy nhiên, miễn là các giả định khoa học và hợp lý, cũng như giá trị tham số được chọn chính xác, các kết quả từ các phương pháp này không có sự khác biệt nhiều.

Những lý thuyết trên đã được áp dụng trong công tác bảo trì và sửa chữa đường ray chuyển hướng không mối nối trên nền đường có đá dăm, góp phần thúc đẩy sự phát triển của công nghệ tuyến không mối nối tại khu vực đường ray chuyển hướng.

Ở khu vực đường ray chuyển hướng trên các tuyến đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, cấu trúc không đá dăm được sử dụng phổ biến. Để đảm bảo tàu chạy an toàn và ổn định ở tốc độ cao, cần thực hiện các tính toán và phân tích về biến dạng ngang của đường ray chuyển hướng.

Các lý thuyết tính toán truyền thống cho đường ray chuyển hướng có đá dăm chủ yếu chỉ xem xét các đặc tính cơ học theo phương dọc, do đó không còn phù hợp với đường ray chuyển hướng không đá dăm trên các tuyến đường sắt cao tốc.

Để giải quyết vấn đề này, các trường đại học và viện nghiên cứu tại Trung Quốc đã thực hiện nhiều nghiên cứu về đường ray chuyển hướng không mối nối trên nền đường không đá dăm. Qua đó, họ đã phát triển nhiều phương pháp tính toán, giúp hướng dẫn hiệu quả trong việc thiết kế cấu trúc và bảo trì đường ray chuyển hướng không đá dăm.

Dựa trên các nghiên cứu về đường ray chuyển hướng không mối nối trên nền đường, đã triển khai các nghiên cứu lý thuyết về đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu. Những nghiên cứu này đã đạt được nhiều kết quả nổi bật trong các

lĩnh vực như đường ray chuyển hướng không mối nối có đá dăm trên cầu, đường ray chuyển hướng không mối nối dạng tà vẹt dài chôn trên cầu, và đường ray chuyển hướng không mối nối dạng liên kết dọc tấm đế trên cầu.

Trong lĩnh vực nghiên cứu tĩnh học, các phương pháp tính toán tiêu biểu tại Trung Quốc bao gồm:

(1) Mô hình tính toán đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu

Mô hình tính toán này bao gồm mô hình mặt phẳng và mô hình mặt đứng:

- Mô hình mặt phẳng được sử dụng để phân tích sự tương tác dọc giữa thanh ray trong và thanh ray cơ bản trong đường ray chuyển hướng không mối nối.

- Mô hình mặt đứng được sử dụng để phân tích sự tương tác dọc giữa thanh ray và cầu.

(2) Mô hình tính toán tích hợp "đường ray chuyển hướng - cầu - trụ/mố cầu" cho đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu

Phương pháp này xem thanh ray, tà vẹt chuyển hướng, cầu, và trụ/mố cầu là một hệ thống tổng thể, trong đó các thành phần tương tác và ảnh hưởng lẫn nhau.

Dựa trên mối quan hệ giữa lực tác động và dịch chuyển của các cấu trúc, mô hình thiết lập các phương trình cân bằng để mô tả lực và biến dạng của thanh ray, tà vẹt, cầu, và trụ/mố cầu. Các phương trình này được giải thông qua phương pháp lặp Newton.

(3) Mô hình phần tử hữu hạn của đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu có đá dăm, dựa trên nguyên lý biến phân

Mô hình này được xây dựng với các thành phần như sau:

- Dầm cầu và thanh ray được coi là các phần tử thanh.

- Tà vẹt chuyển hướng được mô hình hóa thành các phần tử dầm với gối tựa đàn hồi tại các điểm.

- Trụ và mố cầu tại gối tựa cố định được biểu diễn bằng các phần tử lò xo tuyến tính.

- Lực cản dọc của lớp đá dăm, lực cản dọc của thiết bị kẹp ray, mômen cản của thiết bị kẹp ray, lực cản của bộ giới hạn, và lực cản của tấm ngăn cách đều được mô phỏng thông qua các phần tử lò xo phi tuyến.

(4) Mô hình phần tử hữu hạn không gian kết hợp dọc - ngang - thẳng đứng cho đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu

Mô hình này xem xét nhiều yếu tố chi tiết như cấu trúc đường ray, kích thước thực tế của cầu, tiết diện thực tế của thanh ray, biến dạng uốn cong, và tác động của đoàn tàu chạy qua. Mô hình phản ánh chính xác sự tương tác tinh vi giữa thanh ray, nền móng dưới ray, cầu và trụ/mố cầu.

Phương pháp này không chỉ được sử dụng để tính toán đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu trong các tuyến đường sắt cao tốc, mà còn hỗ trợ nghiên cứu phân tích toàn diện các đặc tính cơ học không gian của đường ray chuyển hướng không mối nối.

Trong lĩnh vực nghiên cứu động lực học: Phương pháp phần tử hữu hạn được áp dụng rộng rãi, với các chương trình đại diện như:

- Phân tích kết hợp động lực giữa phương tiện và đường ray chuyển hướng trên cầu.

- Mô hình rung động không gian của đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu.

- Chương trình phân tích kết hợp động lực học không gian giữa phương tiện và đường ray chuyển hướng trên cầu, phát triển dựa trên sự phối hợp giữa Fortran và Ansys.

Nhìn chung: Thiết kế đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu ở Trung Quốc không chỉ nhấn mạnh việc kiểm soát biến dạng tương đối giữa đường ray và cầu mà còn yêu cầu đường ray và cầu phải chịu lực hợp lý, có đặc tính động lực học tốt, đảm bảo tàu cao tốc vận hành an toàn và êm ái. Thiết kế nội địa đặc biệt tập trung vào sự cân bằng giữa an toàn và thoải mái.

2. Các thông số thiết kế của đường ray chuyển hướng không mối nối

Lực cản của bộ giới hạn và tấm ngăn cách là các thông số quan trọng ảnh hưởng đến đặc tính cơ học của đường ray chuyển hướng trên đường sắt cao tốc, đồng thời tác động trực tiếp đến quá trình sử dụng và bảo trì.

Trên các tuyến đường sắt cao tốc trong và ngoài nước, đường ray chuyển hướng không mối nối thường áp dụng cấu trúc ray tim di động kiểu cánh dài. Thông qua các bộ phận truyền lực như tấm ngăn cách tại cuối ray cánh, lực dọc từ thanh ray dài ở khu vực liên vùng được truyền đến ray dẫn hướng, giúp giảm bớt sự dịch chuyển giãn nở của ray tim.

Ngoài ra, đường ray chuyển hướng không mối nối trên đường sắt cao tốc của Trung Quốc và Đức thường sử dụng bộ giới hạn tại đầu gốc của ray mũi nhọn. Bộ giới hạn này không chỉ truyền lực nhiệt từ ray dẫn hướng sang ray cơ bản mà còn kiểm soát sự dịch chuyển của ray mũi nhọn, ngăn ngừa hiện tượng kẹt ray.

Dựa trên các điều kiện thử nghiệm khác nhau, Trung Quốc đã thực hiện đo đạc lực cản của tấm ngăn cách trong trường hợp không áp dụng các biện pháp gia cường. Kết quả cho thấy mối quan hệ giữa lực cản của tấm ngăn cách và độ dịch chuyển tương đối giữa ray cánh và ray tim (x, tính bằng mm) được trình bày trong Bảng 1-3-6.

Bảng 1-3-6: Hàm lực cản của tấm ngăn cách

Điều kiện thử nghiệm	Hàm lực cản - Độ dịch chuyển
Bulông thông thường M27, mômen xoắn 400 N·m	$Q = 5.0x^{2.4}$ (kN)
Bulông cấp 10.9S M27, mômen xoắn 900 N·m	$Q = 15.8x^{2.4}$ (kN)
Bulông cấp 10.9S M27, mômen xoắn 1200 N·m	$Q = 120.5x^{1.8}$ (kN)

Theo kết quả thử nghiệm, khi sử dụng bulông cấp 10.9S loại M27 trên một tấm ngăn cách chưa được gia cường, tấm ngăn cách tạo ra một lượng dịch chuyển nhỏ, bulông chịu lực cắt với lực cản tối đa khoảng 420 kN, trong khi kết quả thực tế đo được là 480 kN. Nếu tấm ngăn cách được gắn keo với thanh ray, lực cản tối đa đo được trên một tấm ngăn cách có thể đạt tới 750 kN.

Do diện tích tiếp xúc giữa thanh ray với bộ giới hạn và tấm ngăn cách là như nhau, và đường kính danh nghĩa của bulông sử dụng cũng bằng nhau, nên lực cản đo được của tấm ngăn cách có thể coi như gần đúng với lực cản của bộ giới hạn.

Trên tuyến hành khách cao tốc Tần-Thẩm, đã tiến hành thử nghiệm đặc tính lực cản của bộ giới hạn và tấm ngăn cách trong đường ray chuyển hướng không mối nối số 18 với ray tim di động.

- Thử nghiệm lực cản của bộ giới hạn: Mômen xoắn của bulông được đặt ở các mức 400 N·m, 600 N·m và 900 N·m.

- Thử nghiệm lực cản của tấm ngăn cách: Sử dụng hai phương pháp: thử nghiệm tải lệch tâm và thử nghiệm không lệch tâm.

Trong thử nghiệm tải lệch tâm, bulông có mômen xoắn 600 N·m, đo được các giá trị:

- Dịch chuyển tại vị trí tiếp xúc giữa tấm ngăn cách và thanh ray cánh (u_1).

- Dịch chuyển tại vị trí tiếp xúc giữa tấm ngăn cách và thanh ray tim (u_2).

- Dịch chuyển trực tiếp tại thanh ray tim (u_3).

Khi tính đến việc tấm ngăn cách chịu tải lệch tâm, dẫn đến một số biến dạng bên, cần loại bỏ ảnh hưởng này. Khi đó, dịch chuyển tương đối giữa hai thanh ray nối với tấm ngăn cách được tính là: $u_3 - u_2 - u_1$.

Trong thử nghiệm không lệch tâm, mômen xoắn của bulông được đặt ở các mức 400 N·m, 600 N·m và 900 N·m. Dịch chuyển đo được bao gồm:

- Dịch chuyển tại vị trí tiếp xúc giữa tấm ngăn cách và thanh ray cánh u_1.

- Dịch chuyển tại vị trí tiếp xúc giữa tấm ngăn cách và thanh ray tim u_1.

- Tải trọng tương ứng là P.

Do bộ giới hạn và tấm ngăn cách cần truyền lực dọc đến thanh ray cơ bản hoặc thanh ray dẫn hướng, giá trị lực ma sát trở thành một thông số quan trọng trong tính toán đường ray chuyển hướng cao tốc.

Lực ma sát phụ thuộc vào lực kéo của bulông và hệ số ma sát giữa cấu trúc truyền lực và thanh ray. Trong đó:

- Lực kéo của bulông liên quan đến mômen xoắn của bulông.
- Hệ số ma sát phụ thuộc vào tình trạng bề mặt giữa cấu trúc truyền lực và thanh ray.

Sau nhiều lần thử nghiệm và cân nhắc đến mức độ an toàn dự trữ, hệ số ma sát được xác định là 0.2. Từ đó, lực ma sát của tấm ngăn cách được kết nối bằng hai bulông cường độ cao đường kính 27 mm đã được tính toán. Chi tiết kết quả được trình bày trong Bảng 1-3-7.

Bảng 1-3-7: Lực ma sát của tấm ngăn cách

Mômen xoắn (N·m)	500	600	700	800	900
Lực ma sát (kN)	34	40	48	54	60

3. Thiết kế đường ray chuyển hướng không mối nối trên nền đường

Do thanh ray cơ bản trong đường ray chuyển hướng không mối nối phải chịu lực nhiệt bổ sung, các bộ phận liên quan cũng phải chịu lực cắt, và thanh ray mũi nhọn cùng ray tim di động có thể trải qua dịch chuyển giãn nở lớn. Để đảm bảo vận hành an toàn của đường ray chuyển hướng không mối nối, cần xác định các hạng mục kiểm tra thiết kế và các chỉ số đánh giá an toàn hợp lý, đồng thời thực hiện các kiểm tra nghiêm ngặt nhằm đảm bảo nhiệt độ khóa ray ban đầu phù hợp, đảm bảo lực tác động và biến dạng không vượt quá giới hạn an toàn.

Thiết kế đường ray chuyển hướng không mối nối trong nội dung này không tập trung vào việc thiết kế cấu trúc, bố trí mặt phẳng hay kích thước hình học, mà tập trung vào việc tính toán ảnh hưởng của lực nhiệt tại hai đầu đường ray chuyển hướng không mối nối đến biến dạng, cường độ và độ ổn định sau khi hàn nối. Trọng tâm là tính toán lực dọc và dịch chuyển của thanh ray, đồng thời kiểm tra cường độ và độ ổn định của đường ray cùng các thành phần liên quan.

Thiết kế đường ray chuyển hướng không mối nối chủ yếu bao gồm:

- Cường độ thanh ray trong đường ray chuyển hướng.
- Độ ổn định trước đường ray chuyển hướng.
- Dịch chuyển của thanh ray mũi nhọn và ray tim di động.
- Cường độ chịu lực cắt của các bộ phận truyền lực và bulông.

3.1. Kiểm tra cường độ và độ ổn định của thanh ray trong đường ray chuyển hướng không mối nối

Vào mùa đông, khi nhiệt độ thấp, thanh ray cơ bản trong đường ray chuyển hướng không mối nối chịu lực kéo bổ sung. Để đảm bảo thanh ray không bị hư hỏng trong điều kiện nhiệt độ thấp, cần tiến hành kiểm tra cường độ thanh ray bằng phương pháp cường độ cho phép.

Vào mùa hè, khi nhiệt độ cao, thanh ray cơ bản ở gần khu vực gốc ray thường chịu lực nhiệt bổ sung lớn. Để ngăn ngừa hiện tượng phồng ray tại khu vực chuyển hướng, cần kiểm tra độ ổn định của đường ray chuyển hướng không mối nối. Kiểm tra này giúp xác định giới hạn nhiệt độ tăng và giảm cho phép, đồng thời hỗ trợ xác định nhiệt độ khóa ray ban đầu một cách chính xác.

3.2. Kiểm tra dịch chuyển giãn nở của thanh ray

Việc kiểm tra dịch chuyển giãn nở của thanh ray mũi nhọn và ray tim nhằm đảm bảo rằng dịch chuyển giãn nở tại các điểm kéo trên ray không vượt quá giới hạn cho phép của thiết bị chuyển hướng. Nếu dịch chuyển giãn nở của ray mũi nhọn và ray tim quá lớn, có thể gây ra các sự cố như kẹt thiết bị chuyển hướng, ray mũi nhọn bị uốn cong sang bên, hoặc ray tim bị trượt lên. Để đảm bảo cấu trúc của đường ray chuyển hướng và cơ chế chuyển hướng đáp ứng các yêu cầu vận hành bình thường, cần kiểm tra dịch chuyển tại đầu ray mũi nhọn và đầu ray tim di động.

Dịch chuyển tương đối giữa đầu ray mũi nhọn với ray cơ bản, cũng như giữa đầu ray tim di động với ray cánh, phải đáp ứng các yêu cầu về cấu trúc đường ray và hiệu suất của thiết bị chuyển hướng. Các hệ thống chuyển hướng khác nhau sẽ có giới hạn dịch chuyển giãn nở cho phép khác nhau đối với ray mũi nhọn và ray tim.

Giới hạn dịch chuyển giãn nở cho phép của ray mũi nhọn và ray tim được xác định dựa trên cấu trúc đường ray và hiệu suất của thiết bị chuyển hướng. Đối với đường ray chuyển hướng số 18 trên đường sắt cao tốc do Trung Quốc tự phát triển:

- Dịch chuyển giãn nở cho phép tại đầu ray mũi nhọn là 30 mm,
- Dịch chuyển giãn nở cho phép tại đầu ray tim di động là 20 mm.

Đối với đường ray chuyển hướng số 42 trên đường sắt cao tốc:

- Dịch chuyển giãn nở cho phép tại đầu ray mũi nhọn là 40 mm,
- Dịch chuyển giãn nở cho phép tại đầu ray tim di động là 30 mm.

3.3. Kiểm tra cường độ của các bộ phận trong đường ray chuyển hướng

Kiểm tra cường độ của các bộ phận trong đường ray chuyển hướng chủ yếu bao gồm việc kiểm tra khả năng chịu lực cắt của bulông kết nối cho bộ giới hạn và tấm ngăn cách. Bộ giới hạn và tấm ngăn cách là các bộ phận kết nối quan trọng trong đường ray chuyển hướng không mối nối. Khi nhiệt độ biến đổi lớn, bộ giới hạn và tấm ngăn cách trong đường ray chuyển hướng không mối nối sẽ phải chịu lực dọc rất lớn.

Để đảm bảo vận hành an toàn của đường ray chuyển hướng không mối nối, cần thực hiện kiểm tra cường độ của bộ giới hạn hoặc tấm ngăn cách. Trong trường hợp cần thiết, có thể áp dụng các biện pháp gia cường như sau:

(1) Đối với đường ray chuyển hướng không mối nối đã được lắp đặt, thực hiện việc dán keo giữa tấm ngăn cách, bộ giới hạn và thanh ray. Biện pháp gia cường này đã được áp dụng trên các tuyến Đường sắt Đại Tần, Bắc Kinh - Bao Đầu, và Bắc Kinh - Quảng Châu, thực tiễn chứng minh hiệu quả rất tốt. Theo kết quả thử nghiệm, sau khi thực hiện biện pháp gia cường, khả năng chịu lực cắt của một tấm ngăn cách tăng từ 420 kN lên 750 kN.

(2) Sử dụng cấu trúc tấm ngăn cách đặc bằng thép đúc.

(3) Dùng bulông cường độ cao có đường kính 27 mm để tăng khả năng chịu cắt của bulông; sử dụng đai ốc chống lỏng với mômen xoắn lớn để tăng lực ma sát giữa bộ giới hạn và tấm ngăn cách.

(4) Khi lắp đặt, cần đảm bảo khối bộ giới hạn nằm ở vị trí cân bằng giữa các tấm, tránh để bộ giới hạn chịu lực tác động quá lớn.

3.4. Xác định nhiệt độ khóa ray trong thiết kế

Nhiệt độ khóa ray là một thông số quan trọng trong thiết kế đường ray chuyển hướng không mối nối, ảnh hưởng trực tiếp đến lực tác động và biến dạng của đường ray chuyển hướng không mối nối.

Để xác định nhiệt độ khóa ray, cần thực hiện các bước sau:

- Tính toán lực dọc của đường ray chuyển hướng không mối nối.

- Dựa trên lực nhiệt bổ sung, xác định mức tăng nhiệt độ cho phép và giảm nhiệt độ cho phép.

- Kiểm tra dịch chuyển của thanh ray mũi nhọn, ray tim di động, cũng như cường độ của các bộ phận kết nối trong đường ray.

Từ đó, xác định phạm vi nhiệt độ khóa ray hợp lý cho đường ray chuyển hướng không mối nối.

Đối với nhóm các đường ray chuyển hướng tốc độ cao, cần cân nhắc ảnh hưởng tương tác giữa các đường ray. Để đảm bảo an toàn và vận hành ổn định khi đoàn tàu chạy qua đường ray chuyển hướng ở tốc độ cao, cần kiểm tra và đánh giá biến dạng ngang khi xác định phạm vi nhiệt độ khóa ray.

4. Thiết kế đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu

4.1. Yêu cầu thiết kế

Thiết kế đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu cần đảm bảo không chỉ về cường độ, độ ổn định và tính an toàn của cầu và đường ray, mà còn phải chú trọng đến độ bền của cấu trúc, độ tin cậy của thiết bị chuyển hướng, sự ổn định khi tàu vận hành và sự thoải mái cho hành khách. Các yêu cầu cụ thể bao gồm:

1- Kiểm soát dịch chuyển đầu ray mũi nhọn và ray tim, ngăn ngừa việc dịch chuyển quá mức dẫn đến kẹt cơ chế chuyển hướng.

2- Xem xét các lực bổ sung trên đường ray chuyển hướng không mối nối, kiểm soát áp lực dọc của thanh ray dài để ngăn ngừa hiện tượng phồng ray trước khu vực chuyển hướng.

3- Đảm bảo lực kéo dọc của thanh ray dài không vượt quá giới hạn cường độ của thanh ray.

4- Kiểm soát lực tác động lên các bộ phận truyền lực để bảo vệ cường độ của các bộ phận này.

5- Giám sát độ hở tại điểm gãy của thanh ray khi bị đứt để duy trì an toàn vận hành.

6- Kiểm soát lực ngang dọc tác động lên trụ và mố cầu, đảm bảo sự an toàn và ổn định của cầu.

7- Hạn chế sự dịch chuyển nhanh chóng giữa thanh ray và cầu dưới tác động của lực phanh:

- Khi không có thiết bị điều chỉnh giãn nở, dịch chuyển tương đối không được vượt quá 4 mm.

- Khi có thiết bị điều chỉnh giãn nở, dịch chuyển tương đối không được vượt quá 30 mm.

- Đảm bảo độ cứng tối thiểu theo phương ngang dọc của trụ và mố cầu.

8- Đường ray chuyển hướng không mối nối phải được đặt trên cầu dầm liên tục. Nếu buộc phải vượt qua khe giữa các dầm cầu, phần chuyển hướng và ray tim không được vượt qua khe dầm. Khi thiết bị điều chỉnh giãn nở được lắp đặt tại đầu dầm liên tục, cần đảm bảo rằng ray mũi nhọn không vượt qua khe co giãn của cầu.

9- Lựa chọn hợp lý các thông số của bộ phận đường ray, tối ưu hóa để kéo dài chiều dài của thanh ray.

10- Cố gắng đồng bộ nhiệt độ khóa ray của đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu và đường ray không mối nối trên nền đường, để thuận tiện cho việc quản lý tại hiện trường.

4.2. Nội dung và quy trình thiết kế đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu

(1) Nguyên tắc bố trí đường ray chuyển hướng, đường ray trên cầu và nhịp cầu

1- Đối với đường ray chính trên tuyến hành khách cao tốc, đường ray chuyển hướng không mối nối nên được bố trí trên một nhịp dầm liên tục. Đường ray chính nên sử dụng cấu trúc dầm liên tục và dầm kết cấu cứng với nhịp ngắn. Khoảng cách từ đầu và cuối đường ray chuyển hướng đến đầu dầm không được nhỏ hơn 18 m.

2- Đối với đường ray trong ga, trong điều kiện khó khăn, có thể bố trí khe giữa các dầm cầu tại khu vực kết nối đường ray.

3- Để giảm thiểu dịch chuyển tương đối giữa dầm cầu và thanh ray, cũng như lực dọc bổ sung của thanh ray, nên bố trí ít nhất một nhịp dầm đơn giữa hai dầm liên tục trong khu vực giao cắt hình chữ "X" của đường ray chuyển hướng.

Để chuẩn hóa thiết kế cấu trúc và bố trí đường ray chuyển hướng trên cầu, dựa trên các kết quả nghiên cứu mới nhất và kinh nghiệm ứng dụng trên đường sắt cao tốc, quan hệ bố trí giữa đường ray chuyển hướng số 18 trên cao tốc và cầu có thể áp dụng các dạng bố trí tiêu biểu sau:

a. Đường ray chuyển hướng đơn ngắn: Cách bố trí nhịp cầu là 4 × 32 m dầm liên tục.

b. Đường ray chuyển hướng đơn: Cách bố trí nhịp cầu là 6 × 32 m dầm liên tục.

c. Đường ray giao cắt hình chữ “X”:

- Phương án 1: Cách bố trí nhịp cầu là 6 × 32 m dầm liên tục + 32 m dầm đơn + 6 × 32 m dầm liên tục.

- Phương án 2: Cách bố trí nhịp cầu là 6 × 32 m dầm liên tục + 2 × 32 m dầm đơn + 6 × 32 m dầm liên tục.

d. Ga trung gian tiêu chuẩn:

- Ga vượt hành: Cách bố trí nhịp cầu là 6 × 32 m dầm liên tục + 2 × 32 m dầm đơn + 6 × 32 m dầm liên tục + 2 × 32 m dầm đơn + 4 × 32 m dầm liên tục.

- Ga trung gian: Cách bố trí nhịp cầu là 6 × 32 m dầm liên tục + 2 × 32 m dầm đơn + 6 × 32 m dầm liên tục + 2 × 32 m dầm đơn + 4 × 32 m dầm liên tục + 3 × 32 m dầm liên tục.

(2) Tính toán lực và dịch chuyển của thanh ray

Sử dụng các chương trình liên quan để tính toán các lực giãn nở, lực uốn, lực phanh và lực gia tốc của tàu tác động lên đường ray chuyển hướng dưới ảnh hưởng của sự giãn nở cầu, tải trọng thẳng đứng của tàu và lực phanh/gia tốc của tàu, cùng với các dịch chuyển tương ứng.

(3) Kiểm tra dịch chuyển tương đối giữa dầm cầu và thanh ray

Đường ray chuyển hướng là một trong những điểm yếu của cấu trúc đường ray. Để đảm bảo đường ray chuyển hướng hoạt động bình thường, dịch chuyển và biến dạng tại các vị trí quan trọng cần được kiểm soát nghiêm ngặt. Nếu không, điều này có thể ảnh hưởng đến hoạt động của thiết bị chuyển hướng, thậm chí đe dọa an toàn chạy tàu. Thiết kế đường ray chuyển hướng không mối nối trên cầu, ngoài việc đáp ứng yêu cầu về cường độ và độ ổn định, cần kiểm soát chặt chẽ dịch chuyển của đường ray.

Để đảm bảo an toàn và sự thoải mái khi tàu chạy qua, cần kiểm tra dịch chuyển tương đối giữa thanh ray của bộ chuyển hướng và ray tim di động với cầu trong các trường hợp cầu giãn nở, tàu chịu tải trọng thẳng đứng hoặc chịu lực phanh/gia tốc.

Biểu đồ tổng dịch chuyển của thanh ray cơ bản được vẽ trong phạm vi biểu đồ bao bọc dịch chuyển tương đối giữa dầm cầu và thanh ray. So sánh biểu đồ tổng dịch chuyển của thanh ray cơ bản với biểu đồ bao bọc dịch chuyển tương đối, tiến hành kiểm tra xem dịch chuyển tại các vị trí chuyển hướng và ray tim có nhỏ hơn giới hạn cho phép hay không.

(4) Kiểm tra thiết kế đường ray chuyển hướng

Nội dung kiểm tra đường ray chuyển hướng bao gồm:

- Cường độ của thanh ray trong đường ray chuyển hướng.
- Độ ổn định của đường ray chuyển hướng có đá ballast.
- Dịch chuyển của thanh ray.
- Cường độ chịu cắt của các bộ phận kết nối.
- Kiểm tra độ hở tại điểm gãy của thanh ray.

Ngoài ra, cần kiểm tra biến dạng ngang của đường ray chuyển hướng, bao gồm:

- Thay đổi/biến thiên độ rộng của ray.
- Thay đổi/biến thiên hướng ray.
- Thay đổi/biến thiên độ khít của các mối nối.

(5) Yêu cầu chung trong thiết kế đường ray khu vực chuyển hướng

① *Lớp đáy ray (đá ballast):*

- Đối với lớp đá ballast, vật liệu đá, kích thước mặt cắt ngang của lớp ballast phải tuân thủ các quy định liên quan. Đá ballast giữa các tuyến ray cần được lấp đầy, không để lại rãnh trống.

- Đối với khu vực ray chuyển hướng không có đá ballast, sử dụng hai kiểu kết cấu: đáy ray với ray nhúng vào thanh tà vẹt hoặc kết cấu dạng bản.

② *Hàn ray trong đường ray chuyển hướng:*

- Các mối nối thanh ray trong đường ray chuyển hướng sử dụng hàn áp lực (flash-butt welding), còn hàn khóa ray có thể sử dụng hàn nhiệt nhôm (thermite welding).

- Trước khi hàn, cần thiết kế sắp xếp các thanh ray, tính toán lượng dư sau khi hàn áp lực và khe hở dành cho hàn nhiệt nhôm.

- Chất lượng hàn, các chỉ số cơ học, và độ thẳng của mối nối phải tuân thủ các quy định liên quan về hàn thanh ray.

- Khoảng cách từ mối nối hàn nhiệt nhôm đến mép thanh tà vẹt không được nhỏ hơn 100 mm.

- Các mối nối của ray trái và phải tại đầu vào và đầu ra của đường ray chuyển hướng không được lệch quá 100 mm. Tổng chiều dài sai lệch của toàn bộ đường ray chuyển hướng, tính từ đầu ray trước đến cuối ray tim, không được vượt quá ±20 mm.

③ *Bố trí các đơn vị đoạn ray:*

- Mỗi nhóm đường ray chuyển hướng không mối nối được coi là một đơn vị đoạn ray.

- Đường ray chuyển hướng dạng chữ X (đơn) cũng được xem như một đơn vị đoạn ray.

④ *Thiết kế nhiệt độ khóa ray:*

- Nhiệt độ khóa ray của đường ray chuyển hướng không mối nối phải đáp ứng các yêu cầu về cường độ, độ ổn định, giới hạn dịch chuyển tương đối, kiểm tra độ hở tại mối gãy và giới hạn biến dạng ngang.

- Đường ray chuyển hướng phải được khóa trong phạm vi nhiệt độ khóa ray thiết kế, và sự chênh lệch nhiệt độ khóa ray giữa các đoạn ray liền kề không được vượt quá 5°C.

- Nhiệt độ khóa ray thiết kế của đường ray chuyển hướng không mối nối nên đồng bộ với nhiệt độ khóa ray của đoạn đường ray không mối nối ở hai đầu.

⑤ *Bố trí các cọc quan sát dịch chuyển:*

- Đường ray chuyển hướng cần được lắp đặt các cọc quan sát dịch chuyển.

- Tại mỗi vị trí cách trước và sau đường ray chuyển hướng 50 m, cần lắp đặt một cặp cọc quan sát dịch chuyển.

- Đối với các nhóm đường ray chuyển hướng được hàn nối, vị trí cọc quan sát dịch chuyển tương tự như các đường ray đơn. Mỗi dầm liên tục hoặc mỗi nhịp dầm cố định cần có cọc quan sát dịch chuyển.

⑥ *Mối nối cách điện của thanh ray:*

- Sử dụng mối nối cách điện được dán keo, thanh ray sử dụng phải cùng loại hình và cùng chất liệu với đường ray chuyển hướng.

- Hiệu suất của mối nối cách điện phải tuân thủ tiêu chuẩn "Điều kiện kỹ thuật cho thanh ray cách điện dán keo đường sắt" (TB/T 2975-2010).

- Khoảng cách từ tấm đầu cách điện của mối nối đến mép thanh tà vẹt không được nhỏ hơn 100 mm.

(6) Thiết kế kết cấu dầm cầu cho đường ray chuyển hướng

① *Hình thức kết cấu cầu:*

- Kết cấu phần trên của cầu sử dụng dầm liên tục dạng hộp để đảm bảo tính đồng nhất và ổn định.

- Để duy trì sự liên kết về mặt thẩm mỹ, chiều cao dầm của đường ray chuyển hướng nên đồng bộ với chiều cao của các dầm tiêu chuẩn liền kề ở hai bên.

- Phân tích nội lực theo phương ngang của dầm hộp được thực hiện bằng phương pháp phân tích tổng thể. Đối với các dầm hộp có tỷ lệ chiều rộng so với nhịp lớn, cần xem xét ảnh hưởng của sự phân bố không đồng đều lực cắt khi thiết kế mặt cắt và tính toán độ cứng.

② *Bố trí gối cầu:*

- Đối với gối cầu cố định theo phương dọc, cần tiến hành phân tích tương tác giữa đường ray chuyển hướng và cầu để so sánh và lựa chọn hình thức bố trí gối cầu cố định theo phương dọc phù hợp.

- Đối với gối cầu cố định theo phương ngang, yêu cầu dịch chuyển tương đối theo phương ngang giữa các điểm tựa của ray tại hai đầu dầm liền kề không vượt quá 1 mm.

③ *Kiểm tra mố cầu và trụ cầu:*

- Các mố và trụ cầu có đường ray không mối nối, ngoài việc kiểm tra theo các quy định thiết kế cầu, cần tiến hành kiểm tra tác động kết hợp của các lực theo phương dọc.

- Độ cứng ngang theo phương dọc của mố và trụ cầu phải đáp ứng yêu cầu an toàn khi tàu cao tốc chạy qua và đảm bảo sự thoải mái cho hành khách.

- Cần kiểm tra độ dịch chuyển đàn hồi theo phương ngang tại đỉnh trụ cầu dưới tác động của tải trọng bất lợi nhất.

- Độ cứng ngang tối thiểu theo phương dọc của mố và trụ cầu cho các dầm điển hình của đường ray chuyển hướng phải đáp ứng các giá trị giới hạn trong Bảng 1-3-8.

Bảng 1-3-8: Giới hạn độ cứng ngang theo phương dọc của mố và trụ cầu cho dầm chuyển hướng điển hình

Loại dầm chuyển hướng	Loại ray chuyển hướng	Giới hạn độ cứng ngang theo phương dọc (kN/cm·song tuyến)
Dầm liên tục 4 × 32m	Ray chuyển hướng đơn	1000 kN/cm·song tuyến
Dầm liên tục 6 × 32m (dầm cùng bề rộng)	Ray chuyển hướng dạng chữ X	800 kN/cm·song tuyến
Dầm liên tục 4 × 32m (dầm biến bề rộng)	Ray chuyển hướng vùng họng	1600 kN/cm·song tuyến

④ *Phân tích phản ứng động học của hệ xe - ray chuyển hướng - cầu*

- Ngoài việc phân tích tĩnh lực của dầm ray chuyển hướng theo các quy định liên quan, cần thực hiện phân tích phản ứng động học của hệ xe - ray chuyển hướng - cầu dựa trên tình huống thực tế khi tàu chở khách chạy qua cầu.

- Mục tiêu là đánh giá các yếu tố an toàn, sự thoải mái của hành khách và đặc điểm động học của cầu.

⑤ *Thiết kế bề mặt cầu*

- Việc bố trí bề mặt cầu cần đảm bảo đáp ứng yêu cầu về lắp đặt các thiết bị trên bề mặt cầu và bảo trì bảo dưỡng.

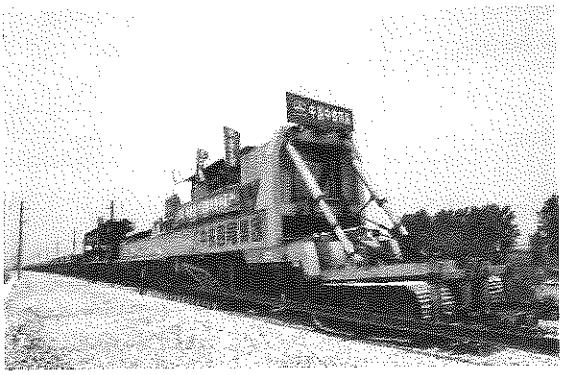
- Với bề mặt cầu được lắp đặt đường ray không có đá ballast, cần thiết kế hệ thống thoát nước và chống thấm hiệu quả, đảm bảo dòng nước thoát nhanh chóng.

- Độ dốc ngang của bề mặt cầu để thoát nước phải không nhỏ hơn 2%.

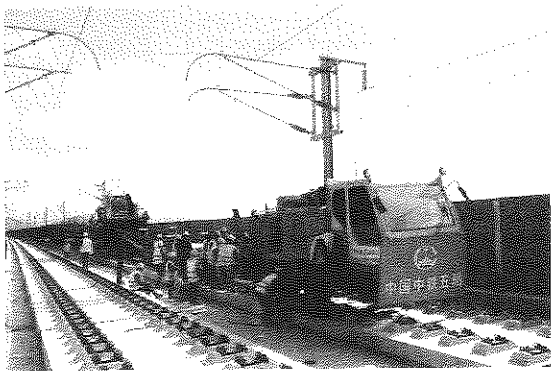
V. CÔNG NGHỆ THI CÔNG ĐƯỜNG RAY KHÔNG MỐI NỐI XUYÊN KHU VỰC

Trong những năm gần đây, công nghệ thiết bị thi công và quy trình thi công đường ray không mối nối trên các tuyến đường sắt cao tốc ở Trung Quốc đã được cải thiện đáng kể. Kỹ thuật thi công đường ray không mối nối một lần đã được áp dụng rộng rãi.

Đường ray tiêu chuẩn của đường sắt cao tốc Trung Quốc có chiều dài 100 m, với 12 cơ sở hàn ray được bố trí trên toàn quốc. Các cơ sở này sản xuất các thanh ray dài 500 m bằng công nghệ hàn tại nhà máy. Trung Quốc cũng đã tự nghiên cứu và phát triển thiết bị lắp đặt đường ray dài 500 m cho đường ray có ballast (Hình 1-3-5) và thiết bị lắp đặt đường ray dài 500 m kiểu WZ500 cho đường ray không có ballast (Hình 1-3-6).



Hình 1-3-5: *Hệ thống lắp đặt thanh ray dài 500m cho đường ray có ballast*



Hình 1-3-6: *Máy lắp đặt đường ray không có ballast*

Mức độ cơ giới hóa và tự động hóa, cùng với độ chính xác và chất lượng lắp đặt, đã được cải thiện đáng kể, cung cấp sự đảm bảo kỹ thuật vững chắc cho sự vận hành ổn định và thoải mái của đường sắt cao tốc.

Thiết bị chính trong thi công đường ray không mối nối bao gồm:

- Đầu máy.
- Xe vận chuyển thanh ray dài.
- Hệ thống lắp đặt thanh ray dài.
- Xe di động thực hiện hàn chớp.
- Các thiết bị kéo ray, cắt ray, mài ray, xử lý nhiệt, nắn thẳng và kiểm tra khuyết tật ray.

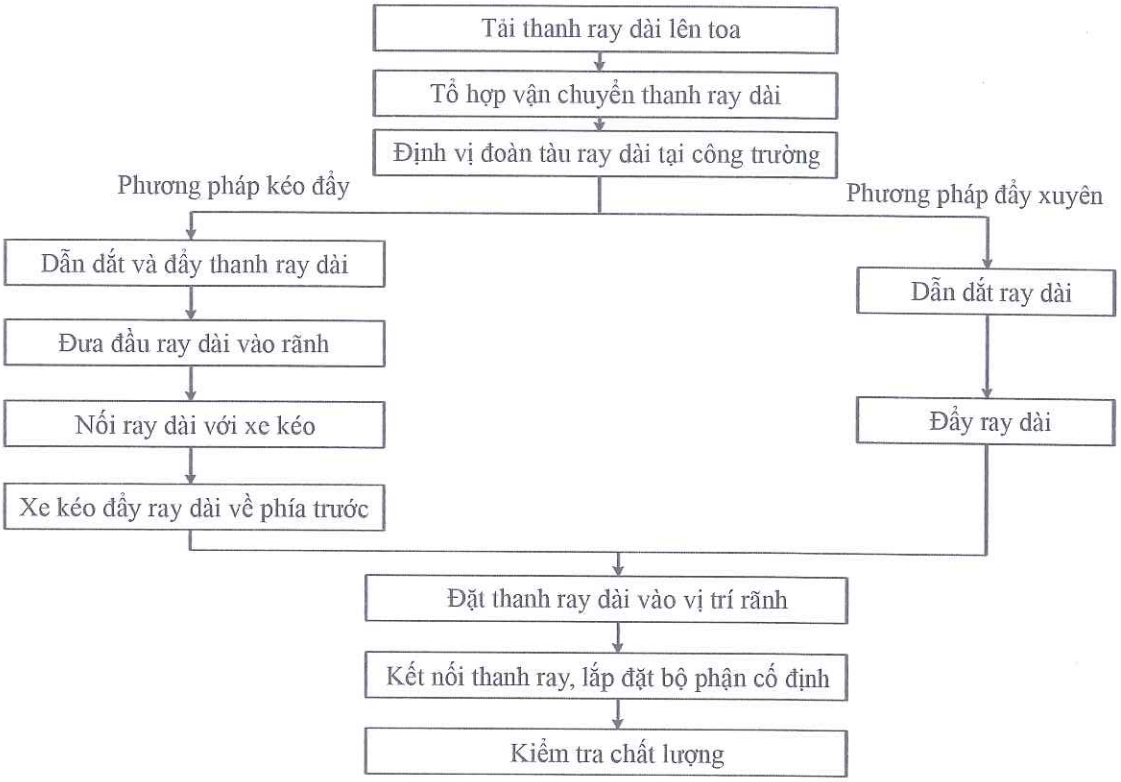
5.1. Lắp đặt thanh ray dài trên đường ray không có ballast

Có hai phương pháp chính để lắp đặt thanh ray dài: phương pháp kéo và phương pháp đẩy dọc.

- Phương pháp kéo: Các thiết bị chính bao gồm đầu máy, xe vận chuyển thanh ray dài, xe đẩy thanh ray, xe con trượt dốc, xe dẫn hướng, và các bộ phận hỗ trợ khác.

- Phương pháp đẩy dọc: Các thiết bị chính bao gồm đầu máy, xe vận chuyển thanh ray dài, xe đẩy thanh ray dài (bao gồm xe chuyển tiếp), và giá trượt dốc.

Quy trình thi công lắp đặt thanh ray dài được minh họa trong Hình 1-3-7.



***Hình 1-3-7:** Quy trình công nghệ thi công lắp đặt ray dài*

Công tác lắp đặt ray được thực hiện theo thứ tự mã số trong bảng 'Phân bổ ray' và tổ chức theo kế hoạch vận chuyển ray dài. Xe chở ray dài sẽ được bốc dỡ tại bãi lưu trữ ray trên tuyến đường bốc hàng. Mỗi lớp ray cần được kiểm tra kỹ lưỡng để đảm bảo không có sai sót trước khi cố định và khóa chặt, nhằm tránh việc ray bị xê dịch trong quá trình vận chuyển, đảm bảo an toàn khi tàu chạy. Sau khi kiểm tra kỹ thuật, xe kéo ray dài được đầu máy đẩy đến vị trí lắp đặt.

Theo bảng phân phối, các thanh ray đã được chọn và đánh dấu trước sẽ được xếp lên xe theo thứ tự từ trong ra ngoài. Khi dỡ xuống, thực hiện ngược lại từ ngoài vào trong. Tàu chở ray dài di chuyển trong khu vực thi công với tốc độ giới hạn 5 km/h,

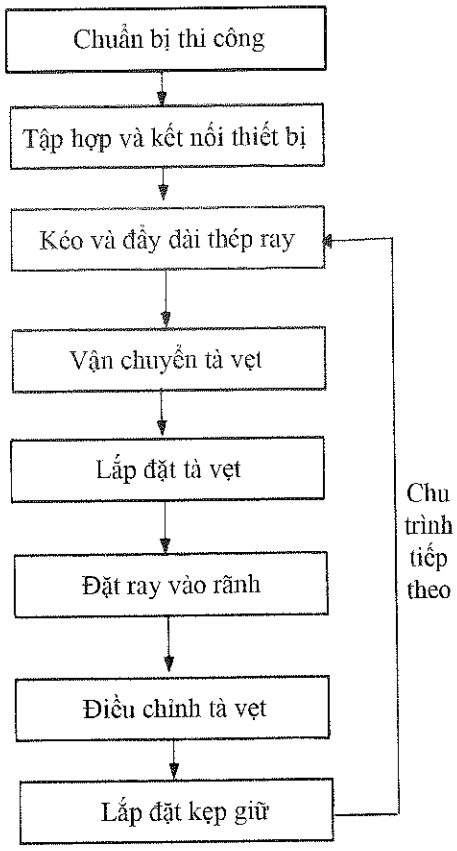
dừng lại khi cách đầu ray đã lắp đặt 10 m. Sau đó, di chuyển đối vị trí với tốc độ 0,5 km/h. Trong lúc đối vị trí, cần đánh dấu điểm dừng trên ray và đặt các thiết bị chặn như thanh chặn và dụng cụ chặn bánh xe.

Trước khi lắp đặt ray dài, các con lăn hỗ trợ được bố trí đều đặn trên nền đường ray giữa các rãnh đỡ, với khoảng cách từ 5-10 m. Khi ray dài được hạ vào đúng vị trí, công nhân lắp đặt các bộ phận kẹp cố định tại mỗi điểm đỡ, khoảng cách giữa các điểm kẹp từ 5-8 điểm. Tại các mối nối ray, cần đảm bảo lắp đặt đầy đủ bộ phận kẹp trước và sau.

Nhiệt độ trung bình của ray tại hai đầu khi hạ vào vị trí được ghi nhận là nhiệt độ lắp đặt ray. Trong quá trình lắp đặt, cần ghi chép cẩn thận nhiệt độ lắp đặt, kiểm tra chất lượng công trình, và báo cáo thông tin về chiều dài di chuyển, độ lệch tại mối nối về cơ sở lắp đặt ray để kịp thời xử lý.

5.2. Lắp đặt tà vẹt và đường ray trên đường ray có đá ballast

Công tác lắp đặt đường ray có đá ballast trên đường sắt cao tốc sử dụng phương pháp lắp từng thanh tà vẹt, với thiết bị chính là tổ hợp máy lắp đường ray DZM: bao gồm xe kéo, máy lắp ray, tàu vận chuyển ray và tà vẹt, cùng cần cẩu kiểu cổng để vận chuyển tà vẹt. Quy trình thi công được thể hiện trong Hình 1-3-8.



Hình 1-3-8: *Quy trình thi công phương pháp lắp đặt từng tà vẹt*

Trước khi lắp ray, cần đo đạc chính xác đường trung tâm theo yêu cầu thiết kế, đồng thời đặt các dấu hiệu chỉ dẫn hoặc thanh dẫn hướng và dây thép theo yêu cầu hoạt động của máy lắp ray. Tàu vận chuyển cần được nạp đầy các thanh ray dài và tà vẹt theo yêu cầu kỹ thuật. Sau khi nạp xong, cần đảm bảo các thanh ray được cố định chắc chắn, và trong quá trình vận chuyển tà vẹt phải tránh va đập, sai lệch, nghiêng, hoặc thiếu các miếng lót đệm.

Khi đầu máy đẩy tàu lắp ray vào vị trí, cần cẩu kiểu cổng vận chuyển tà vẹt phải được khóa chắc chắn trên máy lắp ray. Trên lớp đá ballast sơ bộ, các con lăn kéo ray được bố trí theo khoảng cách 10 m theo chiều dọc và từ 3-3,25 m theo chiều ngang. Xe kéo hoặc xe kéo ray dài phối hợp với thiết bị đẩy ray để

kéo ray dài dọc theo con lăn vào hai bên đường ray. Việc vận chuyển tà vẹt nên được thực hiện theo từng lớp để tránh sự chênh lệch chiều cao giữa các toa xe do tải trọng khác nhau.

Máy lắp ray di chuyển đều dọc theo đường trung tâm, thiết bị bố trí tà vẹt sẽ lắp đặt các tà vẹt theo khoảng cách quy định trên lớp đá ballast đã san phẳng, tránh làm xáo trộn bề mặt ballast trước khi lắp đặt tà vẹt. Trong quá trình lắp đặt tà vẹt, cần thường xuyên kiểm tra khoảng cách và trạng thái vận chuyển của tà vẹt, và khắc phục kịp thời nếu phát hiện vấn đề.

Thiết bị kéo ray tự động đưa các thanh ray dài vào đúng vị trí trong rãnh đỡ tà vẹt khi máy lắp ray tiến về phía trước. Các thanh ray dài được nối tạm bằng các đầu nối, đảm bảo lắp đặt chính xác và tránh làm hư hỏng các chốt giữ tà vẹt hoặc các tấm sắt chôn sẵn. Sau khi các thanh ray dài được đặt vào vị trí, cần lắp đặt một số bộ phận cố định tạm thời để đảm bảo an toàn cho tổ hợp máy lắp ray khi di chuyển qua. Sau khi tổ hợp máy đi qua, các bộ phận cố định sẽ được bổ sung đầy đủ, đồng thời hoàn thiện công việc tại hiện trường.

5.3. Hàn đường ray tại công trường

Hàn đường ray tại công trường ở đường sắt cao tốc Trung Quốc sử dụng phương pháp hàn giáp nối di động, được trang bị các thiết bị như xe tác nghiệp hàn giáp nối di động, máy kéo ray, cưa ray, máy mài, thiết bị nhiệt luyện, thiết bị chỉnh thẳng và thiết bị kiểm tra khuyết tật. Quy trình cơ bản của hàn giáp nối di động được minh họa trong Hình 1-3-9.

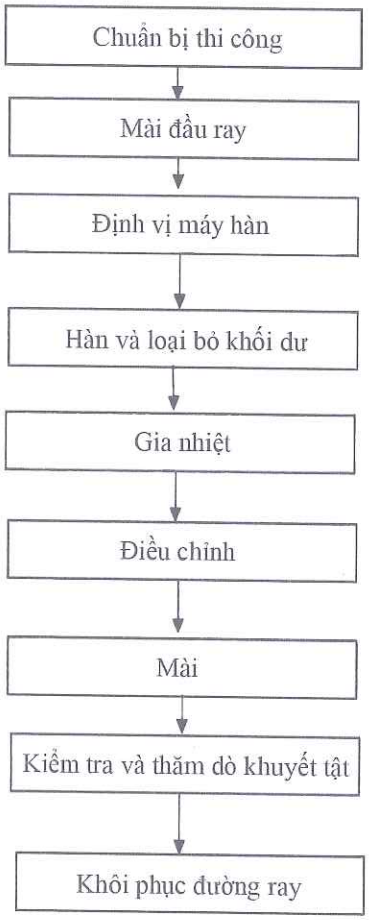
Quy trình hàn giáp nối di động:

① *Chuẩn bị trước hàn:*

- Tiến hành kiểm tra kiểu mẫu để xác định các thông số kỹ thuật.

- Tháo toàn bộ bộ phận giữ ray ở phía trước mối nối và các bộ phận trong phạm vi 10m phía sau mối nối.

- Chỉnh thẳng đường ray và đặt các con lăn dưới các đoạn ray dài với khoảng cách 12.5m để đường ray có thể di chuyển theo chiều dọc khi hàn.



Hình 1-3-9: *Quy trình công nghệ thi công hàn điện di động kiểu chớp sáng*

② *Xử lý bề mặt trước hàn:*

- Đánh bóng hai đầu mối nối đường ray và khu vực tiếp xúc tại kẹp điện cực trên máy hàn để bề mặt sáng bóng trước khi hàn.

- Nâng hai đầu mối nối đến độ cao nhất định để căn chỉnh và kẹp chặt bằng máy hàn.

③ *Quá trình hàn:*

- Đặt các tấm đệm để đảm bảo bề mặt ray bằng phẳng, đặc biệt chú ý khu vực dưới bánh xe trước của xe hàn.

- Hàn giáp nối được thực hiện tự động: máy hàn tự động căn chỉnh, hàn, đẩy bỏ phần thừa (mối hàn).

④ *Nhiệt luyện (Chỉnh cứng mối nối):*

- Tiến hành nhiệt luyện khi mối nối không chịu lực kéo và nhiệt độ mối nối dưới 500°C.

- Dùng thiết bị gia nhiệt bằng ngọn lửa, kiểm soát nhiệt độ trong khoảng 850-950°C. Làm nguội mối nối bằng không khí.

⑤ *Mài mối nối:*

- Thực hiện mài thô để đảm bảo độ nhám bề mặt đáp ứng yêu cầu kiểm tra khuyết tật.

- Sử dụng máy mài tạo hình để mài mịn phần mặt trên và mặt bên trong của mối nối trong phạm vi 450mm từ tâm mối nối. Nhiệt độ mối nối khi mài không được vượt quá 50°C.

⑥ *Kiểm tra chất lượng mối nối:*

- Tiến hành kiểm tra siêu âm để đánh giá chất lượng mối nối và độ thẳng của mối hàn.

- Nếu phát hiện khuyết tật, mối nối không đạt yêu cầu phải được cắt bỏ và hàn lại.

5.4. Giải phóng ứng suất và khóa chặt đường ray liền mạch

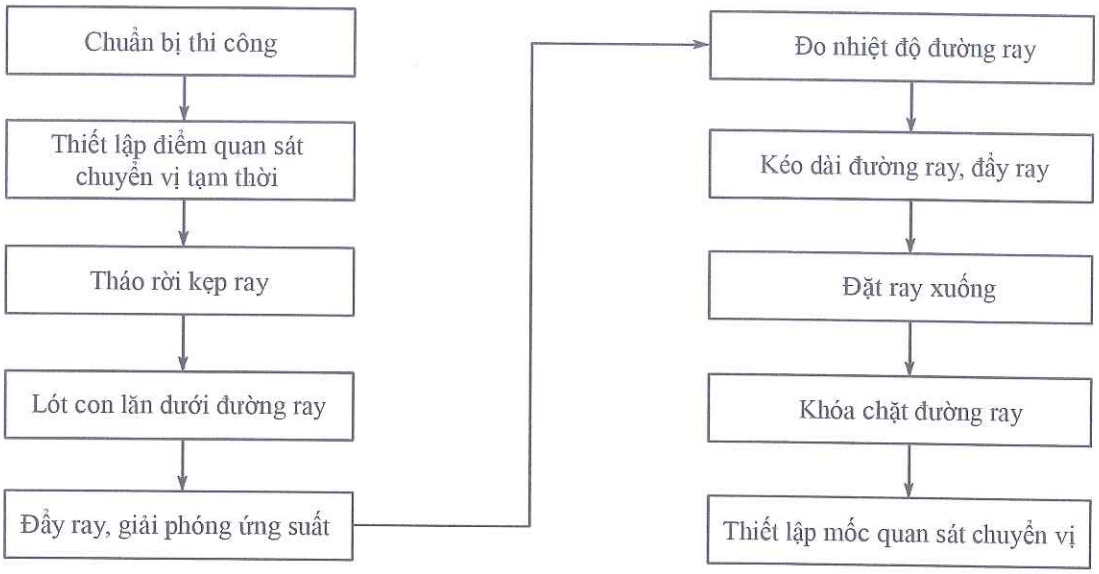
Giải phóng ứng suất và khóa chặt đường ray liền mạch được thực hiện bằng phương pháp con lăn kéo dài hoặc phương pháp con lăn.

- Khi nhiệt độ đường ray tại thời điểm thi công thấp hơn nhiệt độ khóa ray thiết kế, phương pháp con lăn kéo dài được sử dụng.

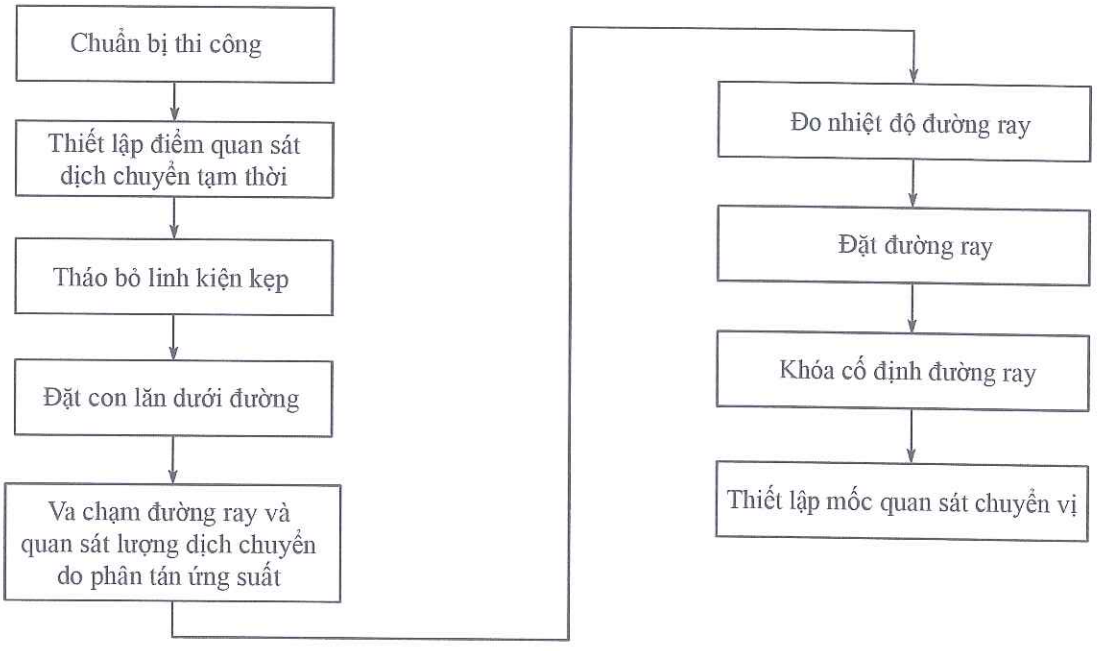
- Khi nhiệt độ đường ray trong phạm vi nhiệt độ khóa ray thiết kế, phương pháp con lăn được áp dụng.

Thiết bị chính để thực hiện giải phóng ứng suất và khóa chặt bao gồm: máy kéo dài đường ray, thiết bị đẩy nối ray, máy cắt ray, con lăn, nhiệt kế đo ray, cờ lê mômen xoắn, và các thiết bị hàn ray tại công trường.

Quy trình cơ bản để giải phóng ứng suất và khóa chặt đường ray liền mạch được thể hiện trong Hình 1-3-10 và Hình 1-3-11.



Hình 1-3-10: *Quy trình thi công bằng phương pháp kéo dài bằng trục lăn*



Hình 1-3-11: *Quy trình thi công theo phương pháp con lăn*

Trước khi khóa cố định tuyến đường, cần nắm vững quy luật biến đổi nhiệt độ của đường ray tại địa phương và chọn thời điểm tốt nhất để tiến hành thi công dựa trên khoảng thời gian của khu vực làm việc. Khi đo nhiệt độ đường ray, cần tiến hành đo tại nhiều điểm khác nhau trên đường ray và lấy giá trị trung bình.

Tháo bỏ toàn bộ các bộ phận kẹp cố định trên đoạn đường ray chờ giải phóng ứng suất, đồng thời đặt các con lăn ở một khoảng cách nhất định và lắp đặt một bộ đẩy đường ray cách một khoảng cách nhất định. Trong quá trình giải phóng ứng suất, cứ khoảng 100 m cần thiết lập một điểm quan sát vị trí tạm thời để theo dõi lượng dịch chuyển của đường ray và kịp thời loại bỏ các trở ngại ảnh hưởng đến quá trình giải phóng, đảm bảo ứng suất được giải phóng đều và triệt để.

Tại mỗi đầu của đoạn ray đơn vị, đặt một bộ kéo căng ray cho mỗi thanh ray để kéo căng ray. Nếu cần thiết, sử dụng thiết bị gõ ray để đảm bảo lực kéo được truyền đều. Trước khi bộ kéo căng ray hoạt động, các con lăn cần được đặt đúng vị trí theo yêu cầu. Sau khi lực kéo đạt giá trị tính toán, bộ kéo căng sẽ giữ áp lực, các con lăn được rút ra và lắp đặt các khóa ray để cố định đường ray. Nhiệt độ ray khi khóa cùng với nhiệt độ chuyển đổi do kéo căng sẽ trở thành nhiệt độ khóa thực tế.

Sau khi khóa đường ray, lập tức đặt các dấu "điểm không" để quan sát chuyển vị dọc trên ray, bắt đầu quan sát và ghi lại tình trạng chuyển vị của ray theo quy định. Khi khóa đường ray liền mạch, cần xác định và ghi lại chính xác nhiệt độ khóa. Hai thanh ray nên được khóa đồng bộ, và chỉ được tháo thiết bị kéo căng sau khi khóa đường ray hoàn tất. Ngày khóa và nhiệt độ khóa thực tế phải được ghi vào tài liệu hoàn công.

Công nghệ đường ray liền mạch của đường sắt cao tốc bao gồm nhiều nội dung và đòi hỏi nhiều kỹ thuật khó. Để đảm bảo độ êm ái và ổn định khi tàu chạy, sự tương thích giữa ray và nền móng, cũng như sự phù hợp hợp lý của các thông số, tất cả đều đặt ra yêu cầu cao hơn đối với việc lắp đặt, ứng dụng và bảo trì đường ray liền mạch. Với việc xây dựng và ứng dụng đường sắt cao tốc trên quy mô lớn, Việt Nam sẽ tích lũy được nhiều kinh nghiệm về sử dụng đường ray liền mạch trong đường sắt cao tốc.

CHƯƠNG 4. ĐƯỜNG RAY THÉP

Đường ray thép là bộ phận quan trọng của kết cấu đường ray, đóng vai trò chủ yếu trong việc dẫn hướng bánh xe và truyền tải trọng. Đường ray thép có độ tinh khiết cao, độ chính xác kích thước lớn và độ thẳng tuyệt đối là yếu tố quan trọng đảm bảo an toàn, ổn định, thoải mái và tốc độ cao khi tàu chạy.

Từ năm 1998, ngành đường sắt và luyện kim của Trung Quốc đã lấy việc nghiên cứu toàn diện các yêu cầu kỹ thuật của đường ray cho đường sắt cao tốc làm đột phá và điểm khởi đầu. Qua hơn một thập kỷ nỗ lực không ngừng, thông qua việc nhập khẩu các thiết bị sản xuất tiên tiến từ nước ngoài, Trung Quốc đã hoàn thành việc cải tạo kỹ thuật hiện đại hóa sản xuất đường ray. Thiết bị sản xuất đường ray đã đạt đến trình độ hàng đầu thế giới.

Trung Quốc đã thực hiện đổi mới độc lập và giải quyết các thách thức kỹ thuật trong các lĩnh vực như công nghệ luyện thép đường ray có độ tinh khiết cao, công nghệ cán đường ray với độ chính xác cao về kích thước, công nghệ nắn thẳng phức hợp đạt độ thẳng tuyệt đối và công nghệ sản xuất đường ray với chất lượng bề mặt cao. Những cải tiến này đã đưa chất lượng bên trong và bên ngoài của đường ray đạt đến, thậm chí vượt qua tiêu chuẩn của các quốc gia phát triển về đường sắt cao tốc, hiện thực hóa việc tự chủ trong nghiên cứu và sản xuất đường ray cao tốc. Điều này đã hình thành nên tiêu chuẩn đường ray cao tốc mang tính sáng tạo độc lập và đạt trình độ tiên tiến thế giới.

Đồng thời, các vấn đề kỹ thuật hỗ trợ như vận chuyển và hàn nối các đoạn đường ray dài 100 mét đã được giải quyết thành công, tạo điều kiện thuận lợi cho việc áp dụng và phổ biến đường ray cao tốc. Công ty Đường sắt Trung Quốc cũng áp dụng các biện pháp hiệu quả để thực hiện giám sát và kiểm soát chất lượng toàn diện đối với đường ray cao tốc, đảm bảo chất lượng lắp đặt đường ray một cách vững chắc.

I. YÊU CẦU ĐỐI VỚI ĐƯỜNG RAY THÉP CHO ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Để đảm bảo độ tin cậy cao và sự êm ái vượt trội của đường sắt cao tốc, đường ray thép phải đáp ứng các yêu cầu về hiệu suất an toàn, độ chính xác hình học và độ thẳng ở mức cao hơn.

Tính an toàn cao không chỉ thể hiện ở sự tinh khiết của chất thép, bề mặt không có khuyết tật, ứng suất kéo dư thấp, độ dẻo dai ưu việt và khả năng hàn tốt, mà còn đòi hỏi chất lượng đường ray ổn định, đáng tin cậy và dễ dàng sản xuất. Đồng thời, đường ray thép cho đường sắt cao tốc yêu cầu lớp thoát cacbon có độ dày nhỏ. Lớp thoát cacbon này có thể được loại bỏ thông qua quá trình mài trước khi sử dụng, giúp cấu trúc và độ cứng của bề mặt đường ray đồng đều, từ đó ngăn ngừa và giảm thiểu hiện tượng sóng mòn trong quá trình sử dụng.

Để đạt được các chỉ số hiệu suất cần thiết cho đường ray thép sử dụng trong đường sắt cao tốc, quá trình sản xuất cần áp dụng các kỹ thuật như "tinh luyện," "tinh cán," "tinh chỉnh," "tinh kiểm" và "sản xuất đường ray dài." Cụ thể:

- **Tinh luyện**: Sử dụng các công nghệ tiên tiến như tinh luyện ngoài lò, khử khí trong chân không và đúc liên tục phôi lớn để đảm bảo độ tinh khiết của thép.

- **Tinh cán**: Áp dụng công nghệ cán chính xác, bao gồm lò nung bước, loại bỏ vảy oxit bằng nước áp suất cao qua nhiều lần và cán bằng máy cán đa năng, để đảm bảo độ chính xác hình học của đường ray.

- **Tinh chỉnh**: Sử dụng công nghệ nắn thẳng kết hợp ngang dọc, nắn chỉnh thủy lực bốn mặt và uốn nóng để đạt được độ thẳng cao cho đường ray.

- **Sản xuất đường ray dài**: Áp dụng kỹ thuật nắn thẳng các đoạn dài, cưa lạnh để định cỡ và loại bỏ phần dư thừa ở đầu và cuối của thanh đường ray, nhằm đảm bảo kích thước đồng nhất, nâng cao độ êm ái tổng thể và giảm đáng kể các mối nối hàn.

- **Tinh kiểm**: Sử dụng phương pháp kiểm tra khuyết tật bên trong bằng siêu âm, kiểm tra bề mặt bằng dòng điện xoáy, và kiểm tra tự động trực tuyến độ thẳng và độ chính xác kích thước hình học, nhằm đảm bảo chất lượng cả bên trong lẫn ngoại quan của đường ray xuất xưởng.

Nhờ những công nghệ và quy trình này, đường ray thép cho đường sắt cao tốc không chỉ đáp ứng được các tiêu chuẩn mà còn vượt qua các yêu cầu khắt khe nhất của ngành công nghiệp đường sắt.

II. MẶT CẮT ĐƯỜNG RAY THÉP CHO ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Hiện nay, đường ray thép cho đường sắt cao tốc ở nước ngoài, ngoại trừ Nhật Bản sử dụng mặt cắt JIS60, thì Pháp, Đức, Tây Ban Nha, Ý, Hàn Quốc và các quốc gia khác đều sử dụng mặt cắt UIC60 theo tiêu chuẩn của Liên minh Đường sắt Quốc tế. Sau khi tiêu chuẩn đường ray châu Âu EN13674-1 được ban hành, mặt cắt UIC60 theo tiêu chuẩn UIC860 của Liên minh Đường sắt Quốc tế được gọi là 60E1. Để phân biệt, chúng tôi gọi nó là EN60E1.

Đường sắt Đức có góc dốc đáy ray khác với các quốc gia châu Âu khác (Đức sử dụng góc 1:40, trong khi các nước khác là 1:20). Để cải thiện mối quan hệ tiếp xúc giữa bánh xe và đường ray, Đức đã tối ưu hóa hình dạng đầu ray. Mặt cắt đường ray sau khi tối ưu hóa được gọi là 60E2 và đã được đưa vào tiêu chuẩn đường ray châu Âu EN13674-1:2007 vào năm 2007.

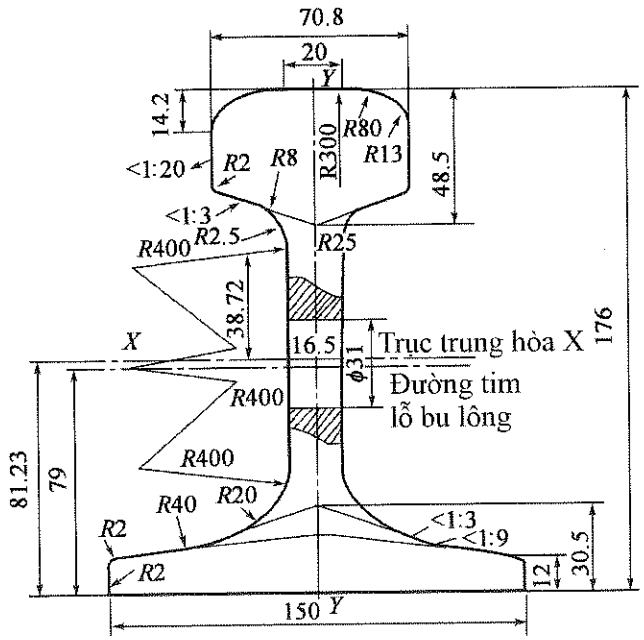
- Khi xây dựng các tuyến đường sắt cao tốc Mannheim-Stuttgart, Hannover-Würzburg và Hannover-Berlin (tốc độ vận hành 250 km/h), Đức sử dụng mặt cắt đường ray EN60E1.

- Trong khi đó, khi xây dựng tuyến đường sắt cao tốc Cologne-Frankfurt (tốc độ vận hành 300 km/h), Đức đã sử dụng mặt cắt đường ray EN60E2. Sau đó, quá trình mài đường ray, bao gồm cả đường ray sử dụng mặt cắt EN60E1 trên các tuyến cao tốc, đều được thực hiện theo hình dạng đầu ray của EN60E2.

Nhật Bản ban đầu sử dụng đường ray JIS50 trên các tuyến Shinkansen. Tuy nhiên, do khả năng chịu tải thấp và hư hỏng nghiêm trọng, chỉ sau chưa đến 10 năm sử dụng trên tuyến Tōkaidō Shinkansen, toàn bộ các đường ray này đã bị thay thế.

Trong tiêu chuẩn đường sắt của Trung Quốc, mặt cắt đường ray 60kg/m gần như tương đồng với mặt cắt đường ray EN60E1, vốn được sử dụng rộng rãi trên các tuyến đường sắt cao tốc châu Âu, ngoại trừ chiều cao có sự khác biệt 4mm. Để đảm bảo tính tương thích với các tuyến đường sắt hiện có ở Trung Quốc, đường ray 60kg/m được sử dụng trên các tuyến đường sắt cao tốc. Xét về khả năng chịu tải, đường ray này hoàn toàn đáp ứng yêu cầu. Tuy nhiên, do góc dốc đáy ray, khoảng cách giữa mặt trong bánh xe và hình dạng bánh xe ở Trung Quốc không hoàn toàn giống với các nước khác, nên hình dạng đầu ray đã được tối ưu hóa để cải thiện mối quan hệ tiếp xúc giữa bánh xe và đường ray.

Mặt cắt đường ray 60kg/m được sử dụng trên các tuyến đường sắt cao tốc tại Trung Quốc được minh họa trong Hình 1-4-1.



Hình 1-4-1: *Mặt cắt đường ray thép 60kg/m sử dụng trên đường sắt cao tốc Trung Quốc (Đơn vị kích thước: mm)*

III. CHIỀU DÀI TIÊU CHUẨN CỦA ĐƯỜNG RAY THÉP

Đường ray thép thường được cán với chiều dài từ 75 đến 120 m. Sau khi cán, để thuận tiện cho việc di chuyển ngang và làm nguội chậm, các thanh ray được cưa nóng thành nhiều đoạn nhỏ, sau đó đưa vào hầm làm nguội chậm để khử nitơ. Tiếp theo, chúng được nắn thẳng, kiểm tra khuyết tật và thực hiện các bước xử lý cần thiết khác. Một thanh ray sau khi nắn thẳng sẽ hình thành 5 khu vực: hai đầu ray gồm vùng không nắn thẳng và vùng chuyển tiếp, trong khi phần giữa là vùng biến dạng do nắn thẳng. Ở mỗi khu vực, các thông số như chiều cao và độ rộng đầu ray đều có sự thay đổi nhất định.

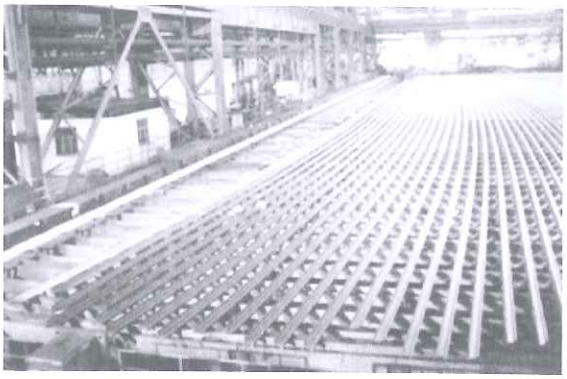
Quy trình sản xuất đường ray dài áp dụng công nghệ nắn thẳng và cưa lạnh theo chiều dài tiêu chuẩn. Phần dư thừa ở đầu và cuối thanh ray sau khi cán nóng sẽ được cắt bỏ, loại bỏ hoàn toàn vùng không nắn thẳng và vùng chuyển tiếp. Điều này giúp đảm bảo kích thước đồng nhất trên toàn bộ chiều dài thanh ray, cải thiện đáng kể độ êm ái và ổn định của đường ray. Sản xuất đường ray dài không chỉ hỗ trợ việc

uốn cong trước khi làm nguội để giảm độ cong trước khi nắn thẳng, mà còn làm giảm ứng suất dư và tổn hại bề mặt trong quá trình nắn. Điều này cũng giúp nâng cao hiệu suất sử dụng vật liệu. Hơn nữa, việc kiểm tra khuyết tật được thực hiện trước khi cắt, đảm bảo chất lượng đồng nhất tại các đầu ray.

Tăng chiều dài tiêu chuẩn của đường ray có tác dụng giảm số lượng mối nối hàn, qua đó nâng cao độ êm ái, tính an toàn và độ tin cậy của hệ thống đường sắt. Vì vậy, việc sử dụng các thanh ray dài là yêu cầu thiết yếu đối với đường sắt cao tốc.

Sự phát triển trong công nghệ luyện thép, đặc biệt là tinh luyện ngoài lò, khử khí chân không và đúc liên tục phôi lớn, đã giúp loại bỏ nhu cầu làm nguội chậm, tạo điều kiện thuận lợi cho việc sản xuất đường ray dài. Để đáp ứng yêu cầu phát triển của ngành đường sắt, nhiều nhà máy thép ở nước ngoài đã cải tiến công nghệ để sản xuất các thanh ray dài. Hiện nay, chiều dài tiêu chuẩn của đường ray giao hàng tại Nhật Bản là 25 m và 50 m, tại Pháp là 36 m và 80 m, còn tại Áo và Đức là 36 m và 120 m.

Việc xác định chiều dài tiêu chuẩn của đường ray cần cân nhắc giữa tính khả thi của việc cải tiến công nghệ sản xuất và khả năng tích hợp với các công nghệ hiện có trong quá trình sử dụng. Đáp ứng nhu cầu phát triển đường sắt cao tốc, Trung Quốc đã xác định chiều dài tiêu chuẩn 100 m cho đường ray là chính sách kỹ thuật quốc gia, đồng thời quy định ba loại chiều dài ngắn phù hợp với tiêu chuẩn này là 95 m, 96 m, và 99 m.



Hình 1-4-2: *Dây chuyền sản xuất đường ray tiêu chuẩn dài 100 m*

IV. VẬT LIỆU ĐƯỜNG RAY THÉP CHO ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

1. Vật liệu đường ray thép cho đường sắt cao tốc ở nước ngoài

Các tuyến đường sắt cao tốc ở nước ngoài chủ yếu sử dụng đường ray thép cán nóng có độ bền kéo từ 800 đến 880 MPa. Xét về vật liệu, mặc dù độ bền của đường ray thấp dẫn đến khả năng chống mài mòn kém hơn, nhưng lại có ưu điểm về độ dẻo dai, tính dẻo, khả năng hàn và mài tốt, khả năng chống xước cao, cùng với đó là độ an toàn lớn và tính tin cậy cao về chất lượng. Đây chính là những tiêu chí quan trọng nhất mà đường ray thép cho đường sắt cao tốc yêu cầu.

- Nhật Bản: Hệ thống Shinkansen luôn sử dụng đường ray thép cán nóng có độ bền kéo 800 MPa, với độ cứng bề mặt ray lớn hơn 235 HB.

- Pháp: Tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên (tuyến Đông Nam) được xây dựng vào những năm 1980 sử dụng đường ray thép cán nóng 700 MPa (UIC700). Tuyến này đã đi vào hoạt động từ năm 1983 và không cần đại tu hay thay ray trong 25 năm. Các tuyến cao tốc xây dựng sau này của Pháp đều sử dụng đường ray thép UIC900A có độ bền kéo 880 MPa.

- Đức: Các tuyến đường sắt cao tốc phục vụ cả hành khách và hàng hóa, cùng với các quốc gia như Tây Ban Nha, Ý, Hàn Quốc, đều sử dụng đường ray thép UIC900A với độ bền kéo 880 MPa.

Thành phần hóa học và tính chất cơ học của đường ray thép sử dụng trên các tuyến đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, Nhật Bản và châu Âu được thể hiện trong Bảng 1-4-1.

Bảng 1-4-1: Vật liệu và tính năng của đường ray thép sử dụng trên đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, Nhật Bản và Châu Âu

Quốc gia	Loại thép	Thành phần hóa học (%)						Tính năng cơ học		
		C	Si	Mn	S	Pi	Khác	Rm (MPa)	A (%)	HB
Trung Quốc	U71MnK	0.65 ~ 0.75	0.10 ~ 0.50	0.80 ~ 1.30	≤0.025	≤0.025	-	≥880	≥10	260 ~ 300
	U75V	0.70 ~ 0.78	0.50 ~ 0.70	0.75 ~ 1.05	≤0.025	≤0.025	V 0.04 ~ 0.08	≥980	≥10	280 ~ 320
Nhật Bản	JISE 60	0.63 ~ 0.75	0.15 ~ 0.30	0.70 ~ 1.10	≤0.030	≤0.025	-	≥880	≥10	≥235
Châu Âu	UIC900A	0.60 ~ 0.80	0.10 ~ 0.50	0.80 ~ 1.30	≤0.040	≤0.040	-	≥880	≥10	260 ~ 300
	EN-R260	0.62 ~ 0.80	0.15 ~ 0.58	0.70 ~ 1.20	0.008 ~ 0.025	≤0.025	-	≥880	≥10	260 ~ 300

Chú thích: *Tiêu chuẩn mới được ban hành tại Châu Âu đã đổi tên UIC900A thành R260 và tối ưu hóa thành phần hóa học.*

Từ những thông tin trên có thể thấy, bất kể là đường sắt cao tốc của Pháp với động lực tập trung (TGV, tải trọng trục lớn, từ 19 đến 21 tấn), đường sắt cao tốc của Nhật Bản với động lực phân tán (tải trọng trục nhẹ, từ 11 đến 14 tấn), hay các tuyến đường sắt cao tốc kết hợp chở khách và hàng hóa của Đức và các quốc gia khác, tất cả đều sử dụng thép đường ray có cấp độ bền không vượt quá 880 MPa, ngoại trừ trong các đoạn đường cong bán kính nhỏ.

2. Đặc điểm tính năng của thép đường ray U71Mn và U75V tại Trung Quốc

Hiện nay, đường ray sử dụng rộng rãi trên các tuyến đường sắt hiện có ở Trung Quốc chủ yếu gồm hai loại: U71Mn với độ bền kéo 880 MPa và U75V với độ bền kéo 980 MPa.

2.1. Đường ray thép U71Mn

U71Mn là loại đường ray thép C-Mn có độ bền kéo 880 MPa, được sử dụng lâu đời nhất tại Trung Quốc. Loại thép này có hàm lượng carbon thấp và mangan cao, giúp cải thiện tính dẻo dai và độ dẻo, đặc biệt là tính năng trong điều kiện nhiệt độ thấp, cùng với khả năng hàn tốt.

Tuy nhiên, khi hàm lượng carbon tăng cao, thép U71Mn dễ xuất hiện hiện tượng vi phân bố mangan, khiến nó không phù hợp cho quá trình xử lý nhiệt toàn chiều dài của đường ray. Vì vậy, loại thép này thường được sử dụng ở trạng thái cán nóng.

2.2. Đường ray thép U75V

U75V là loại đường ray thép hợp kim vanadi, được phát triển vào những năm 1990 bởi Tập đoàn Pangang (Trung Quốc). Trước khi tiêu chuẩn TB/T 2344-2003 được ban hành, loại thép này được gọi là PD3 (thế hệ đường ray thứ ba của Pangang). Sau khi được đưa vào tiêu chuẩn ngành đường sắt, tên gọi đã được đổi thành U75V.

So với U71Mn, U75V có hàm lượng carbon và silic cao hơn, bổ sung nguyên tố hợp kim vi lượng vanadi và giảm hàm lượng mangan. Sau quá trình cán nóng, thép U75V đạt độ bền kéo 980 MPa. Trước năm 1998, loại thép này có cường độ thực tế trung bình đạt 1080 MPa, có khả năng chống mài mòn tốt hơn U71Mn nhưng lại gặp khó khăn trong việc hàn. Tuy nhiên, do tính dẻo dai và độ dẻo kém, thép này dễ bị giòn và thường xảy ra tình trạng gãy đường ray.

Để khắc phục, vào năm 1998, thành phần hóa học của U75V được điều chỉnh, giảm hàm lượng carbon, silic, và vanadi, giúp tăng tính dẻo dai và khả năng hàn, nhưng khả năng chống mài mòn cũng giảm đi. Loại thép này cho kết quả sử dụng tốt trên các tuyến đường sắt thẳng, có lưu lượng vận tải cao hoặc tuyến chở than nặng, nhưng ở các đường cong bán kính nhỏ, khả năng chống mài mòn của U75V lại không đủ tốt.

So sánh giữa U71Mn và U75V

- Tính dẻo dai: Tỷ lệ giãn dài trung bình của U75V thấp hơn U71Mn, trong khi tốc độ lan truyền vết nứt cao hơn.

- Chi phí sản xuất: Do chứa vanadi (một nguyên tố hợp kim đất tiền), giá thành của U75V cao hơn U71Mn.

- Hiệu quả sử dụng: Trên các tuyến đường hiện có, U75V dễ bị bong tróc bề mặt khi không được mài kịp thời trong giai đoạn đầu sử dụng, đặc biệt trên các đường cong. Trong khi đó, U71Mn thường xuất hiện hiện tượng "phồng mép" nhưng ít bị bong tróc bề mặt.

Những đặc điểm này cho thấy mỗi loại thép có ưu nhược điểm riêng, phù hợp với các điều kiện vận hành và môi trường khác nhau.

3. Sự phù hợp về độ cứng giữa bánh xe và đường ray

Có quan điểm cho rằng, độ cứng của đường ray nên cao hơn độ cứng của bánh xe, chủ yếu dựa trên việc sửa chữa và thay thế bánh xe dễ dàng hơn so với đường ray. Khi cả bánh xe và đường ray đều bị mài mòn nghiêm trọng, đây được coi là lựa chọn kinh tế. Tuy nhiên, sau khi tách biệt các tuyến đường khách và hàng hóa, trên các tuyến đường sắt cao tốc, do bán kính đường cong lớn (trên 3500 m), mức độ mài mòn của đường ray thường rất nhẹ. Trong trường hợp này, nếu độ cứng của bánh xe cao hơn đường ray, bánh xe sẽ ít bị mài mòn hơn trong quá trình sử dụng, đồng thời đường ray có thể đạt được một mức độ mài mòn nhất định, giúp đảm bảo tốt mối quan hệ tiếp xúc giữa bánh xe và đường ray.

Ngược lại, nếu độ cứng của đường ray cao hơn đáng kể so với bánh xe, điều này sẽ dẫn đến mài mòn nghiêm trọng ở bánh xe trong khi đường ray chỉ bị mài mòn rất ít, gây ra hiện tượng bánh xe bị mài lõm. Ngoài ra, do đường ray ít bị mài mòn, hiện tượng hư hại do mỏi tiếp xúc lăn dễ dàng xuất hiện.

Từ thực tế độ cứng phù hợp giữa bánh xe và đường ray trên các tuyến đường sắt cao tốc quốc tế:

- **Nhật Bản**: Bánh xe của Shinkansen có độ cứng (311 ~ 363 HB) cao hơn rõ rệt so với độ cứng bề mặt của đường ray (≥235 HB).

- **Châu Âu**: Độ cứng của bánh xe và đường ray thấp hơn và tương đối đồng đều, cả hai đều trong khoảng 260 ~ 300 HB.

Không có báo cáo nào ghi nhận vấn đề xảy ra khi độ cứng của bánh xe cao hơn đường ray. Ngược lại, khi độ cứng của đường ray cao hơn đáng kể so với bánh xe, tuổi thọ của bánh xe sẽ giảm đáng kể mà không làm tăng tuổi thọ của đường ray:

- **Nga**: Việc lắp đặt các đoạn đường ray được xử lý nhiệt trên cả đoạn thẳng và đường cong đã làm giảm mạnh tuổi thọ của bánh xe.

- **Nam Phi**: Toàn bộ tuyến đường sử dụng đường ray hợp kim với độ cứng bề mặt trên 320 HB dẫn đến giảm tuổi thọ tổng thể của cả bánh xe và đường ray.

Từ những bài học này, có thể thấy rằng đường ray với độ cứng cao hơn bánh xe sẽ gây ra hậu quả bất lợi.

Các tàu CRH1 đến CRH5 của Trung Quốc hiện sử dụng bánh xe làm từ vật liệu ER8, được quy định theo tiêu chuẩn châu Âu, với độ cứng bề mặt bánh xe nằm trong khoảng 260 ~ 302 HB. Xét từ góc độ phù hợp về độ cứng giữa bánh xe và đường ray, độ cứng của đường ray nên được kiểm soát trong khoảng 260 ~ 300 HB. Điều này có nghĩa rằng việc sử dụng đường ray có độ bền kéo 880 MPa trên đường sắt cao tốc sẽ có lợi hơn cho sự phù hợp giữa bánh xe và đường ray.

4. Lựa chọn vật liệu đường ray cho đường chuyển hướng

Việc lựa chọn vật liệu và cấp độ bền của đường ray trên các tuyến đường sắt cao tốc cần được đồng thời cân nhắc cùng với vật liệu sử dụng cho đường ray tại các đoạn đường chuyển hướng.

4.1. Vật liệu đường ray cho đường chuyển hướng ở nước ngoài

- Nhật Bản: Các đoạn ray mũi nhọn trên đường chuyển hướng của đường sắt cao tốc Nhật Bản sử dụng thép cán nóng với cấp độ bền tương đương với đường ray thông thường, đạt 800 MPa. Theo yêu cầu của người dùng, các đoạn ray này có thể được xử lý nhiệt để tăng cấp độ bền lên 1080 MPa, với độ cứng bề mặt ray vượt quá 340 HB.

- Pháp: Đường ray mũi nhọn trên đường chuyển hướng của Pháp cũng sử dụng vật liệu có cấp độ bền tương đương với đường ray thông thường (880 MPa, UIC900A). Kết quả sử dụng cho thấy các đoạn ray thẳng chịu mài mòn rất ít. Ngoài ra, Pháp đã phát triển loại đường ray hợp kim vi lượng cho đường chuyển hướng của đường sắt cao tốc. Theo nhu cầu, các đoạn ray mũi nhọn cũng được xử lý tôi. Để đảm bảo hiệu quả cứng hóa của mũi nhọn, chúng được xử lý nhiệt sau đó gia công hoàn thiện với kích thước đã được thiết kế trước.

- Đức: Đường ray sử dụng cho đường chuyển hướng của Đức chủ yếu được sản xuất từ thép được xử lý nhiệt trực tuyến (do công ty Voestalpine sản xuất), với loại thép ENR350HT (thép ray cứng hóa đầu ray). Cấp độ bền đạt 1180 MPa và độ cứng bề mặt ray trong khoảng 350 ~ 390 HB.

Tổng kết

- Đường ray mũi nhọn trên đường chuyển hướng của Nhật Bản và Pháp có cấp độ bền trong khoảng 800 ~ 880 MPa. Chúng chỉ được xử lý nhiệt trong trường hợp chịu mài mòn nghiêm trọng để tăng cấp độ bền lên 1080 ~ 1180 MPa và độ cứng bề mặt vượt quá 340 HB.

- Đối với đường chuyển hướng trên đường sắt cao tốc của Đức, ngoại trừ các phần mũi nhọn của ray chuyển động được rèn và xử lý nhiệt, toàn bộ đường ray đều được sản xuất từ thép được xử lý nhiệt trực tuyến.

4.2. Lựa chọn vật liệu đường ray cho đường chuyển hướng tại Trung Quốc

Dựa trên kinh nghiệm quốc tế và kết hợp với tình hình thực tế tại Trung Quốc, việc lựa chọn vật liệu đường ray cho đường chuyển hướng trên các tuyến đường sắt cao tốc của Trung Quốc như sau:

- Đường sắt cao tốc vận tốc 300 ~ 350 km/h: Sử dụng đường ray thép cán nóng U71MnG có cấp độ bền 880 MPa hoặc đường ray xử lý nhiệt trực tuyến.

- Đường sắt cao tốc vận tốc 200 ~ 250 km/h, có kết hợp vận tải hàng hóa: Sử dụng đường ray xử lý nhiệt trực tuyến U75VG, bao gồm các loại đường ray có mặt cắt 60kg/m, 60D40, v.v. Đường ray xử lý nhiệt trực tuyến có độ cứng bề mặt ray vượt quá 340 HB và độ sâu lớp cứng hóa lớn hơn 30 mm.

Ngoài ra, các đường chuyển hướng của đường sắt cao tốc do Công ty Công nghệ Đường chuyển hướng Mới Trung-Đức (Trung Quốc) sản xuất sử dụng đường ray xử lý nhiệt trực tuyến của Tập đoàn Voestalpine (Áo). Những đường ray này có độ cứng bề mặt ray vượt quá 350 HB và độ sâu lớp cứng hóa đầu ray lớn hơn 30 mm.

5. Lựa chọn vật liệu đường ray cho đường sắt cao tốc tại trung quốc

Đường sắt cao tốc không nên sử dụng đường ray có độ bền hoặc độ cứng quá cao, cũng như khả năng chống mài mòn vượt trội. Hiện nay, tại Trung Quốc:

- Đường sắt cao tốc vận tốc trên 200 km/h: Sử dụng đường ray thép U71MnG.

- Đường sắt vận tốc 200 ~ 250 km/h, kết hợp vận tải hàng hóa: Sử dụng đường ray thép U75VG.

Trên các tuyến đường cong có bán kính $R \leq 2800$ m, bao gồm các tuyến chính ra vào kho của tàu cao tốc, các tuyến liên kết và các đường phụ, vật liệu đường ray được lựa chọn như sau:

- Đối với các tuyến sử dụng đường ray U71MnG, các đoạn cong sử dụng đường ray đã qua xử lý nhiệt U71Mn hoặc U75V.

- Đối với các tuyến sử dụng đường ray U75VG, các đoạn cong sử dụng đường ray đã qua xử lý nhiệt U75V.

Đường ray cho bộ điều chỉnh co giãn: Sử dụng đường ray xử lý nhiệt trực tuyến với vật liệu tương tự như đường ray trên đoạn chính.

Đường ray cho các mối nối cách điện kết dính trong nhà máy: Ưu tiên sử dụng đường ray xử lý nhiệt trực tuyến có cùng vật liệu với đường ray liền kề.

V. CÁC CHỈ TIÊU KỸ THUẬT CHÍNH CỦA ĐƯỜNG RAY THÉP CHO ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

1. Độ tinh khiết bên trong

Độ tinh khiết cao bên trong vật liệu thép có vai trò quan trọng trong việc nâng cao khả năng chống mỏi và độ an toàn khi sử dụng, đây là yêu cầu cơ bản đối với đường ray cho đường sắt cao tốc. Các chỉ tiêu cụ thể bao gồm:

- Kiểm soát hàm lượng các nguyên tố có hại:

+ Hàm lượng P (phốt pho) ≤ 0.025%

+ Hàm lượng S (lưu huỳnh) ≤ 0.025%

+ Hàm lượng khí: $[H] \leq 25 \times 10^{-140}\%$, $[O] \leq 20 \times 10^{-140}\%$

- Giảm thiểu tạp chất ôxít nhôm trong thép:

+ Sử dụng phương pháp khử ôxy không dùng nhôm, đảm bảo hàm lượng nhôm trong thép ≤ 0.004%.

+ Kiểm soát chặt chẽ hàm lượng các nguyên tố dư trong thép.

- Kiểm soát hàm lượng tạp chất trong thép:

+ Tạp chất loại A: Cấp A ≤ 2, Cấp B ≤ 2.5.

+ Tạp chất loại B, C và D: Cấp A ≤ 1, Cấp B ≤ 1.5.

Những yêu cầu này đảm bảo đường ray đạt được tiêu chuẩn kỹ thuật cao nhất để đáp ứng nhu cầu vận hành an toàn và bền vững trên các tuyến đường sắt cao tốc.

2. Khiếm khuyết bề mặt

Bề mặt đường ray gần như không có khiếm khuyết ban đầu, điều này không chỉ giúp đảm bảo an toàn trong quá trình sử dụng mà còn giảm thiểu hiện tượng hư hại do mỏi tiếp xúc bề mặt, từ đó kéo dài tuổi thọ của đường ray. Đường sắt cao tốc yêu cầu kiểm soát nghiêm ngặt các khiếm khuyết bề mặt đường ray, với các tiêu chí cụ thể như sau:

- Độ sâu của khiếm khuyết hình thành trong trạng thái nóng:

+ Khu vực tiếp xúc bánh xe: Không quá 0.35 mm.

+ Các khu vực khác của đường ray: Không quá 0.5 mm.

- Độ sâu của khiếm khuyết hình thành trong trạng thái nguội:

+ Bề mặt tiếp xúc bánh xe và mặt dưới đáy ray: Không quá 0.3 mm.

+ Các khu vực khác của đường ray: Không quá 0.5 mm.

Ngoài ra, quy định cũng bao gồm các yêu cầu về việc sửa chữa và mài bề mặt đường ray, bao gồm vị trí sửa chữa, độ sâu sửa chữa, và các tiêu chí chất lượng mà đường ray phải đạt được sau khi sửa chữa. Những yêu cầu này nhằm đảm bảo bề mặt đường ray luôn đạt chất lượng tối ưu trong quá trình sử dụng.

3. Độ sâu lớp thoát cacbon

Lớp thoát cacbon trên bề mặt đường ray có thể làm giảm độ cứng bề mặt, từ đó làm giảm khả năng chống mài mòn và chống bong tróc, dẫn đến các hư hại bề mặt như mài mòn dạng sóng xuất hiện sớm hơn. Vì vậy, trước khi chính thức đưa vào vận hành sau khi căn chỉnh đường ray, cần sử dụng tàu mài để mài bề mặt đường ray.

Thông thường, đường ray trên các tuyến đường sắt cao tốc yêu cầu độ sâu lớp thoát cacbon trên bề mặt đầu ray (gần như toàn bộ lớp thoát cacbon) không được vượt quá 0.5 mm.

Nếu phương pháp gia nhiệt thép phôi thông thường không đáp ứng được yêu cầu này, cần phủ một lớp sơn chống thoát cacbon lên bề mặt phía trên của thép phôi đúc liên tục (bề mặt này sẽ trở thành bề mặt đầu ray sau khi cán). Điều này giúp kiểm soát và ngăn ngừa hiện tượng thoát cacbon, đảm bảo chất lượng bề mặt đường ray.

4. Ứng suất kéo dư

Ứng suất kéo dư tại đáy đường ray có ảnh hưởng lớn đến quá trình sử dụng đường ray. Sự tồn tại của ứng suất kéo dư làm tăng nguy cơ gãy giòn của đường ray và giảm tuổi thọ mỏi của nó.

Theo điều kiện kỹ thuật của đường ray trên các tuyến chuyên chở hành khách, ứng suất kéo dư tối đa theo phương dọc tại đáy ray không được vượt quá 250 MPa.

5. Độ dẻo dai khi gãy và tốc độ lan truyền vết nứt mỏi

Thông thường, tiêu chuẩn đường ray sử dụng tỷ lệ giãn dài sau khi đứt **(A)** để đánh giá độ dẻo của đường ray, nhưng không có yêu cầu rõ ràng đối với chỉ số về độ dẻo dai. Tuy nhiên, tiêu chuẩn kỹ thuật của đường ray cho đường sắt cao tốc tại Trung Quốc đã quy định cụ thể các chỉ số liên quan đến độ dẻo dai khi gãy và tốc độ lan truyền vết nứt mỏi như sau:

- Độ dẻo dai khi gãy (Kic): Ở nhiệt độ thử nghiệm -20°C, giá trị tối thiểu và giá trị trung bình của Kic phải lần lượt không nhỏ hơn:

+ 26 $MPa \cdot m^{1/2}$ (giá trị tối thiểu);

+ 29 $MPa \cdot m^{1/2}$ (giá trị trung bình).

- Tốc độ lan truyền vết nứt mỏi (da/dN):

+ Khi $\Delta K = 10$ MPa·m$^{1/2}$, tốc độ lan truyền vết nứt phải thỏa mãn: da/dN ≤ 17 m/Gc;

+ Khi $\Delta K = 13.5$ MPa·m$^{1/2}$, tốc độ lan truyền vết nứt phải thỏa mãn: da/dN ≤ 55 m/Gc.

Những yêu cầu này giúp đảm bảo độ bền, độ an toàn và khả năng chống mỏi tối ưu cho đường ray trên các tuyến đường sắt cao tốc.

6. Độ chính xác kích thước hình học và độ thẳng

Độ chính xác cao về kích thước hình học và độ thẳng của đường ray là yếu tố quan trọng đảm bảo sự êm ái vượt trội của đường ray trên các tuyến đường sắt cao tốc.

Tiêu chuẩn ngành đường sắt Trung Quốc "Đường ray dùng cho đường sắt cao tốc" (TB/T 3276-2011) đã quy định rõ ràng về dung sai kích thước hình học của đường ray, cũng như các tiêu chí về độ thẳng, độ vặn xoắn của đầu ray và thân ray. Những tiêu chuẩn này nhằm đảm bảo chất lượng cao nhất cho đường ray, phục vụ cho sự vận hành ổn định và an toàn của các tuyến đường sắt cao tốc.

7. Các yêu cầu khác

- Độ bền và tỷ lệ giãn dài: Đây là các chỉ số quan trọng của đường ray.

+ Đối với thép đường ray U71MnG, độ bền kéo tối thiểu (Rm) phải lớn hơn hoặc bằng 880 MPa, và tỷ lệ giãn dài (A) lớn hơn hoặc bằng 10%. Thực tế, tỷ lệ giãn dài của U71MnG có thể đạt trên 12%.

+ Đối với thép đường ray U75VG, độ bền kéo tối thiểu (Rm) phải lớn hơn hoặc bằng 980 MPa, và tỷ lệ giãn dài (A) lớn hơn hoặc bằng 10%.

- Độ cứng bề mặt sau khi loại bỏ lớp thoát cacbon:

+ Đối với thép đường ray U71MnG, độ cứng bề mặt đạt HB260 ~ 300.

+ Đối với thép đường ray U75VG, độ cứng bề mặt đạt HB280 ~ 320.

Những yêu cầu này đảm bảo đường ray đạt tiêu chuẩn chất lượng tối ưu, đáp ứng hiệu quả các điều kiện vận hành khắt khe của hệ thống đường sắt cao tốc.

VI. ĐƯỜNG RAY SỬ DỤNG CHO ĐẦU RAY MŨI NHỌN VÀ CÁNH RAY TRONG ĐƯỜNG CHUYỂN HƯỚNG CAO TỐC

Tại Trung Quốc, các đầu ray mũi nhọn và ray chuyển động lớn của đường chuyển hướng trên các tuyến đường sắt cao tốc được thiết kế như sau:

- Đường sắt cao tốc vận tốc 250 km/h: Sử dụng thép đường ray U75V có mặt cắt 60D40, được xử lý nhiệt toàn chiều dài.

- Đường sắt cao tốc vận tốc 350 km/h: Sử dụng thép đường ray U71Mk cán nóng hoặc đường ray xử lý nhiệt toàn chiều dài trực tuyến (như loại 350HT theo tiêu chuẩn châu Âu). Mặt cắt có thể là 60D40 hoặc Zul-60.

- Cánh ray đặc biệt: Sử dụng cánh ray mặt cắt đặc biệt 60TY do Trung Quốc tự nghiên cứu và sản xuất, chuyên dùng để chế tạo cánh ray.

Vấn đề tồn tại

Đường ray cho đầu ray mũi nhọn và ray chuyển động gặp vấn đề tuổi thọ ngắn, không tương xứng với chu kỳ đại tu của đường ray chính. Để khắc phục, cần tối ưu hóa cấu trúc, áp dụng vật liệu và quy trình công nghệ mới nhằm kéo dài tuổi thọ. Để đáp ứng nhu cầu nghiên cứu phát triển đường chuyển hướng cao tốc, Viện Khoa học Đường sắt Trung Quốc đã hợp tác với các nhà máy thép để phát triển các sản phẩm như đường ray 60D40 và cánh ray mặt cắt đặc biệt 60TY.

Công nghệ sản xuất cánh ray

Cánh ray trên các đường chuyển hướng hiện tại sử dụng thép 60AT, được chế tạo bằng cách rèn nóng hai đầu của thanh thép:

- Một đầu được rèn thành dạng tiêu chuẩn 60kg/m, đầu còn lại được rèn thành mặt cắt cánh ray đặc biệt.

- Sau đó, hai đầu được hàn với một đoạn đường ray tiêu chuẩn 60kg/m để tạo thành cánh ray đặc biệt.

Quy trình này, được gọi là rèn-hàn cánh ray, gặp vấn đề về độ ổn định chất lượng. Để giải quyết, Trung Quốc đã phát triển cánh ray cán nóng mặt cắt đặc biệt 60TY.

Ứng dụng

Hiện nay, cả đường ray 60D40 và cánh ray 60TY đều đã được sử dụng trên các đường chuyển hướng cao tốc tại Trung Quốc. Công nghệ này đã lấp đầy khoảng trống kỹ thuật trong nước và cung cấp sự đảm bảo công nghệ cho việc phát triển đường chuyển hướng cao tốc tự chủ.

VII. HÀN ĐƯỜNG RAY

Công nghệ hàn đường ray tại Trung Quốc đã trải qua nhiều thập kỷ phát triển và đạt được những tiến bộ lớn. Những năm gần đây, cùng với sự phát triển nhanh chóng của đường sắt cao tốc, thông qua nghiên cứu và thực hành trên nhiều công trình thực tế, Trung Quốc đã xây dựng một bộ tiêu chuẩn kỹ thuật hoàn chỉnh cho công nghệ hàn đường ray cao tốc. Bộ tiêu chuẩn này bao gồm:

- "Hàn đường ray";

- "Quy định bốc xếp và lưu trữ đường ray tiêu chuẩn dài 100 m";

- "Quy định vận chuyển và lưu trữ đường ray hàn dài";

- "Quy tắc nhận diện mối hàn đường ray";

- "Quy trình quản lý hàn đường ray tại cơ sở";

- "Tiêu chuẩn đánh giá kết quả đo bằng thiết bị đo thẳng điện tử tại mối hàn";

- "Quy trình hàn sáng cố định cho đường ray".

Bộ tiêu chuẩn này đã hình thành một hệ thống công nghệ hàn đường ray cao tốc với quyền sở hữu trí tuệ hoàn toàn tự chủ.

Quy trình hàn đường ray cho đường sắt cao tốc

Đường ray liền mạch trên các tuyến đường sắt cao tốc tại Trung Quốc được hàn từ các đoạn đường ray tiêu chuẩn dài 100 m. Quá trình hàn đường ray bao gồm hai phần chính: hàn tại cơ sở và hàn tại hiện trường.

- Hàn tại cơ sở:

+ Thực hiện tại cơ sở hàn đường ray tiêu chuẩn dài 100 m, sử dụng phương pháp hàn sáng cố định.

+ Các đoạn đường ray tiêu chuẩn dài 100 m được hàn nối thành các đoạn đường ray dài 500 m.

- Hàn tại hiện trường:

+ Hàn đơn vị: Sử dụng phương pháp hàn sáng di động để hàn nối các đoạn đường ray dài 500 m thành các đơn vị đường ray dài từ 1500 đến 2000 m.

+ Hàn khóa: Hàn nối các đơn vị đường ray dài với nhau được gọi là hàn khóa.

- Hàn đường ray trong khu vực đường chuyển hướng:

+ Sử dụng phương pháp hàn nhiệt nhôm để thực hiện hàn tại hiện trường.

Công nghệ này đảm bảo chất lượng cao, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật nghiêm ngặt của đường sắt cao tốc, góp phần nâng cao hiệu quả và độ bền của hệ thống đường ray.

1. Hàn đường ray tại cơ sở

1.1. Quy trình cơ bản và bố trí công đoạn hàn đường ray

(1) Quy trình cơ bản

Quy trình cơ bản của hàn đường ray tại cơ sở bao gồm các bước sau:

1- Dỡ và lưu trữ đường ray tiêu chuẩn dài 100 m: Đưa đường ray từ phương tiện vận chuyển xuống và đặt vào vị trí lưu trữ.

2- Kiểm tra và chọn ghép đường ray trước khi hàn: Đánh giá chất lượng và lựa chọn các đoạn đường ray phù hợp để hàn ghép.

3- Loại bỏ rỉ sét trước khi hàn: Làm sạch bề mặt đường ray để đảm bảo chất lượng mối hàn.

4- Thực hiện hàn và điều chỉnh bề mặt hàn: Tiến hành quá trình hàn và đẩy phần vật liệu thừa ở mối hàn.

5- Mài thô: Loại bỏ vật liệu dư thừa và làm phẳng bề mặt mối hàn.

6- Xử lý nhiệt: Tăng cường độ cứng và ổn định cấu trúc mối hàn bằng nhiệt.

7- Thời hóa (aging): Đảm bảo mối hàn đạt trạng thái ổn định sau xử lý nhiệt.

8- Nắn thẳng nguội: Điều chỉnh đường ray để đạt độ thẳng tiêu chuẩn sau khi hàn.

9- Mài tinh: Hoàn thiện bề mặt mối hàn để đạt yêu cầu chất lượng cao.

10- Kiểm tra thành phẩm:

- Kiểm tra bằng siêu âm để phát hiện khuyết tật bên trong mối hàn.
- Kiểm tra ngoại quan để đánh giá bề mặt mối hàn.

11- Lưu trữ và vận chuyển đường ray hàn dài: Lưu trữ và chuẩn bị vận chuyển các đoạn đường ray hàn dài.

(2) Bố trí công đoạn

Bố trí công đoạn hàn tại cơ sở được chia thành hai loại: bố trí hình chữ U và bố trí hình chữ N.

① *Bố trí hình chữ U:*

- Các công đoạn trong dây chuyền hàn đường ray được sắp xếp theo hình chữ U, bao gồm hai dây chuyền:

+ Dây chuyền hàn (hoặc dây chuyền gia công nóng).

+ Dây chuyền hoàn thiện (hoặc dây chuyền gia công nguội).

- Hai dây chuyền được kết nối với nhau thông qua hoạt động di chuyển ngang trên bàn thời hóa.

- Bố trí hình chữ U cho phép các mối hàn của đường ray được làm nguội tự nhiên. Khoảng cách giữa các công đoạn là 100 m.

- Tất cả các cơ sở hàn mới xây dựng đều áp dụng bố trí hình chữ U.

② *Bố trí hình chữ N:*

- Tại các cơ sở hàn cải tạo, do hạn chế về diện tích, bàn thành phẩm và bàn thời hóa được đặt chung, tạo thành bố trí hình chữ N.

- Nguyên lý và chức năng của bố trí hình chữ N tương tự với bố trí hình chữ U.

1.2. Chức năng và yêu cầu của các công đoạn hàn đường ray

(1) Dỡ và lưu trữ đường ray tiêu chuẩn dài 100 m

- Nền lưu trữ phải là dầm bê tông, được trang bị thanh ngang bằng thép và đảm bảo nền luôn phẳng, không bị lún.

- Đường ray không được xếp chồng đè lên nhau, vật liệu đệm giữa các lớp phải có độ dày đồng nhất và được căn chỉnh chính xác theo dầm nền.

- Đường ray cần được lưu trữ riêng biệt theo loại và gắn nhãn để dễ nhận biết.

(2) Kiểm tra trước khi hàn

- Mục tiêu: Đảm bảo chỉ sử dụng các đường ray đạt tiêu chuẩn.

- Nội dung kiểm tra:

+ Chất lượng bề mặt (kiểm tra bề mặt đáy ray bằng gương).

+ Độ thẳng và độ xoắn của phần đầu ray.

+ Các kích thước hình học chính.

(3) Loại bỏ rỉ sét trước khi hàn

- Làm sạch các bề mặt tiếp xúc giữa đường ray và điện cực của máy hàn để tránh hư hại điện cực và đảm bảo chất lượng hàn.

- Nếu bề mặt đã làm sạch bị nhiễm dầu, phải làm sạch lại.

- Độ sâu loại bỏ rỉ sét trên đỉnh đường ray không nên quá lớn để tránh ảnh hưởng đến độ thẳng của mối hàn.

(4) Hàn và đẩy phôi

- Đường ray phải được căn chỉnh đúng: đỉnh và mép làm việc phải thẳng hàng, và đường ray cần có độ uốn cong phù hợp trước khi hàn.

- Các loại máy hàn:

+ GAA80: Sử dụng phương pháp hàn điện trở nóng chảy.

+ K1000: Sử dụng phương pháp hàn xung hoặc hàn nóng chảy liên tục.

- Quy trình hàn chia thành bốn giai đoạn: làm phẳng bề mặt, gia nhiệt trước, nóng chảy, và ép nối.

- Thời gian hàn thường từ 90 ~ 120 giây.

- Kiểm tra sau hàn:

+ Chất lượng bề mặt mối hàn, phần phôi đẩy ra, độ lệch mép, lượng ép nối.

+ Đánh dấu mối hàn theo quy định để đảm bảo truy xuất nguồn gốc.

(5) Mài thô

- Mục tiêu: Loại bỏ các vết hàn thừa trên đáy ray, đỉnh ray, và các mép không làm việc.

- Yêu cầu:

+ Mài dọc theo hướng của đường ray.

+ Tránh gây cháy bề mặt khi mài.

+ Đảm bảo chiều cao mối hàn trên đáy ray từ 0 ~ 0.5 mm và không gây hư hại đáy ray.

(6) Xử lý nhiệt

- Mục tiêu: Tăng độ dẻo dai của mối hàn và đảm bảo độ cứng của mối hàn phù hợp với vật liệu gốc.

- Quy trình:

+ Sử dụng gia nhiệt cảm ứng trung tần để làm nóng toàn bộ mặt cắt đường ray.

+ Nhiệt độ gia nhiệt:

• 880 ~ 920°C đối với đầu ray.

• ≥830°C đối với đáy ray.

+ Sau khi gia nhiệt, mối hàn được làm nguội bằng khí nén với áp suất phù hợp để đảm bảo độ cứng.

(7) Thời hóa

- Mục tiêu: Làm nguội tự nhiên mối hàn sau xử lý nhiệt về nhiệt độ phòng để đạt trạng thái ổn định.

- Thời gian thời hóa tối thiểu: 24 giờ.

(8) Nắn thẳng nguội

- Sử dụng phương pháp uốn ba điểm để điều chỉnh độ thẳng của mối hàn.

- Độ thẳng của mối hàn sau nắn phải đạt tiêu chuẩn, với phần dư độ lún dự trữ không quá 0.05 mm.

- Không sử dụng phương pháp nắn thẳng để sửa chữa độ lệch mép vượt quá giới hạn.

(9) Mài tinh

- Sử dụng máy mài tinh để mài bề mặt làm việc trên đỉnh ray và mép làm việc của đầu ray.

- Phạm vi mài tối đa: 450 mm mỗi bên của mối hàn.

- Mục tiêu:

+ Giữ nguyên hình dạng đầu ray.

+ Tránh gây hư hại cơ học hoặc nhiệt lên vật liệu.

(10) Kiểm tra thành phẩm

- Kiểm tra không phá hủy bao gồm:

+ Kiểm tra siêu âm: Dò tìm khuyết tật bên trong mối hàn.

+ Kiểm tra ngoại quan: Đánh giá chất lượng bề mặt và đo độ thẳng bằng thiết bị đo điện tử.

(11) Lưu trữ và vận chuyển đường ray hàn dài

- Đường ray cần được lưu trữ gọn gàng, không chồng đè, với lớp đệm đồng nhất và căn chỉnh chính xác.

- Đánh dấu rõ ràng các đường ray để tránh nhầm lẫn khi vận chuyển.

- Trong quá trình vận chuyển, các cẩu nâng phải hoạt động đồng bộ để đảm bảo đường ray luôn ở trạng thái cân bằng.

2. Hàn đường ray tại hiện trường

2.1. Điều kiện thực hiện hàn

Phương pháp hàn tại hiện trường:

Hiện nay, hàn đường ray tại hiện trường chủ yếu sử dụng phương pháp hàn sáng di động. Các thiết bị và dụng cụ cần thiết bao gồm:

- Thiết bị sản xuất và công cụ hỗ trợ:

+ Xe hàn ray.

+ Máy cắt đường ray.

+ Bộ kéo giãn.

+ Máy mài bề mặt đầu ray.

+ Máy mài cầm tay.

+ Thiết bị nắn thẳng đường ray và mối hàn.

+ Thiết bị xử lý nhiệt (bao gồm hệ thống gia nhiệt và làm nguội).

+ Máy mài định hình.

+ Thiết bị nâng ray.

+ Con lăn kê đường ray.

+ Bàn thử nghiệm hàn.

- Thiết bị kiểm tra và dụng cụ đo lường:

+ Thước thẳng (1 m, 2 m).

+ Thước lá.

+ Thước vuông.

+ Khuôn mẫu đường ray.

+ Thước cặp.

+ Thước đo sóng mài.

+ Thiết bị đo thẳng điện tử.

+ Nhiệt kế hồng ngoại.

+ Thiết bị kiểm tra siêu âm.

+ Nhiệt kế đường ray.

Yêu cầu về điều kiện môi trường khi hàn tại hiện trường:

- Nhiệt độ:

+ Không nên thực hiện hàn nếu nhiệt độ môi trường dưới 0°C.

+ Nếu nhiệt độ dưới 10°C, cần gia nhiệt trước bằng ngọn lửa trong phạm vi 0.5 m từ đầu ray, đảm bảo nhiệt độ đồng đều và bề mặt đường ray đạt từ 35 ~ 50°C.

- Thời tiết: Không thực hiện hàn trong điều kiện mưa lớn hoặc gió mạnh.

Chuẩn bị trước khi hàn:

- Ghi số hiệu cho các đoạn đường ray hàn dài.

- Ghi chép vị trí lắp đặt, đo chiều dài, và đăng ký số hiệu mối hàn đã thực hiện tại cơ sở.

- Xác nhận rõ từng đường ray thuộc bên trái hoặc bên phải của tuyến đường.

2.2. Quy trình hàn

Quy trình hàn sáng di động của đường ray bao gồm các bước chính: chuẩn bị và kiểm tra trước khi hàn, hàn và đẩy phôi, mài thô, xử lý nhiệt, chỉnh hình và mài tinh, và kiểm tra thành phẩm (kiểm tra ngoại quan và siêu âm).

(1) Chuẩn bị thi công trước khi hàn

- Tháo dỡ đường ray:

+ Tháo toàn bộ đường ray dài ở phía trước mối hàn và ít nhất 10 m ở phía sau.

+ Đặt con lăn hỗ trợ dưới đường ray dài phía trước mối hàn, với khoảng cách 12.5 m giữa các con lăn.

+ Nâng đỡ phần đường ray phía sau mối hàn để đảm bảo hai đầu ray cần hàn được căn chỉnh trên cùng một mặt phẳng, không bị nghiêng.

(2) Xử lý đầu ray

- Nếu độ thẳng hoặc độ xoắn của đầu ray vượt quá giới hạn, cần thực hiện nắn thẳng hoặc cắt bỏ đoạn lỗi.

- Nếu đầu ray bị hư hại (ví dụ: đáy ray bị va đập), cần cắt bỏ đoạn bị hư hại.

- Nếu độ nghiêng bề mặt đầu ray không đạt chuẩn, sử dụng máy mài để làm phẳng bề mặt đầu ray.

- Trong quá trình **loại bỏ rỉ sét**, cần làm phẳng các dấu hiệu nổi trong phạm vi tiếp xúc của điện cực. Các yêu cầu khác tương tự quy trình hàn sáng cố định.

(3) Hàn và đẩy phôi

- Phương pháp hàn:

+ Sử dụng hàn sáng liên tục hoặc hàn sáng xung nhịp.

+ Các yêu cầu kỹ thuật tham khảo từ quy trình hàn sáng cố định.

- Lưu ý quan trọng:

+ Nếu bộ phận cố định ở một đầu ray chưa được tháo hoàn toàn hoặc kê đúng cách, sẽ làm tăng lực cản kéo và ảnh hưởng đến chất lượng hàn.

+ Khi thực hiện hàn kéo khóa, sử dụng phương pháp giữ áp lực để đẩy phôi.

+ Chỉ giảm lực kéo khi mối hàn nguội xuống dưới 400°C.

- Cảnh báo:

+ Mối hàn ở nhiệt độ cao không được chịu ứng suất kéo.

+ Đẩy phôi không đúng cách có thể gây nứt dọc theo tinh thể. Nếu đẩy phôi thất bại, cần cắt bỏ và hàn lại.

(4) Mài thô, xử lý nhiệt, chỉnh hình, và kiểm tra thành phẩm

- Các yêu cầu kỹ thuật tương tự quy trình hàn sáng cố định.

- Lưu ý quan trọng:

+ Xử lý nhiệt phải được thực hiện khi mối hàn không chịu lực.

+ Quá trình xử lý nhiệt phải tuân thủ nghiêm ngặt các yêu cầu về gia nhiệt và làm nguội theo quy trình kỹ thuật.

2.3. Hàn nhiệt nhôm trong đường chuyển hướng

Hàn các mối nối trong khu vực đường chuyển hướng thường sử dụng phương pháp hàn nhiệt nhôm, một dạng hàn điền đầy. Trước khi hàn, cần để lại khe hở giữa các đường ray. Quy trình cơ bản bao gồm:

1- Chuẩn bị trước khi hàn.

2- Căn chỉnh đường ray.

3- Lắp đặt và cố định khuôn cát.

4- Gia nhiệt trước.

5- Thực hiện hàn.

6- Đẩy phôi thừa.

7- Mài mối hàn.

8- Kiểm tra khuyết tật bằng phương pháp siêu âm.

9- Kiểm tra độ thẳng.

Yêu cầu quy trình

- Quy trình hàn được thực hiện theo sổ tay hướng dẫn của nhà cung cấp vật liệu hàn nhiệt nhôm và xác nhận thông qua kiểm tra kiểu mẫu.

- Các yếu tố như khuôn cát hoặc chất trợ hàn bị ẩm, nhiệt độ gia nhiệt trước không đủ có thể ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng hàn.

Các khuyết tật phổ biến

- Khí rỗng (bong bóng khí).

- Kẹp xỉ.

- Hiện tượng ăn mòn cạnh (cạnh bị khuyết).

Thứ tự hàn: Thứ tự thực hiện các mối hàn nhiệt nhôm trong đường chuyển hướng được xác định dựa trên thiết kế và yêu cầu lắp đặt của đường chuyển hướng.

3. Các chỉ tiêu kỹ thuật chính và kiểm soát chất lượng mối hàn đường ray

3.1. Các chỉ tiêu kỹ thuật chính

(1) Độ thẳng của mối hàn

- Phương pháp đo: Sử dụng thiết bị đo điện tử để kiểm tra độ thẳng trong phạm vi 1 m tính từ tâm đường hàn.

- Yêu cầu về độ thẳng bề mặt đỉnh ray:

+ Vị trí đo: Trên trục dọc của bề mặt đỉnh ray.

+ Độ thẳng bề mặt đỉnh ray của mối hàn không được vượt quá 0.2 mm, và không được có hiện tượng mối hàn thấp hơn so với bề mặt tiêu chuẩn (độ thẳng phải ≥ 0).

+ Khi kiểm tra tại cơ sở hàn, cần tính đến độ lún trong quá trình vận chuyển và lắp đặt, thường giữ lại độ lún dự trữ 0.1 mm, tức giá trị đo phải nằm trong khoảng từ 0.1 mm đến 0.3 mm.

- Yêu cầu về độ thẳng mép làm việc của đầu ray:

+ Vị trí đo: Cách đỉnh ray 16 mm, tại vị trí đường chuẩn (đường ray tiếp xúc với bánh xe).

+ Độ thẳng mép làm việc của đầu ray không được vượt quá 0.3 mm.

+ Đối với chiều cong, chỉ cho phép hướng làm tăng khoảng cách đường ray, không được làm hẹp khoảng cách.

(2) Chất lượng bề mặt mối hàn

- *Độ phẳng bề mặt mối hàn*: Trong phạm vi 100 mm từ tâm mối hàn về hai phía, độ phẳng bề mặt không được vượt quá 0.2 mm.

- *Yêu cầu về độ sâu mài*: Độ sâu mài trên bề mặt đỉnh ray và mép làm việc của đầu ray không được vượt quá 0.5 mm.

- *Hư hại bề mặt*: Mối hàn và khu vực lân cận không được có các khuyết tật như:

+ Nứt.

+ Vết lõm rõ rệt.

+ Vết xước.

+ Vết va đập.

+ Dấu cháy điện cực hoặc cháy do mài.

(3) Tính chất cơ học của mối hàn

Các chỉ số tính chất cơ học của mối hàn bao gồm: uốn tĩnh, kéo, độ va đập, và độ cứng. Khi thép và phương pháp hàn giống nhau, tính chất cơ học chủ yếu phụ thuộc vào quy trình hàn và xử lý nhiệt.

① *Uốn tĩnh:*

- Thực hiện trên toàn bộ mẫu mối hàn, phản ánh tính chất tổng hợp của mối hàn.
- Tải trọng uốn tĩnh phản ánh độ bền của mối hàn.
- Độ võng tĩnh phản ánh tính dẻo của mối hàn.

② *Độ cứng:*

- Cũng được đo trên toàn bộ mẫu mối hàn.
- Độ cứng Brinell trên bề mặt đỉnh ray phản ánh khả năng chống mài mòn, thường cần tương đương hoặc cao hơn một chút so với vật liệu gốc.
- Độ cứng Rockwell trên mặt cắt dọc của mối hàn phản ánh độ cứng tại các phần đầu ray, thân ray, và đáy ray, giúp xác định độ cứng của các vùng nhỏ và phạm vi xử lý nhiệt.

③ *Tính chất kéo:*

- Được kiểm tra bằng mẫu kéo làm từ vật liệu mối hàn thật.
- Các mẫu được lấy từ ba vị trí: đầu ray, thân ray, và đáy ray.
- Quy trình hàn và xử lý nhiệt có ảnh hưởng trực tiếp đến tính chất kéo.

④ *Tính chất va đập:*

- Thử nghiệm va đập sử dụng mẫu lấy từ mối hàn thật.
- Các mẫu cũng được lấy từ ba vị trí: đầu ray, thân ray, và đáy ray.
- Tính chất va đập phản ánh độ dẻo dai của mối hàn và phụ thuộc nhiều vào quy trình xử lý nhiệt.

(4) Cấu trúc vi mô và kích thước hạt của mối hàn

- *Cấu trúc vi mô*:

+ Mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt có cấu trúc vi mô chủ yếu là pearlite và một lượng nhỏ ferrite.

+ Không được phép xuất hiện các cấu trúc như martensite, bainite, hoặc Widmanstätten.

+ Loại cấu trúc này chủ yếu phụ thuộc vào quy trình xử lý nhiệt.

- *Kích thước hạt*: Phản ánh sự đồng đều và ổn định của mối hàn, cũng phụ thuộc vào kỹ thuật xử lý nhiệt.

(5) Tính chất mỏi

- Thử nghiệm mỏi thực tế được thực hiện ở nhiệt độ phòng:

+ Mẫu thử được đặt tựa đơn giản trên hai gối của máy thử, với khoảng cách giữa hai gối là 1.0 m.

+ Đỉnh đầu ray hướng lên trên, chịu tải trọng tập trung tại tâm khoảng cách gối, ngay vị trí trung tâm của mối hàn.

+ Thử nghiệm mỏi được thực hiện dưới chế độ uốn xung nhịp.

- Thông số tải trọng:

+ Dựa trên loại đường ray để xác định tải trọng. Tỷ lệ tải trọng (R) là 0.2.

+ Đối với mối hàn sáng của đường ray loại 60 kg/m:

• Tải trọng nhỏ nhất: 95 kN.

• Tải trọng lớn nhất: 470 kN.

+ Mối hàn được coi là đạt yêu cầu nếu chịu được trên 2 triệu chu kỳ tải trọng mà không bị gãy.

- Các yếu tố làm giảm độ bền mỏi của mối hàn:

+ Khuyết tật bên trong mối hàn.

+ Đẩy phôi không đạt tiêu chuẩn.

+ Xử lý bề mặt mối hàn không đúng cách.

(6) Thử nghiệm búa rơi và kiểm tra mặt gãy

** Thử nghiệm búa rơi:*

- Mục tiêu: Kiểm tra các khuyết tật trong mối hàn, đồng thời đánh giá tính ổn định của chất lượng hàn thông qua thử nghiệm búa rơi liên tục.

- Thông số đối với mối hàn sáng của đường ray loại 60 kg/m:

+ Khoảng cách giữa hai gối đỡ: 1 m.

+ Chiều cao búa rơi:

- 3.1 m: Mối hàn phải chịu được 2 lần búa rơi liên tục mà không gãy.
- 5.2 m: Mối hàn phải chịu được 1 lần búa rơi mà không gãy.

+ Khối lượng búa: 1000 kg.

+ Khối lượng đe đỡ: Không nhỏ hơn 10 t, với nền móng cứng chắc.

** Kiểm tra mặt gãy sau thử nghiệm:*

- Nếu mối hàn không bị gãy sau thử nghiệm, tiếp tục dùng búa đập cho gãy để kiểm tra mặt gãy.

- Tiêu chuẩn:

+ Diện tích vết xỉ xám đơn lẻ không vượt quá 10 mm^2.

+ Tổng diện tích vết xỉ xám không vượt quá 20 mm^2.

+ Không được có khuyết tật như hàn không liên kết hoặc cháy quá mức.

3.2. Kiểm soát chất lượng

(1) Tối ưu hóa thông số quy trình hàn

- Mục tiêu: Kiểm soát và giảm thiểu các khuyết tật vết xỉ xám.

- Một bộ thông số hàn được coi là đạt chuẩn nếu mối hàn được thực hiện theo thông số này có thể vượt qua thử nghiệm búa rơi liên tiếp trên 25 mối hàn.

- Nếu không đạt yêu cầu, cần phân tích hình thái mặt gãy và dữ liệu từ quá trình hàn để điều chỉnh thông số, sau đó tiếp tục thử nghiệm đến khi đạt yêu cầu.

- Việc kiểm soát khuyết tật vết xỉ xám thông qua thử nghiệm búa rơi liên tục là đặc điểm nổi bật của công nghệ hàn đường ray tại Trung Quốc.

(2) Điều chỉnh thông số trong quá trình kiểm tra sản xuất

- Dựa trên kết quả từ thử nghiệm búa rơi và kiểm tra mặt gãy, có thể thực hiện điều chỉnh nhỏ các thông số hàn.

- Mọi điều chỉnh phải được kiểm nghiệm và chứng minh hiệu quả qua thử nghiệm.

- Mục tiêu: Cải thiện khả năng chịu lực của mối hàn, giảm diện tích vết xỉ xám và tối ưu hóa thông số hàn.

(3) Duy trì trạng thái ổn định của thiết bị hàn

- Trạng thái ổn định của thiết bị là cơ sở đảm bảo chất lượng hàn ổn định.

- Các thiết bị quan trọng cần được bảo trì và kiểm soát chặt chẽ, bao gồm:

+ Điện cực máy hàn.

+ Dao đẩy phôi.

+ Hệ thống cách điện của máy hàn.

+ Hệ thống điều khiển servo.

+ Dầu thủy lực và hệ thống làm mát.

(4) Duy trì điều kiện môi trường ổn định

Các yếu tố môi trường cần được kiểm soát, bao gồm:

- Nhiệt độ và độ ẩm môi trường.

- Điện áp lưới điện.

- Nhiệt độ của đường ray.

(5) Thực hiện đúng thao tác hàn

Đảm bảo thao tác hàn chính xác, bao gồm:

- Loại bỏ rỉ sét đạt chất lượng.

- Đảm bảo độ uốn cong sơ bộ của đường ray trước khi hàn đáp ứng yêu cầu kỹ thuật.

CHƯƠNG 5. ĐƯỜNG CHUYỂN HƯỚNG CAO TỐC

Đường chuyển hướng cao tốc đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an toàn và ổn định khi tàu vận hành, đồng thời là một trong những công nghệ cốt lõi trong xây dựng đường sắt cao tốc.

Vào năm 2005, Bộ Đường sắt Trung Quốc (trước đây) đã đưa ra lộ trình kỹ thuật với ba hướng chiến lược: nhập khẩu công nghệ đường chuyển hướng từ Pháp, hợp tác sản xuất giữa Trung Quốc và Đức, và nghiên cứu phát triển độc lập. Một nhóm nghiên cứu chuyên trách đã được thành lập để thúc đẩy quá trình này.

Qua các giai đoạn nghiên cứu lý thuyết, thiết kế cấu trúc, thử nghiệm sản xuất, lắp đặt và kiểm tra thực tế, Trung Quốc đã thành công trong việc phát triển loạt đường chuyển hướng cao tốc với tốc độ thiết kế 250 km/h và 350 km/h, bao gồm các mẫu 18#, 42#, 62#.

Những sản phẩm này đã được ứng dụng rộng rãi trên các tuyến đường sắt cao tốc quan trọng như Thượng Hải-Hàng Châu, Bắc Kinh-Thạch Gia Trang, và Cáp Nhĩ Tân-Đại Liên, góp phần đáng kể vào sự phát triển công nghệ trong lĩnh vực đường chuyển hướng tại Trung Quốc.

I. YÊU CẦU KỸ THUẬT VÀ ĐẶC ĐIỂM CỦA ĐƯỜNG CHUYỂN HƯỚNG CAO TỐC

1. Phân loại đường chuyển hướng cao tốc

Đường chuyển hướng cao tốc được phân loại theo các tiêu chí sau:

(1) Theo tốc độ cho phép qua hướng thẳng:

- Loại cho phép tốc độ 250 km/h.
- Loại cho phép tốc độ 350 km/h.

(2) Theo tốc độ cho phép qua hướng cong (hướng bên):

- Loại cho phép tốc độ 80 km/h.

- Loại cho phép tốc độ 160 km/h.

- Loại cho phép tốc độ 220 km/h.

(3) Theo chức năng của đường chuyển hướng:

- Đường chuyển hướng chính tuyến: Được đặt tại khu vực họng ga, cho phép tàu chuyển từ chính tuyến sang tuyến đón tiễn.

- Đường chuyển hướng đổi tuyến: Được đặt ngoài khu vực họng ga, cho phép tàu chuyển đổi giữa tuyến lên và tuyến xuống.

- Đường chuyển hướng liên tuyến: Được đặt ngoài khu vực họng ga, cho phép tàu chuyển đổi giữa hai tuyến đường sắt cao tốc.

- Tốc độ cho phép qua hướng cong:

+ Đường chuyển hướng chính tuyến: Tối đa 80 km/h.

+ Đường chuyển hướng đổi tuyến: Từ 80 ~ 160 km/h.

+ Đường chuyển hướng liên tuyến: Từ 120 ~ 220 km/h.

(4) Theo loại nền đường:

- Đường chuyển hướng có đá ballast.

- Đường chuyển hướng không có đá ballast.

(5) Theo loại công nghệ:

- Đường chuyển hướng cao tốc do Trung Quốc tự nghiên cứu phát triển (gọi tắt là loạt đường chuyển hướng khách chuyên).

- Đường chuyển hướng nhập khẩu công nghệ từ Pháp (gọi tắt là loạt CZ).

- Đường chuyển hướng sản xuất hợp tác Trung-Đức (gọi tắt là loạt CN).

(6) Theo số hiệu của đường chuyển hướng:

- Trung Quốc sử dụng các số hiệu 18#, 42#, 62#.

- Đường chuyển hướng sử dụng công nghệ Pháp hoặc Đức có số hiệu khác, bao gồm:

+ Pháp: 18#, 41#, 58#.

+ Đức: 18#, 42#, 50#.

2. Yêu cầu kỹ thuật đối với đường chuyển hướng cao tốc

2.1. Tốc độ cao

- Đường chuyển hướng cao tốc yêu cầu tốc độ cho phép ở hướng thẳng phải tương đương với tốc độ của đoạn tuyến chính, không được trở thành thiết bị giới hạn tốc độ trên tuyến đường sắt cao tốc.

- Tốc độ cho phép ở hướng cong (hướng bên) cũng phải tương đối cao, không gây ảnh hưởng đến khả năng thông qua của đường sắt cao tốc.

- Để đảm bảo an toàn, tốc độ thiết kế của hướng thẳng cần có mức dự trữ an toàn là 10%, và tốc độ thiết kế của hướng cong cần dự trữ an toàn là 10 km/h.

2.2. Độ an toàn cao

- Đường chuyển hướng cao tốc yêu cầu đảm bảo các chỉ số an toàn như tỷ lệ giảm tải và hệ số trật bánh khi tàu chạy thẳng hoặc qua hướng cong ở tốc độ thiết kế, phải tương đương với tuyến đường chính.

- Lượng mở của mũi ghi và tim ghi trong giới hạn cho phép, không được gây ra va chạm giữa bánh xe với mũi ghi hoặc đầu tim ghi.

- Thiết bị chuyển đổi phải hoạt động bình thường, không xuất hiện "vệt sáng đỏ" hoặc lỗi tín hiệu.

- Các bộ phận có thể chuyển động phải được khóa chặt; không để vật lạ rơi vào giữa mũi ghi và ray cơ bản, giữa tim ghi và cánh ray, hoặc làm cong cần chuyển, gây ra hiện tượng trật bánh.

2.3. Độ ổn định cao

- Khi tàu qua đường chuyển hướng ở tốc độ vận hành, không được xuất hiện hiện tượng "nhảy tàu" do sự phân bố độ cứng không đồng đều của kết cấu đường ray.

- Không xảy ra hiện tượng "lắc ngang" rõ rệt.

- Đảm bảo hành khách có cảm giác thoải mái tương tự như khi đi trên tuyến đường chính, cả về chiều dọc và ngang.

2.4. Độ tin cậy cao

- Đường sắt cao tốc áp dụng mô hình vận hành đóng cửa ban ngày và mở cửa "khe hở thời gian" ban đêm để bảo trì.

- Đường chuyển hướng cao tốc phải có độ tin cậy cao, tránh các lỗi thường gặp như kẹt cơ hoặc kiểm tra khít không hiệu quả ở các đường chuyển hướng cũ.

2.5. Độ phẳng cao

- Tất cả cấu trúc đường ray, bao gồm đường chuyển hướng, phải đảm bảo độ phẳng cao để duy trì an toàn và ổn định khi tàu chạy ở tốc độ cao.

- Chú trọng kiểm soát:

+ Sóng dài liên quan đến tần số tự nhiên của tàu.

+ Sóng ngắn ảnh hưởng đến mối quan hệ giữa bánh xe và đường ray.

- Độ phẳng của đường chuyển hướng còn bao gồm:

+ Sự tiếp xúc khít giữa mũi ghi và ray cơ bản, giữa tim ghi và cánh ray, giữa các tấm trượt và thanh chèn.

+ Các bộ phận lớn trong đường chuyển hướng phải đồng bộ và ổn định trong quá trình chuyển đổi, tránh giảm khoảng cách ray hoặc lệch vị trí.

2.6. Độ chính xác cao

- Đường chuyển hướng gồm hàng nghìn bộ phận, mỗi bộ phận phải tuân thủ chặt chẽ các tiêu chuẩn dung sai trong sản xuất.

- Yêu cầu:

+ Sản xuất: Các nhà sản xuất phải nâng cấp thiết bị và công nghệ để đáp ứng yêu cầu sản xuất chính xác cao.

+ Lắp ráp: Cần có nền tảng lắp ráp chính xác cao và quy trình lắp ráp từng nhóm.

+ Lắp đặt: Sử dụng thiết bị nâng hạ lớn và hệ thống hỗ trợ chắc chắn cho đường chuyển hướng không có đá ballast; sử dụng máy móc bảo trì lớn cho đường chuyển hướng có đá ballast.

2.7. Độ ổn định cao và ít bảo trì

- Đường chuyển hướng cao tốc phải đủ độ bền để chịu tải trọng của tàu và ảnh hưởng của nhiệt độ, hạn chế tối đa biến dạng dư.

- Có độ ổn định cao trong cấu trúc và yêu cầu ít bảo trì.

2.8. Dễ bảo trì

- Khi xảy ra các vấn đề như sai lệch độ phẳng hoặc hư hỏng nghiêm trọng, cần dễ dàng sửa chữa hoặc thay thế các bộ phận trong thời gian bảo trì ban đêm.

- Thiết kế đường chuyển hướng cao tốc phải cân nhắc đến phương pháp và quy trình bảo trì để đảm bảo xử lý nhanh chóng, đưa tuyến đường trở lại hoạt động bình thường với tốc độ yêu cầu.

3. Đặc điểm kỹ thuật của đường chuyển hướng cao tốc

3.1. Hệ thống tích hợp giữa công trình và điện khí

Đường chuyển hướng cao tốc là một hệ thống tích hợp, bao gồm các bộ phận công trình và điện khí, tạo thành một tổ hợp không thể tách rời để thực hiện chức năng chuyển hướng và đảm bảo hiệu suất kỹ thuật cao.

Yêu cầu đối với bộ phận công trình:

- Phải chừa đủ không gian và tạo điều kiện thuận lợi cho việc lắp đặt các thiết bị điện khí.

- Đòi hỏi độ chính xác cao trong sản xuất và lắp ráp tại các điểm giao giữa công trình và điện khí.

Yêu cầu đối với bộ phận điện khí:

- Đảm bảo chuyển đổi ổn định, không gây hiện tượng cong vênh hoặc lệch vị trí ở mũi ghi và tim ghi.

- Cho phép mũi ghi và tim ghi co giãn tự do, đảm bảo khả năng khít chặt và khóa an toàn.

- Hoạt động bình thường trong điều kiện mưa hoặc tuyết.

- Theo dõi và giám sát trạng thái tiếp xúc giữa mũi ghi với ray cơ bản, tim ghi với cánh ray theo thời gian thực.

⇒ Đường chuyển hướng cao tốc có thể được coi là một thiết bị cơ điện có độ chính xác cao.

3.2. Cấu trúc an toàn, ổn định và đáng tin cậy

- Đường chuyển hướng cao tốc, với yêu cầu hiệu suất kỹ thuật cao, chủ yếu sử dụng cấu trúc tim ghi di động, chủ yếu là loại đường chuyển hướng đơn.

- Không áp dụng các dạng cấu trúc phức tạp thường gặp ở đường chuyển hướng tốc độ thường như:

+ Đường chuyển hướng đối xứng, đường chuyển hướng ba nhánh, đường chuyển hướng cong, đường chuyển hướng giao cắt, đường chuyển hướng liên kết.

Các đặc điểm cấu trúc chính:

- Lắp đặt trên đoạn tuyến không mối nối trong khoảng cách lớn.

- Tất cả các mối nối (hướng thẳng và hướng cong) đều là mối nối hàn.

- Mũi ghi và tim ghi ở điểm kéo đầu tiên sử dụng cơ chế khóa bên ngoài.

- Hướng cong sử dụng đường cong chuyển tiếp mịn và tim ghi đàn hồi kép có thể uốn cong.

- Được thiết kế với độ nghiêng đáy ray hoặc đỉnh ray.

- Không áp dụng siêu cao và không mở rộng khoảng cách ray ở đường cong dẫn hướng.

- Sử dụng các bộ phận liên kết đàn hồi, thanh ngang bằng bê tông hoặc nền đường không có đá ballast.

3.3. Khả năng thích ứng tốt với điều kiện tại Trung Quốc

- Tính linh hoạt trong vận hành:

+ Đường sắt cao tốc Trung Quốc với tốc độ 300 ~ 350 km/h chủ yếu phục vụ hành khách, trong khi các tuyến tốc độ 200 ~ 250 km/h có một số tuyến phục vụ cả hành khách và hàng hóa.

+ Đường chuyển hướng cao tốc phải đáp ứng các điều kiện vận hành đa dạng này.

- Thích ứng với môi trường khí hậu:

+ Trung Quốc có diện tích lớn với sự chênh lệch nhiệt độ đáng kể giữa các khu vực.

+ Đường chuyển hướng cao tốc cần thích ứng với các khu vực có chênh lệch nhiệt độ ray lớn và phù hợp với các tuyến không mối nối liên vùng.

- Tương thích với các loại nền đường:

+ Trung Quốc có nhiều kiểu nền đường tại khu vực đường chuyển hướng, bao gồm:

• Đường chuyển hướng có đá ballast.

• Đường chuyển hướng không có đá ballast, như kiểu ray chìm hoặc trên tấm bê tông.

+ Đường chuyển hướng cao tốc cần phải tương thích với cả hai loại nền này.

- Phù hợp với điều kiện xây dựng đặc biệt:

+ Với mục tiêu tiết kiệm đất và kiểm soát lún, nhiều nhà ga trên tuyến đường sắt cao tốc được xây dựng trên cầu cạn.

+ Đường chuyển hướng cao tốc phải đáp ứng yêu cầu lắp đặt trên cả nền đất và cầu cạn.

3.4. Công nghệ sản xuất hiện đại và tích hợp hệ thống

Để đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của đường chuyển hướng cao tốc, quá trình sản xuất phải sử dụng các thiết bị và công nghệ hiện đại, bao gồm:

- Máy phay CNC dài dạng cổng.
- Máy cưa khoan CNC chính xác cao.
- Máy ép tải trọng lớn.
- Máy hàn ray tiên tiến.
- Thiết bị nâng hạ kích thước lớn.
- Nền tảng lắp ráp chính xác cao.

Quản lý chất lượng nghiêm ngặt:

- Áp dụng hệ thống quản lý chất lượng chặt chẽ cho nguyên vật liệu, linh kiện mua ngoài, và quy trình sản xuất.

- Tạo lập mô hình cung ứng tích hợp, trong đó nhà máy sản xuất đường chuyển hướng chịu trách nhiệm chính, kết hợp với hệ thống giám sát tại nhà máy để đảm bảo chất lượng sản phẩm.

3.5. Quy trình lắp đặt cơ giới hóa, tiêu chuẩn hóa và chuyên nghiệp hóa

Tầm quan trọng của lắp đặt:

Lắp đặt đường chuyển hướng cao tốc là một giai đoạn cực kỳ quan trọng để đảm bảo hiệu suất kỹ thuật cao. Thành công của lắp đặt được đánh giá qua khả năng đạt được tốc độ vận hành cho phép ngay sau khi đưa vào hoạt động.

Phương pháp lắp đặt:

- Chủ yếu áp dụng phương pháp lắp đặt tại chỗ (in situ).
- Một số ít trường hợp sử dụng phương pháp di chuyển lắp đặt.

Lắp đặt đường chuyển hướng có đá ballast:

- Tập trung vào hai khâu cốt lõi: "lắp đặt" và "bảo dưỡng".
- Trong quá trình nâng, vận chuyển và lắp đặt, sử dụng các thiết bị như:
+ Xe chuyên dụng,
+ Cần cẩu tải trọng lớn,
+ Bộ nâng đặc biệt,
+ Xe di chuyển đặc thù.
- Trong bảo dưỡng và sửa chữa, sử dụng máy dằn đường chuyển hướng để đảm bảo nền đường chặt và ổn định, hỗ trợ chắc chắn cho đường chuyển hướng.

Lắp đặt đường chuyển hướng không có đá ballast (loại ray chìm hoặc trên tấm bê tông):

- Quy trình thường gồm:
+ Lắp ráp trước tại nhà máy.
+ Vận chuyển theo từng đoạn.
+ Tinh chỉnh tại hiện trường và đổ bê tông nền ray.
- Sử dụng hệ thống hỗ trợ chắc chắn để điều chỉnh phương đứng và phương ngang, tránh hiện tượng di chuyển hoặc treo lơ lửng trong quá trình thi công.

Lắp đặt đường chuyển hướng không có đá ballast dạng tấm bê tông:

- Đặc biệt chú trọng:

+ Độ phẳng của tấm bê tông.

+ Độ chính xác của khoảng cách lỗ chốt.

- Sử dụng công nghệ đo lường chính xác để định vị đúng hình dạng và vị trí hình học của đường chuyển hướng.

Điều chỉnh chính xác:

- Quá trình tinh chỉnh đường chuyển hướng không có đá ballast cần sự hỗ trợ của các thiết bị:

+ Xe đo ray,

+ Máy đo toàn đạc,

+ Phần mềm điều chỉnh chuyên dụng.

- Thực hiện tinh chỉnh độ cao, khoảng cách ray để khắc phục các sai lệch hình học vượt mức trong quá trình thi công, đảm bảo đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật sau khi lắp đặt.

3.6. Quản lý bảo trì thông tin hóa và khoa học hóa

- Để duy trì hiệu suất kỹ thuật cao của đường chuyển hướng trong thời gian dài, giảm khối lượng bảo trì, và đảm bảo trạng thái hoạt động được kiểm soát một cách có hệ thống, cần áp dụng phương pháp bảo trì dựa trên thông tin hóa và khoa học hóa.

Hệ thống giám sát đường chuyển hướng:

Sử dụng hệ thống giám sát để quản lý đường chuyển hướng cao tốc thông qua thông tin hóa, chuyển đổi từ bảo trì sửa chữa khi có sự cố sang bảo trì theo trạng thái.

Các yêu cầu bảo trì cụ thể:

- Về tốc độ cao và độ phẳng cao: Tập trung kiểm soát các yếu tố như sóng dài và sóng ngắn để duy trì độ phẳng của đường ray.

- Về an toàn cao và ổn định cao: Đảm bảo duy trì mối quan hệ giữa bánh xe và đường ray, bao gồm:

+ Chênh lệch chiều cao giữa mũi ghi và ray cơ bản.

+ Độ khít giữa tấm trượt và thanh chèn.

+ Độ nghiêng đáy ray và hình dáng bề mặt ray.

- Về sự thoải mái cao: Bảo trì độ cứng của đường ray để đảm bảo hành khách có trải nghiệm thoải mái.

- Về độ tin cậy cao: Chú trọng kiểm tra và bảo trì các yếu tố sau:

+ Trạng thái hình học của đường ray.

+ Kiểm tra khuyết tật ray.

+ Kiểm tra hoạt động chuyển đổi của hệ thống điện khí.

+ Hệ thống làm tan tuyết và thiết bị giám sát.

4. Công nghệ cốt lõi của đường chuyển hướng cao tốc

Việc phát triển đường chuyển hướng cao tốc đòi hỏi phải giải quyết một cách toàn diện các vấn đề công nghệ quan trọng liên quan đến động lực học, độ tin cậy, khả năng thích ứng, và tiêu chuẩn kỹ thuật. Điều này cần được thực hiện đồng bộ qua các giai đoạn: nghiên cứu, thiết kế, chế tạo, và lắp đặt.

4.1. Động lực học

Trong lĩnh vực động lực học, cần giải quyết các công nghệ then chốt để đảm bảo an toàn và ổn định cho đường chuyển hướng cao tốc:

(1) Thiết kế mối quan hệ giữa bánh xe và ray của đường chuyển hướng cao tốc

- Đây là yếu tố kỹ thuật quan trọng nhất trong thiết kế đường chuyển hướng cao tốc.

- Một thiết kế không đạt yêu cầu có thể gây ra hiện tượng không phẳng trong cấu trúc đường chuyển hướng, làm gia tăng tác động động lực giữa bánh xe và ray, ảnh hưởng đến sự ổn định của tàu chạy, thậm chí có thể dẫn đến nguy cơ trật bánh.

(2) Thiết kế hợp lý và đồng đều hóa độ cứng của đường ray

- Đảm bảo sự thoải mái khi vận hành tàu cao tốc, với độ cứng của đường ray được thiết kế phù hợp và đồng đều.

- Sự bất hợp lý hoặc không đồng đều trong độ cứng của ray là nguyên nhân chính dẫn đến giảm sự thoải mái khi tàu chạy và cũng là yếu tố hạn chế tốc độ tăng cao của tàu.

(3) Thiết kế các bộ phận đường ray dài và cấu trúc tim ghi đàn hồi kép có thể uốn cong

- Đáp ứng yêu cầu về độ phẳng cao của đường chuyển hướng cao tốc.

- Trong quá khứ, các bộ phận đường ray dài tại các đường chuyển hướng ở Trung Quốc thường gặp vấn đề chuyển đổi không đủ vị trí, làm ảnh hưởng đến sự ổn định của tàu chạy.

4.2. Độ tin cậy

Trong lĩnh vực độ tin cậy, cần giải quyết các vấn đề kỹ thuật tồn tại lâu dài trong đường chuyển hướng, bao gồm mài mòn cạnh bên của mũi ghi, kẹt cơ trong quá trình chuyển đổi, và kiểm tra khít không hiệu quả.

(1) Thiết kế đường chuyển hướng cao tốc phù hợp với điều kiện vận hành tại Trung Quốc

- Với các đặc điểm vận hành như tải trọng trục lớn, tốc độ cao, và mật độ vận hành dày đặc của tuyến hỗn hợp khách - hàng hóa, các mũi ghi và tim ghi trong đường chuyển hướng thường bị mài mòn và hư hỏng nghiêm trọng.

- Đặc biệt, các đường chuyển hướng trên tuyến hành khách - hàng hóa tốc độ 200 ~ 250 km/h cần được giải quyết ưu tiên các vấn đề này.

(2) Thiết kế tối ưu hóa đường chuyển hướng không mối nối cho tuyến không mối nối liên vùng

Giải quyết các vấn đề phổ biến như kẹt cơ trong chuyển đổi và biến dạng cong vênh ở đường chuyển hướng cao tốc.

(3) Thiết kế tích hợp hệ thống công trình và điện khí để đảm bảo độ tin cậy và ổn định

- Các điểm giao giữa hệ thống công trình và điện khí là thách thức lớn trong thiết kế đường chuyển hướng, đặc biệt là ở khu vực tim ghi động.

- Các vấn đề như "lật ngược" của tim ghi động hoặc kiểm tra thất bại cần được xử lý để đảm bảo sự ổn định và đáng tin cậy của đường chuyển hướng cao tốc.

4.3. Khả năng thích ứng

Trong lĩnh vực khả năng thích ứng, cần giải quyết các vấn đề kỹ thuật liên quan đến việc lắp đặt đường chuyển hướng cao tốc trên nền đường không có đá ballast và cầu cạn.

(1) Thiết kế và thi công nền không có đá ballast cho đường chuyển hướng cao tốc

- Nền không có đá ballast là loại kết cấu chính của đường ray trên tuyến cao tốc 350 km/h ở Trung Quốc.

- Tuy nhiên, vào thời điểm đó, kỹ thuật thiết kế và thi công đường chuyển hướng trong khu vực sử dụng nền dạng ray chìm với thanh ngang dài và dạng tấm bê tông đúc sẵn vẫn còn là một khoảng trống kỹ thuật tại Trung Quốc.

(2) Lý thuyết và phương pháp thiết kế đường chuyển hướng không mối nối trên cầu cạn

- Với số lượng lớn các nhà ga cao tốc được xây dựng trên cầu cạn, việc thiết kế đường chuyển hướng không mối nối trên cầu là một thách thức kỹ thuật tổng hợp.

- Nó tích hợp các công nghệ liên quan như:

+ Tuyến không mối nối trên cầu.

+ Đường chuyển hướng không mối nối.

+ Nền đường không có đá ballast.

+ Động lực học hệ thống tàu - đường chuyển hướng.

+ Động lực học hệ thống tàu - cầu.

⇒ Đây là một bài toán kỹ thuật phức hợp, đòi hỏi giải pháp toàn diện.

4.4. Tiêu chuẩn kỹ thuật

Bộ tiêu chuẩn kỹ thuật hoàn chỉnh về thiết kế, chế tạo, lắp ráp, vận chuyển, lắp đặt và bảo trì đường chuyển hướng cao tốc, đáp ứng yêu cầu hiệu suất kỹ thuật cao, đang cần được xây dựng một cách khẩn cấp.

II. TỔNG QUAN VÀ HÌNH DẠNG MẶT BẰNG CỦA ĐƯỜNG CHUYỂN HƯỚNG CAO TỐC

1. Tổng quan về đường chuyển hướng cao tốc

Đường chuyển hướng là một thành phần quan trọng của hệ thống đường sắt, đồng thời là yếu tố then chốt giới hạn tốc độ chạy tàu. Từ năm 1996, khi các tuyến đường sắt hiện có được nâng cấp tốc độ, đường chuyển hướng đã trải qua nhiều lần cải tiến để đáp ứng nhu cầu vận hành tốc độ cao, minh chứng rõ nét cho mối quan hệ mật thiết giữa đường chuyển hướng và tốc độ tàu.

- Đường chuyển hướng cao tốc là gì?

- Đường chuyển hướng cao tốc được lắp đặt trên tuyến chính của đường sắt cao tốc, đường sắt chuyên chở hành khách hoặc đường sắt liên đô thị, với tốc độ cho phép trên hướng thẳng đạt tối thiểu 250 km/h.

- Theo khái niệm mở rộng, đường chuyển hướng cao tốc không chỉ bao gồm bản thân đường chuyển hướng mà còn bao gồm thanh ngang bê tông và hệ thống thiết bị chuyển đổi.

- Kinh nghiệm quốc tế trong phát triển đường chuyển hướng cao tốc:

+ Đức và Pháp, với nhiều thập kỷ phát triển đường sắt cao tốc, đã tích lũy được kinh nghiệm phong phú trong nghiên cứu và ứng dụng đường chuyển hướng cao tốc, tạo ra các dòng sản phẩm công nghệ tiên tiến và hoàn thiện.

+ Ngoài Nhật Bản, nhiều quốc gia như Tây Ban Nha, Ý, Hàn Quốc, Hà Lan, Bỉ, và vùng lãnh thổ Đài Loan đã lựa chọn các sản phẩm đường chuyển hướng cao tốc của Đức hoặc Pháp.

- Sự khác biệt trong công nghệ giữa Đức và Pháp:

+ Đức và Pháp phát triển các hệ thống đường chuyển hướng cao tốc dựa trên điều kiện thực tiễn riêng, với các công nghệ hoàn toàn độc lập, không tương thích với nhau.

+ Các yếu tố như tham số thiết kế, bố trí mặt bằng, kích thước, cấu trúc, thanh ngang, và thiết bị chuyển đổi điện đều khác biệt, không thể thay thế lẫn nhau.

1.1. Quá trình tự nghiên cứu và phát triển đường chuyển hướng cao tốc tại Trung Quốc

Trung Quốc đã khởi động nghiên cứu về đường chuyển hướng cao tốc từ thời kỳ Kế hoạch 5 năm lần thứ tám, trong đó hoàn thành thiết kế cấu trúc ban đầu. Tuy nhiên, do nhiều nguyên nhân, các thử nghiệm sản xuất chưa được tiến hành.

- Giai đoạn nghiên cứu ban đầu:

+ Các mẫu đường chuyển hướng cao tốc như 60-18 và 60-38 được nghiên cứu cho tuyến hành khách chuyên dụng Tần Thẩm, đại diện cho trình độ cao nhất tại Trung Quốc vào thời điểm đó.

+ Tuy nhiên, do các mẫu này được phát triển dựa trên nền tảng đường chuyển hướng nâng cấp, tốc độ tàu vận hành thực tế chưa đạt mức thiết kế, khó phản ánh chính xác trạng thái của đường chuyển hướng khi tàu chạy ở tốc độ cao.

- Thời kỳ xây dựng quy mô lớn:

+ Năm 2004, Trung Quốc triển khai xây dựng các tuyến đường sắt khách chuyên dụng với quy mô lớn, việc lựa chọn mẫu đường chuyển hướng phù hợp trở thành yêu cầu cấp thiết.

+ Các cuộc trao đổi và đàm phán kỹ thuật với đối tác quốc tế được tiến hành nhằm đánh giá khả năng xây dựng nhà máy liên doanh và chuyển giao công nghệ.

- Phát triển nội địa hóa:

+ Năm 2005, Bộ Đường sắt Trung Quốc khởi động chương trình phát triển đường chuyển hướng cao tốc nội địa hóa.

+ Cùng năm, hoàn thành thiết kế cấu trúc mẫu 60-18 dành cho tuyến hành khách chuyên dụng tốc độ 250 km/h.

+ Năm 2006, các tập đoàn Sơn Cầu Trung Quốc và Bảo Cầu Trung Quốc thực hiện sản xuất thử nghiệm, thử nghiệm lắp đặt tại nhà máy, và triển khai lắp đặt trên tuyến Giao Châu thuộc tuyến Giao Tế.

• Kết quả thử nghiệm cho thấy đường chuyển hướng hoạt động tốt, đáp ứng yêu cầu vận hành ở tốc độ 250 km/h.

- Áp dụng thực tế:

+ Năm 2007, 57 bộ đường chuyển hướng 60-18 được lắp đặt tại các đoạn nâng tốc độ 250 km/h trên tuyến Trịnh Vũ và Hỗ Ninh, cho hiệu quả vận hành xuất sắc.

+ Đường chuyển hướng 60-18 không có đá ballast cũng được lắp đặt tại đoạn thử nghiệm của tuyến Tô Du.

- Mở rộng nghiên cứu cho tốc độ cao hơn:

+ Từ năm 2007, Trung Quốc bắt đầu nghiên cứu mẫu đường chuyển hướng cho tốc độ 350 km/h, bao gồm 60-18 và 60-42.

+ Năm 2009, đường chuyển hướng 60-18 không có đá ballast được thử nghiệm tại tuyến Vũ Quảng, cho kết quả ổn định và thoải mái khi tàu vận hành ở tốc độ 350 km/h.

+ Năm 2010, mẫu 60-18 tự phát triển được lắp đặt trên tuyến Hỗ Hàng, thiết lập kỷ lục vượt qua đường chuyển hướng với tốc độ 410 km/h.

- Phát triển các mẫu cao cấp hơn:

+ Năm 2010, Bộ Đường sắt Trung Quốc bắt đầu nghiên cứu và phát triển mẫu 60-62 cho tốc độ 350 km/h.

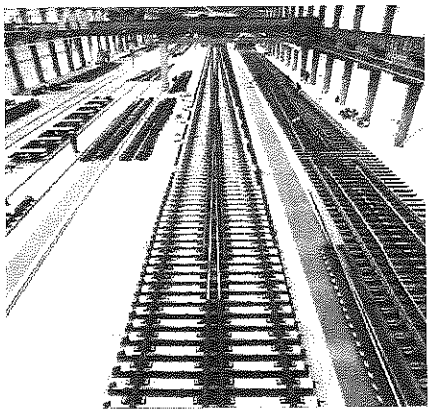
+ Tháng 3 năm 2011, mẫu đường chuyển hướng 60-62 được lắp đặt hoàn chỉnh tại ga Trường Xuân Tây trên tuyến hành khách chuyên dụng Cáp Đại.

1.2. Chuyển giao công nghệ đường chuyển hướng cao tốc từ nước ngoài

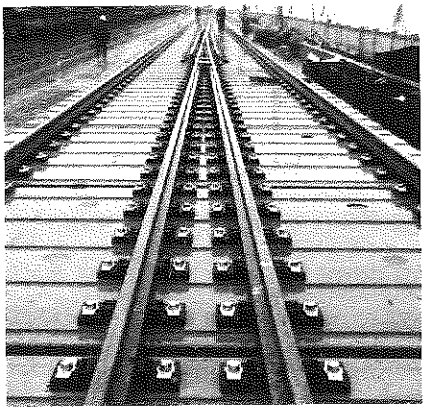
Vào tháng 3 năm 2006, Bộ Đường sắt Trung Quốc đã tổ chức đấu thầu cung cấp đường chuyển hướng cho 11 tuyến chính của các tuyến hành khách chuyên dụng.

- Hợp tác với Đức: Tập đoàn Cầu Sơn Trung Quốc hợp tác với công ty BWG của Đức để thành lập một nhà máy liên doanh, cung cấp đường chuyển hướng cho các tuyến đường cao tốc như Bắc Kinh - Thiên Tân, Vũ Hán - Quảng Châu, và Bắc Kinh - Thượng Hải, như minh họa trong Hình 1-5-2.

- Chuyển giao công nghệ từ Pháp: Công ty Cogifer của Pháp đã chuyển giao công nghệ cho Tập đoàn Cầu Bảo Trung Quốc, cung cấp đường chuyển hướng cho các tuyến hành khách chuyên dụng như Hợp Phì - Nam Kinh, Hợp Phì - Vũ Hán, và Trịnh Châu - Tây An.



Hình 1-5-1: *Đường chuyển hướng 60-62 thử nghiệm lắp đặt tại khu vực Quảng Nội*



Hình 1-5-2: *Đường chuyển hướng 42 tại ga Đông Từ Châu trên cầu tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải*

Hiện nay, tại Trung quốc có ba dòng đường chuyển hướng cao tốc, bao gồm công nghệ Đức, công nghệ Pháp và công nghệ tự nghiên cứu phát triển trong nước. Trong thời gian ngắn, cả ba loại đường chuyển hướng này sẽ cùng tồn tại. Tuy nhiên, về lâu dài, do sự không tương thích giữa ba loại, để dễ dàng trong việc thiết kế ga và công tác bảo dưỡng, việc thống nhất các loại đường chuyển hướng là cần thiết.

2. Đặc điểm của đường chuyển hướng cao tốc

Đường chuyển hướng cao tốc dòng khách chuyên dụng được nghiên cứu và phát triển dựa trên nền tảng các công nghệ đường chuyển hướng cao tốc nước ngoài, kết hợp với tình hình thực tế trong nước. Sản phẩm này hoàn toàn sở hữu quyền sở hữu trí tuệ độc lập, với các đặc điểm chính như sau:

- Mũi ghi sử dụng thép 60D40.

- Mũi ghi và chân ghi sử dụng cấu trúc có kẹp, giới hạn vị trí hoặc cấu trúc không truyền lực.

- Mặt bên của mũi ghi sử dụng thanh thép đặc biệt đã được cán, được nối chặt với tim ghi dài hoặc mũi ghi bằng keo.

- Chân ghi và mũi ghi sử dụng thép 60kg/m.

- Một số thanh trượt có bánh lăn Swegger được đặt ở khoảng cách, có thể điều chỉnh chiều cao dễ dàng.

- Bản kẹp sử dụng xử lý lưu hóa, thanh kẹp loại II.

- Các điểm kéo được đặt giữa hai tấm ga, mũi ghi sử dụng phương pháp chuyển đổi nhiều máy và nhiều điểm.

- Tấm ga bê tông dài được sử dụng và bố trí vuông góc với nhánh đường thẳng của đường chuyển hướng.

Đặc điểm của đường chuyển hướng cao tốc công nghệ Đức:

- Được nghiên cứu trong nhiều năm, đường chuyển hướng công nghệ Đức có những đặc điểm kỹ thuật rõ rệt, như sau:

- Mũi ghi sử dụng thép Zul-60.

- Mũi ghi và chân ghi sử dụng cấu trúc giới hạn vị trí.

- Các thanh ray cơ bản có thiết kế mở rộng chiều rộng ray (FA-KOP).

- Mặt bên của mũi ghi sử dụng thép thông thường.

- Đầu tim ghi được chế tạo nguyên khối bằng phương pháp rèn.

- Chân ghi và mũi ghi sử dụng thép thanh dày.

- Phần chuyển đổi có tấm trượt có bánh lăn, bánh lăn được đặt ở giữa.

- Bản kẹp sử dụng thanh kẹp hẹp, các tấm trượt được kẹp bằng hai thanh kẹp rời, bản kẹp bằng sắt được xử lý lưu hóa (đối với các đường chuyển hướng lớn, phần tim ghi động và đường cắt không sử dụng xử lý lưu hóa).

- Tấm ga bê tông dài sử dụng khớp nối và bố trí theo hình quạt.

- Mũi ghi sử dụng chuyển đổi nhiều máy và nhiều điểm, đối với đường chuyển hướng có đá ballast, điểm kéo được đặt trên tấm ga thép.

- Đối với đường chuyển hướng không có đá ballast, tim ghi có thiết bị kéo xuống.

Đặc điểm của đường chuyển hướng cao tốc công nghệ Pháp:

Công nghệ đường chuyển hướng Pháp cũng đã phát triển khá hoàn thiện, trong những năm gần đây, Pháp cũng đã phát triển các đường chuyển hướng phù hợp với nền đường không có đá ballast, với các đặc điểm chính như sau:

- Mũi ghi sử dụng thép 60D40.

- Mũi ghi không có cấu trúc truyền lực ở chân ghi.

- Mặt bên của mũi ghi sử dụng phương pháp đúc thép mangan cao và hàn với thép A74.

- Tim ghi được nối bằng thép 60D40.

- Chân ghi và mũi ghi được làm từ thép 60D40.

- Tấm kẹp không qua xử lý lưu hóa.

- Phần chuyển đổi có tấm trượt có bánh lăn.

- Bản kẹp sử dụng thanh kẹp hẹp, các tấm trượt được kẹp bằng kẹp đàn hồi.

- Tấm ga bê tông dài được sử dụng.

- Điểm kéo được đặt trên tấm ga bê tông.

- Mũi ghi sử dụng phương pháp chuyển đổi một máy nhiều điểm liên động.

3. Thiết kế hình dạng đường chuyển hướng cao tốc và các thông số kỹ thuật chính

3.1. Thông số thiết kế hình dạng mặt phẳng

Các thông số thiết kế hình dạng mặt phẳng của đường chuyển hướng cao tốc nước ngoài được trình bày trong Bảng 1-5-1.

Bảng 1-5-1: So sánh thông số thiết kế đường chuyển hướng cao tốc của Pháp, Đức và Nhật Bản

Thiết kế thông số	Pháp	Đức	Nhật Bản
Gia tốc ly tâm chưa cân bằng a (m/s²)	0.33 ~ 0.66	0.4 ~ 0.55	0.45 ~ 0.47
Tốc độ thay đổi của gia tốc ly tâm chưa cân bằng φ (m/s²)	0.20 ~ 0.49	0.4	0.53 ~ 0.55
Chiều dài đường thẳng kẹp L (m)	0.4V	0.4V	19

Chú thích: *V biểu thị tốc độ chạy tàu.*

Từ Bảng 1-5-1 có thể thấy, gia tốc ly tâm chưa được cân bằng và tốc độ biến đổi của nó là các thông số thiết kế đường chuyển hướng được áp dụng rộng rãi cả trong và ngoài nước hiện nay. Những thông số này chủ yếu dựa trên lý thuyết chuyển động của khối lượng điểm (khi phương tiện vào hoặc ra khỏi đường cong dẫn hướng, tính năng động học đã xem xét ảnh hưởng của khoảng cách giữa các trục của bộ chuyển hướng). Theo quy định của UIC, trong trường hợp đường chuyển hướng với tốc độ bên 120 ~ 220 km/h, giá trị thiếu siêu cao tiêu chuẩn là 60 mm, tối đa là 80 mm.

(1) Các tiêu chuẩn thiết kế thông số đường chuyển hướng cao tốc ở Trung Quốc như sau:

① Giá trị gia tốc ly tâm chưa cân bằng tối đa cho phép nhỏ hơn hoặc bằng 0,5 m/s².

② Giá trị gia tốc ly tâm chưa cân bằng gia tăng tối đa cho phép nhỏ hơn hoặc bằng 0,4 m/s² (ngoại trừ tại đầu mũi ghi).

③ Tại điểm đầu của hai đường cong giảm nhẹ ngược chiều ở đuôi đường chuyển hướng, có thể nối trực tiếp hoặc chèn vào đoạn thẳng bất kỳ với chiều dài bất kỳ. Đối với hai bộ đường chuyển hướng số 18 được sử dụng cho đường đơn, hoặc đường chuyển hướng số 18 được sử dụng cho đường tới/lui, đoạn thẳng được chèn giữa hai đường cong tròn ngược chiều hoặc giữa đường cong tròn và đường cong tròn ngược chiều ở phía sau phải có chiều dài không nhỏ hơn 20 m.

Trong các tiêu chuẩn trên, tiêu chuẩn "1)" và "2)" tương ứng với giá trị thiếu siêu cao 75 mm và tốc độ biến đổi siêu cao 60 mm/s.

(2) Ngoài việc xác định bán kính và hình dạng đường chuyển hướng phụ dựa trên các thông số thiết kế mặt phẳng nêu trên, thông thường sử dụng các phương pháp sau để chọn lựa hình dạng đường chuyển hướng:

① Sử dụng lý thuyết động học liên quan đến tương tác giữa đoàn tàu và đường chuyển hướng, phân tích các chỉ số động học như: hệ số trật bánh, tỷ lệ giảm tải, lực ngang bánh ray, gia tốc ngang và dọc của đoàn tàu khi qua đường chuyển hướng, để so sánh và lựa chọn hình dạng đường chuyển hướng phù hợp.

② Dựa vào kết quả thử nghiệm động học và kinh nghiệm vận hành thực tế của các loại đường chuyển hướng hiện có để chọn hình dạng đường chuyển hướng. Các chỉ số đánh giá động học của hệ thống đoàn tàu - đường chuyển hướng được xác định từ thử nghiệm thực tế và kinh nghiệm vận hành được trình bày trong Bảng 1-5-2. Ngoài ra, phản hồi động học của đường chuyển hướng cũng bao gồm các chỉ số như: chỉ số mài mòn đường chuyển hướng và ứng suất động do tiếp xúc bánh ray.

Bảng 1-5-2: Chỉ số đánh giá hiệu năng động học của hệ thống đoàn tàu - đường chuyển hướng

STT	Chỉ số đánh giá động học	Giới hạn giá trị	Ghi chú
1	Hệ số trật bánh	≤0.8	Chỉ số an toàn
2	Tỷ lệ giảm tải	≤0.8	
3	Lực ngang trục bánh xe (kN)	≤10 + P/3 (P là tải trọng trục tĩnh)	
4	Gia tốc ngang bánh xe ($g/m \cdot s^2$)	≤0.1	Chỉ số thoải mái
5	Gia tốc dọc thân xe ($g/m \cdot s^2$)	≤0.1	

Theo kinh nghiệm vận hành các đường chuyển hướng cao tốc trong và ngoài nước, ưu tiên hàng đầu là cải thiện độ thoải mái khi đoàn tàu di chuyển qua đường chuyển hướng phụ. Do đó, cần kiểm soát chặt chẽ mức thiếu siêu cao của đường cong tròn. Với các đường chuyển hướng lớn có tốc độ cho phép ở bên phụ cao, nhờ chiều dài dẫn hướng lớn, việc thiết lập đường cong giảm nhẹ trở nên khả thi. Đối với các đường chuyển hướng phụ có tốc độ vượt 160 km/h, thường áp dụng đường cong parabol bậc ba và quản lý chặt chẽ tốc độ biến đổi của thiếu siêu cao.

3.2. Thiết kế hình dạng đường chuyển hướng cao tốc

(1) Dòng sản phẩm CN (công nghệ Đức):

CN có 4 loại số hiệu đường chuyển hướng, gồm 18, 39.173 (chỉ được lắp đặt 2 bộ trên tuyến liên thành phố Bắc Kinh - Thiên Tân), 42, và 50. Tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải sử dụng đường chuyển hướng số 18 và 42.

(2) Dòng sản phẩm khách chuyên tuyến:

Có 3 loại số hiệu đường chuyển hướng, gồm 18, 42, và 62.

(3) Dòng sản phẩm CZ (công nghệ Pháp):

CZ có 2 loại số hiệu đường chuyển hướng, gồm 18 và 41 (đường chuyển hướng số 41 chỉ được sử dụng trên tuyến đường sắt cao tốc Trịnh Châu - Tây An).

(4) Đường chuyển hướng số 18:

Đường chuyển hướng số 18 thuộc CN, khách chuyên tuyến và CZ đều áp dụng đường cong tròn đơn, bán kính đường cong là 1100 m. Các kích thước chính và chỉ số động học được trình bày trong Bảng 1-5-3. Trong đó, bản vẽ tổng thể của đường chuyển hướng CZ số 18 phần lớn tương đồng với đường chuyển hướng của khách chuyên tuyến.

Bảng 1-5-3: So sánh kích thước chính và chỉ số động học của đường chuyển hướng CN số 18, đường chuyển hướng khách chuyên tuyến số 18 và đường chuyển hướng CZ số 18

Tham Số	Đường chuyển hướng số 18 (Khách chuyên tuyến và CZ)	Đường chuyển hướng số 18 (CZ)
Bán kính đường cong dẫn hướng R	1100	1100 (ray ngoài)
Góc	3°10′47.4″	3°10′47.4″
Chiều dài toàn bộ đường chuyển hướng L (m)	69.000	69.000
Chiều dài trước đường chuyển hướng a (m)	31.729	31.729
Chiều dài sau đường chuyển hướng b (m)	37.271	37.271
Gia tốc ly tâm chưa cân bằng a (m/s²)	0.44	0.44
Tốc độ thay đổi của gia tốc ly tâm chưa cân bằng φ (m/s³)	0.54 (vào và ra đường chuyển hướng)	0.54 (vào và ra đường chuyển hướng)

Đường chuyển hướng CN số 18 với tốc độ đi qua hướng ngang là 80 km/h và đường chuyển hướng khách chuyên tuyến số 18 có thiết kế hình dạng mặt bằng và kích thước chính cơ bản giống nhau. Đường chuyển hướng khách chuyên tuyến số 18 áp dụng thiết kế hình dạng mặt bằng dạng phân tách đặc trưng của Trung Quốc, tức là tại mũi nhọn của đường ray chuyển hướng, điểm đầu của đường cong dẫn hướng R1100m

cách ray chính 12mm, và tại vị trí mặt cắt 26mm được cắt xiên. Thiết kế này làm tăng độ dày mũi nhọn của ray chuyển hướng thêm 32mm, giúp kéo dài tuổi thọ chống mài mòn của ray cong.

Đường chuyển hướng khách chuyên tuyến số 42 sử dụng đường cong hỗn hợp, phần đầu là đường cong tròn, phần sau là đường cong giảm dần. Với tốc độ bên của đường chuyển hướng số 42 là 160 km/h, được kiểm tra với tốc độ 170 km/h, bán kính đường cong dẫn hướng được xác định không nhỏ hơn 4500m. Cuối cùng, đường chuyển hướng khách chuyên tuyến số 42 xác định bán kính đường cong dẫn hướng là 5000m, tương đương với gia tốc ly tâm chưa cân bằng là 0.40 m/s^2.

Đường chuyển hướng CN số 42 sử dụng đường cong giảm-tròn-giảm. Phần đầu của đường chuyển hướng là một đoạn đường cong giảm với bán kính từ 10119m đến 4100m, dài 37.735m; phần giữa là đường cong tròn với bán kính 4100m; phần cuối là đường cong giảm với bán kính từ 4100m đến vô cực. Để điều chỉnh chiều dài phía sau cho tương đồng với đường chuyển hướng khách chuyên tuyến số 42, phía sau đường cong giảm kết nối thêm một đoạn đường thẳng.

Đoạn mũi nhọn yếu của đường cong giảm-tròn-giảm có chiều dài lớn, áp dụng công nghệ tối ưu hóa khoảng cách ray (FAKOP), mở rộng khoảng cách ray thêm 15mm ở đầu ray chính để tăng độ dày của đoạn nhọn yếu. Các kích thước chính và chỉ số động học của đường chuyển hướng CN số 42 và khách chuyên tuyến số 42 được thể hiện trong Bảng 1-5-4.

Bảng 1-5-4: So sánh kích thước chính và chỉ số động lực học giữa ghi CN42 và ghi khách chuyên tuyến 42

Tham số	Đường chuyển hướng khách chuyên tuyến số 42	Đường chuyển hướng CN42	Ghi chú
Góc	1°21′50.13″	1°21′50.13″	
Hình dạng	Đường cong tròn R5000m + Đường cong giảm	Đường cong giảm + Đường cong tròn + Đường cong giảm 10000m + R4100m + ∞	
Tổng chiều dài đường chuyển hướng L (m)	157.200	157.200	
Chiều dài phía trước a (m)	60.573	60.573	
Chiều dài phía sau b (m)	96.627	96.627	

Bảng 1-5-4 *(tiếp theo)*

Tham số	Đường chuyển hướng khách chuyên tuyến số 42	Đường chuyển hướng CN42	Ghi chú
Gia tốc ly tâm chưa cân bằng a (m/s^2)	0.40	0.48	
Tỷ lệ biến đổi gia tốc ly tâm chưa cân bằng φ (m/s^3)	0.22 (0.98)	0.38 (0.83)	Giá trị trong ngoặc là tại mũi nhọn của ray chuyển hướng

Sử dụng phần mềm mô phỏng tính toán động lực học để phân tích các chỉ số như hệ số trật bánh, tỷ lệ giảm tải và gia tốc ngang của thân xe trên hai loại đường ray có thiết kế khác nhau cho thấy:

- Với đường ray thiết kế dạng đường tròn - đường hòa hoãn, gia tốc ngang của thân xe tạo ra sự thay đổi đột ngột ở khu vực đầu ray dẫn hướng do bán kính cố định của đường cong tròn.

- Trong khi đó, với đường ray thiết kế dạng đường hòa hoãn - đường tròn - đường hòa hoãn, sự thay đổi này diễn ra mượt mà hơn, bởi đầu ray dẫn hướng được thiết kế là một phần của đường hòa hoãn có bán kính lớn hơn.

Tại vị trí phần giao cắt, kết quả lại ngược lại: dù phần giao cắt của cả hai loại đường ray đều thuộc khu vực đường hòa hoãn, nhưng khác biệt về độ cong của ray dẫn khiến thiết kế dạng hòa hoãn - tròn - hòa hoãn tạo ra gia tốc ngang lớn hơn so với thiết kế tròn - hòa hoãn. Xu hướng thay đổi của tỷ lệ giảm tải và hệ số trật bánh cũng tương tự như gia tốc và mức tăng gia tốc.

Từ kết quả thử nghiệm thực tế, đường ray 42 số của tuyến hành khách chuyên dụng nhờ sử dụng bán kính đường cong lớn hơn đã cho thấy độ êm ái vượt trội khi tàu chạy qua đường ray theo hướng ngang.

- Đường ray 62 số trên tuyến hành khách chuyên dụng sử dụng thiết kế tròn - hòa hoãn, với đoạn đầu là đường cong tròn có bán kính 8200 m, đoạn sau là đường hòa hoãn.

- Đường ray 50 số của CN áp dụng thiết kế hòa hoãn - tròn - hòa hoãn, với đoạn đầu là đường hòa hoãn có bán kính từ 17000 m giảm dần xuống 7300 m, dài 63,312 m; đoạn giữa là đường cong tròn có bán kính 7300 m, dài 67,049 m; đoạn sau là đường hòa hoãn với bán kính tăng dần từ 7300 m đến vô cực, dài 49,731 m.

Trong khu vực chuyển hướng, công nghệ tối ưu hóa độ rộng đường ray động (FA-KOP) được áp dụng, mở rộng khoảng cách ray dẫn ở đoạn đầu của ray dẫn hướng thêm 15 mm (đẩy hai ray cơ bản ra phía ngoài), giúp tăng độ dày của mặt cắt mỏng ở đầu ray dẫn hướng.

Kích thước chính và chỉ số động lực học của đường ray 50 số CN và đường ray 62 số tuyến hành khách chuyên dụng được thể hiện trong Bảng 1-5-5.

Bảng 1-5-5: So sánh các kích thước chính và chỉ số động lực học giữa đường ray CN50 và đường ray khách 62

Tham Số	Đường ray 62 số tuyến hành khách chuyên dụng	Đường ray 50 số CN	Ghi Chú
Góc	55′26.56″	1°08′44.75″	
Đường hình	Đường tròn R8200m + đường cong nhẹ	Nhẹ + Tròn + Nhẹ R17000m + R7300m + ∞	
Chiều dài toàn bộ (m)	201.000	181.363	
Chiều dài phía trước (m)	70.784	90.502	
Chiều dài phía sau (m)	130.216	90.861	
Gia tốc ly tâm chưa cân bằng (m/s^2)	0.46	0.51	
Tỷ lệ thay đổi gia tốc ly tâm chưa cân bằng (m/s^3)	0.20 (1.53)	0.41 (0.99)	Giá trị trong ngoặc là giá trị xảy ra tại mũi nhọn ray

III. LÝ THUYẾT THIẾT KẾ ĐƯỜNG RAY CAO TỐC

Để giải quyết các vấn đề kỹ thuật then chốt của đường ray cao tốc, Trung Quốc đã xây dựng một hệ thống lý thuyết thiết kế đường ray cao tốc.

1. Lý thuyết thiết kế động lực học đường ray cao tốc

Dựa trên động lực học hệ thống bánh xe - đường ray và mối quan hệ tiếp xúc phức tạp nhiều điểm giữa bánh xe và đường ray trong khu vực đường ray chuyển đổi, Trung Quốc đã xây dựng một lý thuyết động lực học liên kết toàn diện giữa tàu và đường ray. Lý thuyết này nghiên cứu hành vi động lực học của tàu khi đi qua đường ray chuyển đổi và tác động phá hoại động lực học đối với cấu trúc đường ray.

Trọng tâm của nghiên cứu động lực học là mô hình lý thuyết. Hệ thống đã xây dựng mô hình thống nhất cho tàu và đường ray, bao gồm các mô hình cho nhiều loại đầu máy, toa khách, toa hàng và mô hình đường ray trên nền ballast và không ballast, cùng với mô hình mối quan hệ động lực học giữa bánh xe và đường ray.

Đã đưa ra lý thuyết phân bổ lực tiếp xúc bánh xe–đường ray và lực trượt khi nhiều thanh ray cùng chịu tải. Mô hình cũng xem xét các yếu tố ảnh hưởng như: sự không đồng đều do giảm độ cao và mở rộng dần của đầu mũi ray và tim ray, sự không đồng đều trạng thái khi các bộ phận chuyển động như đầu ray, tim ray không khớp chặt với nền tảng như bàn trượt, ray cơ bản, hay đế ray, và sự không đồng đều hình học của đường ray.

Lý thuyết này được sử dụng để mô phỏng và phân tích hiệu suất động lực học của tàu khi đi qua đường ray theo hướng thẳng hoặc ngang, đồng thời hướng dẫn thiết kế cấu trúc như hình dạng mặt phẳng của đường ray, mối quan hệ bánh xe–đường ray, và độ cứng của đường ray. Lý thuyết cũng hỗ trợ việc xây dựng các tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan.

Qua hơn 10 năm phát triển và hoàn thiện, lý thuyết này đã được kiểm chứng qua nhiều thử nghiệm thực tế với tàu chạy trên đường ray.

2. Lý thuyết thiết kế đường ray chuyển đổi không mối nối

Lý thuyết thiết kế đường ray chuyển đổi không mối nối coi nhóm đường ray chuyển đổi và tuyến đường chính là một phần của đoạn ray không mối nối xuyên khu vực. Lý thuyết này nghiên cứu toàn diện về lực dọc và hành vi biến dạng của đường ray không mối nối và nhóm của chúng trên nền đường hoặc cầu.

Mô hình tính toán đường ray không mối nối bao gồm đầy đủ chức năng và chi tiết cấu trúc, với các yếu tố sau được xem xét:

- **Vai trò của các thành phần truyền lực:** Bao gồm hệ thống kẹp ray không mối nối, nền tảng đưới ray, và các bộ phận truyền lực trong việc truyền lực nhiệt.

- **Ảnh hưởng của lực nhiệt lên biến dạng ngang của ray:** Xem xét sự biến dạng của ray dưới tác động của nhiệt độ.

- **Tương tác lực nhiệt giữa các nhóm đường ray chuyển đổi:** Đặc biệt là trong các nhóm đường ray chuyển đổi với nhiều đường ray không mối nối.

- **Tương tác giữa đường ray chuyển đổi và cầu:** Khi đường ray không mối nối được đặt trên cầu, lý thuyết này xem xét sự tương tác giữa cấu trúc cầu và đường ray chuyển đổi.

Lý thuyết này được sử dụng để:

- Xác định các tham số thiết kế như sức cản của kẹp ray, độ di chuyển cho phép của mũi ray và tim ray trong cơ chế khóa ray.

- Thiết kế cấu trúc các bộ phận truyền lực.

- Định vị và thiết kế mối quan hệ giữa cấu trúc cầu và đường ray chuyển đổi.

Lý thuyết này đã được kiểm chứng qua các thử nghiệm lực dọc và biến dạng của nhiều loại đường ray không mối nối trên các tuyến đường chính và đường sắt khách tốc độ cao.

3. Lý thuyết thiết kế cơ chế chuyển đổi đường ray

Lý thuyết thiết kế cơ chế chuyển đổi đường ray nghiên cứu lực tác động và biến dạng của các thanh ray dài (mũi ray hoặc tim ray có thể di động) trong quá trình chuyển đổi. Lý thuyết này xem xét sự kết hợp của các yếu tố như:

- **Lực kéo tại điểm dẫn động:** Lực cần thiết để thực hiện chuyển đổi tại các điểm kéo.

- **Lực phản hồi do biến dạng của các thanh ray dài:** Sự biến dạng và khả năng đàn hồi của các thanh ray dài gây ra lực phản hồi trong quá trình chuyển đổi.

- **Lực tiếp xúc giữa mũi ray (hoặc tim ray) và ray cơ bản (hoặc cánh ray):** Lực này đảm bảo mũi ray hoặc tim ray áp sát vào ray cơ bản hoặc cánh ray.

- **Lực ma sát tại bề mặt trượt của bàn trượt:** Lực ma sát ảnh hưởng đến quá trình chuyển đổi của đường ray.

Dựa trên phân tích các yếu tố như cách bố trí điểm dẫn động của mũi ray và tim ray, hệ số ma sát trên bàn trượt, hành trình chuyển đổi tại điểm dẫn động, lý thuyết này được áp dụng để:

- **Thiết kế cơ chế chuyển đổi:** Hướng dẫn cấu trúc và bố trí cơ chế chuyển đổi đường ray.

- **Thiết kế cấu trúc tim ray co giãn:** Phát triển cấu trúc tim ray kép đàn hồi có thể uốn cong dành cho các đường ray tốc độ cao.

- **Giảm thiểu thiếu hụt dịch chuyển:** Đề xuất cấu trúc phản cung dự phòng nhằm giảm thiểu chuyển động không đủ.

- **Giảm ma sát:** Tối ưu hóa cấu trúc bàn trượt giảm ma sát.

- **Kiểm soát đồng bộ hóa chuyển đổi:** Hướng dẫn thiết kế hệ thống điều khiển đồng bộ hóa quá trình chuyển đổi.

Lý thuyết này đã được kiểm chứng thông qua các thử nghiệm về lực chuyển đổi trong phòng thí nghiệm và tại thực địa, đảm bảo tính chính xác và hiệu quả trong thiết kế và vận hành.

4. Lý thuyết thiết kế tích hợp công trình và điện

Lý thuyết thiết kế tích hợp công trình và điện dựa trên quan điểm hệ thống, tập trung vào sự tương tác giữa các bộ phận quan trọng tại giao diện giữa công trình (cấu trúc đường ray) và điện (hệ thống tín hiệu và cơ cấu chuyển đổi). Lý thuyết này nghiên cứu:

- **Sự kết hợp tải trọng:** Xem xét tác động tổng hợp của tải trọng đoàn tàu và tải trọng chuyển đổi lên các bộ phận cấu trúc.

- **Tính phù hợp và độ tin cậy của cấu trúc:** Đảm bảo sự tương thích giữa các bộ phận công trình và điện.

- **Nguyên tắc thiết kế đồng nhất về cường độ:** Hướng dẫn thiết kế các cấu trúc tại điểm giao cắt giữa công trình và điện, bao gồm hệ thống chuyển đổi và khóa chặt.

Ngoài ra, lý thuyết này còn hỗ trợ phát triển và lắp đặt hệ thống giám sát trạng thái công trình-điện và hệ thống làm tan tuyết. Các thử nghiệm thực địa đã nhiều lần chứng minh tính hiệu quả của lý thuyết này.

5. Công nghệ mô phỏng thiết kế đường ray tốc độ cao

Dựa trên lý thuyết thiết kế đường ray tốc độ cao và các phương pháp mô phỏng số, đã phát triển thành công công nghệ mô phỏng thiết kế đường ray, bao gồm:

- Phần mềm mô phỏng động lực học đường ray.
- Phần mềm tính toán đường ray không mối nối trên nền đất.
- Phần mềm tính toán đường ray không mối nối trên cầu.
- Phần mềm tính toán cơ cấu chuyển đổi đường ray.

Công nghệ này đã nâng cao trình độ thiết kế đường ray từ thiết kế tĩnh và bán tĩnh truyền thống lên thiết kế động hiện đại.

6. Công nghệ đánh giá an toàn động lực học của đường ray tốc độ cao

Dựa trên các lý thuyết và công nghệ mô phỏng, một hệ thống đánh giá an toàn đoàn tàu khi đi qua đường ray đã được xây dựng, bao gồm:

- **Các chỉ số đánh giá:** Đánh giá độ an toàn, độ ổn định và độ tin cậy của cấu trúc đường ray.

- **Phương pháp thiết kế tối ưu:** Đánh giá hiệu quả thiết kế động lực học của đường ray.

- **Kỹ thuật thử nghiệm:** Bao gồm kiểm tra lắp ráp trong phòng và thử nghiệm thực tế trên hiện trường.

Các thử nghiệm thực địa trên các tuyến đường như Cao tốc Bắc-Nam, Hợp Ninh, Bắc Kinh- Thiên Tân, Vũ Quảng, và Trịnh Tây đã so sánh các chỉ số kỹ thuật của đường ray sản xuất trong nước và nhập khẩu từ Pháp, Đức. Kết quả cho thấy đường ray tốc độ cao của Trung Quốc đạt trình độ tiên tiến quốc tế, thậm chí vượt trội trong các lĩnh vực như quan hệ bánh xe và đường ray, độ cứng của đường ray và tính ổn định của cấu trúc.

Hệ thống đánh giá này giúp rút ngắn đáng kể chu kỳ phát triển các sản phẩm đường ray mới.

IV. CẤU TRÚC VÀ ĐẶC ĐIỂM KỸ THUẬT CỦA ĐƯỜNG RAY CHUYỂN HƯỚNG TỐC ĐỘ CAO

Thiết kế cấu trúc đường ray chuyển hướng là tiền đề đảm bảo đáp ứng các yêu cầu sử dụng. Tính êm ái và ổn định của đường ray đều cần đến một thiết kế cấu trúc tốt để đảm bảo. Vì vậy, trong quá trình thiết kế đường ray chuyển hướng tốc độ cao, thiết kế cấu trúc đóng vai trò cực kỳ quan trọng.

Do điều kiện sử dụng khác biệt, thiết kế cấu trúc của đường ray chuyển hướng tốc độ cao có sự khác biệt đáng kể so với các loại đường ray hiện có. Những nguyên tắc thiết kế chính bao gồm:

- Đảm bảo độ êm ái cao cho đường ray.

- Tăng cường tính ổn định của đường ray.

- Đảm bảo độ cứng phù hợp cho đường ray, đồng thời đạt được sự đồng đều về độ cứng trên toàn khu vực đường ray chuyển hướng.

- Tương thích giữa giao diện công trình và điện, đảm bảo độ tin cậy trong việc chuyển đổi và khóa chặt đường ray.

- Đảm bảo đường ray chuyển hướng phù hợp với các tuyến đường không mối nối giữa các khu vực và tương thích với nền tảng dưới đường ray.

1. Đặc điểm kỹ thuật của đường ray tốc độ cao

Đường ray tốc độ cao có những đặc điểm kỹ thuật chính như sau:

1- Các loại đường ray tương đối đơn giản, chủ yếu là đường ray đơn.

2- Số hiệu đường ray lớn, thường từ 18 trở lên, tối đa có thể đạt tới 65.

3- Đường ray đảm bảo tính liên tục cao, độ ổn định cao, giúp tàu chạy êm ái và thoải mái.

4- Hầu hết các bộ chuyển hướng sử dụng bộ ghi với lõi ray di động.

5- Đường ray phù hợp với tuyến đường liền mạch xuyên khu vực.

6- Hệ thống chuyển đổi tín hiệu sử dụng thiết bị khóa ngoài.

7- Nền đường ray sử dụng loại tà vẹt dài bằng bê tông, được phối hợp với nền đường.

8- Đường ray được trang bị hệ thống giám sát và có thiết bị làm tan tuyết tại các khu vực lạnh giá.

9- Đường ray có độ chính xác cao trong sản xuất, lắp ráp và lắp đặt, với việc sử dụng thiết bị chuyên dụng để lắp đặt.

Chính nhờ những đặc điểm này mà việc nghiên cứu đường ray tốc độ cao đòi hỏi trình độ kỹ thuật và mức độ phức tạp cao.

2. Các bộ phận của đường ray

- Đường ray cơ bản và các loại ray dẫn hướng:

+ Đối với hệ thống đường ray tốc độ cao của tuyến hành khách, các loại ray cơ bản, ray dẫn hướng và ray tại đầu ray sử dụng thép ray tiêu chuẩn Trung Quốc loại 60kg/m.

+ Đường ray CN trong giai đoạn đầu sử dụng thép ray nhập khẩu, với kích thước mặt cắt tương tự như loại 60kg/m của Trung Quốc. Sau đó, ray dẫn hướng được thay thế bằng thép ray Trung Quốc loại 60kg/m, còn ray tại đầu ray được chế tạo từ thép ray có mặt cắt dày.

- Vật liệu thép ray:

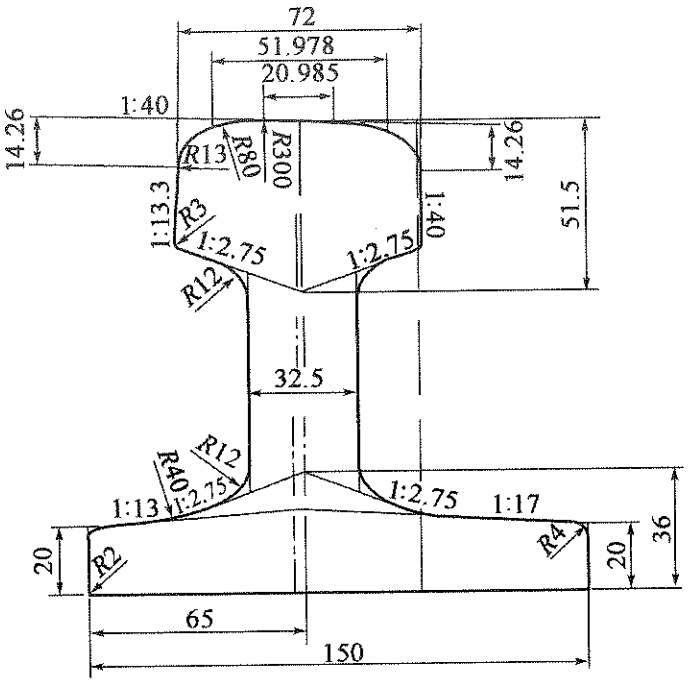
+ Đường ray có tốc độ thiết kế 250 km/h sử dụng vật liệu thép loại U75V.

+ Đường ray có tốc độ thiết kế 350 km/h sử dụng vật liệu thép loại U71MnK.

- Đường ray mũi nhọn và lõi ray:

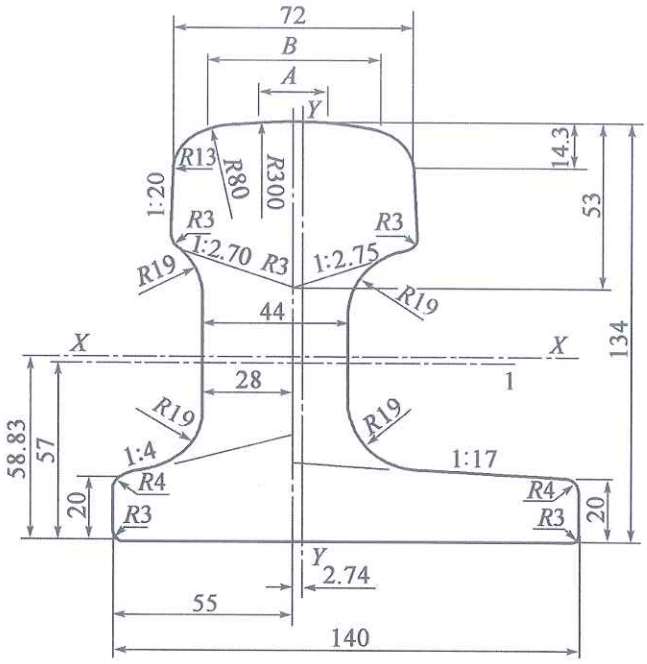
+ Đối với hệ thống đường ray tốc độ cao của tuyến hành khách, các đường ray mũi nhọn và lõi ray được sản xuất từ thép loại 60D40 (tương đương với 70kg/m).

+ Kích thước mặt cắt của ray 60D40 được thể hiện ở Hình 1-5-3. Ưu điểm của loại ray này là chiều cao nhỏ, thuận lợi cho thiết kế kết cấu tấm trượt, và độ cứng ngang thấp giúp giảm lực vận hành.



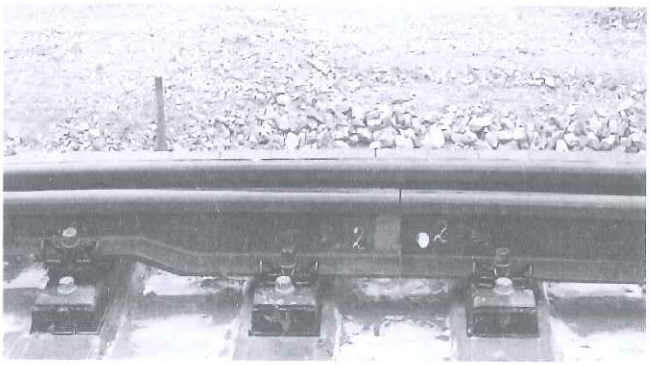
Hình 1-5-3: *Kích thước mặt cắt ngang của ray 60D40 (Đơn vị: mm)*

- Đường ray CN: Sử dụng loại thép ray Zul-60, với kích thước mặt cắt được minh họa trong Hình 1-5-4.



Hình 1-5-4: *Kích thước mặt cắt ngang của ray Zul-60 (Đơn vị: mm)*

Hiện tại, các nhà máy thép trong nước sản xuất ray 60D40 với chiều dài tiêu chuẩn là 50 m. Trong quá trình phát triển nội địa đối với loại đường ray 60-62, chiều dài của ray mũi nhọn là 54,44 m và được chế tạo từ một thanh ray liền mạch, không hàn nối ở giữa. Để đáp ứng yêu cầu này, một loại ray 60D40 dài 55 m đã được cán riêng. Ray mũi nhọn của loạt đường ray cao tốc thuộc hệ đường chuyển hướng có phần gốc được rèn theo mặt cắt của ray 60 kg/m, với đoạn định hình dài 450 mm và đoạn chuyển tiếp dài 150 mm, tương tự với đường ray tăng tốc. Phần gốc của ray mũi nhọn trong ray CN có đoạn định hình dài 600 mm, như minh họa trong Hình 1-5-5.



Hình 1-5-5: *Phần đoạn định hình ở đầu gót của ray mũi nhọn*

Các ray bảo vệ đều được lắp đặt trên các tuyến phụ của loại ray mũi nhọn 18 thuộc loạt đường ray tốc độ cao dành cho tuyến vận chuyển hành khách chuyên dụng. Ray bảo vệ được sản xuất theo tiêu chuẩn "Thép hình rãnh dùng cho ray bảo vệ 33kg/m" (TB/T 3110-2005) và được xử lý tôi cứng ở bề mặt làm việc bên hông. Tuy nhiên, các đường ray lớn hơn không lắp đặt ray bảo vệ. Trong khi đó, các ray phụ của cả loại ray 18 và các loại ray lớn thuộc CN đều không được lắp đặt ray bảo vệ.

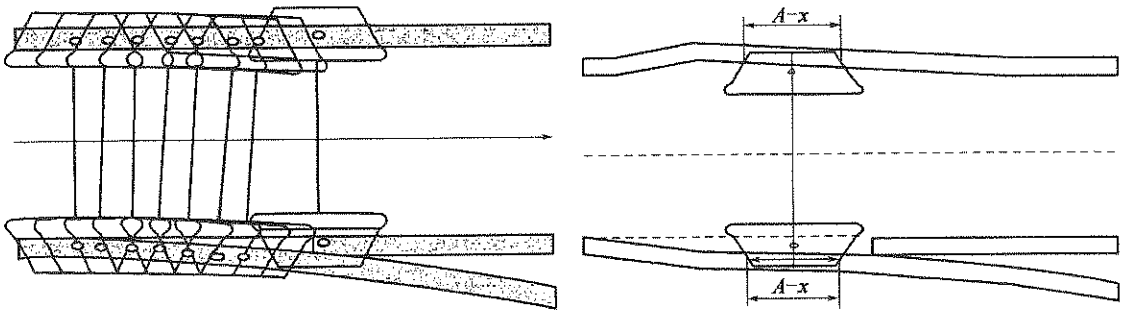
Về vật liệu chế tạo, các ray thuộc loạt đường ray tốc độ cao dành cho tuyến vận chuyển hành khách chuyên dụng được làm từ cùng loại vật liệu với ray đường chính. Đối với đường ray tốc độ 250km/h, bề mặt đỉnh ray được xử lý tôi cứng, nhưng với đường ray tốc độ 350km/h, bề mặt đỉnh ray không được xử lý tôi cứng. Trong khi đó, ray thuộc CN sử dụng thép nhập khẩu loại 900A, khác với vật liệu của ray đường chính tại Trung Quốc, đặt ra yêu cầu cao đối với quá trình hàn ray.

Về phần ray tâm, loạt đường ray tốc độ cao dành cho tuyến vận chuyển hành khách chuyên dụng sử dụng loại ray tâm ghép từ ray 60D40, trong khi ray tâm của CN được chế tạo nguyên khối. Phần phía trước của ray tâm được gia công từ phôi thép cùng loại với ray chính để tạo thành khối hình tam giác, còn phần phía sau được chế tạo từ các ray thép thông thường ghép nối bằng cách hàn lại để tạo thành ray tâm dài và ngắn.

3. Cấu trúc bộ chuyển ray

Trong thiết kế của các loại ray từ các quốc gia khác nhau, phần đầu của ray mũi nhọn đều được sử dụng cấu trúc "giấu mũi" với độ sâu giấu mũi là 3mm. Tuy nhiên, mức độ hạ thấp của đầu ray mũi nhọn không hoàn toàn giống nhau.

Đối với loại ray CN, công nghệ FAKOP được áp dụng tại khu vực đầu mũi ray mũi nhọn bằng cách mở rộng khoảng cách ray lên 15mm, như được minh họa trong hình 1-5-6.



Hình 1-5-6: *Mở rộng bên ngoài của ray cơ bản để giảm chuyển động hình rắn*

Mục đích của công nghệ này là:

- Cải thiện sự không đồng đều về động lực học trong phạm vi ray mũi nhọn.
- Giảm hiện tượng dao động kiểu "rắn bò".
- Làm dày phần ray mũi nhọn, từ đó kéo dài tuổi thọ sử dụng.

Tuy nhiên, việc áp dụng công nghệ này làm cho quy trình sản xuất trở nên phức tạp hơn.

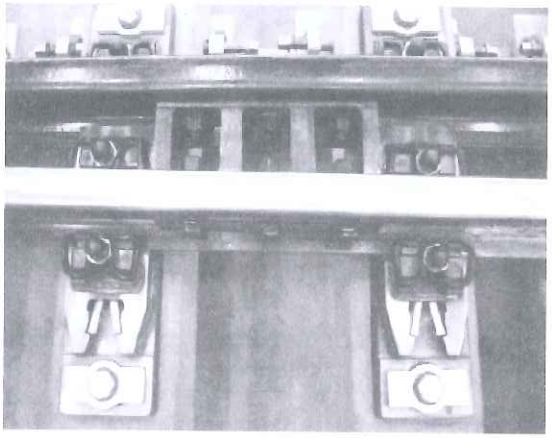
Giá trị thiết kế dịch chuyển co giãn của mũi nhọn ray trong đường ray số 18 được thể hiện ở Bảng 1-5-6. Giá trị này chủ yếu bao gồm hai phần: thứ nhất là dịch chuyển co giãn ở đầu gốc của mũi nhọn ray; thứ hai là dịch chuyển co giãn của đoạn tự do. Để ngăn chặn việc dịch chuyển co giãn của mũi nhọn ray quá lớn gây kẹt, cả hai loại đường ray đều áp dụng các kỹ thuật đường ray liền mạch khác nhau.

Bảng 1-5-6: Giá trị thiết kế dịch chuyển co giãn của mũi nhọn ray số 18

Loại Đường Ray	Đường ray tự phát triển	Đường Ray CN
Giá trị thiết kế dịch chuyển co giãn của mũi nhọn ray (mm)	± 30	± 40

Cấu trúc truyền lực của đầu mũi nhọn ray ở các bộ chuyển ray dòng cao tốc đường chuyển hướng có ba phương pháp:

- Sử dụng thanh giãn cách (Hình 1-5-7).
- Sử dụng bộ hạn chế vị trí (Hình 1-5-8).
- Không sử dụng bất kỳ cấu trúc truyền lực nào, chỉ cố định bằng bộ phận kẹp.



Hình 1-5-7: *Thanh giãn cách tại đầu mũi nhọn ray*



Hình 1-5-8: *Bộ hạn vị tại đầu mũi nhọn ray*

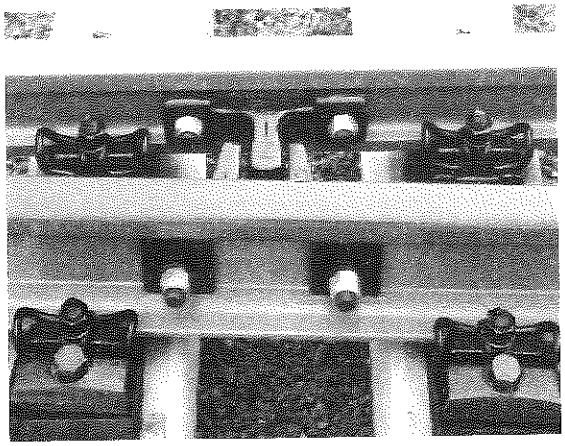
Việc sử dụng bộ hạn vị có ưu điểm là truyền lực rõ ràng, lực phụ tác động lên ray cơ bản khá nhỏ, nhưng chuyển vị của mũi nhọn ray lại lớn. Khi bộ hạn vị chịu lực, có thể dẫn đến hướng của mũi nhọn ray không chính xác, và nhiều bộ hạn vị khó có thể đồng thời chịu lực.

Sử dụng miếng đệm khoảng cách có ưu điểm là giúp mũi nhọn ray được cố định chắc chắn hơn, chuyển vị của mũi nhọn ray nhỏ hơn và cũng giúp duy trì được hình dáng của mũi nhọn ray; nhược điểm là ray cơ bản phải chịu thêm lực phụ khá lớn và miếng đệm khoảng cách cũng chịu áp lực lớn hơn.

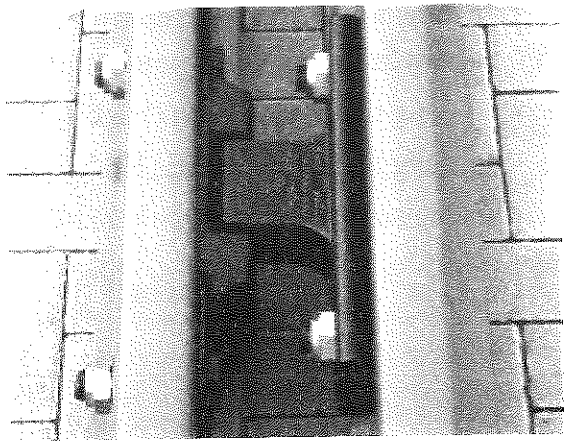
Việc cố định đầu mũi nhọn ray chỉ bằng thiết bị kẹp có cấu trúc đơn giản hơn, nhưng chuyển vị của mũi nhọn ray lại lớn và khó kiểm soát; ngoài ra, trong nước hiện vẫn thiếu kinh nghiệm trong việc sử dụng cách này.

Hệ thống đường ray cao tốc của các tuyến chuyên chở hành khách lựa chọn cấu trúc truyền lực khác nhau tùy thuộc vào chênh lệch nhiệt độ của ray. Cần lưu ý rằng, đối với cấu trúc hạn vị, khi khóa chặt đường ray, cần đảm bảo sai lệch khe hở giữa các khối chính và phụ của bộ hạn vị không vượt quá 1mm.

Đối với ray CN, đầu mũi nhọn ray được lắp đặt bộ hạn vị (Hình 1-5-9, Hình 1-5-10) nhằm giảm chuyển vị tại đầu mũi nhọn ray (số lượng bộ hạn vị khác nhau tùy thuộc vào các loại ray).

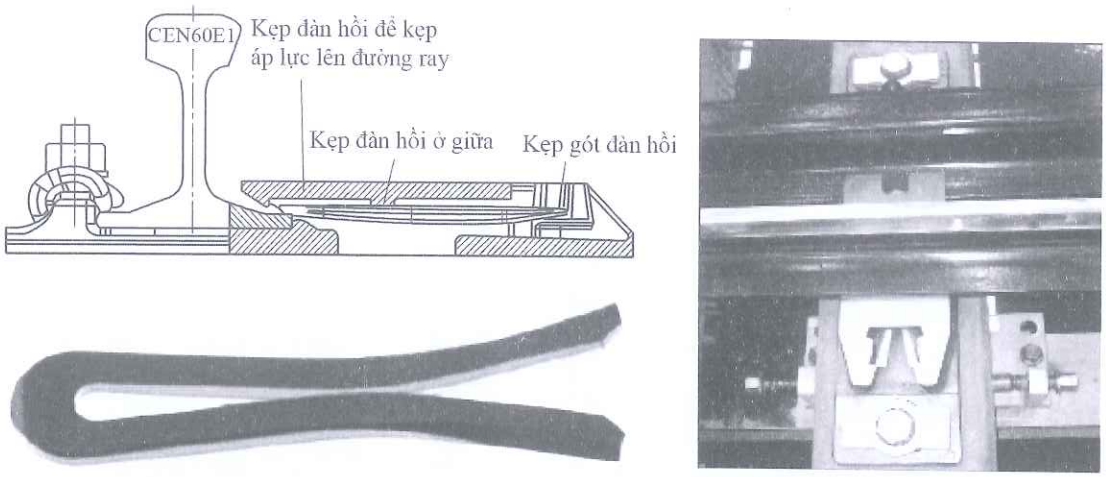


Hình 1-5-9: *Bộ hạn vị tại đầu mũi nhọn ray của đường ray CN*



Hình 1-5-10: *Bộ hạn vị của đường ray CN loại số lớn*

Trong các đường ray cải tiến, bên trong đường ray cơ bản trong phạm vi tấm trượt thường sử dụng kẹp áp lực bằng lá đàn hồi, tuy nhiên việc lắp đặt và tháo gỡ khá bất tiện, và lực kẹp thường bị mất nhiều. Do đó, dòng đường ray cao tốc dành cho tuyến hành khách chuyển sang sử dụng kẹp đàn hồi để giữ, như thể hiện trong Hình 1-5-11.



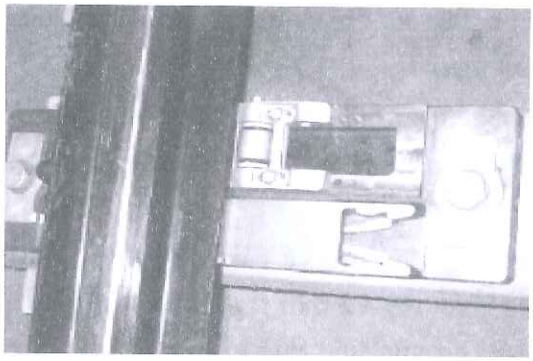
Hình 1-5-11: *Kẹp đàn hồi Schwihag của CN*

Ưu điểm của phương pháp này là lực kẹp lớn, đồng thời việc lắp đặt và tháo gỡ cũng thuận tiện hơn.

Đối với đường ray CN, phương án sử dụng tấm trượt và tấm trượt đệm tách rời được áp dụng. Hai bên của tấm trượt đệm sử dụng hai thanh đàn hồi đơn lẻ để kẹp áp lực lên đường ray cơ bản.

Để giảm lực cản khi thao tác và tránh chuyển vị không đủ, bề mặt của bàn trượt của mũi ghi và tim ghi phải được xử lý chống mài mòn. Trong loạt đường ray cao tốc của các tuyến hành khách chuyên biệt, giải pháp được áp dụng là phủ một lớp hợp kim niken - composite tự bôi trơn trên bề mặt bàn trượt.

Đối với phần mũi ghi, cứ mỗi khoảng 3 m lại bổ sung một cặp bàn trượt với con lăn, cấu trúc của con lăn được minh họa trong Hình 1-5-12. Việc sử dụng cấu trúc con lăn này có thể thực hiện điều chỉnh độ cao vô cấp, với độ điều chỉnh tối đa lên đến 6 mm, giúp dễ dàng đảm bảo tiếp xúc giữa con lăn và bàn trượt. Tuy nhiên, nhược điểm của cấu trúc này là yêu cầu nhất định trong quá trình lắp đặt và điều chỉnh con lăn, nếu không sẽ khó đạt được hiệu quả mong muốn từ con lăn.



Hình 1-5-12: *Con lăn Schwihag*

Phương án của đường chuyển hướng CN thường sử dụng tấm trượt giảm ma sát, như thể hiện trong Hình 1-5-13, được áp dụng cho cả đường chuyển hướng cao tốc và đường chuyển hướng thông thường.



Hình 1-5-13: *Tấm trượt giảm ma sát của đường chuyển hướng CN*

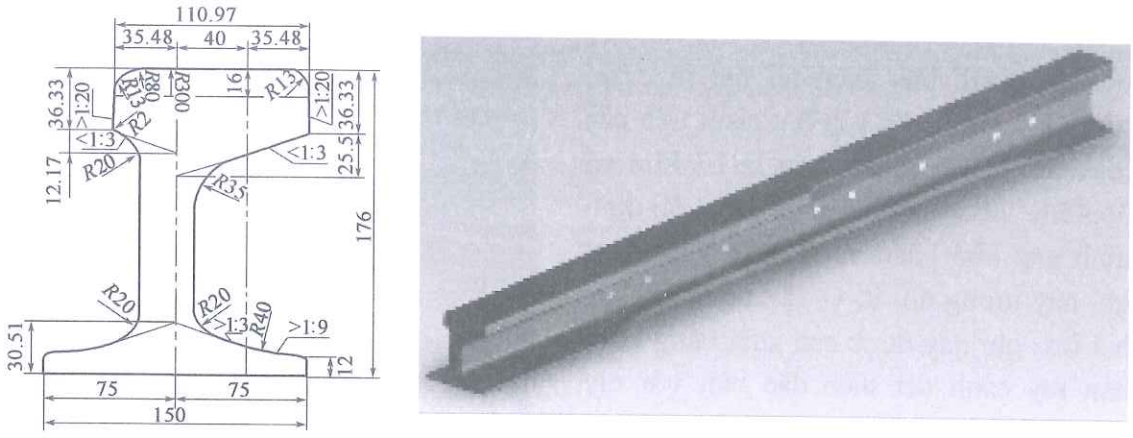
Tấm trượt giảm ma sát của đường chuyển hướng CN tương tự như của Pháp, bao gồm hai loại: loại có con lăn và loại không có con lăn. Điểm khác biệt là, ở Đức, bề mặt tấm trượt được phủ một lớp vật liệu giảm ma sát màu xám đen, trên cùng còn có một lớp chất giống như sáp. Phần dưới của cụm con lăn tại Đức được gắn một lớp vật liệu đàn hồi dày từ 25 đến 30 mm, với độ đàn hồi giảm dần theo chiều dài. Con lăn ngoài cùng cao hơn bề mặt tấm trượt 3 mm, giúp giảm độ rung của mũi ray trên tấm trượt.

4. Cấu trúc mũi ray

Các đường chuyển hướng tăng tốc sử dụng loại ray cánh đặc biệt, được rèn từ ray 60kg/m AT, đáp ứng yêu cầu giao diện giữa công tác đường ray và hệ thống tín hiệu (giao diện công - nghiệp). Tuy nhiên, trong quá trình sử dụng, loại ray này gặp phải vấn đề mài mòn không đồng đều.

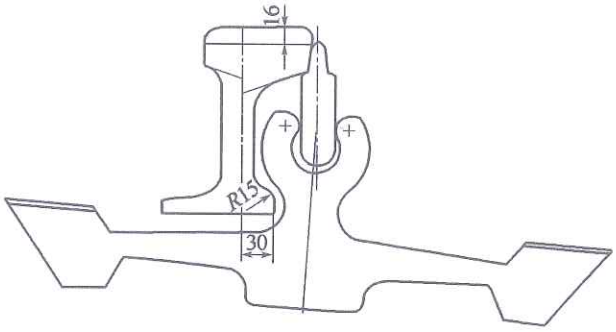
Do đó, loạt đường chuyển hướng cao tốc của các tuyến chuyên chở hành khách đã thiết kế riêng loại ray cánh đặc biệt, với kích thước mặt cắt như minh họa trong Hình 1-5-14.

Tại khu vực tiếp xúc giữa mũi ray và cánh ray động, cần thực hiện gia công cơ khí để xử lý đáy ray của cánh ray và mũi ray, như được thể hiện trong Hình 1-5-15. Giao diện công-nhiệp tại khu vực tiếp xúc giữa mũi ray và cánh ray động được mô tả trong Hình 1-5-16.

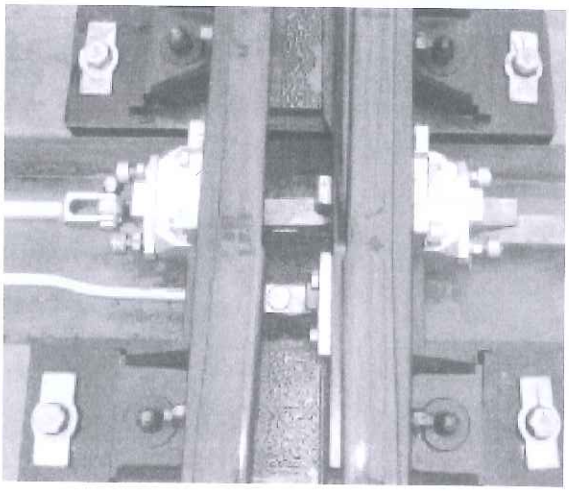


a) b)

Hình 1-5-14: *Mặt cắt ray cánh đặc biệt (đơn vị kích thước: mm)*

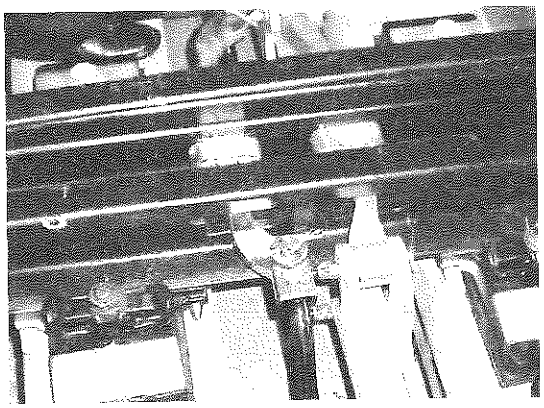


Hình 1-5-15: *Hình minh họa gia công ray cánh tại vị trí tâm ray - di động (đơn vị kích thước: mm)*



Hình 1-5-16: *Hình minh họa giao diện công - điện tại vị trí tâm ray - di động*

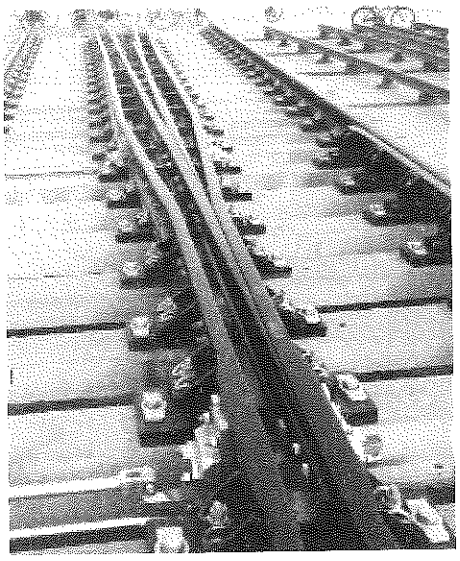
Do chiều dài định hình của ray cánh có tiết diện đặc biệt hiện tại chỉ là 22m, trong khi chiều dài của ray cánh trên các loại ghi 42 và 62 lần lượt là 27,45m và 36,45m, việc vận chuyển các ray dài định hình gặp khó khăn và số lượng các loại ghi này tương đối ít, vì vậy ray cánh của hai loại ghi này được sản xuất bằng cách hàn ray cánh tiết diện đặc biệt với ray thép thông thường 60kg/m tại nhà máy.



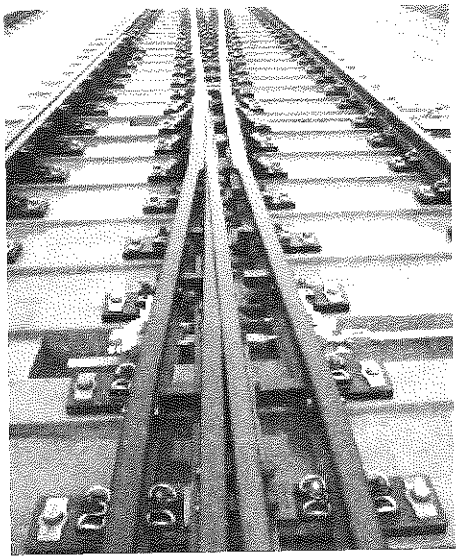
Hình 1-5-17: *Phương thức kéo của tâm ray di động trong ghi CN*

Ray cánh trong ghi ray có tâm ray di động của loại ghi CN được chế tạo từ ray thép thông thường. Thanh kéo của tâm ray xuyên qua lỗ tròn dài trên thân ray cánh (Hình 1-5-17), và đáy ray cánh không bị cắt. Phương pháp kéo từ đáy ray cánh trên ghi 18 của CN tương tự như phương pháp trong nước.

Tâm ray của ghi cao tốc trong dòng sản phẩm ghi chuyên dụng khách được chế tạo từ cấu trúc kết hợp của ray 60D40, ưu điểm là dễ chế tạo và thực hiện. Tuy nhiên, nhược điểm là thiết kế giao diện công điện phức tạp và tính toàn vẹn thấp, nhưng đã có kinh nghiệm sử dụng nhiều năm trong nước, kỹ thuật tương đối trưởng thành (Hình 1-5-18). Tâm ray của ghi CN là loại được đúc nguyên khối, như minh họa trong Hình 1-5-19.



Hình 1-5-18: *Tâm ray lắp ráp từ thép ray 60D40*

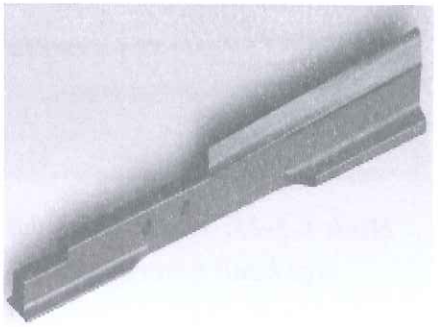


Hình 1-5-19: *Tâm ray đúc nguyên khối của ghi CN*

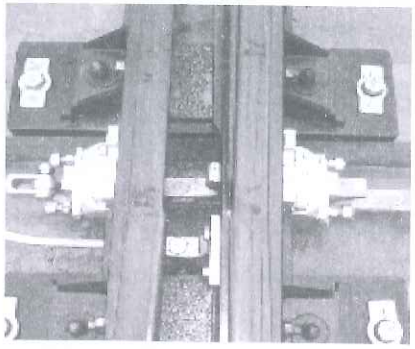
Hệ thống đường sắt cao tốc chuyên dụng cho vận tải khách đã loại bỏ gờ chuyển đổi ở phần đầu tâm ray và thay thế bằng phương pháp gia công cơ khí để chế tạo. Thiết kế chi tiết của phần đầu tâm ray được minh họa trong Hình 1-5-20.

Các dòng đường sắt cao tốc chuyên dụng và loạt đường sắt tốc độ 350 km/h theo công nghệ Pháp (CZ) đều áp dụng cấu trúc giấu mũi ngang tại phần đầu tâm ray, như minh họa trong Hình 1-5-21. Do đó, cấu trúc tâm ray này có sự khác biệt so với các đường sắt tốc độ 250 km/h, với yêu cầu đảm bảo khoảng cách chính xác giữa đầu tâm ray và đầu ray cánh khi lắp đặt.

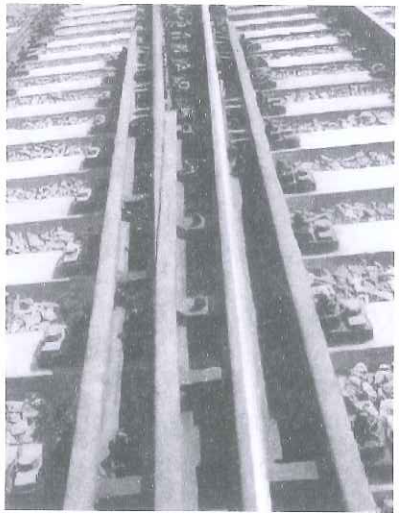
Loại đường sắt số 18 thiết kế mũi nhọn của ray nối tại phần gốc ray với kiểu ghép xiên, như minh họa trong Hình 1-5-22. Trong khi đó, loại đường sắt số 42 và số 62 sử dụng cấu trúc đàn hồi hai nhánh có thể uốn cong, như minh họa trong Hình 1-5-23.



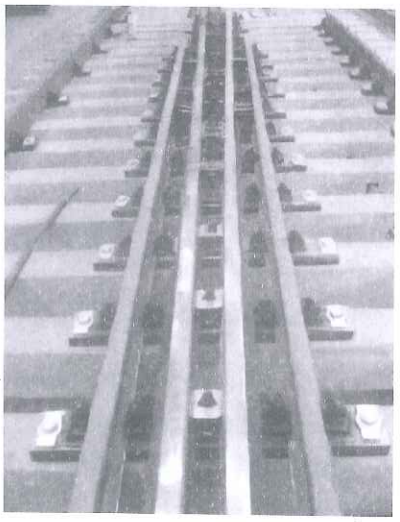
Hình 1-5-20: *Cấu trúc phần đầu tâm ray*



Hình 1-5-21: *Cấu trúc giấu mũi ngang của đường ray chuyển hướng*

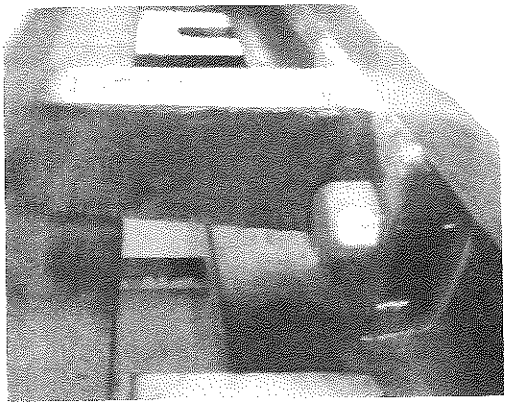


Hình 1-5-22: *Mối nối xiên tại đầu cuối của tâm ray trong đường ray chuyển hướng*

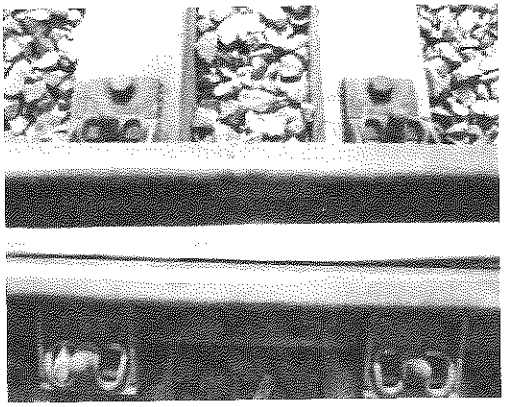


Hình 1-5-23: *Tâm ray linh hoạt với hai nhánh đàn hồi trong đường ray chuyển hướng*

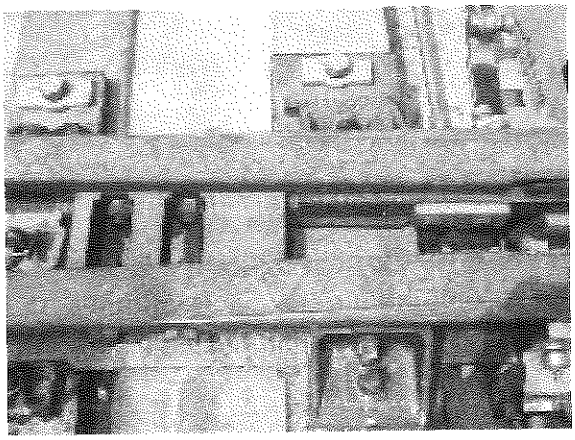
Hiện tượng rung lắc của tâm ray không chỉ ảnh hưởng đến độ ổn định khi tàu chạy mà còn gây tác động đáng kể đến kết cấu đường ray, do đó cần kiểm soát chặt chẽ. Hệ thống đường sắt cao tốc chuyên dụng áp dụng ba biện pháp để giảm thiểu rung lắc: sử dụng thanh nẹp để kẹp chặt tâm ray hoặc đáy ray, lắp đặt chốt chống rung trên ray cánh, và kéo dài đầu tâm ray xuống phía dưới thanh nẹp khoảng cách, như minh họa trong Hình 1-5-24 đến Hình 1-5-26.



Hình 1-5-24: *Chống trật bánh bằng thanh chặn đầu ray*



Hình 1-5-25: *Thanh chặn chống trật bánh trên ray cánh*

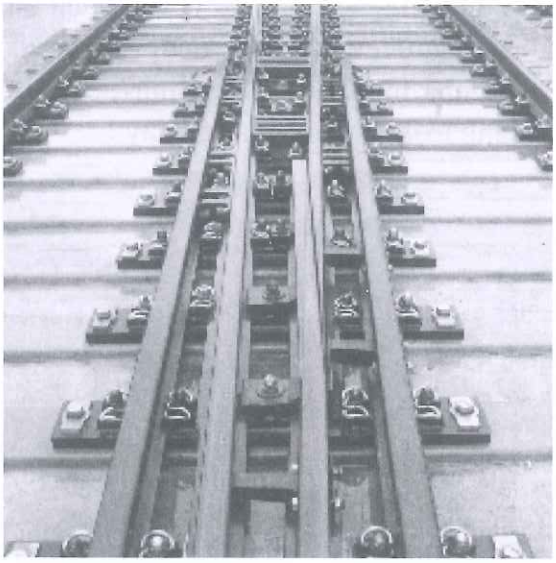


Hình 1-5-26: *Cấu trúc chống trật bánh ở đầu trước của ray tim*

Đối với hệ thống đường sắt cao tốc CN, ngoài các biện pháp được thực hiện tại mũi nhọn tâm ray và thanh nẹp, còn bổ sung cấu trúc chống rung thủy lực, sử dụng thanh cứng xuyên qua tâm ray để giữ chặt tâm ray sau khi chuyển đổi và đảm bảo khóa an toàn.

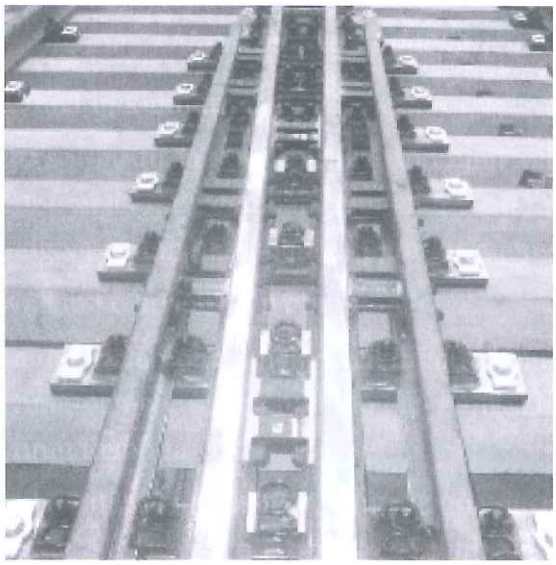
Cấu trúc đầu cuối của đường ray cánh là cách kết nối giữa đường ray cánh với tâm ray hoặc đường ray nối sau. Trong thời gian dài, tại Trung Quốc, kết nối này được thực hiện bằng cách sử dụng các thanh đệm (khoảng cách), đồng thời áp dụng

phương pháp dán keo giữa các thanh đệm và đường ray, mang lại hiệu quả sử dụng tốt. Do đó, dòng đường ray tốc độ cao của các tuyến hành khách trong nước cũng áp dụng cấu trúc đầu cuối này. Tại vị trí kết nối giữa đường ray cánh và tâm ray hoặc đường ray nối sau, người ta lắp đặt hai thanh đệm lớn và thực hiện dán keo tại nhà máy, như được mô tả trong Hình 1-5-27.



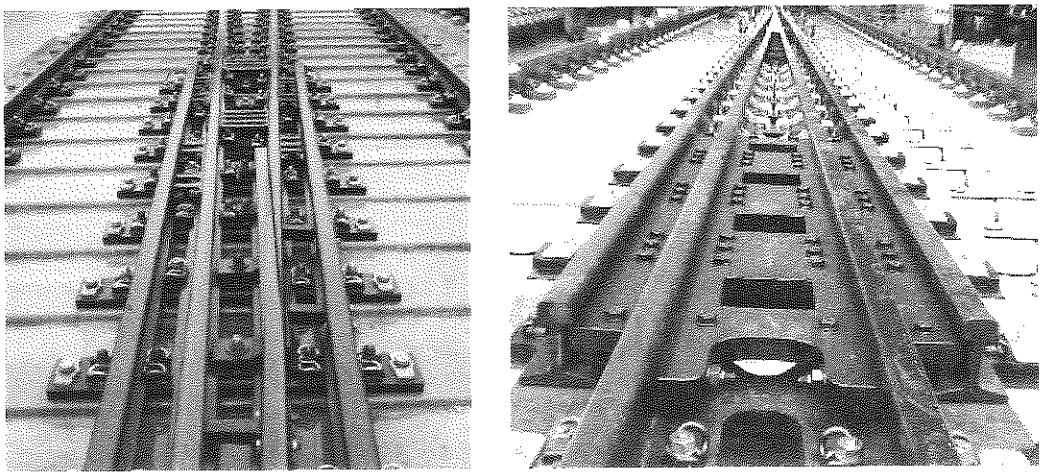
Hình 1-5-27: *Cấu trúc đầu nối của ray cánh*

Đối với loại đường ray số 42, hai thanh đệm bổ sung được lắp đặt giữa hai tâm ray phía sau đoạn chuyển hướng, và chúng được kết nối với tấm đệm lớn, như minh họa trong Hình 1-5-28.



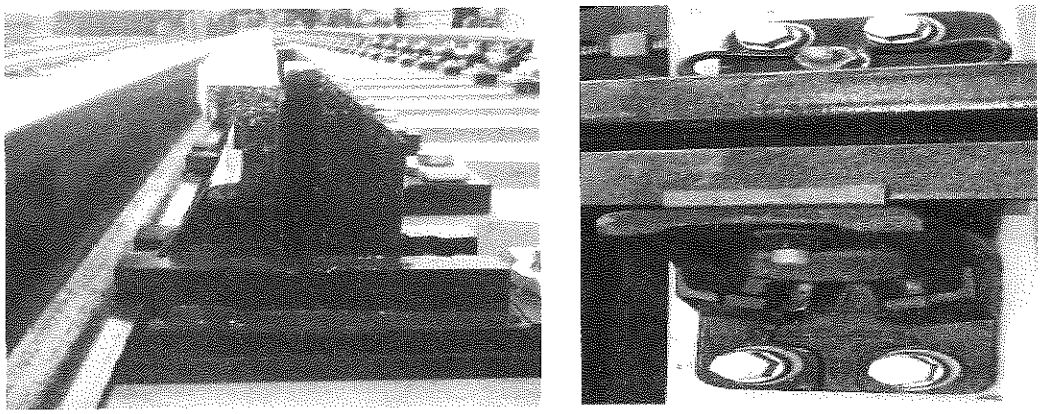
Hình 1-5-28: *Kết nối giữa ray tim phía sau đường ray và tấm đệm lớn*

Đường ray CN cỡ lớn, điểm tách nối của tim ray thường nằm trong khoảng 250-270 mm, tiếp đến là 4-5 khối chêm dạng thanh ngang, sau đó kéo dài đến điểm cố định bằng gối đỡ bên trong ray. Phần dưới của đoạn cuối cụm đường ray được trang bị một tấm đệm lớn, các kết nối giữa tim ray và tim ray, cũng như giữa ray cánh và tim ray, được thực hiện thông qua các chêm lớn được nối bằng bulông với tấm đệm lớn, đồng thời có cả bulông liên kết ngang. Độ lệch vị trí không đủ được khắc phục bằng cách áp dụng sẵn biến dạng ngược, tiêu chuẩn kiểm soát là 0,5 mm/2 m, với tổng độ lệch không vượt quá 2 mm, như minh họa trong Hình 1-5-29. Đặc biệt, đoạn cuối của ray CN 18 được chế tạo bằng loại thép ray có chân dày.



Hình 1-5-29: *Cấu trúc đoạn cuối của ray cánh CN*

Đường nhánh của bộ ghi tốc độ cao thuộc dòng đường sắt khách 18 số được lắp đặt thanh hộ lan, với thanh hộ lan được chế tạo từ ray rãnh UIC33. Mặt bên trong của tấm lót thanh hộ lan sử dụng kẹp đàn hồi để cố định ray cơ bản, như được minh họa trong Hình 1-5-30, trong khi bộ ghi 18 số của CN không được lắp đặt thanh hộ lan.



a) *b)*

Hình 1-5-30: *Thanh bảo vệ và tấm đệm thanh bảo vệ*

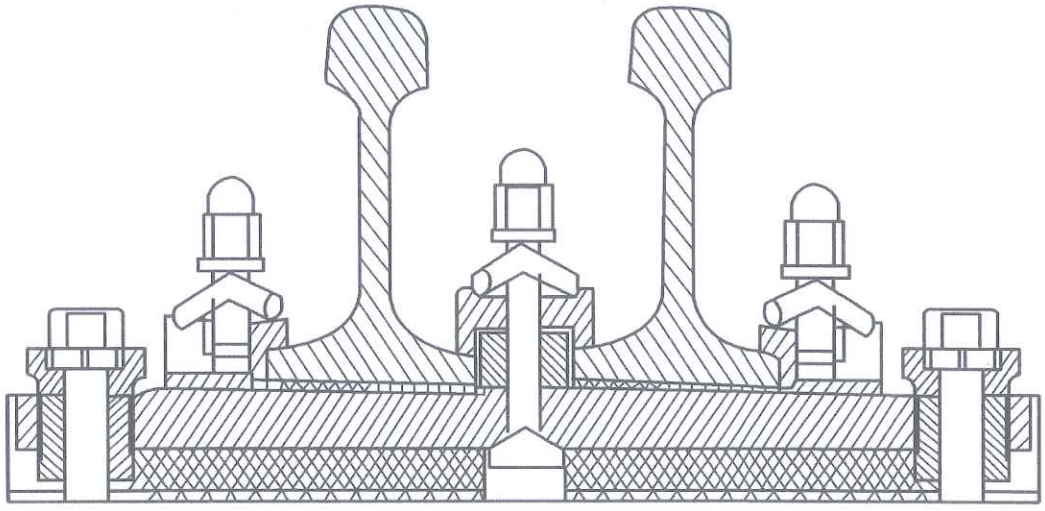
5. Hệ thống cố định

Hệ thống đường sắt cao tốc chuyên dụng cho vận chuyển hành khách áp dụng cố định bằng kẹp đàn hồi loại II. Hệ thống này sử dụng chân sắt và khối điều chỉnh khoảng cách để cố định đường ray chính, với cấu trúc tương tự như các hệ thống đường sắt tăng tốc. Phía dưới đường ray được lót một lớp đệm cao su dày 5 mm. Tại phần phía trước của cánh ray, nơi có vùng chuyển động của tim đường ray động, lớp đệm cao su dày 7 mm được lắp đặt. Phần phía sau không sử dụng đệm cao su, thay vào đó, các tấm đệm được hàn cố định trên tấm sắt.

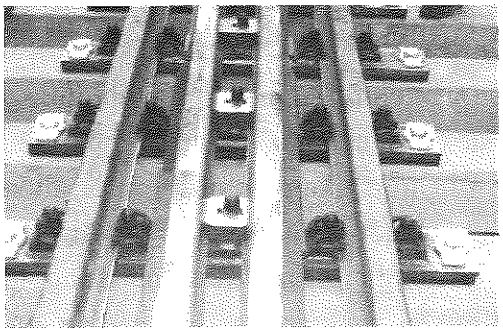
Tại các vị trí lắp đặt tấm kẹp, chẳng hạn như sau tâm đường ray hoặc trước tim đường ray, cũng như tại các vị trí lắp đặt giá đỡ và kẹp sắt ở tim ray động, bulông chữ T được lắp từ trên xuống. Sau khi lắp chặt đến đáy, bulông được xoay 90° và đai ốc được siết chặt. Trong quá trình vận hành, cần đảm bảo bulông luôn được giữ chặt để tránh hiện tượng lỏng hoặc rơi. Thiết kế và cấu trúc của hệ thống này được minh họa trong Hình 1-5-31 và Hình 1-5-32.

Cánh ray bên ngoài được lắp đặt giá đỡ để tăng cường độ ổn định của cánh ray, cấu trúc của giá đỡ khác biệt đáng kể so với đường sắt tăng tốc, như minh họa trong Hình 1-5-33 và Hình 1-5-34.

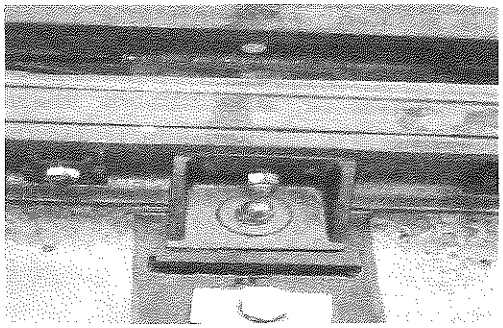
Đối với đường ray CN, tại đoạn gốc của mũi nhọn, đã áp dụng hệ thống kẹp đàn hồi nhỏ gọn (kẹp đàn hồi SKL12), với lực kẹp từ 10 đến 12 kN. Hệ thống kẹp này có thiết kế đơn giản và hiệu quả, giúp duy trì tốt hình dáng đường ray. Ở những khu vực có khoảng cách hỗ trợ nhỏ hơn, cũng áp dụng phương pháp kẹp cứng, như minh họa trong Hình 1-5-35.



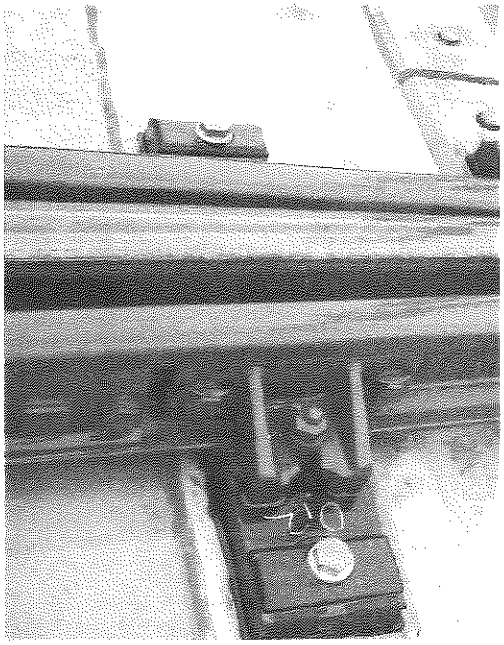
Hình 1-5-31: *Lắp đặt tấm điều chỉnh khoảng cách đường ray*



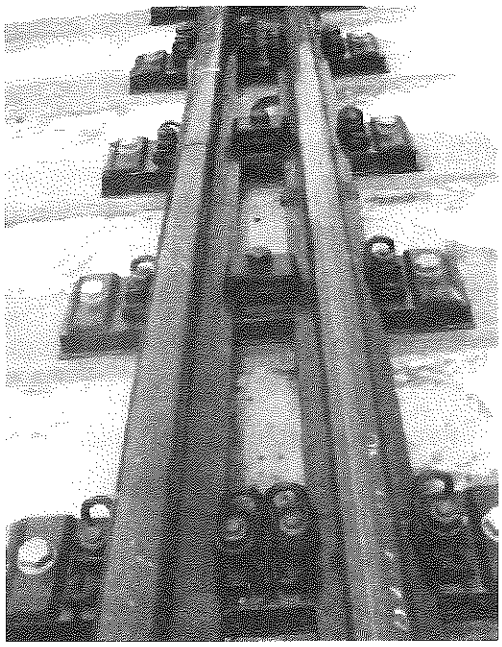
Hình 1-5-32: *Minh họa tấm kẹp hai bên của phần chuyển động tim đường ray*



Hình 1-5-33: *Cấu trúc giá đỡ cánh ray của đường ray tự nghiên cứu phát triển*



Hình 1-5-34: *Cấu trúc giá đỡ cánh ray của đường ray BWG*



Hình 1-5-35: *Loại kẹp tại đoạn gốc của mũi nhọn trên đường ray CN*

6. Thiết bị chuyển động

Cả hệ thống đường sắt cao tốc chuyên dụng và đường ray CN đều sử dụng phương pháp chuyển động đa điểm và đa máy. Các thiết bị chuyển động chính bao gồm: máy chuyển hướng, thiết bị khóa ngoài, cảm biến kiểm tra độ khít, và thiết bị lắp đặt. Đối với đường ray CN, còn được trang bị thêm thiết bị hạ lực thủy lực.

Các loại máy chuyển hướng được sử dụng trên đường ray tự nghiên cứu phát triển bao gồm: ZDJ9 điện động, ZYJ7 điện thủy lực, và S700K điện động. Trong khi đó, đường ray CN chủ yếu sử dụng S700K điện động.

Đường sắt cao tốc chuyên dụng tại mỗi điểm kéo của mũi nhọn đều sử dụng thiết bị khóa ngoài dạng móc. Cấu trúc này bao gồm: thanh kết nối, chốt trục, móc khóa, tấm giới hạn, khung khóa, thanh khóa, và các phụ kiện kết nối.

Tại khu vực tim ray chuyển động, cấu trúc khóa bao gồm: móc khóa, thanh khóa, khung khóa, thanh khóa, và các phụ kiện kết nối khác.

Đường ray CN sử dụng cơ cấu khóa ngoài HRS, có khả năng thích nghi tốt với độ co giãn của mũi nhọn và giảm kích thước mở của đường ray. Tuy nhiên, cấu trúc này phức tạp hơn, bao gồm nhiều linh kiện và yêu cầu độ chính xác cao trong việc phối hợp kích thước giữa mũi nhọn và đường ray cơ bản.

7. Sự khác biệt chính giữa đường ray không ballast và có ballast

Đối với đường ray không ballast và có ballast, các thành phần thép ray của Dòng Đường Sắt Cao Tốc chuyển hướng nhìn chung giống nhau. Tuy nhiên, do đường ray không ballast được thiết kế theo tốc độ 350 km/h, nên tim ray áp dụng cấu trúc mũi nhọn ẩn ngang, và kích thước tại phần tim ray động khác nhau. Ngoài ra, sự khác biệt chính giữa hai loại đường ray bao gồm:

- **Hệ thống cố định:** Độ cứng của hệ thống cố định khác nhau, với độ cứng tại các điểm nút cố định của đường ray có ballast là 50 kN/mm, trong khi đường ray không ballast là 25 kN/mm.

- **Thiết bị chuyển đổi điện điều khiển:** Do sự thay đổi kích thước của tim ray động, các thiết bị chuyển đổi điện tại phần ngã ba ray cũng khác nhau.

- **Cấu tạo bê tông:** Các loại thanh bê tông tại các đường ray cũng không giống nhau.

8. Các điểm sáng tạo kỹ thuật chính của dòng đường sắt cao tốc chuyển hướng

Dòng Đường Sắt Cao Tốc chuyển hướng mang đến những đổi mới kỹ thuật quan trọng, bao gồm:

1) Hình dạng mặt phẳng: Sử dụng hình dạng đường cong đầu ray với bán kính lệch 12 mm, giúp tăng độ dày đầu ray và kéo dài tuổi thọ của đầu ray.

2) Chất liệu sản xuất: Sử dụng thép 60D40 được cán đặc biệt để chế tạo đầu ray và tim ray.

3) Sản xuất cánh ray: Phát triển thép định hình đặc biệt để chế tạo cánh ray, áp dụng gia công cơ khí nhằm cải thiện tính đồng nhất và độ bền, tránh các tác động xấu từ xử lý nhiệt lên tim ray và cánh ray.

4) Kết cấu truyền lực: Đầu ray có ba kiểu kết cấu truyền lực khác nhau, phù hợp với các mức biến đổi nhiệt độ của đường ray không ballast.

5) Tối ưu hóa cấu trúc: Cải tiến độ hạ thấp và hình dạng gia công bề mặt của đầu ray và tim ray, góp phần tăng tính ổn định khi tàu chạy.

6) Thiết kế độc đáo: Phát triển cấu trúc đôi linh hoạt có thể uốn cong cho tim ray động của đường ray số 42 và 62.

7) Giảm lực kéo: Lắp đặt hệ thống con lăn dưới tấm trượt ray giúp giảm đáng kể lực kéo.

8) Cố định cứng: Sử dụng kẹp đàn hồi trên tấm trượt và tấm đệm ray bảo vệ, tăng lực cố định và đơn giản hóa việc lắp đặt.

9) Tấm sắt lưu hóa: Ứng dụng công nghệ lưu hóa hoàn toàn vào tấm sắt, nâng cao tính đồng nhất của độ cứng vùng ray.

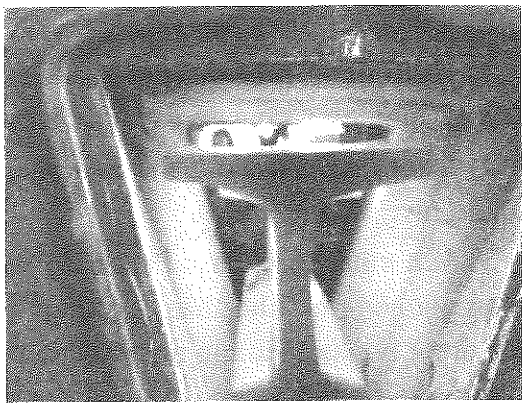
10) Kết nối công nghệ: Cải thiện cách kết nối giữa kết cấu và hệ thống điện, thuận lợi cho việc điều chỉnh thiết bị chuyển đổi.

11) Ray không mối nối: Đường ray số 62 với chiều dài đầu ray 54.44 m được chế tạo từ thép 60D40 nguyên khối, không có mối hàn ở giữa.

V. CÔNG NGHỆ SẢN XUẤT ĐƯỜNG RAY CAO TỐC

1. Quy trình sản xuất ray

Ray đầu mũi và ray tim dài của dòng đường sắt cao tốc chuyên chở hành khách được chế tạo bằng thép ray 60D40, với phần đầu cuối được rèn thành tiết diện tiêu chuẩn của thép ray 60kg/m. Đối với dòng đường sắt cao tốc CN, ray đầu mũi được làm từ thép ray 60E1A1 (còn gọi là Zul-60), cũng với phần đầu cuối được rèn thành tiết diện tiêu chuẩn 60kg/m. Ray đầu mũi và ray tim dài của dòng đường sắt cao tốc chuyên chở hành khách có đầu cuối được rèn với độ nghiêng 1:40, trong khi ray đầu mũi của đường sắt cao tốc CN không có độ nghiêng này. Cả hai loại ray đều sử dụng phương pháp gia nhiệt điện, với việc kiểm soát nhiệt độ bằng thiết bị điều khiển nhiệt độ để đảm bảo quá trình rèn đầu cuối của ray đầu mũi trong phạm vi nhiệt độ quy định của quy trình sản xuất (xem Hình 1-5-36). Sau khi xử lý nhiệt hoàn tất, ray được gia công cơ khí để hình thành tiết diện tiêu chuẩn và kiểm tra bằng phương pháp bột từ hoặc siêu âm.



Hình 1-5-36: *Gia nhiệt đường ray*

Quy trình gia công ray:

- Cắt vật liệu ray:

+ Thường sử dụng thước cuộn để đo và thêm phần bù nhiệt độ để xác định kích thước cắt.

+ Hoặc sử dụng hệ thống máy cưa và khoan tích hợp điều khiển số để tự động cắt, đảm bảo bù nhiệt độ chính xác.

- Khoan lỗ trên ray:

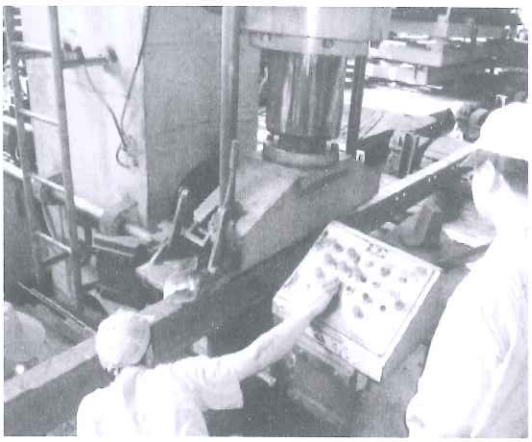
+ Thường sử dụng máy cưa khoan kết hợp, máy khoan điều khiển số, hoặc máy khoan cần.

+ Khi dùng máy khoan cần, cần thiết kế mẫu chuyên dụng để đảm bảo độ chính xác về chiều cao và chiều dài.

- Chỉnh thẳng và uốn cong ray:

+ Áp dụng kỹ thuật để tránh tạo ra vết lõm trong quá trình sản xuất (xem Hình 1-5-37).

+ Việc kiểm tra uốn cong được thực hiện trên nền tảng chuyên dụng để đảm bảo chất lượng từng chi tiết.



***Hình 1-5-37:** Điều chỉnh đường ray*

Quy trình sản xuất phần tim ray:

Đối với tim ray của dòng đường sắt cao tốc CN:

- Quy trình sản xuất chính bao gồm:

+ Rèn phôi thô.

+ Gia công sơ bộ.

+ Xử lý nhiệt.

+ Hàn nối với phần ray cuối.

+ Gia công hoàn thiện.

- Phôi thô được rèn với độ bền cấp R260, và phần đầu ray được để lại một khoảng gia công dư, trong khi các phần khác được gia công đầy đủ.

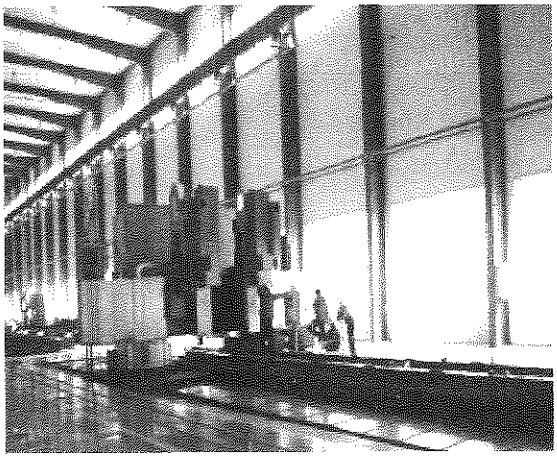
- Sau xử lý nhiệt, phần đầu tim ray đạt cấp bền R350HT.

- Phần nối ở cuối tim ray được hàn bằng công nghệ hàn đối đầu hồ quang, đảm bảo vùng chịu ảnh hưởng nhiệt đạt yêu cầu kỹ thuật.

Gia công ray:

- Đầu ray và đáy ray được gia công bằng máy phay CNC chuyên dụng (xem Hình 1-5-38).

- Để đảm bảo độ chính xác và độ nhám bề mặt đạt tiêu chuẩn, quá trình gia công áp dụng phương pháp phay nhiều lần với các bước phay thô và phay tinh.



Hình 1-5-38: *Gia công các bộ phận đường ray bằng máy phay CNC dạng cổng*

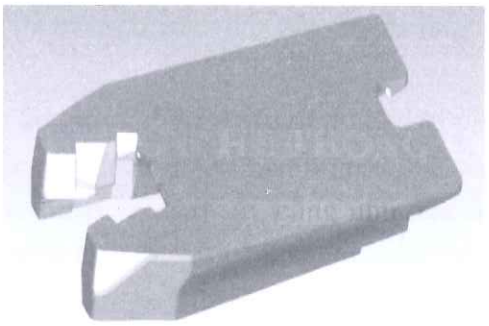
Ray đầu mũi và ray tim của dòng đường sắt cao tốc chuyên chở hành khách sử dụng các loại dao khác nhau để gia công mặt làm việc và dốc dọc của ray, trong khi dòng đường sắt cao tốc CN sử dụng công cụ tích hợp để gia công cả hai phần.

2. Quy trình sản xuất tấm đệm

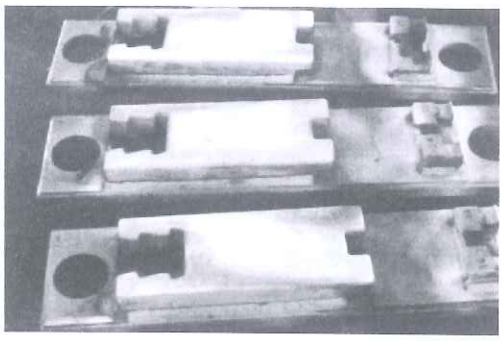
Các tấm đệm sắt của dòng đường sắt cao tốc chuyên chở hành khách và dòng CN đều sử dụng công nghệ lưu hóa toàn bộ. Tấm đệm sắt cho đường sắt cao tốc nội địa được chế tạo từ thép tấm, trong đó các bộ phận như tấm trượt, tấm bảo vệ ray, và tấm đỡ được thiết kế khá phức tạp và sản xuất thông qua phương pháp đúc chính xác kết hợp gia công.

Đối với dòng đường sắt cao tốc CN, ngoài tấm đệm khoảng cách làm từ thép tấm và được hàn với chân sắt, hầu hết các bộ phận khác được rèn. Chân sắt và tấm nền được chế tạo liền khối thông qua quá trình rèn áp lực.

Dòng đường sắt cao tốc chuyên chở hành khách sử dụng công nghệ hàn để gắn kết tấm trượt với tấm nền. Phần đuôi của tấm trượt có cấu trúc phức tạp, các kích thước đòi hỏi liên kết chính xác (Hình 1-5-39), và cần được kiểm soát chặt chẽ về dung sai trong quá trình gia công. Để đảm bảo độ chính xác trong quá trình định vị chân sắt và tấm trượt khi hàn, cần sử dụng các dụng cụ gá chuyên biệt. Việc kiểm tra mối hàn nhằm phát hiện khuyết tật được minh họa trong Hình 1-5-40.



Hình 1-5-39: *Sơ đồ minh họa tấm đế trượt*



Hình 1-5-40: *Kiểm tra khuyết tật hàn của tấm đệm bằng phương pháp nhuộm màu*

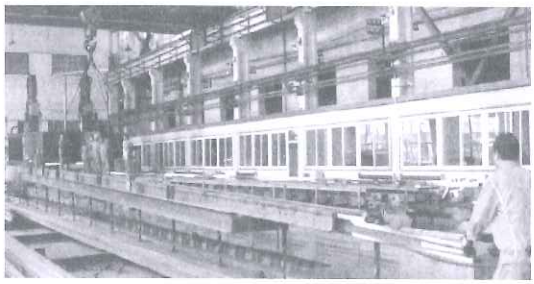
Trong khi đó, dòng CN sử dụng thiết kế tấm trượt và tấm nền tách rời. Các bộ phận này được rèn hoàn toàn, chỉ cần gia công nhẹ ở một số vị trí nhất định. Bề mặt tấm trượt được phủ một lớp hợp kim nhôm-silicon nhằm giảm ma sát và tăng khả năng chống ăn mòn.

3. Lắp ráp và tích hợp hệ thống đường ray cao tốc

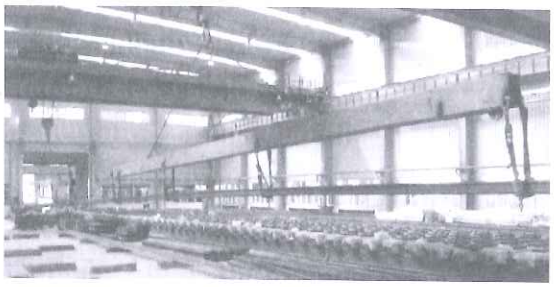
Lắp ráp đường ray là một công đoạn quan trọng trong quá trình sản xuất, đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo chất lượng tổng thể của đường ray. Quá trình lắp ráp bao gồm:

- Lắp ráp ray cơ bản và ray mũi nhọn.
- Lắp ráp cụm tim ray động.
- Tiến hành lắp ráp thử toàn bộ bộ đường ray tại nhà máy.

Việc lắp ráp được thực hiện trên các nền tảng kiểm tra và lắp ráp chuyên dụng có độ chính xác cao. Sau khi các bộ phận được lắp ráp đạt tiêu chuẩn, các thanh ray sẽ được nâng chuyển một cách linh hoạt và đặt vào các giá đỡ chuyên dụng để vận chuyển. Điều này đảm bảo các thành phần của đường ray duy trì trạng thái chất lượng tốt nhất khi được chuyển đến khu vực thử nghiệm lắp ráp, như minh họa trong Hình 1-5-41 và Hình 1-5-42.



Hình 1-5-41: *Giá treo vận chuyển ray nhánh*

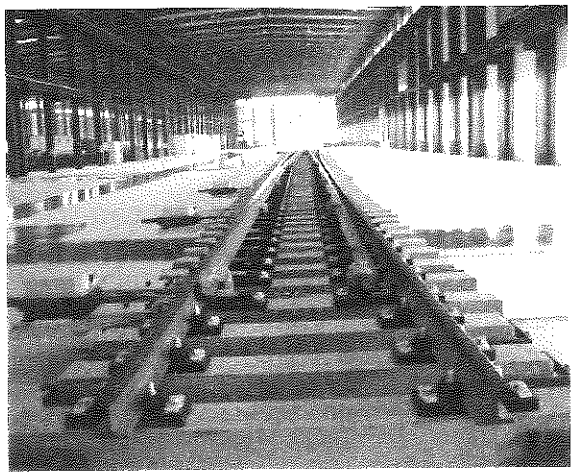


Hình 1-5-42: *Vận chuyển linh hoạt các thanh ray dài trong ray nhánh*

Lắp ráp đường nhánh được chia thành hai giai đoạn: lắp đặt ban đầu và điều chỉnh chính xác.

- Lắp đặt ban đầu bao gồm việc kiểm tra và thử nghiệm trên nền tảng lắp ráp, bố trí thanh ngang ray nhánh, và kết nối các bộ phận của đường nhánh. Quá trình này tập trung kiểm soát tính chính xác của nền tảng thử nghiệm, vị trí và sự ngay ngắn của thanh ngang, cũng như tính chính xác trong việc kết nối các bộ phận ray và tấm đệm.

- Điều chỉnh chính xác nhằm đảm bảo chất lượng lắp đặt của đường nhánh đạt yêu cầu tiêu chuẩn kỹ thuật. Giai đoạn này tập trung vào việc giải quyết các vấn đề liên quan đến hình dạng tuyến đường, hướng ray, độ cân bằng, cấu trúc, và độ khít của các bộ phận, như minh họa trong Hình 1-5-43.



Hình 1-5-43: *Nền tảng thử nghiệm lắp đặt độ chính xác cao*

Quá trình thử nghiệm lắp ráp đường nhánh được thực hiện theo cách tích hợp hệ thống, trong đó các thành phần ray, thiết bị kết nối, hệ thống cố định, thanh ngang, và thiết bị chuyển đổi liên quan được xem xét như một thể thống nhất.

Đường sắt cao tốc CN được thiết kế, chế tạo và vận chuyển theo phương pháp tích hợp hệ thống. Các đoạn đường ray không đá ballast với cấu trúc thanh ray chìm được lắp ráp trước và vận chuyển nguyên khối đến công trường xây dựng. Tương tự, đường ray không đá ballast dạng tấm được lắp ráp trước trong nhà máy, từng cụm sử dụng thanh ray và bao gồm toàn bộ các thiết bị công trình và điện tín hiệu.

Phần lắp ráp thanh ray chính không cần lắp ráp riêng biệt mà được thực hiện trực tiếp trong quá trình lắp ráp toàn bộ đường ray. Khu vực tim đường ray được lắp ráp trên nền tảng lắp ráp chuyên dụng. Quá trình lắp ráp tổng thể đường ray bao gồm việc lắp đặt các thanh ray, phụ kiện, thiết bị khóa chặt và các thiết bị chuyển đổi, kết hợp toàn bộ hệ thống công trình và điện tín hiệu, được lắp ráp và hiệu chỉnh hoàn chỉnh trên bàn làm việc.

VI. CÔNG NGHỆ VẬN CHUYỂN VÀ LẮP ĐẶT ĐƯỜNG RAY CAO TỐC

Vận chuyển và lắp đặt đường ray cao tốc là một phần quan trọng trong công nghệ đường ray, có vai trò tương đương với các giai đoạn thiết kế và chế tạo. Đức và Pháp đều sử dụng các xe chuyên dụng để vận chuyển và thực hiện công tác lắp đặt cơ giới hóa. Mục đích chính là đảm bảo độ bằng phẳng cao cho đường ray, thông qua việc sử dụng các thiết bị chuyên dụng như xe phẳng dài 20m, cần cẩu lớn, dụng cụ nâng và xe di chuyển vị trí trong quá trình nâng, vận chuyển và lắp đặt.

Để đảm bảo chất lượng lắp ráp, đường ray của Đức được vận chuyển theo từng đoạn nguyên khối có kèm theo các thanh ray, và kỹ thuật bản lề cho thanh ray đã được phát triển đặc biệt cho mục đích này. Sau khi lắp đặt, việc bảo dưỡng và sửa chữa đường ray có ballast được thực hiện bằng các xe dằn đường ray để đảm bảo độ nén và sự ổn định của nền đường, qua đó tạo điểm tựa vững chắc cho đường ray. Với đường ray không ballast, các công nghệ đo lường chính xác đã được áp dụng và phát triển, đồng thời phần tinh chỉnh cuối cùng sử dụng phần mềm điều chỉnh.

Trong quá trình lắp đặt đường ray cao tốc tại Trung Quốc, các cơ quan quản lý đặc biệt chú trọng đến công nghệ và chất lượng lắp đặt. Bộ phận quản lý đã biên soạn các tài liệu như "Điều kiện kỹ thuật lắp đặt đường ray" và "Hướng dẫn lắp đặt", nhằm chuẩn hóa các quy trình thi công và đặt ra những yêu cầu nghiêm ngặt về chất lượng lắp đặt. Đồng thời, một đội ngũ chuyên nghiệp được thành lập để thực hiện công tác lắp đặt, cùng với việc phát triển các thiết bị cơ khí chuyên dụng và dụng cụ thi công. Nhiều phương pháp và quy trình lắp đặt đường ray đã được nghiên cứu và hoàn thiện, bao gồm cả việc phát triển phần mềm tinh chỉnh và ứng dụng các công nghệ đo lường chính xác.

Dựa trên chất lượng nghiệm thu và thực tế vận hành, các đường ray cao tốc tại Trung Quốc đạt chất lượng lắp đặt xuất sắc và có thể kiểm soát được. Quá trình lắp đặt đường ray cần chú trọng đặc biệt đến các bước quan trọng như: nâng hạ, vận chuyển, lưu kho, lắp ráp, hàn nối và tinh chỉnh.

1. Đặc điểm lắp đặt đường ray giao cắt

Việc lắp đặt đường ray giao cắt có những đặc điểm chính sau đây:

(1) Yêu cầu độ chính xác cao về kích thước hình học

Sau khi đường ray giao cắt cao tốc được lắp ráp tại hiện trường, kích thước hình học của nó phải đạt độ chính xác cấp milimét:

- Khoảng cách giữa hai đường ray và khoảng cách hỗ trợ: ±1 mm
- Độ cao, độ ngang và hướng ray: ±2 mm
- Điều này đòi hỏi tiêu chuẩn rất cao đối với chất lượng lắp ráp và thi công.

(2) Sử dụng thiết bị cơ khí chuyên dụng

Việc nâng hạ, di chuyển và lắp đặt các bộ phận như thanh ray dài, cấu kiện thép ray, và cụm thanh ray đòi hỏi phải sử dụng các thiết bị cơ khí chuyên dụng, bao gồm:

- Xe phẳng dài 20 m
- Cần cẩu trọng tải lớn
- Máy dằn lớn và xe ổn định đường ray
- Dụng cụ nâng chuyên dụng

(3) Kết hợp với đo lường chính xác

Việc lắp đặt đường ray, đặc biệt là loại không ballast, cần kết hợp với các công nghệ đo lường chính xác để xác định tọa độ không gian 3D của đường ray. Công tác hiệu chỉnh yêu cầu sử dụng:

- Xe kiểm tra đường ray
- Máy đo toàn đạc
- Phần mềm tinh chỉnh chuyên dụng
- Quá trình này còn bao gồm việc kiểm soát nghiêm ngặt sự lún nền móng và thi công tấm đệm bê tông, khiến công nghệ trở nên phức tạp hơn.

(4) Công nghệ lắp đặt tấm đường ray không ballast dạng đúc sẵn

Công nghệ này bao gồm việc sản xuất và lắp đặt tấm đường ray giao cắt. Độ chính xác trong quá trình sản xuất và lắp đặt tấm đường ray là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng tổng thể.

(5) Yêu cầu vận hành ngay sau nghiệm thu

Sau khi hoàn thành nghiệm thu, đường ray giao cắt cao tốc phải đáp ứng yêu cầu vận hành với tốc độ thiết kế ngay lập tức. Tính năng này là điểm nổi bật trong công tác lắp đặt đường ray giao cắt cao tốc.

2. Nâng hạ, lưu trữ và vận chuyển đường ray giao cắt

Các cấu kiện đường ray giao cắt cao tốc có cấu trúc dài và mảnh, dễ bị biến dạng dẻo không phục hồi trong quá trình nâng hạ, lưu trữ và vận chuyển, làm ảnh hưởng đến độ chính xác và chất lượng lắp đặt đường ray. Để khắc phục vấn đề này, phương án vận chuyển được xây dựng, phê duyệt bởi cơ quan vận chuyển. Sau khi xếp dỡ xong, từng xe được đội giám sát kiểm tra đảm bảo tuân thủ phương án trước khi xuất xưởng.

Các tài liệu kỹ thuật như "Điều kiện kỹ thuật đường ray giao cắt cao tốc" và "Sổ tay lắp đặt" quy định nghiêm ngặt về nâng hạ, lưu trữ và vận chuyển đường ray giao cắt:

(1) Nâng hạ, vận chuyển và lưu trữ không gây hư hỏng hoặc làm bẩn các bộ phận

Sử dụng thiết bị nâng chuyên dụng đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và thực hiện theo vị trí được đánh dấu trên cấu kiện.

(2) Yêu cầu về lưu trữ các thành phần

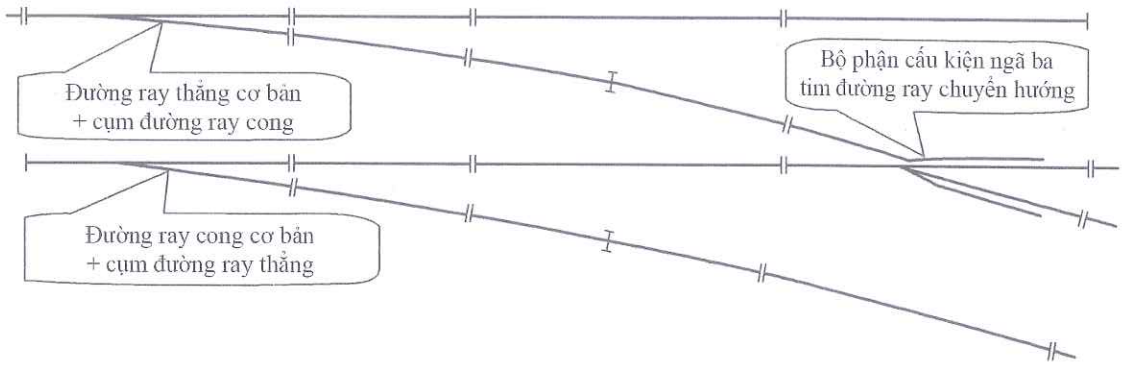
- Nền lưu trữ phải bằng phẳng, các thành phần như ray đầu, ray cơ bản, tim ray, cấu kiện kết nối và các bộ phận khác cần được phân loại và cố định tạm thời.
- Không xếp quá 4 lớp đối với các bộ phận ray và không quá 5 lớp với các thanh tà vẹt.
- Giữa các lớp cần chèn đệm gỗ chắc chắn và các thành phần phải được che chắn để tránh mưa.

(3) Yêu cầu về vận chuyển

- Sử dụng phương pháp vận chuyển không gây biến dạng dẻo các cấu kiện. Thanh tà vẹt được vận chuyển bằng xe chuyên dụng hoặc xe phẳng, đảm bảo giữa các lớp được chèn đệm gỗ chắc chắn.
- Đường ray giao cắt được vận chuyển nguyên bộ từng đoạn, sử dụng thiết bị đóng gói chuyên dụng cho các thiết bị chuyển đổi.
- Tất cả các bộ phận, trừ các thành phần thép ray, phải được che chắn chống mưa.

Phương thức vận chuyển đường ray giao cắt

Vận chuyển giao cắt đường sắt cao tốc có hai phương thức: vận chuyển các bộ phận rời và vận chuyển theo nhóm, chia thành đoạn.



Hình 1-5-44: *Phương thức vận chuyển từng cấu kiện rời của đường ray chuyển hướng*

(1) Vận chuyển từng cấu kiện rời

- Cách này áp dụng cho các đường ray giao cắt 18 số của các tuyến đường chuyên chở khách hoặc các đường ray giao cắt dạng tấm. Tất cả các cấu kiện, như ray đầu, ray cơ bản, tim ray, phụ kiện kết nối và tà vẹt, được vận chuyển riêng lẻ đến hiện trường lắp đặt.

- Phương pháp này phù hợp với các đường ray giao cắt có số lớn hơn 18.

(2) Vận chuyển nguyên bộ từng đoạn

- Các cấu kiện được lắp ráp thành các đoạn ray tại nhà máy, sau đó vận chuyển nguyên đoạn. Các thanh tà vẹt dài hơn 3,2m sẽ được tách rời ở bên đường và kết nối lại bằng cấu trúc khớp nối.

- Phương pháp này được áp dụng cho đường ray giao cắt CN18 có tà vẹt hoặc dạng nhúng.

So với vận chuyển từng cấu kiện, phương pháp vận chuyển nguyên bộ từng đoạn đảm bảo chất lượng chế tạo và lắp ráp, giúp nâng cao độ chính xác và chất lượng lắp đặt đường ray giao cắt.

3. Phương pháp và quy trình lắp đặt đường ray chuyển hướng

Việc lắp đặt đường ray chuyển hướng bao gồm hai phương pháp chính: phương pháp lắp đặt tại chỗ và phương pháp lắp đặt di dời.

- **Phương pháp lắp đặt tại chỗ:** Đây là phương pháp vận chuyển các bộ phận của đường ray đến vị trí lắp đặt và tiến hành lắp ráp thành đường ray hoàn chỉnh ngay tại chỗ.

- **Phương pháp lắp đặt di dời:** Phương pháp này có hai hình thức:

+ Lắp ráp đường ray tại nhà máy, vận chuyển theo từng đoạn và sử dụng thiết bị thi công chuyên dụng để lắp ráp tại công trường.

+ Vận chuyển các bộ phận rời, lắp ráp trên nền tảng chuyên dụng tại công trường, sau đó di dời và lắp đặt toàn bộ đường ray bằng thiết bị chuyên dụng.

Tùy thuộc vào điều kiện lắp đặt cụ thể mà lựa chọn phương pháp phù hợp.

Ví dụ: Quy trình lắp đặt đường ray không đá ballast

Việc lắp đặt đường ray không đá ballast có thể thực hiện theo ba cách:

- Phương pháp lắp đặt tại chỗ với đường ray không đá ballast dạng chôn bê tông.

- Phương pháp lắp đặt di dời với đường ray không đá ballast dạng chôn bê tông.

- Phương pháp lắp đặt đường ray không đá ballast dạng tấm đúc sẵn.

3.1. Quy trình lắp đặt đường ray không đá ballast dạng chôn bê tông tại chỗ

(1) Các bước và quy trình thi công

1- Đo đạc và định vị

+ Đo đạc và định vị các mốc trung tâm của đầu ray, cuối ray và điểm nối các đoạn ray.

+ Sử dụng quả rọi hoặc dụng cụ chuyên dụng để định vị chính xác.

2- Chuẩn bị nền tảng lắp ráp

+ Đặt các thanh thép hình chữ nhật (ống thép) lên lớp bảo vệ hoặc nền móng.

+ Đảm bảo rằng độ cao của các thanh này thấp hơn mặt dưới thiết kế của thanh giằng khoảng 10-20mm.

3- Lắp ráp đường ray chuyển hướng

Các bước lắp ráp bao gồm:

+ Lắp đặt và điều chỉnh sơ bộ các thanh giằng.

+ Đặt các tấm đệm và cố định chúng.

+ Đặt các bộ phận như tim ray di động, đường ray cơ bản, đường ray chính và các bộ phận nối.

4- Cài đặt và điều chỉnh

+ Cài đặt vít neo dọc, điều chỉnh độ cao, cài đặt thiết bị hỗ trợ ngang và các bộ phận cố định khác.

5- Tháo nền tảng lắp ráp

+ Tiến hành lắp đặt cốt thép, dựng khuôn mẫu.

6- Điều chỉnh chính xác lần 1

+ Kiểm tra và điều chỉnh toàn bộ đường ray để đảm bảo đạt tiêu chuẩn kỹ thuật.

7- Lắp đặt thiết bị chuyển đổi điện

+ Lắp các thiết bị chuyển đổi tín hiệu điện cần thiết cho đường ray.

8- Kiểm tra đồng bộ giữa thiết bị cơ và điện

9- Tháo thiết bị chuyển đổi tạm thời

10- Kiểm tra và cố định

11- Đổ bê tông và dưỡng hộ

+ Đổ bê tông, tháo hệ thống hỗ trợ và khuôn mẫu sau khi bê tông đã đông kết.

12- Kiểm tra và điều chỉnh lần cuối

13- Hàn nối đường ray

14- Lắp đặt thiết bị chuyển đổi và kiểm tra đồng bộ cơ - điện

15- Kiểm tra, điều chỉnh, bảo trì và nghiệm thu

+ Thực hiện kiểm tra từng hạng mục theo yêu cầu kỹ thuật. Sau khi điều chỉnh lần 2, tiến hành siết chặt lại toàn bộ bulông.

(2) Công nghệ then chốt

1- Điều chỉnh và cố định chính xác vùng đường ray không đá ballast

Vùng đường ray chuyển hướng không đá ballast được điều chỉnh chính xác theo hệ thống điều chỉnh hỗ trợ ngang và dọc. Hệ thống này bao gồm thiết bị điều chỉnh hỗ trợ ngang và thiết bị hỗ trợ điều chỉnh dọc trong khu vực thanh giằng dài, phối hợp với hệ thống đo lường chuyên dụng cho đường ray để hoàn thiện việc điều chỉnh và cố định đường ray không đá ballast. Độ chính xác, khả năng điều chỉnh và độ ổn định của hệ thống hỗ trợ điều chỉnh là một trong những công nghệ then chốt của việc lắp đặt đường ray không đá ballast dạng chôn bê tông.

2- Công nghệ đo lường chính xác hệ thống đường ray và công nghệ điều chỉnh chính xác hình học trạng thái của thanh giằng.

3.2. Quy trình thi công phương pháp di chuyển đường ray không đá ballast dạng chôn bê tông

Sự khác biệt giữa phương pháp lắp đặt di chuyển và phương pháp lắp đặt tại chỗ nằm ở việc, sau khi hoàn tất đo đạc vị trí và lắp đặt nền tảng lắp ráp, các đường ray được nâng lên và ghép nối trực tiếp để tạo thành một bộ đường ray hoàn chỉnh, bỏ qua bước lắp ráp tại chỗ. Các quy trình còn lại được thực hiện tương tự như phương pháp lắp đặt tại chỗ.

3.3. Quy trình thi công phương pháp lắp đặt đường ray không đá ballast dạng tấm bê tông đúc sẵn

(1) Hình thức cấu trúc nền dưới đường ray

Tấm bê tông đúc sẵn dày 240 mm, trên đó bố trí các dầm ngang rộng 340 mm, khoảng cách dọc là 600 mm, bề mặt dầm ngang được làm phẳng.

Bề mặt giữa các dầm ngang trên tấm bê tông được thiết kế với độ dốc thoát nước ngang 0.5% và các khe nứt dự phòng ngang sâu 4 cm. Bê tông có cấp độ bền C55, sử dụng thép HRB335, là kết cấu bê tông cốt thép đúc sẵn tại nhà máy.

Lớp nền bê tông dày 180 mm, cấp độ bền C40, sử dụng bê tông tự nén có độ linh động cao, được đổ trực tiếp tại hiện trường. Nền bê tông mở rộng ra cả khu vực toàn bộ đường ray, với bề rộng ngang lớn hơn tấm bê tông tương ứng 220 mm, mép nhô ra bên ngoài hệ thống đường ray được thiết kế độ dốc thoát nước 2%.

Lớp làm phẳng dày 200 mm, bề rộng ngang lớn hơn nền bê tông tương ứng 180 mm, mép nhô ra cũng có độ dốc thoát nước 2%. Bê tông có cấp độ bền C25, không có cốt thép, là kết cấu bê tông không gia cường.

(2) Quy trình thi công

1- Lắp đặt tấm nền cơ sở.

2- Lắp đặt ray cơ bản và ray mũi nhọn: Lần lượt lắp đặt ray cơ bản, thanh trượt ray mũi nhọn, ray mũi nhọn và các thiết bị cố định.

3- Lắp đặt cụm tim ray: Tim ray là cấu trúc tích hợp, trong đó các thanh ray và hệ thống cố định được lắp đặt thành một tổng thể, trọng tâm là điều chỉnh các miếng đệm nâng cao.

4- Lắp đặt đường dẫn: Đặt các miếng đệm giữa, chú ý đến kiểu dáng và hướng của miếng đệm. Khoảng cách giữa đường dẫn và mũi ray được kiểm soát trong khoảng 4-6 mm. Phần cách điện ở đường cong được điều chỉnh bằng dấu điểm chuẩn.

5- Lắp đặt thiết bị khóa.

6- Lắp đặt thiết bị kéo xuống.

7- Lắp đặt máy chuyển ray và máy thủy lực.

8- Lắp đặt thiết bị kiểm tra khít kín.

9- Lắp đặt thanh truyền động.

(3) Công nghệ kỹ thuật quan trọng trong lắp đặt đường ray không đá ballast dạng tấm bê tông

① *Đo lường điều chỉnh chính xác tấm ray:*

Đây là công nghệ cốt lõi để đảm bảo độ chính xác cao trong lắp đặt tấm ray, bao gồm các bước:

- Chuẩn bị dữ liệu;

- Định vị các điểm cơ sở, góc và các điểm đặc trưng như khối chặn chính xác của tấm ray;

- Đo đạc và tính toán bù đắp các điểm cơ sở của tấm ray;

- Điều chỉnh chính xác và đo đạc lại tấm ray;

- Kiểm tra và đo đạc lại sau khi đổ bê tông nền dưới tấm ray.

② *Chuẩn bị và thi công bê tông tự nén:*

- Để đảm bảo độ chính xác của tấm ray sau khi điều chỉnh và chất lượng đổ bê tông nền, bê tông tự nén được sử dụng cho phần nền.

- Bê tông tự nén có đặc điểm: tỉ lệ nước/xi măng thấp, sử dụng nhiều phụ gia và cốt liệu mịn, kích thước hạt nhỏ, độ linh động cao, tính kết dính cao, không cần rung khi đổ, khả năng chống co ngót tốt.

- Tỉ lệ pha trộn phải đáp ứng yêu cầu về độ bền, độ đặc chắc, tính lâu bền của bê tông, đồng thời đảm bảo tính linh động cao và khả năng lấp đầy không gian.

3.4. Tóm tắt kinh nghiệm thi công đường ray chuyển hướng không đá ballast

(1) Nghiêm ngặt trong quy trình vận chuyển và bảo quản

Thực hiện đúng các yêu cầu kỹ thuật đối với việc nâng hạ, vận chuyển, và lưu trữ các thành phần và phụ kiện đường ray để tránh biến dạng hoặc hư hỏng. Đặc biệt, cần nghiên cứu kỹ và chuẩn bị các thiết bị chuyên dụng cho việc nâng hạ các bộ phận của đường ray kích thước lớn.

(2) Chuẩn bị máy móc thi công phù hợp

Bao gồm các thiết bị nâng hạ và vận chuyển bộ phận đường ray, thiết bị di chuyển tại công trường, máy hàn ray thép, xe kiểm tra đường ray và hệ thống đo lường đi kèm phù hợp với loại đường ray được lắp đặt.

(3) Đảm bảo vị trí chính xác ngay từ đầu

Không giống như đường ray có đá ballast, đường ray không đá ballast sẽ được cố định ngay sau khi bê tông được đổ, gây khó khăn trong việc điều chỉnh nếu vị trí không chính xác. Vì vậy, cần đo đạc chính xác vị trí lắp đặt và bố trí cọc định vị, đồng thời tiến hành lắp đặt theo đúng các cọc định vị.

(4) Phương pháp thi công hiệu quả cho các dự án lớn

Đối với các dự án đường ray không đá ballast lớn, với điều kiện vận chuyển thuận lợi và thời gian thi công hạn chế, nên áp dụng phương pháp "lắp ráp trước tại nhà máy, vận chuyển theo phân đoạn, điều chỉnh tại chỗ và đổ bê tông". Hệ thống điều chỉnh hỗ trợ theo chiều ngang và chiều đứng là yếu tố quan trọng để đảm bảo độ chính xác cuối cùng.

(5) Chú trọng đến đường ray kiểu tấm

Đối với đường ray kiểu tấm, độ chính xác trong sản xuất và lắp đặt các tấm ray, cũng như việc chuẩn bị và đổ bê tông tự đầm, là yếu tố kỹ thuật quan trọng đảm bảo chất lượng tổng thể.

(6) Sử dụng phần mềm phân tích chuyên dụng

Việc điều chỉnh đường ray nên sử dụng phần mềm phân tích chuyên dụng để đạt được hình dạng đường ray tối ưu với lượng điều chỉnh nhỏ nhất.

(7) Quan tâm đến mối hàn và xử lý mối nối

Cần chú trọng đến việc hàn các đoạn ray trong khu vực đường ray chuyển hướng và đánh bóng mối nối để đảm bảo độ nhẵn và độ bền.

4. Điều chỉnh chính xác đường ray chuyển hướng

Điều chỉnh chính xác đường ray chuyển hướng là một bước quan trọng trong thi công đường ray cao tốc. Để đảm bảo các đoàn tàu cao tốc vận hành an toàn, ổn định và thoải mái, việc kiểm tra và điều chỉnh hệ thống đường ray cần được thực hiện trước và trong giai đoạn chạy thử.

4.1. Phân loại điều chỉnh chính xác

Điều chỉnh chính xác được chia thành hai loại: điều chỉnh tĩnh và điều chỉnh động.

- **Điều chỉnh tĩnh**: Đây là quá trình dựa trên việc đo đạc, tính toán và phân tích cấu trúc đường ray và hình học của đường ray. Thông qua các phương pháp như nâng hạ đường ray, điều chỉnh hướng ray, và thay đổi các thành phần cố định, trạng thái của đường ray và các đoạn ray hai bên được điều chỉnh để nằm trong phạm vi cho phép của tiêu chuẩn, đáp ứng các yêu cầu thiết kế.

- **Điều chỉnh động**: Trong giai đoạn chạy thử, các thiết bị kiểm tra như xe kiểm tra tổng hợp có thể đo các chỉ số an toàn, chỉ số ổn định và gia tốc của thân tàu. Xe kiểm tra đường ray có khả năng đo độ không đồng đều động trong hình học đường ray tại khu vực chuyển hướng, và thiết bị kiểm tra gắn trên tàu có thể đo gia tốc của thân tàu khi di chuyển qua khu vực đường ray chuyển hướng.

Dựa trên các chỉ số đo được, các khuyết điểm cục bộ của đường ray được khắc phục, kích thước hình học của đường ray và các đoạn hai bên được tinh chỉnh, đồng thời đường ray được tối ưu hóa thêm để mối quan hệ giữa bánh tàu và ray được khớp tốt hơn. Quá trình này nhằm nâng cao hơn nữa độ an toàn và ổn định khi tàu cao tốc vận hành, gọi là điều chỉnh động.

4.2. Nội dung và mục đích điều chỉnh chính xác đường ray chuyển hướng

Nội dung điều chỉnh chính xác đường ray chuyển hướng tập trung vào các khía cạnh chính sau đây:

- Kích thước cấu tạo của đường ray chuyển hướng: Bao gồm:

+ Khoảng cách ray (độ rộng đường ray).

+ Khoảng cách giữa các điểm hỗ trợ.

+ Kích thước và khoảng cách giữa các bộ phận.

+ Kích thước tương thích giữa các thành phần.

- Độ bằng phẳng hình học của khu vực chuyển hướng:

+ Hướng ray.

+ Độ cao thấp.

+ Độ cân bằng.

+ Độ xoắn của ray.

- Hiệu suất của thiết bị chuyển hướng và khóa cố định:

+ Khả năng thích ứng của thiết bị khóa với sự co giãn của ray chuyển hướng.

+ Độ đồng bộ của các điểm kéo.

+ Khả năng khóa và phát hiện của thiết bị chuyển hướng và khóa cố định.

Mục đích điều chỉnh chính xác

- Loại bỏ hoặc cải thiện các biến dạng và khuyết điểm do quá trình sản xuất hoặc vận chuyển đường ray chuyển hướng gây ra.

- Khắc phục sai số tích lũy từ quá trình đo đạc và các biến đổi trạng thái đường ray do quy trình thi công (như hàn ray, khóa cố định) gây ra.

- Bù đắp những bất lợi do quy trình thi công không đúng cách hoặc kiểm soát chất lượng không chặt chẽ, dẫn đến trạng thái đường ray không đạt yêu cầu.

- Kết nối trơn tru với đường ray của khu vực liền kề, loại bỏ những chỗ không bằng phẳng hoặc biến dạng dài hạn trong khu vực đường ray chuyển hướng.

4.3. Kỹ thuật điều chỉnh tĩnh đường ray chuyển hướng

(1) Chuẩn bị thi công

① *Chuẩn bị nhân lực và thiết bị:*

Dựa trên các đặc điểm kỹ thuật, điều kiện thi công và kế hoạch tổ chức của đường ray chuyển hướng cao tốc, phân bổ hợp lý đội ngũ nhân viên đo đạc và các nhân sự thực hiện công việc tại hiện trường.

② *Kiểm tra lưới khống chế CPIII:*

Thực hiện kiểm tra lại lưới khống chế CPIII theo yêu cầu của *Quy phạm đo lường kỹ thuật đường sắt cao tốc (TB 10601-2009).*

③ *Kiểm tra và xử lý đường ray:*

Kiểm tra trạng thái hiện tại của đường ray và thực hiện các điều chỉnh cần thiết trước khi bắt đầu thi công.

(2) Kiểm tra

Sử dụng các thiết bị như máy toàn đạc, thiết bị kiểm tra đường ray để đo lường kích thước cấu trúc của đường ray chuyển hướng, độ bằng phẳng hình học của khu vực chuyển hướng và đoạn chuyển tiếp trước sau. Các thiết bị phụ trợ như dây cung, thước bảng, thước căn lá, thước đo khoảng cách ray, thước đo khoảng cách hỗ trợ, và thước cặp được sử dụng để đối chiếu và kiểm tra lại.

① *Đặt trạm đo:*

- Khi sử dụng máy toàn đạc đặt tự do, cần ít nhất 8 điểm khống chế CPIII để làm hậu chuẩn. Nếu điều kiện hiện trường không đáp ứng, cần ít nhất 6 điểm khống chế CPIII.

- Khoảng cách từ máy toàn đạc đến điểm khống chế gần nhất phải lớn hơn 15m.

② *Thu thập dữ liệu:*

- Trước khi thu thập dữ liệu, kiểm tra lại cơ sở dữ liệu CPIII, thông số thiết kế đường ray và các tham số của hệ thống đo chính xác.

- Khi thu thập dữ liệu, thiết bị kiểm tra đường ray phải di chuyển từ xa về gần theo hướng về phía máy toàn đạc. Khoảng cách tối thiểu từ thiết bị kiểm tra đến máy toàn đạc là 5m.

- Sau khi hoàn tất đo đạc tại một trạm, trạm kế tiếp cần cách điểm đo cuối cùng của trạm trước khoảng 50m. Giữa hai trạm, ít nhất 4 điểm khống chế phải trùng nhau và dữ liệu cần có sự chồng lấn ít nhất 10 thanh tà vẹt.

(3) Phân tích mô phỏng điều chỉnh và lập kế hoạch điều chỉnh

- Báo cáo dữ liệu từ thiết bị kiểm tra đường ray:

+ Gồm 8 mục chính: số thứ tự tà vẹt, lý trình, độ chính xác tuyệt đối của đường cong đứng và đường cong ngang, độ cân bằng, khoảng cách ray, độ chính xác tương đối của đường cong đứng và ngang (cao thấp và phương hướng).

- Phân tích dữ liệu và lập kế hoạch điều chỉnh:

+ liệu thu thập được nhập vào phần mềm điều chỉnh chính xác dưới dạng Excel. Phần mềm sẽ tự động tính toán các sai lệch về độ cân bằng, khoảng cách ray, độ cao và phương hướng của từng thanh tà vẹt.

+ Dựa trên dữ liệu phân tích và đặc điểm cấu trúc của đường ray chuyển hướng, lập kế hoạch điều chỉnh cụ thể, bao gồm lượng điều chỉnh vị trí trái-phải và cao-thấp của từng thanh tà vẹt.

(4) Điều chỉnh chi tiết

Nguyên tắc điều chỉnh chính xác đường ray chuyển hướng là:

- Điều chỉnh đoạn thẳng trước đoạn cong.

- Điều chỉnh độ cân bằng trước phương hướng.

- Điều chỉnh tổng thể trước khi xử lý cục bộ.

- Phối hợp giữa đoạn thẳng và đoạn cong.

① *Điều chỉnh độ cân bằng và cao thấp*

Dựa trên kết quả phân tích dữ liệu tổng thể của đường cong đứng trong báo cáo, tiến hành thay thế các tấm đệm điều chỉnh tại các vị trí vượt giới hạn để thực hiện điều chỉnh độ cân bằng và cao thấp.

② *Điều chỉnh khoảng cách ray và phương hướng*

- Dựa trên kết quả phân tích dữ liệu của đường cong ngang trong báo cáo, thay thế các phụ kiện điều chỉnh khoảng cách tại các vị trí vượt giới hạn để điều chỉnh khoảng cách ray và phương hướng.

- Cố định khung dây cung, sử dụng thước đo từng khoảng cách giữa các thanh tà vẹt và dây cung, sau đó ghi nhận. Thay thế các phụ kiện điều chỉnh khoảng cách để đạt được khoảng cách ray và phương hướng của đường ray theo yêu cầu.

③ *Điều chỉnh độ khít giữa các cấu kiện đường ray*

- Kiểm tra độ khít giữa các cấu kiện đường ray và giữa cấu kiện đường ray với các tấm kê bằng thước căn lá.

- Nếu khoảng cách vượt quá 1mm, tiến hành điều chỉnh để đảm bảo độ khít đạt tiêu chuẩn.

④ *Điều chỉnh độ khít giữa đáy ray và tấm trượt trên bàn trượt*

- Sử dụng thước căn lá để kiểm tra độ khít giữa đáy ray và tấm trượt. Khi khóa chặt tim ray và đáy ray, nếu khoảng cách vượt quá 1mm, cần tiến hành điều chỉnh.

- Phương pháp điều chỉnh:

+ Điều chỉnh bề mặt trên của bàn trượt trên cùng một cao trình.

+ Điều chỉnh các con lăn để đáp ứng yêu cầu kỹ thuật.

+ Nếu đáy ray bị cong hoặc lệch, tiến hành sửa chữa hoặc thay thế kịp thời.

⑤ *Điều chỉnh độ chênh lệch*

- Khi độ chênh lệch giữa tim ray và ray cơ bản vượt quá 1mm và ảnh hưởng đến sự ổn định của tàu, có thể thay thế các tấm đệm cao su dưới đáy ray cơ bản để điều chỉnh.

- Phương pháp điều chỉnh:

+ Nếu độ chênh lệch cần điều chỉnh lớn hơn 1mm nhưng nhỏ hơn 2mm, thiết lập hai mức chuyển tiếp.

+ Nếu độ chênh lệch cần điều chỉnh lớn hơn hoặc bằng 2mm, phải thay thế cả cấu kiện tim ray và ray cơ bản.

4.4. Kỹ thuật điều chỉnh động cho đường ray chuyển hướng

(1) Phương pháp phát hiện động và phân tích dữ liệu

- Phương pháp phát hiện động: Bao gồm sử dụng xe kiểm tra tổng hợp, xe kiểm tra đường ray, và thiết bị kiểm tra tuyến đường tích hợp trên xe. Các thiết bị này chủ yếu kiểm tra các chỉ số về an toàn, độ êm ái, gia tốc thân xe, và sự không đều trong hình học động của đường ray.

- Phân tích dữ liệu: Trước khi điều chỉnh động, cần phân tích toàn diện các báo cáo và đồ thị dạng sóng từ các thiết bị kiểm tra động. Các tài liệu kiểm tra đường ray bao gồm:

+ Báo cáo vượt giới hạn đường ray cấp I-IV.

+ Báo cáo tóm tắt từng km.

+ Chỉ số chất lượng đường ray (TQI).

+ Đồ thị sóng và báo cáo động lực học.

- Loại khuyết tật thường gặp:

+ Khuyết tật về cao thấp, mức ngang và hố tam giác: Do sự không đều ngắn sóng (bước sóng 0,1–3,0m, biên độ 0,5–1,0mm), thường xuất hiện tại các mối hàn, bộ phận cố định hoặc thay đổi độ cứng của nền đường.

+ Lực ngang lớn: Do sự không đều đa sóng liên tục hoặc sự kết hợp giữa sự không đều của phương hướng và mức ngang.

+ Hệ số trật bánh vượt mức: Do lực ngang giữa bánh xe và đường ray quá lớn hoặc lực thẳng đứng giữa bánh xe và đường ray quá nhỏ.

+ Gia tốc thân xe lớn: Do sự không đều dài sóng trong phương hướng và cao thấp.

- Kiểm tra hiện trường:

+ Tập trung kiểm tra các mối hàn, bộ phận cố định, đệm ray, và sự liên kết giữa các bộ phận.

(2) Kiểm tra và điều chỉnh tại hiện trường

Tổng hợp các báo cáo kiểm tra để xác định các điểm khuyết tật cần xử lý. Các bước kiểm tra:

1- Kiểm tra toàn diện bộ phận cố định, đệm ray trong phạm vi khu vực cần điều chỉnh.

2- Sử dụng các thiết bị như dây cung 10m, thước đo, và máy đo hình học đường ray để kiểm tra kích thước hình học, phương hướng, cao thấp, mức ngang và các chỉ số liên quan.

3- Đối với khu vực có chỉ số chất lượng đường ray (TQI) lớn ($\geq 3,6$), tiến hành đo đạc toàn diện và hệ thống bằng máy đo hình học đường ray.

Sau khi phát hiện các khuyết tật, tiến hành điều chỉnh theo phương pháp điều chỉnh tĩnh:

- Loại bỏ khuyết tật động lực học bằng cách điều chỉnh lại cấu trúc ray.

- Lặp lại điều chỉnh khi cần thiết, sử dụng dữ liệu kiểm tra động để tinh chỉnh.

Nếu cần, có thể điều chỉnh các giá trị như độ hạ của tim ray hoặc các đặc điểm cấu trúc khác để đảm bảo độ chính xác và độ phẳng cao cho đường ray chuyển hướng.

CHƯƠNG 6. HỆ THỐNG CỐ ĐỊNH ĐƯỜNG RAY

I. CÁC TÍNH NĂNG CHÍNH

Đường sắt cao tốc với yêu cầu về độ an toàn và độ phẳng cao đòi hỏi hệ thống cố định phải đáp ứng những yêu cầu kỹ thuật cao hơn. Hệ thống cố định đường ray của đường sắt cao tốc cần có các tính năng chính sau đây.

1. Khả năng giữ ổn định khoảng cách đường ray

Hệ thống cố định cần đảm bảo sự ổn định của các đặc điểm hình học trong cấu trúc khung đường ray, bao gồm đường ray thép và thanh ray bê tông (hoặc tấm ray). Cụ thể, hệ thống phải duy trì chính xác khoảng cách giữa các đường ray, ngăn chặn tình trạng giãn nở hoặc lệch khoảng cách, đồng thời tăng cường độ cứng chịu uốn và xoắn của khung đường ray nhằm đảm bảo tính ổn định của toàn bộ hệ thống.

2. Lực chống trượt

Hệ thống cố định phải đảm bảo ngăn chặn sự dịch chuyển dọc của đường ray so với tà vẹt, hay nói cách khác là ngăn chặn hiện tượng trượt của đường ray. Điều này yêu cầu các bộ phận cố định có lực kẹp đủ mạnh và giảm thiểu tình trạng suy giảm lực kẹp theo thời gian.

Khi thiết kế kết cấu đường ray trên cầu, cần xem xét lực tương tác giữa dầm cầu và đường ray do sự thay đổi nhiệt độ hoặc tải trọng đoàn tàu gây ra. Lực tương tác này có mối liên hệ chặt chẽ với giá trị lực cản dọc của tuyến đường. Nếu lực cản dọc quá lớn, nó sẽ làm tăng lực truyền từ tuyến đường đến các trụ và mố cầu, cũng như gia tăng ứng suất trên đường ray. Ngược lại, nếu lực cản quá nhỏ, hiện tượng trượt đường ray hoặc khe hở lớn vào mùa đông khi đường ray bị gãy có thể xảy ra, ảnh hưởng nghiêm trọng đến an toàn giao thông.

Do vậy, thiết kế hệ thống cố định trên cầu cần đảm bảo lực cản phù hợp với yêu cầu lắp đặt đường ray liền mạch. Lực cản dọc của hệ thống cố định phụ thuộc vào lực kẹp của bộ phận kẹp và hệ số ma sát giữa đáy ray với lớp đệm bên dưới.

Để lực phân bố đều, hệ thống cố định trên cầu không nên bố trí theo kiểu lỏng chặt xen kẽ. Thay vào đó, cần điều chỉnh lực kẹp của các lò xo đàn hồi theo yêu cầu lực cản dọc trong thiết kế đường ray liền mạch, đảm bảo mômen xoắn của bulông cố định đồng đều trên toàn bộ cầu.

3. Linh kiện và khối lượng công việc bảo trì

Công tác bảo trì đường ray cao tốc thường được thực hiện trong khoảng thời gian ngắn vào ban đêm, đòi hỏi hệ thống cố định phải có ít linh kiện và yêu cầu bảo dưỡng tối thiểu. Điều này đồng nghĩa với việc hệ thống cố định cần đảm bảo:

- Trong suốt chu kỳ tuổi thọ sử dụng kỳ vọng, các linh kiện không bị hư hỏng do mỏi hoặc biến dạng dư đáng kể.

- Khi các bộ phận cố định như kẹp và lớp đệm đàn hồi dưới ray bị mài mòn hoặc biến dạng dư, lực cản của hệ thống cố định không giảm đi đáng kể.

- Bulông cố định không cần phải thường xuyên siết lại trong quá trình sử dụng.

4. Khả năng điều chỉnh độ cao và vị trí ngang của ray

Để đảm bảo độ êm ái cao của đường sắt cao tốc, hệ thống cố định cần được thiết kế với ít linh kiện, thao tác dễ dàng và khả năng điều chỉnh chính xác độ cao cùng vị trí ngang của ray.

Với đường ray không có đá ballast, do ảnh hưởng từ sai số thi công và hiện tượng lún hoặc biến dạng nền móng, việc điều chỉnh độ cao và hướng ray không thể thực hiện bằng cách nâng hoặc dịch chuyển như đối với đường ray có đá ballast. Thay vào đó, hệ thống cố định phải được sử dụng để thực hiện điều chỉnh. Vì vậy, hệ thống cố định đi kèm phải đảm bảo khả năng điều chỉnh độ cao và vị trí ngang của ray một cách linh hoạt và hiệu quả.

5. Tính năng giảm chấn

Để giảm tác động động lực từ tàu cao tốc lên đường ray, hệ thống cố định phải đảm bảo tính đàn hồi cao.

Trong đường ray có lớp đá ballast, tính đàn hồi của lớp đá ballast giúp làm giảm tác động qua lại giữa bánh xe và đường ray, đồng thời giảm chấn động lên nền đường. Ngược lại, trong đường ray không có đá ballast, tính đàn hồi của hệ thống chủ yếu phụ thuộc vào hệ thống cố định. Vì vậy, hệ thống cố định cần được thiết kế để không chỉ duy trì ổn định khoảng cách giữa các ray, mà còn đảm bảo độ bền mỏi của các bộ phận đàn hồi, đồng thời cung cấp khả năng giảm chấn hiệu quả.

6. Khả năng cách điện

Khả năng cách điện của lớp nền đường ray là yếu tố quan trọng đảm bảo hoạt động ổn định của mạch đường ray và quyết định phạm vi truyền tín hiệu. Điện trở rò rỉ của nền đường ray phụ thuộc vào khả năng cách điện của hệ thống cố định, mức độ sạch sẽ của nền đường, và tần số tín hiệu trong mạch đường ray. Trong đó, yếu tố quyết định chính là khả năng cách điện của hệ thống cố định.

Để đảm bảo hệ thống tín hiệu của đường sắt cao tốc hoạt động hiệu quả, đặc biệt trong môi trường sử dụng đường ray không có đá ballast và mạch đường ray cộng hưởng không cách điện ZPW-2000, hệ thống cố định cần duy trì khả năng cách điện cao, ngay cả trong điều kiện thời tiết mưa lớn.

II. PHÁT TRIỂN KỸ THUẬT VÀ ỨNG DỤNG THỰC TẾ

Các quốc gia trên thế giới đã triển khai nhiều loại cấu trúc cố định khác nhau cho đường sắt cao tốc, và tất cả đều đạt được thành công trong thực tiễn. Để đảm bảo tàu cao tốc vận hành an toàn và êm ái, hệ thống đường ray cần có độ ổn định và độ trơn tru vượt trội. Trong đó, hệ thống cố định đóng vai trò cốt lõi trong việc duy trì trạng thái ổn định của đường ray, trở thành một trong những công nghệ then chốt của ngành kỹ thuật đường sắt cao tốc.

1. Sự phát triển của hệ thống cố định đường ray trong đường sắt có đá ballast

Nhật Bản là quốc gia đầu tiên đưa đường sắt cao tốc vào vận hành thực tế. Tuyến Tokaido Shinkansen khánh thành năm 1964 đã sử dụng hệ thống cố định 102 cho đường ray có đá ballast. Đây là hệ thống có cấu trúc với vai chặn, sử dụng tấm kẹp đàn hồi để cố định. Các bộ phận được gắn chặt bởi bulông neo và ống nhựa gắn sẵn trong thanh ray bê tông. Đặc điểm của hệ thống này là sử dụng tấm chắn đàn hồi ngang để giữ khoảng cách đường ray và cung cấp tính đàn hồi, đồng thời dùng đế hình nêm để điều chỉnh khoảng cách đường ray một cách liên tục. Độ cứng tĩnh của lớp đệm cao su đã được giảm từ 90kN/mm ban đầu xuống còn 60kN/mm nhằm cải thiện hiệu suất giảm chấn. Hiện nay, hệ thống cố định 102 đã trở thành loại chính trong đường sắt có đá ballast ở Nhật Bản.

Hệ thống cố định PANDROL của Anh đã được áp dụng rộng rãi trên các tuyến đường sắt có đá ballast tại hơn 70 quốc gia và vùng lãnh thổ, bao gồm Mỹ, Bỉ, Tây Ban Nha, Ý, Hàn Quốc và Nhật Bản. Gần đây, công ty PANDROL đã phát triển hệ thống FASTCLIP, thừa hưởng đặc điểm không sử dụng bulông và ít cần bảo dưỡng từ dòng

sản phẩm e-clip. Hệ thống này có cấu trúc lắp đặt thanh kẹp theo hướng thẳng đứng, giúp giảm khả năng bị tuột ra. Hệ thống này đã được sử dụng tại Pháp, Tây Ban Nha và Nhật Bản với độ cứng tĩnh của lớp đệm đàn hồi dao động từ 80 đến 100kN/mm.

Tại Đức, công ty VOSSLOH đã phát triển nhiều hệ thống cố định khác nhau. Hệ thống W14, được sử dụng chủ yếu trên đường sắt cao tốc có đá ballast, có cấu trúc sử dụng lớp đệm đàn hồi đơn, không tách rời, với bulông cố định. Thanh ray bê tông có vai chặn bằng bê tông để chịu tải ngang từ thanh ray, và lớp đệm đàn hồi có độ cứng tĩnh từ 50 đến 70kN/mm.

Đường sắt cao tốc Pháp sử dụng hệ thống cố định Nabal có vai chặn. Hệ thống này cũng có cấu trúc lớp đệm đàn hồi đơn, không tách rời, với bulông cố định. Vai chặn bê tông chịu lực ngang từ thanh ray, trong khi tấm kẹp đàn hồi dạng vòng cung kép đảm bảo độ cứng tĩnh khoảng 70kN/mm.

Tại Trung Quốc, từ năm 1957, đã có các nghiên cứu về hệ thống cố định cho thanh ray bê tông trong đường sắt thông thường, với nhiều dạng khác nhau như: hệ thống cố định dạng kẹp bulông, kẹp kiểu vòng cung 63, 67, 70, và hệ thống kẹp đàn hồi loại I, II, III. Đối với đường sắt cao tốc có đá ballast, Trung Quốc đã phát triển hệ thống kẹp đàn hồi loại IV và loại V. Cả hai hệ thống đều sử dụng lớp đệm đàn hồi đơn, có cấu trúc nhỏ gọn, ít thành phần, khả năng giữ khoảng cách đường ray mạnh, và yêu cầu ít bảo dưỡng.

Đặc điểm chung của các hệ thống cố định:

- Hệ thống cố định đàn hồi không tách rời với lớp đệm đàn hồi đơn là lựa chọn chính cho đường sắt cao tốc có đá ballast trên thế giới.

- Nhật Bản (102), Pháp (Nabal), Đức (VOSSLOH) và Trung Quốc (loại V) sử dụng vai chặn bê tông để chịu lực ngang. Trong khi đó, PANDROL FC và loại IV của Trung Quốc sử dụng vai chặn bằng thép.

- Kẹp cố định có thể là dạng đàn hồi (Nhật Bản, Pháp) hoặc dạng thanh đàn hồi (Đức, PANDROL, Trung Quốc).

- Độ cứng tĩnh của lớp đệm đàn hồi trong đường sắt cao tốc thường nằm trong khoảng 50-80kN/mm.

2. Phát triển kỹ thuật hệ thống cố định đường sắt không đá ballast

Trong cấu trúc đường sắt không đá ballast, hệ thống cố định kết nối trực tiếp thanh ray với nền móng bê tông bên dưới. Do yêu cầu đặc thù trong thiết kế, các quốc gia đã phát triển nhiều hệ thống cố định khác nhau phù hợp với điều kiện vận hành và tuyến đường.

Hà Lan

Hà Lan là quốc gia đầu tiên ứng dụng đường sắt không đá ballast, với hệ thống cố định đàn hồi kiểu tách rời sử dụng tấm sắt. Thanh ray được cố định bởi thanh kẹp đàn hồi DE có tiết diện hình vuông, không cần bulông. Lớp đệm cao su đặt giữa đáy thanh ray và tấm sắt, cũng như giữa tấm sắt và nền móng, giúp giảm rung động. Độ cứng của đệm cao su dưới thanh ray đạt 190kN/mm, còn dưới tấm sắt là 63kN/mm.

Liên Xô

Liên Xô sớm phát triển hệ thống cố định cho đường sắt không đá ballast, sử dụng loại KB trong các hầm và hệ thống cố định tách rời với tấm sắt hai lớp trên cầu. Thanh ray được giữ bởi tấm kẹp trong rãnh dẫn, với lớp đệm đàn hồi đặt giữa các thành phần để giảm chấn động.

Nhật Bản

Nhật Bản đã phát triển nhiều hệ thống cố định cho đường sắt không đá ballast, từ các loại trực kết 4, trực kết 5, trực kết 7, trực kết 8 đến trực kết 8K hiện tại. Hệ thống trực kết 8K sử dụng thanh kẹp đàn hồi có lực cố định thấp 3kN và tấm sắt có lỗ dài hình bầu dục để điều chỉnh liên tục vị trí ngang của thanh ray. Đệm dưới thanh ray có độ cứng tĩnh 60kN/mm, gần đây thử nghiệm với độ cứng 30kN/mm.

Anh

Hãng PANDROL đã phát triển hệ thống cố định SFC dành cho đường sắt không đá ballast. Cấu trúc này sử dụng thanh kẹp đàn hồi FAST, không cần vai chặn bê tông trên tà vẹt. Đệm cao su dưới thanh ray có độ cứng tĩnh từ 30-50kN/mm, giúp giảm lực va chạm và tăng khả năng cách điện.

Pháp

Pháp áp dụng hệ thống đàn hồi dạng khối trong hầm kênh đào Manche, thay thế lớp đá ballast bằng lớp đệm đàn hồi kiểu bọc giày. Hệ thống cố định Nabal thường được sử dụng, tương tự như trên đường sắt có đá ballast.

Đức

Hãng VOSSLOH của Đức phát triển nhiều hệ thống cố định, bao gồm 336, 300, DFF300, và DFF14. Loại 300 được sử dụng trên đường sắt cao tốc, với cấu trúc đàn hồi không tách rời, cung cấp độ cứng tĩnh từ 20-25kN/mm.

Trung Quốc

Từ những năm 1960, Trung Quốc đã nghiên cứu và phát triển nhiều hệ thống cố định như TF-M, TF-Y, 64III, và WJ-1, WJ-2. Gần đây, để đáp ứng nhu cầu đường sắt cao tốc, Trung Quốc đã tự phát triển hệ thống cố định WJ-7 và WJ-8:

- WJ-7: Cấu trúc đàn hồi tách rời không có vai chặn bê tông, sử dụng tấm sắt để điều chỉnh liên tục vị trí thanh ray.

- WJ-8: Cấu trúc đàn hồi không tách rời với vai chặn bê tông, sử dụng đệm đàn hồi dưới tấm sắt.

Từ việc tổng kết và phân tích kỹ thuật các hệ thống cố định đường sắt không đá ballast trong và ngoài nước, có thể nhận thấy rằng các quốc gia trên thế giới đã phát triển và áp dụng nhiều loại hệ thống cố định khác nhau, phù hợp với điều kiện quốc gia và thói quen sử dụng, đồng thời đảm bảo các chức năng cơ bản của hệ thống cố định đường sắt cao tốc. Sự khác biệt giữa các hệ thống này chủ yếu thể hiện ở:

- Phương pháp chịu lực ngang của hệ thống cố định.

- Cách thiết kế và bố trí lớp đệm đàn hồi.

- Cách điều chỉnh độ cao và vị trí ngang của thanh ray.

(1) Phương pháp chịu lực ngang:

- Cách hệ thống cố định chịu lực ngang được chia thành hai loại: cấu trúc có gờ chắn và cấu trúc không gờ chắn.

- Cấu trúc có gờ chắn: Thanh ray được đặt trong rãnh chắn trên thanh tà vẹt hoặc tấm ray, và tải trọng ngang do thanh ray truyền đến được chịu bởi gờ chắn bằng bê tông.

- Cấu trúc không gờ chắn: Thanh tà vẹt hoặc tấm ray không có rãnh chắn, và tải trọng ngang được khắc phục chủ yếu nhờ ma sát giữa tấm sắt và lớp đệm chống sốc.

- Các loại cố định như WJ-7, Trực tiếp 8, và SFC được sử dụng cho cấu trúc không gờ chắn, trong khi WJ-8 và 300 được sử dụng cho cấu trúc có gờ chắn.

(2) Cách bố trí lớp đệm đàn hồi:

- Các hệ thống cố định không đá ballast thường sử dụng hai lớp đệm, trong đó một lớp làm nhiệm vụ giảm chấn, lớp còn lại cung cấp tính đàn hồi.

- WJ-7, Trực tiếp 8, và SFC: Đặt lớp đệm đàn hồi dưới ray và lớp đệm chống sốc dưới tấm sắt.

- WJ-8 và 300: Đặt lớp đệm chống sốc dưới ray và lớp đệm đàn hồi dưới tấm sắt.

- Độ cứng tĩnh của lớp đệm đàn hồi cho đường ray không đá ballast trên các tuyến đường sắt cao tốc thường nằm trong khoảng 20-60 kN/mm. Qua các phân tích lý thuyết và thử nghiệm thực tế, Trung Quốc đã xác định rằng độ cứng tĩnh của lớp đệm đàn hồi phù hợp nhất là 20-30 kN/mm.

(3) Phương pháp điều chỉnh vị trí ngang của thanh ray:

- WJ-7, Trực tiếp 8, và SFC: Điều chỉnh vị trí ngang của thanh ray bằng cách di chuyển tấm sắt có lỗ dài, cho phép điều chỉnh liên tục mà không cần thêm phụ kiện.

- WJ-8 và 300: Điều chỉnh bằng cách thay đổi các tấm chắn ray với kích thước khác nhau, cho phép điều chỉnh theo các mức cố định.

(4) Phương pháp điều chỉnh vị trí cao thấp của thanh ray:

- WJ-7 và Trực tiếp 8: Sử dụng tấm đệm điều chỉnh chiều cao giữa thanh ray và tấm sắt, hoặc giữa tấm sắt và lớp đệm cách điện để điều chỉnh.

- SFC: Sử dụng các tấm đệm điều chỉnh chiều cao có độ dày khác nhau giữa tấm sắt và lớp đệm liên kết.

- 300 và WJ-8: Điều chỉnh bằng cách sử dụng tấm đệm vi chỉnh dưới thanh ray và tấm sắt.

3. Nghiên cứu và phát triển hệ thống cố định đường ray cao tốc tại Trung Quốc

Dựa trên điều kiện vận hành của đường sắt cao tốc, Trung Quốc đã tiến hành các nghiên cứu toàn diện, kết hợp kết quả nghiên cứu trước đây và học hỏi từ kinh nghiệm thiết kế, vận hành của các hệ thống cố định đường ray nước ngoài. Bằng cách áp dụng công nghệ tiên tiến và sản xuất trong nước, Trung Quốc đã đạt được nhiều thành tựu quan trọng, góp phần vào sự phát triển công nghệ đường ray cao tốc trong nước.

(1) Tổng hợp và nghiên cứu hệ thống cố định đường ray

Thông qua phân tích, nghiên cứu lý thuyết và tổng hợp các hệ thống cố định trong và ngoài nước, Trung Quốc đã xây dựng *"Điều kiện kỹ thuật tạm thời cho hệ thống cố định đường ray trên tuyến đường sắt đường chuyển hướng"*, qua đó định hình các cấu trúc hệ thống cố định cho đường ray cao tốc trên nền đá ballast và không đá ballast.

(2) Đánh giá độ cứng và tính đàn hồi của hệ thống cố định

Đã đề xuất các phương pháp đánh giá độ cứng của đường ray và các chỉ số đàn hồi của hệ thống cố định. Tính hợp lý của các phương pháp này được kiểm chứng qua các thử nghiệm trong phòng và thực địa.

(3) Phát triển hệ thống cố định toàn diện

Trung Quốc đã phát triển các hệ thống cố định đường ray đáp ứng điều kiện vận hành và tuyến đường của đường sắt cao tốc trong nước, bao gồm:

- Hệ thống cố định đường ray trên nền đá ballast: Loại thanh đàn hồi IV và thanh đàn hồi V.

- Hệ thống cố định đường ray không đá ballast: Loại WJ-7 và WJ-8.

• *Các đặc điểm nổi bật:*

+ Thống nhất cấu trúc cố định với lực cản thấp cho các đoạn đường trên cầu và đường thông thường, đảm bảo khả năng sử dụng chung cho các cấu trúc đường ray tương tự ở các địa hình khác nhau.

+ Tăng cường khả năng cách điện vượt trội so với các hệ thống cố định tương tự trên thế giới, đáp ứng yêu cầu cách điện của hệ thống tín hiệu đường ray cao tốc Trung Quốc.

(4) Nghiên cứu và sản xuất linh kiện chất lượng cao

Phát triển lớp đệm đàn hồi cao cấp và thanh đàn hồi có khả năng chịu mỏi cao, phù hợp với yêu cầu vận hành khắt khe của đường ray cao tốc.

(5) Tiêu chuẩn hóa sản xuất và kiểm định

Xây dựng các điều kiện kỹ thuật cho lắp ráp, sản xuất, kiểm định linh kiện, cũng như yêu cầu lắp đặt và bảo trì hệ thống cố định đường ray cao tốc. Điều này cung cấp cơ sở kỹ thuật vững chắc cho sản xuất, kiểm tra và lắp đặt.

• *Ứng dụng thực tiễn*

Trung Quốc đã áp dụng nhiều loại hệ thống cố định khác nhau:

- Đường ray không đá ballast: Các loại 300-1, WJ-7, WJ-8, và SFC.

- Đường ray trên nền đá ballast: Các loại thanh đàn hồi IV, thanh đàn hồi V và FC.

Tình hình ứng dụng được trình bày trong Bảng 1-6-1:

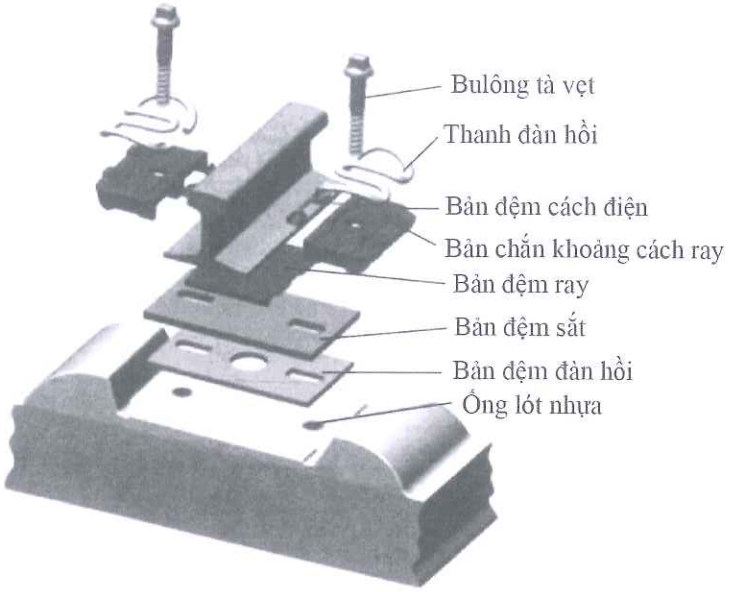
Bảng 1-6-1: Tình hình ứng dụng hệ thống cố định đường ray cao tốc Trung Quốc

Loại hệ thống cố định		Tuyến ứng dụng
Cố định không đá ballast	Loại 300-1	Kinh Tân, Vũ Quang, Kinh Hộ, v.v.
	Loại WJ-7	Vũ Quang, Hộ Ninh, Quảng Châu - Chu Hải, Quảng Châu - Thâm Quyến - Hồng Kông, Cáp Nhĩ Tân - Đại Liên, v.v.
	Loại WJ-8	Trịnh Tây, Hộ Hàng, Kinh Thạch, Thạch Vũ, Tân Tần, v.v.
	Loại SFC	Thạch Thái, Hợp Vũ, v.v.
Cố định trên đá ballast	Loại thanh đàn hồi IV	Hợp Ninh, Ninh Ba - Đài Loan, Ôn Phúc, Phúc Hạ, v.v.
	Loại thanh đàn hồi V	Hợp Ninh, Ninh Ba - Đài Loan, Ôn Phúc, Phúc Hạ, Hạ Thâm, v.v.
	Loại FC	Thạch Thái, Hợp Vũ, v.v.

III. ĐẶC ĐIỂM CẤU TRÚC VÀ THÔNG SỐ THIẾT KẾ

1. Hệ thống cố định 300-1

Hệ thống cố định 300-1 là loại cấu trúc không phân tách, có đệm sắt, với cấu tạo như hình 1-6-1.



Hình 1-6-1: *Cấu tạo của hệ thống cố định 300-1*

(1) Phân loại:

- Hệ thống cố định 300-1 được chia thành hai loại: 300-1a và 300-1u.

- Các bộ phận gồm: thanh đàn hồi, tấm cách điện, tấm chặn điều chỉnh khoảng cách ray, bulông, lớp đệm dưới ray, đệm sắt, lớp đệm đàn hồi, ống lót chôn sẵn và tấm điều chỉnh độ cao.

(2) Thanh đàn hồi:

- Có hai loại thanh đàn hồi: SKL15 (đường kính 15mm) và SKLBIS (đường kính 13mm).

- Loại SKLBIS dùng trong hệ thống cố định lực cản nhỏ trên cầu.

- SKL15: lực cố định thiết kế 9kN, độ giãn đàn hồi 15mm, lực cản dọc tại mỗi điểm nút của một thanh ray không nhỏ hơn 9kN.

- SKLBIS: lực cố định 5-7kN, cung cấp lực cản dọc khoảng 7kN cho mỗi thanh ray.

- Ống lót chôn sẵn chịu lực kéo không nhỏ hơn 60kN.

(3) Điều chỉnh khoảng cách ray:

- Phạm vi điều chỉnh: ±16mm, điều chỉnh từng mức thông qua việc thay tấm chặn khoảng cách ray có các kích thước tiêu chuẩn:

+ Wfp15a (cho loại 300-1a) và Wfp15u (cho loại 300-1u).

+ Có tổng cộng 16 loại kích thước để phù hợp với nhu cầu điều chỉnh.

(4) Điều chỉnh độ cao ray:

- Phạm vi: -4mm đến +26mm.

- Thay lớp đệm dưới ray để điều chỉnh -4mm đến +6mm:

+ Tấm đệm tiêu chuẩn (Zw692-6) có độ dày 6mm.

+ Các loại khác: 2mm, 3mm, 4mm, 5mm, 7mm, và 8mm.

- Đặt tấm nâng độ cao dưới đệm sắt để tăng khả năng điều chỉnh, chọn bulông phù hợp với độ cao cần điều chỉnh.

(5) Đệm dưới ray:

- Độ cứng cao, không cung cấp độ đàn hồi, chủ yếu giảm xung lực.

- Độ đàn hồi được cung cấp bởi lớp đệm dưới đệm sắt, với độ cứng tĩnh từ 20-25kN/mm.

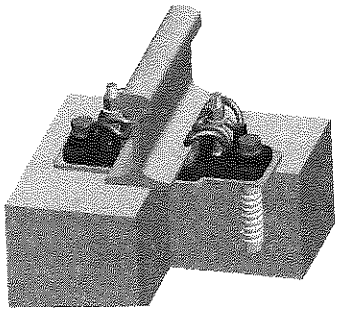
(6) Hiệu suất cách điện:

- Để đáp ứng yêu cầu cách điện của mạch đường ray, sử dụng các bộ phận cách điện như lớp đệm đàn hồi dưới ray, tấm chặn khoảng cách ray, ống lót nhựa.

- Lớp cách điện bổ sung dưới đáy ray ngăn cách thanh đàn hồi và ray thép để nâng cao khả năng cách điện của hệ thống.

2. Hệ thống cố định WJ-7

Hệ thống cố định WJ-7 là loại kết cấu đàn hồi tách biệt. Cấu tạo hệ thống được minh họa trong Hình 1-6-2 với các đặc điểm chính sau:



Hình 1-6-2: *Cấu tạo hệ thống cố định WJ-7*

(1) Cấu tạo chính:

Hệ thống gồm có các thành phần: bulông chữ T, đai ốc, vòng đệm phẳng, thanh đàn hồi, khối cách điện, tấm đệm sắt, tấm đệm dưới ray, tấm đệm đàn hồi cách điện, vòng đệm lò xo nặng, khối đệm phẳng, bulông neo và ống bọc nhúng sẵn. Để điều chỉnh độ cao, hệ thống còn đi kèm các tấm đệm nâng dưới ray (hoặc tấm đệm dạng chèn) và tấm đệm nâng dưới tấm đệm sắt.

(2) Thanh đàn hồi:

Có hai loại:

- Thanh W1 (đường kính 14 mm): có lực siết thiết kế là 9 kN và lực cản dọc theo từng điểm nút đơn khoảng 9 kN.

- Thanh X2 (đường kính 13 mm): sử dụng trong các hệ thống cố định lực cản thấp trên cầu, với lực siết 6 kN, cung cấp lực cản dọc khoảng 4 kN.

(3) Tấm đệm dưới ray:

- Loại A: Sử dụng cho các tuyến đường kết hợp vận tải hàng hóa và hành khách tốc độ cao (độ dày 12 mm).

- Loại B: Dành riêng cho các tuyến đường cao tốc vận tải hành khách (độ dày 14 mm).

- Mỗi loại có hai phiên bản: đệm cao su và đệm hỗn hợp khi dùng trên cầu trong hệ thống lực cản thấp.

(4) Tấm đệm sắt:

- Được thiết kế với độ dốc đáy ray 1:40.

- Siết chặt bằng bulông neo và ống bọc nhúng sẵn với lực siết từ 300 đến 350 N·m, chịu lực kéo tối thiểu 100 kN.

(5) Điều chỉnh khoảng cách ray:

- Điều chỉnh khoảng ±12 mm.

- Thực hiện qua việc di chuyển tấm đệm sắt, không cần thêm phụ kiện và cho phép điều chỉnh liên tục.

(6) Điều chỉnh độ cao ray:

- Khoảng điều chỉnh từ -4 mm đến +26 mm.

- Đối với điều chỉnh dưới 10 mm, sử dụng tấm đệm nâng đặt dưới tấm đệm sắt.

- Khi điều chỉnh trên 10 mm, chèn tấm đệm nâng giữa tấm đệm sắt và tấm đệm đàn hồi cách điện. Tổng độ dày tấm đệm nâng không vượt quá 20 mm.

(7) Độ cứng của tấm đệm:

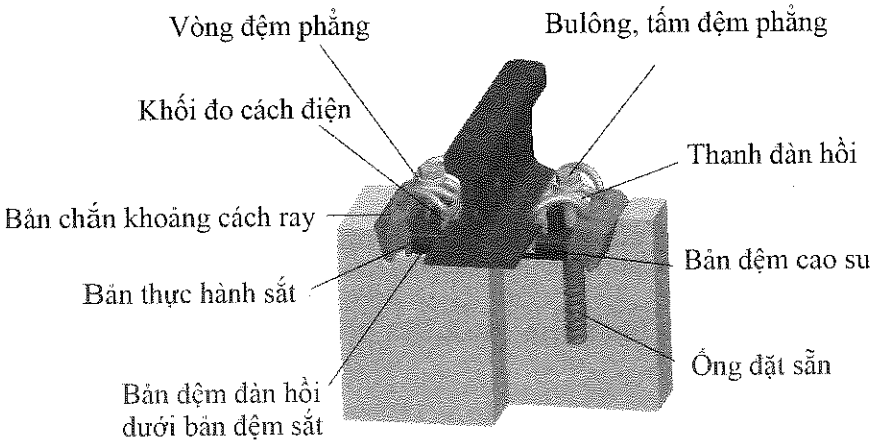
- Tấm đệm dưới tấm đệm sắt có độ cứng lớn, chủ yếu dùng để giảm xóc.
- Loại B: Đệm có độ cứng tĩnh 20-30 kN/mm.
- Loại A: Đệm có độ cứng tĩnh 30-40 kN/mm.

(8) Thiết kế cách điện:

Sử dụng các thành phần cách điện như khối cách điện, tấm đệm đàn hồi cách điện và ống bọc nhựa, đảm bảo tính cách điện của hệ thống.

3. Hệ thống cố định WJ-8

Hệ thống cố định WJ-8 là cấu trúc đàn hồi không tách rời, có đi kèm tấm đệm sắt. Thành phần cấu tạo được thể hiện trong Hình 1-6-3.



Hình 1-6-3: *Cấu tạo của hệ thống cố định WJ-8*

(1) Thành phần cấu tạo:

- Hệ thống WJ-8 bao gồm: đinh vít xoắn, vòng đệm phẳng, thanh đàn hồi, khối đo cách điện, tấm chặn đo, tấm đệm dưới ray, tấm đệm sắt, lớp đệm đàn hồi dưới tấm đệm sắt, và ống lót được chôn sẵn.
- Để đáp ứng yêu cầu điều chỉnh độ cao, hệ thống còn bao gồm tấm đệm điều chỉnh vi mô dưới ray và tấm đệm điều chỉnh dưới tấm đệm sắt.

(2) Thanh đàn hồi:

- Có hai loại: thanh đàn hồi W1 (đường kính 14 mm) và thanh đàn hồi X2 (đường kính 13 mm). Trong các đoạn cầu sử dụng hệ thống cố định có lực cản thấp, thanh đàn hồi X2 được áp dụng.
- Thanh đàn hồi W1 có lực kẹp thiết kế 9 kN, lực cản dọc tại mỗi điểm đơn trên đường ray đơn không nhỏ hơn 9 kN.

- Thanh đàn hồi X2 có lực kẹp 6 kN, cung cấp lực cản dọc khoảng 4 kN cho mỗi điểm đơn trên đường ray đơn. Các thanh đàn hồi được cố định bằng bulông và ống lót chôn sẵn với lực chống kéo tối thiểu 60 kN.

(3) Lớp đệm đàn hồi dưới tấm đệm sắt:

- Gồm hai loại: Loại A và Loại B (đều dày 12 mm).

- Loại A dành cho các tuyến đường cao tốc kết hợp vận chuyển hàng hóa, còn Loại B dành riêng cho các tuyến cao tốc phục vụ hành khách.

(4) Điều chỉnh vị trí ngang của đường ray:

- Phạm vi điều chỉnh: ±10 mm.

- Thực hiện thông qua việc thay thế các tấm chặn đo với kích thước khác nhau. Khối đo cách điện giữa vai đệm tấm sắt và đường ray không chỉ cung cấp chức năng cách điện mà còn cho phép điều chỉnh ±2 mm vị trí ngang của đường ray.

(5) Điều chỉnh vị trí cao thấp của đường ray:

- Phạm vi điều chỉnh: -4 đến +26 mm.

- Điều chỉnh bằng cách thay thế các tấm đệm dưới ray với độ dày khác nhau. Để điều chỉnh lớn hơn, đặt tấm đệm điều chỉnh dưới tấm đệm sắt và sử dụng bulông có chiều dài phù hợp.

(6) Đặc tính đàn hồi của đệm dưới ray:

- Đệm dưới ray chủ yếu cung cấp chức năng đệm chấn, đàn hồi được cung cấp bởi lớp đệm đàn hồi dưới tấm đệm sắt.

- Loại B: Tấm đệm đàn hồi dưới tấm đệm sắt có độ cứng tĩnh 20-26 kN/mm.

- Loại A: Độ cứng tĩnh là 30-40 kN/mm.

(7) Thiết kế cách điện của hệ thống cố định:

Được thực hiện thông qua việc sử dụng các khối đo cách điện, tấm đệm dưới ray, tấm chặn đo, và ống lót nhựa có tính cách điện.

4. Hệ thống cố định đàn hồi IV

Hệ thống cố định đàn hồi IV là loại cấu trúc không sử dụng bulông, cấu tạo như Hình 1-6-4.

(1) Thành phần:

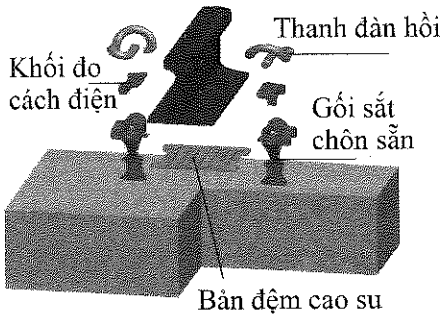
Hệ thống cố định gồm các bộ phận: thanh đàn hồi, khối cách điện giữ khoảng cách đường ray, tấm đệm cao su, và đế sắt chôn sẵn.

(2) Các loại thanh đàn hồi:

- Thanh đàn hồi lắp đặt trên các đoạn thông thường (đường kính 20 mm).

- Thanh đàn hồi lắp đặt tại các vị trí kẹp (đường kính 18 mm).

- Khối cách điện giữ khoảng cách gồm hai loại: khối dùng trên đoạn thông thường và khối dùng tại vị trí kẹp, mỗi loại có các số từ 7 đến 13 với tổng cộng 7 kích cỡ.



Hình 1-6-4: *Cấu tạo hệ thống cố định đàn hồi loại IV*

(3) Đế sắt chôn sẵn:

Đế sắt chôn trong thanh tà vẹt chịu tải trọng ngang. Vị trí chịu tải trên thanh tà vẹt được thiết kế với độ nghiêng 1:40 dưới đế ray. Độ bền kéo của đế sắt chôn sẵn không được nhỏ hơn 60 kN.

(4) Điều chỉnh khoảng cách ray:

- Phạm vi điều chỉnh khoảng cách ray là từ -8 mm đến +4 mm, thực hiện bằng cách thay các khối cách điện giữ khoảng cách có kích cỡ khác nhau.

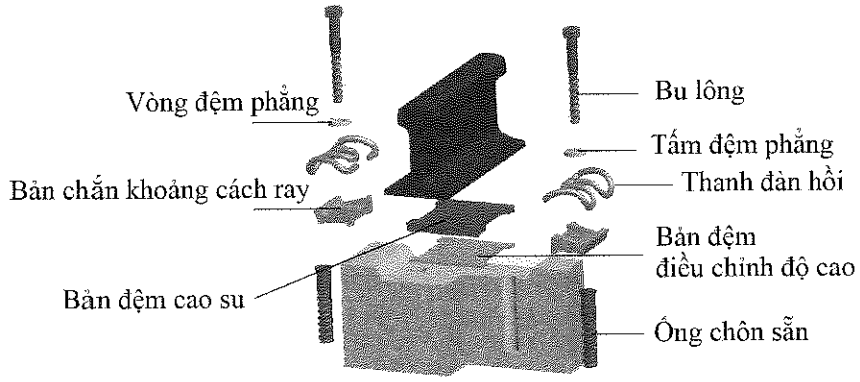
- Hệ thống cố định này không thể điều chỉnh chiều cao ray.

(5) Tính đàn hồi:

Tấm đệm cao su cung cấp tính đàn hồi với độ cứng tĩnh trong khoảng 50 đến 70 kN/mm.

5. Hệ thống cố định đàn hồi V

Hệ thống cố định đàn hồi V là loại cấu trúc đàn hồi không tách rời, với cấu tạo như Hình 1-6-5.



Hình 1-6-5: *Cấu tạo hệ thống cố định đàn hồi loại V*

(1) Thành phần:

Hệ thống gồm các bộ phận: bulông xoắn, vòng đệm phẳng, thanh đàn hồi, tấm chắn khoảng cách ray, tấm đệm cao su dưới ray, và ống chôn sẵn. Ngoài ra, để đáp ứng yêu cầu điều chỉnh độ cao, hệ thống còn bao gồm tấm điều chỉnh độ cao.

(2) Các loại thanh đàn hồi:

- Thanh đàn hồi W2 (đường kính 14 mm) dành cho các đoạn thông thường.
- Thanh đàn hồi X3 (đường kính 13 mm) dành cho các đoạn cầu với lực cản nhỏ.
- Tấm đệm dưới ray gồm: tấm cao su và tấm hợp chất dùng trên cầu với lực cản nhỏ.
- Thanh đàn hồi W2 có lực ép thiết kế là 10.5 kN, tạo ra lực cản dọc không nhỏ hơn 9 kN cho mỗi điểm kết nối ray đơn.
- Thanh đàn hồi X3 có lực ép 4.5 kN, kết hợp với tấm hợp chất, tạo ra lực cản dọc khoảng 4 kN cho mỗi điểm kết nối ray đơn.

(3) Chịu tải ngang:

Vai chặn trên tà vẹt chịu tải trọng ngang. Tà vẹt tại vị trí đỡ ray có độ nghiêng 1:40 dưới đáy ray. Thanh đàn hồi được cố định bằng đinh vít xoắn và ống chôn sẵn. Lực chống nhổ của ống chôn sẵn không được nhỏ hơn 60 kN.

(4) Điều chỉnh khoảng cách ray:

- Phạm vi điều chỉnh: -8 mm đến +4 mm.
- Thực hiện bằng cách thay tấm chắn khoảng cách ray với 7 kích cỡ từ số 2 đến số 8. Sử dụng số 4 và số 6 cho khoảng cách ray tiêu chuẩn.

(5) Điều chỉnh độ cao:

- Phạm vi điều chỉnh: 0 đến 10 mm.
- Thực hiện bằng cách lắp tấm điều chỉnh độ cao giữa tấm đệm dưới ray và mặt đỡ ray của tà vẹt. Tấm điều chỉnh độ cao có 4 độ dày: 1 mm, 2 mm, 5 mm và 8 mm.

(6) Tính đàn hồi:

Tấm đệm cao su dưới ray cung cấp tính đàn hồi với độ cứng tĩnh từ 50 đến 70 kN/mm.

(7) Thiết kế cách điện:

Hệ thống đạt tính cách điện thông qua các bộ phận cách điện như tấm chắn khoảng cách ray và ống nhựa chôn sẵn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ban Hạ. Phân tích tính năng hệ thống kết cấu đường ray không đá ballast kiểu CRTS II dưới tác động nhiệt độ [Luận văn]. Trường Đại học Trung Nam, 2012.

[2] Thái Văn Phong, Vương Bình, Ân Minh Dân. Nghiên cứu trạng thái êm thuận của đoạn thử nghiệm đường ray không đá ballast tuyến Tuy Du [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2009, 26(02): 47-51.

[3] Coenraad Esveld, dịch bởi Vương Bình và cộng sự. Đường ray hiện đại [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2014.

[4] Thái Tiểu Bồi, Lý Thành Huy. Ảnh hưởng của sự thiếu hụt dịch chuyển đến đặc tính động lực của đường ray tốc độ cao [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt, 2011, 33(7): 86-90.

[5] Sài Cường. Nghiên cứu công nghệ bảo trì và sửa chữa đường ray không đá ballast kiểu CRTS II trên đường sắt cao tốc [Luận văn]. Viện Nghiên cứu Khoa học Đường sắt Trung Quốc, 2014.

[6] Trần Đông Sinh, Điền Tân Vũ. Sự phát triển công nghệ kiểm tra đường ray cao tốc tại Trung Quốc [Tạp chí]. Tạp chí Kiến trúc Đường sắt, 2008(12): 82-86.

[7] Trần Bằng. Nghiên cứu đặc tính cơ học của kết cấu đường ray không đá ballast trên đường sắt cao tốc [Luận văn]. Trường Đại học Giao thông Bắc Kinh, 2009.

[8] Trần Văn Hào. Nghiên cứu bán kính cong nhỏ nhất cho đường sắt cao tốc không đá ballast [Luận văn]. Trường Đại học Giao thông Tây Nam, 2008.

[9] Trần Tú Phương, Vương Ngọ Sinh. Kỹ thuật đường ray [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Công nghiệp Xây dựng Trung Quốc, 2006.

[10] Trần Nhạc Nguyên. Đường ray đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 1998.

[11] Trần Tri Huy. Đường ray cong đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2011.

[12] Đới Công Liên, Chu Tuấn Phác, Nghiêm Bân. Nghiên cứu lực dọc của đường ray liền mạch trên cầu dầm đơn giản tải trọng trục 30 tấn [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Xây dựng, 2015(08): 60-69.

[13] Phạm Tuấn Kiệt. Đường ray hiện đại [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2001.

[14] Cao Lượng. Kỹ thuật đường ray [Sách]. Trùng Khánh: Nhà xuất bản Đại học Trùng Khánh, 2014.

[15] Cao Lượng. Nghiên cứu và ứng dụng công nghệ then chốt của đường ray không nối liền trên đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2012.

[16] Cao Lượng. Quản lý công trình đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2004.

[17] Tổng Công ty Đường sắt Trung Quốc. Quy phạm kỹ thuật thi công công trình đường ray cao tốc: Q/CR 9605-2017 [Tiêu chuẩn]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2018.

[18] 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.

[19] Cao Tăng Tăng. Phân tích ảnh hưởng của lún không đều nền đường đến ứng suất kết cấu đường ray không đá ballast kiểu khối kép [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt Trung Quốc, 2010(07): 74-76.

[20] Quảng Chung Nham, Cao Huệ An. Đường ray không nối liền trên đường sắt (phiên bản thứ tư) [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2005.

[21] Quách Phúc An. Hệ thống công nghệ đường ray nhánh tốc độ cao tại Trung Quốc [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt Trung Quốc, 2011(4): 1-5.

[22] Hàn Phong. Thi công công trình tuyến đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2007.

[23] Hác Doanh. Kỹ thuật đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2000.

[24] Hà Hoa Vũ. Công nghệ đường ray không đá ballast [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2005.

[25] Hà Hoa Vũ. Nghiên cứu công nghệ đường ray nhánh tốc độ cao tại Trung Quốc [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Trung Quốc, 2009, 11(5): 23-30.

[26] Hà Hoa Vũ. Công nghệ nâng cấp tốc độ lên 200 km/h cho các tuyến đường sắt hiện có tại Trung Quốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2007.

[27] Giang Thành. Kết cấu và công nghệ then chốt của đường ray không đá ballast trên các tuyến đường sắt chuyên chở hành khách [Kỷ yếu hội thảo]. Hội thảo Kỹ thuật Công trình Tuyến đường sắt chuyên chở hành khách, 2008: 14.

[28] Tưởng Kim Châu, Lư Diệu Vinh. Nghiên cứu giá trị khe hở cho phép trên đường ray thép của tuyến chuyên chở hành khách [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học Đường sắt Trung Quốc, 2007(06): 25-29.

[29] Viện Khảo sát và Thiết kế số 4 Trung Quốc. Nghiên cứu công nghệ thiết kế đường ray không đá ballast kiểu CRTS II trên tuyến chuyên chở hành khách [Báo cáo]. Vũ Hán, 2011: 9.

[30] Viện Khảo sát và Thiết kế số 4 Trung Quốc. Nghiên cứu công nghệ bảo trì đường ray không đá ballast trên tuyến chuyên chở hành khách [Báo cáo]. Vũ Hán, 2013.

[31] Lôi Hiểu Yến, Thánh Tiểu Trân. Nghiên cứu lý thuyết đường ray hiện đại [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2006.

[32] Lý Thành Huy. Đường ray [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 2004.

[33] Lý Kiến Bình. Nghiên cứu phương pháp kiểm soát độ chính xác và xử lý dữ liệu lưới khống chế cấp CPIII [Luận văn]. Đại học Địa chất Trung Quốc, 2013.

[34] Lý Minh Hoa. Công trình đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2006.

[35] Lý Thu Nghĩa, Tôn Lập, Dương Yến Lệ. Nghiên cứu phương pháp thiết kế đường ray nhánh không nối liền trên cầu của tuyến chuyên chở hành khách [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2008(12): 50-53.

[36] Lý Thu Nghĩa. Nghiên cứu thiết kế đường ray nhánh không nối liền trên cầu của tuyến đường sắt chuyên chở hành khách Vũ Quảng [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2010(01): 55-58.

[37] Lý Tư Vân, Dương Vinh Sơn. Nghiên cứu tuổi thọ mỏi của đường ray không đá ballast kiểu CRTS-I [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2016(03): 34-37.

[38] Lý Hướng Quốc, Bao Hoài Nghĩa, Nhạc Khúc Đức. Nghiên cứu mô phỏng bằng máy tính lực chuyển đổi của đường ray nhánh nâng tốc độ [Tạp chí]. Tạp chí Học viện Đường sắt Thạch Gia Trang, 2002, 15(3): 76-78.

[39] Lý Hướng Quốc. Công nghệ đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2008.

[40] Lý Di Hậu. Thiết bị thi công đặt dầm và đường ray trên tuyến chuyên chở hành khách [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2003.

[41] Luyện Tùng Lương. Kỹ thuật đường ray [Sách]. Thượng Hải: Nhà xuất bản Đại học Đồng Tế, 2006.

[42] Lưu Kiến Hoa, Phùng Nghị. Cấu trúc và bảo trì đường ray nhánh đơn [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2014.

[43] Lưu Học Nghị, Triệu Bình Duệ, Dương Vinh Sơn, và cộng sự. Lý thuyết và phương pháp thiết kế đường ray không đá ballast trên tuyến chuyên chở hành khách [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 2010.

[44] Lưu Học Nghị. Động lực học hệ thống phương tiện - đường ray - nền đường [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 2009.

[45] Lư Diệu Vinh. Nghiên cứu và ứng dụng đường ray không nối liền [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2004.

[46] Lư Tổ Văn. Tổng quan công nghệ đường ray cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2007(1): 41-54.

[47] Lư Tổ Văn. Đường ray trên tuyến chuyên chở hành khách [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2005.

[48] Mã Địch. Nghiên cứu tính kinh tế của đường ray không đá ballast trên đường sắt cao tốc tại Trung Quốc [Luận văn]. Thành Đô: Đại học Giao thông Tây Nam, 2009.

[49] Mã Minh Chính. Nghiên cứu công nghệ bảo trì đường ray không nối liền trên tuyến liên vùng [Luận văn]. Thành Đô: Đại học Giao thông Tây Nam, 2002.

[50] Phan Tự Lập, Diêu Lực. Thiết kế đường ray không đá ballast trên tuyến Tuy Du [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2007(S1): 187–189.

[51] Tiền Trọng Hầu. Khái luận về đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 1994.

[52] Viện Khoa học Đường sắt, Bộ Xây dựng Đường sắt. Báo cáo tổng hợp nghiên cứu thử nghiệm công nghệ tuyến chuyên chở hành khách Tần Thẩm [Báo cáo]. Bắc Kinh: Viện Khoa học Đường sắt, 2004.

[53] Thẩm Đông Thăng. Thiết kế tổng thể đổi mới công nghệ đường ray không đá ballast trên tuyến chuyên chở hành khách [Kỷ yếu hội thảo]. Hội thảo Kỹ thuật Công trình Tuyến chuyên chở hành khách, 2008.

[54] Tôn Quốc Anh. Công trình đường sắt [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 1998.

[55] Tiêu chuẩn ngành của Cộng hòa Nhân dân Trung Hoa. Quy phạm thiết kế đường ray đường sắt: TB/T 10082-2017 [Tiêu chuẩn]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2017.

[56] Tiêu chuẩn ngành của Cộng hòa Nhân dân Trung Hoa. Quy phạm thiết kế đường ray không nối liền: TB 10015-2012 [Tiêu chuẩn]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2013.

[57] Cục Quản lý Công trình Đường sắt, Tổng công ty Đường sắt Trung Quốc. Sổ tay kỹ thuật công trình đường sắt - Đường ray [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 1997.

[58] Đồng Đại Xương. Đường ray và nền đường đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 1979.

[59] Vương Tiến. Thi công công trình đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2002.

[60] Vương Bình, Lưu Học Nghị, Trần Dung. Tiến triển nghiên cứu công nghệ đường ray nhánh trên đường sắt cao tốc tại Trung Quốc [Tạp chí]. Tạp chí Công nghệ Đường sắt Cao tốc, 2010(2): 6-13.

[61] Vương Bình, Lưu Học Nghị. Lý thuyết tính toán và phương pháp thiết kế đường ray nhánh không nối liền [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 2007.

[62] Vương Bình. Lý thuyết và thực tiễn thiết kế đường ray nhánh trên đường sắt cao tốc [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 2011.

[63] Vương Bình. Lý thuyết thiết kế đường ray nhánh không nối liền trên cầu [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 2011.

[64] Vương Bình. Lý thuyết tính toán và phương pháp thiết kế đường ray nhánh không nối liền [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 2007.

[65] Vương Bình, Tiêu Kiệt Linh, Trần Dung và cộng sự. Công nghệ đường ray không nối liền trên cầu đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2016.

[66] Vương Kỳ Xương, Hàn Khải Mạnh. Thiết kế và thi công đường ray kiểu tấm [Sách]. Thành Đô: Nhà xuất bản Đại học Giao thông Tây Nam, 2002.

[67] Vương Sâm Vinh, Tôn Lập, Lý Thu Nghĩa và cộng sự. Nghiên cứu đo nhiệt độ và phân tích ứng suất nhiệt của tấm đường ray không đá ballast [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2009(2): 52-55.

[68] Vương Sâm Vinh. Nghiên cứu lực nhiệt của đường ray không đá ballast kiểu tấm [Luận văn]. Thành Đô: Đại học Giao thông Tây Nam, 2007.

[69] Vương Thụ Quốc, Cát Tinh, Vương Mãnh và cộng sự. Nghiên cứu thử nghiệm công nghệ then chốt của đường ray nhánh tốc độ cao [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt, 2015, 37(1): 77-82.

[70] Vương Ngọ Sinh, Hứa Ngọc Đức, Trịnh Kỳ Xương. Công trình đường sắt và giao thông đô thị [Sách]. Thượng Hải: Nhà xuất bản Đại học Đồng Tế, 2003.

[71] Ngụy Phong. Nghiên cứu thử nghiệm mô hình biến đổi độ cứng theo chiều ngang của đỉnh trụ cầu dưới tác động của lực hãm [Kỷ yếu hội thảo]. Hội thảo Kỹ thuật Công trình Tuyến chuyên chở hành khách, 2008.

[72] Ngô Tằng, Lưu Học Nghị, Vương Bình. Phân tích vị trí tương đối hợp lý giữa đường ray nhánh và cầu bằng phương pháp động lực học ghép phương tiện - đường ray - cầu [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt, 2011, 33(8): 88-92.

[73] Hứa Thực Như, Đồng Bản Hạo. Lý thuyết cơ bản về đường ray đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 1997.

[74] Nghiêm Hồng Lượng. Nghiên cứu lựa chọn kết cấu đường ray trên tuyến chuyên chở hành khách [Tạp chí]. Tạp chí Kiến trúc Đường sắt, 2005(02): 26-28.

[75] Du Tỉnh. Phân tích quy luật suy giảm nhiệt độ khóa đường ray không nối liền [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học Công nghệ Đường sắt Thượng Hải, 2005(03): 49-51.

[76] Tằng Thụ Cốc. Công nghệ kiểm tra đường ray đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 1998.

[77] Tằng Chí Bình, Trần Tú Phương. Nghiên cứu phương pháp tính toán đường ray không nối liền [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học Đường sắt Trung Quốc, 2003(06): 46-49.

[78] Trương Định Hiền. Động lực học hệ thống phương tiện – đường ray [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 1996.

[79] Trương Đông Phong. Thiết kế kết cấu đường ray nhánh đơn kiểu số 42 cho tuyến chuyên chở hành khách tốc độ 350 km/h sử dụng loại ray 60 kg/m [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2009(05): 6-9.

[80] Trương Vị, Trương Bộ Vân. Đường ray không nối liền trên tuyến liên vùng đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2000.

[81] Trương Ngân Hoa, Trần Triều Dương, Chu Thanh Duyệt. Nghiên cứu giá trị chỉ tiêu cường độ chịu kéo của đường ray thép [Tạp chí]. Tạp chí Kiến trúc Đường sắt, 2006(03): 92-94.

[82] Trương Chí Hồng. Nguyên nhân và xử lý vết nứt bê tông của lớp nền đường ray không đá ballast kiểu tấm [Tạp chí]. Tạp chí Vật liệu xây dựng Giang Tây, 2012(01): 205-205.

[83] Triệu Quốc Đường. Kết cấu đường ray không đá ballast trên đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2006.

[84] Triệu Kiện. Nghiên cứu kết cấu đường ray không đá ballast kiểu khung dầm cho tuyến đường sắt cao tốc ở các nhà ga trên cao [Luận văn]. Thành Đô: Đại học Giao thông Tây Nam, 2012.

[85] Triệu Lập Đông. Bảo trì và sửa chữa tuyến đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2016.

[86] Triệu Bình Duệ, Lưu Học Nghị. Phương pháp tính toán ứng suất nhiệt của lớp nền bê tông đường ray không đá ballast kiểu liên tục [Tạp chí]. Tạp chí Tiêu chuẩn Thiết kế Đường sắt, 2008(10): 6-8.

[87] Triệu Bình Duệ, Chương Nguyên Ái, Lưu Học Nghị và cộng sự. Mô hình dầm nền đàn hồi của đường ray không đá ballast [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học Đường sắt Trung Quốc, 2009, 30(03): 1-4.

[88] Triệu Bình Duệ. Nghiên cứu lý thuyết và phương pháp thiết kế đường ray không đá ballast trên tuyến chuyên chở hành khách [Luận văn]. Thành Đô: Đại học Giao thông Tây Nam, 2008.

[89] Triệu Chí Quân, Trần Tú Phương. Nghiên cứu mô hình tính toán độ ổn định của đường ray không nối liền [Tạp chí]. Tạp chí Học viện Đường sắt Trường Sa, 2001(03): 31-36.

[90] Tổng công ty Đường sắt Trung Quốc. Công nghệ công trình trên đường sắt cao tốc Trung Quốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2014.

[91] Viện Khảo sát và Thiết kế số 4 Trung Quốc. Nghiên cứu công nghệ thiết kế đường ray không đá ballast kiểu CRTS II trên cầu [Báo cáo]. Vũ Hán: Báo cáo nghiên cứu, 2012: 9.

[92] Chu Thanh Duyệt, Lưu Phong Thu, Chu Mai và cộng sự. Nghiên cứu về độ cứng phù hợp trong mối quan hệ giữa bánh xe và đường ray [Tạp chí]. Tạp chí Khoa học Đường sắt Trung Quốc, 2006, 27(05): 35-41.

[93] Chu Thanh Duyệt, Trương Ngân Hoa, Trần Triều Dương và cộng sự. Lựa chọn cấp độ cường độ và vật liệu cho đường ray trên tuyến chuyên chở hành khách [Tạp chí]. Tạp chí Đường sắt Trung Quốc, 2007(07): 41-45.

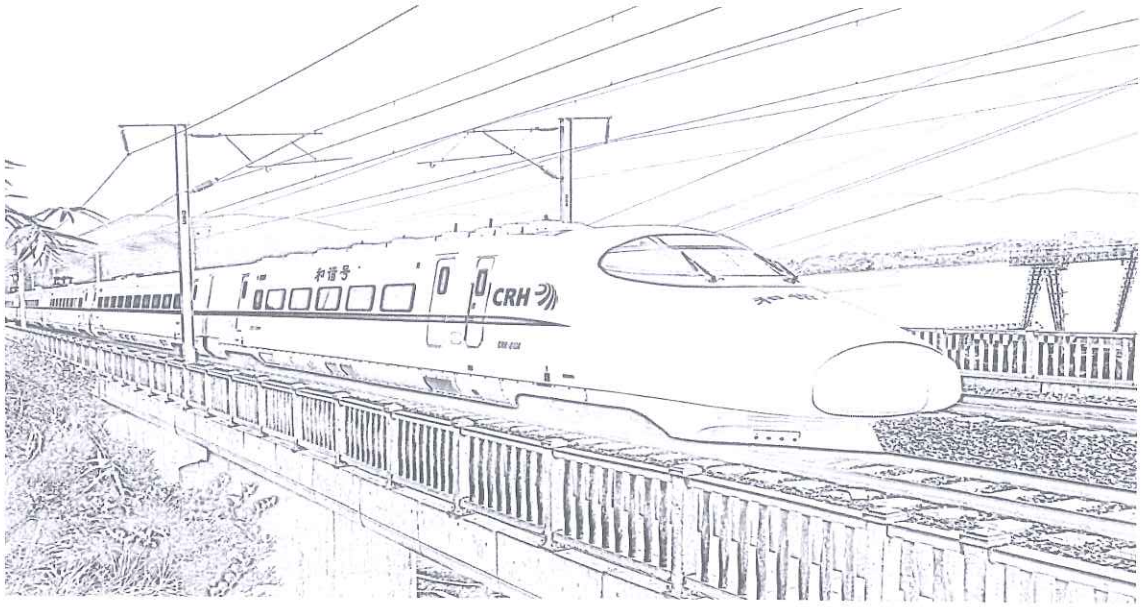
[94] Chu Thanh Duyệt, Trương Ngân Hoa, Trần Triều Dương. Một số vấn đề liên quan đến đường ray sử dụng trên đường sắt cao tốc [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Kiến trúc Đường sắt, 2004(02): 54-57.

[95] Chu Thanh Duyệt, Chu Trấn Quốc, Trương Ngân Hoa và cộng sự. Nghiên cứu và soạn thảo điều kiện kỹ thuật cho đường ray trên tuyến chuyên chở hành khách [Kỷ yếu hội thảo]. Hội thảo trao đổi kỹ thuật xây dựng tuyến đường sắt chuyên chở hành khách, 2005.

[96] Chu Cao Minh. Tổng quan nghiên cứu và ứng dụng đường ray không đá ballast trong và ngoài nước [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Đường sắt, 2008, 25(07): 28-30.

[97] Tổ Văn. Đường ray trên tuyến chuyên chở hành khách [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2005.

[98] Sato Yoshihiko, dịch bởi Từ Dũng. Cơ học đường ray mới [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2001.



PHẦN II. KỸ THUẬT NỀN ĐƯỜNG SẮT

Cùng với sự tiến bộ trong lý thuyết và công nghệ thiết kế, xây dựng, vận hành và bảo trì hệ thống đường sắt và đầu máy, tốc độ vận hành đã được nâng cấp đáng kể. Từ mức dưới 100 km/h, tốc độ đã lần lượt được tăng lên các ngưỡng 100 - 200 km/h, 200 - 300 km/h, và trên 300 km/h. Sự phát triển này đã đánh dấu bước chuyển mình của ngành Đường sắt từ thời kỳ tốc độ thường sang kỷ nguyên tốc độ cao, giúp rút ngắn thời gian lưu thông hàng hóa và con người giữa các vùng, trở thành mạch máu chính thúc đẩy phát triển kinh tế trong thế kỷ XXI.

Hiện nay, định nghĩa về đường sắt cao tốc có sự khác biệt tùy theo từng quốc gia. Sau khi tuyến Shinkansen Tokaido của Nhật Bản được đưa vào hoạt động, các tuyến có tốc độ vận hành trên 200 km/h thường được coi là đường sắt cao tốc. Theo Hiệp định Quốc tế về các tuyến đường sắt chính năm 1985 của Ủy ban Kinh tế châu Âu thuộc Liên Hợp Quốc, các tuyến cao tốc chuyên dụng mới cần đạt tốc độ tối thiểu 300 km/h, trong khi các tuyến kết hợp vận tải hành khách và hàng hóa phải đạt ít nhất 250 km/h. Liên minh Đường sắt Quốc tế (UIC) cũng đưa ra tiêu chuẩn tương tự, với các tuyến chuyên dụng mới cần đạt tối thiểu 250 km/h và các tuyến cải tạo phải đạt trên 200 km/h.

Tầm quan trọng của kỹ thuật nền đường

Nền đường với độ phẳng cao và khả năng chịu tải hợp lý là một trong những yếu tố đảm bảo quan trọng cho vận hành an toàn và thoải mái của đường sắt cao tốc. Nền đường được hình thành qua quá trình đào đắp, là cấu trúc địa kỹ thuật dạng lớp, đóng vai trò nền móng quan trọng hỗ trợ hệ thống đường ray. Để đảm bảo tàu chạy với tốc độ cao, an toàn và ổn định, nền đường cần có đủ độ bền, độ cứng hợp lý, tính ổn định cao và độ bền lâu dài. Sau nhiều thập kỷ nghiên cứu và ứng dụng, quan niệm thiết kế nền đường cao tốc đã chuyển từ thiết kế dựa trên độ bền sang thiết kế dựa trên kiểm soát biến dạng. Các cấu trúc nền truyền thống đã được cải tiến để áp dụng hệ thống nền đa lớp, bao gồm lớp đất nền, lớp đệm đáy và lớp đệm mặt.

Các lớp của nền đường chủ yếu sử dụng vật liệu đất đá tự nhiên được đắp thành từng lớp. Tuy nhiên, dưới tác động lặp đi lặp lại của tải trọng tàu và các yếu tố tự nhiên, nền đường sẽ xuất hiện biến dạng đàn hồi và biến dạng vĩnh cửu. Để kiểm soát biến dạng nền đường, các quy định thiết kế đường sắt cao tốc ở các nước đều đưa ra yêu cầu rõ ràng về lựa chọn vật liệu, tỷ lệ cấp phối, chất lượng nén chặt và công nghệ thi công.

Quản lý biến dạng và lún nền

Nền đường chịu tải trọng từ đường ray và trọng lượng bản thân, truyền tải xuống móng, gây ra ứng suất bổ sung và lún móng. Biến dạng này ảnh hưởng trực tiếp đến hình học và độ phẳng của đường ray. Để đảm bảo độ phẳng của tuyến, khái niệm kiểm soát lún sau thi công được đưa ra. Lún nền đường cao tốc sau thi công chủ yếu do nén chặt lớp đất đắp, biến dạng tích lũy từ tải trọng tàu và biến dạng lún móng. Hai yếu tố đầu có thể kiểm soát hiệu quả thông qua thiết kế và lựa chọn vật liệu, nhưng biến dạng lún móng lại là vấn đề phức tạp, liên quan đến đặc điểm địa chất và thủy văn.

Để kiểm soát hiệu quả lún móng, nhiều công nghệ gia cố đã được phát triển như phương pháp cố kết thoát nước, móng cọc mềm và cứng, cùng các phương pháp tính toán và mô hình dự báo lún. Những công nghệ này đã dẫn đến sự ra đời của nền đường cấu trúc cọc lưới và cọc bản.

Giám sát và đánh giá nền đường sau vận hành

Mặc dù nền đường cao tốc được kiểm soát nghiêm ngặt trong thiết kế và thi công, biến dạng lún vẫn không thể tránh khỏi sau khi đưa vào vận hành. Do đó, cần có hệ thống giám sát và đánh giá trạng thái nền đường sau vận hành để nắm bắt, đánh giá và kiểm soát xu hướng phát triển lún, đảm bảo an toàn vận hành và hướng dẫn công tác bảo trì.

Nội dung chính

Phần này tổng hợp các khía cạnh quan trọng liên quan đến kỹ thuật nền đường sắt cao tốc, bao gồm:

1. Đặc điểm và thách thức kỹ thuật.
2. Tải trọng thiết kế và cấu trúc lớp đệm.
3. Vật liệu và chất lượng nén chặt.
4. Công nghệ kiểm soát lún.
5. Giám sát và đánh giá trạng thái nền đường.

Nội dung tập trung vào những kiến thức cơ bản và kỹ thuật liên quan đến nền đường sắt cao tốc.

CHƯƠNG 1. ĐẶC ĐIỂM KỸ THUẬT VÀ VẤN ĐỀ ĐỐI MẶT CỦA NỀN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. ĐẶC ĐIỂM KỸ THUẬT NỀN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

1. Thay đổi trong kết cấu nền đường

Để đảm bảo nền đường đạt được độ bền cao, ít biến dạng, đồng thời có đủ độ ổn định và độ bền lâu dài, cấu trúc nền đường của đường sắt cao tốc đã có những thay đổi rõ rệt so với nền đường truyền thống.

Đường sắt cao tốc thường sử dụng nền đường đôi, với các hình thức như đường đắp (đắp đất), đường đào (đào sâu), hoặc kết hợp nửa đắp, nửa đào. Khoảng cách giữa các tuyến đường sắt cao tốc được mở rộng, nhằm giảm thiểu tác động của áp lực gió khi hai đoàn tàu cao tốc gặp nhau, cũng như để tạo điều kiện cho việc lắp đặt các đường nối trong tương lai. Ngoài ra, do tàu cao tốc khi vận hành tạo ra luồng gió mạnh, đặc biệt là hiện tượng xoáy khí ở hai bên khi tàu đi qua, chiều rộng của lề đường cũng được tăng lên để đảm bảo an toàn cho nhân viên làm việc ở khu vực này.

❖ **Các loại kết cấu đường ray**

• ***Đường ray có ballast***

Cấu trúc đường ray có ballast tiếp tục đóng vai trò quan trọng trong hệ thống đường sắt. Lớp ballast truyền thống giúp:

- Chịu áp lực từ tà vẹt và giảm rung động.
- Chuyển tải trọng xuống nền đường.
- Hỗ trợ chống xê dịch tà vẹt theo phương ngang và dọc.
- Giảm tác động va chạm từ đoàn tàu.
- **Ưu điểm**: Độ đàn hồi tốt, chi phí thấp, dễ thay thế và bảo trì, khả năng giảm tiếng ồn tốt.

Tuy nhiên, đường sắt cao tốc đã cải tiến kết cấu truyền thống của ballast để đáp ứng yêu cầu vận hành tốc độ cao:

- Nhật Bản, vật liệu lớp bề mặt ballast được chọn lọc đặc biệt.
- Pháp kết hợp độ dày lớp ballast với yêu cầu vận hành và bảo trì.
- Đức áp dụng các tiêu chuẩn nghiêm ngặt về khả năng chống đóng băng.

Tại Trung Quốc, độ dày lớp ballast trong đường sắt cao tốc dao động từ 2,5 - 3,0 m, trong đó lớp bề mặt sử dụng đá nghiền có độ dày 0,6 - 0,7 m, đây là một điểm khác biệt so với đường sắt truyền thống. Để kiểm soát lún sau thi công và đảm bảo độ cứng của nền đường, các yêu cầu về vật liệu đắp nền, tiêu chuẩn nén chặt, cũng như các thông số như hệ số nền K_{30}, mô đun biến dạng E_{v2}, và mô đun biến dạng động E_{vd} cũng được áp dụng nghiêm ngặt hơn.

- ***Đường ray không ballast***

Đường ray không ballast đang ngày càng phổ biến trong đường sắt cao tốc nhờ các ưu điểm:

- Độ đàn hồi của đường ray đồng đều.
- Trạng thái ổn định.
- Giảm công tác sửa chữa và bảo trì.
- Nâng cao độ an toàn và thoải mái khi vận hành.

Các loại đường ray không ballast phổ biến bao gồm:

- Đường ray tấm bản.
- Đường ray hai khối.
- Đường ray tà vẹt dài chìm.
- Đường ray khối đệm đàn hồi.
- Đường ray đúc toàn khối kiểu PACT.
- Đường ray tấm nổi.

Tại Nhật Bản, hơn 80% các tuyến đường sắt cao tốc mới sử dụng đường ray không ballast, trong khi tại Đức, con số này đạt trên 70%. Ở Trung Quốc, đường ray không ballast đã được áp dụng rộng rãi trên các tuyến Tần-Thẩm, Tần Lĩnh, Trịnh-Tây, Vũ-Quảng, với các loại như đường ray tấm, tà vẹt dài chìm, và khối đệm đàn hồi.

❖ **Cấu trúc nền đường không ballast tại Trung Quốc**

Trên các tuyến đường sắt khách cao tốc ở Trung Quốc, hai loại đường ray không ballast chính được sử dụng là:

• Đường ray tấm: Gồm thanh ray, khóa ray, tấm ray, và lớp điều chỉnh bằng vữa CA.

• Đường ray hai khối: Gồm thanh ray, khóa ray, và tấm đệm bê tông.

Lớp nền của đường ray không ballast bao gồm đế bê tông và đá nghiền phối hợp, với độ dày tổng thể là 3,0 m, trong đó lớp bề mặt dày 0,7 m và lớp đáy dày 2,3 m.

Tại các đoạn chuyển tiếp giữa nền đường và các công trình khác, cấu trúc nền được điều chỉnh để giảm thiểu lún không đều và duy trì độ cứng đồng đều. Điều này giúp đảm bảo an toàn và ổn định trong vận hành đường sắt cao tốc.

2. Kiểm soát lún sau thi công là yếu tố then chốt trong thiết kế nền đường sắt cao tốc

Lún nền sau thi công bao gồm sự lún tích lũy lâu dài của lớp nền do tải trọng tàu và sự nén chặt của lớp đất đắp cũng như nền móng. Đây là yếu tố kiểm soát chính trong thiết kế đường sắt cao tốc, đặc biệt là đối với nền đường. Vấn đề không nằm ở độ bền, vì thông thường nền đường sẽ trải qua các biến dạng lớn và có hại trước khi đạt đến giới hạn chịu tải.

2.1. Tầm quan trọng của kiểm soát lún trong các dự án quốc tế

Nhật Bản

Tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên của Nhật Bản - Shinkansen Tokaido, trong quá trình xây dựng, do chưa nhận thức đầy đủ tầm quan trọng của nền đường và tiêu chuẩn thiết kế còn thấp, đã gặp phải hiện tượng lún nền nghiêm trọng sau khi đưa vào vận hành. Hệ quả là:

• Xuất hiện hiện tượng lún nền đáng kể và lớp nền bị bơm bùn.

• Đường ray không đạt trạng thái hoạt động bình thường.

• Tốc độ tàu không đạt được mục tiêu thiết kế.

Ban đầu, Nhật Bản đặt tiêu chuẩn lún sau thi công là **10 cm**, với lún hàng năm là **3 cm**. Tuy nhiên, ở các dự án sau, tiêu chuẩn này đã được thắt chặt xuống **3 cm**, và với đường ray không ballast, tiêu chuẩn kiểm soát lún còn nghiêm ngặt hơn nữa.

Pháp

Trước khi xây dựng các tuyến TGV, nghiên cứu đã cho thấy việc bổ sung một lớp đệm dưới lớp ballast có vai trò quan trọng trong việc ngăn ngừa hư hỏng nền đường. Do đó, tiêu chuẩn kỹ thuật của TGV đã quy định các biện pháp tăng cường lớp nền:

• Lún sau thi công phải dưới 2 cm.

• Lún phải ổn định hoàn toàn trước lần nén chặt cuối cùng và trước khi vận hành tàu cao tốc.

Đức

Đức đã rút kinh nghiệm từ các tuyến đường sắt hiện có và áp dụng tiêu chuẩn nền đường cao hơn khi xây dựng đường sắt cao tốc:

- Lún sau thi công không được vượt quá 1 cm.
- Tốc độ lún không vượt quá 2 mm/năm.
- Tránh hiện tượng lún không đều trên các đoạn ngắn.
- Không được phép xảy ra lún không đều tại các mố cầu.

2.2. Tiêu chuẩn kiểm soát lún tại Trung Quốc

Ở Trung Quốc, tiêu chuẩn kiểm soát lún nền đường cũng được xây dựng qua nhiều giai đoạn:

- Trong thiết kế nền đường truyền thống, chỉ chú trọng đến khả năng chịu lực mà không đặt yêu cầu cụ thể về biến dạng. Điều này dẫn đến các vấn đề nghiêm trọng sau khi đưa vào vận hành, buộc ngành đường sắt phải tăng khối lượng bảo trì để đảm bảo hoạt động bình thường.
- Với sự hiểu biết ngày càng sâu sắc về tác động của lún nền đến vận hành đường sắt, các tiêu chuẩn đầu tiên về lún nền đã được đưa vào quy định thiết kế.

Đối với đường ray có ballast

- Tốc độ 200 - 250 km/h:
  - Lún sau thi công ở các đoạn thông thường: **< 10 - 15 cm**.
  - Lún tại các đoạn chuyển tiếp giữa nền và cầu: **< 5 - 8 cm**.

Đối với đường ray không ballast

- Do việc sửa chữa đường ray không ballast rất phức tạp và tốn kém, các tiêu chuẩn kiểm soát lún được quy định nghiêm ngặt hơn:
  - Lún không được vượt quá **15 mm**, tương ứng với mức điều chỉnh tối đa của hệ thống khóa ray.
  - Chênh lệch lún tại các điểm chuyển tiếp giữa nền và cầu/tunnel không được vượt quá **5 mm**.
  - Góc gấp khúc do lún tại đoạn chuyển tiếp không được lớn hơn **1/1000**.

2.3. Kiểm soát lún - Đặc trưng kỹ thuật quan trọng của đường sắt cao tốc

Tiêu chuẩn kiểm soát lún nghiêm ngặt là một trong những điểm khác biệt lớn nhất giữa nền đường sắt cao tốc và nền đường sắt truyền thống. Điều này đảm bảo

tính ổn định, an toàn và hiệu quả của hệ thống đường sắt cao tốc, đồng thời giảm thiểu chi phí và thời gian bảo trì.

3. Độ cứng nền đường phù hợp với tàu là yếu tố then chốt để đảm bảo tốc độ và sự thoải mái

Nền đường và đường ray, hai thành phần chính của tuyến đường sắt, có mối quan hệ tác động và ảnh hưởng lẫn nhau dưới tác động của tải trọng. Từ góc độ phục vụ vận hành tàu, các yêu cầu về hiệu suất của nền đường và đường ray cần có tính tương hỗ và bổ trợ lẫn nhau.

Vấn đề độ cứng của nền đường phải phù hợp với hệ thống tàu cao tốc và đường ray không chỉ ảnh hưởng đến sự thoải mái và an toàn khi vận hành, mà còn tác động trực tiếp đến tiêu chuẩn thiết kế, thi công và bảo trì tuyến đường. Độ cứng nền đường quá lớn hoặc quá nhỏ đều không có lợi:

- **Nếu độ cứng quá nhỏ**, nó sẽ ảnh hưởng đến tốc độ, sự êm ái và an toàn khi tàu vận hành.
- **Nếu độ cứng quá lớn**, hệ thống tàu và đường ray sẽ chịu rung động mạnh hơn, làm giảm tuổi thọ của các thành phần.

Nền đường phải đáp ứng hai yêu cầu quan trọng:

1) **Cung cấp nền tảng ổn định với biến dạng đàn hồi nhỏ** để hỗ trợ đường ray khi tàu chạy.
2) **Đảm bảo độ cứng phù hợp** nhằm giảm thiểu tác động động lực của hệ thống.

Tầm quan trọng của độ cứng nền đường còn đặc biệt thể hiện ở các đoạn chuyển tiếp giữa các loại kết cấu khác nhau, như:

- Đoạn chuyển tiếp giữa nền đường và cầu.
- Đoạn chuyển tiếp giữa nền đường và cống.
- Đoạn chuyển tiếp giữa nền đường và hầm.
- Đoạn chuyển tiếp giữa đường đào và đường đắp.
- Đoạn chuyển tiếp giữa đường ray không ballast và đường ray có ballast.

Tại các đoạn chuyển tiếp này, sự chênh lệch lớn về độ cứng của các cấu trúc bên dưới dễ gây ra thay đổi đột ngột về độ cứng của tuyến đường. Khi tàu cao tốc chạy qua, điều này sẽ làm tăng mạnh lực tác động động lực giữa bánh xe và đường ray, ảnh hưởng trực tiếp đến sự an toàn và thoải mái của hành khách. Vì vậy, thiết kế và thi công cấu trúc đoạn chuyển tiếp cần tập trung vào việc đảm bảo độ cứng dọc được phân bố đồng đều.

II. NHỮNG THÁCH THỨC CHÍNH ĐỐI VỚI NỀN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

Ngành Đường sắt cao tốc tại Trung Quốc có khởi đầu muộn hơn so với nhiều quốc gia phát triển. Trong những giai đoạn đầu xây dựng, kỹ thuật thiết kế, thi công và bảo trì nền đường vẫn còn nhiều hạn chế và chưa đạt được mức độ tiên tiến như các nước phát triển trong lĩnh vực đường sắt cao tốc.

1. Sửa đổi và hoàn thiện tiêu chuẩn kỹ thuật

1.1. Tiêu chuẩn kiểm soát lún sau thi công của nền đường

Các tiêu chuẩn hiện hành về thiết kế và thi công nền đường sắt cao tốc tại Trung Quốc phần lớn được xây dựng dựa trên kinh nghiệm từ các quốc gia phát triển trong lĩnh vực đường sắt cao tốc.

Tiêu chuẩn kiểm soát lún sau thi công của nền đường sắt cao tốc có vai trò quyết định đến việc đảm bảo tàu chạy tốc độ cao một cách an toàn và thoải mái, cũng như ảnh hưởng đến chi phí xây dựng. Các tiêu chuẩn này cũng liên quan đến mô hình quản lý vận hành đường sắt cao tốc trong tương lai của Trung Quốc.

- **Đối với đường ray có ballast**, nếu tiêu chuẩn kiểm soát lún quá nghiêm ngặt, chi phí xử lý nền móng sẽ tăng đáng kể. Trong một số điều kiện địa chất, ngay cả khi đã thực hiện các biện pháp xử lý nền móng, việc hoàn toàn loại bỏ lún sau thi công là rất khó khăn. Vì vậy, cách tiếp cận hợp lý là kiểm soát lún trong phạm vi cho phép, để vừa đảm bảo tốc độ, an toàn và sự thoải mái của tàu, vừa hạn chế chi phí bảo trì và duy trì năng lực thông qua tuyến đường.

- **Đối với đường ray không ballast**, tiêu chuẩn kiểm soát lún hiện nay được xác định dựa trên khả năng điều chỉnh độ cao của khóa ray. Tuy nhiên, năng lực chống biến dạng không đồng đều của các loại đường ray không ballast khác nhau là khác biệt, nên việc áp dụng một tiêu chuẩn chung cần được cân nhắc.

  - Ví dụ: Nhật Bản quy định góc chênh lệch do lún ở các đoạn chuyển tiếp không vượt quá 1/1000, trong khi Đức quy định không vượt quá 1/500. Tiêu chuẩn của Trung Quốc hiện tại là 1/1000.

1.2. Độ dày nền đường của đường ray không ballast

Nền đường là bộ phận quan trọng nhất trong cấu trúc nền móng của đường sắt, chịu ảnh hưởng lớn từ tải trọng động của tàu, do đó yêu cầu rất cao về vật liệu đắp và tiêu chuẩn nén chặt.

Theo Hướng dẫn thiết kế đường sắt không ballast cho các tuyến khách tại Trung Quốc, độ dày nền đường hiện tại được áp dụng chung là 3 m, không phân biệt các cấp tốc độ từ 200 - 350 km/h.

1.3. Tiêu chuẩn độ cứng nền móng

K_{30} là chỉ số biểu thị độ cứng của nền móng và có mối quan hệ trực tiếp với mức độ biến dạng đàn hồi của nền đường khi tàu chạy. Theo quy luật phân bố ứng suất động trong nền đường:

- Ở độ sâu 2,5 m, ứng suất động từ tải trọng tàu thường giảm xuống chỉ còn 20% so với mặt nền.
- Ở độ cao nền đường trên 2,5 - 3,0 m, độ cứng của nền móng hầu như không ảnh hưởng đến biến dạng đàn hồi khi tàu chạy.

Trong trường hợp lún sau thi công (biến dạng dẻo) đáp ứng yêu cầu, yêu cầu về $K_{30} \geq 85$ MPa/m cho mặt nền đường đắp có hợp lý hay không cần được xem xét kỹ lưỡng, vì tiêu chuẩn này liên quan trực tiếp đến chi phí xử lý nền móng. Việc làm rõ hoặc thống nhất tiêu chuẩn K_{30} là rất cần thiết.

- Theo quy định tạm thời về thiết kế đường sắt hỗn hợp khách và hàng tốc độ 200 km/h, không yêu cầu cụ thể về K_{30} đối với mặt nền đường đắp.
- Tuy nhiên, trong Tiêu chuẩn nghiệm thu chất lượng thi công đường sắt hỗn hợp khách và hàng tốc độ 200 km/h, yêu cầu rằng sau khi mặt nền được làm phẳng và nén chặt, $K_{30} \geq 85$ MPa/m và hệ số $K \geq 0,85$.

2. Nghiên cứu lý thuyết

Công nghệ đường sắt cao tốc hiện đại cần được tiếp cận từ quan điểm hệ thống tổng thể. Để đạt được tốc độ cao, việc kết hợp hài hòa giữa nền đường, đường ray và phương tiện là yếu tố then chốt, giúp các thành phần trong hệ thống phối hợp hiệu quả và đảm bảo vận hành tối ưu.

Ở các tuyến đường sắt thông thường, do tốc độ thấp và lưu lượng nhỏ, các nghiên cứu trước đây thường chỉ tập trung vào sự tương tác giữa bánh xe và đường ray, mà ít chú trọng đến vai trò của nền đường. Tuy nhiên, đối với đường sắt cao tốc, hệ thống bánh xe - đường ray - nền đường cần được xem như một tổng thể tương tác chặt chẽ. Nền đường không thể tách rời khỏi hệ thống mà phải được tích hợp vào quá trình nghiên cứu.

Để đạt được sự tối ưu hóa hệ thống, cần:

- Xây dựng các mô hình phù hợp, tập trung vào các thông số kỹ thuật cơ bản và điều kiện hoạt động của từng thành phần.

• Thiết kế tổng thể tối ưu để đảm bảo sự kết hợp hợp lý giữa bánh xe, đường ray và nền đường.

• Đảm bảo tàu cao tốc vận hành an toàn, ổn định và hiệu quả ở tốc độ cao.

3. Thách thức trong thiết kế và thi công

Dù các tiêu chuẩn kỹ thuật đã được ban hành, việc triển khai và đáp ứng những tiêu chuẩn này trong thực tiễn vẫn là một bài toán khó đối với các kỹ sư thiết kế và thi công đường sắt cao tốc.

3.1. Kỹ thuật dự báo lún sau thi công của nền đường

Hiện nay, do chưa có lý thuyết tính toán lún sau thi công nền đường đáng tin cậy, trong thực tế, các kỹ sư thường sử dụng mối quan hệ thực đo giữa **lún - thời gian** để chọn hàm số phù hợp nhằm nội suy đường cong lún, từ đó dự đoán lún sau thi công và hướng dẫn các bước tiếp theo, chẳng hạn như thời điểm hợp lý để tiến hành đặt đường ray. Các công thức kinh nghiệm phổ biến gồm:

• Phương pháp đường cong hyperbolic.

• Phương pháp đường cong hàm mũ.

• Phương pháp Hoshino.

• Phương pháp Asakawa.

Tuy nhiên, các phương pháp dự đoán hiện tại khó đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật cao của tiêu chuẩn lún nền đường sắt cao tốc. Việc phát triển các mô hình dự đoán lún có độ chính xác cao và đáng tin cậy là rất cấp thiết.

3.2. Thiết kế nền đường thấp và rãnh đường đất ở khu vực đất đặc biệt

Theo quy định thiết kế hiện hành, đối với các nền đường thấp có chiều cao nhỏ hơn độ dày nền hoặc các rãnh đường đất, đã có các yêu cầu cụ thể về độ dày lớp thay thế. Chẳng hạn:

• Với các rãnh đường đất, khi đất không đáp ứng tiêu chuẩn vật liệu lớp đáy nền, cần thay thế bằng vật liệu nhóm A, B hoặc đất cải tạo với độ dày thay thế dưới 0,5 m.

Đối với một số loại đất đặc biệt (như đất trương nở, đất hoàng thổ sụt lún, đất băng theo mùa), cần thiết kế riêng dựa trên:

• Loại đất và nguồn gốc hình thành.

• Điều kiện nước ngầm.

- Tính chất địa chất công trình của đất.
- Điều kiện khí hậu địa phương.

Các thiết kế này bao gồm các biện pháp thay thế, chống thấm, thoát nước, và các giải pháp bảo vệ khác.

3.3. Kỹ thuật thi công đất cải tạo

Trung Quốc với lãnh thổ rộng lớn và điều kiện địa chất, địa lý phức tạp đã hình thành nhiều loại đất đặc trưng khu vực, như đất trương nở hay đất hoàng thổ sụt lún. Khi những loại đất này không thể sử dụng trực tiếp làm vật liệu đắp nền, cần áp dụng các biện pháp cải tạo để đáp ứng yêu cầu của nền đường.

Trước khi thiết kế và thi công, cần:

- Thực hiện nghiên cứu thí nghiệm trong phòng về các biện pháp cải tạo dựa trên loại đất, thành phần khoáng chất và tính chất cơ lý của đất.
- Tiến hành thử nghiệm thực địa về kỹ thuật trộn, nén chặt và đưa ra các biện pháp đảm bảo chất lượng.
- Phân tích tổng hợp các yếu tố như chất lượng trộn, hiệu suất công việc, tính phù hợp của kỹ thuật, chi phí kinh tế và tác động môi trường, từ đó xác định kỹ thuật trộn phù hợp để triển khai trên toàn tuyến hoặc các khu vực rộng lớn.

3.4. Thiết kế nền đường trong điều kiện địa chất phức tạp

Thiết kế nền đường trong các điều kiện địa chất phức tạp bao gồm:

- Xử lý nền đá vôi, (nền đá vôi phong hóa).
- Biện pháp cải tạo nền dễ hóa lỏng;
- Giảm thiểu tác động của sụt lún mặt đất đến nền đường sắt cao tốc.

Để giảm thiểu tác động của sụt lún mặt đất lên đường sắt, cần áp dụng các biện pháp như:

- Kiểm soát hợp lý việc khai thác nước ngầm.
- Xây dựng mạng lưới giám sát sụt lún dọc tuyến.
- Lựa chọn các loại cấu trúc đường ray phù hợp với điều kiện địa chất cụ thể.

4. Ứng dụng công nghệ mới

Để đáp ứng nhu cầu xây dựng đường sắt cao tốc, trong những năm gần đây, thiết kế nền đường cho đường sắt cao tốc đã áp dụng các công nghệ mới như:

- Cọc CFG (cọc xi măng, tro bay, đá dăm).
- Cọc ống PHC (cọc ống bê tông cường độ cao dự ứng lực).

- Cấu trúc cọc - lưới để gia cố nền đất yếu.
- Cấu trúc cọc - bản.

Bên cạnh đó, các phương pháp kiểm tra mới cũng được sử dụng, chẳng hạn như sử dụng thiết bị đo mô đun biến dạng động để kiểm tra mô đun biến dạng động.

Về mặt thi công, nhiều thiết bị mới đã được giới thiệu và nghiên cứu, bao gồm máy móc đào, bốc dỡ, vận chuyển đất đá và thiết bị đầm nén, giúp nâng cao đáng kể hiệu suất của công cụ thi công.

Cấu trúc cọc - lưới là một hệ thống phức hợp gồm nền đắp, cọc (như cọc CFG, cọc ống PHC), lưới (như lưới địa kỹ thuật) và đất giữa các cọc. Cấu trúc cọc - lưới CFG và PHC đã được ứng dụng trên các tuyến đường sắt cao tốc như tuyến Trịnh Châu - Tây An, Vũ Hán - Quảng Châu, và Ôn Châu - Phúc Châu. Hiện nay, cấu trúc cọc-lưới CFG có hai dạng:

- Cọc có mũ cọc.

- Cọc không mũ cọc.

Cấu trúc cọc - bản là một dạng kết cấu mới được sử dụng cho đường sắt cao tốc không có lớp đá ballast. Hệ thống này gồm nền móng cọc bê tông cốt thép ở phần dưới và tấm bản bê tông cốt thép ở phần trên. Tấm bản chịu lực này được kết nối trực tiếp với kết cấu đường ray và đã được thử nghiệm nghiên cứu trên tuyến Tùy Châu - Trùng Khánh.

CHƯƠNG 2. TẢI TRỌNG THIẾT KẾ NỀN ĐƯỜNG VÀ CẤU TRÚC LỚP NỀN

I. ĐẶC ĐIỂM TẢI TRỌNG TĨNH VÀ ĐỘNG CỦA NỀN ĐƯỜNG

Tải trọng tác động lên nền đường là ứng suất truyền đến bề mặt nền đường, bao gồm hai thành phần chính:

- **Tải trọng tĩnh**: Là ứng suất do trọng lực của cấu trúc phía trên tuyến đường (như đường ray và tà vẹt) truyền xuống nền đường.
- **Tải trọng động**: Là ứng suất động do lực bánh xe của tàu di chuyển, được truyền qua cấu trúc phía trên xuống bề mặt nền đường.

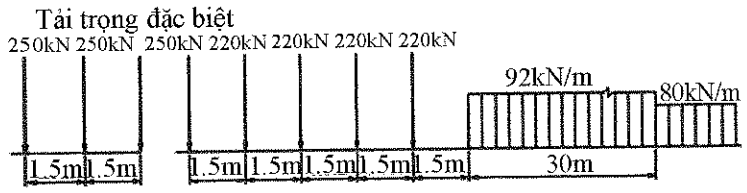
Trong thiết kế nền đường của đường sắt thông thường, tác động của tải trọng thường được tính bằng cách đơn giản hóa cả tải trọng tĩnh và động thành tải trọng tĩnh, sử dụng phương pháp cột đất quy đổi. Tuy nhiên, đối với thiết kế nền đường của đường sắt cao tốc, cần tiến hành phân tích động học. Do đó, không thể đơn giản coi tải trọng động là tải trọng tĩnh. Thay vào đó, cần tính toán độ lớn và quy luật phân bố của ứng suất động do tải trọng động của tàu gây ra trong nền đường.

1. Tải trọng tĩnh

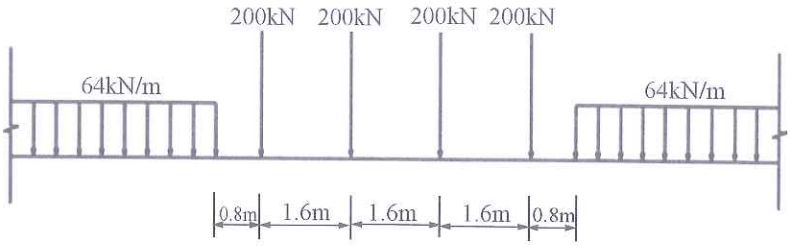
1.1. Tải trọng hoạt động tiêu chuẩn "Trung - Hoạt tải"

Tải trọng hoạt động của tàu được quy định theo tiêu chuẩn **"Tải trọng hoạt động đường sắt tiêu chuẩn của Cộng hòa Nhân dân Trung Hoa"** (gọi tắt là "Trung - Hoạt tải"). Cách tính tải trọng hoạt động được minh họa trong các Hình 2-2-1 và 2-2-2.

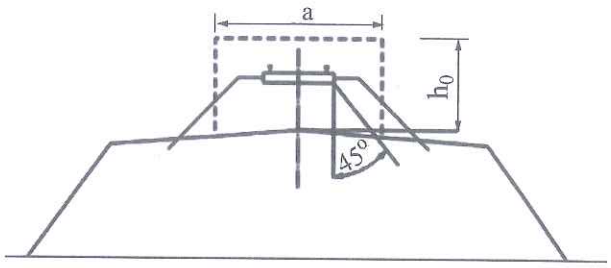
Tải trọng hoạt động này được truyền qua đường ray xuống bề mặt nền đường, và độ rộng phân bố trên mặt cắt ngang được tính toán với góc khuếch tán 45° từ hai đầu đáy của tà vẹt trở xuống, như minh họa ở Hình 2-2-3.



Hình 2-2-1: Sơ đồ tải trọng tiêu chuẩn Trung - Hoạt



Hình 2-2-2: *Biểu đồ tải trọng tiêu chuẩn ZK (0,8 tải trọng hoạt động UIC)*



Hình 2-2-3: *Sơ đồ minh họa cột đất quy đổi*

Trong thiết kế mặt cắt ngang, lý thuyết thiết kế của các công trình nền đường như đắp đất, đào đất hoặc tường chắn đất được xem xét theo bài toán phẳng. Do đó, biểu đồ tính toán cho thiết kế mặt cắt ngang được thực hiện trên cơ sở lấy một đơn vị chiều dày dọc theo hướng tuyến.

Khi tính toán tải trọng hoạt động tác động lên bề mặt nền đường trong trường hợp bất lợi nhất, chỉ cần xem xét trọng lượng trục (trục tải), không cần tính đến lực phân bố của các phần tàu phía sau. Vì trọng lượng trục là lực tập trung, nên trong tính toán cụ thể, nó được đơn giản hóa thành tải trọng tuyến phân bố đều theo chiều dọc. Giả định rằng độ rộng phân bố của mỗi trọng lượng trục bằng khoảng cách giữa các trục.

Kết quả là cường độ phân bố của tải trọng hoạt động của tàu trên bề mặt nền đường dọc theo chiều dọc được tính như sau:

$$q = \frac{220}{1.5} = 146.67(\text{kN/m}) \qquad (2\text{-}2\text{-}1)$$

1.2. Cột đất quy đổi

Trong thiết kế nền đường của đường sắt thông thường, tải trọng nền đường được đơn giản hóa bằng hai cách:

(1) Tải trọng hoạt động của tàu được coi là tải trọng tĩnh.

(2) Tổng trọng lượng P của tải trọng hoạt động của tàu và tải trọng tĩnh từ đường ray được quy đổi thành một cột đất có cùng tính chất với đất nền, tác dụng đồng đều lên bề mặt nền đường.

Chiều cao của cột đất này được gọi là chiều cao quy đổi, tính theo công thức:

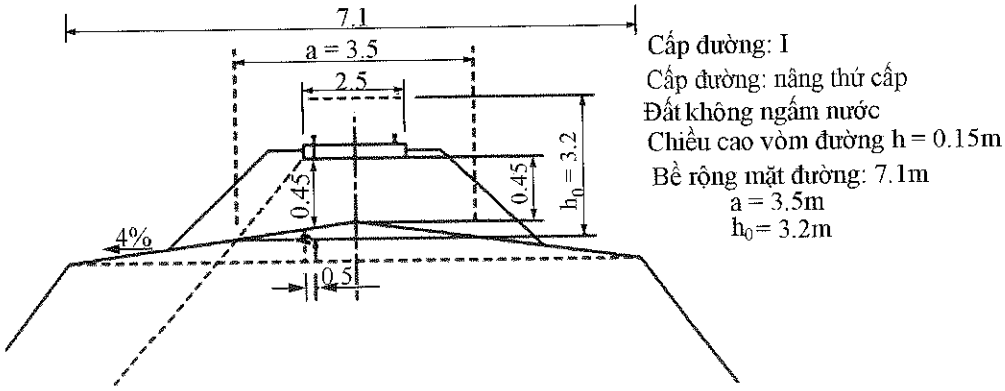
$$h_0 = \frac{P}{\gamma \cdot a}$$

trong đó:

a - chiều rộng cột đất quy đổi, được tính theo góc khuếch tán tải trọng 45°;

γ - trọng lượng riêng của đất nền.

Ví dụ tính toán cột đất quy đổi được minh họa trong Hình 2-2-4.



Hình 2-2-4: Ví dụ tính toán cột đất quy đổi (Đơn vị kích thước: m)

2. Tải trọng động

2.1. Đặc tính của tải trọng động

Tải trọng sinh ra khi tàu chạy qua đường sắt với tốc độ nhất định thường nằm giữa hai dạng: tải trọng điều hòa và tải trọng ngẫu nhiên. Tải trọng này có tính chu kỳ và lặp lại, trong đó tính lặp lại chủ yếu thể hiện qua số lần tác động của tải trọng tàu. Tải trọng động tác động lên nền đường thường được coi là tải trọng lặp đi lặp lại, nghĩa là tại một điểm nhất định trên nền đường, mỗi khi một trục bánh xe đi qua sẽ tạo ra một chu kỳ tải và dỡ tải. Khi thực hiện các tính toán số hoặc mô phỏng thí nghiệm cho nền đường, tải trọng này thường được xem xét như một tải trọng điều hòa.

Khi bánh xe đi qua các vị trí như mối nối thấp, mối nối không khớp, khe hở tại mối nối hoặc bề mặt đường ray bị bong tróc, do sự thay đổi đột ngột của tâm quay tức thời của bánh xe, một vận tốc va đập hướng xuống sẽ tác động lên đường ray. Khi bánh xe rời khỏi các vị trí này, vận tốc va đập này ngay lập tức biến mất. Tác động của hiện tượng này tạo ra các xung va đập và dao động tức thời trong hệ thống bánh xe - đường ray.

Tương tự, khi bánh xe bị biến dạng (ví dụ: bề mặt bánh xe không tròn đều) chạy trên bề mặt đường ray phẳng, cũng sẽ xảy ra va đập và dao động tương tự. Tải trọng động sinh ra từ các hiện tượng này được gọi là tải trọng va đập, và vận tốc liên quan đến va đập được gọi là vận tốc va đập. Tải trọng động do va đập thường lớn hơn tải trọng tĩnh.

- Gia tăng tải trọng bánh xe động: Là phần chênh lệch giữa tải trọng động và tải trọng tĩnh.
- Hệ số va đập: Là tỷ lệ giữa gia tăng tải trọng bánh xe động và tải trọng tĩnh.
- Hệ số vận tốc: Là tỷ lệ giữa gia tăng tải trọng bánh xe động do tốc độ tàu và tải trọng tĩnh.

Trong thiết kế kết cấu đường ray, các giá trị của hệ số va đập và hệ số vận tốc thường được lấy ở mức cao. Tuy nhiên, khi áp dụng cho nền đường, các giá trị này có thể nhỏ hơn do năng lượng va đập được hấp thụ nhanh chóng bởi lớp đá ballast dạng hạt và lớp đá dăm phân cấp. Sự truyền ứng suất động vào các lớp dưới của nền đường giảm mạnh, tức là tác động của va đập lên nền đường tương đối nhỏ. Tuy vậy, hiện nay vẫn sử dụng các giá trị trong thiết kế đường ray để tính toán nền đường.

2.2. Sự khuếch tán và truyền tải trọng động

(1) Đặc điểm phân bố của ứng suất động theo chiều sâu

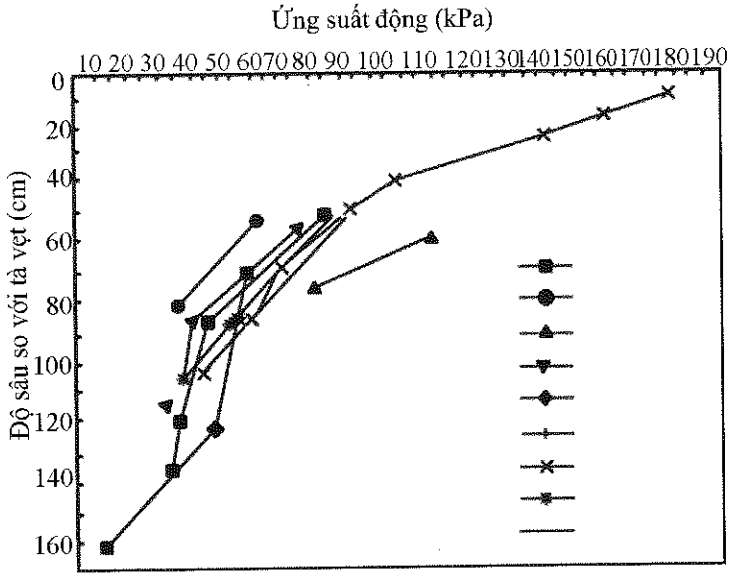
Tải trọng của tàu được truyền qua lớp đá ballast đến bề mặt nền đường dưới dạng sóng ứng suất, sau đó tiếp tục lan truyền sâu hơn vào các lớp dưới. Trong quá trình truyền, năng lượng của sóng ứng suất bị tiêu hao do hiệu ứng cản trở, hay nói cách khác là đất hấp thụ năng lượng. Do đó, ứng suất động suy giảm theo chiều sâu.

Sự suy giảm ứng suất động theo chiều sâu có thể được phân tích qua:

1- Kết quả đo thực nghiệm.

2- Tính toán lý thuyết.

Hình 2-2-5 minh họa quy luật suy giảm ứng suất. Thông thường, trong phạm vi 0,6 m dưới bề mặt nền đường, ứng suất động suy giảm nhanh nhất. Theo số liệu thực nghiệm của Đại học Giao thông Tây Nam trên tuyến Đại Tần, ứng suất động tại độ sâu 0,6 m dưới mặt nền đã giảm 60%. Ví dụ, nếu ứng suất động tại bề mặt nền là 100 kPa, thì tại độ sâu này chỉ còn 40 kPa. Kết quả thực nghiệm tại Trung Quốc, Châu Âu và Mỹ cho thấy, độ sâu ảnh hưởng lớn nhất của ứng suất động là khoảng 4,0 m. Vì vậy, khi thực hiện đo lường thực tế, độ sâu của các cọc đo cần đạt tối thiểu 4,0 m.



Hình 2-2-5: *Ứng suất động tại mặt nền đường và sự suy giảm theo chiều sâu*

Theo tài liệu của Nhật Bản, tại độ sâu 3,0 m dưới mặt nền, ứng suất động chỉ còn khoảng 10% so với ứng suất do trọng lượng bản thân của đất, và ảnh hưởng của nó đến sự biến dạng của nền đường có thể coi là không đáng kể. Do đó, Nhật Bản quy định độ dày của lớp nền đường là 3,0 m.

Cường độ ứng suất động tại mặt nền đường và sự suy giảm theo chiều sâu có thể được tính bằng công thức lý thuyết đàn hồi bán không gian.

(2) Đặc điểm phân bố ứng suất động theo chiều dọc

Hành vi động không tốt của nền đường dưới tác động lặp đi lặp lại của tải trọng tàu là nguyên nhân chính gây ra các vấn đề về nền đường. Vì vậy, việc phân tích đặc điểm phân bố ứng suất động theo chiều dọc của tuyến đường là rất quan trọng.

Hình 2-2-6 minh họa đặc điểm phân bố điển hình của ứng suất động theo chiều dọc được đo thực tế trên tuyến Đại Tần bởi Đại học Giao thông Tây Nam. Tại một điểm cụ thể trên bề mặt nền đường, mỗi khi một trục bánh xe đi qua, sẽ xảy ra một chu kỳ tải và dỡ tải.

- Tỷ số giữa giá trị nhỏ nhất khi dỡ tải (P′) và giá trị lớn nhất khi tải (P), tức P′/P, biểu thị mức độ không đồng đều của phân bố ứng suất. Tỷ số này phản ánh số lần tác động lặp lại của tải trọng.
- Để đảm bảo sự tương thích lý tưởng giữa tuyến đường và phương tiện, tỷ số P′/P nên đạt giá trị lớn nhất. Điều này giúp mỗi lần một boogie (khung đỡ bánh xe) đi qua, chỉ có một lần biến đổi ứng suất thay vì hai lần, từ đó kéo dài chu kỳ bảo trì tuyến đường.

Tỷ số P′/P phụ thuộc vào các yếu tố như trọng lượng trục, khoảng cách trục, loại ray, loại tà vẹt, khoảng cách tà vẹt, độ dày đá ballast, và các hệ số đàn hồi của lớp đá ballast và lớp nền đường.

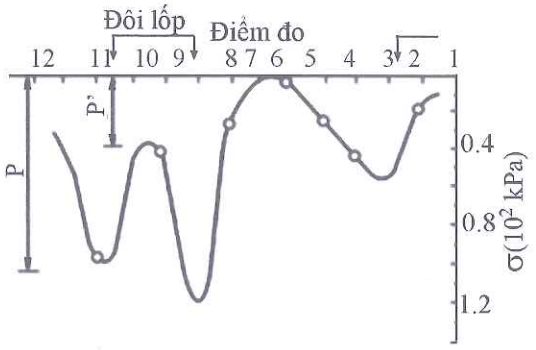
Viện Khoa học Đường sắt Trung Quốc đã đưa ra sơ đồ tính toán sự phân bố ứng suất động trên bề mặt nền đường theo chiều dọc dưới tác động của tải trọng bánh xe đơn, như minh họa trong Hình 2-2-7. Khoảng cách khuếch tán L và ứng suất động lớn nhất tại mặt nền đường (σ_{max}) có mối quan hệ sau:

$$L=\frac{\sigma_{max}}{82.9+6.17\sigma_{max}}\times 10^{-2}$$

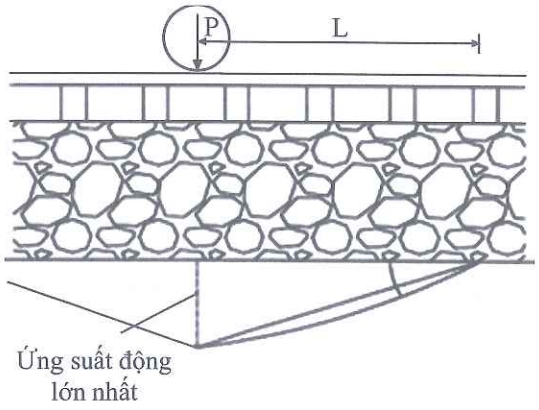
trong đó:

σ_{max} - được đo bằng kPa;

L - được đo bằng cm.



Hình 2-2-6: *Đặc điểm phân bố ứng suất động theo chiều dọc tuyến đường*



Hình 2-2-7: *Sự khuếch tán ứng suất động theo chiều dọc trên bề mặt nền đường*

II. CẤU TRÚC NỀN MÓNG NỀN ĐƯỜNG

Nền móng nền đường là phần quan trọng nhất của kết cấu nền đường sắt. Thông thường, khu vực chịu tác động từ tải trọng động được xác định từ bề mặt nền đường xuống đến độ sâu 3,0 m, gọi là nền móng nền đường. Phần trên cùng, dày khoảng 60 cm, được gọi là lớp bề mặt nền móng, nơi chịu ứng suất động lớn nhất và cần được gia cố đặc biệt.

Phạm vi 3,0 m dưới bề mặt nền đường được xem là khu vực chính chịu ảnh hưởng của tải trọng động từ tàu, và được coi là độ dày tiêu chuẩn của nền móng. Vai trò và các yêu cầu đối với nền móng nền đường được thể hiện qua ba yếu tố chính:

(1) Yêu cầu về độ bền

o Đảm bảo khả năng chịu đựng ứng suất động do tải trọng tàu gây ra mà không bị phá hủy.

o Ngăn chặn hiện tượng đá ballast lún vào đất nền, tránh gây ra các sự cố như vết lún hoặc sụt lở.

o Đủ chắc chắn để chịu tải trọng từ các phương tiện thi công hạng nặng mà không để lại các vết lõm gây nguy cơ tiềm ẩn.

(2) Yêu cầu về độ cứng

o Hạn chế biến dạng tích lũy dưới tác động lặp lại của tải trọng, tránh lún không đều làm hư hại kết cấu đường ray và gia tăng chi phí bảo trì.

o Đảm bảo nền móng có độ đàn hồi phù hợp để đáp ứng các yêu cầu an toàn và sự thoải mái khi tàu chạy ở tốc độ cao.

(3) Khả năng thoát nước

o Đảm bảo nền móng có khả năng chống thấm, ngăn nước mưa thấm vào làm mềm đất hoặc gây ra các sự cố do điều kiện thời tiết như đóng băng hay xói mòn.

1. Đặc tính động của nền móng nền đường

1.1. Đặc tính mỏi của đất nền móng và khái niệm ứng suất động giới hạn

Đất nền móng phải chịu ứng suất động lặp đi lặp lại trong thời gian dài do tải trọng của tàu hỏa. Sự phá hủy hoặc biến dạng quá mức của nền móng không xảy ra trong thời gian ngắn, mà là kết quả của quá trình tích lũy lâu dài, thể hiện dưới dạng phá hủy do mỏi.

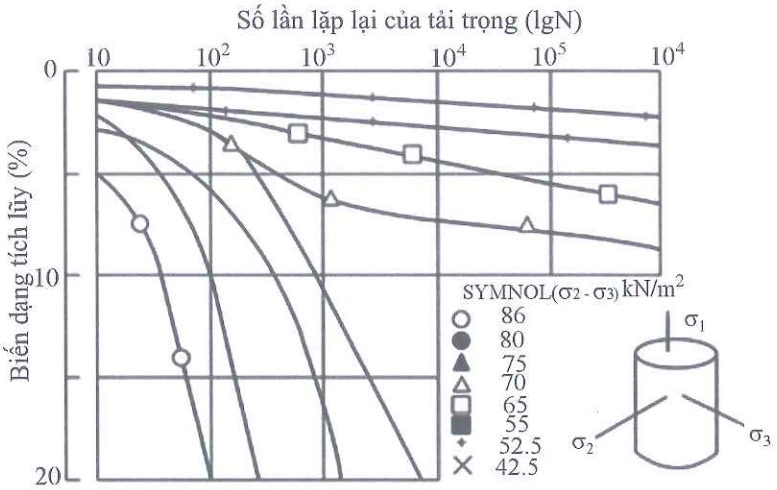
Trong nghiên cứu đặc tính mỏi của đất, Heath đã sử dụng mẫu đất sét London để tiến hành thí nghiệm nén ba trục động lặp đi lặp lại trên thiết bị nén ba trục động. Kết quả thí nghiệm được tổng hợp để mô tả mối quan hệ giữa biến dạng tích lũy và số lần lặp lại của tải trọng, như minh họa trong Hình 2-2-8.

Hình 2-2-9 trình bày kết quả thí nghiệm tương tự được Đại học Giao thông Tây Nam thực hiện trên đất sét Thành Đô. Từ hình này, có thể thấy hai nhóm đường cong thí nghiệm có hình dạng khác nhau:

1- Nhóm đường cong dạng phá hủy: Biến dạng tăng dần theo số lần tải trọng, cuối cùng dẫn đến phá hủy, như các đường cong 9, 10, 11, 12.

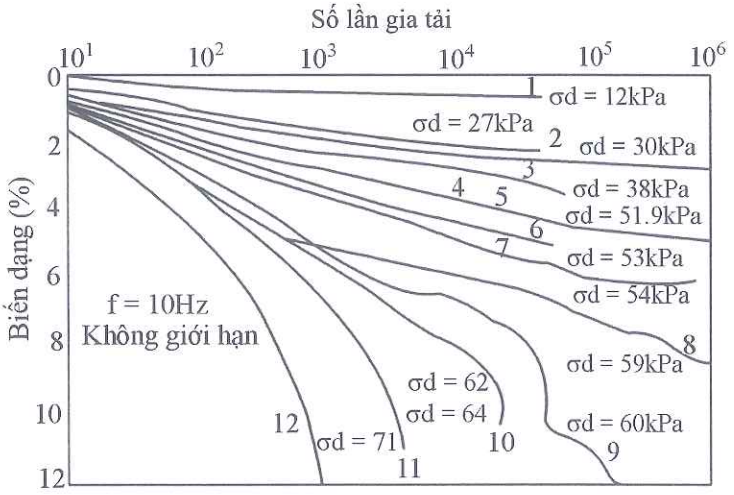
2- Nhóm đường cong dạng suy giảm: Biến dạng giảm dần, tốc độ biến dạng chậm lại và cuối cùng đạt trạng thái ổn định (điều kiện đàn hồi), như các đường cong 1, 2, 3, 4, 5.

3- Nhóm đường cong dao động: Nằm giữa hai nhóm trên, thể hiện mức ứng suất chuyển tiếp giữa phá hủy và suy giảm, như các đường cong 7, 8.



Hình 2-2-8: *Đường cong quan hệ giữa biến dạng tích lũy và số lần lặp lại của tải trọng (Heath)*

Rõ ràng, mức ứng suất tương ứng với các đường cong dao động là ranh giới phân biệt giữa dạng phá hủy và dạng suy giảm. Để làm rõ hơn ranh giới này, dữ liệu từ Hình 2-2-8 được biểu diễn lại theo cách khác trong Hình 2-2-10.



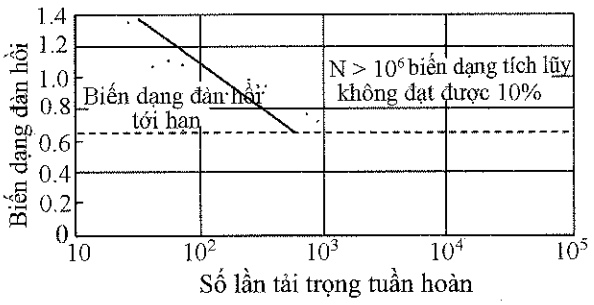
Hình 2-2-9: *Đường cong quan hệ giữa biến dạng tích lũy và số lần lặp lại của tải trọng (Đại học Giao thông Tây Nam)*

Từ Hình 2-2-10, có thể rút ra một kết luận quan trọng:

• Các điểm ở bên trái có biến dạng tích lũy đạt 10%.

• Các điểm ở bên phải chưa đạt 10%.

• Ranh giới giữa hai nhóm này được biểu thị bằng đường nét đứt trên hình, ứng với biến dạng đàn hồi tới hạn (trong các tài liệu khác có thể gọi là biến dạng đàn hồi cực hạn hoặc biến dạng đàn hồi ngưỡng).



Hình 2-2-10: *Đường cong quan hệ giữa biến dạng tích lũy và số lần lặp lại của tải trọng sau khi xử lý*

Ứng suất động tương ứng với biến dạng tích lũy 10% hoặc biến dạng đàn hồi tới hạn được gọi là ứng suất động tới hạn. Nếu ứng suất động trong nền móng nhỏ hơn ứng suất tới hạn này, biến dạng vĩnh viễn của nền móng có thể được kiểm soát hiệu quả.

Ý nghĩa và ứng dụng

• Ứng suất động tới hạn phụ thuộc vào các yếu tố như:

o Loại đất.

o Độ ẩm.

o Mức độ nén chặt.

o Áp lực xung quanh (liên quan đến độ sâu).

o Tần số tác động của tải trọng (liên quan đến tốc độ tàu).

Hình 2-2-11 cho thấy rằng khi tần số tải trọng tăng lên, ứng suất động tới hạn giảm đi. Điều này có nghĩa là:

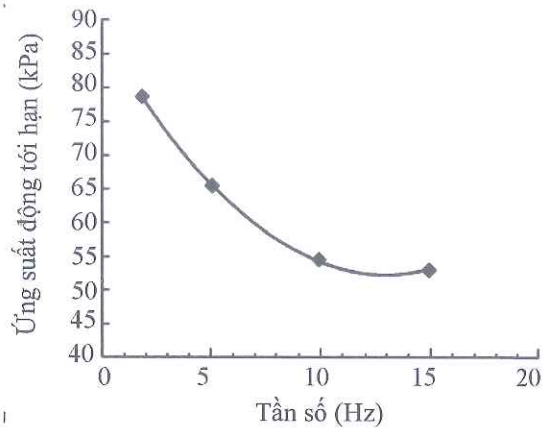
• Khi tốc độ tàu thấp, nền đường ít bị hư hại.

• Khi tốc độ tàu tăng cao, nền đường nhanh chóng xuất hiện các vấn đề. Kết luận này đã được chứng minh trên các tuyến đường hiện có.

Ứng suất động tới hạn cũng phản ánh cường độ động của đất. Qua thí nghiệm với các mức áp lực khác nhau, có thể xác định được các chỉ số cường độ động của đất, ví dụ:

- Cường độ tĩnh: $C_{tĩnh} = 33,1kPa$, $\phi_{tĩnh} = 9^{\circ}$
- Cường độ động: $C_{động} = 27kPa$, $\phi_{động} = 9^{\circ}$

So sánh cường độ tĩnh và động cho thấy cường độ động thường chỉ bằng 60% - 70% cường độ tĩnh.



Hình 2-2-11: *Mối quan hệ giữa tần số tải trọng và ứng suất động tới hạn*

Kết luận

Tải trọng động nhỏ tuy có thể đáp ứng yêu cầu cường độ tĩnh, nhưng dưới tác động lặp lại có thể dẫn đến hai vấn đề:

1. Thiếu cường độ động, dẫn đến phá hủy.

2. Không phá hủy ngay lập tức, nhưng biến dạng tích lũy phát triển không ngừng, gây lún vĩnh viễn lớn.

Phương pháp thiết kế dựa trên cường độ tĩnh truyền thống là không hoàn thiện. Điều này không gây ảnh hưởng rõ rệt trên đường sắt thông thường do tốc độ tàu thấp, nhưng với đường sắt cao tốc, các vấn đề lún tích lũy lớn không thể được chấp nhận. Vì vậy, không chỉ cần chú ý đến tải trọng động lớn mà cả tải trọng động nhỏ cũng không nên bỏ qua.

1.2. Nguyên tắc xác định độ dày lớp bề mặt nền móng

Có 4 phương pháp để xác định độ dày của lớp bề mặt nền móng:

(1) Phương pháp kiểm soát biến dạng:

- Dựa trên điều kiện kiểm soát là biến dạng của bề mặt nền đường dưới tác động của tải trọng tàu không vượt quá một giá trị nhất định.

(2) Phương pháp kiểm soát mô đun biến dạng E_{v2}:

- Dựa trên mô đun biến dạng của bề mặt nền đường để xác định độ dày.

(3) Phương pháp kiểm soát cường độ:

• Dựa trên điều kiện kiểm soát là ứng suất động tác động lên lớp đất dưới bề mặt nền móng không vượt quá ứng suất động cho phép của đất (ứng suất động tới hạn).

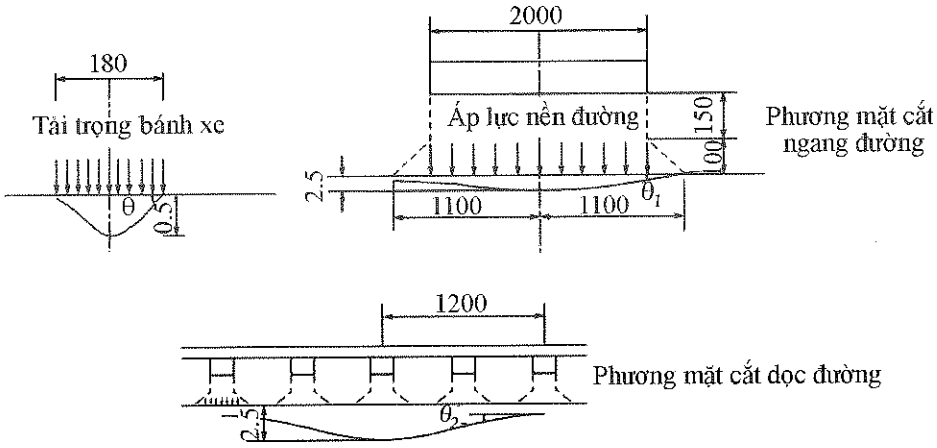
(4) Phương pháp kiểm soát biến dạng nhựa tích lũy:

• Dựa trên việc kiểm soát sự phát triển của biến dạng nhựa tích lũy để xác định độ dày.

2. Phương pháp kiểm soát biến dạng

Mục đích của phương pháp kiểm soát biến dạng là đảm bảo tàu chạy êm ái và ổn định, đồng thời ngăn chặn các biến dạng trên lớp bề mặt nền móng gây nứt bề mặt hoặc biến dạng nhựa quá mức, làm giảm tuổi thọ của lớp bề mặt.

Nhật Bản áp dụng cấu trúc nền móng tăng cường, trong đó bề mặt nền móng được phủ một lớp bê tông nhựa nhằm chống thấm nước. Để đảm bảo cấu trúc bề mặt không bị nứt do biến dạng đàn hồi quá mức, họ sử dụng khái niệm góc uốn cong để kiểm soát biến dạng, như minh họa trong Hình 2-2-12.



Hình 2-2-12: *Biểu đồ góc uốn cong kiểm soát biến dạng (Đơn vị kích thước: mm)*

Dựa trên kinh nghiệm từ đường bộ, biến dạng đàn hồi 0,5 mm của mặt đường bê tông nhựa được chọn làm tiêu chuẩn kiểm soát nứt. Tương ứng với giá trị này là góc uốn cong θ. Góc θ sau đó được áp dụng cho lớp bề mặt nền móng đường sắt, và độ lún tương ứng với góc này là 2,5 mm. Đây chính là giá trị kiểm soát biến dạng đàn hồi của lớp nền móng được gia cố bằng bê tông nhựa.

Từ yêu cầu về lớp bê tông nhựa trên bề mặt nền móng, Nhật Bản quy định rằng biến dạng động trên bề mặt nền móng phải nhỏ hơn 2,5 mm. Việc tính toán biến dạng dựa trên công thức Boussinesq, đồng thời xem xét chuyển đổi mô đun tương

đương giữa các lớp để thiết kế độ dày lớp bề mặt nền móng trong các điều kiện khác nhau. Ở Trung Quốc, trong nghiên cứu về đường sắt cao tốc, giá trị kiểm soát này được chọn là 3,5 mm.

Dù là 2,5 mm hay 3,5 mm, các giá trị này không phải là yêu cầu trực tiếp từ kết cấu đường ray hay vận hành tàu. Kết quả từ các thí nghiệm trong và ngoài nước cho thấy:

- Biến dạng động của bề mặt nền móng thường chỉ khoảng 1 mm đối với lớp nền thông thường.
- Khi sử dụng các lớp bề mặt nền móng gia cố bằng đá dăm phân cấp, biến dạng động còn thấp hơn.

Do đó, yêu cầu biến dạng động nhỏ hơn 2,5 mm trên thực tế rất dễ dàng đạt được.

Phương pháp tính toán của Nhật Bản

Nhật Bản sử dụng phương pháp tính toán đàn hồi đơn giản hóa từ tính toán bằng phần tử hữu hạn ba chiều. Để đảm bảo giá trị biến dạng tính toán từ hai phương pháp bằng nhau ($\delta_1 = \delta_2 = 2{,}5mm$), cần điều chỉnh tải trọng bánh xe trong phương pháp đàn hồi:

$$P_{tính\ toán} = \alpha P$$

trong đó: α - hệ số điều chỉnh tải trọng.

Viện Khoa học Đường sắt Trung Quốc cũng đề xuất áp dụng phương pháp tính toán đàn hồi nhưng không xem xét việc điều chỉnh tải trọng.

Theo lý thuyết Boussinesq, khi một tải trọng đều phân bố hình chữ nhật tác động lên nền đất đàn hồi hai lớp, độ lún tại điểm trung tâm của tải trọng có thể được tính bằng công thức cụ thể.

$$S_0 = \frac{4bP_0(1+\mu^2)}{\pi E^2}\left\{\left[\ln\frac{\sqrt{1+m^2+n_1^2\times q^{\frac{2}{3}}}+m}{\sqrt{1+m^2+n_1^2\times q^{\frac{2}{3}}}-m}+m\times\ln\frac{\sqrt{1+m^2+n_1^2\times q^{\frac{2}{3}}}+1}{\sqrt{1+m^2+n_1^2\times q^{\frac{2}{3}}}-1}-\right.\right.$$

$$\left.\left.\frac{1-2\mu}{1-\mu}\times n_1\times q^{\frac{2}{3}}\times\arctan\frac{m}{n_1\times q^{\frac{1}{3}}\times\sqrt{1+m^2+n_1^2\times q^{\frac{2}{3}}}}\right]\left(1-\frac{1}{q}\right)+\right. \qquad (2\text{-}2\text{-}3)$$

$$\left.\frac{2}{q}\left[\ln(1+\sqrt{1+m^2}+m)+m\times\ln\frac{\sqrt{1+m^2}}{m}+1\right]\right\}$$

$$m=\frac{a}{b};\ n_1=\frac{h}{b};\ q=\frac{E_1}{E_2}$$

trong công thức:

P_0 - cường độ tải trọng;

a - một nửa chiều dài của tải trọng;

b - một nửa chiều rộng của tải trọng;

h - độ dày lớp bề mặt nền móng;

E_1 - mô đun biến dạng của lớp bề mặt nền móng;

E_2 - mô đun biến dạng của lớp nền phía dưới.

Dựa trên công thức này, có thể tính toán độ dày của lớp bề mặt nền móng đáp ứng điều kiện biến dạng nền đường, tùy thuộc vào mô đun đàn hồi của đất nền và vật liệu lớp bề mặt (xem Hình 2-2-13).

Do lớp bề mặt nền móng nằm gần đường ray, sự chênh lệch về biến dạng động giữa phần trên và phần dưới rất rõ rệt. Đồng thời, kích thước hạt của lớp đá ballast lớn, trong khi kích thước hạt của lớp đất đắp nhỏ. Để đảm bảo sự tương thích về kích thước hạt tại mặt tiếp xúc giữa các lớp, lớp bề mặt thường được chia thành hai phần:

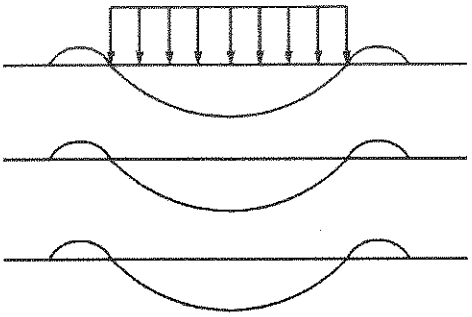
1. Phần trên:

o Độ dày: Thường từ 0,2 - 0,3 m.

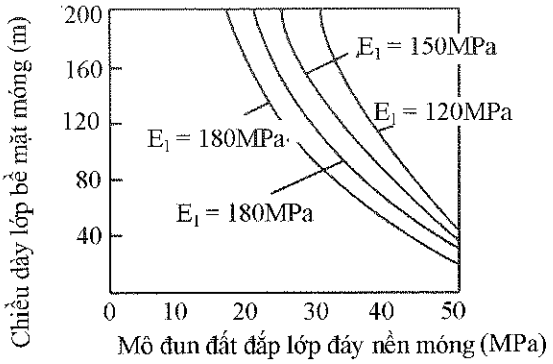
o Yêu cầu: Mô đun đàn hồi cao, hạt có khả năng chống mài mòn tốt. Nên sử dụng cát sỏi chứa thạch anh, tương tự với đá ballast đáy.

2. Phần dưới:

o Vai trò: Bảo vệ lớp nền phía dưới, ngăn không cho các hạt đất đắp chui vào lớp bề mặt.



Hình 2-2-13: *Biểu đồ tính toán*



Hình 2-2-14: *Mối quan hệ giữa độ dày lớp bề mặt nền móng thỏa mãn điều kiện biến dạng với vật liệu lớp bề mặt và mô đun của lớp nền đất đắp*

o Yêu cầu: Kích thước hạt tương thích với lớp đất đắp, hệ số thấm thấp.

Sau khi xác định mô đun đàn hồi của vật liệu lớp bề mặt và lớp nền phía dưới, có thể sử dụng Hình 2-2-14 để xác định độ dày cần thiết cho lớp bề mặt nền móng. Ví dụ:

• Khi mô đun đàn hồi động của lớp bề mặt nền móng E_1 là 180 MPa và mô đun đàn hồi của lớp nền phía dưới E_2 là 30 MPa, độ dày lớp bề mặt nền móng cần thiết khoảng 120 cm.

3. Phương pháp kiểm soát mô đun biến dạng E_{v2} tại bề mặt nền đường

Đức xác định độ dày lớp bề mặt nền móng dựa trên yêu cầu về mô đun biến dạng E_{v2} tại bề mặt nền đường. Phương pháp này xuất phát từ thiết kế đường bộ, sử dụng lý thuyết nền đất phân lớp để tính toán độ dày lớp bề mặt nền móng cần thiết để đạt được giá trị E_{v2} quy định cho từng loại nền dưới.

Đặc điểm:

• Đối với đường bộ:

Tải trọng thí nghiệm để đo E_{v2} tương đương với tải trọng sử dụng. Do đó, khi đáp ứng được tải trọng thí nghiệm, nền đường thường cũng đáp ứng được tải trọng sử dụng.

• Đối với đường sắt:

Tải trọng thí nghiệm và tải trọng sử dụng khác nhau đáng kể về phạm vi tác động. Vì vậy, dù hai nền đường có cùng giá trị E_{v2} tại bề mặt, hiệu suất khi sử dụng có thể khác nhau.

Yêu cầu đối với E_{v2} trên nền đường sắt:

Các giới hạn E_{v2} khác nhau cho từng cấp đường sắt chưa được giải thích rõ ràng, nhưng có thể được xác định dựa trên:

1- Kết quả tính toán động học.

2- Giới hạn tốc độ rung động của lớp bề mặt nền móng.

4. Phương pháp kiểm soát cường độ

Phương pháp này được áp dụng tại Anh, Mỹ, Nam Phi và các quốc gia khác để xác định độ dày của lớp đá ballast và lớp đệm, nhằm bảo vệ lớp đất đắp bên dưới. Yêu cầu là ứng suất tác động lên lớp đất đắp phải nhỏ hơn ứng suất cho phép của nó.

• **Xác định ứng suất cho phép:**

Có nhiều cách xác định ứng suất cho phép, bao gồm:

- Sử dụng cường độ tĩnh.
- Xem xét ảnh hưởng của hệ số áp lực lỗ rỗng trong điều kiện bất lợi.
- Sử dụng cường độ động.

Mỗi cách xác định cường độ lại có những biến thể khác nhau.

• **Ứng dụng tại Trung Quốc:**

Trong nghiên cứu đường sắt cao tốc tại Trung Quốc, vấn đề cường độ động của đất đắp cũng đã được thảo luận. Tuy nhiên, phương pháp này phù hợp hơn với các tuyến đường sắt nặng và các vấn đề hư hại nghiêm trọng của nền móng. Đối với đường sắt cao tốc, nơi có yêu cầu nghiêm ngặt về biến dạng, phương pháp này khó được áp dụng.

• **Nguyên tắc cơ bản:**

- Ứng suất động tác động lên lớp đất đắp thông qua lớp bề mặt nền móng phải nhỏ hơn cường độ cho phép của nó.
- Nội dung chính của phương pháp:

  1- Xác định ứng suất động thiết kế tác động lên bề mặt nền đường.

  2- Xác định cường độ động cho phép (ứng suất động tới hạn) của lớp đất đắp.

• **Kết quả thí nghiệm:**

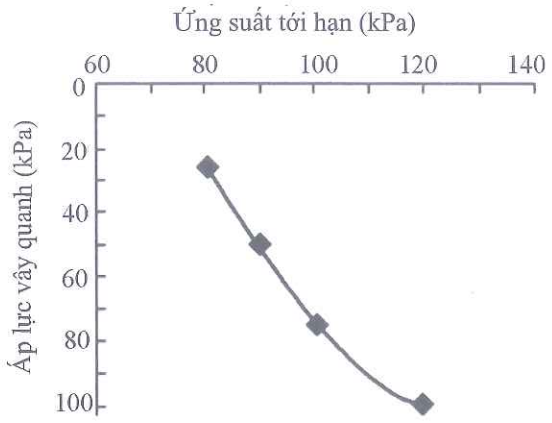
- Ứng suất động tới hạn thường có mối quan hệ tuyến tính với áp lực vây quanh, tức là tăng theo độ sâu.
- Khi chồng lớp đồ thị phân bố ứng suất động theo độ sâu lên đồ thị ứng suất động tới hạn, giao điểm của chúng (xem Hình 2-2-15) biểu thị độ sâu cần thiết.

• **Quy tắc xử lý:**

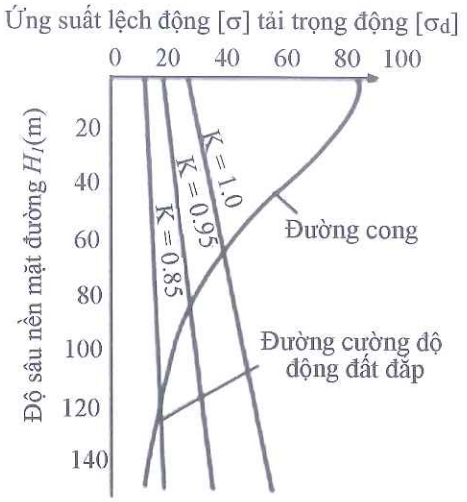
- Phần trên giao điểm, nơi ứng suất động lớn hơn ứng suất động tới hạn, cần được gia cố hoặc thay thế bằng vật liệu đất chất lượng cao để tăng cường cường độ động tới hạn. Đây chính là nguyên tắc xác định độ dày lớp bề mặt nền móng.
- Đơn giản hóa tính toán: Do công việc thí nghiệm xác định ứng suất động tới hạn rất lớn, thường sử dụng hệ số giảm động lực 0.60.60.6 nhân với cường độ tĩnh để thay thế (xem Hình 2-2-16).

• **Đề xuất:**

- Độ dày lớp bề mặt nền móng thường được khuyến nghị từ 0,7 đến 0,8 m.
- Vì ứng suất động tới hạn được xác định dựa trên đặc tính biến dạng mỏi của đất, thực chất phương pháp này cũng thuộc về phương pháp kiểm soát biến dạng.



Hình 2-2-15: Mối quan hệ giữa ứng suất động tới hạn và áp lực vây quanh



Hình 2-2-16: Xác định độ dày lớp bề mặt nền móng (Trích từ Heath và Viện Khoa học Đường sắt Trung Quốc)

5. Phương pháp kiểm soát biến dạng dẻo tích lũy

D.Q. Li và E.T. Selig đã đề xuất rằng để ngăn chặn hiện tượng phá hủy cắt dần trên bề mặt nền đường bằng đất hạt mịn, biến dạng dẻo tích lũy ε_p do tải trọng ngoài gây ra phải nhỏ hơn giá trị cho phép ε_{pa} của đất nền đường, tức là:

$$\varepsilon_p \leq \varepsilon_{pa} \tag{2-2-4}$$

$$\varepsilon_p(\%) = a\left(\frac{\sigma_d}{\sigma_s}\right)^m N^b \tag{2-2-5}$$

trong đó:

σ_d - ứng suất lệch động trên bề mặt do trục tải của tàu gây ra (σ_1 - σ_3);

σ_s - cường độ chịu nén tĩnh của đất nền đường;

N - số lần lặp lại của tải trọng;

a, b, m - các tham biến, phụ thuộc vào loại đất nền đường.

Nhận xét:

Phương pháp này chủ yếu áp dụng cho đường sắt nặng, tuy nhiên việc xác định giá trị cho phép của biến dạng nhựa tích lũy (ε_{pa}) gặp nhiều khó khăn trong thực tế.

6. Cấu trúc nền móng

Cấu trúc nền móng cơ bản được chia thành hai loại: hệ thống hai lớp và hệ thống nhiều lớp hoặc nền móng tăng cường.

6.1. Hệ thống hai lớp

Hệ thống hai lớp truyền thống phổ biến trong các tuyến đường sắt thông thường có lớp đá ballast liên kết trực tiếp với nền đất, được gọi là nền đất móng.

• ***Yêu cầu của nền đất móng:***

o Sử dụng vật liệu đắp chất lượng cao.

o Bảng 2-2-1 trình bày các điều kiện đất nền đất móng từ các nghiên cứu và thực tiễn lâu dài tại Trung Quốc và Nhật Bản.

o Dựa trên cơ sở này, tiêu chuẩn hiện hành tại Trung Quốc quy định sử dụng vật liệu nhóm A để đắp nền.

Bảng 2-2-1: Điều kiện đất nền đường của Trung Quốc và Nhật Bản

Loại đất gây hiện tượng trồi đất			Điều kiện đất chất lượng cao của Nhật Bản
Trung Quốc	Nhật Bản		
$P_{0.05} / P_{0.5} > 0.7$ $P_{0.05} > 80\%$ $W_p > 12$ $W_L > 32$ $Q_u < 1 kg/cm^2$ N < 3	$d_{max} < 75mm$ $< 74\mu m$ - 10% $< 420\mu m$ - 70% $W_L > 50$ (đắp) $W_L > 30$ (đào) $I_p > 20$ (đắp) $I_p > 10$ (đào)	$P_{0.05} / P_{0.4} > 0.65$ $P_{0.4} > 80\%$ $W_L > 35$ $W_p > 9$	$d_{max} < 75mm$ $< 74\mu m$ - 2% ~ 20% $< 42\mu m$ - ≤ 40% $d_{60}/d_{10} > 6$ $W_L < 35\%$ $I_p < 9$

6.2. Hệ thống nhiều lớp hoặc hệ thống tăng cường

• ***Yêu cầu thiết kế:***

o Đối với đất nền móng và độ chặt của lớp đắp, tiêu chuẩn thiết kế đặt ra các yêu cầu nhất định.

o Tuy nhiên, thực tế cho thấy các tuyến đường sắt hiện có tại Trung Quốc gặp nhiều vấn đề nghiêm trọng về bệnh nền móng, với mức độ phát triển tăng dần qua từng năm.

• ***Nguyên nhân chính của bệnh nền móng:***

1- Không kiểm soát nghiêm ngặt chất lượng đất.

2- Không chú trọng đến chất lượng đầm nén.

• ***Giải pháp:***

o Qua nghiên cứu và thực tiễn lâu dài, một biện pháp hiệu quả được đề xuất là bổ sung một lớp lớp bảo vệ hoặc lớp đệm giữa lớp đá ballast và nền đất.

• ***Chức năng của lớp bề mặt nền móng:***

1- Chịu tải cho kết cấu đường ray.

2- Cung cấp độ đàn hồi thích hợp cho đường ray.

3- Ngăn ngừa nền móng bị mềm hóa.

4- Phân tán tải trọng xuống nền đất.

5- Thoát nước nhanh chóng qua hệ thống rãnh thoát nước.

Để đảm bảo các chức năng này, lớp bề mặt nền móng cần có:

• Độ cứng và khả năng chịu tải đủ lớn.

• Không bị biến dạng.

Thực tiễn đã chứng minh rằng việc lắp đặt lớp bảo vệ là giải pháp cơ bản để:

• Nâng cao khả năng chịu tải của nền đường.

• Loại bỏ các bệnh nền móng.

Trên tuyến đường sắt nặng Đại Tần tại Trung Quốc, lớp đáy của lớp đá ballast thực hiện chức năng tương tự như lớp bảo vệ.

III. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA NỀN ĐƯỜNG

Đối với đường sắt cao tốc có đá ballast tại Trung Quốc, bề mặt nền đường được thiết kế hình tam giác với độ dốc thoát nước ngang 4% từ trung tâm ra hai bên. Khi cần mở rộng ở các đoạn cong, hình dạng tam giác này vẫn phải được duy trì.

Đối với các đoạn thẳng của đường sắt không đá ballast, bề mặt nền đường có hình thang. Ngoài mép lớp bê tông đỡ được bố trí lớp thoát nước ngang với độ dốc 4%. Phần mặt trên của lớp đáy nền móng và bề mặt bên dưới nền đường cũng được thiết kế độ dốc 4% từ trung tâm ra hai bên. Nền đường được chia thành ba phần chính từ trên xuống dưới:

1- Lớp bề mặt nền móng.

2- Lớp đáy nền móng.

3- Phần dưới của nền đường.

Đường sắt có đá ballast:

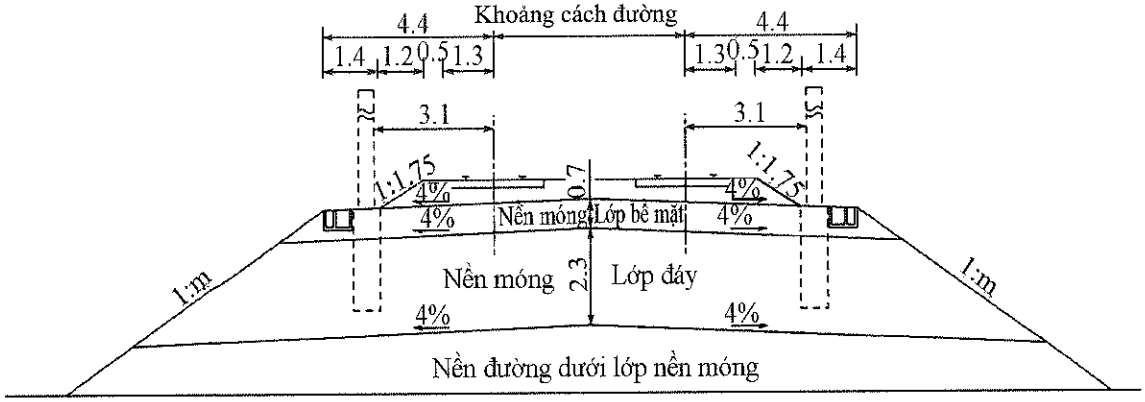
- Nền móng được chia làm hai lớp: lớp bề mặt và lớp đáy.
- Độ dày:
  - Lớp bề mặt: 0,7 m.
  - Lớp đáy: 2,3 m.
  - Tổng độ dày: 3,0 m.
- Cấu tạo lớp bề mặt: Bao gồm lớp bê tông nhựa dày 5 - 10 cm và lớp đá dăm phân cấp dày 60 - 65 cm.

Đường sắt không đá ballast:

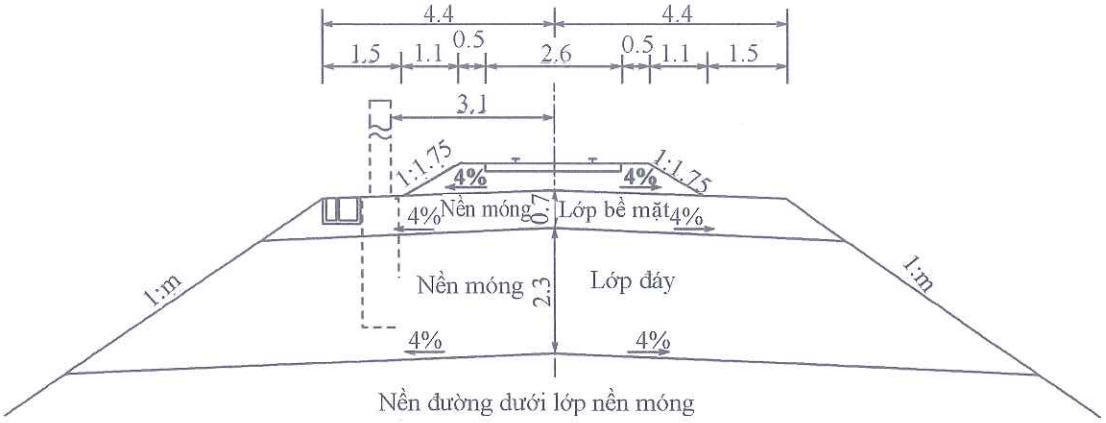
- Độ dày lớp bề mặt nền móng: Tổng độ dày của lớp bề mặt nền móng kết hợp với lớp bê tông đỡ hoặc đáy bê tông không được nhỏ hơn 0,7 m.
- Độ dày lớp đáy nền móng: 2,3 m.
- Ngoài lớp bê tông đỡ, bề mặt nền đường cần được bố trí thêm lớp chống thấm và lớp thoát nước.

Tiêu chuẩn mặt cắt ngang:

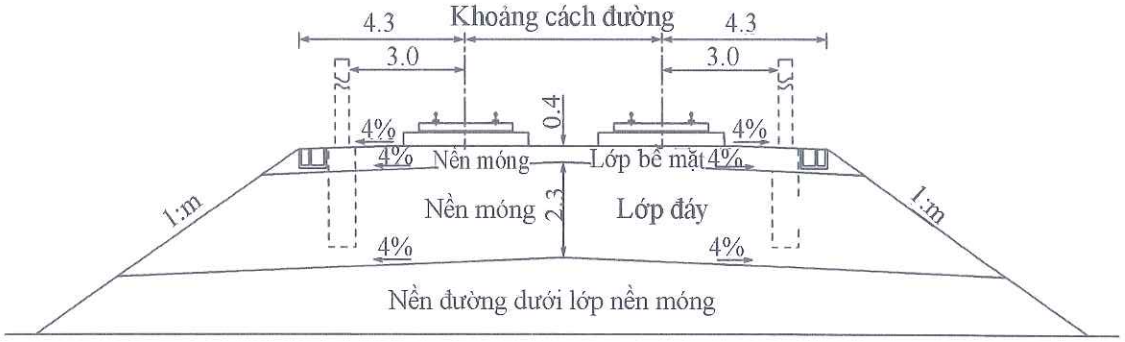
Các tiêu chuẩn mặt cắt ngang nền đường được minh họa trong Hình 2-2-17 đến Hình 2-2-19.



***Hình 2-2-17:** Sơ đồ mặt cắt ngang tiêu chuẩn của nền đường đôi cho đường sắt có đá ballast (Đơn vị: m)*



Hình 2-2-18: *Sơ đồ mặt cắt ngang tiêu chuẩn của nền đường đơn cho đường sắt có đá ballast (Đơn vị: m)*



Hình 2-2-19: *Sơ đồ mặt cắt ngang tiêu chuẩn của nền đắp đường đôi cho đường sắt không đá ballast (Đơn vị: m)*

- ***Tiêu chuẩn mặt cắt ngang nền đường phải tuân theo các quy định sau:***

Chiều rộng bề mặt nền đường tại các đoạn thẳng cần được xác định thông qua tính toán, dựa trên các yếu tố sau:

- Tốc độ thiết kế của tàu khách.
- Loại đường ray dự kiến sử dụng trong tương lai.
- Số lượng tuyến đường chính.
- Khoảng cách giữa các tuyến.
- Độ mở rộng tại các đoạn cong.
- Chiều rộng vai đường.
- Các yêu cầu mở rộng bề mặt nền đường hai bên do lún nền.
- Phương thức bảo trì.
- Vị trí lắp đặt cột tiếp xúc điện.

Ngoài ra, khi cần thiết, cần xem xét cả việc bố trí các rãnh cáp quang, cáp điện, cũng như móng của tường chắn âm thanh.

- **Nền đắp hoặc nền đào của đường sắt có đá ballast:**
  - Chiều rộng vai đường ở hai bên:

- Đối với đường đôi: Không nhỏ hơn 1,4 m.
- Đối với đường đơn: Không nhỏ hơn 1,5 m.

- **Chiều rộng bề mặt nền đường tại các đoạn thẳng:**
  - Không được nhỏ hơn các giá trị quy định trong Bảng 2-2-2.

Bảng 2-2-2: Chiều rộng bề mặt nền đường

Loại đường ray	Tốc độ thiết kế tối đa (km/h)	Khoảng cách giữa các tuyến (m)	Chiều rộng bề mặt nền đường	
			đường đơn (m)	đường đôi (m)
Đường ray có đá ballast	250	4.6	8.8	13.4
	300	4.8		13.6
	350	5.0		13.8
Đường ray không đá ballast	250	4.6	8.6	13.2
	300	4.8		13.4
	350	5.0		13.6

Chú thích:

1- Đối với nền đường ray:

- *Có đá ballast: Khoảng cách từ mặt trong của cột tiếp xúc điện đến tâm tuyến đường là 3,1 m.*
- *Không đá ballast: Khoảng cách từ mặt trong của cột tiếp xúc điện đến tâm tuyến đường là 3,0 m.*

2- Rãnh cáp:

- *Nên đặt ở phía ngoài của cột tiếp xúc điện.*
- *Chiều cao thông thủy bên trong của rãnh cáp không được vượt quá 30 cm.*
- *Chiều rộng bên ngoài của rãnh cáp tín hiệu và thông tin không được vượt quá 70 cm.*
- *Đối với rãnh cáp điện một kênh đặt trên vai đường, chiều rộng thông thủy bên trong không được vượt quá 20 cm.*

Đối với đường sắt có đá ballast, giá trị mở rộng bề mặt nền đường tại các đoạn cong chính tuyến cần được thực hiện ở phía ngoài của đường cong theo quy định trong Bảng 2-2-3. Giá trị mở rộng này nên được thay đổi dần trong đoạn đường cong chuyển tiếp.

Đối với đường sắt không đá ballast, thông thường không cần mở rộng bề mặt nền đường. Tuy nhiên, khi có các yêu cầu đặc biệt liên quan đến kết cấu đường ray, cột tiếp xúc điện, hoặc các thiết bị khác, cần tính toán cụ thể dựa trên từng trường hợp.

Bảng 2-2-3: Giá trị mở rộng bề mặt nền đường tại các đoạn cong của đường sắt có đá ballast

Tốc độ thiết kế tối đa (km/h)	Bán kính đường cong R (m)	Giá trị mở rộng bề mặt nền đường bên ngoài (m)
250	$R \geq 10000$	0.2
	$10000 > R > 7000$	0.3
	$7000 \geq R \geq 5000$	0.4
	$5000 \geq R \geq 4000$	0.5
	$R < 4000$	0.6
300	$R \geq 14000$	0.2
	$14000 > R > 9000$	0.3
	$9000 \geq R \geq 7000$	0.4
	$7000 \geq R \geq 5000$	0.5
	$R < 5000$	0.6
350	$R \geq 12000$	0.3
	$12000 > R > 9000$	0.4
	$9000 \geq R \geq 6000$	0.5
	$R < 6000$	0.6

CHƯƠNG 3. KỸ THUẬT KIỂM TRA VẬT LIỆU ĐẮP NỀN ĐƯỜNG VÀ CHẤT LƯỢNG ĐẦM NÉN CHO ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. TỔNG QUAN

Để đảm bảo tàu chạy an toàn ở tốc độ cao và mang lại sự thoải mái, nền móng dưới đường ray phải đảm bảo tính ổn định và bằng phẳng tuyệt đối. Là một phần của hệ thống nền móng, nền đường đóng vai trò quan trọng ngang với các công trình như cầu và hầm. Tuy nhiên, so với cầu và hầm, nền đường là phần yếu và dễ mất ổn định hơn do được cấu thành từ các vật liệu tự nhiên như đất hoặc đá, vốn là những vật liệu rời rạc và không liên tục.

❖ ***Đặc điểm của vật liệu tự nhiên:***

• Được hình thành từ nhiều loại khoáng chất, vật liệu tự nhiên là một tập hợp không đồng nhất với tính chất kỹ thuật phức tạp và biến đổi.

• Do đó, nền đường từ các vật liệu này thường có khả năng chịu lực và chống biến dạng thấp, dễ phát sinh hiện tượng lún.

❖ ***Ảnh hưởng đến vận hành tàu:***

• Đối với đường sắt thông thường, tốc độ không cao nên biến dạng của nền đường ít gây ảnh hưởng nghiêm trọng.

• Những hiện tượng như lún không đồng đều có thể được khắc phục thông qua bảo trì như nâng cao đường ray. Điều này giải thích vì sao nền đường thường ít được chú trọng trong quá khứ.

• Tuy nhiên, đối với đường sắt cao tốc, nền đường lại là nguồn chính gây ra biến dạng đường ray.

• Việc lặp đi lặp lại các tải trọng từ tàu và tác động của ứng suất tự nhiên dẫn đến hiện tượng lún tích lũy và lún không đồng đều, làm giảm độ phẳng và ổn định của đường ray.

❖ ***Yêu cầu kiểm soát biến dạng:***

• Trong thiết kế nền móng đường sắt cao tốc, việc kiểm soát biến dạng là yếu tố cốt lõi.

• Biến dạng vĩnh viễn hoặc biến dạng đàn hồi vượt quá giá trị cho phép có thể gây ra:

1- Ảnh hưởng đến an toàn vận hành tàu.

2- Giảm sự thoải mái của hành khách.

3- Hạn chế khả năng vận hành ở tốc độ cao.

4- Tăng khối lượng công việc bảo trì và sửa chữa.

❖ ***Giải pháp:***

• Việc xây dựng nền đường có độ bền cao và độ cứng thích hợp là điều kiện tiên quyết.

• Điều này phụ thuộc vào vật liệu đắp, yếu tố quyết định đến tính chất của nền đường.

• Vật liệu đắp cần được coi là một loại vật liệu kỹ thuật quan trọng trong thiết kế cấu trúc nền đường.

• Cần lựa chọn vật liệu phù hợp với từng yêu cầu của cấu trúc nền đường, đồng thời hiểu rõ và ứng dụng hiệu quả các đặc tính kỹ thuật của từng loại vật liệu để đảm bảo thiết kế tối ưu.

II. YÊU CẦU CƠ BẢN ĐỐI VỚI VẬT LIỆU ĐẮP

Vật liệu đắp đóng vai trò cốt lõi trong cấu trúc nền đường. Thực tế đã khẳng định rằng chất lượng vật liệu đắp ảnh hưởng trực tiếp đến sức chịu tải và tính ổn định của toàn bộ cấu trúc nền đường.

1. Ảnh hưởng của chất lượng vật liệu đắp đến trạng thái nền đường

Khi xây dựng tuyến đường sắt cao tốc đầu tiên của Nhật Bản - Tokaido Shinkansen, do thiếu kinh nghiệm và chưa nhận thức đầy đủ về vai trò của nền đường, tiêu chuẩn vật liệu đắp đã bị hạ thấp để tiết kiệm chi phí. Việc sử dụng một lượng lớn đất thải làm vật liệu đắp, cùng với công tác quản lý đầm nén không đạt yêu cầu, đã dẫn đến nhiều vấn đề sau khi vận hành: hiện tượng trồi đất, lún nền đường, sụt lở mái taluy do mưa, và các bệnh nền khác khiến tốc độ vận hành không đạt chuẩn thiết kế.

Rút kinh nghiệm từ Tokaido Shinkansen, Nhật Bản đã áp dụng các tiêu chuẩn nghiêm ngặt hơn về vật liệu đắp, cấu trúc nền móng, và xử lý nền đất khi xây dựng các tuyến Sanyo và Joetsu Shinkansen. Họ đã chú trọng cải thiện chất lượng vật liệu đắp, tạo nền tảng vững chắc hơn cho đường sắt cao tốc.

1.1. Nghiên cứu thực tiễn tại Nhật Bản và Pháp:

- ***Nhật Bản:***
  - Nền đường chất lượng kém có độ lún lớn gấp 1,46–2,64 lần so với nền đường chất lượng tốt.
  - Tác động lực giữa bánh xe và đường ray trên nền đường kém lớn hơn khoảng 1,5 lần, đồng thời chi phí bảo trì tăng hơn 50%.
- ***Pháp (TGV):***
  - Khi tàu cao tốc có tải trọng trục 16–17 tấn vận hành ở tốc độ 300 km/h trên đường ray bằng phẳng, lực động không lớn hơn so với xe tải có tải trọng trục 20 tấn chạy ở tốc độ 100 km/h trên đường ray kém phẳng.
  - Ngay cả ở tốc độ 515,3 km/h, lực động thẳng đứng của tàu TGV không vượt quá 120 kN (70,6% trọng lượng trục tĩnh) và lực ngang không vượt quá 60 kN.

Những số liệu này khẳng định rằng nền đường đạt tiêu chuẩn cao là yếu tố cốt lõi để duy trì sự ổn định của đường ray và giảm tác động lực động giữa bánh xe và đường ray.

1.2. Kinh nghiệm quốc tế:

- ***Đức:***

Trong thập niên 1970, với sự phát triển kinh tế nhanh chóng, đường sắt Đức đối mặt với khối lượng vận tải tăng cao, tải trọng trục lớn hơn, và tốc độ vận hành nhanh hơn. Tuy nhiên, những vấn đề này cũng làm gia tăng bệnh nền đường. Để khắc phục, Đức đã đưa ra giải pháp sử dụng vật liệu cấp phối thô chất lượng cao trên đỉnh nền đường, giúp giảm bệnh nền và đáp ứng nhu cầu vận tải tốc độ cao.

- ***Pháp:***

Trước khi xây dựng tuyến TGV, Pháp đã tiến hành khảo sát và thử nghiệm chi tiết nền đường hiện tại. Họ bổ sung lớp đệm bằng cát và sỏi cấp phối tốt trên đỉnh nền đường, giúp giảm thiểu các bệnh nền và cải thiện độ ổn định.

1.3. Thực trạng tại Trung Quốc:

Ngành đường sắt Trung Quốc phát triển nhanh chóng với những thành tựu đáng kể. Tuy nhiên, nền đường chưa được chú trọng đúng mức:

- Tiêu chuẩn kỹ thuật nền đường còn thấp.
- Vật liệu đắp không được coi như vật liệu xây dựng quan trọng.

• Việc sử dụng đất tại chỗ theo nguyên tắc "cân bằng đào đắp" mà không chọn lọc kỹ chất lượng vật liệu đã dẫn đến các vấn đề nghiêm trọng.

Hậu quả là, sau khi hoàn thành, nền đường gặp nhiều bệnh nền và những vấn đề này càng trở nên nghiêm trọng khi khối lượng vận tải và tốc độ tàu tăng lên.

Hiện nay, khi tốc độ vận hành đường sắt không ngừng được nâng cao, các bệnh nền đường đã trở thành một trong những yếu tố chính hạn chế việc tăng tốc. Để cải thiện, các cơ quan đường sắt đã tập trung khắc phục bệnh nền và nâng cấp nhiều đoạn đường ảnh hưởng đến an toàn vận hành.

2. Yêu cầu cơ bản đối với vật liệu đắp cho đường sắt cao tốc

Đường sắt cao tốc được thiết kế để vận chuyển hành khách một cách an toàn, nhanh chóng và thoải mái. Để đạt được điều này, nền tảng của hệ thống đường ray cần đảm bảo tính ổn định và độ phẳng cao. Yếu tố này phụ thuộc vào nền đường, vốn phải cung cấp độ bền, độ cứng phù hợp, sự ổn định lâu dài, và duy trì độ phẳng tối ưu.

Nền đường, với vai trò là một cấu trúc đất kỹ thuật, nằm trong môi trường tự nhiên phức tạp và thay đổi, thường xuyên chịu tác động của nước, khí hậu, động đất và các yếu tố địa chất. Tính chất kỹ thuật của vật liệu đắp rất nhạy cảm với những thay đổi này. Đồng thời, nền đường chịu tác động lặp đi lặp lại của tải trọng từ kết cấu trên và đoàn tàu, dẫn đến biến dạng tích lũy, giảm cường độ, và thể hiện đặc tính mỏi. Do đó, vật liệu đắp cần đáp ứng các yêu cầu sau:

(1) Cường độ

Vật liệu đắp phải có khả năng duy trì cường độ cần thiết dưới tác động của tải trọng đoàn tàu và tải trọng động lực lâu dài. Đặc biệt, không được xảy ra biến dạng dẻo vượt quá giới hạn cho phép.

(2) Độ cứng

Vật liệu sau khi được đầm nén chặt cần hình thành một cấu trúc đất kỹ thuật:

• Độ cứng vừa phải để nền đường không bị biến dạng vượt quá giới hạn khi chịu tải trọng từ đoàn tàu và trọng lượng bản thân.

• Đồng thời, vật liệu cần có tính đàn hồi vừa đủ để đảm bảo sự thoải mái cho hành khách.

(3) Tính ổn định và độ bền

Vật liệu đắp cần đảm bảo khả năng chống lại các tác động tự nhiên như động đất, nước, và nhiệt độ khắc nghiệt:

• Đảm bảo sự ổn định khi tiếp xúc với nước, chịu được các chu kỳ đóng băng - tan băng hoặc khô - ẩm lặp đi lặp lại mà vẫn giữ được độ bền và tính ổn định lâu dài.

• Đặc biệt, lớp bề mặt nền đường cần ngăn ngừa hư hại do đóng băng và ngăn nước thấm sâu vào nền đất, tránh làm giảm cường độ nền đường.

III. PHÂN LOẠI VẬT LIỆU ĐẮP VÀ YÊU CẦU ĐỐI VỚI VẬT LIỆU TẠI CÁC BỘ PHẬN CỦA NỀN ĐƯỜNG

1. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến tính chất kỹ thuật của vật liệu đắp

1.1. Thành phần kích thước hạt

Kích thước hạt của đất đề cập đến kích thước, hình dạng, tính chất bề mặt, và tỷ lệ số lượng tương đối giữa các hạt:

• Đất với thành phần kích thước hạt khác nhau sẽ có tính chất khác biệt rõ ràng, ví dụ: sỏi, cát và đất sét.

o Kích thước hạt càng lớn, góc ma sát càng lớn, cường độ chịu lực càng cao.

• Hình dạng và tính chất bề mặt của hạt đất cũng ảnh hưởng rõ rệt đến tính chất đất.

o Cát góc cạnh thường có độ rỗng lớn hơn cát tròn mịn.

o Cát tròn mịn có tính thấm nước cao hơn cát góc cạnh.

Cấp phối hạt đóng vai trò quan trọng nhất:

• Đất với cấp phối tốt có phạm vi kích thước hạt phân bố rộng, dễ đầm nén, cường độ cao, và ổn định tốt.

• Đất với cấp phối kém có phạm vi kích thước hạt hẹp hoặc thiếu một số loại kích thước hạt, làm giảm độ ổn định.

1.2. Thành phần khoáng chất

Thành phần khoáng chất là yếu tố quyết định quan trọng đến tính chất vật lý và kỹ thuật của đất:

• Đá bị phong hóa vật lý sẽ vỡ thành các mảnh vụn mà không thay đổi thành phần khoáng chất ban đầu như: thạch anh, fenspat, mica.

• Đá bị phong hóa hóa học tạo ra các khoáng chất thứ sinh, trong đó khoáng chất sét được hình thành từ các khoáng chất không hòa tan.

Các khoáng chất sét phổ biến:

• Kaolinit:

o Có cấu trúc tinh thể ổn định, không cho phép nước thấm vào, đảm bảo tính ổn định khi tiếp xúc với nước.

o Đất chứa nhiều kaolinit có khả năng chống thấm và tính ổn định tốt.

• Montmorillonit:

o Cấu trúc tinh thể dễ thấm nước, gây trương nở và giảm tính ổn định.

1.3. Ảnh hưởng của nước

Nước từ mưa, bốc hơi, nước ngầm hoặc hoạt động nhân tạo có thể làm thay đổi độ ẩm của đất, gây giảm cường độ và thay đổi cấu trúc đất.

• Tác động điển hình:

o Đất bị bão hòa trong mưa lớn hoặc lũ lụt, làm giảm cường độ.

o Chu kỳ khô - ẩm khiến đất bị biến dạng, mất ổn định.

1.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ

• Hiện tượng đóng băng - tan băng:

o Đất dễ trương nở vào mùa đông khi đóng băng và lún sụt vào mùa xuân khi tan băng.

o Hiện tượng này phá hủy cấu trúc đất và làm giảm cường độ.

• Trương nở do đóng băng:

o Nước trong lỗ rỗng đóng băng, tăng thể tích, gây trương nở đất.

1.5. Tác động của tải trọng động lặp lại

Đất dưới tác động động lực có sự khác biệt lớn so với tác động tĩnh:

• Hiện tượng mỏi: Đất yếu đi khi chịu tải trọng lặp lại, dẫn đến phá hủy và mất ổn định.

• Ứng suất động tới hạn:

o Khi tải trọng động nhỏ, đất chủ yếu chịu biến dạng đàn hồi, với biến dạng dẻo rất nhỏ.

o Khi tải trọng động lớn, đất dễ bị phá hủy do tích lũy biến dạng và áp suất nước trong lỗ rỗng tăng nhanh.

Kết luận:

Mỗi loại đất có ứng suất động tới hạn riêng.

• Đất hạt thô có ứng suất động tới hạn cao hơn đất hạt mịn.

• Đất có mật độ đầm nén cao và độ bão hòa thấp sẽ có ứng suất động tới hạn lớn hơn.

• Ứng suất động tới hạn thường dao động từ 10–80% cường độ chịu lực tĩnh, tùy thuộc vào loại đất và điều kiện cụ thể.

2. Phân loại vật liệu đắp nền đường cao tốc

Phân loại vật liệu đắp nền đường là quá trình đánh giá các loại đất, đá có cấu trúc tự nhiên đã bị phá vỡ, dựa trên các tiêu chí như kích thước hạt, cấp phối, hàm lượng đất hạt mịn và tính chất vật lý của đất hạt mịn.

2.1. Phân loại kích thước hạt và nhóm vật liệu đắp

Dựa trên kích thước hạt của đất, các loại hạt được phân chia như trong Bảng 2-3-1. Kích thước hạt lớn nhất được quy định là 75 mm.

Bảng 2-3-1: Phân loại nhóm hạt

Tên hạt		Kích thước hạt d (mm)
Sỏi, Cát	Sỏi thô	$19 \leq d \leq 75$
	Sỏi trung bình	$4.75 \leq d \leq 19$
	Cát mịn	$0.075 \leq d \leq 0.425$
Bùn		$0.005 \leq d \leq 0.075$
Đất sét		$d \leq 0.005$

Chú thích:

1- Kích thước hạt từ 0.075 ~ 75 mm được coi là thành phần hạt thô.

2- Kích thước hạt dưới 0.075 mm được coi là thành phần hạt mịn.

Dựa trên phân loại kích thước hạt đất, tiến hành phân nhóm vật liệu đắp. Các nhóm vật liệu đắp nền đường được thể hiện trong Bảng 2-3-2.

Bảng 2-3-2: Phân nhóm vật liệu đắp

Ký hiệu nhóm	Loại đất và đá	
	Ký hiệu phân loại đất	Ghi chú
Nhóm A	(G), (G-S), (GS),	
	(G-F), (G-FS), (GS-F)	Loại trừ thành phần mịn chủ yếu là đất hữu cơ.
	(S), (S-G), (SG)	Hệ số không đều $C_u \geq 5$ ($1 < C_c$ (hệ số độ cong) < 3, tức là cấp phối tốt.

Bảng 2-3-2: Phân nhóm vật liệu đắp

Ký hiệu nhóm	Loại đất và đá	
	Ký hiệu phân loại đất	Ghi chú
	(S-F), (S-FG), (SG-F)	Loại trừ thành phần mịn chủ yếu là đất hữu cơ hoặc đất có nguồn gốc tro núi lửa.
	Đá bỏ từ đá cứng	Loại trừ nếu bị phong hóa nghiêm trọng.
Nhóm B	(G-F), (G-FS), (GS-F)	Thành phần mịn chủ yếu là đất chứa chất hữu cơ.
	(GF), (GF-S), (GFS)	Loại trừ thành phần mịn chủ yếu là đất hữu cơ hoặc đất có nguồn gốc tro núi lửa.
	(S), (S-G), (SG)	Hệ số không đều $C_u \geq 5$, $1 < C_c < 3$ không đạt yêu cầu, tức là cấp phối không tốt.
	(S-F), (S-FG), (SG-F)	Thành phần mịn chủ yếu là đất hữu cơ hoặc đất có nguồn gốc tro núi lửa.
	(SF), (SF-G), (SFG)	Loại trừ thành phần mịn chủ yếu là đất hữu cơ hoặc đất có nguồn gốc tro núi lửa.
	Đá thải từ đá mềm và đá phong hóa dễ vỡ	Loại trừ các trường hợp thuộc nhóm D1.
Nhóm C	(GF), (GF-S), (GFS)	Thành phần mịn chủ yếu là đất hữu cơ hoặc đất có nguồn gốc tro núi lửa.
	(SF), (SF-G), (SFG)	Thành phần mịn chủ yếu là đất có nguồn gốc tro núi lửa.
	(ML), (CL)	
Nhóm D1	(MH), (CH)	
	Đá thải từ Đá phong hóa dễ vỡ	Đã bị hóa dẻo trong quá trình thi công, phong hóa tiếp tục phát triển, khi đầm nén thì biến thành bùn đất.
Nhóm D2	(SF), (SF-G), (SFG)	Thành phần mịn chủ yếu là đất chứa chất hữu cơ.
	(OL), (OH), (OV), (Pt), (Mk)	
Nhóm V	(VH), (VH1), (VH2)	
Khác	Vật liệu nhân tạo (Wa), (I)	

2.2. Đặc điểm từng nhóm vật liệu đắp

(1) Nhóm vật liệu A

Nhóm vật liệu A là loại vật liệu cao cấp, dễ dàng đạt tiêu chuẩn $K_{30} \geq 110\,\text{MN/m}^3$, với mức lún do tự trọng, lún vĩnh viễn dưới tải trọng mỏi và biến dạng đàn hồi rất nhỏ. Đây là vật liệu lý tưởng để làm đất đắp nền đường. Tuy nhiên, do vật liệu này dễ đạt tiêu chuẩn $K_{30} \geq 110\,\text{MN/m}^3$ ngay cả khi đầm nén chưa đầy đủ, nên có nguy cơ xảy ra sự không đồng đều trong độ chặt. Nếu không đầm nén kỹ, vật liệu có thể chịu biến dạng dẻo lớn dưới tải trọng mỏi từ tàu, do đó cần hiểu rõ đặc tính đầm nén của nó.

(2) Nhóm vật liệu B

Nhóm B bao gồm các vật liệu có khả năng dễ dàng đảm bảo $K_{30} \geq 70\,\text{MN/m}^3$. mà không gây lún lâu dài do tự trọng. Khi được cải thiện, vật liệu này có thể đạt $K_{30} \geq 110\,\text{MN/m}^3$, đồng thời cũng rất thích hợp làm vật liệu đắp nền đường.

(3) Nhóm vật liệu C

Nhóm C là đất sỏi hoặc đất mịn chứa chất hữu cơ hoặc tro núi lửa với giới hạn lỏng thấp. Khi thi công dưới sự giám sát đầy đủ, vật liệu này đôi khi có thể đạt $K_{30} \geq 70\,\text{MN/m}^3$. Sau khi cải thiện, nhóm này cũng có thể đảm bảo $K_{30} \geq 110\,\text{MN/m}^3$ Tuy nhiên, về khả năng nén lún, nhóm này kém hơn nhóm B.

(4) Nhóm vật liệu D1

Nhóm D1 gồm các vật liệu có độ nén lún cao và khả năng thi công kém. Khi sử dụng làm vật liệu đắp nền, cần phải xử lý cải thiện. Nếu việc vận chuyển vật liệu cao cấp từ xa không hiệu quả, việc sử dụng đất cải thiện tại chỗ, sau khi khảo sát và thử nghiệm kỹ lưỡng, sẽ là lựa chọn kinh tế hơn.

(5) Nhóm vật liệu D2

Tương tự nhóm D1, nhóm D2 có độ nén lún cao và khả năng thi công kém. Do chứa nhiều chất hữu cơ, vật liệu nhóm D2 khó cải thiện hơn so với nhóm D1, vì vậy nên hạn chế sử dụng loại đất này.

(6) Nhóm vật liệu V

Nhóm V gồm các vật liệu có tính chất yếu, dễ bị mềm hóa sau khi đầm nén, khả năng chịu lực giảm đáng kể và hiệu quả thi công thấp. Loại vật liệu này dễ xảy ra hiện tượng bùn lầy, không phù hợp để làm đất đắp nền đường. Tuy nhiên, tại Nhật

Bản, đất sét tro núi lửa chiếm diện tích lớn (40%-50%), đặc biệt tại Hokkaido, Tohoku, Kanto, và Kyushu. Khi không có vật liệu cao cấp khác, việc cải thiện đất sét tro núi lửa tại chỗ để sử dụng có thể là giải pháp kinh tế hơn, với điều kiện phải khảo sát và thử nghiệm kỹ trước khi áp dụng.

2.3. Các loại đất đặc biệt cần lưu ý khi sử dụng làm vật liệu đắp

Các nhóm vật liệu A, B và C bao gồm những loại đất có đặc tính kỹ thuật phù hợp khi còn ở trạng thái tự nhiên chưa bị xáo trộn. Tuy nhiên, khi sử dụng làm vật liệu đắp nền đường, cần thận trọng đối với các loại đất đặc biệt như đất cát núi lửa và đất sét pha cát. Những loại đất này ổn định khi ở trạng thái nguyên gốc, nhưng khi sử dụng làm đất đắp, cần quan tâm đến các yếu tố ảnh hưởng đến tính ổn định và đặc tính kỹ thuật của chúng.

(1) Đất cát núi lửa

• Đất cát núi lửa điển hình, như cát trắng, thuộc nhóm C. Loại đất này có sự phân bố hạt tốt, thuộc nhóm đất cát, nhưng mật độ hạt rất thấp, dễ bị xói mòn bởi dòng nước chảy trên mái dốc nền đường. Ngoài ra, cát trắng tinh khiết có nguy cơ bị hóa lỏng khi xảy ra động đất.

• Đất cát núi lửa kết tuff, thuộc nhóm A hoặc B, có hạt đất với góc cạnh rõ ràng và cấu trúc xốp. Tuy nhiên, khi ở trạng thái ngậm nước và bị xáo trộn, loại đất này khó thoát nước, tương tự như đất mịn. Khi sử dụng đất cát núi lửa làm vật liệu đắp, cần khảo sát kỹ hiện trường và thực hiện các biện pháp để ngăn áp lực nước lỗ rỗng và hạn chế hiện tượng nứt mái dốc do mưa.

(2) Đất sét pha cát

• Đất sét pha cát thường là sản phẩm phong hóa của đá granit. Loại đất này được phân loại vào nhóm A hoặc B, tùy thuộc vào sự phân bố hạt.

• Thành phần khoáng vật và mức độ phong hóa của hạt đất là các yếu tố quan trọng, quyết định đặc tính kỹ thuật của đất.

• Khi sử dụng đất sét pha cát làm vật liệu đắp, cần đặc biệt chú ý đến khả năng chịu tác động của dòng nước. Tính ổn định của đất có thể bị ảnh hưởng nghiêm trọng nếu không được xử lý đúng cách.

3. Yêu cầu về vật liệu cho các lớp cấu trúc nền đường

3.1. Lớp nền cơ sở

Lớp nền cơ sở của nền đường có thể được phân loại như sau:

• Đối với nền đường có đá ballast, lớp bề mặt bằng nhựa đường được cấu tạo từ lớp hỗn hợp nhựa đường và lớp đá dăm cấp phối.

• Đối với nền đường không có đá ballast, lớp bề mặt bê tông của nền đường được cấu tạo từ tấm bê tông cốt thép, lớp hỗn hợp nhựa đường, và lớp đá dăm cấp phối.

(1) Hỗn hợp nhựa đường và đá dăm cấp phối

• Yêu cầu hỗn hợp nhựa đường sử dụng loại bê tông nhựa với cốt liệu thô được trộn nóng. Thành phần vật liệu được trình bày trong Bảng 2-3-3.

(2) Đá dăm cấp phối

1) Cốt liệu có kích thước hạt lớn hơn 1.7 mm phải có tỷ lệ mài mòn bằng phương pháp Los Angeles không vượt quá 50%.

2) Cốt liệu có kích thước hạt lớn hơn 1.7 mm phải có tỷ lệ mất khối lượng sau khi ngâm trong dung dịch sunfat natri không vượt quá 12%.

3) Cốt liệu mịn có kích thước hạt nhỏ hơn 0.5 mm phải có giới hạn lỏng không lớn hơn 25% và chỉ số dẻo nhỏ hơn 6.

4) Hàm lượng tạp chất như đất sét hoặc chất bẩn khác không được vượt quá 0.5% trọng lượng.

5) Phân bố kích thước hạt của đá dăm cấp phối phải tuân thủ theo yêu cầu trong Bảng 2-3-4.

Bảng 2-3-3: Cấp phối vật liệu hỗn hợp nhựa đường

Loại hỗn hợp nhựa đường		Hỗn hợp nhựa đường hạt mịn	Hỗn hợp nhựa đường hạt thô
Kích thước hoàn thiện (mm)		30 ~ 50	40 ~ 60
Kích thước hạt lớn nhất của cốt liệu (mm)		13	20
Tỷ lệ khối lượng qua sàng (%)	26.5 mm	-	100
	19.0 mm	100	95 - 100
	13.2 mm	95 - 100	70 - 90
	4.75 mm	55 - 70	35 - 55
	2.36 mm	35 - 50	20 - 35
	600 μm	18 - 30	11 - 23
	300 μm	10 - 21	5 - 16
	150 μm	6 - 16	4 - 12
	75 μm	4 - 8	2 - 7
Hàm lượng nhựa đường (%)		5 - 7	4.5 - 6.0

Bảng 2-3-4: Phạm vi cấp phối kích thước hạt của đá dăm lớp mặt nền đường

Kích thước lỗ sàng (mm)	45	25	16	7.1	1.7	0.5	0.1	0.075
Tỷ lệ qua sàng (%)	100	82 ~ 100	67 ~ 91	41 ~ 75	13 ~ 46	7 ~ 32	0 ~ 11	0 ~ 7

Vật liệu và cấp phối cho lớp mặt nền đường cần được kiểm tra qua các thí nghiệm trong phòng và thực địa về quy trình đầm nén. Các thí nghiệm này nhằm đảm bảo các chỉ tiêu như độ rỗng, hệ số nền, mô đun biến dạng và mô đun biến dạng động đáp ứng đầy đủ yêu cầu thiết kế. Đồng thời, cần xác định các thông số kỹ thuật cần thiết cho quá trình đắp đất trước khi tiến hành thi công chính thức.

(3) Cấp phối xỉ lò cao

Các nhà máy luyện kim cung cấp hai loại xỉ lò cao đã nghiền:

- Xỉ lò cao nghiền cơ học (Mechanical Stabilized Slag, MS)
- Xỉ lò cao nghiền cơ học thủy lực (Hydraulic Mechanical Stabilized Slag, HMS).

Vật liệu lớp mặt nền đường nên sử dụng xỉ lò cao đã được cấp phối từ MS và HMS. Các yêu cầu về chất lượng xỉ lò cao bao gồm: không chứa tỷ lệ có hại của các hạt dài hoặc dẹt, rác thải, chất hữu cơ; không gây ra hiện tượng nước vàng hoặc phát sinh mùi khí sulfide.

Các tiêu chuẩn về cường độ và chất lượng được trình bày trong Bảng 2-3-5, tiêu chuẩn cấp phối kích thước hạt được trình bày trong Bảng 2-3-6.

Bảng 2-3-5: Tiêu chuẩn chất lượng đá xỉ lò cao cấp phối dùng cho nền đường

Loại	CBR sửa đổi (%)	Cường độ chịu nén đơn trục (N/mm^2)	Khối lượng đơn vị (kN/m^3)
Đá xỉ lò cao cấp phối (MS)	Trên 80	—	Trên 15
Đá xỉ lò cao cấp phối thủy lực (HMS)	Trên 80	Cường độ sau 14 ngày ≥ 1.2	Trên 15

Chú thích:

1- *Kích thước hạt được xác định theo tiêu chuẩn JIS A 1102 - "Phương pháp thử nghiệm sàng lọc cốt liệu".*

2- *Thử nghiệm CBR chỉnh sửa được thực hiện theo hướng dẫn trong "Sổ tay phương pháp thử nghiệm mặt đường", với giá trị CBR tương ứng với 95% mật độ khô tối đa.*

3- *Cường độ chịu nén một trục được đo theo tiêu chuẩn JIS A 5015.*

4- *Trọng lượng đơn vị trên mỗi thể tích được xác định theo tiêu chuẩn JIS A 1104 - "Phương pháp thử nghiệm trọng lượng đơn vị và tỷ lệ thể tích của cốt liệu".*

Bảng 2-3-6. Tiêu chuẩn phân loại kích thước hạt của đá xỉ lò cao

Kích thước		Tỷ lệ khối lượng qua sàng (%)									
		50	40	30	25	20	13	5	2.5	0.4	0.075
Tên loại	MS-25	-	-	100	95 ~ 100	-	55 ~ 85	30 ~ 65	20 ~ 50	10 ~ 30	2 ~ 10
	HMS-25	-	-	100	95 ~ 100	-	60 ~ 80	35 ~ 60	25 ~ 45	10 ~ 25	3 ~ 10

***Chú thích**: Kích thước lưới sàng phù hợp với quy định của JIS Z8801, bao gồm các kích thước: 53.0 mm, 37.5 mm, 26.5 mm, 19.0 mm, 13.2 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 0.425 mm, 0.075 mm.*

3.3. Phần thân đường dưới lớp nền móng

Đất đắp đường sắt trong phạm vi từ mặt bằng thi công đến độ cao 3m (không bao gồm lớp nền móng bề mặt) được gọi là lớp đất đắp trên, phần dưới được gọi là lớp đất đắp dưới. Phạm vi 3m từ mặt bằng thi công chịu ảnh hưởng lớn của tải trọng đoàn tàu, đồng thời bao gồm cả lớp nền móng bề mặt. Do đó, lớp đất đắp trên cần sử dụng loại vật liệu có biến dạng tích lũy nhỏ dưới tác động mỏi của tải trọng đoàn tàu và có thể đạt được độ cứng phù hợp. Yêu cầu đối với các cấp vật liệu đất đắp đường khác nhau được thể hiện trong Bảng 2-3-7.

Bảng 2-3-7. Cấp độ hiệu suất và vật liệu đắp tương ứng

Cấp độ hiệu suất	Vật liệu đắp thích hợp cho lớp đắp trên	Vật liệu đắp thích hợp cho lớp đắp dưới
I	Nhóm A sau cải thiện; Nhóm B (giới hạn ở vật liệu có thành phần hạt mịn ít) hoặc các phế thải công nghiệp tái chế	Nhóm A sau cải thiện; Nhóm B (giới hạn ở vật liệu có thành phần hạt mịn ít) hoặc các phế thải công nghiệp tái chế
II	Nhóm A, Nhóm B sau cải thiện, Nhóm C, Nhóm D1, Nhóm V hoặc các phế thải công nghiệp tái chế	Nhóm A, Nhóm B sau cải thiện; Nhóm C, Nhóm D1, Nhóm D2, Nhóm V hoặc các phế thải công nghiệp tái chế
III	Nhóm A, Nhóm B sau cải thiện, Nhóm C, Nhóm D1, Nhóm V hoặc các phế thải công nghiệp tái chế	Nhóm A, Nhóm B, Nhóm C sau cải thiện; Nhóm C, Nhóm D1, Nhóm D2, Nhóm V hoặc các phế thải công nghiệp tái chế

Chú thích:

1- ***Cấp I**: Đường nền có khả năng biến dạng cực nhỏ trong điều kiện bình thường. Khi chịu các tác động hiếm gặp như rung chấn động đất L2 và mưa lớn, đường nền vẫn duy trì được hiệu suất mà không xảy ra biến dạng quá lớn. Ví dụ, đường nền của đường sắt không ballast.*

2- ***Cấp II**: Đường nền không xảy ra biến dạng lớn trong điều kiện bình thường và có thể khắc phục bằng các phương pháp bảo trì thông thường. Khi chịu các tác động hiếm gặp như rung chấn động đất L2 và mưa lớn, đường nền không bị phá hủy nghiêm trọng. Ví dụ, đường nền của đường sắt có ballast với mức độ quan trọng cao.*

3- ***Cấp III**: Đường nền được phép xảy ra biến dạng trong điều kiện bình thường và có khả năng chịu được các tác động ít phổ biến như rung chấn động đất L1 và mưa mà không bị phá hủy. Ví dụ, đường nền của các tuyến đường sắt có ballast thông thường.*

4- ***Rung chấn động đất L1**: Là rung chấn động đất có khả năng xảy ra vài lần trong suốt thời gian sử dụng thiết kế của công trình.*

5- ***Rung chấn động đất L2**: Là rung chấn động đất mạnh có khả năng xảy ra rất thấp trong suốt thời gian sử dụng thiết kế của công trình.*

(1) Trong Bảng 2-3-7, các loại phế liệu công nghiệp tái chế sử dụng làm tài nguyên cần phải trải qua các thử nghiệm về khả năng chịu tải lặp của tàu và điều kiện tự nhiên như mưa, nhằm chứng minh tính phù hợp đầy đủ trước khi sử dụng làm vật liệu đắp. Đối với đá tái chế từ bê tông (như đá dăm tái chế cấp phối hoặc đá dăm chưa phân loại), so với vật liệu tự nhiên, đá tái chế từ bê tông dễ bị vỡ hơn dưới tác động của tải lặp từ tàu. Do đó, cần thử nghiệm độ bền dưới tải lặp và khả năng chống mưa để đánh giá đầy đủ trước khi sử dụng làm vật liệu đắp trên. Tuy nhiên, nếu được sử dụng, phải giới hạn ở độ sâu 1.0 m trở xuống tính từ bề mặt thi công.

(2) Các loại không phù hợp để làm vật liệu đắp bao gồm:

1. Các loại đá và đất có tính trương nở như đất sét bentonit, đất sét trắng axit, đất sét mềm có khí lưu huỳnh.
2. Các loại đá như đá serpentine và đá bùn có tỷ lệ phân rã trên 50% do hấp thụ nước và phong hóa rõ rệt.
3. Các loại đất có độ nén cao như đất hữu cơ cao.
4. Đất bị đóng băng.

(3) Phần đất đắp dưới nên ưu tiên sử dụng hiệu quả đất thải từ các công trình.

IV. TÍNH THÍCH ỨNG VÀ CẢI THIỆN VẬT LIỆU ĐẮP

1. Tính thích ứng của vật liệu đắp

Đường nền là một kết cấu đất được hình thành từ các vật liệu rời như đất và đá tự nhiên, qua quá trình đầm nén. Giống như mọi công trình kết cấu khác, cần phải hiểu rõ các đặc tính về cường độ và biến dạng của vật liệu cấu thành. Tuy nhiên, việc đánh giá đặc tính này đối với các hạt đất và đá tự nhiên phức tạp hơn nhiều so với các vật liệu có tính chất liên tục như gỗ, thép hay bê tông. Điều này xuất phát từ những lý do sau:

(1) Tính chất không liên tục của đất (đá):

Đất là tập hợp các hạt rắn rời rạc. Quan hệ ứng suất-biến dạng của đất mang những đặc điểm riêng biệt như phi tuyến, đàn hồi - dẻo, hiện tượng trương nở, nén lún, biến dạng chậm và chịu ảnh hưởng lớn từ các yếu tố như mức ứng suất, trạng thái ứng suất, đường đi ứng suất và lịch sử ứng suất. Những đặc tính này bắt nguồn từ sự tương tác giữa các hạt trong đất, quyết định cường độ và biến dạng của đất thông qua các tiếp xúc và chuyển động tại bề mặt hạt.

(2) Tính không đồng nhất:

Đất tự nhiên, ngay cả khi được lấy từ cùng một địa điểm, vẫn có thể có tính chất không đồng đều. Khi đất được đào, vận chuyển, rải và đầm nén, nó tiếp tục trở thành một khối vật liệu không đồng nhất.

(3) Thành phần khoáng chất:

Đất là tổ hợp của nhiều loại khoáng chất, thường là sản phẩm phong hóa của đá. Thành phần khoáng chất đóng vai trò quan trọng trong việc quyết định các đặc tính vật lý và kỹ thuật của đất, đồng thời cũng là yếu tố phân biệt đặc trưng đất của từng khu vực.

Đường nền, là một phần của kết cấu dưới trong đường sắt, có vai trò đảm bảo sự ổn định hình học và vận hành êm ái của kết cấu đường ray. Nó có mức độ quan trọng tương đương với các công trình cầu và hầm. Tiêu chuẩn Nhật Bản năm 2008 về kết cấu đường sắt đã chỉ rõ: "Đường nền, cùng với cầu, hầm và các công trình khác, phải đảm bảo khả năng chịu lực đồng đều, tránh ảnh hưởng đến toàn hệ thống." Tương tự, tiêu chuẩn DS 836 của Đức yêu cầu đường nền phải có tuổi thọ thiết kế tối thiểu là 120 năm.

Để đảm bảo chất lượng, vật liệu sử dụng cho đường nền phải đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật cao. Không phải loại đất hoặc đá tự nhiên nào cũng phù hợp để đắp đường nền. Một số loại vật liệu cần được xử lý cải thiện trước khi sử dụng để đáp ứng yêu cầu kỹ thuật.

Ở Việt Nam, với điều kiện địa chất và khí hậu phức tạp, có nhiều loại đất đặc thù như đất đỏ, đất phong hóa, đất mặn, đất băng giá, và đất sét giãn nở. Những loại đất này thường có tính chất khác biệt so với đất thông thường. Khi sử dụng các loại đất này làm vật liệu đắp, cần đánh giá kỹ các đặc tính kỹ thuật và áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp.

Để đảm bảo chất lượng công trình đường sắt, các dự án cần tuân thủ nghiêm ngặt các tiêu chuẩn về vật liệu và quy trình đầm nén. Nếu vật liệu tại chỗ không đáp ứng yêu cầu, cần xử lý cải thiện hoặc sử dụng vật liệu thay thế để đảm bảo hiệu quả kỹ thuật và kinh tế, đồng thời nâng cao tính bền vững cho công trình.

2. Cải thiện vật liệu đắp

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển vượt bậc của ngành xây dựng đường sắt tại Việt Nam và việc nâng cao tiêu chuẩn kỹ thuật, yêu cầu đối với vật liệu đắp cho đường nền cũng ngày càng khắt khe. Trong một số dự án, đã xảy ra tình trạng vật liệu tại chỗ không đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật của các phần cấu trúc khác nhau trong đường nền, hoặc mặc dù đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật nhưng không đạt tiêu chuẩn về độ đầm nén.

Ví dụ, trong quá trình xây dựng tuyến đường sắt cao tốc hành khách Tần Thẩm, mặc dù vật liệu đắp đạt yêu cầu kỹ thuật, nhưng độ đầm nén sau thi công lại không đạt tiêu chuẩn. Trong những trường hợp như vậy, việc vận chuyển vật liệu đạt chuẩn từ xa thường không khả thi về mặt kinh tế, do đó cần áp dụng các biện pháp cải thiện vật liệu tại chỗ, chẳng hạn như cải tạo đất.

- *Các phương pháp cải thiện vật liệu:*

Việc cải thiện độ đặc chắc của vật liệu giúp tăng khả năng chống chịu trước các tác động từ tự nhiên, đồng thời nâng cao đáng kể tính ổn định về mặt nước, khả năng chống băng giá và các đặc tính kỹ thuật khác. Hiện nay, các ngành giao thông và xây dựng tại Việt Nam thường sử dụng các phương pháp cải thiện vật liệu bằng cách trộn thêm các chất phụ gia như vôi, xi măng, tro bay hoặc các hợp chất kết hợp giữa vôi, xi măng và tro bay, cũng như các chất hóa rắn khác. Những chất phụ gia này thường được gọi là chất kết dính vô cơ, trong khi ở nước ngoài chúng thường được gọi là chất kết dính thủy hóa.

Trong lĩnh vực xây dựng đường bộ, đường sắt và công trình dân dụng tại Việt Nam, loại đất được cải thiện từ các phương pháp này thường được gọi là "đất ổn định" hoặc "đất hóa rắn". Các phương pháp cải thiện bằng xi măng, vôi và tro bay đã được áp dụng rộng rãi trong ngành đường bộ và các lĩnh vực khác trong nhiều năm, mang lại nhiều kinh nghiệm quý báu. Các vật liệu kết dính truyền thống này đã giúp cải thiện đáng kể các đặc tính kỹ thuật của đất, làm tăng tính ổn định và khả năng chịu lực.

Kỹ thuật cải thiện đất đã nhận được sự công nhận rộng rãi và được áp dụng phổ biến trong các công trình sân bay và đường bộ từ những năm 1950. Hiện nay, trên thế giới, các chất phụ gia phổ biến dùng để cải thiện đất bao gồm: xi măng, vôi, hỗn hợp vôi và tro bay, nhựa đường, nhựa đường kết hợp với nhựa than, các hợp chất hữu cơ cation và các loại muối như natri clorua, canxi clorua, v.v.

Bên cạnh đó, cùng với sự gia tăng nhận thức và yêu cầu bảo vệ môi trường, việc tái sử dụng các loại xỉ công nghiệp và chất thải công nghiệp đã thúc đẩy sự phát triển của các loại vật liệu cải tiến mới. Những vật liệu này đang được áp dụng ngày càng rộng rãi trong các công trình đường bộ và công trình xây dựng dân dụng, góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế và bảo vệ môi trường.

3. Cải thiện vật lý

Tuyến phía Đông của tuyến đường sắt cao tốc Tần Thẩm nằm trên đồng bằng phù sa Liêu Hà, với địa tầng bề mặt chủ yếu là trầm tích Đệ Tứ gồm đất bột và cát mịn. Đây là nguồn vật liệu chính để đắp nền đường trong khu vực. Tại các đoạn từ A17 đến A20, trong quá trình thử nghiệm và xây dựng nền đường, các đơn vị thi công nhận thấy rằng đất bột, cát mịn và đất sét pha bột, dù được đầm nén bằng nhiều phương pháp, vẫn không đạt tiêu chuẩn yêu cầu về độ đầm nén.

Trước vấn đề này, các nghiên cứu thử nghiệm chuyên biệt đã được tiến hành, bao gồm nhiều phương pháp cải thiện vật lý và hóa học. Sau khi phân tích, phương pháp cải thiện vật lý được lựa chọn. Dựa trên kết quả thí nghiệm, các biện pháp cải thiện được áp dụng nhằm điều chỉnh cấp phối hạt của đất:

- Trộn đất sét pha bột với 20% cát trung đến thô.
- Trộn đất bột với 60% - 70% sỏi góc cạnh.
- Trộn cát mịn với 50% sỏi cuội.

Thử nghiệm cải thiện đất sét pha bột bằng cách trộn thêm cát trung đến thô cho thấy hệ số đầm nén K đạt từ 0,89 đến 0,96, cơ bản đáp ứng yêu cầu $K \geq 0,9$. Tuy nhiên, hệ số nền K_{30} chỉ đạt từ 41,4 đến 70,0 MPa/m^3, vẫn thấp hơn đáng kể so với tiêu chuẩn $K_{30} \geq 90$MPa/m^3.

Sau khi nghiên cứu và thử nghiệm nhiều tỷ lệ trộn cát trong phòng thí nghiệm và thực địa, tỷ lệ trộn tối ưu giữa đất sét pha bột và cát trung đến thô được xác định là 100:20. Tuy nhiên, sau khi cải thiện, kết quả thử nghiệm cho thấy đất bột cải thiện vẫn thuộc nhóm đất hạt mịn nhóm C.

4. Cải thiện hóa học

Phương pháp cải thiện hóa học được thực hiện bằng cách trộn một tỷ lệ nhất định các chất kết dính vô cơ (hoặc hữu cơ) như vôi sống, xi măng, tro bay hoặc các chất cải thiện hóa học khác vào đất. Các chất này phản ứng hóa học với thành phần đất, đặc biệt là các hạt đất sét hoạt động nhất, nhằm thay đổi bản chất và cải thiện đặc tính cơ học của đất.

4.1. Cải thiện đất bằng vôi

Vôi sống: Được sản xuất bằng cách nung đá vôi ở nhiệt độ 1000 - 1200°C sử dụng than đá, dầu nặng hoặc khí đốt. Vôi sống thường ở dạng khối trắng hoặc bột, có mật độ từ 3,2-3,4 g/cm^3. Vôi chất lượng cao chứa hàm lượng canxi oxit (CaO) lớn và lượng CO_2 thấp.

4.2. Nguyên lý hình thành độ bền của đất cải thiện bằng vôi

Dưới tác động của nước, vôi và đất xảy ra các phản ứng hóa học phức tạp, bao gồm: phản ứng trao đổi ion, phản ứng kết tinh của $Ca(OH)_2$, phản ứng carbonat hóa, và phản ứng núi lửa.

Ở giai đoạn đầu, đất cải thiện bằng vôi chủ yếu xảy ra phản ứng trao đổi ion, làm giảm độ dày của lớp màng nước hấp phụ trên bề mặt hạt đất, khiến các hạt đất kết tụ lại và hình thành cấu trúc dạng hạt. Các hạt đất trở nên thô hơn và độ dẻo giảm.

Ở giai đoạn sau, quá trình hình thành cấu trúc kết tinh diễn ra, làm tăng độ cứng, độ bền và tính ổn định của đất cải thiện bằng vôi.

4.3. Tác dụng trao đổi ion

Vôi sống, với thành phần chính là CaO, khi hòa trộn với nước sẽ xảy ra phản ứng phân hủy, tạo thành $Ca(OH)_2$ và một lượng nhỏ $Mg(OH)_2$. $Ca(OH)_2$ là chất điện giải mạnh, khi kết hợp với nước trong đất, sẽ xảy ra hiện tượng ion hóa, giải phóng ion canxi (Ca^{2+}) và ion hydroxyl (OH^-).

Các ion canxi (Ca^{2+}) và magiê (Mg^{2+}) có hóa trị cao sẽ thay thế và hấp phụ các ion hóa trị thấp như kali (K^+), natri (Na^+), và magiê (Mg^+) trên bề mặt các hạt keo đất. Điều này làm thay đổi trạng thái điện tích trên bề mặt các hạt keo, đồng thời giảm độ dày của màng nước hóa. Kết quả là các hạt đất kết tụ lại, hình thành các hạt

lớn hơn. Nhờ đó, độ phân tán, tính háo nước và khả năng trương nở của đất bị giảm, chỉ số dẻo (PI) giảm xuống. Các hạt đất nhỏ trở thành các hạt lớn hơn, thay đổi tính chất cơ học của đất và tăng khả năng chịu cắt.

Quá trình này diễn ra song song với sự ion hóa của $Ca(OH)_2$ và sự khuếch tán của ion Ca^{2+} trong đất. Phản ứng diễn ra nhanh chóng trong giai đoạn đầu, đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra cường độ ban đầu của đất cải thiện bằng vôi.

4.4. Tác dụng kết tinh của $Ca(OH)_2$

Khi vôi sống được trộn vào đất, phản ứng xảy ra chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố như độ ẩm, hàm lượng khoáng chất trong đất sét và lượng CO_2 trong môi trường. Trong quá trình này, chỉ một phần $Ca(OH)_2$ thực sự bị ion hóa và tham gia vào phản ứng hóa học. Phần $Ca(OH)_2$ không ion hóa tiếp tục kết hợp với nước để tạo thành $Ca(OH)_2 \cdot nH_2O$ - một dạng tinh thể chứa nước.

$Ca(OH)_2 \cdot nH_2O$ giúp chuyển hóa $Ca(OH)_2$ từ dạng keo sang dạng tinh thể. Các tinh thể này liên kết với nhau và kết hợp với các hạt đất, tạo thành một cấu trúc đồng tinh thể, liên kết các hạt đất thành một khối vững chắc. Đặc biệt, dạng tinh thể của $Ca(OH)_2$ có độ hòa tan thấp hơn (khoảng bằng một nửa) so với dạng không kết tinh, nhờ đó cải thiện đáng kể độ ổn định của đất khi tiếp xúc với nước.

5. Tác dụng của tro núi lửa

Ở giai đoạn sau của phản ứng trao đổi ion, các thành phần hoạt tính trong đất như SiO_2 và Al_2O_3, dưới tác động của môi trường kiềm mạnh do vôi tạo ra, sẽ xảy ra phản ứng tro núi lửa. Phản ứng này tạo ra các hợp chất thủy hóa dạng gel của vôi, bao gồm:

- Canxi silicat thủy hóa ($CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$),
- Canxi aluminat ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O$),
- Felspat canxi-alumin ($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$).

Các chất này có tính chất xi măng thủy hóa, nghĩa là chúng có khả năng bền vững với nước, là một loại chất kết dính tốt. Chúng cứng lại trong môi trường đất chứa cả hai pha rắn và lỏng, đồng thời hình thành một lớp màng bảo vệ ổn định quanh các hạt đất sét, có lực kết dính cao, giúp liên kết các hạt đất lại với nhau. Nhờ đó, độ bền và tính ổn định của đất cải thiện đáng kể và duy trì trong thời gian dài.

Lớp màng bảo vệ còn có tác dụng cách ly, ngăn không cho nước thấm vào. Sự kết hợp giữa tác dụng kết tinh và phản ứng tro núi lửa làm thay đổi đáng kể các đặc tính kỹ thuật của đất, giúp tăng mạnh độ bền cắt, đồng thời là yếu tố quan trọng giúp đất được cải thiện về cường độ và tính ổn định với nước.

6. Phản ứng carbonat hóa

Trong đất, các hợp chất $Ca(OH)_2$ và $Mg(OH)_2$, được tạo ra từ quá trình phân giải vôi sống, sẽ liên tục phản ứng với CO_2 trong không khí để hình thành $CaCO_3$ và $MgCO_3$. Phản ứng này được thể hiện qua các phương trình sau:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

$$Mg(OH)_2 + CO_2 \rightarrow MgCO_3 + H_2O$$

$CaCO_3$ là một tinh thể cứng, có độ bền cao và khả năng ổn định với nước. Nó có tác dụng kết dính các hạt đất, giúp gia cố và làm cứng đất. CO_2 có thể xâm nhập vào lỗ rỗng trong hỗn hợp đất - vôi qua không khí hoặc nước mưa, hoặc được tạo ra từ chính đất. Khi bề mặt đất vôi trải qua quá trình cacbonat hóa, một lớp vỏ cứng hình thành, ngăn chặn sự thâm nhập thêm của CO_2. Vì vậy, quá trình này diễn ra trong thời gian dài và đóng vai trò quan trọng trong việc tăng cường độ bền của đất vôi ở giai đoạn sau.

Ngoài ra, khi vôi sống tiếp xúc với nước, nó còn xảy ra hiện tượng hấp thụ nước, tỏa nhiệt và giãn nở thể tích. Theo nghiên cứu, 1 kg CaO khi phản ứng với nước có thể tỏa ra khoảng 280 kcal nhiệt lượng và làm thể tích tăng gần gấp đôi. Phản ứng này đặc biệt hiệu quả với đất sét có độ ẩm cao, giúp đất được nén chặt hơn, giảm lượng nước và tăng cường độ bền.

Tóm lại, khi vôi được thêm vào đất và phản ứng với nước:

- Các hạt đất được tập hợp lại, tạo thành cấu trúc gel liên kết.
- Theo thời gian, các tinh thể dạng que và sợi phát triển, hình thành mạng lưới kết tinh.
- Cấu trúc gel dần dày hơn và mạng lưới kết tinh chặt chẽ hơn, chuyển hóa thành cấu trúc hỗn hợp gel-kết tinh.

Phản ứng trao đổi ion giúp cải thiện tính ổn định của đất ở giai đoạn đầu, trong khi phản ứng cacbonat hóa và tro núi lửa đóng vai trò quyết định trong việc tăng cường độ bền và độ ổn định lâu dài, biến đổi cấu trúc đất từ dạng tập hợp sang dạng kết tinh và tăng độ cứng một cách liên tục.

V. THIẾT KẾ VẬT LIỆU ĐẮP CẢI TẠO ĐẤT

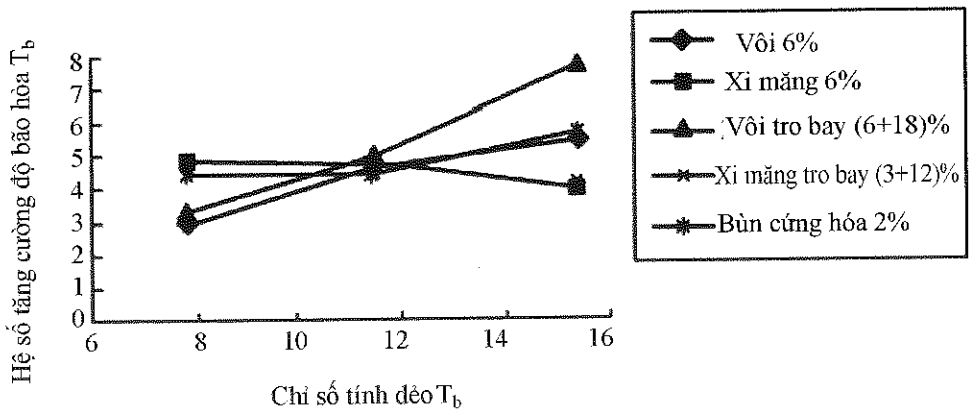
1. Lựa chọn vật liệu bổ sung

Các vật liệu bổ sung cho đất cải tạo chủ yếu thuộc dòng xi măng và vôi. Tro bay thường được sử dụng cùng với xi măng hoặc vôi như một chất cải tạo để nâng cao khả năng chống nứt, chống ăn mòn và giảm chi phí của đất cải tạo.

Trong *"Quy tắc kỹ thuật thi công nền móng đường bộ"* (JTG/T F20-2015), ngành giao thông đường bộ Trung Quốc quy định:

- Đối với lớp nền phụ của đường cao tốc và đường cấp một, đất ổn định bằng xi măng nên được chọn khi chỉ số dẻo nhỏ hơn 12.
- Đối với đất có chỉ số dẻo lớn hơn 17, nên sử dụng vôi hoặc kết hợp vôi và xi măng để ổn định.

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, hiệu quả ổn định tốt nhất của đất cải tạo bằng xi măng là đối với đất cát sỏi, tiếp theo là đất bột và đất sét. Mối quan hệ giữa chỉ số dẻo và mức tăng cường độ bão hòa được thể hiện trong Hình 2-3-1.



Hình 2-3-1: *Mối quan hệ giữa chỉ số dẻo và hệ số tăng cường độ bão hòa*

Do đó, trong *"Quy phạm kỹ thuật xử lý nền móng công trình đường sắt"* (TB 10106-2010), quy định rằng:

Đối với đất cải tạo bằng xi măng, chỉ số dẻo nên nhỏ hơn 12, hàm lượng chất hữu cơ không vượt quá 2%, và hàm lượng sulfate không lớn hơn 0,25%.

- Xi măng nên sử dụng xi măng Portland thông thường hoặc xi măng Portland xỉ, với cường độ từ 32.5 đến 42.5. Thời gian đông kết ban đầu không nhỏ hơn 3.0 giờ, và thời gian đông kết cuối không nhỏ hơn 6.0 giờ. Không sử dụng xi măng đông cứng nhanh, xi măng cường độ sớm hoặc xi măng bị ẩm mốc, biến chất.

Đối với đất nguyên liệu cải tạo bằng vôi:

- Chỉ số dẻo nên lớn hơn 12, hàm lượng chất hữu cơ không vượt quá 5%, và hàm lượng sulfate không vượt quá 0,8%.
- Vôi nên sử dụng vôi sống chất lượng cao loại một hoặc đạt tiêu chuẩn, với hàm lượng CaO + MgO không nhỏ hơn 80%, hàm lượng CO_2 không lớn hơn 9%, và hàm lượng cặn chưa phân hủy (dưới sàng lỗ tròn 5 mm) không vượt quá 15%.

Đối với tro bay:

- Hàm lượng ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) không nhỏ hơn 70%.
- Chất lượng phải tuân thủ tiêu chuẩn hiện hành của *"Tiêu chuẩn tro bay"* (GB1596) cấp II, với yêu cầu:
  - Độ mịn (sàng lỗ 0,045 mm) không vượt quá 20%,
  - Hàm lượng SO_3 không lớn hơn 3%,
  - Hàm lượng chất cháy không vượt quá 8%.

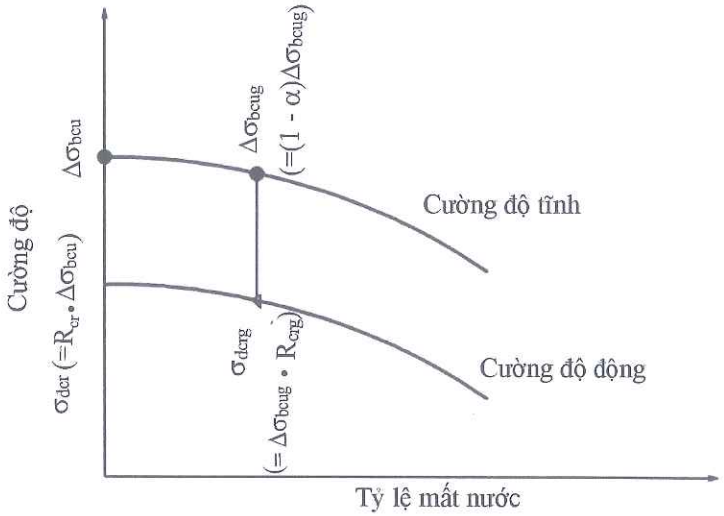
2. Thiết kế tỷ lệ cấp phối

Đường sắt cao tốc yêu cầu tỷ lệ cấp phối đất cải tạo cho nền đường phải đảm bảo cường độ, độ cứng và khả năng chịu biến dạng ngay cả trong điều kiện khí hậu khắc nghiệt nhất. Vì vậy, cần thực hiện thiết kế tập trung vào các yếu tố: cường độ, độ biến dạng, và tính ổn định khi tiếp xúc với nước.

3. Thiết kế cường độ

3.1. Xác định ứng suất động cho phép

Độ bền động của đất cải tạo trong lớp nền đường sắt cao tốc (xem Hình 2-3-2) phải thỏa mãn yêu cầu của công thức sau đây.



Hình 2-3-2: *Sơ đồ minh họa sự suy giảm cường độ*

$$[\sigma_d] \geq \beta \,.\, \sigma_{zL} \qquad (2\text{-}3\text{-}1)$$

trong đó:

$[\sigma_d]$ - ứng suất động cho phép của đất cải tạo trong điều kiện bất lợi nhất;

β - hệ số dao động ứng suất động của đoàn tàu;

σ_{zL} - ứng suất động của đoàn tàu tại độ sâu bất kỳ Z dưới bề mặt lớp đệm.

$$[\sigma_d] = \frac{\sigma_{dcrg}}{K} \tag{2-3-2}$$

trong đó:

K - hệ số an toàn;

σ_{dcrg} - ứng suất động giới hạn của đất cải tạo sau chu kỳ khô - ướt;

$$\sigma_{dcrg} = \Delta\sigma_{bcug}.R_{crg} = (1-\alpha)\Delta\sigma_{bcug}.R_{crg}$$

$$QR_{crg} \approx R_{cr}$$

$$\sigma_{dcrg} = (1-\alpha)\Delta\sigma_{bcu}.R_{cr} \tag{2-3-3}$$

Giải thích các ký hiệu trong Hình 2-3-2 và công thức (2-3-3):

$\Delta\sigma_{bcu}$ - cường độ tĩnh bão hòa (thử nghiệm nén không thoát nước);

$\Delta\sigma_{bcug}$ - cường độ tĩnh bão hòa sau chu kỳ thô - ướt (thử nghiệm nén không thoát nước;

α - tỷ lệ mất cường độ tĩnh sau chu kỳ khô - ướt;

σ_{dcrg} - ứng suất động giới hạn (trong điều kiện bão hòa);

R_{cr} - tỷ lệ động - tĩnh;

R_{crg} - tỷ lệ động - tĩnh sau chu kỳ khô - ướt.

Cường độ tĩnh bão hòa trong điều kiện ngâm nước $\Delta\sigma_{bcu}$ thường được xác định thông qua thử nghiệm. Khi thiếu dữ liệu, có thể tính toán theo công thức (2-3-4):

$$\sigma_{bcu} = \eta_b \,.\, \Delta\sigma_{cu} \tag{2-3-4}$$

trong đó:

η_b - hệ số suy giảm cường độ tĩnh bão hòa;

$\Delta\sigma_{cu}$ - cường độ cắt không thoát nước trong điều kiện độ ẩm tối ưu.

3.2. Xác định các tham số

(1) Ứng suất động của đoàn tàu

Ứng suất động trên bề mặt đường nền là một hàm ngẫu nhiên liên quan đến tốc độ tàu, tải trọng trục, đặc tính động của đầu máy toa xe, kết cấu đường ray, sự không bằng phẳng của đường ray, độ sâu từ đáy ray và trạng thái của đường nền.

Biên độ ứng suất động được sử dụng trong thiết kế đường nền được xác định dựa trên kết quả nghiên cứu các thông số kỹ thuật đường nền đường sắt cao tốc của Viện Khoa học Đường sắt.

$$\sigma_{xl} = 0.26.P.(1 + \alpha v) \quad (2\text{-}3\text{-}5)$$

trong đó:

α - hệ số, với đường sắt cao tốc không mối nối $\alpha = 0.003$, và với các đường sắt không mối nối khác $\alpha = 0.004$;

P - tải trọng trục tĩnh của đầu máy toa xe (kN);

V - tốc độ tàu (km/h).

Động ứng suất do đoàn tàu gây ra ở bất kỳ độ sâu nào trong lớp nền đường sắt có đá ballast có thể được xác định theo Bảng 2-3-8.

Bảng 2-3-8. Động ứng suất của đoàn tàu trên lớp nền đường sắt

Độ sâu dưới mặt đường cơ sở Z (m)	Hệ số suy giảm động ứng suất η	Ứng suất động của đoàn tàu ở bất kỳ độ sâu nào
0	1.0	$\sigma_{zL} = \eta\sigma_l$
0.3	0.75	
0.4	0.67	
0.5	0.61	
0.7	0.50	
1.0	0.39	
2.5	0.22	

Chú thích:

1- Hệ số suy giảm ứng suất động theo độ sâu trong bảng được trích từ "Nghiên cứu phương pháp đánh giá chất lượng nền đường tuyến Quảng Châu - Thâm Quyến".

2- Ứng suất động của đoàn tàu trên bề mặt nền đường được xác định bằng công thức khuyến nghị trong "Nghiên cứu điều kiện kỹ thuật thiết kế nền đường sắt cao tốc".

(2) Hệ số dao động ứng suất động β:

Các nghiên cứu thực nghiệm trong và ngoài nước chỉ ra rằng độ dao động của ứng suất động phụ thuộc vào trạng thái của kết cấu thượng bộ. Khi kết cấu thượng bộ tốt, độ dao động của tải trọng động sẽ nhỏ. Đối với đường sắt cao tốc và tuyến chuyên chở hành khách, trạng thái tuyến đường tốt hơn so với đường sắt thông thường, nhưng vẫn tồn tại mức dao động nhất định. Giá trị β được chọn là 1,2 đối với đường sắt cao tốc và tuyến chuyên chở hành khách, và là 1,5 đối với tuyến đường hỗn hợp hành khách - hàng hóa.

(3) Hệ số suy giảm cường độ do chu kỳ khô - ướt η_g (hoặc tỷ lệ mất cường độ α):

Mức độ suy giảm cường độ do chu kỳ khô - ướt và hệ số suy giảm cường độ của đất cải tạo chủ yếu phụ thuộc vào đặc tính đất và tỷ lệ mất nước. Giá trị này được xác định bởi điều kiện khí hậu vùng và vị trí trong công trình.

- Ở miền Bắc Việt Nam, do bốc hơi mạnh trong mùa khô và tỷ lệ mất nước bề mặt cao, chu kỳ khô - ướt xảy ra mạnh mẽ. Tỷ lệ mất nước tối đa của đất cải tạo trong lớp trên của nền đường có thể lấy là 45%, trong lớp đáy nền đường là 30%, và trong lớp dưới nền đường là 15%.
- Đối với các khu vực miền Nam có khí hậu ẩm ướt và mưa nhiều, do cường độ chu kỳ khô - ướt thấp hơn, tỷ lệ mất nước có thể được giảm đi.

(4) Hệ số suy giảm cường độ do chu kỳ đóng băng - tan chảy η_d:

Trong mùa mưa, nền đường sắt thường đạt trạng thái bão hòa do thoát nước kém, làm giảm đáng kể khả năng chịu tải của nền đường. Trên tuyến đường sắt cao tốc Bắc Kinh - Thượng Hải, đất cải tạo trong lớp đáy nền đường được thiết kế để chống chịu tình trạng bão hòa, vì lớp trên của nền đường thường sử dụng vật liệu đá dăm (hoặc cát sỏi) đã qua phối trộn, nhưng vẫn có khả năng nước mặt thấm vào gây bão hòa. Do đó, để đảm bảo an toàn, cường độ thiết kế cần được tính toán dựa trên trạng thái bão hòa.

(5) Tỷ lệ động - tĩnh R_{cr}:

Đất cải tạo trong nền đường phải đáp ứng yêu cầu chịu ứng suất động từ tàu hỏa. Tuy nhiên, trong thực tế, việc thực hiện các thí nghiệm động học để xác định ứng suất động tới hạn của từng loại đất là rất khó khăn. Do đó, để đơn giản hóa, có thể sử dụng cường độ tĩnh làm cơ sở, sau đó nhân với tỷ lệ động - tĩnh R_{cr} để tính ra ứng suất động tới hạn.

Thông qua nhiều thí nghiệm động học trên các loại đất cải tạo khác nhau, nhận thấy tỷ lệ động - tĩnh R_{cr} có phạm vi biến đổi rất nhỏ, không có mối liên hệ rõ ràng với loại đất hoặc chất cải tạo, và giá trị này tương đối ổn định. Giá trị trung bình của R_{cr} là 0,5, trong khi giá trị tối thiểu trung bình là 0,45. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trong và ngoài nước:

- Theo nghiên cứu của Liên Xô, tỷ lệ động - tĩnh của đất sét là 0,4, và của đất sét pha cát là 0,5.
- Viện Khoa học Đường sắt Trung Quốc xác định tỷ lệ động - tĩnh của cát sỏi phối trộn là 0,54.

Những kết quả này chứng minh tính ổn định và độ tin cậy của tỷ lệ động - tĩnh R_{cr}. Vì vậy, giá trị đề xuất cho đất cải tạo là $R_{cr} = 0.50$.

(6) Hệ số an toàn K:

Trong tính toán cường độ, cả cường độ động và cường độ tĩnh đều dựa trên cường độ giới hạn. Mặc dù các yếu tố khí hậu, dao động ứng suất động do tàu hỏa, và các yếu tố khác đã được cân nhắc, nhưng vẫn tồn tại nhiều yếu tố bất lợi không lường trước được. Do đó, cần có một hệ số an toàn phù hợp. Hệ số an toàn được khuyến nghị là $K = 1.5$ đến 2.0.

4. Thiết kế biến dạng

Theo các nghiên cứu của Viện Khoa học Đường sắt Trung Quốc và Đại học Giao thông Tây Nam, khi mô đun đàn hồi của lớp trên nền đường $E_1 = 180$ MPa và mô đun đàn hồi của lớp đáy nền đường $E_2 > 34$ MPa, các yêu cầu về biến dạng đàn hồi đều được đảm bảo.

Mô đun đàn hồi động của đất cải tạo dưới tác động của chu kỳ khô - ướt dao động từ 50 MPa đến 183MPa, vượt xa yêu cầu tối thiểu 34 MPa. Vì vậy, đối với thiết kế tỷ lệ phối trộn đất cải tạo cho đường sắt cao tốc và các tuyến đường sắt chuyên dụng chở khách, việc thiết kế dựa trên biến dạng không cần thiết phải tính toán chi tiết.

Tuy nhiên, đối với các tuyến đường sắt cấp I và cấp II, cần thực hiện kiểm tra biến dạng theo điều kiện thực tế của nền đường để đảm bảo an toàn và hiệu quả vận hành.

5. Thiết kế đảm bảo ổn định nước

Đối với đất cải tạo, đặc biệt là các loại đất có tính chất đặc biệt, sự thất bại trong ứng dụng không chỉ liên quan đến cường độ mà còn phụ thuộc vào khả năng ổn định nước. Các thí nghiệm đã cho thấy rằng khi tỷ lệ trộn chất cải tạo đạt đến một mức nhất định, hiện tượng sụp lở sẽ không xảy ra. Do đó, trong thiết kế tỷ lệ phối trộn đất cải tạo cho đường sắt cao tốc, cần đảm bảo rằng sau 28 ngày bảo dưỡng, mẫu đất cải tạo không có hiện tượng sụp lở.

Đối với một số loại đất đặc biệt như đất trương nở, cần tiến hành các thí nghiệm thấm nước nhiều lần để xác định tỷ lệ trộn chất cải tạo tối thiểu. Quy trình thông thường bao gồm chuẩn bị mẫu đất cải tạo theo tỷ lệ phối trộn đáp ứng yêu cầu cường độ, sau đó bảo dưỡng và thực hiện thí nghiệm thấm nước. Khi mẫu đạt yêu cầu không còn hiện tượng sụp lở, tỷ lệ phối trộn được xem là đáp ứng đầy đủ yêu cầu ổn định nước.

6. Các vấn đề cần lưu ý

(1) Trong thiết kế đất cải tạo, cần đánh giá toàn diện sự tương tác giữa lớp đất cải tạo, móng đường và nền móng bên dưới để đảm bảo lớp đất cải tạo được xây dựng trên một nền móng ổn định và chắc chắn.

(2) Lớp đất cải tạo cần đảm bảo đủ độ dày, tối thiểu phải đạt 0,5 m.

(3) Hệ thống thoát nước cho đường nền đất cải tạo phải được thiết kế và thực hiện tốt, đặc biệt ở các vùng có khí hậu lạnh giá hoặc nơi mực nước ngầm cao, để bảo vệ lớp đất cải tạo khỏi ảnh hưởng của nước ngầm và nước mao dẫn.

(4) Biện pháp bảo vệ mái dốc cần được thực hiện nhằm tránh sự hư hỏng cho lớp đất cải tạo, đồng thời cải thiện cảnh quan môi trường xung quanh.

(5) Tại những khu vực đất yếu, khi đắp đường nền bằng đất cải tạo, cần thực hiện các biện pháp gia cố nền đáng tin cậy để ngăn ngừa hiện tượng lún không đồng đều. Điều này đặc biệt quan trọng tại các khu vực chuyển tiếp, giúp tránh tình trạng nứt ngang và nứt dọc của lớp đất cải tạo.

(6) Trước khi áp dụng các loại phụ gia cải tạo mới, cần tiến hành thử nghiệm đầy đủ trong phòng và thực địa để xác nhận tính khả thi và hiệu quả của chúng.

VI. CÔNG NGHỆ KIỂM TRA CHẤT LƯỢNG ĐẦM NÉN NỀN ĐƯỜNG

Đường sắt cao tốc, so với đường sắt thông thường, đòi hỏi độ bằng phẳng và ổn định vượt trội, yêu cầu nền đường đảm bảo độ bền và độ cứng cao hơn với vai trò là một công trình đất. Cụ thể, lớp móng và nền đường cần đáp ứng các tiêu chí sau:

(1) Độ biến dạng đàn hồi do tải trọng động sinh ra khi tàu chạy ở tốc độ cao phải được kiểm soát trong giới hạn cho phép (đảm bảo tính đàn hồi).

(2) Dưới tác động lâu dài của tải trọng động, nền đường không được xảy ra hiện tượng tích lũy biến dạng dẻo dẫn đến phá hủy, đảm bảo tính bền vững, thể hiện qua mức độ lún không được vượt ngưỡng cho phép.

Để đáp ứng những yêu cầu trên và duy trì kiểm soát chất lượng, các quốc gia phát triển đường sắt cao tốc đã thiết lập các hệ thống kiểm soát chất lượng đầm nén nền đường phù hợp và hiệu quả.

1. Phương pháp kiểm tra chất lượng đầm nén của vật liệu đắp nền đường

1.1. Giới thiệu về các phương pháp kiểm tra

Cùng với sự phát triển của công nghệ, các phương pháp và thiết bị đo chất lượng đầm nén của vật liệu đắp cũng không ngừng được cải tiến. Xu hướng hiện nay là đáp ứng nhu cầu thi công nhanh chóng và chính xác. Năm 1930, kỹ sư người Mỹ Proctor đã phát hiện rằng trọng lượng khô của đất (γ_e) thay đổi theo hàm lượng nước (w) khi tác dụng năng lượng đầm nén nhất định. Phương pháp này, thông qua thí nghiệm

đầm nén trong phòng và thi công thực tế, cho phép xác định độ ẩm tối ưu và mật độ khô lớn nhất, từ đó hướng dẫn thi công và sử dụng độ chặt làm tiêu chuẩn kiểm tra chất lượng đầm nén. Ban đầu, các phương pháp phổ biến gồm vòng dao và cát rót (hoặc nước rót).

1.2. Phương pháp truyền thống

• Các phương pháp truyền thống như vòng dao hoặc cát rót yêu cầu thời gian làm khô mẫu để xác định độ ẩm, thường mất vài giờ hoặc lâu hơn. Điều này không phù hợp với nhu cầu thi công hiện đại. Để khắc phục, các thiết bị sử dụng kỹ thuật phóng xạ đo mật độ và độ ẩm đất đã được phát triển từ những năm 1970. Phương pháp này cho phép kiểm tra nhanh tại hiện trường nhưng độ chính xác chưa cao, do đó thường được sử dụng kết hợp với các phương pháp truyền thống.

1.3. Thử nghiệm CBR và khả năng chịu lực

Để đánh giá khả năng chịu tải của vật liệu nền đường, Mỹ đã phát triển thí nghiệm CBR (California Bearing Ratio). Tuy nhiên, do hạn chế về kích thước đầu nén và độ sâu xuyên, phương pháp này không phản ánh đầy đủ chất lượng đầm nén. Vì vậy, phương pháp thí nghiệm tấm chịu tải được áp dụng, với tấm chịu tải có đường kính 30-75 cm, giúp đánh giá khả năng chống biến dạng của vật liệu đắp ở độ sâu gấp 2-3 lần đường kính tấm. Tại Trung Quốc, chỉ số K_{30} được sử dụng để kiểm tra chất lượng nền đường.

1.4. Đo động mô đun biến dạng

Sự ra đời của đường sắt cao tốc đòi hỏi nền đường phải chịu được tải trọng động lớn. Dưới tác động của tải trọng động, nền đường thể hiện tính chất động học, do đó cần kiểm soát biến dạng động để đảm bảo chất lượng. Đức đã phát triển chỉ số mô đun biến dạng động (E_{vd}) và áp dụng cho đường sắt cao tốc từ năm 1997. Tại Trung Quốc, thiết bị đo E_{vd} cũng đã được phát triển và bắt đầu ứng dụng nghiên cứu. Tuy nhiên, để Evd có thể thay thế K_{30}, cần thiết lập mối quan hệ đáng tin cậy giữa hai chỉ số này.

1.5. Hệ thống kiểm soát chất lượng tại Trung Quốc

Trung Quốc áp dụng nhiều chỉ số để kiểm soát chất lượng đầm nén, bao gồm:

- Hệ số nền K_{30}.
- Hệ số đầm nén K (đối với đất mịn).
- Độ rỗng n (đối với đất thô và đất đá dăm).
- Mô đun biến dạng động E_{vd}.
- Mô đun biến dạng E_{v2}.

Dựa trên kinh nghiệm thực tế và tham khảo các tiêu chuẩn kỹ thuật từ Đức, việc sử dụng đa chỉ số giúp đảm bảo chất lượng và độ tin cậy cao cho nền đường cao tốc.

2. Phương pháp kiểm tra chất lượng đầm nén nền đường

2.1. Phương pháp kiểm tra độ chặt

Độ chặt của nền đường thường được đánh giá thông qua hệ số đầm nén K hoặc độ rỗng n. Hệ số đầm nén K đối với đất mịn được định nghĩa là tỷ lệ giữa khối lượng thể tích khô của đất tại hiện trường sau khi đầm nén và khối lượng thể tích khô lớn nhất được xác định bằng thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn (đầm nén nặng).

Thông thường, khối lượng thể tích khô lớn nhất của một loại đất cụ thể là tương đối ổn định, do đó, việc kiểm tra hệ số đầm nén thực chất là kiểm tra khối lượng thể tích khô của đất tại hiện trường sau khi đầm nén.

Hiện nay, các phương pháp chính để đo khối lượng thể tích của đất nền bao gồm:

- Phương pháp vòng dao.
- Phương pháp cát rót.
- Phương pháp nước rót.
- Phương pháp sử dụng thiết bị đo độ ẩm và khối lượng thể tích bằng phóng xạ hạt nhân.

2.2. Thử nghiệm hệ số nền E_{vd}

Thử nghiệm hệ số nền K_{30} được thực hiện bằng cách sử dụng một tấm tải trọng cứng có đường kính 30 cm trong thí nghiệm nén đơn hướng tuần hoàn. Trong quá trình thử nghiệm, áp suất trên mỗi đơn vị diện tích của tấm tải trọng và độ lún tại điểm trung tâm của tấm được đo để vẽ đường cong quan hệ. Sau đó, bằng cách nội suy tuyến tính, xác định áp suất đơn vị trên tấm tải trọng tương ứng với độ lún 1.25 mm ($\sigma_{1.25}$).

Hệ số nền K_{30} được định nghĩa là tỷ số giữa $\sigma_{1.25}$ và 1.25 mm, cụ thể:

$$K_{30} = \frac{\sigma}{S} = \frac{\sigma_{1.25}}{1.25(mm)} \tag{2-3-6}$$

trong đó:

Đơn vị của K_{30} là MPa/m.

2.3. Thử nghiệm tải trọng tấm động và mô đun biến dạng động E_{vd}

Khi nền đường chịu tác động của tải trọng động từ tàu cao tốc, nền đường thể hiện hành vi động, tạo ra biến dạng động. Để đảm bảo an toàn và vận hành êm ái

cho tàu, cần kiểm soát biến dạng động của nền đường. Hiện nay, mô đun biến dạng động E_{vd} là chỉ số được sử dụng rộng rãi để đánh giá đặc tính động của nền đường.

• ***Khái niệm***

Mô đun biến dạng động E_{vd} được định nghĩa là tham số phản ánh khả năng chống biến dạng của nền đường hoặc vật liệu nền đường dưới tác động của lực thẳng đứng E_s và thời gian tác động T_s. Giá trị E_{vd} có quan hệ mật thiết với loại đất, độ ẩm, độ chặt, độ bền, và trạng thái ứng suất của đất.

• ***Công thức tính***

$$E_{vd} = 1.5 \cdot r \cdot \frac{\sigma}{S} \tag{2-3-7}$$

trong đó:

E_{vd} - mô đun biến dạng động (MPa);

r - bán kính của tấm tải trọng tròn cứng (mm), thường lấy $r = 150$mm;

σ - ứng suất động tối đa dưới tấm tải trọng (MPa), được xác định với lực tác động tối đa $E_s = 7.07$kN và thời gian tác động $T_s = 18$ms. Khi $r = 150$ mm, giá trị $\sigma = 0.1$ MPa;

S - biên độ lún đo được dưới tấm tải trọng, hay độ lún của tấm tải trọng (mm);

1.5 - hệ số ảnh hưởng của hình dạng tấm tải trọng.

2.4. Thử nghiệm mô đun biến dạng E_{v2}

Thử nghiệm mô đun biến dạng E_{v2} được thực hiện bằng cách sử dụng tấm tải trọng tròn và thiết bị tải trọng. Quá trình bao gồm việc thực hiện một lần tải và dỡ tải đầu tiên, sau đó thực hiện lần tải thứ hai. Dựa vào ứng suất dưới tấm tải trọng (σ\sigmaσ) và độ lún tại trung tâm tấm tải trọng (S) đo được, mô đun biến dạng E_{v2} và tỷ lệ E_{v2} / E_{v1} được tính toán.

• ***Phương pháp thử nghiệm***

Trong các tuyến đường sắt không đá ballast dành cho tàu khách, chỉ số kiểm soát chất lượng lấp nền đã bổ sung thêm mô đun biến dạng E_{v2}. Phương pháp thử nghiệm này tương tự như thử nghiệm hệ số nền K_{30}, nhưng có sự khác biệt ở các bước thực hiện, cách xử lý dữ liệu, và phương pháp tính toán.

• ***Cơ sở lý thuyết***

Công thức tính toán mô đun biến dạng dựa trên lý thuyết tải trọng cục bộ hình tròn trên bán không gian đàn hồi:

$$E_0 = 0.79 \cdot \left(1 - \mu^2\right) \cdot d \cdot \frac{\sigma}{S} \qquad (2\text{-}3\text{-}8)$$

trong đó:

E_0 - mô đun biến dạng (MPa);

μ - hệ số Poisson, thường lấy $\mu = 0.21$;

d - đường kính của tấm tải trọng (m);

σ - ứng suất dưới tấm tải trọng (MPa);

S - độ lún tại trung tâm tấm tải trọng (mm).

Để tính toán trong thực tế, công thức được chuyển sang dạng gia số:

$$E_{v2} = 1.5 \cdot r \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta S} \qquad (2\text{-}3\text{-}9)$$

trong đó:

E_{v2} - mô đun biến dạng thứ hai (MPa);

r - bán kính của tấm tải trọng (m);

$\Delta\sigma$ - gia số ứng suất giữa lần tải thứ hai và lần dỡ tải đầu tiên (MPa);

ΔS - gia số độ lún giữa các lần tải (mm).

CHƯƠNG 4. CÔNG NGHỆ KIỂM SOÁT LÚN NỀN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. TỔNG QUAN

Vấn đề kiểm soát biến dạng lún là một thách thức lớn mang tính toàn cầu. Việc kiểm soát lún và biến dạng là yếu tố cốt lõi trong thiết kế nền đường, nhằm cung cấp một cơ sở hạ tầng đường ray có độ bằng phẳng, đồng đều và ổn định cho các đoàn tàu cao tốc. Điều này đòi hỏi phải sử dụng các cấu trúc nền đường khác nhau. Tuy nhiên, nền đường được tạo thành từ vật liệu rời là phần yếu nhất và không ổn định nhất trong toàn bộ kết cấu tuyến, đồng thời cũng là nguyên nhân chính gây ra biến dạng đường ray.

Các quốc gia như Nhật Bản và châu Âu đã đạt được tốc độ cao trên đường sắt thông qua việc áp dụng các tiêu chuẩn cao, chi phí lớn cho việc gia cố cấu trúc tuyến và sử dụng các kỹ thuật bảo dưỡng chất lượng cao để khắc phục nhược điểm này.

Cùng với việc triển khai quy mô lớn các dự án đường sắt chuyên chở hành khách tại Trung Quốc, vấn đề kiểm soát lún và biến dạng nền đường ngày càng nhận được sự quan tâm của các nhà xây dựng. Tiêu chuẩn kiểm soát lún và biến dạng nền đường đã trải qua quá trình phát triển từ nhận thức, thực tiễn đến tái nhận thức, và tiêu chuẩn kiểm soát lún cũng được nâng cao dần.

Để đáp ứng yêu cầu về độ bằng phẳng của đường ray trên đường sắt cao tốc, ngoài việc yêu cầu sự chuyển tiếp đồng đều về độ cứng của nền đường, việc kiểm soát chặt chẽ lún sau thi công và lún không đều là một bước không thể thiếu. Về mặt khái niệm, lún không đều và lún đều được bao gồm trong lún sau thi công. Mục tiêu của thiết kế và thi công nền đường là giảm thiểu tối đa lún sau thi công và loại bỏ lún không đều.

II. TIÊU CHUẨN KIỂM SOÁT LÚN SAU THI CÔNG CỦA NỀN ĐƯỜNG

1. Định nghĩa và tiêu chuẩn kiểm soát lún sau thi công

Lún sau thi công được hiểu là "lượng lún còn lại của toàn bộ công trình sau khi các vị trí quan trọng của kết cấu trên được nghiệm thu". Đây còn được gọi là

"lún dư", và nó đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an toàn vận hành của tàu cao tốc, giảm khối lượng bảo trì, kéo dài tuổi thọ của đường ray và các cấu trúc liên quan. Đối với nền đường không đá ballast, lún sau thi công thường phải nhỏ hơn giới hạn điều chỉnh độ cao của hệ thống gắn kết ray.

Các dạng lún xảy ra sau thi công của nền đường gồm:

- Biến dạng lớp nền dưới tải trọng tàu: Đây là dạng biến dạng đàn hồi, có thể phục hồi, liên quan đến độ cứng của lớp nền. Khi sử dụng lớp nền gia cường, giá trị này thường nhỏ, không vượt quá 1 mm.

- Lún nén thân đắp đường: Do trọng lượng bản thân của thân đắp đường gây ra. Khi sử dụng vật liệu đắp chất lượng cao và kiểm soát tốt độ nén chặt, lún sau thi công thường nhỏ hơn 1/1000 chiều cao đắp, và hầu hết hoàn thành trong vòng 6 - 12 tháng sau hoàn công.

- Lún nén nền móng: Là dạng lún quan trọng nhất, đặc biệt với nền móng yếu. Lún nén nền móng không chỉ có giá trị lớn mà còn kéo dài trong thời gian dài.

• ***Kiểm soát lún sau thi công***

- Biến dạng tích lũy lớp nền: Là dạng biến dạng nhựa không thể phục hồi khi lớp nền chịu tải trọng động lặp đi lặp lại. Việc sử dụng lớp nền gia cường giúp giảm thiểu đáng kể biến dạng này.

- Lún nén thân đắp đường: Có thể kiểm soát thông qua việc sử dụng vật liệu đắp chất lượng cao và lên kế hoạch thời gian hợp lý cho thi công đường ray.

• ***Mục tiêu xử lý nền móng:***

Quá trình xử lý nền móng cần đảm bảo lún sau thi công nằm trong giới hạn cho phép. Giới hạn này được tính toán như sau:

Giới hạn lún sau thi công nền móng = Giới hạn lún tại mặt nền đường - Lún nén thân đắp đường sau thi công.

Nếu thân đắp đường được để ổn định hơn 12 tháng sau khi hoàn công, có thể coi lún nén của thân đắp đường đã hoàn tất.

• ***Xác định tiêu chuẩn kiểm soát lún:***

Việc xác định tiêu chuẩn kiểm soát lún sau thi công cần cân nhắc các yếu tố:

1- Yêu cầu vận hành an toàn, ổn định của tàu cao tốc.

2- Khả năng bảo trì và quản lý tuyến đường.

3- So sánh chi phí đầu tư ban đầu với chi phí bảo dưỡng sau này.

Mục tiêu là đạt được sự cân bằng hợp lý về mặt kinh tế, đồng thời đảm bảo tàu cao tốc hoạt động ổn định và an toàn.

2. Tiêu chuẩn kiểm soát lún sau thi công

Hoàn toàn loại bỏ lún sau thi công bằng các biện pháp kỹ thuật là điều không thể. Phương án khả thi nhất là kiểm soát lún sau thi công trong giới hạn cho phép để đảm bảo không ảnh hưởng đến tốc độ, an toàn và sự thoải mái khi tàu chạy.

Đối với đường ray có đá ballast, các tiêu chuẩn kiểm soát lún sau thi công cần xét đến hai yếu tố chính:

1- Đảm bảo an toàn cho kết cấu công trình và hệ thống giao thông.

2- Giảm khối lượng bảo trì sau thi công.

Mỗi quốc gia đặt ra các tiêu chuẩn kiểm soát lún phù hợp với điều kiện thực tế của mình:

- Nhật Bản (tàu cao tốc Shinkansen):
  - Lún sau thi công ở đoạn thông thường ≤ 10 cm, tốc độ lún ≤ 3 cm/năm.
  - Tại đoạn chuyển tiếp cầu - đường ≤ 5 cm.
- Pháp (đường ray cao tốc):
  - Lún ban đầu sau nghiệm thu lớp lọc nước < 2 cm.
  - Sau lần sửa ray cuối cùng và trước khi tàu cao tốc chạy hoặc trong vòng 18 tháng từ lúc nghiệm thu, lún phải hoàn toàn ổn định.
  - Chênh lệch lún tối đa trong 30 m là 4 mm/năm, trong 200 m là 10 mm/năm.
- Đức (đường ray có đá ballast):
  - Lún mỗi năm không quá 1-2 cm.
  - Độ không đều do lún phải đảm bảo bán kính cong đứng $R_a \geq 0.4$, trong đó R_a là bán kính cong đứng và v là tốc độ tàu.

Với sự phát triển của đường sắt cao tốc, Đức và Pháp thậm chí đưa ra tiêu chuẩn kiểm soát "không lún" sau khi bàn giao vận hành.

- ***Tiêu chuẩn lún sau thi công tại Trung Quốc***

Theo Quy chuẩn thiết kế đường sắt cao tốc (TB 10621–2014), quy định về lún sau thi công của nền đường như sau:

(1) Nền đường không đá ballast:

- Lún sau thi công không vượt quá 15 mm.

o Khi lún đồng đều và bán kính cong đứng sau điều chỉnh độ cao đường ray đáp ứng yêu cầu theo công thức (2-4-1), cho phép lún tối đa là 30 mm:

$$R_{sh} \geq 0.4V_{sj}^2 \quad (2\text{-}4\text{-}1)$$

trong đó:

R_{sh} - bán kính cong đứng của mặt ray (m);

V_{sj} - tốc độ thiết kế tối đa (km/h).

o Chênh lệch lún tại giao điểm giữa nền đường và cầu, hầm hoặc công trình ngang không được vượt quá 5 mm.

o Độ chênh góc gây ra bởi lún tại đoạn chuyển tiếp giữa nền đường và cầu/hầm không vượt quá 1/1000.

(2) Nền đường có đá ballast:

o Tiêu chuẩn lún sau thi công phải tuân thủ theo Bảng 2-4-1.

Bảng 2-4-1. Tiêu chuẩn kiểm soát lún sau thi công của nền đường

Tốc độ thiết kế (km/h)	Lún sau thi công ở đoạn thường (cm)	Lún sau thi công ở đoạn chuyển tiếp đuôi cầu (cm)	Tốc độ lún (cm/năm)
250	10	5	3
300 / 350	5	3	2

Theo các tài liệu trong và ngoài nước, việc kiểm soát độ lún của đường ray không đá ballast, đặc biệt là độ lún chênh lệch, thường đòi hỏi tiêu chuẩn cao hơn so với đường ray có đá ballast, thậm chí hướng tới mục tiêu "không lún". Tiêu chuẩn kiểm soát độ lún sau thi công phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: phương pháp khảo sát địa chất, độ chính xác của quan trắc lún, các phương pháp tính toán và dự báo, kiểu cấu trúc đường ray, phạm vi điều chỉnh của bộ liên kết, tiêu chuẩn bảo trì và chu kỳ bảo dưỡng. Mục tiêu chính là giữ độ lún sau thi công trong phạm vi có thể kiểm soát và điều chỉnh được, đồng thời có sẵn các biện pháp xử lý khi xuất hiện vấn đề do rủi ro địa chất.

Do đó, cần xem xét tiêu chuẩn kiểm soát độ lún và độ lún chênh lệch phù hợp với cấu trúc đường ray, đồng thời thiết kế theo tiêu chuẩn "không lún". Để đạt được điều này, cần tăng cường khảo sát nhằm xác định rõ điều kiện địa chất tại khu vực dự kiến đặt đường ray không đá ballast. Đồng thời, cần nâng cao hiệu quả xử lý nền móng, cải thiện chất lượng thi công thân đường và lớp nền. Đối với các đoạn đường

có nền đất yếu, có thể áp dụng nền gia cố với tỷ lệ thay thế cao hoặc sử dụng các cấu trúc đường ray mới, đảm bảo kiểm soát biến dạng lún phù hợp với các yêu cầu kỹ thuật của đường ray không đá ballast.

3. Một số vấn đề then chốt về kiểm soát độ lún sau thi công

Kiểm soát độ lún sau thi công của nền đường là một hệ thống kỹ thuật phức tạp, bao gồm toàn bộ quá trình khảo sát, thiết kế, thi công, kiểm soát chất lượng và phân tích quan trắc lún. Từ góc độ đảm bảo sự vận hành êm ái, an toàn của tàu, các yếu tố quan trọng nhất là kiểm soát độ lún sau thi công và độ lún không đều. Trong thiết kế, cần áp dụng các phương pháp xử lý nền móng phù hợp với cấu trúc địa tầng để giảm thiểu độ lún sau thi công, loại bỏ hoặc phân tán độ lún không đều trên một khu vực dài. Việc kiểm soát độ lún sau thi công cần tập trung vào những vấn đề sau:

(1) Khảo sát địa chất chi tiết

Cần sử dụng phương pháp khảo sát tổng hợp kết hợp giữa khoan thăm dò tại hiện trường, thí nghiệm đất và kiểm tra tại chỗ. Điều này giúp xác định chi tiết loại đất nền, sự phân bố không gian, cấu trúc địa tầng, các chỉ tiêu cơ lý, đặc biệt là các chỉ số biến dạng theo các mức tải trọng khác nhau và mối quan hệ giữa biến dạng với thời gian.

(2) Thiết kế nền đường theo tiêu chuẩn "không lún"

Trong thiết kế nền đường cao tốc, thường áp dụng tiêu chuẩn "không lún". Phương pháp cố kết thoát nước do chứa nhiều yếu tố không chắc chắn và yêu cầu thời gian thi công dài đã không còn phù hợp. Thay vào đó, nên sử dụng phương pháp xử lý nền móng bằng nền gia cố tổng hợp. Đối với những khu vực khó kiểm soát lún hiệu quả, cần xem xét các phương án sử dụng cấu trúc nền đường mới hoặc cầu vượt.

(3) Quan trắc động và đánh giá

Trong quá trình thi công, cần thực hiện quan trắc động để theo dõi và phân tích độ lún. Dựa trên dữ liệu quan trắc, cần dự đoán độ lún trong tương lai và xu hướng phát triển của nó. Sau khi đánh giá, có thể sửa đổi thiết kế và điều chỉnh kế hoạch thi công nhằm đảm bảo kiểm soát hiệu quả độ lún sau thi công.

(4) Kế hoạch thi công hợp lý

Thiết kế tổ chức thi công cần đảm bảo thời gian phù hợp để nền đường có đủ thời gian lún tự nhiên sau khi hoàn thành thi công. Chỉ khi phân tích độ lún đạt yêu cầu,

mới tiến hành thi công các cấu trúc phía trên. Điều này khác biệt so với cách tổ chức thi công của đường sắt thông thường, trong đó các công trình như cầu và hầm thường được ưu tiên trước, còn nền đường hiếm khi được thi công sớm.

(5) Xử lý chênh lệch lún giữa các cấu trúc

Trong thiết kế, cần xem xét sự chênh lệch lún theo phương dọc giữa các phương pháp xử lý nền và các loại công trình khác nhau. Các biện pháp chuyển tiếp nên được áp dụng để giảm thiểu chênh lệch lún giữa nền đường và các loại công trình khác, đảm bảo sự chuyển tiếp đồng đều về độ cứng giữa các cấu trúc. Trong điều kiện đặc biệt, có thể cần thêm các biện pháp duy trì sự ổn định dọc của cấu trúc đường ray.

4. Thành phần của độ lún sau thi công

4.1. Độ lún do nén chặt của lớp đất đắp nền đường

Độ lún do nén chặt của lớp đất đắp nền đường là kết quả của trọng lượng bản thân lớp đất đắp. Quá trình này diễn ra qua hai giai đoạn:

- Giai đoạn thi công: Độ lún xảy ra trong giai đoạn này không được tính vào độ lún sau thi công.
- Giai đoạn sau khi thi công hoàn thành: Đây là phần độ lún ảnh hưởng đến vận hành sau này và được xem xét như độ lún sau thi công.

Nền đường được đắp từ vật liệu rời chắc chắn sẽ xuất hiện một lượng lún do nén chặt nhất định, mức độ phụ thuộc vào chất lượng vật liệu và quá trình thi công. Nếu độ lún quá lớn, điều này cho thấy mật độ nén chưa đủ hoặc độ bền của lớp đất đắp thấp, dễ dẫn đến biến dạng không đều.

❖ ***Quy chuẩn kiểm soát độ lún trong thực tiễn quốc tế***

Hiện nay, các quốc gia trên thế giới thường đảm bảo độ lún do nén chặt của đất đắp thông qua việc kiểm soát mật độ nén. Tại Nhật Bản, chất lượng nén được đánh giá bằng giá trị K_{30}, với tiêu chuẩn kiểm soát là $K_{30} \geq 70$ MPa/m. Thực nghiệm tại nhiều công trình cho thấy:

- Đối với đất cát, độ lún nén chặt của thân nền đường chiếm khoảng 0.1% - 0.3% chiều cao đất đắp.
- Đối với đất sét, độ lún này dao động từ 0.5% - 2.0%, và thường ổn định sau một năm vận hành.

Tại Tây Ban Nha, trong quá trình xây dựng đường sắt cao tốc, người ta đã quan sát hơn 20 vị trí nền đường. Kết quả cho thấy:

- Độ lún trong giai đoạn thi công chiếm khoảng 1% - 3.6% chiều cao nền đường.

• Độ lún sau thi công chiếm khoảng 0.1% - 0.4%.

❖ ***Tỷ lệ giữa độ lún trong thi công và sau thi công***

Một phần lớn tổng độ lún nén chặt của lớp đất đắp đã xảy ra trong giai đoạn thi công. Phần còn lại của độ lún sau thi công chưa có phương pháp tính toán chính xác. Dựa trên dữ liệu quan trắc tại Nhật Bản, độ lún sau thi công chỉ chiếm khoảng 1/3 tổng độ lún nén chặt.

❖ ***Công thức thực nghiệm để ước tính độ lún sau thi công***

Đức và Nhật Bản đã phát triển công thức kinh nghiệm để ước tính độ lún sau thi công:

$$S = \frac{h^2}{3000} \tag{2-4-2}$$

trong đó:

S - độ lún nén sau thi công (m);

h - chiều cao nền đường (m).

Tỷ lệ giữa độ lún sau thi công và chiều cao nền đường được tính là $S/h = h/30(\%)$.

4.2. Độ lún tích lũy của nền đường do tàu chạy

Trong giai đoạn vận hành, độ lún tích lũy của nền đường do tàu chạy là kết quả của tải trọng động được truyền từ tà vẹt qua lớp đá ballast xuống mặt nền đường. Độ lún này là một quá trình tích lũy, ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn vận hành tàu, sự thoải mái của hành khách và yêu cầu duy trì hình dạng hình học và trạng thái động của kết cấu đường ray. Để đảm bảo điều này, các hoạt động bảo trì đường ray thường xuyên là cần thiết, và khối lượng bảo trì phụ thuộc vào mức độ lún tích lũy.

❖ ***Nghiên cứu và thử nghiệm về độ lún tích lũy***

Các quốc gia trên thế giới đã tiến hành nhiều nghiên cứu và thử nghiệm thực tế, bao gồm thử nghiệm trong phòng thí nghiệm và hiện trường, để dự đoán độ lún tích lũy của nền đường. Các thí nghiệm tam trục động và mô hình đã chỉ ra rằng:

• Khi tải trọng động từ tàu gây ra ứng suất động trên nền đường nhưng vẫn nhỏ hơn ứng suất động tới hạn của vật liệu nền, độ lún tích lũy sẽ dần ổn định sau một khoảng thời gian vận hành.

• Hình 2-2-8 cho thấy kết quả thí nghiệm tam trục lặp lại trên đất sét London của nhà nghiên cứu Heath tại Anh.

• Hình 2-9-9 trình bày các đường cong từ thí nghiệm tam trục động trên đất sét tại Thành Đô do Đại học Giao thông Tây Nam thực hiện.

❖ ***Các loại đường cong thí nghiệm***

Từ các kết quả thí nghiệm, có hai loại đường cong chính:

1. Đường cong suy giảm: Tốc độ biến dạng giảm dần và cuối cùng đạt trạng thái ổn định.

2. Đường cong phá hủy: Biến dạng tăng dần theo số lần tải cho đến khi đất bị phá hủy hoàn toàn.

Ngoài ra, có đường cong dao động, đánh dấu ranh giới giữa đường cong phá hủy và đường cong suy giảm. Ranh giới này xác định ứng suất động tới hạn - nếu ứng suất động nhỏ hơn mức này, biến dạng tích lũy của nền đường sẽ được kiểm soát hiệu quả.

❖ ***Các yếu tố ảnh hưởng đến ứng suất động tới hạn***

Ứng suất động tới hạn phụ thuộc vào các yếu tố như:

- Loại đất.
- Độ ẩm.
- Độ chặt.
- Áp lực bao quanh.
- Tần số tải trọng.

Nói chung, ứng suất động tới hạn giảm khi tần số tải tăng. Điều này giải thích rằng, khi tốc độ tàu thấp, các vấn đề nền đường giảm; nhưng khi tốc độ tàu tăng, nền đường dễ bị tổn thương hơn. Thực tế trên các tuyến đường hiện có đã chứng minh điều này.

❖ ***Kinh nghiệm thực tiễn từ Nhật Bản***

Dựa trên tài liệu của Nhật Bản:

- Với kết cấu tăng cường lớp mặt nền đường, khi $K_{30} \geq 150$ MPa/m, độ lún của lớp đá ballast xuống nền đường là rất nhỏ.
- Khi lớp đáy của nền đường có $K_{30} = 68,6 - 108$ MPa/m và số lần tải trọng là 1,5 triệu lần (tương đương một năm vận hành trên các tuyến chính của Nhật Bản), độ lún tích lũy khoảng 1 - 2,5 mm và sẽ ổn định sau một năm vận hành, không tiếp tục phát triển.

4.3. Độ lún sau thi công do nền móng gây ra

Độ lún sau thi công bao gồm độ lún do nén chặt lớp đất đắp và biến dạng dẻo của nền đường dưới tác động tải trọng của đoàn tàu, thường có giá trị nhỏ. Đối với đường đắp cao 5 m, tổng độ lún của hai yếu tố này thường không vượt quá 1 mm. Vì vậy, việc kiểm soát độ lún sau thi công chủ yếu tập trung vào độ lún của nền móng.

• Các yếu tố ảnh hưởng đến độ lún sau thi công do nền móng

Độ lún sau thi công của nền móng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như:

1- Loại nền móng và đặc tính đất: Tính chất cơ học và khả năng chịu nén của từng lớp đất ảnh hưởng lớn đến độ lún sau thi công.

2- Chiều cao lớp đất đắp: Chiều cao đất đắp càng lớn, áp lực lên nền móng càng tăng, dẫn đến nguy cơ lún cao hơn.

3- Thời gian thi công: Thi công kéo dài tạo điều kiện cho nền móng ổn định dần, giảm thiểu nguy cơ lún sau.

Lưu ý đặc biệt đối với nền đất yếu:

Nền đất yếu với các đặc điểm như khả năng nén cao và hệ số thấm nhỏ thường gây ra các vấn đề nghiêm trọng về độ lún. Sau khi hoàn thành nền đường trên nền đất yếu, không chỉ mức độ lún lớn mà thời gian để đạt trạng thái ổn định cũng kéo dài đáng kể.

Vì vậy, đối với nền đất yếu, cần tiến hành phân tích kỹ lưỡng độ lún sau thi công, từ đó dự đoán mức độ lún và thời gian ổn định, đảm bảo thiết kế và thi công đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và an toàn.

III. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN VÀ DỰ ĐOÁN ĐỘ LÚN CỦA NỀN ĐƯỜNG

1. Phương pháp tính toán độ lún cuối cùng của nền móng

1.1. Phương pháp lý thuyết đàn hồi

Dựa trên mối quan hệ ứng suất-biến dạng trong lý thuyết đàn hồi, có thể tính toán biến dạng và mô đun nén của các lớp đất:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (2\text{-}4\text{-}3)$$

$$E = \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \cdot \frac{1}{m_v} \quad (2\text{-}4\text{-}4)$$

$$S_c = \Sigma(\varepsilon_z \,.\, d_z)_i \quad (2\text{-}4\text{-}5)$$

Tuy nhiên, các nhà nghiên cứu khác nhau có những giả thuyết khác nhau và đã đưa ra các công thức tính toán độ lún khác nhau dựa trên giả thuyết này.

1.2. Phương pháp của Hoàng Văn Hy (1957)

Hoàng Văn Hy (1957) đề xuất xem xét biến dạng ba chiều của đất trong tính toán độ lún. Trong trạng thái ứng suất ba chiều, biểu thức biến dạng theo phương thẳng đứng được viết như sau:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] = \frac{1}{E}[(1+\mu)\sigma_z - \mu\Theta] \quad (2\text{-}4\text{-}6)$$

trong đó:

$$\Theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_E$$

Khi có tensor ứng suất cầu, biến dạng thể tích của đất được biểu diễn như sau:

$$\varepsilon_p = \frac{1-2\mu}{E}\Theta = \frac{e_1 - e_2}{1+e_1} \quad (2\text{-}4\text{-}7)$$

trong đó:

e_1 - hệ số rỗng trước khi nén;

e_2 - hệ số rỗng sau khi nén.

Từ phương trình trên, ta có:

$$E = (1-2\mu).\frac{1_1 + e_1}{e_1 - e_2} \quad (2\text{-}4\text{-}8)$$

Thay phương trình (2-4-8) vào (2-4-6), ta có:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{1-2\mu}\left[(1+\mu)\frac{\sigma_z}{\Theta} - \mu\right]\frac{e_1 - e_2}{1+ e_1} \quad (2\text{-}4\text{-}9)$$

Do đó, tổng độ lún được tính như sau:

$$S_c = \Sigma\left\{\frac{1}{1-2\mu}\left[(1+\mu)\frac{\sigma_z}{\Theta} - \mu\right]\frac{e_1 - e_2}{1+ e_1}\Delta h\right\}_i \quad (2\text{-}4\text{-}10)$$

trong đó:

e_1 - hệ số rỗng của đất trước khi chịu tải;

e_2 - hệ số rỗng của đất sau khi chịu tải;

Θ - tổng ba ứng suất pháp tuyến ($\Theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_E$);

Δh - độ dày của lớp thứ i.

Biểu thức $\frac{e_1 - e_2}{1+ e_1}\Delta h$ tương đương với độ lún một chiều.

Hệ số $K = \frac{1}{1-2\mu}\left[(1+\mu)\frac{\sigma_z}{\Theta} - \mu\right]$ có thể được sử dụng như một hệ số hiệu chỉnh độ lún ba chiều.

1.3. Phương pháp của Ngụy Như Long (1987)

Xuất phát từ phương trình cơ bản của lý thuyết đàn hồi về quan hệ ứng suất - biến dạng:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[(1+\mu)\sigma_x - \mu\Theta\right]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[(1+\mu)\sigma_y - \mu\Theta\right] \qquad (2\text{-}4\text{-}11)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[(1+\mu)\sigma_z - \mu\Theta\right]$$

trong đó: $\Theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$

Từ đó suy ra:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{1}{E}(1-2\mu)\Theta \qquad (2\text{-}4\text{-}12)$$

Mối quan hệ giữa mô đun biến dạng E và hệ số nén thể tích m_v :

$$E = \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1+\mu}\frac{1}{m_v} \qquad (2\text{-}4\text{-}13)$$

Thay phương trình (2-4-13) vào phương trình cuối trong (2-4-11), ta có:

$$\varepsilon_z = \frac{1-\mu}{1-2\mu}\left[\sigma_z - \frac{\mu}{1+\mu}\Theta\right]m_v \qquad (2\text{-}4\text{-}14)$$

Công thức tổng quát tính tổng lún của các lớp đất:

$$S_c = \Sigma\left\{\frac{1-\mu}{1-2\mu}\left[1 - \frac{1}{1+\mu}\frac{\Theta}{\sigma_z}\right]m_v\sigma_z\Delta z\right\} \qquad (2\text{-}4\text{-}15)$$

trong đó:

m_v - hệ số nén thể tích của đất.

Có thể coi $K = \frac{1-\mu}{1-2\mu}\left[1 - \frac{1}{1+\mu}\frac{\Theta}{\sigma_E}\right]$ là hệ số hiệu chỉnh lún ba chiều.

Nhận xét:

Trong công thức của Ngụy Như Long, việc thay m_v cho E đã xác định được giá trị m_v, nhưng cách xác định giá trị của μ (hệ số Poisson) vẫn gặp khó khăn. Vấn đề cốt lõi là mặc dù công thức đã xem xét ảnh hưởng của ứng suất ba chiều, nhưng giả định cơ bản yêu cầu đất phải tuân theo lý thuyết đàn hồi. Tuy nhiên, trong các công trình đường sắt, hệ số an toàn thấp và đất đã đạt đến trạng thái chảy dẻo cục bộ, do đó, không thích hợp để áp dụng lý thuyết đàn hồi trong tính toán này.

1.4. Phương pháp phần tử hữu hạn

Về lý thuyết, phương pháp này có thể áp dụng cho mọi điều kiện biên và phương thức tải trọng, đồng thời có thể tính đến tính không đồng nhất của các lớp đất và đặc

tính phi tuyến của đất. Kể từ khi khả năng và sự phổ biến của máy tính được cải thiện vượt bậc, nhiều học giả đã nghiên cứu và đề xuất các mô hình mô tả quan hệ ứng suất - biến dạng của đất bằng phương pháp phần tử hữu hạn, bao gồm các mô hình đàn hồi phi tuyến, đàn hồi-plastic và đàn nhớt-plastic.

Trong ba thập kỷ qua, đã có rất nhiều lý thuyết mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của đất được đề xuất, tóm lại gồm hai loại chính:

1- Mô hình đàn hồi phi tuyến: Dựa trên lý thuyết đàn hồi, trong một khoảng thay đổi tải trọng nhỏ, đất được coi là vật liệu đàn hồi và các hằng số đàn hồi của đất thay đổi khi tải trọng thay đổi để phản ánh tính phi tuyến.

2- Mô hình đàn hồi - plastic: Giả định rằng biến dạng của đất gồm hai phần: biến dạng đàn hồi và biến dạng plastic. Mô hình này kết hợp giữa lý thuyết đàn hồi và lý thuyết plastic để thiết lập mối quan hệ ứng suất - biến dạng của đất.

Trong các mô hình đàn hồi phi tuyến, phổ biến nhất là mô hình phi tuyến E-μ và K-G. Trong các bài toán về đất mềm, mô hình E-μ của Duncan-Chang được sử dụng rộng rãi nhất. Mô hình này có ưu điểm là dễ hiểu, đơn giản và thực tiễn, có thể sử dụng thí nghiệm cắt ba trục thông thường để xác định các tham số cần thiết. Ngoài ra, kết quả tính toán có thể phản ánh gần đúng tình hình thực tế, đặc biệt là giá trị lún tính toán khá tương đồng với giá trị quan sát, mặc dù giá trị dịch chuyển ngang tính toán thường sai lệch nhiều so với thực tế.

Các ứng dụng thành công của mô hình đàn hồi - plastic trong giải quyết vấn đề thực tế về đất chưa nhiều, chủ yếu tập trung vào các ứng dụng cải tiến mô hình đàn hồi-plastic Cambridge. Ở Trung Quốc, các mô hình đàn hồi - plastic của các học giả như Shen Zhujian, Huang Wenxi và Yin Zongze cũng đã đạt được kết quả khả quan. Nói chung, kết quả tính toán từ mô hình đàn hồi - plastic thường nhỏ hơn so với thực tế.

1- Nghiên cứu mối quan hệ ứng suất - biến dạng của đất cần chú ý hai khía cạnh:

2- Phát triển các mô hình phức tạp hơn để làm rõ đặc tính của đất.

Tăng cường tính thực tiễn và khả năng áp dụng của các mô hình, đặc biệt trong việc xác định tham số. Nếu không thể xác định tham số chính xác, lý thuyết mô hình dù chặt chẽ đến đâu cũng không thể áp dụng được.

Trung tâm Nghiên cứu Đường và Cầu Pháp (LPC) đã thực hiện bốn thí nghiệm đắp đất tại Cubzac-les-Ponts, kết quả này được trích dẫn trong nhiều tài liệu. Dữ liệu thí nghiệm và các phép đo khá đầy đủ, thời gian quan sát kéo dài. LPC đã sử dụng nhiều phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích lún, áp lực nước lỗ rỗng, biến dạng ngang và xu hướng lún theo thời gian của đê thử nghiệm, như lý thuyết đàn hồi, mô hình đàn hồi - plastic hai chiều (bao gồm mô hình Cambridge và Tavanas), đàn hồi -

plastic đẳng hướng, độ nhớt - plastic, và phương pháp cố kết một chiều (bao gồm cả các thông số trượt và lưu biến). Tuy nhiên, không có phương pháp nào mô tả chính xác được các hiện tượng quan sát như lún thẳng đứng, biến dạng ngang và tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng.

Phương pháp phần tử hữu hạn hoặc các phương pháp phân tích số khác là công cụ hiệu quả để nghiên cứu đặc tính của đất, nhưng hiện tại, chúng ít được áp dụng trong thực tế sản xuất. Hầu hết các quy chuẩn và sổ tay kỹ thuật của nhiều quốc gia vẫn khuyến nghị sử dụng phương pháp truyền thống, đơn giản hơn, như lý thuyết cố kết một chiều để tính toán lún và diễn biến lún của nền đất mềm.

1.5. Lý thuyết cố kết một chiều truyền thống

Phương pháp này được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật hiện nay, dựa trên các thông số nén từ thử nghiệm nén một chiều để tính toán độ lún bằng phương pháp tổng hợp phân lớp. Độ lún tính được là độ lún cuối cùng. Dựa trên quá trình không thoát nước và thoát nước của đất khi chịu tải, tổng độ lún S bao gồm ba phần chính:

$$S = S_i + S_c + S_s \tag{2-4-16}$$

trong đó:

S_i - độ lún tức thời - xảy ra ngay khi tải trọng được áp dụng;

S_c - độ lún cố kết chính - xảy ra khi nước trong lỗ rỗng thoát ra và đất chịu nén chặt;

S_s - độ lún cố kết thứ cấp - xảy ra sau quá trình cố kết chính do sự tái cấu trúc của hạt đất.

2. Tính toán lún tức thời

Trong quá trình đắp đất, lún tức thời thường được tính toán theo lý thuyết đàn hồi, như sau:

$$S_i = qb\left(\frac{1-\mu}{E}\right)I \tag{2-4-17}$$

Hoặc, nếu chọn hệ số Poisson $\mu = 0.5$ (trường hợp không thoát nước), công thức sẽ là:

$$S_i = qb\frac{I}{E}$$

trong đó:

q - trọng lượng của đất đắp;

b - chiều rộng đáy của đất đắp;

I - hệ số truyền ứng suất;

E - mô đun đàn hồi của đất.

Trong quá trình đắp nền đường, nếu tốc độ thi công không được kiểm soát, khi ứng suất đạt mức cao, tác động của biến dạng cắt sẽ ảnh hưởng đến kết quả tính toán lún S_i theo công thức (2-4-17), do đó cần thực hiện điều chỉnh phù hợp.

3. Tính toán lún cố kết

Trong kỹ thuật, việc tính toán lún cố kết thường áp dụng phương pháp tính nén một chiều, giả định rằng đất nền dưới tải trọng của công trình không xảy ra biến dạng ngang. Điều này hợp lý đối với đất mềm khi chiều dày lớp đất nén được so sánh với bề rộng móng. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, cần cân nhắc điều kiện biến dạng ba chiều để tính toán lún một cách chính xác hơn.

(1) Phương pháp tính nén một chiều:

Công thức thường được sử dụng để tính lún của đất bình thường cố kết như sau:

$$\Delta S = \frac{\Delta e}{1+e_0}\Delta H \tag{2-4-18}$$

Hoặc:
$$\Delta S_c = \frac{a}{1+e_0}\Delta H\cdot\Delta p = m_r\cdot\Delta H\cdot\Delta p \tag{2-4-19}$$

Hoặc:
$$\Delta S_c = \frac{C_c}{1+e_0}\Delta H\cdot lg\frac{p_0'+\Delta p}{p_0'} \tag{2-4-20}$$

trong đó:

Δp - ứng suất gia tăng (kPa);

Δe - thay đổi chỉ số rỗng tương ứng với Δp;

e_0 - chỉ số rỗng ban đầu tương ứng với ứng suất tự trọng của đất p_0';

a - hệ số nén của đất, được tính bằng công thức: $\left(a = -\frac{\Delta e}{\Delta p}\right)$;

m_r - hệ số nén thể tích, được tính bằng công thức: $(m_r = \frac{a}{1+e_0})$.

ΔH - chiều dày lớp đất (m).

$$\Delta S_c = \left(\frac{p_2}{E_{c2}} - \frac{p_1}{E_{c1}}\right)\cdot\Delta H \tag{2-4-21}$$

$$\Delta S_c = \left[\frac{E_{0t}\Delta p}{(E_{0t}+mp_1)(E_{0t}+mp_2)}\right]\cdot\Delta H \tag{2-4-22}$$

trong đó: p_1, p_2 - lần lượt là ứng suất ban đầu và ứng suất sau khi thêm ứng suất phụ;

E_{c1}, E_{c2} - lần lượt là mô đun nén đường chéo tại ứng suất p_1, p_2;

(E_{0t} - mô đun đàn hồi ban đầu của đất, khi $P = 0$ là mô đun tiếp tuyến.

m - độ dốc của đường thẳng $\frac{p}{\varepsilon} - p$, (trong đó ε là biến dạng nén, được tính bằng tỷ lệ giữa lượng nén của mẫu Δh và chiều cao ban đầu của mẫu h_0).

(2) Skempton và Bjerrum (1957) đã đề xuất sử dụng hệ số nén thể tích m_v thu được từ thí nghiệm nén đơn hướng để tính toán độ lún cố kết S_c'. Biểu thức tính lún cố kết được đưa ra như sau:

$$S_c' = \int_0^u m_v \Delta u dz \tag{2-4-23}$$

$$\Delta u = \Delta\sigma_1 [A + \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1}(1 - A)] \tag{2-4-24}$$

trong đó:

Δu - gia tăng áp suất nước lỗ rỗng;

$\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_3$ - lần lượt là gia tăng ứng suất theo phương thẳng đứng và phương ngang, có thể được tính toán từ lý thuyết đàn hồi.

Quá trình nén đơn hướng có độ lún được tính là:

$$S_c = \int_0^u m_v \Delta\sigma_1 dz \tag{2-4-25}$$

So sánh công thức (2-4-23) và (2-4-25), ta được:

$$S_c = C_p S_c \tag{2-4-26}$$

trong đó:

C_p - hệ số hiệu chỉnh của Skempton-Bjerrum.

Với cùng một lớp đất, nếu m_v và A là hằng số, thì C_p được tính như sau:

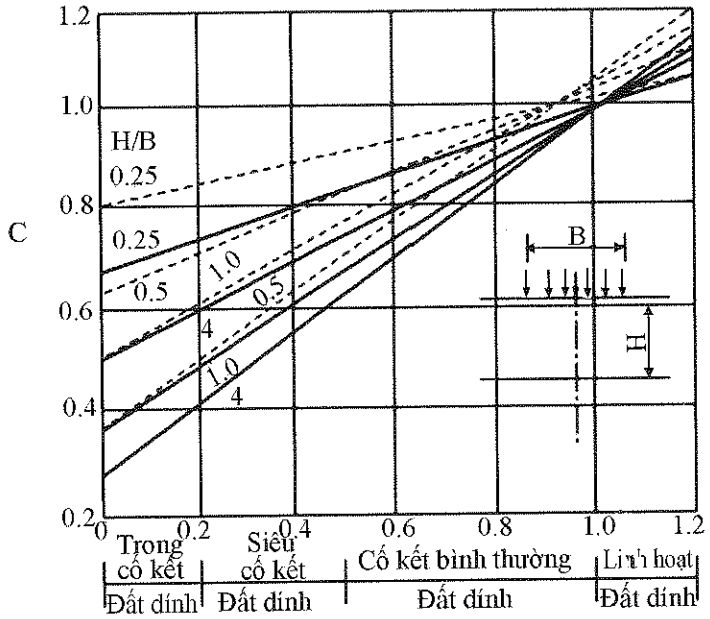
$$C_p = A + \frac{\int_0^H \Delta\sigma_3 dz}{\int_0^H \Delta\sigma_1 dz}(1 - A) \tag{2-4-27}$$

trong đó:

A - hệ số áp suất nước lỗ rỗng;

H - chiều dày lớp đất nén.

Hệ số hiệu chỉnh C_p có thể được tính từ công thức (2-4-27) hoặc xác định dựa trên Hình 2-4-1, theo giá trị của $\frac{H}{B}$ và A. Trong Hình (2-4-1), B là đường kính tải trọng (với tải tròn) hoặc chiều rộng tải trọng (với tải dài).



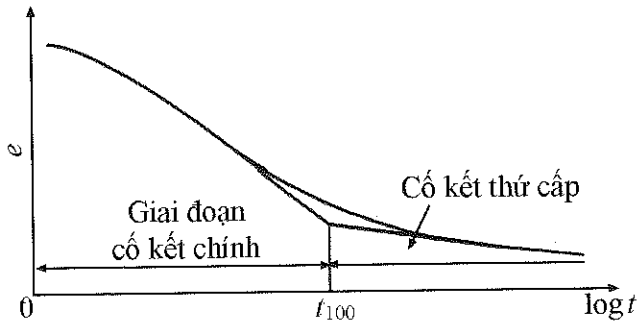
Hình 2-4-1: *Xác định hệ số hiệu chỉnh C_p (Skempton & Bjerrum, 1957)*

4. Tính toán lún cố kết thứ cấp

Trong các thí nghiệm cố kết, người ta nhận thấy rằng sau khi áp lực nước lỗ rỗng dư thừa được tiêu tán, biến dạng của mẫu vẫn tiếp tục phát triển theo thời gian. Hiện tượng này được gọi là cố kết thứ cấp và biến dạng tương ứng được gọi là biến dạng cố kết thứ cấp.

Đối với cố kết thứ cấp, quá trình cố kết của đất khi áp lực nước lỗ rỗng được tiêu tán được gọi là cố kết chính.

Casagrande (1936) đã đưa ra phương pháp minh họa bằng đồ thị để phân biệt giữa cố kết chính và cố kết thứ cấp trong quá trình thí nghiệm cố kết, như được mô tả trong Hình 2-4-2. Trên đường cong *e–lgt*, điểm giao nhau của hai đoạn đường thẳng kéo dài được coi là ranh giới giữa giai đoạn cố kết chính và giai đoạn cố kết thứ cấp.



Hình 2-4-2: *Cố kết chính và cố kết thứ cấp*

Lún cố kết thứ cấp liên quan đến logarit của thời gian và gần như là một đường thẳng, công thức tính như sau:

$$S_s = \sum \frac{\Delta H}{1+e_0} C_a tan \frac{t_2}{t_1} \quad (2\text{-}4\text{-}28)$$

trong đó:

C_a - hệ số cố kết thứ cấp, là độ dốc của đoạn đường thẳng trên đồ thị $e-lgt$ sau khi cố kết chính hoàn thành, được tính như sau: $C_a = -\Delta e / lg(t/t_1)$;

t_1 - thời gian tương ứng khi cố kết chính đạt 100%;

t_2 - thời gian cần tính lún cố kết thứ cấp;

ΔH - chiều dày lớp đất;

e_0 - độ rỗng ban đầu.

Hệ số C_a có thể tham khảo từ Bảng 2-4-2 hoặc ước lượng bằng công thức (Simons, 1975):

$$C_a = 0.00018\omega \quad (2\text{-}4\text{-}29)$$

trong đó: ω - độ ẩm tự nhiên của đất (%).

Bảng 2-4-2: Giá trị tham khảo hệ số cố kết thứ cấp

Loại đất	C_a	Loại đất	C_a
Đất sét kết dính thông thường	0.005 ~ 0.02	Đất sét kết dính siêu kết (OCR > 2)	< 0.001
Đất hữu cơ có tính dẻo cao	≥ 0.03		

Các tài liệu quan sát về hiện tượng lún dài hạn của các công trình thực tế cho thấy, một số công trình chịu lún cố kết thứ cấp nghiêm trọng, trong khi đó, có những công trình mà mức lún cố kết thứ cấp rất nhỏ, thậm chí không đáng kể. Sự khác biệt này phụ thuộc vào loại đất, cường độ chịu lực dài hạn của đất, mức độ ứng suất và các đường thoát nước.

5. Tính toán lún của nền đất gia cố hỗn hợp

Lún của nền đất gia cố hỗn hợp được tính từ tổng ba phần: biến dạng nén của lớp đệm, biến dạng nén của lớp đất gia cố (s_2), và biến dạng nén của lớp đất nằm dưới lớp gia cố (s_2). Trong đó, biến dạng của lớp đệm thường rất nhỏ và gần như hoàn thành trong giai đoạn thi công, vì vậy có thể bỏ qua. Công thức tổng quát tính lún nền đất gia cố hỗn hợp là:

$$s = s_1 + s_2 \quad (2\text{-}4\text{-}30)$$

trong đó:

s_1 - biến dạng nén của lớp đất gia cố hỗn hợp (mm);

s_2 - biến dạng nén của lớp đất nằm dưới lớp gia cố (mm).

❖ ***Tính biến dạng nén lớp đất gia cố hỗn hợp (s_1)***

- Đối với nền đất gia cố bằng cọc vật liệu rời và cọc mềm:

$$s_1 = \psi_{s1} \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta p_i}{E_{spi}} l_i \qquad (2\text{-}4\text{-}31)$$

trong đó:

Δp_i - gia tăng ứng suất trung bình tại lớp đất thứ I (kPa);

l_i - chiều dày lớp đất thứ i (mm);

ψ_{s1} - hệ số kinh nghiệm, xác định từ thực nghiệm theo loại nền đất gia cố;

E_{spi} - mô đun đàn hồi của lớp đất hỗn hợp (MPa), được tính theo:

$$E_{sp} = mE_p + (1-m)E_s \qquad (2\text{-}4\text{-}32)$$

trong đó:

E_{sp} - mô đun đàn hồi hỗn hợp (MPa);

E_p - mô đun đàn hồi của cọc (MPa);

E_s - mô đun đàn hồi của đất giữa các cọc (MPa).

- Đối với nền đất gia cố bằng cọc cứng:

$$s_1 = \psi_p \frac{Ql}{E_p A_p} \qquad (2\text{-}4\text{-}33)$$

trong đó: Q - tải trọng gia tăng trên đỉnh cọc (kN);

l - chiều dài cọc cứng (m);

E_p - mô đun đàn hồi của cọc (MPa);

A_p - diện tích tiết diện ngang của cọc;

ψ_p - hệ số kinh nghiệm liên quan đến tỷ lệ chiều dài và đường kính cọc.

❖ ***Tính biến dạng nén lớp đất nằm dưới lớp gia cố (s_2):***

$$s_2 = \psi_{s2} \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta p_i}{E_{si}} l_i \qquad (2\text{-}4\text{-}34)$$

trong đó: E_{si} - mô đun đàn hồi của lớp đất thứ i (MPa);

ψ_{s2} - hệ số kinh nghiệm, xác định từ thực nghiệm và loại nền đất gia cố.

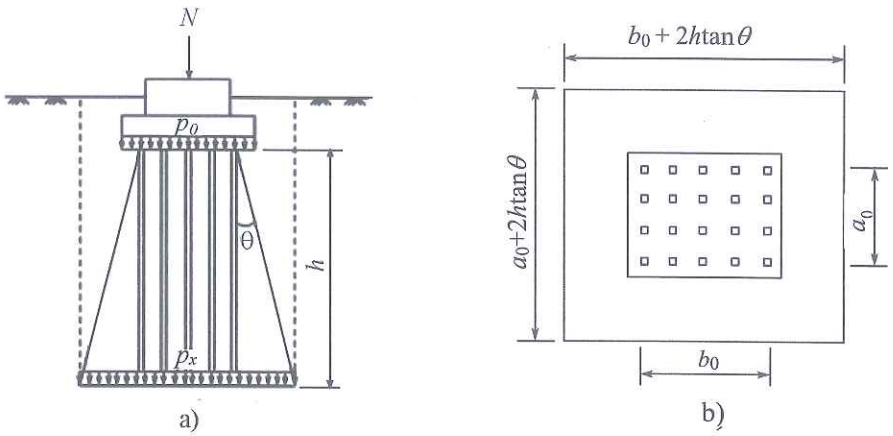
Khi lớp đất nằm dưới lớp gia cố có độ nén cao, phần lớn lún đến từ lớp đất này. Việc tính toán áp suất phụ trên đỉnh lớp đất dưới lớp gia cố được thực hiện dựa trên loại nền đất.

- *Đối với nền đất gia cố bằng cọc vật liệu rời:*

Áp suất phụ được tính theo phương pháp khuếch tán áp suất:

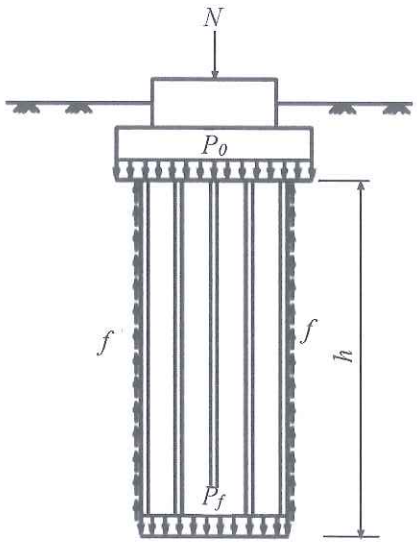
$$N_2 = LBp_0 \tag{2-4-35}$$

$$p_z = \frac{LBp_0}{(a_0 + 2h\tan\theta)(b_0 + 2h\tan\theta)} \tag{2-4-36}$$



Hình 2-4-3: *Sơ đồ tính toán theo phương pháp khuếch tán áp suất*

Đối với nền móng cọc cứng, nên sử dụng phương pháp thực thể tương đương để tính toán (Hình 2-4-4).



Hình 2-4-4: *Sơ đồ tính toán bằng phương pháp thực thể tương đương*

$$p_z = \frac{LBp_0 - (2a_0 + 2b_0)hf}{LB} \quad (2\text{-}4\text{-}37)$$

trong các công thức trên:

p_z - giá trị áp lực bổ sung tại đỉnh lớp đất yếu bên dưới khi kết hợp tiêu chuẩn hiệu ứng tải trọng (kPa);

L - chiều dài của đáy móng hình chữ nhật (m);

B - chiều rộng của đáy móng hình chữ nhật hoặc móng dạng dải (m);

h - chiều sâu của khu vực gia cố nền móng phức hợp (m);

a_0 - kích thước bao ngoài theo chiều dài của cọc trong nền móng (m);

b_0 - kích thước bao ngoài theo chiều rộng của cọc trong nền móng (m);

p_0 - áp lực bổ sung tại đỉnh khu vực gia cố nền móng phức hợp (kPa);

θ - góc khuếch tán áp lực (°);

f - lực ma sát bên cọc của khu vực gia cố nền móng phức hợp (kPa).

- *Đối với nền móng cọc mềm,* tùy thuộc vào tỷ lệ mô đun của cọc và đất, có thể sử dụng phương pháp khuếch tán áp lực hoặc phương pháp thực thể tương đương để tính toán.

+ Sử dụng phương pháp khuếch tán áp lực để tính toán gặp khó khăn trong việc lựa chọn góc khuếch tán áp lực hợp lý.

Nghiên cứu cho thấy rằng mặc dù công thức (2-4-30) có dạng tương tự như công thức tính ứng suất bổ sung trên lớp đất thứ hai trong phương pháp khuếch tán áp lực đối với nền hai lớp, nhưng cần lưu ý rằng giá trị góc khuếch tán áp lực trong nền hai lớp và nền gia cố phức hợp là khác nhau.

Theo phân tích của các nhà nghiên cứu trước đây, sự phân bố và quy luật biến đổi của trường ứng suất bổ sung trong nền hai lớp và nền gia cố phức hợp dưới tác động của tải trọng có sự khác biệt đáng kể. Khi coi nền gia cố phức hợp như một nền hai lớp, ứng suất bổ sung trong lớp đất sâu có thể bị đánh giá thấp, điều này là không an toàn trong kỹ thuật. Do đó, khi tính toán ứng suất bổ sung tác dụng lên lớp đất nằm dưới vùng gia cố bằng phương pháp khuếch tán áp lực, cần chú ý lựa chọn góc khuếch tán áp lực hợp lý.

Khi độ cứng tương đối lớn, sai số khi lựa chọn góc có thể nhỏ. Nhưng khi độ cứng tương đối giữa cọc và đất nhỏ, phạm vi biến đổi của lực ma sát bên f rất lớn, việc lựa chọn giá trị f trở nên khó khăn, và khó có thể ước lượng hợp lý giá trị trung bình. Trên thực tế, khi coi khối gia cố là một thực thể tách biệt, phân bố ứng suất cắt trên hai mặt bên là rất phức tạp. Việc sử dụng khái niệm lực ma sát bên chỉ mang tính gần đúng.

+ Khi sử dụng phương pháp thực thể tương đương để tính ứng suất bổ sung tác dụng lên lớp đất nằm dưới vùng gia cố:

• Nếu độ cứng tương đối giữa cọc và đất lớn, sai số có thể nhỏ.

• Nếu độ cứng tương đối giữa cọc và đất nhỏ, phương pháp khuếch tán áp lực có thể mang lại sai số nhỏ hơn.

Do đó, đề xuất sử dụng cả hai phương pháp để tính toán, sau đó so sánh, phân tích và kết hợp với kinh nghiệm kỹ thuật để đưa ra quyết định.

- *Đối với nền gia cố phức hợp sử dụng cọc dài và ngắn:* Sự lún của nền phức hợp bao gồm:

• Sự nén của lớp đệm.

• Biến dạng nén của lớp đất gia cố trong vùng gia cố (s_1).

• Biến dạng nén của lớp đất nằm dưới vùng gia cố (s_2).

Biến dạng nén của lớp đất gia cố trong vùng gia cố được chia thành:

• Biến dạng nén của lớp đất trong phạm vi cọc ngắn (s_{11}).

• Biến dạng nén của lớp đất dưới cọc ngắn, chỉ gồm phần cọc dài (s_{12}).

Sự nén của lớp đệm là rất nhỏ và đã hoàn thành trong giai đoạn thi công, nên không cần xét đến. Vì vậy, sự lún của nền gia cố phức hợp cọc dài và ngắn được tính theo công thức:

$$s = s_{11} + s_{12} + s_2 \tag{2-4-38}$$

5. Phương pháp dự báo độ lún nền đường

Độ lún của nền đất dưới tác động của tải trọng sẽ diễn ra theo thời gian. Việc tính toán biến dạng lún của nền đất thường dựa trên nguyên lý cố kết đất và các mô hình ứng xử đất khác nhau để xác định giá trị lún cuối cùng. Tuy nhiên, do những hạn chế của các phương pháp lý thuyết, tính phức tạp của điều kiện địa chất công trình, cùng với những sai lệch có thể phát sinh trong quá trình khoan thăm dò, lấy mẫu và thí nghiệm, nên kết quả tính toán chỉ mang tính chất ước lượng.

Vì vậy, để có được kết quả chính xác hơn, nhiều quốc gia đã áp dụng phương pháp quan trắc thực tế tại hiện trường. Thông qua việc thu thập và phân tích dữ liệu đo đạc về độ lún thực tế, có thể dự báo và đánh giá giá trị lún cuối cùng. Đối với đường sắt cao tốc, do yêu cầu cao về khảo sát địa chất, xử lý nền móng và chất lượng thi công, việc sử dụng dữ liệu quan trắc thực tế về tải trọng, thời gian và độ lún để dự báo độ lún tổng là vô cùng quan trọng. Điều này giúp giảm thiểu sai lệch giữa giá trị dự báo trong thiết kế và giá trị thực tế sau khi thi công.

Phương pháp này không chỉ đảm bảo an toàn và ổn định cho nền đường mà còn hỗ trợ hiệu quả công tác thi công nhờ cung cấp cơ sở dữ liệu đáng tin cậy để áp dụng các biện pháp kiểm soát lún phù hợp.

Thời gian quan trắc cần thiết để dự báo chính xác biến dạng lún thường không dưới 6 tháng. Nếu dữ liệu quan trắc chưa đủ hoặc giá trị dự báo chưa đáp ứng được yêu cầu thiết kế, cần tiếp tục theo dõi hoặc áp dụng các biện pháp gia tải trước hoặc tăng tốc độ lún, như phương pháp gia tải vượt mức, để đảm bảo đạt tiêu chuẩn thiết kế.

• *Dự báo biến dạng lún của nền đất:*

Việc dự báo biến dạng lún của nền đất đòi hỏi một khoảng thời gian quan trắc nhất định. Theo kinh nghiệm từ trong nước và quốc tế, thời gian quan trắc thường không ít hơn 6 tháng. Nếu dữ liệu quan trắc chưa đủ để đánh giá hoặc giá trị lún dự báo không đạt yêu cầu thiết kế, cần tiếp tục theo dõi hoặc áp dụng các biện pháp tăng tốc hoặc kiểm soát lún, chẳng hạn như phương pháp gia tải vượt mức.

Quá trình lún thường được mô tả bằng công thức kinh nghiệm sau:

$$S_t = S_d + \left(S_f - S_d\right)U \tag{2-4-39}$$

trong đó:

S_t - độ lún tại thời điểm t;

S_d - độ lún tức thời;

S_f - độ lún cuối cùng;

U - hàm số của thời gian t, thường được biểu diễn dưới dạng hàm hyperbol hoặc hàm mũ, $U = f(t)$.

Công thức kinh nghiệm cụ thể biểu diễn quá trình lún sẽ được xác định dựa trên các điều kiện thực tế và dữ liệu thu thập được từ công trường.

Công thức kinh nghiệm cụ thể biểu diễn theo phương trình (2-4-39) bao gồm:

$$S_t = S_d + (S_f - S_d)\frac{t}{a+t} \tag{2-4-40}$$

$$S_t = S_d + (S_f - S_d)(1 - e^{-rt}) \tag{2-4-41}$$

$$S_t = S_d + (S_f - S_d)(1 - \alpha_0 e^{-\beta t}) \tag{2-4-42}$$

$$S_t = S_d + (S_f - S_d)(1 - \alpha e^{-\beta t}) \tag{2-4-43}$$

Những công thức kinh nghiệm này đều gặp phải vấn đề khó xác định điểm gốc O và độ lún tức thời S_d, dẫn đến tính tùy ý cao. Để tránh những sai số ảnh hưởng đến giá trị lún cuối cùng, thường áp dụng các phương pháp được giới thiệu dưới đây.

5.1. Phương pháp đường cong hyperbol

Phương pháp đường cong hyperbol là một phương pháp kinh nghiệm giả định rằng tốc độ lún trung bình giảm theo dạng đường cong hyperbol. Độ lún tại thời điểm bất kỳ t kể từ khi bắt đầu đắp đất S_t có thể tính bằng công thức (2-4-43):

$$S_t = S_0 + \frac{t}{a + bt} \tag{2-4-44}$$

$$S_t = S_0 + \frac{1}{b} \tag{2-4-45}$$

trong đó:

S_t - độ lún tại thời điểm t;

S_f - độ lún cuối cùng ($t = \infty$);

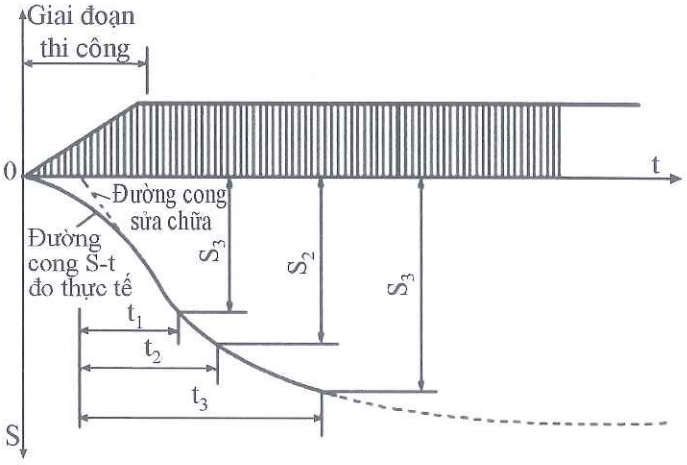
S_0 - độ lún ban đầu ($t = 0$);

a, b - các hệ số được xác định thông qua hồi quy từ dữ liệu đo thực tế sau khi tải trọng không còn thay đổi.

Quy trình tính toán cụ thể như sau:

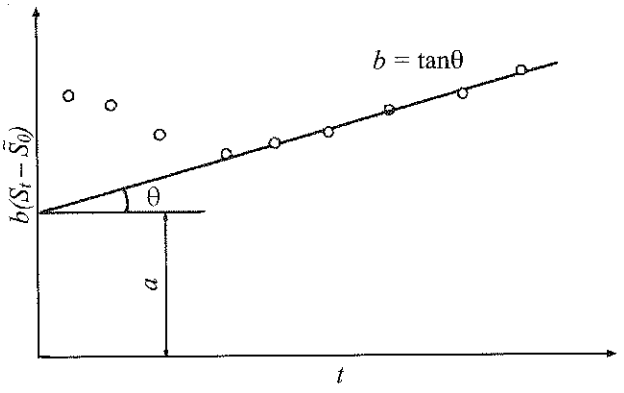
(1) Xác định thời điểm bắt đầu ($t = 0$), có thể lấy ngày hoàn thành đắp đất làm $t = 0$.

(2) Tính $\frac{t}{(S_t - S_{0)}}$ từ các giá trị đo thực tế, như biểu diễn trong Hình 2-4-5.



Hình 2-4-5: *Minh họa phương pháp đường cong hyperbol*

(3) Vẽ đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa t và $\frac{t}{(S_t - S_0)}$, sau đó xác định các hệ số a và b như minh họa trong Hình 2-4-6.



Hình 2-4-6: *Ý nghĩa của các hằng số a và b.*

(4) Tính S_t, từ quan hệ đường cong song song suy ra đường cong lún $S - t$. Phương pháp đường cong song song yêu cầu thời gian đo lường lún sau khi tải trọng ổn định ít nhất là 6 tháng trở lên.

5.2. Phương pháp hàm số mũ

Phương trình của phương pháp hàm số mũ được biểu diễn như sau:

$$S_t = (1 - Ae^{-Bt})S_f \tag{2-4-46}$$

trong đó:

S_f - lượng lún vô cùng ($t = \infty$);

A, B - các hằng số.

Phương pháp đường cong hàm số mũ và phương pháp đường cong song song đơn giản, dễ sử dụng nhưng giả định rằng tải trọng được áp dụng một lần hoặc đột ngột, điều này không hoàn toàn phù hợp với điều kiện thực tế. Vì vậy, những phương pháp này cần được cải tiến. Các phương pháp như đường cong song song sửa đổi và phương pháp hàm số mũ sửa đổi sẽ chia tải trọng của nền đường thành nhiều giai đoạn, sau đó cộng dồn các mức lún do từng giai đoạn tải trọng gây ra.

5.3. Phương pháp song song và hàm số mũ hiệu chỉnh

Đối với trường hợp tải trọng được gia tăng theo nhiều giai đoạn và đường cong lún của nền đường phát triển theo từng bậc thang, mô hình hàm song song hoặc hàm số mũ thông thường có thể được mở rộng thành các công thức sau:

$$S_t = \sum_{k=1}^{m}\left(S_{0k} + \frac{t}{a+bt}S_k\right) \tag{2-4-47}$$

$$S_t = \sum_{k=1}^{m}\left[1 - Ae^{-Bt}\right]S_k \tag{2-4-48}$$

trong đó:

m - tổng số cấp tải trọng;

t - khoảng thời gian từ thời điểm dự báo lún t_i đến thời điểm gia tăng tải trọng cấp k;

S_k - lượng lún cuối cùng do gia tăng tải trọng cấp k gây ra. Nếu tốc độ gia tải và điều kiện đất nền không đổi, bỏ qua tính phi tuyến của đất nền, thì S_k tỷ lệ thuận với độ lớn của tải trọng:

$$S_k = C\Delta P_k \tag{2-4-49}$$

P_k - gia tăng tải trọng cấp k.

a, b, A, B, C - các tham số đặc trưng cho tính chất cố kết của đất, không phụ thuộc vào việc gia tải và được xem là hằng số.

Do đó, các công thức (2-4-47) và (2-4-48) có thể viết lại như sau:

$$S_t = \sum_{k=1}^{m}\left(d + \frac{t}{a+bt}\right)C\Delta P_k \tag{2-4-50}$$

$$S_t = \sum_{k=1}^{m}\left[1 - Ae^{-Bt}\right]C\Delta P_k \tag{2-4-51}$$

$$d = \frac{S_{0k}}{C\Delta P_k} \tag{2-4-52}$$

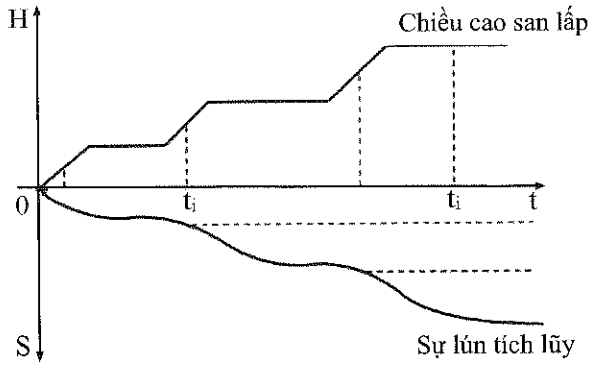
Dựa trên các giá trị lún đo đạc thực tế, sử dụng phương pháp thử để xác định các tham số trong các công thức (2-4-50), (2-4-51) và (2-4-52). Sau khi xác định được các tham số, thay chúng vào công thức kinh nghiệm, lần lượt tính toán lượng lún do mỗi cấp tải trọng tại thời điểm t_i, sau đó cộng dồn để được tổng lượng lún tại thời điểm đó (xem Hình 2-4-7).

Phương pháp hàm số mũ hiệu chỉnh và phương pháp song song hiệu chỉnh còn có thể dự đoán lượng lún do gia tăng tải trọng trong giai đoạn sau (chẳng hạn như đối với các đoạn đường không có gia tải trước hoặc tải trọng do tàu và đường ray tăng thêm). Giả sử đã có dữ liệu quan trắc lún cho m_1 cấp tải trọng và cần dự báo lượng lún tại thời điểm t_i, sau khi tăng thêm m_2 cấp tải trọng, ta thực hiện như sau:

1- Đặt $m = m_1$, sử dụng dữ liệu thực nghiệm để hiệu chỉnh các tham số trong công thức (2-4-47) hoặc (2-4-48).

2- Đặt $m = m_2$, thay các tham số đã hiệu chỉnh vào một trong hai công thức trên để tính toán lượng lún tại thời điểm t_i.

3- Việc hiệu chỉnh tham số sử dụng phương pháp tối ưu hóa 0,618, sao cho tổng bình phương sai số giữa lượng lún thực tế và tính toán tại các thời điểm quan trắc là nhỏ nhất.



Hình 2-4-7: *Đường cong phát triển giữa gia tải và lún*

Đối với nền đường, chiều rộng tải trọng của lớp đất đắp giảm dần khi nền đường nâng cao, làm giảm độ sâu mà gia tải gây ra áp lực trong nền. Xét đến yếu tố này, dựa trên nguyên lý của phương pháp phân lớp tổng hợp, người ta cho rằng lượng lún liên quan trực tiếp đến áp lực phụ trong nền. Lượng lún tỷ lệ với diện tích biểu đồ phân bố áp lực phụ theo chiều sâu, thay vì tỷ lệ với cường độ tải trọng tác dụng trên bề mặt. Do đó, với các mức tải trọng có chiều rộng khác nhau, áp lực phụ tương ứng được điều chỉnh dựa trên diện tích biểu đồ phân bố áp lực phụ trong nền.

5.4. Phương pháp tốc độ lún

Giả thiết:

$$S_\infty = mS_c \tag{2-4-53}$$

$$S_t = \left[(m-1)\frac{p_t}{p_0} + U_t\right] S_c \tag{2-4-54}$$

$$S_t = \left[(m-1)\frac{p_t}{p_0} + 1 - \alpha . e^{-\beta . t}\right] S_c \tag{2-4-55}$$

trong đó:

t - thời gian đã trôi qua;

S_∞ - độ lún cuối cùng;

S_t - độ lún tại thời điểm t;

S_c - độ lún cố kết;

p_t - tổng tải trọng tích lũy tại thời điểm t;

p_0 - tổng tải trọng tích lũy cuối cùng;

m - hệ số hiệu chỉnh tổng hợp;

β - hệ số thu được từ tính toán hồi quy;

α - tham số người dùng nhập, thường lấy $\alpha = \frac{8}{\pi^2}$ hoặc xác định dựa trên điều kiện thoát nước của nền đất.

Khi tải trọng không đổi:

$$S_t = AS_c e^{-\beta.t} \tag{2-4-56}$$

$$A = \frac{8}{p_0 \pi^2} \sum_{1}^{n} q_n (e^{\beta.t_n} - e^{\beta.t_{n-1}}) \tag{2-4-57}$$

trong đó:

q_n - tốc độ gia tải tại giai đoạn thứ n;

A - hằng số;

t_n , t_{n-1} - thời điểm kết thúc và bắt đầu của giai đoạn gia tải thứ n.

Thông qua phân tích hồi quy tuyến tính giữa $\ln(s_t)$ và t, ta có thể xác định các giá trị của A, S_c, β. Sau đó, dựa vào công thức tính lún và giá trị α, tính ngược lại các giá trị m cho từng giai đoạn tải trọng, và lấy giá trị trung bình làm giá trị cuối cùng của m. Từ đó, có thể tính được độ lún tại bất kỳ thời điểm nào.

Ngoài ra, có thể sử dụng hai công thức sau để xác định hệ số cố kết theo phương đứng và phương ngang:

1- Khi chỉ có thoát nước theo phương đứng:

$$\beta = \frac{\pi^2 C_v}{4H^2} \tag{2-4-58}$$

2- Khi có thoát nước đồng thời theo phương đứng và phương ngang:

$$\beta = \frac{\pi^2 C_v}{4H^2} + \frac{8C_h}{F(n)d_e^2} \tag{2-4-59}$$

trong đó:

F(n) - hàm số:

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \times \ln n + \frac{3n^2 - 1}{4n^2};$$

H - khoảng cách thoát nước lớn nhất;

d_e - đường kính thoát nước hiệu quả của hệ thống thoát nước ngầm;

n - tỷ số đường kính giếng, tức là tỷ số giữa đường kính thoát nước hiệu quả và đường kính giếng thoát nước;

C_v - hệ số cố kết theo phương ngang;

C_h - hệ số cố kết theo phương đứng.

Phương pháp tốc độ lún yêu cầu nhập tốc độ lún tại từng thời điểm giám sát làm cơ sở phân tích và phù hợp với trường hợp lớp đất mềm dày, tốc độ đắp đất tương đối đồng đều. Đồng thời, yêu cầu thời gian giám sát lún sau khi bắt đầu tải trọng không đổi phải ít nhất là 6 tháng.

5.5. Lý thuyết xám

Lý thuyết xám thuộc lĩnh vực khoa học hệ thống, mang đến một phương pháp mới giúp giải quyết các vấn đề hệ thống trong điều kiện thiếu thông tin. Theo lý thuyết này, các biến ngẫu nhiên được coi là các đại lượng xám - tức là những đại lượng biến đổi trong một phạm vi nhất định, và quá trình ngẫu nhiên được xem như một quá trình xám liên quan đến thời gian. Phương pháp này tổ chức các dữ liệu ban đầu còn rời rạc và thiếu trật tự thành một chuỗi số liệu có quy luật rõ ràng hơn, từ đó xây dựng mô hình dự báo. Nhờ đó, lý thuyết xám giúp xử lý vấn đề ở mức độ cao hơn và mô tả đầy đủ xu hướng biến đổi lâu dài của hệ thống.

Quy trình dự báo bằng hệ thống xám dựa trên nguyên tắc: từ chuỗi số liệu ngẫu nhiên dương theo thời gian, sử dụng phép tích lũy phù hợp để tạo thành chuỗi dữ liệu không âm, tăng dần. Sau đó, áp dụng phương pháp xấp xỉ thích hợp để tạo ra đường cong dự báo cho hệ thống.

Mô hình xám tổng quát được ký hiệu là GM(n, h), mô tả phương trình vi phân cấp n cho h biến số. Trong thực tế, mô hình dùng để dự báo chủ yếu là GM(n, i), trong đó GM(i, i) là mô hình thường gặp nhất khi dự báo lún.

Mô hình GM(i, i) được xây dựng dựa trên chuỗi dữ liệu có khoảng thời gian đều nhau. Tuy nhiên, trong thực tế, dữ liệu quan trắc lún thường có khoảng thời gian không đều. Vì vậy, cần chuyển đổi dữ liệu quan trắc thành chuỗi có khoảng thời gian bằng nhau. Phương pháp nội suy Lagrange thường được sử dụng để chuyển đổi chuỗi dữ liệu không đều thành chuỗi có thời gian đều nhau.

Giả sử chuỗi thời gian trầm lắng không đồng khoảng cách được biểu diễn dưới dạng:

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(t_i) \mid t_i \in R^+, i = 1, 2, ..., n\} \tag{2-4-60}$$

Tính khoảng thời gian trung bình Δt_0:

$$\Delta t_0 = \frac{1}{n-1}(t_n - t_1) \tag{2-4-61}$$

Tính giá trị trầm lắng xám tương ứng tại các điểm đồng thời gian với $x_1^{(0)}(i)$ ($i = 1, 2, \ldots, n$):

- Khi $i = 1$:

$$x_1^{(0)}(1) = x^{(0)}(t_1) \tag{2-4-62}$$

• Khi $i = n$:

$$x_1^{(0)}(n) = x^{(0)}(t_n) \tag{2-4-63}$$

• Khi $i = 2, 3, \ldots, n-1$, sử dụng phương pháp nội suy Lagrange đoạn tuyến tính, ta có:

$$x_1^{(0)}(i) = x^{(0)}(t_{i-1}) + \frac{x^{(0)}(t_i) - x^{(0)}(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}}[t_1 + (i-1)\Delta t_0 - t_{i-1}] \tag{2-4-64}$$

Như vậy, ta thu được chuỗi thời gian trầm lắng đồng khoảng cách:

$$X_1^{(0)} = \{x_1^{(0)}(i) \mid i = 1, 2, \ldots, n\} \tag{2-4-65}$$

- Khởi tạo mô hình GM(i, i):

Trên chuỗi đồng khoảng cách $X_1^{(0)}$, thực hiện tích lũy một lần (i-AGO) để thu được chuỗi tích lũy:

$$X_1^{(1)} = \{x_1^{(1)}(i) \mid i = 1, 2, \ldots, n\} \tag{2-4-66}$$

trong đó:

$$x_1^{(0)}(i) = \sum_{k=1}^{n} x_1^{(0)}(k) \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{2-4-67}$$

- Thiết lập phương trình vi phân dạng GM(i, i):

Dựa trên chuỗi $X_1^{(1)}$, thiết lập mô hình GM(i, i) có dạng vi phân trắng như sau:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \tag{2-4-68}$$

Phương trình phản hồi theo thời gian:

$$\hat{x}^{(1)}(t) = \left| x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right| e^{-at} + \frac{u}{a} \tag{2-4-69}$$

Phương trình phản hồi dạng rời rạc:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left| x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right| e^{-ak} + \frac{u}{a} \tag{2-4-70}$$

- Xác định các tham số của mô hình:

Dãy tham số xám được xác định như sau:

$$\hat{a} = [a, u]^T = (B^T B)^{-1} B^T y_N \tag{2-4-71}$$

trong đó:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x_1^{(1)}(1) + x_1^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x_1^{(1)}(2) + x_1^{(1)}(3)] & 1 \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ -\frac{1}{2}[x_1^{(1)}(n-1) + x_1^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix} \tag{2-4-72}$$

$$y_n = [x_1^{(0)}(2),\ x_1^{(0)}(3),\ ...,\ x_1^{(0)}(n)]^T \tag{2-4-73}$$

- Dự đoán giá trị trầm lắng:

Để so sánh với dữ liệu ban đầu, thay thời gian t_i trong chuỗi thời gian không đồng khoảng cách vào mô hình, thu được:

$$\hat{x}^{(1)}(t_i) = \left| x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right| e^{-a(t_i - t_1)/\Delta t_0} + \frac{u}{a} \tag{2-4-74}$$

Sau khi khôi phục, ta thu được chuỗi khôi phục - chính là giá trị trầm lắng dự báo:

$$\hat{x}^{(0)}(t) = \begin{cases} \hat{x}^{(1)}(t_i) & (i = 1) \\ \hat{x}^{(1)}(t_i) - x^{(1)}(t_i - \Delta t_0) & (i = 1,\ 2,\ 3,\ ...,\ n) \end{cases} \tag{2-4-75}$$

- Kiểm tra độ chính xác của mô hình GM(i, i):

Độ chính xác của mô hình thường được kiểm tra bằng phương pháp sai số hậu nghiệm.

- Sai số tại thời điểm i:

$$q^{(0)}(t_i) = x^{(0)}(t_i) - \hat{x}^{(0)}(t_i) \quad (i = 1,\ 2,\ 3,\ ...,\ n) \tag{2-4-76}$$

- Giá trị trung bình của sai số:

$$\overline{q} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} q^{(0)}(t_i) \tag{2-4-77}$$

- Phương sai của sai số:

$$S_2^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} [q^{(0)}(t_i) - \overline{q}\,]^2 \tag{2-4-78}$$

- Giá trị trung bình của dữ liệu gốc:

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x^{(0)}(t_i) \tag{2-4-79}$$

• Phương sai của dữ liệu gốc:

$$S_1^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[x^{(0)}(t_i) - \overline{x}]^2 \qquad (2\text{-}4\text{-}80)$$

Từ đó, các chỉ tiêu kiểm tra sai số hậu nghiệm được xác định như sau:

(1) Tỷ số sai số hậu nghiệm: $C = \frac{S_2}{S_1}$

(2) Độ bao phủ sai số nhỏ:

$$P = P\{|\, q(i) - \overline{q}\,| < 0.6745\, S_1\}$$

Dựa vào hai chỉ tiêu trên, xác định cấp độ chính xác theo Bảng 2-4-3.

Bảng 2-4-3: Cấp độ kiểm tra sai số hậu nghiệm

Độ chính xác dự đoán	Tốt	Hợp lệ	Tạm chấp nhận	Không đạt
C	$C \le 0.35$	$0.35 < C \le 0.50$	$0.50 < C \le 0.65$	$0.65 < C$
P	$0.95 \le P$	$0.80 \le P < 0.95$	$0.70 \le P < 0.80$	$P < 0.70$

Mặc dù mô hình GM*(i, i)* có khả năng dự đoán độ lún tại các thời điểm tương lai mà không đòi hỏi quá nhiều dữ liệu quan trắc ban đầu, nhưng trong suốt quá trình thi công, các số liệu quan trắc mới sẽ liên tục được thu thập. Do ảnh hưởng của nhiều yếu tố làm thay đổi điều kiện thực tế, mô hình dự báo ban đầu có thể trở nên lỗi thời, dẫn đến sai lệch trong kết quả dự báo. Vì vậy, để duy trì độ chính xác cao, cần thường xuyên cập nhật và tối ưu hóa mô hình dự báo dựa trên dữ liệu mới nhất, nhờ đó giúp cải thiện độ chính xác khi đưa ra các dự báo tiếp theo.

Khi xây dựng mô hình GM*(i, i)*, phương pháp "thay cũ đổi mới" có thể được áp dụng. Phương pháp này giữ nguyên số lượng dữ liệu bằng cách loại bỏ dữ liệu cũ và thay thế bằng dữ liệu mới. Cụ thể, sau khi mô hình được thiết lập từ chuỗi dữ liệu ban đầu và dự đoán được giá trị tiếp theo, giá trị dự đoán này sẽ được thêm vào cuối dãy, đồng thời giá trị đầu tiên sẽ bị loại bỏ. Quá trình này giữ nguyên số phần tử trong chuỗi dữ liệu và tiếp tục xây dựng mô hình mới để dự báo. Ngoài việc sử dụng giá trị dự đoán, có thể bổ sung dữ liệu quan trắc thực tế mới nhất, loại bỏ những dữ liệu cũ không còn phù hợp, đảm bảo tính liên tục và cập nhật của chuỗi dữ liệu.

Về bản chất, tốc độ lún của nền móng sẽ giảm dần theo thời gian, nghĩa là quá trình lún có xu hướng chậm lại khi tiến đến trạng thái ổn định. Tuy nhiên, mô hình GM*(i,i)* lại mang tính chất của một hàm mũ có đặc điểm tăng trưởng không giới hạn,

điều này khiến mô hình chỉ phù hợp cho dự báo ngắn hạn và có thể tham khảo cho dự báo trung hạn. Khi sử dụng cho dự báo dài hạn, độ tin cậy sẽ giảm đáng kể. Trong thực tế, đường cong lún thường bao gồm hai giai đoạn với đặc điểm khác nhau: giai đoạn đầu khi gia tải, tốc độ lún tăng nhanh; giai đoạn sau khi tiền gia cố, tốc độ lún giảm dần và tiến tới trạng thái ổn định. Do đó, có thể áp dụng phương pháp làm "giảm trọng số" cho đoạn đầu của chuỗi dữ liệu, giúp mô hình phù hợp hơn với xu hướng giảm dần của đoạn sau.

5.6. Mạng nơ-ron nhân tạo

Mô hình mạng nơ-ron nhân tạo được xây dựng dựa trên hệ thống vật lý có khả năng mô phỏng cấu trúc và chức năng của các tế bào thần kinh trong não người. Nó bao gồm một hệ thống động phi tuyến cao, được cấu thành từ nhiều nơ-ron có chức năng đơn giản liên kết với nhau và hoạt động theo cấu trúc song song. Mạng nơ-ron có khả năng chịu lỗi tốt, khi một số ít nơ-ron hoặc liên kết gặp sự cố thì chức năng tổng thể của mạng vẫn ít bị ảnh hưởng. Đồng thời, mạng có tính thích nghi cao, có thể tự học để thích ứng với những thay đổi từ môi trường bên ngoài.

Mạng nơ-ron thể hiện ưu thế đặc biệt khi xử lý những thông tin phức tạp, trong những trường hợp nền tảng thông tin không rõ ràng hoặc không có quy tắc cụ thể. Nhờ khả năng ánh xạ phi tuyến mạnh mẽ, mạng nơ-ron được ứng dụng để xây dựng mô hình dự báo dựa trên dữ liệu thực nghiệm về lún sụt bằng cách sử dụng mạng lan truyền ngược sai số (BP - Back Propagation).

- ***Ứng dụng trong dự báo lún sụt nền móng***

Nền móng chịu ảnh hưởng và bị chi phối bởi nhiều yếu tố khác nhau, do đó rất khó biểu diễn các quy luật biến đổi tự nhiên của nó bằng một công thức toán học rõ ràng. Mạng nơ-ron nhân tạo là một đột phá trong lĩnh vực này, bởi phương pháp này xem các biến đầu vào và đầu ra của hàm truyền thống như các đầu vào và đầu ra của mạng, rồi biến đổi quan hệ hàm truyền thống thành ánh xạ phi tuyến trong không gian cao chiều, thay vì sử dụng các biểu thức toán học rõ ràng.

Đối với việc dự báo lún sụt nền móng trên đất yếu, phương pháp này cho phép xây dựng trực tiếp mô hình cho các kết cấu địa chất phức tạp dựa trên dữ liệu thực tế. Cách làm cụ thể như sau: sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) để xây dựng mối quan hệ phi tuyến giữa các yếu tố ảnh hưởng đến lún sụt (chẳng hạn như phương pháp xử lý, độ dày lớp đất yếu, độ dày lớp vỏ cứng của nền, mô-đun nén của đất yếu, mô-đun nén của lớp vỏ cứng, tỷ lệ cao trên rộng của nền đắp, thời gian thi công và lượng lún sụt khi hoàn thành) và độ lún sụt. Sau khi xây dựng xong mô hình, các thông số ảnh hưởng tại điểm cần dự báo sẽ được đưa vào mạng đã được huấn luyện để dự báo lượng lún sụt.

• ***Mô hình mạng BP trong thực tế***

Trong ứng dụng thực tế, mô hình mạng nơ-ron lan truyền ngược sai số BP được sử dụng phổ biến nhất. Mạng BP là mạng truyền thẳng nhiều lớp, bao gồm:

• Lớp đầu vào có n nơ-ron.

• Lớp đầu ra có q nơ-ron.

• Lớp ẩn có p nơ-ron.

Mạng BP là một loại mạng truyền thẳng có khả năng huấn luyện trọng số thông qua các hàm phi tuyến có thể vi phân. Nó thuộc loại thuật toán δ và là một phương pháp học có giám sát. Nguyên tắc chính của BP là: với q mẫu học p^1, p^2, ..., p^q, đã biết các đầu ra mong muốn tương ứng $T^1, T^2, ..., T^q$. Quá trình học sẽ điều chỉnh trọng số dựa trên sai số giữa các đầu ra thực tế A_1, A^2, ..., A^q và các đầu ra mong muốn T^1, T^2, ..., T^q, sao cho các đầu ra thực tế ngày càng gần với giá trị mong muốn.

Quá trình lan truyền ngược sai số được thực hiện thông qua việc tối thiểu hóa một hàm năng lượng E, được định nghĩa là sai số bình phương trung bình của các đầu ra tại lớp cuối cùng. Giả sử có L mẫu học, khi đó:

$$E = \frac{1}{Lq} \sum_{i=1}^{L} \sum_{j=1}^{q} (C_j^i - O_j^i)^2 \qquad (2\text{-}4\text{-}81)$$

trong đó:

C_j^i, O_j^i - lần lượt là đầu ra thực tế và đầu ra mong muốn của mẫu học thứ i.

• ***Các bước học của mạng BP:***

(1) *Khởi tạo mạng:* Nhập tốc độ học α, β; đặt sai số học lớn nhất ε; gán giá trị ngẫu nhiên trong khoảng [−1, +1] cho ma trận trọng số U từ lớp đầu vào đến lớp ẩn và ma trận trọng số V từ lớp ẩn đến lớp đầu ra.

(2) *Cung cấp tập mẫu học*: Để đảm bảo các giá trị tuyệt đối của các nút đầu vào không ảnh hưởng đến khả năng học của mạng, thực hiện chuẩn hóa các biến bằng công thức:

$$X^* = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \qquad (2\text{-}4\text{-}82)$$

trong đó:

X^* - giá trị sau khi chuẩn hóa;

X - giá trị thực tế;

X_{max}, X_{min} - lần lượt là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của biến.

(3) Thực hiện các bước sau cho từng cặp mẫu A_m, C_m (m = 1, 2, ..., L):

① Tính giá trị đầu vào có trọng số và giá trị đầu ra của từng lớp.

② Tính sai số của từng lớp.

③ Điều chỉnh giá trị tại từng lớp.

④ Khi hoàn thành việc xử lý mẫu, chuyển sang vòng học tiếp theo.

⑤ Kiểm tra điều kiện dừng: nếu $E > \varepsilon$, tiếp tục học; nếu không, kết thúc quá trình học.

Mô hình BP dần đạt đến mục tiêu bằng cách liên tục cập nhật trọng số và độ lệch, dựa trên việc điều chỉnh theo hướng giảm dần của hàm sai số. Quá trình điều chỉnh này diễn ra ở mỗi bước và tỷ lệ thuận với mức độ ảnh hưởng của sai số, đồng thời được truyền ngược trở lại qua từng lớp trong mạng để cải thiện độ chính xác của mô hình.

IV. XỬ LÝ NỀN MÓNG

1. Tổng quan về xử lý nền đất yếu

Nền đất yếu là loại đất sét dính hình thành trong môi trường nước tĩnh hoặc dòng chảy chậm, thường có những đặc điểm như: chứa nhiều nước ($w \geq w_L$), độ rỗng cao (e > 1,0), khả năng nén lún lớn ($a_{0.1\sim0,2} \geq 0.5$ MPa) và cường độ chịu tải thấp (P_s < 800 kPa). Loại đất này phân bố rộng rãi ở nhiều vùng ven biển và nội địa tại Trung Quốc. Trong quá trình xây dựng đường sắt, các công trình thường gặp phải loại nền này. Qua nhiều năm thi công, các kỹ sư đã tích lũy được nhiều kinh nghiệm quý báu. Tuy vậy, việc kiểm soát lún nền tại những khu vực đất yếu vẫn là một thách thức chưa thể giải quyết triệt để.

Tuyến đường sắt Tiêu Dung, khởi công trước thời kỳ kháng chiến chống Nhật và khôi phục sau khi giải phóng, đã được kéo dài đến Ninh Ba vào năm 1959. Qua khảo sát vào năm 1991, đoạn đắp nền tại đầu cầu sông Du Dao có chiều cao từ 4 đến 7 m, được xử lý bằng nguyên lý áp lực phản đẩy và ghi nhận tổng độ lún đạt 2,4 m, với mức lún tiếp diễn khoảng 10 cm mỗi năm. Tại tuyến Trường Hàng, đoạn nền đất yếu dài khoảng 52 km, được xây dựng vào năm 1970 và đưa vào vận hành năm 1972. Đến năm 1991, kết quả khảo sát cho thấy: 23% đoạn đường có độ lún dưới 30 cm, 77% đoạn đường lún trên 30 cm, trong đó có 7% đoạn đường lún gần 1 m. Các công trình như cầu Hồ Châu và cầu Trung Nam Tiêu Khê sử dụng giếng cát gia cố nền, sau 20 năm khai thác vẫn ghi nhận mức lún rất nhỏ.

Tại khu vực ven hồ Thái Hồ, đoạn đắp nền cao từ 4,1 đến 4,5 m không được gia cố mà xử lý bằng phương pháp áp lực phản đẩy, dẫn đến tình trạng lún lớn về sau, buộc phải gia tăng lớp nền đường lên đến 1,6 - 1,7 mét. Đoạn Từ Liên của tuyến đường Long Hải, khu vực Vân Trung, từ khi đưa vào vận hành vào tháng 4 năm 1987 đến năm 1995 đã ghi nhận độ lún sau thi công lên tới 2,5 m, trở thành ví dụ điển hình về lún nghiêm trọng của nền đất yếu trên toàn quốc. Nhiều tuyến đường như Hành Quảng, Tam Mao cũng gặp tình trạng lún lớn sau thi công. Để đảm bảo an toàn vận hành, các đơn vị bảo trì phải thường xuyên bổ sung đá ballast và nâng cao nền đường, gây khó khăn lớn trong công tác bảo trì và tiêu tốn nhiều nhân lực cũng như chi phí.

Người ta dự báo rằng tình trạng lún sau thi công sẽ có tác động trực tiếp đến khả năng vận hành, phương thức bảo trì cũng như chi phí vận hành của các tuyến đường sắt cao tốc trong tương lai.

Do ảnh hưởng của nền đất yếu đến hoạt động đường sắt ngày càng được nhận thức rõ hơn và tốc độ tàu không ngừng tăng lên, các tiêu chuẩn kiểm soát lún nền cũng ngày càng khắt khe hơn. Theo "Quy định thiết kế tạm thời về cầu, hầm và nhà ga trên tuyến đường sắt mới tốc độ 160 km/h", độ lún sau thi công không được vượt quá 20 cm và tốc độ lún không quá 5 cm/năm. Đối với các tuyến đường sắt tốc độ 200 km/h trở lên, yêu cầu này còn nghiêm ngặt hơn.

• ***Mục đích và phương pháp xử lý nền móng***

Xử lý nền móng nhằm nâng cao khả năng chịu tải của nền đất và giảm thiểu tình trạng lún (bao gồm cả lún sau thi công). Khi nền đất tự nhiên không đủ ổn định hoặc không đáp ứng được các yêu cầu về biến dạng công trình, cần thực hiện các biện pháp xử lý để cải thiện nền đất.

Các phương pháp xử lý nền đất có thể chia thành hai nhóm chính:

1- Cải tạo đất nền tự nhiên: Bao gồm các phương pháp như gia tải trước kết hợp thoát nước cố kết, đầm chặt, ép chặt tại chỗ hoặc thay thế lớp đất yếu bằng lớp đất mới.

2- Tạo nền móng kết hợp:

o Gia cố nền bằng các vật liệu nhân tạo như nền móng hỗn hợp với xi măng.

o Kết hợp giữa các vật liệu tự nhiên và nền đất tự nhiên, ví dụ như phương pháp sử dụng cọc có cường độ thấp.

o Sử dụng các vật liệu đầm chặt như cọc đá dăm chấn động để tăng độ chặt cho nền đất yếu.

o Tăng cường nền theo phương ngang bằng các lớp vật liệu gia cố để hình thành nền móng kết hợp.

Trong những năm gần đây, các nhà khoa học trong và ngoài nước đã nghiên cứu sâu về đặc tính của các vật liệu gia cố theo phương đứng và phương ngang. Dựa trên kết quả nghiên cứu, họ đã phát triển lý thuyết nền móng hỗn hợp dạng mạng lưới và áp dụng thành công vào thực tế, mang lại hiệu quả đáng kể.

Để lựa chọn được phương pháp xử lý phù hợp và kinh tế nhất, cần xem xét các yếu tố như điều kiện địa chất, tiêu chuẩn thiết kế nền đắp, mục tiêu xử lý và tác động đến môi trường. Tùy theo từng điều kiện địa chất và tải trọng cụ thể mà áp dụng các giải pháp xử lý nền đất yếu sao cho phù hợp, đảm bảo chất lượng công trình, hiệu quả kinh tế và rút ngắn tiến độ thi công.

Việc sử dụng tải trọng từ nền đắp để xử lý nền đất yếu là một giải pháp mang lại hiệu quả cao về kinh tế và kỹ thuật, giúp gia cố tốt nền móng và hạn chế đáng kể tình trạng lún sau thi công. Phương pháp cọc trộn sâu giúp giảm độ lún trong phạm vi thân cọc, hạn chế biến dạng ngang và rút ngắn thời gian thi công. Tuy nhiên, hiệu quả của phương pháp này sẽ bị giảm nếu cọc không xuyên qua toàn bộ lớp đất yếu.

Tại các đoạn chuyển tiếp giữa cầu và đường, việc sử dụng cọc trộn sâu giúp hạn chế biến dạng ngang của đất yếu đối với móng cầu, giảm xung đột giữa mố cầu và phần đắp đất phía sau, đồng thời đảm bảo tiến độ thi công.

2. Phương pháp thoát nước cố kết

Phương pháp thoát nước cố kết đã được áp dụng từ lâu và đến nay vẫn phổ biến nhờ vào các ưu điểm như: lý thuyết đã được hoàn thiện, thiết bị thi công đơn giản và chi phí thấp. Tuy nhiên, vì phương pháp này yêu cầu phải gia tải trước trong thời gian dài, nên không phù hợp với những công trình có tiến độ gấp hoặc không có điều kiện chất tải. Ngoài ra, phương pháp này chỉ có tác dụng đẩy nhanh quá trình cố kết mà không thể giảm bớt lượng lún, vì vậy cần cân nhắc kỹ khi áp dụng cho những công trình đòi hỏi kiểm soát chặt chẽ về lún hoặc lún không đều. Kết quả từ nhiều công trình thực tế cho thấy độ sâu xử lý hiệu quả của phương pháp này là 12 đến 15 m. Nếu vượt quá độ sâu này, việc tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng sẽ trở nên rất khó khăn và chậm, do đó cần lưu ý khi thiết kế.

2.1. Gia tải trước và gia tải siêu tải

Gia tải trước là việc sử dụng tải trọng trước khi xây dựng công trình để loại bỏ phần lớn lượng lún. Trong trường hợp tải trọng gia tải vượt quá tải trọng vĩnh cửu của công trình, có thể loại bỏ thêm một phần lún cố kết thứ cấp và gọi là **gia tải siêu tải**.

2.2. Gia tải chân không

Phương pháp gia tải chân không sử dụng hệ thống ống hút đặt trong lớp đệm cát trên mặt đất để hút khí, tạo ra áp suất âm, từ đó thúc đẩy quá trình thoát nước và

cố kết đất yếu. Nếu kết hợp với giếng cát hoặc băng thoát nước bằng nhựa dưới lớp đệm cát, hiệu quả sẽ được nâng cao đáng kể.

Phương pháp này không đòi hỏi một lượng lớn vật liệu gia tải, tận dụng áp suất khí quyển để nén chặt đất, đồng thời giúp loại bỏ các bọt khí trong đất, làm tăng khả năng thấm nước và rút ngắn thời gian cố kết. Điều này giúp kiểm soát tốt tình trạng lún trong và sau khi thi công, đồng thời tăng độ ổn định của nền đường, khiến phương pháp trở thành lựa chọn phù hợp để xử lý nền đất yếu trong các điều kiện có thể tạo áp suất âm ổn định.

2.3. Kết hợp gia tải chân không và gia tải thông thường

Phương pháp này kết hợp gia tải chân không và gia tải thông thường. Khi áp suất âm đạt mức yêu cầu, có thể bổ sung thêm tải trọng thông thường. Tải trọng từ hai phương pháp này được cộng gộp để tính toán tổng áp suất tác dụng lên nền đất. Phương pháp này thích hợp cho các loại đất yếu như đất sét mềm, đất bột, đất đắp hỗn hợp, đất bồi lấp hoặc đất bùn.

2.4. Giếng cát và băng thoát nước nhựa

Giếng cát và băng thoát nước nhựa được sử dụng để tạo các đường thoát nước, giúp rút ngắn thời gian cố kết và tăng cường độ của nền đất. Giếng cát là một trong những giải pháp hiệu quả nhất để đẩy nhanh quá trình thoát nước. Phương pháp này thi công bằng cách tạo các trụ tròn chứa cát trong đất, từ đó hình thành hệ thống thoát nước xuyên tâm lấy giếng cát làm trung tâm.

Băng thoát nước nhựa tuy không thoát nước nhanh bằng giếng cát, nhưng có các ưu điểm như khả năng chịu nén tốt, thấm nước cao, bền với môi trường hóa chất và chống ăn mòn. Băng nhựa ít bị gãy, không bị bong tróc, thích nghi tốt với biến dạng của đất yếu, thi công nhanh và mang lại hiệu quả kinh tế cao. Phương pháp này phù hợp để xử lý đất sét yếu có khả năng thấm nước kém, nhưng không thích hợp cho đất bùn có hàm lượng hữu cơ cao.

2.5. Hạ thấp mực nước ngầm

Phương pháp này sử dụng các giếng thoát nước hoặc ống dẫn nước đặt tiếp xúc với tầng đất thấm nước để hút trực tiếp, từ đó làm giảm mực nước ngầm và thúc đẩy quá trình cố kết. Phương pháp hạ thấp mực nước ngầm phù hợp với những công trình có mực nước ngầm cao gần mặt đất và độ sâu đào không lớn. Đặc biệt hiệu quả khi áp dụng cho nền đất bột hoặc cát mịn đã bão hòa nước.

2.6. Lớp đệm cát

Lớp đệm cát được sử dụng với hai mục đích: thay thế lớp đất yếu và tạo các kênh thoát nước theo phương ngang. Độ dày của lớp đệm cát thường dưới 1 m, tối thiểu

khoảng 0,4 m, được trải trực tiếp lên bề mặt đất. Trong trường hợp lớp đất trên cùng quá mềm hoặc có lớp đất cứng mỏng, có thể loại bỏ trước khi trải đệm cát.

Phương pháp này thường được áp dụng trong các công trình có diện tích lớn hoặc khối lượng đào đắp nhiều, đặc biệt là các công trình đắp nền trên khu vực trũng thấp. Lớp đệm cát giúp tăng khả năng thoát nước, đẩy nhanh tốc độ cố kết cho nền đất yếu ở các khu vực có lớp đất bùn, đất đắp lỏng lẻo hoặc đất đắp hỗn hợp. Độ sâu xử lý hiệu quả của phương pháp này thường là 2 - 3 m, thích hợp cho nền đất yếu không bão hòa hoặc đất đắp hỗn hợp..

3. Nền móng cọc trộn xi măng

Cọc trộn xi măng được tạo thành bằng cách sử dụng xi măng hoặc các vật liệu chứa xi măng làm chất gia cố, kết hợp với thiết bị trộn sâu đặc biệt để trộn trực tiếp đất tại chỗ với chất gia cố (ở dạng bùn hoặc bột). Kết quả là các trụ đất xi măng hình trụ được hình thành. Nhờ phản ứng vật lý và hóa học giữa chất gia cố và đất, các trụ này đạt được cường độ nhất định, cải thiện phần đất xung quanh cọc, từ đó tạo thành một nền móng tổng hợp có tính toàn khối, chống thấm tốt và có khả năng chịu tải. Ngoài ra, cọc trộn xi măng cũng có thể được thi công dưới dạng các tường chắn đất ngầm liên tục hoặc khối xi măng nhằm chịu tải hoặc chống thấm nước.

Kể từ khi xi măng Portland được phát minh vào năm 1824 bởi nhà sáng chế người Anh Aspdin, các ứng dụng như bơm vữa xi măng để chống thấm và trộn xi măng với đất làm nền đường đã trở nên phổ biến, chủ yếu được sử dụng để xử lý lớp đất nông. Sau Thế chiến thứ hai, Mỹ đã phát triển thành công công nghệ cọc trộn tại chỗ (MIP). Phương pháp này sử dụng một mũi khoan xoắn rỗng với đầu phun xi măng ở phía dưới để trộn xi măng với đất đã được làm mềm, tạo thành các cọc đất xi măng có đường kính từ 0,3 đến 0,4 m và chiều dài từ 10 đến 12 m.

Năm 1953, Công ty Xây dựng Shimizu của Nhật Bản đã nhập công nghệ này từ Mỹ và phát triển các phương pháp thi công bằng máy khoan xoắn như CSL và MR-D. Cả hai phương pháp này đều sử dụng cần khoan xoắn có cánh trộn đặc biệt và phun xi măng trực tiếp qua cần khoan để trộn mạnh với đất. Các phương pháp thi công này được gọi chung là phương pháp CDM (phương pháp tạo cọc đất xi măng bằng công nghệ phun bùn ướt). Kể từ khi phương pháp CDM ra đời, nó đã nhanh chóng phát triển và được ứng dụng rộng rãi. Ở Nhật Bản, phương pháp này được sử dụng phổ biến trong việc gia cố nền móng công trình, ổn định mái dốc, ngăn ngừa hóa lỏng đất và giảm ma sát âm. Ngoài ra, CDM cũng được áp dụng nhiều trong các công trình biển như ổn định tuyến đào hầm ngầm dưới đáy biển, gia cố nền móng cho đảo nhân tạo, cầu cảng, bến tàu, đê chắn sóng và bảo vệ bờ biển. Nhờ đặc điểm địa lý đặc thù, Nhật Bản đã đầu tư rất lớn vào các công trình biển, góp phần thúc đẩy sự phát triển nhanh chóng của công nghệ CDM.

Các thiết bị trộn sâu ở nước ngoài đã áp dụng công nghệ hiện đại với công suất lớn, khả năng xuyên thấu mạnh và hệ thống giám sát tự động, đảm bảo chất lượng thi công cao, hiện chưa có báo cáo về các trường hợp thất bại. Trong các công trình thực tế, phương pháp thiết kế thường khá thận trọng, với tỷ lệ thay thế lên đến 40% - 80% và cường độ thiết kế của cọc thường không vượt quá 0,6 MPa. Tuy nhiên, do thiếu nghiên cứu lý thuyết đầy đủ, chưa có dữ liệu hoàn chỉnh về trường ứng suất và biến dạng, dẫn đến việc thiết kế chưa đạt mức tối ưu.

Trong thập niên 1970 - 1980, cọc trộn xi măng tại Trung Quốc được ứng dụng rộng rãi trong xử lý nền móng mềm cho các công trình xây dựng nhiều tầng, gia cố hố móng bằng tường chắn trọng lực, chống thấm cho hố móng hoặc gia cố vùng thụ động, gia cố nền đường mềm và gia cố bãi tải. Một số công trình nhà cao tầng cũng từng áp dụng cọc trộn xi măng làm nền móng tổng hợp. Tuy nhiên, do thiết bị trộn được sản xuất trong nước chủ yếu là loại nhẹ, công suất nhỏ và khả năng xuyên thấu hạn chế, nên theo quy định, phương pháp này chỉ được sử dụng cho nền đất có sức chịu tải đặc trưng $f_{ak} \leq 140$ kPa. Việc này làm giới hạn phạm vi ứng dụng và gây ra không ít sự cố về chất lượng công trình. Đến thập niên 1990, cọc trộn xi măng dần bị loại bỏ khỏi lĩnh vực xử lý nền móng công trình xây dựng, nhưng vẫn được sử dụng trong gia cố nền đường mềm, bãi tải và hố móng.

Đầu thế kỷ XXI, công nghệ SMW (tường cọc trộn xi măng kiểu mới) phát triển mạnh tại Trung Quốc. Ngoài việc được ứng dụng rộng rãi trong các công trình chống đỡ hố móng, công nghệ này còn sử dụng máy trộn ba trục để tạo tường chắn chống thấm, mang lại hiệu quả cao. Các thiết bị trộn đơn trục và ba trục do Công ty TNHH Tập đoàn Sany sản xuất đã đạt gần đến trình độ tiên tiến quốc tế. Đặc điểm nổi bật của công nghệ này là khả năng gia cố sâu, hiệu suất cao và khả năng xuyên thấu tốt, với độ sâu gia cố đạt 35 m, mở rộng đáng kể phạm vi ứng dụng, không chỉ giới hạn trong xử lý nền đất mềm mà còn áp dụng được cho đất bột trung bình, cát trung bình hoặc hơi chặt. Nhờ đó, các quy định đã loại bỏ giới hạn về việc chỉ áp dụng cho nền đất có sức chịu tải $f_{ak} > 140$ kPa.

4. Cấu trúc nền móng cọc - lưới

Nền móng tổng hợp cọc - lưới là loại nền móng nhân tạo mà trong quá trình xử lý nền đất tự nhiên, phần đất phía dưới được gia cố bằng các trụ đứng (cọc) tạo thành vùng gia cố nền tổng hợp cọc - đất, còn phía trên vùng gia cố này được gia cố theo phương ngang bởi một hệ thống tăng cường (lưới) để tạo thành nền móng tổng hợp gia cố bằng lưới - đất. Cọc và lưới phối hợp đồng thời, cùng chịu tải và tạo thành một nền móng tổng hợp có tính ổn định cao.

So với nền móng tổng hợp truyền thống, nền móng cọc - lưới là một phương pháp và lý thuyết xử lý nền móng mới. Tuy nhiên, do việc hiểu rõ cơ chế hoạt động của nền móng cọc - lưới vẫn còn hạn chế, chưa có lý thuyết thiết kế hoặc phương pháp thi công hoàn chỉnh, nên công nghệ này hiện đang trong giai đoạn vừa ứng dụng vừa nghiên cứu. Dù vậy, những ứng dụng bước đầu đã cho thấy hiệu quả kinh tế và kỹ thuật vượt trội, mở ra triển vọng nghiên cứu sâu hơn.

Phương pháp này có các ưu điểm nổi bật như:

- Tổng hợp nhiều chức năng: cọc đóng vai trò chịu tải, lưới tăng cường tính ổn định và lớp đệm đá giúp thoát nước, nén chặt đất và gia cố toàn bộ nền.
- Hiệu quả kiểm soát lún tốt: lún nhỏ, nhanh chóng ổn định, dễ kiểm soát lún sau thi công.
- Tiết kiệm chi phí và rút ngắn thời gian: không cần gia tải trước, thời gian thi công ngắn, dễ thực hiện.
- Giảm số lượng cọc: cho phép bố trí cọc thưa hơn, từ đó giảm đáng kể chi phí xây dựng.

Phương pháp này đặc biệt phù hợp để xây dựng nhanh các công trình như: đường sắt, đường cao tốc, đường đô thị, đê dài, công trình đắp đất trên nền đất yếu tự nhiên.

❖ ***Cấu tạo của nền móng cọc - lưới***

Trong nền móng cọc - lưới:

- Cọc: Có thể là bất kỳ loại cọc cứng (cọc bê tông) hoặc cọc mềm (cọc gỗ, cọc cát).
- Lưới: Là hệ thống vật liệu có khả năng gia cố, tăng cường ứng suất đều, nâng cao khả năng chịu tải, giảm lún, ổn định mái dốc, chống thấm và tăng sức bền mỏi của nền. Lưới tương tác trực tiếp với đất, giúp tạo thành nền gia cố tổng hợp theo phương ngang, còn được gọi là nền gia cố bằng lưới - đất.

Các thành phần chính của nền móng bao gồm:

1- Lớp đất đắp phía trên (lớp nền đường).

2- Lưới gia cố phía trên: Có thể là một hoặc nhiều lớp lưới, được trải trên đỉnh các cọc.

3- Lớp đệm cát, đá giữa: Lớp này có thể chứa lưới gia cố bổ sung để tăng cường hiệu quả truyền tải trọng.

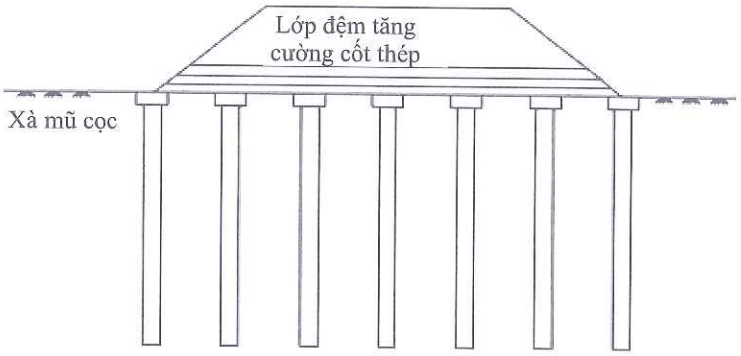
4- Cọc phía dưới: Thường là cọc mềm (cọc cát, cọc gỗ), đôi khi là cọc cứng, và phần đất tự nhiên giữa các cọc.

5- Lớp đất tự nhiên bên dưới vùng gia cố.

❖ *Nguyên lý hoạt động*

Nền móng cọc - lưới hoạt động dựa trên sự phối hợp đồng thời giữa cọc, lưới và đất. Cọc và đất cùng chịu tải trọng thẳng đứng, trong khi lưới và đất tạo thành nền gia cố ngang. Lưới chủ yếu chịu lực kéo, giúp phân tán tải trọng đồng đều và giảm thiểu lún không đều. Lực kéo của lưới được tạo ra thông qua lực ma sát giữa lưới và đất bao quanh, còn gọi là hiệu ứng màng căng. Trong quá trình chịu tải, lưới thường chỉ phát huy dưới 10% giới hạn cường độ kéo tối đa của nó.

Nhờ vào sự kết hợp giữa lớp đệm và hiệu ứng màng căng của lưới, toàn bộ tải trọng của lớp đất phía trên và tải trọng công trình được truyền đồng đều xuống vùng nền móng gia cố phía dưới, giúp tăng khả năng chịu tải và giảm thiểu hiện tượng tập trung ứng suất.



Hình 2-4-8: *Sơ đồ cấu trúc cọc - lưới*

❖ *Vai trò của lớp đệm*

Lớp đệm thường được làm từ cát hoặc đá có kích thước hạt từ 0,8 đến 2 cm, với độ dày từ 10 đến 50 cm, được san đều và nén chặt. Để tránh tình trạng không đồng nhất do thi công, không nên sử dụng sỏi cuội vì lực ma sát giữa các hạt sỏi thấp, dễ bị xáo trộn trong quá trình thi công.

Vai trò chính của lớp đệm:

1- Chia sẻ tải trọng giữa cọc và đất: Đảm bảo cọc và đất cùng chịu tải trọng, giúp giảm tải trọng tập trung vào cọc.

2- Điều chỉnh tỷ lệ phân bổ tải trọng: Phân bổ đều tải trọng theo phương đứng và phương ngang giữa cọc và đất, giúp giảm thiểu hiện tượng lún không đều.

Giảm ứng suất tập trung: Làm giảm ứng suất tập trung dưới đáy nền móng, đảm bảo nền móng hoạt động ổn định và lâu dài.

Khi cần, lưới có thể được đặt vào trong lớp đệm để tạo thành lớp đệm tổng hợp nhằm tăng độ cứng và hiệu quả truyền tải trọng. Điều này giúp tăng tính đồng đều của nền móng và mở rộng phạm vi ứng dụng của công nghệ cọc - lưới.

CHƯƠNG 5. CÔNG NGHỆ GIÁM SÁT VÀ ĐÁNH GIÁ TRẠNG THÁI NỀN ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC

I. TỔNG QUAN

Đường sắt cao tốc đòi hỏi sự kiểm soát nghiêm ngặt đối với lún sau thi công của nền đường. Để đạt được điều này, cần thực hiện thiết kế động trong suốt quá trình thi công. Thiết kế động là phương pháp sử dụng thiết bị giám sát được lắp đặt sẵn tại hiện trường, theo dõi thường xuyên theo một tần suất và độ chính xác nhất định, từ đó thu thập dữ liệu về quan hệ giữa tải trọng - thời gian - lún nền. Thông qua phân tích dữ liệu này và kết hợp với các kết quả giám sát khác, tiến hành điều chỉnh thiết kế và sử dụng thiết kế đã điều chỉnh để hướng dẫn thi công. Sau đó, tiếp tục thu thập dữ liệu phản hồi, điều chỉnh và tối ưu hóa thiết kế cũng như các biện pháp thi công. Quy trình này được lặp lại liên tục cho đến khi công trình hoàn thành, nhằm đảm bảo kiểm soát hiệu quả lún sau thi công và tốc độ lún. Do đó, công tác giám sát và đánh giá tại hiện trường là yếu tố quan trọng, quyết định đến hiệu quả của thiết kế động và thi công thông minh.

Ngoài ra, để đảm bảo kết cấu đường ray của đường sắt cao tốc đạt được độ bằng phẳng cao và ổn định lâu dài, giảm thiểu hoặc loại bỏ nhu cầu bảo trì, cần tiến hành đánh giá toàn diện các công trình tuyến dưới (nền đường, cầu, hầm) trước khi lắp đặt đường ray. Việc đánh giá nhằm đảm bảo rằng các công trình tuyến dưới đã đạt được trạng thái ổn định, với lún sau thi công, tốc độ lún và chênh lệch lún giữa các kết cấu không vượt quá giới hạn cho phép của kết cấu đường ray.

Chương này sẽ tập trung phân tích đặc điểm của công tác giám sát và đánh giá biến dạng tại các công trình tuyến dưới của đường sắt cao tốc. Đồng thời trình bày các nội dung như vai trò và yêu cầu của giám sát lún nền, nguyên tắc bố trí mạng lưới giám sát, lựa chọn thiết bị đo, xác định độ chính xác và tần suất giám sát, cũng như phương pháp dự đoán và đánh giá lún trong tương lai.

Để đạt chất lượng cao và độ tin cậy trong vận hành đường sắt cao tốc, sự ổn định và độ bằng phẳng theo phương dọc của các công trình tuyến dưới là điều kiện bắt buộc. Các công trình tuyến dưới bao gồm nhiều loại kết cấu khác nhau (cầu, hầm, nền đường...), chúng tương tác và phụ thuộc lẫn nhau, tạo nên nền móng bền vững và bằng phẳng cho kết cấu đường ray. Vì vậy, việc giám sát và đánh giá biến dạng của các công trình này phải đảm bảo tính đồng bộ và hệ thống.

❖ **Phương pháp thực hiện**

Cần dựa vào đặc điểm của từng loại công trình tuyến dưới để chia chúng thành các đơn vị cơ bản như nền đào, nền đắp, cầu, cống, hầm và đoạn chuyển tiếp. Mỗi đơn vị sẽ được giám sát và đánh giá riêng biệt về biến dạng lún nhằm phục vụ cho quá trình thiết kế động và hướng dẫn thi công. Việc đánh giá tổng thể trước khi thi công đường ray sẽ dựa trên kết quả tích hợp từ từng đơn vị và phân tích một cách toàn diện.

Công tác giám sát và đánh giá biến dạng bắt đầu ngay từ giai đoạn khảo sát:

• Giai đoạn khảo sát: Cần lập kế hoạch và bố trí mạng lưới kiểm soát mặt bằng, cao độ và bảo vệ các cọc chuẩn sao cho phù hợp với yêu cầu giám sát lún trong suốt quá trình thi công và vận hành sau này.

• Giai đoạn thiết kế: Dựa trên tiêu chuẩn kiểm soát lún của công trình tuyến dưới, điều kiện địa chất, kết cấu công trình và biện pháp gia cố nền, tiến hành lập chi tiết phương án giám sát lún. Phương án này bao gồm bố trí mạng lưới giám sát, nguyên tắc thiết lập các mặt cắt và điểm đo, lựa chọn thiết bị và xác định độ chính xác, tần suất giám sát, cũng như phương pháp dự đoán lún sẽ sử dụng.

• Giai đoạn thi công: Đây là giai đoạn chính thực hiện công tác giám sát và đánh giá biến dạng. Quá trình giám sát được tiến hành liên tục từ khi bắt đầu gia cố nền đến khi hoàn thiện các bước đắp đất, gia tải trước, lắp đặt đường ray và chạy thử. Các công đoạn như kiểm soát tốc độ đắp đất, điều chỉnh chiều cao và tháo dỡ đất gia tải, lập kế hoạch thi công dầm và thực hiện kế hoạch lắp đặt đường ray đều cần dựa trên kết quả giám sát để đảm bảo an toàn và chất lượng.

• Giai đoạn vận hành và bảo trì: Sau khi đưa vào sử dụng, cần tiếp tục giám sát những đoạn tuyến quan trọng hoặc có nguy cơ xảy ra sự cố. Việc so sánh và phân tích dữ liệu giám sát giúp đánh giá chất lượng nền đường và đề xuất biện pháp bảo trì phù hợp nhằm đảm bảo độ bằng phẳng và an toàn trong vận hành đường sắt.

Việc giám sát biến dạng trong giai đoạn vận hành cũng cung cấp dữ liệu cần thiết cho công tác bảo trì và giúp ngăn ngừa các sự cố tiềm ẩn.

II. GIÁM SÁT HIỆN TRƯỜNG TẠI CHỖ

1. Vai trò

Giám sát hiện trường tại chỗ đóng vai trò thiết yếu trong việc kiểm chứng tài liệu khảo sát địa chất, xác nhận tính chính xác của thiết kế, đánh giá tác động của

quá trình thi công đến lún và biến dạng nền đất, theo dõi các dấu hiệu cảnh báo nguy hiểm, xác định nguyên nhân sự cố và tích lũy kinh nghiệm xây dựng cho từng khu vực cụ thể. Đối với đường sắt cao tốc, giám sát tại chỗ đặc biệt quan trọng ở ba khía cạnh chính:

1- Kiểm soát tốc độ thi công nhằm đảm bảo sự an toàn và ổn định của nền đường trong suốt quá trình thi công.

2- Cung cấp dữ liệu đầu vào cho thiết kế động và thi công thông minh, giúp kiểm soát hiệu quả lún sau thi công.

3- Hỗ trợ công tác đánh giá trước khi lắp đặt đường ray, đảm bảo các tiêu chuẩn kỹ thuật cần thiết.

Đối với ba nội dung đánh giá trên, việc xác định xem các lớp vật liệu đắp nền có đáp ứng đầy đủ yêu cầu về chất lượng và độ chặt hay không, cũng như kiểm tra cao độ của mép đường có đúng với thiết kế hay không, được thực hiện thông qua:

- Thẩm định bảng khảo sát đắp nền do đơn vị thi công cung cấp.
- Kiểm tra ngẫu nhiên bằng cách lấy mẫu tại hiện trường.
- Sử dụng công nghệ radar địa chất để quét và phân tích cấu trúc nền đường.

Việc đánh giá lún sau thi công và tốc độ lún có đạt yêu cầu hay không được thực hiện bằng cách phân tích dữ liệu giám sát lún liên tục trong suốt quá trình thi công và dự báo lún trong tương lai. Đây là công tác đánh giá quan trọng nhất và là nội dung trọng tâm của chương này.

2. Nội dung giám sát hiện trường tại chỗ

Nội dung giám sát hiện trường được xác định tùy theo điều kiện thực tế của công trình và những yếu tố mà kỹ sư quan tâm. Tuy nhiên, thông thường công tác giám sát cần bao gồm các hạng mục sau:

- Giám sát lún.
- Giám sát dịch chuyển ngang.
- Giám sát áp lực đất.
- Giám sát áp lực nước lỗ rỗng.
- Giám sát mực nước ngầm.

2.1. Giám sát lún

Trong tất cả các hạng mục giám sát tại chỗ, giám sát lún là công tác quan trọng nhất. Mục đích chính của giám sát tại chỗ là cung cấp dữ liệu làm cơ sở cho việc

kiểm soát lún sau thi công của nền đường, và dữ liệu giám sát lún là cơ sở trực tiếp và đáng tin cậy nhất để đưa ra các đánh giá và điều chỉnh cần thiết.

Giám sát lún bao gồm:

1- Giám sát lún nền đường.

2- Giám sát lún bề mặt nền móng.

3- Giám sát lún sâu trong nền móng.

Việc giám sát này được thực hiện bằng cách:

- Chôn các cọc đo lún trên bề mặt nền đường.
- Lắp đặt các ống quan trắc ngang bên trong thân nền đường.
- Đặt các tấm đo lún hoặc ống quan trắc ngang tại đáy nền đường.
- Bố trí các ống đo lún phân tầng hoặc thiết bị đo lún đa điểm trong nền móng để ghi nhận và theo dõi sự biến đổi lún tại các tầng địa chất khác nhau.

2.2. Giám sát dịch chuyển ngang

Việc giám sát dịch chuyển ngang là cần thiết để xác định độ ổn định của mái dốc nền đường, sự ổn định của nền đắp, và đánh giá ảnh hưởng của biến dạng ngang nền móng đến lún nền.

Phương pháp giám sát dịch chuyển ngang thường bao gồm:

1- Lắp đặt cọc đo dịch chuyển ngang trên bề mặt để ghi nhận sự dịch chuyển ngang của bề mặt nền.

2- Bố trí ống đo nghiêng sâu trong nền móng để ghi nhận sự dịch chuyển ngang ở các độ sâu khác nhau trong lòng đất.

- Cọc đo dịch chuyển ngang phản ánh chính xác sự dịch chuyển ngang của bề mặt nền, dễ dàng thi công và kiểm tra, phù hợp cho các khu vực giám sát rộng.
- Ống đo nghiêng có thể được lắp đặt sâu trong nền móng, thường đạt độ sâu hàng chục mét, thậm chí lên đến hàng trăm mét, cho phép ghi nhận chi tiết sự phân bố và thay đổi dịch chuyển ngang theo độ sâu. Kết hợp với dữ liệu địa chất, ống đo nghiêng giúp phân tích toàn diện và chi tiết sự biến dạng của nền móng, rất hữu ích cho các nghiên cứu chuyên sâu.

2.3. Giám sát áp lực đất

Trong quá trình đắp nền, sau khi hoàn thành và trong suốt giai đoạn vận hành, việc giám sát áp lực đất là cần thiết để thu thập thông tin về sự phân bố áp lực tại

đáy nền đường, đánh giá trạng thái chịu lực của nền móng và cọc sau khi gia cố, cũng như theo dõi sự thay đổi tỷ lệ ứng suất giữa cọc và đất theo thời gian. Phân tích đặc điểm và biên độ áp lực đất không chỉ giúp làm rõ nguyên lý hoạt động của các phương pháp xử lý nền móng mà còn hỗ trợ việc tối ưu hóa thiết kế công trình. Công tác giám sát này thường được thực hiện bằng cách chôn các hộp đo áp lực đất tại đáy nền đường.

2.4. Giám sát áp lực nước lỗ rỗng

Kiểm soát lún sau thi công thực chất là kiểm soát quá trình lún còn lại sau khi hoàn thành nền đường và công trình phía trên. Lún tức thời xảy ra trong quá trình thi công đã kết thúc, và phần lún còn lại chủ yếu do quá trình cố kết và hiện tượng lưu biến (biến dạng theo thời gian) gây ra. Vì quá trình lún cố kết liên quan mật thiết đến sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng, việc theo dõi sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng cho phép giám sát và đánh giá quá trình lún cố kết.

Khi kết hợp dữ liệu giám sát áp lực nước lỗ rỗng với dữ liệu giám sát lún, có thể nhận biết rõ hơn quá trình lún do lưu biến. Khi áp lực nước lỗ rỗng đã tiêu tán hoàn toàn, lún còn lại sẽ chỉ do lưu biến gây ra. Vì thế, giám sát áp lực nước lỗ rỗng đóng vai trò quan trọng trong việc nắm bắt và dự báo quá trình lún của nền đường. Công tác này được thực hiện bằng cách lắp đặt các đầu dò đo áp lực nước lỗ rỗng trong nền móng.

2.5. Giám sát mực nước ngầm

Khi giám sát sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng trong nền móng, người ta chủ yếu quan tâm đến phần áp lực nước lỗ rỗng dư thừa - tức là phần áp lực vượt quá áp lực tĩnh thủy. Tuy nhiên, các thiết bị đo thường ghi nhận tổng áp lực nước lỗ rỗng, bao gồm cả áp lực tĩnh thủy và áp lực dư thừa. Vì vậy, việc giám sát mực nước ngầm là cần thiết để xác định áp lực tĩnh thủy, giúp tách biệt được phần áp lực dư thừa phục vụ cho phân tích.

Bên cạnh đó, tại một số khu vực, mực nước ngầm thường bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như khai thác nước ngầm, dẫn đến sự biến động lớn về mực nước. Sự thay đổi này làm thay đổi trọng lượng thể tích của đất giữa trạng thái tự nhiên, bão hòa hoặc nổi, từ đó làm thay đổi tải trọng thực tế mà nền móng phải chịu. Do đó, giám sát mực nước ngầm là yếu tố quan trọng, giúp phân tích toàn diện các nguyên nhân gây lún và biến dạng nền móng một cách chính xác.

III. HỆ THỐNG GIÁM SÁT NỀN ĐƯỜNG

Hệ thống giám sát tại chỗ chủ yếu tập trung vào việc theo dõi các biến dạng như lún bề mặt nền đường, lún nền móng và dịch chuyển ngang của nền móng. Khi cần thiết trong các thí nghiệm khoa học hoặc các yêu cầu đặc biệt khác, hệ thống giám sát có thể bổ sung các hạng mục như lún sâu trong nền móng, dịch chuyển ngang sâu trong nền móng, áp lực đất tại đáy nền, áp lực nước lỗ rỗng và mực nước ngầm.

Việc bố trí hệ thống giám sát bao gồm hai nội dung chính:

1- Bố trí mạng lưới giám sát biến dạng.

2- Bố trí các thiết bị và cảm biến tại các mặt cắt giám sát.

Mạng lưới giám sát biến dạng thường được xây dựng độc lập, nhưng cần tận dụng hiệu quả mạng lưới kiểm soát mặt bằng và cao độ đã được thiết lập cho quá trình thi công và vận hành đường sắt cao tốc. Đồng thời, hệ thống giám sát biến dạng phải được kết nối và đồng bộ với mạng lưới kiểm soát mặt bằng và cao độ để đảm bảo tính nhất quán cho toàn bộ hệ thống đo đạc.

1. Bố trí hệ thống giám sát lún và biến dạng nền đường

1.1. Bố trí mặt cắt giám sát

Việc bố trí các mặt cắt giám sát lún và biến dạng nền đường, cũng như nội dung giám sát, cần được xác định dựa trên điều kiện địa hình, địa chất, phương pháp xử lý nền móng, chiều cao nền đắp và phương pháp gia tải trước. Đồng thời, cần kết hợp với phương pháp dự báo lún và yêu cầu về tiến độ thi công. Ngoài ra, khi có sự thay đổi về địa chất, địa hình thực tế trong quá trình thi công, việc điều chỉnh hoặc bổ sung các mặt cắt giám sát là cần thiết.

Khoảng cách giữa các mặt cắt giám sát lún dọc theo tuyến đường thường không được vượt quá 50 m. Đối với những khu vực có địa hình bằng phẳng, điều kiện nền móng đồng đều và ổn định hoặc nền đắp có chiều cao nhỏ hơn 5 m, khoảng cách này có thể được tăng lên đến 100 m. Ở những khu vực có địa hình, địa chất phức tạp hoặc tại các đoạn chuyển tiếp, cần bố trí các mặt cắt với mật độ dày hơn để đảm bảo độ chính xác của dữ liệu giám sát.

Nguyên tắc bố trí và nội dung giám sát thông thường có thể tham khảo Bảng 2-5-1. Đối với các mặt cắt phục vụ mục đích nghiên cứu đặc biệt, có thể tham khảo Bảng 2-5-2.

Bảng 2-5-1: Nguyên tắc bố trí và nội dung giám sát của mặt cắt giám sát thông thường

Nội dung giám sát	Bố trí mặt cắt	Khoảng cách giữa các mặt cắt	Điều kiện áp dụng
Lún bề mặt nền đường	Bố trí điểm giám sát lún tại trung tâm nền đường hoặc hai bên vai đường	100 m	(1) Địa hình bằng phẳng, điều kiện nền móng tốt; (2) Nền đào hoặc nền đắp có chiều cao nhỏ hơn 5 m
Lún bề mặt và lún nền móng	(1) Bố trí điểm giám sát lún tại hai bên vai đường hoặc đáy nền; (2) Tại mặt cắt đại diện, lắp đặt ống đo lún ngang tại đáy nền và lớp dưới đáy nền đường	50 m	Áp dụng cho các loại nền đường khác và các điều kiện phức tạp cần bố trí dày đặc hơn
Lún bề mặt và lún nền móng	(1) Bố trí điểm giám sát lún tại hai bên vai đường hoặc nền móng; (2) Lắp đặt ống đo lún ngang theo đường chéo dọc theo tuyến	Bố trí một mặt cắt gần mố cầu, một mặt cắt tại khoảng cách 10 m và một mặt cắt tại khoảng cách 30 m	Đoạn chuyển tiếp

Bảng 2-5-2: Nguyên tắc bố trí và nội dung giám sát của mặt cắt giám sát đặc biệt

Nội dung giám sát	Bố trí mặt cắt	
Lún phân tầng nền móng	Thiết bị hoặc công trình	Thiết bị đo lún phân tầng được lắp đặt tại trung tâm nền đường hoặc hai bên vai đường và chân taluy
	Thiết bị đo lún phân tầng	Độ sâu lắp đặt thường yêu cầu đạt dưới lớp đất chịu nén; vị trí và khoảng cách của vòng từ được xác định dựa trên điều kiện địa tầng và phương pháp xử lý nền móng.
Lún bề mặt	Thiết bị hoặc dụng cụ	Tấm đo lún, cốc đo lún, ống đo lún ngang, v.v

Bảng 2-5-2: *(tiếp theo)*

Nội dung giám sát	Bố trí mặt cắt	
	Yêu cầu lắp đặt	(1) Tấm đo lún, cốc đo lún có thể bố trí tại trung tâm nền đường, trung tâm tuyến, dưới vai đường hoặc chân taluy. (2) Ống đo lún ngang có thể xuyên qua toàn bộ nền đường và đặt tại bề mặt hoặc một độ cao nhất định của nền đường.
Áp lực nước lỗ rỗng	Thiết bị hoặc công trình	Thiết bị đo áp lực nước lỗ rỗng
	Yêu cầu lắp đặt	Độ sâu lắp đặt phụ thuộc vào điều kiện địa tầng và phương pháp xử lý nền móng.
Mực nước ngầm	Thiết bị hoặc công trình	Giếng đo mực nước ngầm
	Yêu cầu lắp đặt	Độ sâu lắp đặt phải vượt quá mức thấp nhất của mực nước ngầm trong năm.
Áp lực đất	Thiết bị hoặc công trình	Thiết bị đo áp lực đất hoặc cảm biến lực cải tiến
	Yêu cầu lắp đặt	Bố trí tại khoảng đất giữa các cọc hoặc đầu cọc, có thể đặt tại bề mặt hoặc ở một độ sâu nhất định trong lòng đất.
Dịch chuyển ngang	Thiết bị hoặc công trình	Cọc đo dịch chuyển hoặc ống đo nghiêng
	Yêu cầu lắp đặt	(1) Vị trí lắp đặt nằm trong phạm vi ảnh hưởng của dịch chuyển ngang. (2) Cọc đo dịch chuyển thường được bố trí ở độ sâu từ 1 đến 2 m tính từ bề mặt đất; ống đo nghiêng yêu cầu độ sâu lắp đặt phải đạt dưới lớp đất chịu nén.

1.2. Bố trí điểm giám sát

Các điểm giám sát tại từng vị trí thường được bố trí trên cùng một mặt cắt ngang để dễ dàng bảo vệ, thuận tiện cho việc giám sát tập trung và thống nhất tần suất đo đạc. Quan trọng hơn, điều này giúp việc phân tích tổng hợp dữ liệu từ các hạng mục giám sát trở nên hiệu quả và chính xác hơn.

Ống đo lún ngang thường được chôn thẳng đứng so với tuyến đường và lắp đặt tại đáy nền. Nếu đáy nền hoặc lớp đất chịu nén có bề mặt tương đối bằng phẳng và độ dốc ngang nhỏ hơn 1:5, tấm đo lún có thể được chôn tại trung tâm tuyến. Ngược lại, khi gặp điều kiện địa hình phức tạp hơn, cần bổ sung thêm số lượng tấm đo lún phù hợp với yêu cầu giám sát. Đối với nền đắp có gia tải trước, sau khi đắp nền đến đỉnh lớp đáy nền đường, có thể lắp thêm tấm đo lún hoặc ống đo lún ngang tại một số mặt cắt để theo dõi chính xác quá trình lún trong giai đoạn gia tải.

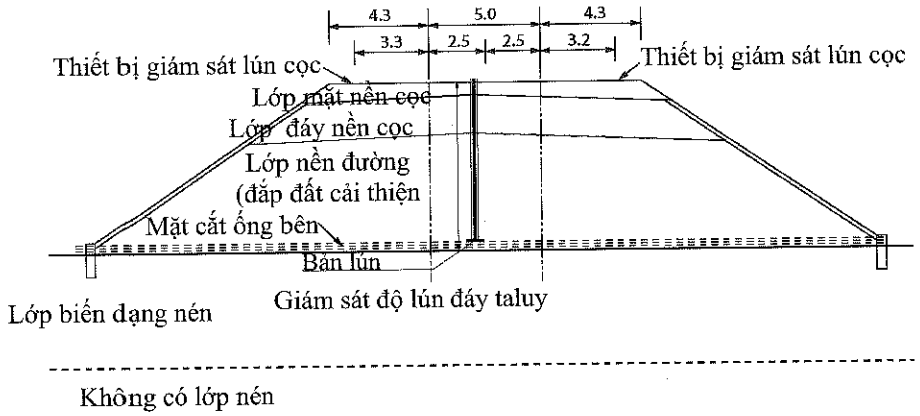
Thông thường, khi đắp nền đường đến đỉnh lớp nền hoặc khi hoàn thành lớp đáy nền đối với trường hợp gia tải trước, các cọc đo lún sẽ được chôn. Sau khi dỡ bỏ lớp gia tải, tiếp tục chôn các cọc đo lún tại đỉnh lớp nền đường để theo dõi lún bề mặt hoặc đỉnh lớp đáy nền trong trường hợp gia tải trước.

Thời gian giám sát tối thiểu là 6 tháng. Nếu dữ liệu thu thập được chưa đủ để đánh giá hoặc kết quả đánh giá lún sau thi công không đáp ứng yêu cầu thiết kế, cần kéo dài thêm thời gian giám sát hoặc thực hiện các biện pháp bổ sung nhằm tăng tốc hoặc kiểm soát lún. Các kết quả giám sát sẽ là cơ sở quan trọng cho việc nghiệm thu công trình và kiểm soát lượng lún khi hoàn thành.

Việc chôn các điểm đo và thiết bị giám sát phải tuân thủ đúng bản vẽ thiết kế, được định vị chính xác và đảm bảo lắp đặt ổn định. Trong quá trình giám sát, cần áp dụng các biện pháp bảo vệ hiệu quả nhằm tránh hư hỏng do va chạm với máy móc thi công hoặc do con người gây ra, đảm bảo công tác giám sát được thực hiện liên tục và thu được kết quả đáng tin cậy.

1.3. Thiết bị đo tại các mặt cắt giám sát thông thường

Nội dung giám sát và bố trí thiết bị đo tại các mặt cắt giám sát thông thường có thể tham khảo theo các phương pháp sau: Bố trí tại mặt cắt giám sát điển hình có thể tham khảo Hình 2-5-1 và Bảng 2-5-3.



***Hình 2-5-1:** Sơ đồ bố trí thiết bị đo tại mặt cắt điển hình giám sát lún*
(Đơn vị kích thước: m)

Bảng 2-5-3: Yêu cầu bố trí thiết bị đo tại mặt cắt giám sát điển hình

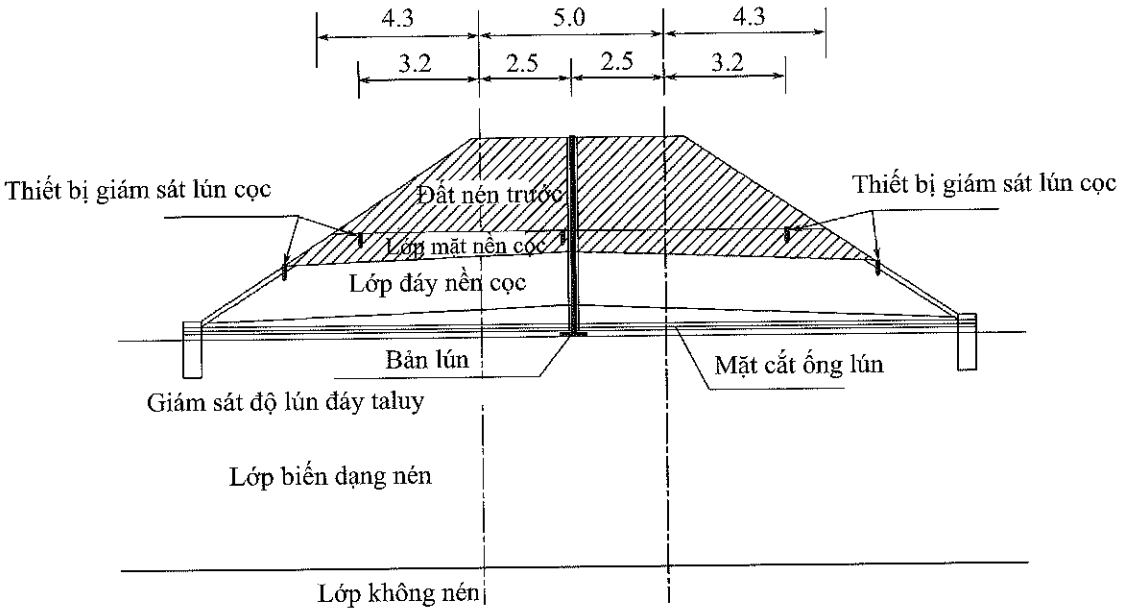
STT	Nội dung giám sát	Thiết bị đo	Số lượng và vị trí điểm giám sát	Khoảng cách giữa các mặt cắt	Ghi chú
1	Giám sát lún bề mặt nền đường	Cọc đo lún	3 điểm/mặt cắt, bố trí tại hai bên vai đường và trung tâm tuyến	≤ 50 m	Ở khu vực địa hình bằng phẳng, điều kiện nền móng tốt hoặc nền đắp có chiều cao nhỏ hơn 5 m, khoảng cách có thể tăng lên đến 100 m
2	Giám sát lún nền móng	Tấm đo lún	1 điểm/mặt cắt, bố trí tại trung tâm tuyến trên đáy nền đường	≤ 50 m	Khi mặt nền có độ dốc ngang lớn hơn 1:5, tăng thêm số lượng điểm giám sát tùy theo điều kiện địa tầng
3	Giám sát lún toàn bộ mặt cắt	Ống đo lún ngang	1 điểm/mặt cắt, lắp đặt tại đáy nền đường	Áp dụng cho các mặt cắt đại diện	Các mặt cắt đã lắp ống đo lún ngang có thể không cần lắp tấm đo lún

1.4. Đoạn nền đắp có gia tải trước

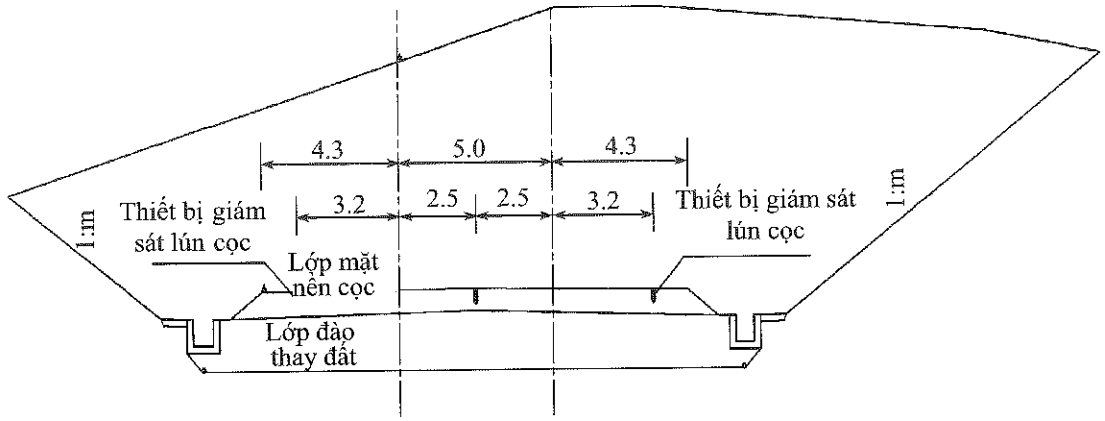
Khi nền đắp đạt đến đỉnh lớp đáy nền, cần bố trí tạm thời các thiết bị giám sát để theo dõi quá trình lún trong giai đoạn gia tải trước, như minh họa trong Hình 2-5-2. Cọc giám sát được lắp đặt tại hai bên đỉnh lớp đáy nền nhằm theo dõi lún trong suốt quá trình gia tải. Sau khi tháo dỡ lớp gia tải và hoàn thành việc đắp lớp trên của nền đường, cần bố trí các cọc giám sát lâu dài ở hai bên nền đường và tại trung tâm tuyến, đồng thời chuyển đổi dữ liệu cao độ từ các cọc giám sát tạm thời sang các cọc giám sát lâu dài để tiếp tục theo dõi lún.

1.5. Đoạn nền đào đất yếu

Đối với các đoạn nền đào bằng đất yếu (bao gồm cả tầng phong hóa hoàn toàn của đá gốc), thường chỉ cần bố trí cọc giám sát lún trên bề mặt nền đường, như minh họa trong Hình 2-5-3, với số lượng 2 đến 3 cọc/mặt cắt. Khoảng cách giữa các mặt cắt thông thường không vượt quá 50 m. Đối với các khu vực có địa hình bằng phẳng và điều kiện nền móng đồng nhất, khoảng cách có thể tăng lên đến 100 m.



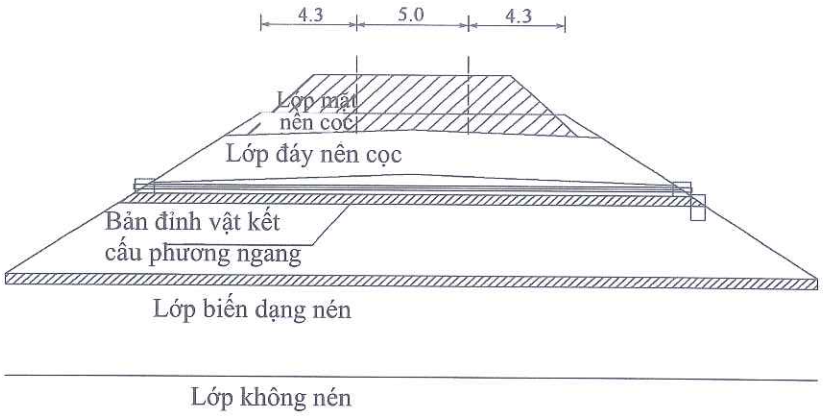
Hình 2-5-2: *Sơ đồ bố trí thiết bị đo tại mặt cắt giám sát lún cho đoạn gia tải trước (Đơn vị kích thước: m)*



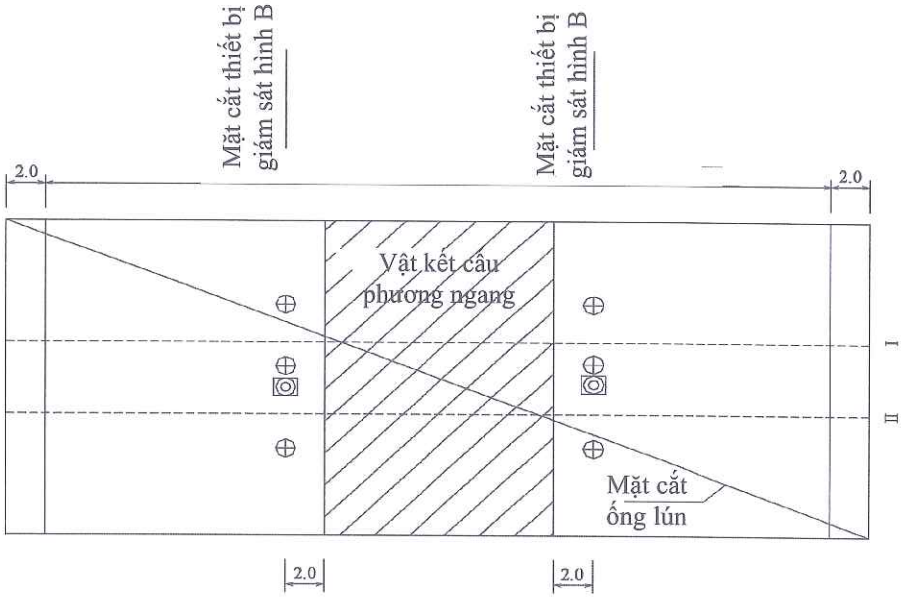
Hình 2-5-3: *Sơ đồ bố trí thiết bị đo tại mặt cắt giám sát lún cho đoạn nền đào (Đơn vị kích thước: m)*

1.6. Đoạn chuyển tiếp nền đường và cống

Thông thường, tại đoạn chuyển tiếp hai bên của công trình kết cấu ngang, cần bố trí một mặt cắt giám sát ngang ở mỗi bên theo các yêu cầu đã nêu ở trên. Đồng thời, trên đỉnh công trình kết cấu ngang, dọc theo hướng tuyến cần lắp đặt ống đo lún ngang theo đường chéo để theo dõi sự chênh lệch lún dọc tại đoạn chuyển tiếp giữa nền đường và cống (Hình 2-5-4, Hình 2-5-5).



Hình 2-5-4: *Sơ đồ bố trí thiết bị đo tại mặt cắt giám sát đoạn chuyển tiếp giữa nền đường và cống*



Hình 2-5-5: *Sơ đồ bố trí thiết bị đo tại mặt cắt giám sát lún đoạn chuyển tiếp (Đơn vị kích thước: m)*

1.7. Thiết bị đo tại mặt cắt giám sát đặc biệt

Đối với các vị trí có mục đích nghiên cứu đặc thù hoặc những đoạn nền đắp cao, nền móng đất yếu dày và khó kiểm soát lún, có thể bố trí thiết bị đo một cách có chọn lọc dựa trên nội dung nghiên cứu cụ thể và điều kiện thực tế tại công trường. Thông thường, việc bố trí thiết bị đo có thể tham khảo theo phương pháp minh họa trong Hình 2-5-6.

2. Thiết bị và linh kiện đo đạc

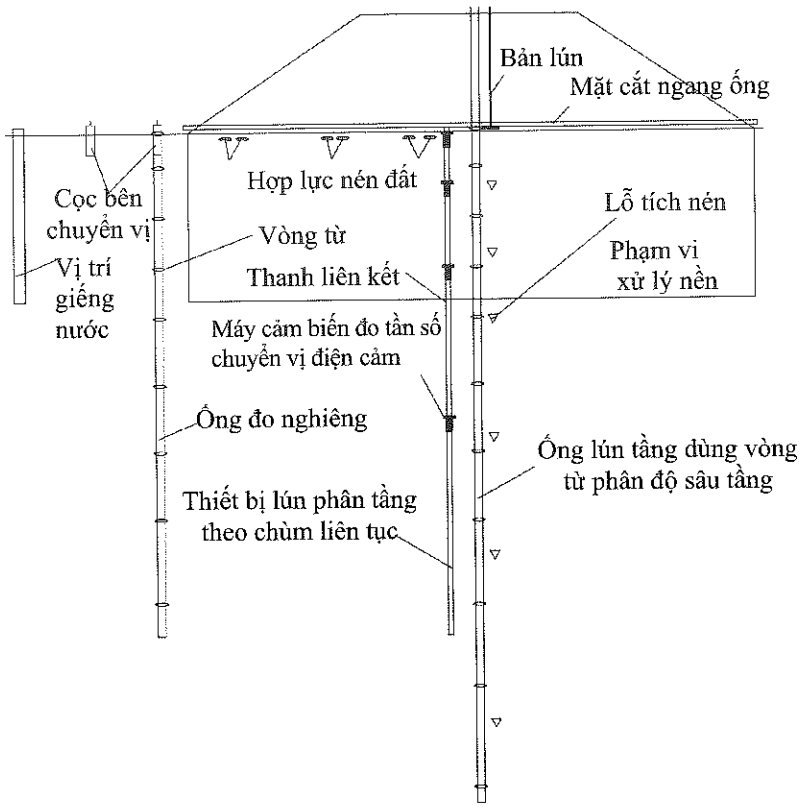
2.1. Thiết bị và linh kiện giám sát lún

(1) Tấm đo lún

Tấm đo lún (Hình 2-5-7) bao gồm một tấm thép hoặc tấm bê tông cốt thép, thanh đo và ống bảo vệ. Kích thước của tấm đế thông thường là 50 cm × 50 cm × 3 cm. Thanh đo thường sử dụng ống thép đường kính ϕ40, được cố định theo phương thẳng đứng vào tấm đế. Ống bảo vệ làm bằng ống nhựa, kích thước đủ để bao phủ thanh đo và cho phép thước đo đi vào bên trong. Khi đắp đất cao lên, thanh đo và ống bảo vệ cần được kéo dài thêm, mỗi đoạn kéo dài không nên vượt quá 50 cm. Trong quá trình nối thêm đoạn, cần đo cao độ trước và sau khi nối để xác định chính xác chiều dài đoạn nối thêm.

(2) Ống đo lún ngang

Ống đo lún ngang chủ yếu được sử dụng để theo dõi biến dạng lún liên tục tại đáy nền đường đắp.

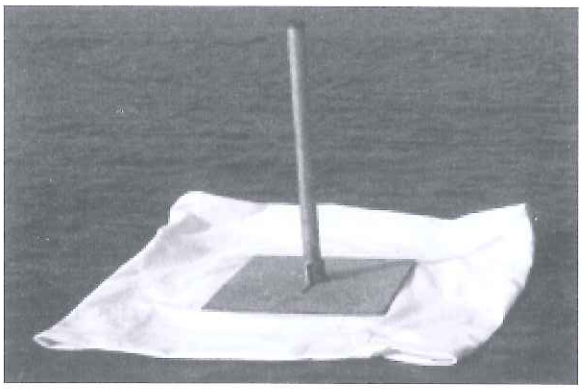


Hình 2-5-6: *Sơ đồ bố trí thiết bị đo tại mặt cắt giám sát đặc biệt*

Việc đo lún ngang sử dụng thiết bị đo lún ngang dạng trượt (Hình 2-5-8). Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của thiết bị này tương tự như thiết bị đo nghiêng dạng trượt hoặc đồng hồ đo áp lực lún ngang dạng trượt. Trong quá trình đo, cần hiệu chỉnh thiết bị trước khi bắt đầu, đồng thời bố trí một điểm chuẩn ngang tại miệng ống để đặt điểm gốc và điều chỉnh thiết bị về vị trí 0.

Quá trình đo lún được thực hiện bằng cách kéo chậm dây cáp thép từ một đầu và thả cáp điện từ đầu còn lại sao cho đầu đo di chuyển ổn định bên trong ống dẫn. Hai thao tác kéo dây và thả cáp phải được phối hợp nhịp nhàng, tốt nhất là sử dụng bộ đàm để liên lạc và điều phối.

Sau mỗi lần đo, cần tiến hành đo cao độ tại hai đầu ra của ống để ghi nhận kết quả và đảm bảo tính chính xác của phép đo.



Hình 2-5-7: *Tấm đo lún đã được hàn hoàn chỉnh*



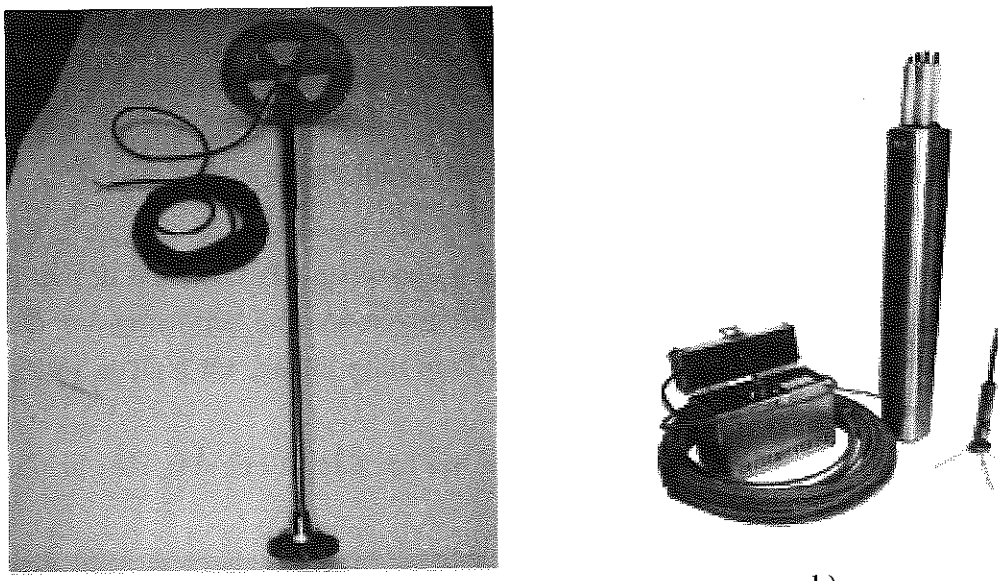
Hình 2-5-8: *Thiết bị đo lún ngang dạng trượt*

(3) Thiết bị đo lún đơn điểm và đa điểm

① Cấu tạo và nguyên lý

Thiết bị đo lún đơn điểm và đa điểm bao gồm đầu đo, thanh đo và đầu neo, như minh họa trong Hình 2-5-9. Thanh đo kết nối đầu đo với đầu neo. Đầu neo được chôn trong đất, khi xảy ra hiện tượng lún hoặc trồi, đầu neo sẽ di chuyển cùng với đất, kéo theo sự dịch chuyển của thanh đo. Sự di chuyển này làm căng thanh đo và kích hoạt cảm biến kéo dãn, tạo ra sự thay đổi tín hiệu điện tử, qua đó ghi nhận được mức độ lún.

Cảm biến được thiết kế dạng điện thế kế, có độ chính xác cao, hoạt động ổn định và không bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ. Trong quá trình sử dụng, thiết bị không gây cản trở việc thi công phía trên mặt đất, không làm hư hại kết cấu phía trên và cho phép giám sát liên tục 24 giờ theo tiến độ thi công.



a) b)

Hình 2-5-9: *Thiết bị đo lún phân tầng đơn điểm và đa điểm*

② Thử nghiệm

a. Sau khi hoàn thành việc chôn thiết bị đo lún đơn điểm hoặc đa điểm, kết nối đầu cáp với thiết bị đo và tiến hành thử nghiệm.

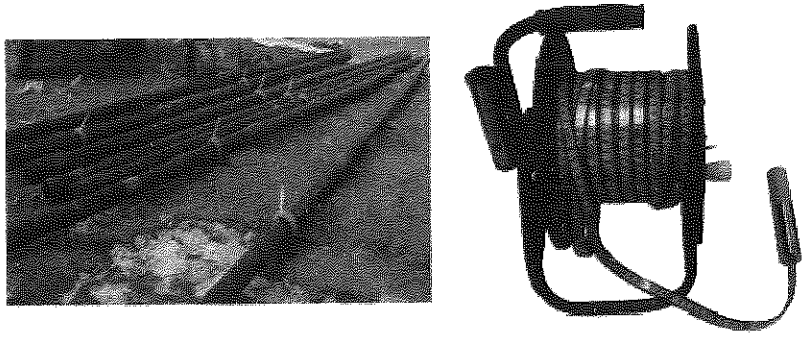
b. Bật thiết bị đo, kiểm tra và hiệu chỉnh thời gian, ngày tháng và mã số đầu đo.

c. Chờ dữ liệu ổn định, sau đó ghi lại kết quả đo.

d. Cũng có thể sử dụng hệ thống thu thập dữ liệu đa kênh để tự động thu thập và xử lý dữ liệu.

(4) Thiết bị đo lún phân tầng

① Cấu tạo và nguyên lý



a) Ống lún bố trí vòng từ phân tầng b) Đầu đo lún phân tầng

Hình 2-5-10: *Thiết bị đo lún phân tầng dạng vòng từ*

Thiết bị đo lún phân tầng, như minh họa trong Hình 2-5-10, sử dụng nguyên lý cảm ứng từ và bao gồm các bộ phận chính như đầu đo, thước đo và bộ chỉ báo tín hiệu.

Bộ phận làm việc chính của thiết bị là cảm biến từ trường bên trong đầu đo. Khi đầu đo di chuyển đến vị trí của vòng từ, cảm biến sẽ tạo ra tín hiệu kích hoạt bộ phát âm thanh. Dựa vào vị trí thang đo trên thước đo khi nghe thấy âm thanh, có thể xác định được độ sâu của vòng từ trong đất.

② Thử nghiệm

a. Trước khi sử dụng, kiểm tra xem thiết bị có hoạt động bình thường hay không. Bật thiết bị, đưa đầu đo qua vòng từ, nếu thiết bị phát ra âm thanh báo hiệu, điều đó chứng tỏ thiết bị hoạt động bình thường.

b. Lấy đầu đo ra, bật công tắc nguồn của thiết bị và đưa đầu đo vào bên trong ống đo lún.

c. Hạ đầu đo với tốc độ đều, khi gặp vòng từ, thiết bị sẽ phát ra tiếng kêu liên tục "bíp bíp…", điều này cho biết đầu đo đã phát hiện vòng từ.

d. Kéo đầu đo lên, khi tiếng kêu dừng lại, tiếp tục hạ đầu đo từ từ. Khi nghe thấy tiếng kêu "bíp…" một lần nữa, lập tức dừng việc hạ đầu đo, đọc giá trị trên thước đo tại vị trí miệng ống và ghi lại kết quả. Tiếp tục thực hiện theo cách này để đo toàn bộ các vòng từ.

e. Dựa vào số liệu đọc được trên thước đo khi phát ra âm thanh và so sánh với dữ liệu đo ban đầu, có thể tính toán được mức độ lún tại vị trí của vòng từ. Giả sử số liệu đo hiện tại là R và số liệu đo ban đầu là H, khi đó độ lún h được tính bằng công thức: $h = H - R_0$.

f. Lặp lại phép đo, lấy giá trị trung bình, tổng hợp và ghi chép kết quả.

2.2. Giám sát dịch chuyển ngang

(1) Cọc giám sát dịch chuyển ngang trên bề mặt đất

Việc giám sát dịch chuyển ngang của bề mặt đất nhằm xác định sự dịch chuyển sâu bên trong đất thông qua biểu hiện trên bề mặt và theo dõi hiện tượng trượt đất.

Thông thường, cọc giám sát dịch chuyển ngang được làm bằng gỗ hoặc bê tông.

- Cọc được đặt bên ngoài chân taluy của nền đắp, cách chân taluy từ 2 đến 10 m, bố trí 1 đến 2 hàng dọc theo tuyến. Nếu chỉ bố trí 1 hàng, cọc cần được đặt cách chân taluy từ 2 đến 4 m.
- Khoảng cách giữa các cọc nên từ 10 đến 20 m.

Phương pháp giám sát cọc dịch chuyển ngang sử dụng phương pháp đo tuyến ngắm. Khi giám sát, đặt máy kinh vĩ tại điểm làm việc A (hoặc B), ngắm trở lại

điểm làm việc B (hoặc A) để thiết lập tuyến ngắm chuẩn, sau đó đo độ lệch thẳng đứng của các điểm giám sát so với tuyến ngắm chuẩn. Ngoài ra, cũng có thể sử dụng máy kinh vĩ kết hợp với máy đo khoảng cách để đo trực tiếp tọa độ của các điểm giám sát.

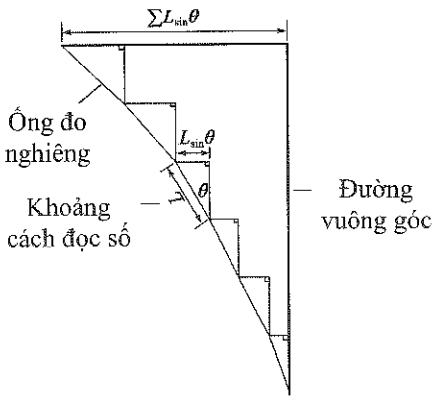
Việc giám sát dịch chuyển ngang yêu cầu sử dụng máy kinh vĩ có độ chính xác cao.

Giám sát dịch chuyển ngang là một trong những biện pháp quan trọng để kiểm soát tốc độ gia tải trong quá trình đắp đất. Nếu tốc độ gia tải quá nhanh và tải trọng tiến gần đến khả năng chịu tải giới hạn của nền đất, biến dạng dẻo của nền đất sẽ gia tăng, dẫn đến hiện tượng đất bị ép trồi ngang với mức dịch chuyển ngang rõ rệt. Đây là dấu hiệu nền đất sắp xảy ra phá hoại trượt cắt. Do đó, trong quá trình gia tải, cần nghiêm ngặt kiểm soát mức dịch chuyển ngang của cọc giám sát tại chân taluy. Khi tốc độ dịch chuyển ngang đạt hoặc vượt giới hạn cho phép, phải lập tức dừng việc gia tải.

(2) Thiết bị đo nghiêng giám sát dịch chuyển ngang sâu trong đất

① *Cấu tạo và nguyên lý*

Việc giám sát dịch chuyển ngang sâu trong đất giúp xác định mức độ lún do dịch chuyển ngang sâu bên trong nền đất gây ra. Thông thường, thiết bị đo nghiêng dạng trượt được sử dụng cho công tác này. Hệ thống giám sát dịch chuyển ngang bao gồm ống đo nghiêng và thiết bị đo nghiêng dạng trượt, với nguyên lý hoạt động được minh họa trong Hình 2-5-11.



Hình 2-5-11: *Sơ đồ nguyên lý đo nghiêng*

Thiết bị đo nghiêng gồm bốn bộ phận chính:

- Đầu đo nghiêng
- Bộ chỉ báo tín hiệu
- Cáp kết nối có đánh dấu khoảng cách
- Ống dẫn đo nghiêng

Cáp kết nối phải có độ bền cao và không được giãn dài khi đầu đo hoạt động dưới tác động của trọng lực. Ống dẫn đo nghiêng đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo độ chính xác của phép đo. Yêu cầu ống dẫn có mô đun đàn hồi gần với mô đun đàn hồi của đất và không bị biến dạng do áp lực đất. Thông thường, ống dẫn bằng nhựa có khả năng chịu áp lực tốt được sử dụng, trong đó độ chính xác khi tạo rãnh dẫn hướng bên trong ống là yếu tố then chốt.

Khi nền đất biến dạng, ống dẫn cũng dịch chuyển theo. Khi đầu đo nghiêng trượt trong ống dẫn, góc nghiêng của đầu đo sẽ thay đổi theo dịch chuyển của đất. Phép

đo tại một vị trí sẽ cho giá trị dịch chuyển ngang giữa điểm đo trước đó và điểm hiện tại theo công thức:

$$Lsin\theta$$

trong đó:

L - khoảng cách giữa hai điểm đo liên tiếp (thường là 0.5 m);

θ - góc nghiêng đo được tại vị trí đó.

Tổng dịch chuyển ngang của toàn bộ ống dẫn tại điểm đo n sẽ được tính bằng công thức:

$$\Delta_n = \sum_{i=1}^{n} L_i \sin\theta_i \tag{2-5-1}$$

Bằng cách so sánh dữ liệu đo được tại cùng một điểm ở các thời gian khác nhau, có thể xác định mức độ dịch chuyển ngang trong khoảng thời gian đó. Lưu ý rằng kích thước ống dẫn đo nghiêng phải phù hợp với thiết bị đo nghiêng sử dụng.

② *Phương pháp đo*

• Khi đo, xoay đầu đo sao cho hướng cảm ứng của nó trùng với hướng dẫn hướng của rãnh trong ống dẫn, sau đó hạ đầu đo đến đáy ống dẫn.

• Kết nối cáp với bộ chỉ báo tín hiệu. Khi chỉ báo tín hiệu đã ổn định, nâng đầu đo lên đến vị trí cần đo. Thông thường, khoảng cách giữa các điểm đo là 0.5 m, thực hiện phép đo từ dưới lên trên.

• Khi đầu đo đến miệng ống dẫn, xoay đầu đo 180°, sau đó lặp lại phép đo như trên. Phương pháp này giúp loại bỏ sai số cố hữu của thiết bị đo nghiêng.

• Lấy điểm cố định ở đáy hoặc giá trị đo tại miệng ống làm điểm gốc (giá trị bằng 0), cộng dồn các giá trị dịch chuyển của từng đoạn để xây dựng đường cong dịch chuyển ngang.

• Để theo dõi sự thay đổi dịch chuyển ngang theo thời gian và tải trọng, nên vẽ các kết quả giám sát trên cùng một biểu đồ để dễ dàng phân tích xu hướng dịch chuyển.

Nếu sử dụng thiết bị đo tự động có khả năng lưu trữ dữ liệu, có thể kết nối với máy tính và xử lý dữ liệu bằng phần mềm chuyên dụng. Phần mềm sẽ trực quan hóa các biểu đồ dạng ống đo và biểu đồ dịch chuyển, đồng thời hỗ trợ tra cứu và so sánh dữ liệu ở các thời điểm khác nhau, giúp việc xử lý và phân tích dữ liệu trở nên đơn giản, thuận tiện và trực quan hơn.

(3) Thiết bị đo áp lực đất

Thiết bị đo áp lực đất bao gồm nhiều loại cảm biến như loại dây rung, loại biến dạng và loại cảm biến áp lực silic. Khi vỏ của thiết bị đo biến dạng do chịu áp lực đất, sự thay đổi này sẽ được truyền qua mạch điện và hiển thị trên thiết bị đo.

Việc thu thập dữ liệu có thể thực hiện bằng thiết bị đo cầm tay hoặc hệ thống thu thập dữ liệu đa kênh để tiến hành giám sát tự động.

Thiết bị đo cầm tay hiển thị giá trị không phải áp lực trực tiếp, mà cần tính toán theo công thức sau để xác định áp lực:

$$P = (R - R_0).k \tag{2-5-2}$$

trong đó:

P - áp lực (kPa);

R - giá trị đo hiện tại của thiết bị;

R_0 - giá trị đo ban đầu của thiết bị;

k - hệ số hiệu chuẩn của thiết bị đo áp lực đất.

Dựa vào công thức trên, có thể tính được áp lực tuyệt đối hiện tại mà thiết bị đo đang chịu. Bằng cách so sánh các giá trị áp lực đo được tại những thời điểm khác nhau, có thể đánh giá sự thay đổi áp lực đất tại vị trí của thiết bị đo.

(4) Thiết bị đo áp lực nước lỗ rỗng

Thiết bị đo áp lực nước lỗ rỗng bao gồm các bộ phận chính: cảm biến, đá lọc nước, hệ thống truyền áp lực và cáp truyền tín hiệu. Cảm biến có thể thuộc loại dây rung, loại biến dạng hoặc loại cảm biến áp lực silic. Khi áp lực nước lỗ rỗng thay đổi, nước sẽ đi qua đá lọc nước và tác động lên màng cảm biến, gây ra sự thay đổi áp lực mà màng cảm biến cảm nhận. Sự thay đổi này được chuyển thành tín hiệu và hiển thị trên thiết bị đo. Dữ liệu có thể thu thập bằng thiết bị đo cầm tay hoặc hệ thống đo tự động đa kênh.

Sau khi hoàn thành việc chôn thiết bị đo áp lực nước lỗ rỗng, cần kết nối cáp truyền tín hiệu với thiết bị đo để tiến hành đo đạc. Ghi lại thời gian, ngày tháng và mã số đầu đo. Đợi cho dữ liệu ổn định, sau đó đọc và ghi lại kết quả. Ngoài ra, có thể sử dụng hệ thống thu thập dữ liệu đa kênh để tự động ghi nhận và xử lý dữ liệu.

Giá trị hiển thị trên thiết bị đo cần được tính toán để chuyển đổi thành giá trị áp lực nước lỗ rỗng thực tế. Mối quan hệ giữa giá trị hiển thị và áp lực mà màng cảm biến chịu được thể hiện bằng công thức:

$$P = (I - I_0) \cdot k \tag{2-5-3}$$

trong đó:

P - áp lực nước lỗ rỗng (kPa);

I - giá trị đo hiện tại của thiết bị;

I_0 - giá trị đo ban đầu của thiết bị;

k - hệ số hiệu chuẩn của thiết bị đo áp lực nước lỗ rỗng.

Dựa vào công thức này, có thể tính được áp lực nước lỗ rỗng tại vị trí của thiết bị. Bằng cách so sánh các giá trị áp lực đo được ở các thời điểm khác nhau, có thể đánh giá quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng, từ đó hiểu rõ tình trạng cố kết của nền đất.

3. Độ chính xác và tần suất giám sát

Nội dung quan trọng nhất trong giám sát tại chỗ là theo dõi biến dạng lún của nền móng. Đối với tấm đo lún và cọc giám sát lún, độ chính xác khi giám sát có thể áp dụng theo mức sai số cho phép của giá trị kiểm soát lún sau thi công ± 1/20. Ví dụ, đối với đường sắt cao tốc không sử dụng tà vẹt, giá trị kiểm soát lún sau thi công là 20 mm, do đó độ chính xác khi giám sát lún có thể là ± 1 mm.

Độ chính xác khi giám sát biến dạng lún ngang có thể áp dụng ở mức 8 mm/30 m. Đối với giám sát lún phân tầng nền móng, yêu cầu độ chính xác thông thường là ± 1 mm.

Đối với giám sát áp lực nước lỗ rỗng và áp lực đất, yêu cầu độ chính xác là ± 0.1 kPa.

Độ chính xác của giám sát dịch chuyển ngang sâu trong đất thường yêu cầu đạt ± 0.02 mm.

Tần suất giám sát lún nền đường không được thấp hơn mức quy định trong Bảng 2-5-4. Đối với các hạng mục giám sát khác, tần suất có thể được xác định dựa trên mục đích của thí nghiệm nghiên cứu. Khi điều kiện môi trường thay đổi hoặc dữ liệu xuất hiện bất thường, cần tăng tần suất giám sát để đảm bảo kết quả đo chính xác.

Bảng 2-5-4: Tần suất giám sát lún nền đường

Giai đoạn giám sát	Tần suất giám sát	
Giai đoạn đắp nền hoặc gia tải trước	Thông thường	1 lần/ngày
	Lượng lún thay đổi đột ngột	2 - 3 lần/ngày
	Khi khoảng thời gian giữa hai lần đắp nền kéo dài	1 lần/3 ngày
Giai đoạn gia tải trước hoặc tĩnh lún nền đường	Tháng đầu tiên	1 lần/tuần
	Trong tháng thứ 2 và thứ 3	1 lần/2 tuần
	Sau 3 tháng	1 lần/tháng
Giai đoạn sau khi hoàn thành lắp đặt kết cấu đường ray	Tháng đầu tiên	1 lần/2 tuần
	Trong tháng thứ 2 và thứ 3	1 lần/tháng
	Từ tháng thứ 3 đến tháng thứ 12	1 lần/3 tháng

IV. ĐÁNH GIÁ LÚN NỀN MÓNG

Dựa vào tiến độ thi công, các báo cáo đánh giá được lập theo từng giai đoạn, từ đó hỗ trợ hiệu quả cho việc thiết kế và thi công nền đường trong suốt quá trình thực hiện.

1. Điều chỉnh giai đoạn gia tải trước

Giai đoạn gia tải trước của nền đường (bao gồm cả nền đất gia tải) bắt đầu từ khi hoàn thành việc đắp nền cho đến khi lắp đặt kết cấu đường ray. Thời gian gia tải trước được thiết kế có thể được xác định dựa trên lượng lún lý thuyết đã tính toán, lượng lún cho phép sau thi công và tốc độ lún cho phép trong năm đầu tiên. Trong suốt giai đoạn này, cần phải đảm bảo các điều kiện sau:

$$\begin{aligned} S_{dự\ tính\ cuối\ cùng} - S_{dự\ tính} &< S_{sau\ thi\ công} \\ S_{(dự\ tính+1)} - S_{dự\ tính} &< S_{tốc\ độ\ lún} \end{aligned} \tag{2-5-4}$$

trong đó:

$S_{cuối\ cùng}$ - lượng lún cuối cùng tính toán lý thuyết;

$S_{dự\ tính}$ - lượng lún tại thời điểm thiết kế gia tải trước;

$S_{(dự\ tính+1)}$ - lượng lún sau một năm kể từ thời điểm thiết kế gia tải trước;

$S_{sau\ thi\ công}$ - lượng lún sau thi công cho phép;

$S_{tốc\ độ\ lún}$ - tốc độ lún trong năm đầu tiên cho phép.

Trong quá trình thi công, căn cứ vào tiến độ công trình, nếu thời gian gia tải trước thực tế không đáp ứng yêu cầu thiết kế, có thể sử dụng dữ liệu lún thực tế đo được tại hiện trường để tính toán lún trong tương lai và từ đó điều chỉnh độ cao nền đất gia tải. Khi điều chỉnh độ cao nền đất gia tải và dỡ tải, cần phải đảm bảo các điều kiện sau:

$$\begin{aligned} S_{dự\ tính\ cuối\ cùng} - S_{dự\ đoán\ trước} &< S_{sau\ thi\ công} \\ S_{(dự\ đoán\ trước+1)} - S_{dự\ đoán\ trước} &< S_{tốc\ độ\ lún} \end{aligned} \tag{2-5-5}$$

trong đó:

$S_{dự\ tính\ cuối\ cùng}$ - lượng lún cuối cùng tính toán từ dữ liệu đo thực tế;

$S_{dự\ đoán\ trước}$ - lượng lún tính toán từ dữ liệu thực tế tại thời điểm thiết kế gia tải trước;

$S_{(dự\ đoán\ trước+1)}$ - lượng lún tính toán từ dữ liệu thực tế sau một năm kể từ thời điểm thiết kế gia tải trước.

2. Xác định giá trị nâng đỉnh lớp đáy nền

Trước khi đắp lớp đá dăm cấp phối, có thể tiến hành phân tích lún toàn tuyến và dựa trên kết quả dự đoán lún để điều chỉnh giá trị nâng đỉnh lớp đáy nền. Việc điều chỉnh giá trị nâng đỉnh có thể được xác định theo công thức (2-5-6) sau:

$$\Delta_1 = S_{nghiệm\ thu} - S_1 \tag{2-5-6}$$

trong đó:

Δ_1 - giá trị nâng đỉnh lớp đáy nền;

$S_{nghiệm\ thu}$ - lượng lún tính toán từ dữ liệu đo thực tế tại thời điểm nghiệm thu;

S_1 - lượng lún tính toán từ dữ liệu đo thực tế tại thời điểm thiết lập giá trị nâng đỉnh lớp đáy nền.

3. Xác định giá trị nâng đỉnh nền đường

Việc hoàn thành lớp đáy nền và nghiệm thu thường không diễn ra cùng một thời điểm. Để đảm bảo rằng cao độ của đường vai đạt yêu cầu tại thời điểm nghiệm thu, có thể thiết lập giá trị nâng đường vai. Việc tính toán giá trị nâng đường vai thực hiện theo công thức (2-5-7) sau:

$$\Delta_2 = S_{nghiệm\ thu} - S_2 \tag{2-5-7}$$

trong đó:

Δ_2 - giá trị nâng đường vai;

$S_{nghiệm\ thu}$ - lượng lún tính toán từ dữ liệu đo thực tế tại thời điểm nghiệm thu;

S_2 - lượng lún tính toán từ dữ liệu đo thực tế tại thời điểm thiết lập giá trị nâng đường vai.

Cao độ đỉnh lớp đáy nền và cao độ đường vai có tiêu chuẩn nghiệm thu là một phạm vi giá trị. Khi xác định thực tế giá trị nâng đỉnh lớp đáy nền và nâng đường vai, cần so sánh giá trị nâng tính toán với tiêu chuẩn nghiệm thu. Nếu giá trị nâng tính toán vượt quá phạm vi cho phép của tiêu chuẩn nghiệm thu, thì mới tiến hành thiết lập giá trị nâng. Trong quá trình thiết lập, cần đảm bảo rằng các yêu cầu về tiêu chuẩn nghiệm thu, lún sau thi công và tốc độ lún được đáp ứng, đồng thời cũng phải xem xét các yếu tố thi công và thực hiện phân tích tổng hợp để xác định.

4. Đánh giá nền đường trước khi lắp đặt đường ray

Tiêu chuẩn nghiệm thu cho đường sắt cao tốc yêu cầu rất cao, với các tiêu chuẩn nghiêm ngặt đối với cao độ của lớp đáy nền, lớp mặt, đường vai và độ dày của lớp đá ballast. Đồng thời, yêu cầu về lún sau thi công và tốc độ lún của nền đất cũng rất khắt khe.

Dựa vào kết quả dự đoán lún nền, có thể xác định lún sau thi công của nền đường sau khi lắp đặt đường ray. Đánh giá lún sau thi công phải kết hợp với các đoạn giám sát nền đường và tình hình dự đoán lún của các cầu (cống) và hầm lân cận, từ đó đánh giá tổng thể cho tuyến đường. Khi giá trị lún dự đoán của nền đường sau thi công đáp ứng các tiêu chuẩn về lún, tốc độ lún, v.v., mới có thể tiến hành thi công lắp đặt kết cấu đường ray.

Công việc đánh giá cần được thực hiện dựa trên các tài liệu phân tích tổng hợp sau:

1- Dữ liệu giám sát lún nền đường.

2- Bản vẽ thiết kế dọc tuyến của nền đường, bản vẽ cắt ngang và dọc địa chất công trình, bản vẽ thiết kế và tài liệu hướng dẫn, báo cáo tính toán lún (bao gồm các đồ thị mối quan hệ giữa giá trị lún thiết kế và thời gian ở các giai đoạn khác nhau).

3- Dữ liệu thi công, kiểm tra thi công, tình hình kiểm tra vật liệu, cấp phối, nền và độ nén, v.v. Dữ liệu kiểm soát chất lượng thi công và các tài liệu giám sát.

Dựa trên kinh nghiệm xây dựng đường sắt cao tốc ở Đức, thông thường sẽ thực hiện phân tích hồi quy các đường cong từ dữ liệu quan trắc thực tế. Khi một đường cong được chọn làm đường cong dự đoán, hệ số tương quan của hồi quy không được thấp hơn 0.92 để đảm bảo xu hướng biến dạng lún được xác định ổn định. Hai lần dự đoán cách nhau không dưới một khoảng thời gian nhất định (thường là 3 tháng), nếu sự chênh lệch giữa lượng lún dự đoán cuối cùng không vượt quá 8 mm, thì dự đoán được coi là đáng tin cậy. Tuy nhiên, để có dự đoán chính xác về lún sau thi công, thời gian lắp đặt đường ray t cần thỏa mãn điều kiện sau:

$$\frac{S(t)}{S_{(t=\infty)}} > 75\% \tag{2-5-8}$$

trong đó:

$S(t)$ - giá trị lún dự đoán tại thời điểm t;

$S_{(t=\infty)}$ - giá trị lún cuối cùng dự đoán (lún và thời gian được tính từ khi hoàn thành đắp nền hoặc gia tải trước).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Claus Gobel, Klaus Lieberenz, Frank Richter. Kỹ thuật nền đường đường sắt [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2007.

[2] Heath D L, Shenton M J, Sparrow R W, et al. Thiết kế nền móng cho đường ray thông thường [Tạp chí]. Tạp chí Viện Kỹ sư Xây dựng, 2015, 51(2): 251-267.

[3] Li D, Selig E T. Mô đun đàn hồi của đất nền hạt mịn [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Địa kỹ thuật, 1994, 120(6): 93-957.

[4] Skempton A W, Bjerrum L. Đóng góp vào phân tích lún của móng trên đất sét [Tạp chí]. Géotechnique, 1957, 7(4): 168-178.

[5] 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, 2014.

[6] Trần Thiện Hùng và cộng sự. Lý thuyết và thực tiễn đánh giá quan trắc biến dạng lún đường sắt cao tốc [Sách]. Bắc Kinh: Nhà xuất bản Đường sắt Trung Quốc, 2010.

[7] Trần Chấn. Nghiên cứu phản ứng động lực của nền đường sắt cao tốc [Luận văn]. Vũ Hán: Viện Sau đại học Viện Khoa học Trung Quốc (Viện Cơ học đất và đá Vũ Hán), 2006.

[8] Thôi Lệnh, Đậu Viễn Minh. Ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo trong dự báo lún nền đất mềm [Tạp chí]. Tạp chí Kỹ thuật Nền đường, 2006(4): 54-56.

[9] Phùng Chấn, Hứa Triệu Nghĩa, Vương Liên Tuấn và cộng sự. Dự báo lún nền đường bằng lý thuyết xám và ứng dụng của nó [Tạp chí]. Tạp chí Đại học Giao thông Bắc Kinh, 2004, 28(4).

CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC TRUNG QUỐC

CIVIL ENGINEERING IN CHINA'S HIGH-SPEED RAILWAY

(Tập I)

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/01-24/XD ngày 20/01/2025. ISBN: 978-604-82-8380-3. Quyết định xuất bản số 05-2025/QĐ-XBXD ngày 21/01/2025. In xong nộp lưu chiểu quý I năm 2025.