



NGHIÊN CỨU KẾT CẤU VÀ TÍNH TOÁN ĐỘNG LỰC HỌC GIÁ CHUYỂN HƯỚNG TOA XE KÉO THEO CỦA ĐOÀN TÀU TỐC ĐỘ CAO CRH2

Mai Văn Thắm, Nguyễn Trung Hiếu
 Trường Đại học Giao thông vận tải
 Email: hieudmtx@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Vấn đề kết cấu và tính toán động lực học đoàn tàu từ lâu đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu, đặc biệt là hiện nay dự án đường sắt tốc độ cao Bắc Nam đang được nghiên cứu để triển khai. Bài báo nghiên cứu kết cấu giá hướng toa xe kéo theo điển hình của đoàn tàu tốc độ cao CRH2, từ đó nghiên cứu mô hình động lực học của toa xe kéo theo, tính toán khảo sát động lực và đánh giá chỉ tiêu ổn định vận hành của toa xe này. Kết quả bài báo là tài liệu tham khảo và có ý nghĩa thực tiễn cho dự án đường sắt tốc độ cao Bắc Nam.

Từ khóa: giá chuyển hướng, đường sắt tốc độ cao, động lực học phương tiện

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nghiên cứu kết cấu, các thông số kỹ thuật và tính toán động lực học cho giá chuyển hướng của toa xe nhằm đảm bảo an toàn vận hành cho đoàn tàu là một vấn đề phức tạp. Với các đoàn tàu tốc độ cao, vận tốc thiết kế từ 200 km/h trở lên lựa chọn kết cấu và thông số kỹ thuật của giá chuyển hướng là rất quan trọng, sau khi lựa chọn kết cấu thì việc xây dựng mô hình và tính toán động lực giá chuyển hướng là rất cần thiết nhằm đảm bảo an toàn chạy tàu [1÷6].

Dự án đường sắt tốc độ cao Bắc Nam đang trong giai đoạn lấy ý kiến các Bộ, ban, ngành để trình Quốc hội thông qua vào năm 2025, phấn đấu đến năm 2030 khởi công theo Quyết định số 1769/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ về Phê duyệt Quy hoạch mạng lưới đường sắt thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Do vậy, kết quả nghiên cứu kết cấu, tính toán động lực học giá chuyển hướng toa xe kéo của đoàn tàu tốc độ cao CRH2 có ý nghĩa tham khảo và thực tiễn cao.

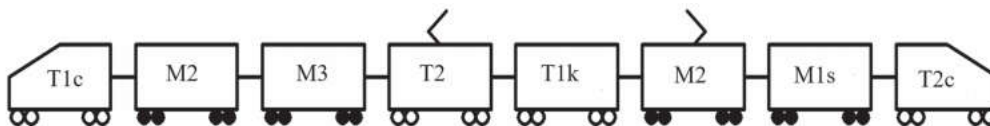
Bài báo nghiên cứu kết cấu giá chuyển hướng toa xe kéo theo điển hình đó là đoàn tàu tốc độ cao

CRH2, sau khi nghiên cứu kết cấu bài báo sẽ tiến hành xây dựng mô hình nghiên cứu động lực học của toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2, đồng thời bài báo ứng dụng Matlab để tính toán các chỉ tiêu động lực học để đánh giá chỉ tiêu ổn định vận hành của toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Nghiên cứu kết cấu và các thông số kỹ thuật chính của giá chuyển hướng kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2

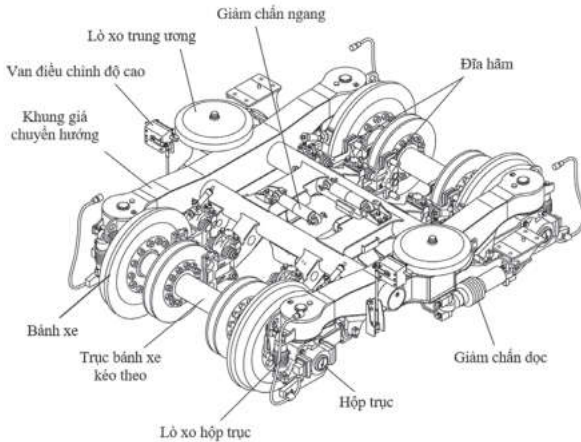
Đoàn tàu tốc độ cao CRH2 gồm có 8 toa xe, trong đó có 4 toa xe động lực (ký hiệu là M), 4 toa xe kéo theo (ký hiệu là T). Đoàn tàu CRH2 được cấu thành từ hai đơn nguyên, mỗi một đơn nguyên do hai toa xe động lực và hai toa xe kéo theo hợp thành (T-M-M-T). Hình thức biên chế là T1c + M2 + M3 + T2 + Tk1 + M2 + M1s + T2c, bao gồm một toa xe hạng nhất (M1s), sáu toa xe hạng hai (T1c, M2, M1, T2, M2, T2c) và một toa xe ăn có chỗ ngồi (T1k), trong đó toa xe có buồng lái đặt tại toa xe số 1 (T1c) và toa xe số 8 (T2c). Thành phần đoàn tàu tốc độ cao CRH2 thể hiện như hình H.1:



H.1. Đoàn tàu tốc độ cao CRH2

T: Toa xe kéo theo; M: Toa xe động lực; k là toa xe có hàng ăn; s là toa xe hạng nhất; c là toa xe có buồng lái.

Giá chuyển hướng toa xe kéo theo của đoàn tàu tốc độ cao CRH2 gồm 6 bộ phận chủ yếu tạo thành: trục bánh, hộp trục, hệ thống lò xo hộp trục, khung giá chuyển hướng, hệ thống lò xo trung ương và thiết bị hãm giá chuyển hướng. Kết cấu giá chuyển hướng toa xe kéo theo xem Hình H.2.



H.2. Kết cấu tổng thể giá chuyển hướng toa xe kéo theo đoàn tàu CRH2

Kết cấu hộp trục của toa xe đoàn tàu CRH2 sử dụng kiểu đòn quay một khối, kiểu cơ cấu hộp trục này ngày càng được sử dụng phổ biến trên các đoàn tàu cao tốc vì kết cấu đơn giản, giảm được tự nặng, kiểm tra, sửa chữa dễ dàng. Đồng thời có lợi cho việc nâng cao tính ổn định vận hành của toa xe và thuận tiện trong lắp ráp.

Cơ cấu hệ treo hộp trục của giá chuyển hướng

toa xe kéo theo đoàn tàu CRH2 sử dụng kiểu đòn quay, bao gồm lò xo tròn hộp trục, giảm chấn thủy lực hướng thẳng đứng; Cơ cấu hệ treo trung ương gồm hệ thống lò xo không khí, các thanh kéo, giảm chấn ngang, giảm chấn chống rần bò, bộ chặn cao su... cấu thành. Ưu điểm của hệ thống lò xo không khí là chịu tải trọng thùng xe, giảm dao động và đảm bảo an toàn, thoải mái cho hành khách.

Kết cấu khung giá chuyển hướng toa xe kéo theo đoàn tàu CRH2 là loại thép hàn, có hình dạng chữ H, do xà bên, xà ngang, xà liên kết dọc, xà đỡ lò xo không khí và các phụ kiện hàn khác hợp thành. Xà bên có mặt cắt hình hộp, xà ngang dùng thép ống không mối nối. Trong xà bên có gân gia cường, để nâng cao độ cứng chịu tải của xà bên. Bên ngoài xà bên và giữa hai xà ngang có xà đỡ lò xo không khí, hai xà đỡ lò xo không khí kết hợp với hai xà ngang, tạo thành buồng không khí phụ của lò xo không khí.

Hệ thống hãm giá chuyển hướng toa xe kéo theo đoàn tàu CRH2 sử dụng phương thức đĩa hãm trục kết hợp với hãm bánh xe. Mỗi trục bánh xe giá chuyển hướng kéo theo được lắp hai bộ đĩa hãm, mỗi bánh xe được lắp một đĩa hãm. Cơ cấu hãm sử dụng phương thức hãm áp lực thủy lực chuyển đổi không khí, dầu thủy lực.

Sau khi nghiên cứu kết cấu kết cấu giá chuyển hướng toa xe kéo theo của đoàn tàu tốc độ cao CRH2 sẽ có các thông số kỹ thuật cơ bản như trong Bảng 1 [8, 10]:

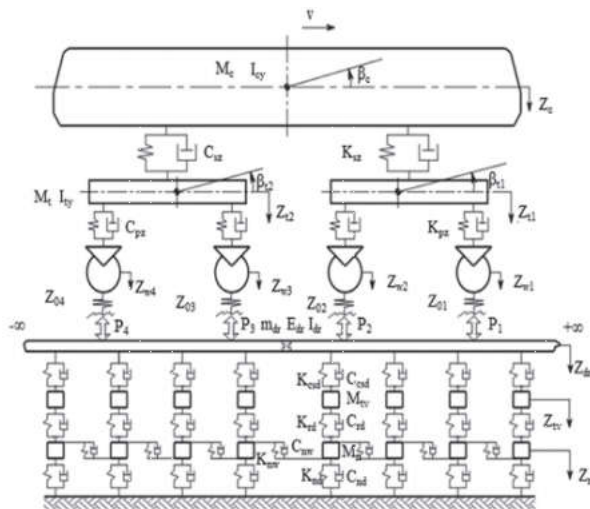
Bảng 1. Thông số kỹ thuật chính của giá chuyển hướng toa xe kéo theo đoàn tàu CRH2

TT	Thông số kỹ thuật chính	Giá trị
1	Khổ đường	1435 mm
2	Tốc độ vận hành tối đa	250 km/h
3	Tải trọng trục	16 Tấn
4	Khoảng cách giữa hai cối chuyển hướng	17500 mm
5	Khoảng cách giữa hai trục bánh	2500 mm
6	Đường kính bánh xe	860 mm
7	Khối lượng giá chuyển hướng kéo theo	6,87 tấn
8	Khối lượng bộ trục bánh	1,728 tấn
9	Khối lượng khung giá chuyển hướng	2,6 tấn
10	Khối lượng thân toa xe	30,5 tấn

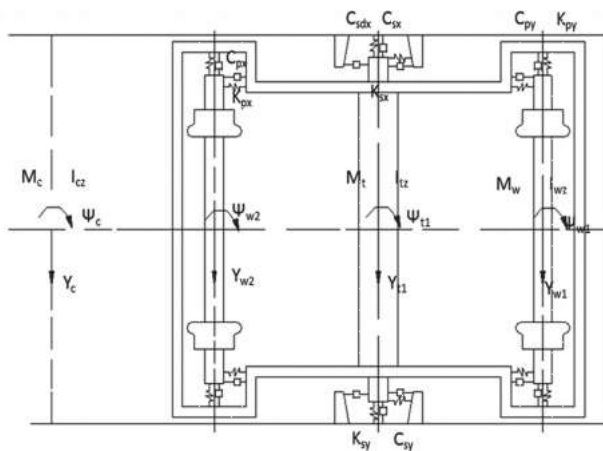


2.2. Mô hình động lực học toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2

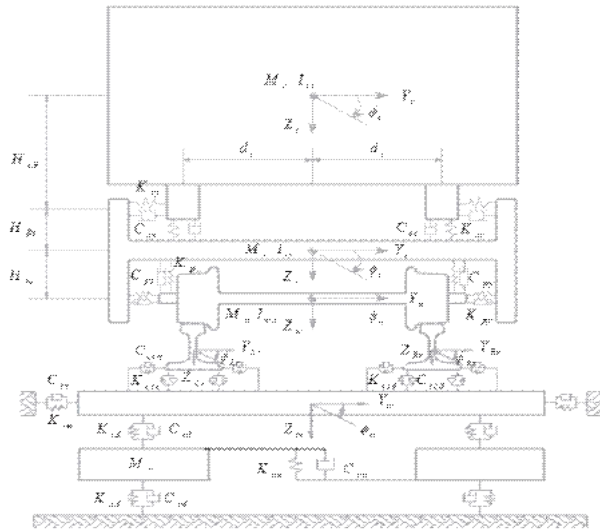
Mô hình động lực học toa xe đoàn tàu tốc độ cao CRH2 sử dụng giá chuyển hướng kéo theo 2 trục bao gồm 7 vật thể: thân xe, giá chuyển hướng trước, giá chuyển hướng sau, 4 bộ trục bánh xe. Mỗi vật thể khảo sát 5 bậc tự do gồm dao động sàng ngang, dao động gập đầu, dao động lăn ngang, dao động lắc và dao động nhấp nhô. Mô hình nghiên cứu động lực học toa xe kéo theo đoàn tàu CRH2 trong mặt phẳng thẳng đứng, nằm ngang, mặt cắt đứng như hình H.3, hình H.4 và hình H.5 [1, 2, 7].



H.3. Mô hình nghiên cứu động lực học toa xe kéo theo CRH2 trong mặt phẳng thẳng đứng



H.4. Mô hình nghiên cứu động lực học toa xe kéo theo CRH2 trong mặt phẳng nằm ngang



H.5. Mô hình nghiên cứu động lực học toa xe kéo theo CRH2 trong mặt cắt đứng

Trong đó các ký hiệu trên mô hình nghiên cứu H.3, H.4 và H.5 gồm: $Y_c, Y_{t1}, Y_{t2}, Y_{w1}, Y_{w2}, Y_{w3}, Y_{w4}, Z_c, Z_{t1}, Z_{t2}, Z_{w1}, Z_{w2}, Z_{w3}, Z_{w4}, \varphi_c, \varphi_{t1}, \varphi_{t2}, \varphi_{w1}, \varphi_{w2}, \varphi_{w3}, \varphi_{w4}, \psi_c, \psi_{t1}, \psi_{t2}, \psi_{w1}, \psi_{w2}, \psi_{w3}, \psi_{w4}, \beta_c, \beta_{t1}, \beta_{t2}, \beta_{w1}, \beta_{w2}, \beta_{w3}, \beta_{w4}$ lần lượt là dao động sàng ngang, nhấp nhô, lăn ngang, lắc đầu, gập đầu của thân xe, giá chuyển hướng trước, giá chuyển hướng sau, trục bánh thứ 1, trục bánh thứ 2, trục bánh thứ 3 và trục bánh thứ 4; M_c, M_t, M_w là Khối lượng thân xe, khung giá chuyển hướng và bộ trục bánh; I_{wx}, I_{wy}, I_{wz} là mô men quán tính bộ trục bánh xe đối với trục x, y, z; I_{cx}, I_{cy}, I_{cz} là mô men quán tính khung giá chuyển hướng đối với trục x, y, z; K_{sx}, K_{sy}, K_{sz} là độ cứng mỗi bên giá chuyển hướng của hệ lò xo thứ cấp theo phương dọc, phương ngang, thẳng đứng; C_{sx}, C_{sy}, C_{sz} là hệ số giảm chấn mỗi bên giá chuyển hướng của hệ lò xo thứ cấp theo phương dọc, phương ngang, thẳng đứng; C_{sdx} là hệ số giảm chấn của giảm chấn chống rắn bò; K_{px}, K_{py}, K_{pz} là độ cứng mỗi bên hộp trục của hệ lò xo sơ cấp theo phương dọc, ngang, thẳng đứng; C_{px}, C_{py}, C_{pz} là hệ số giảm chấn mỗi bên hộp trục của hệ lò xo sơ cấp theo phương dọc, ngang, thẳng đứng.

Sau khi xây dựng mô hình nghiên cứu động lực học toa xe kéo theo đoàn tàu CRH2, sẽ tiến hành thành lập các hệ phương trình dao động theo các hệ phương trình vi phân dao động của 7 vật thể

ngiên cứu trên theo phương thẳng đứng, phương nằm ngang, mặt cắt đứng [1, 7].

Qua nghiên cứu kết cấu giá chuyển hướng và thông số kỹ thuật chính của toa xe kéo theo của đoàn tàu tốc độ cao CRH2, bài báo lập trình chương

trình và ứng dụng phần mềm Matlab để tính toán động lực học của giá chuyển hướng toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2, bảng thông số kỹ thuật của toa xe kéo theo CRH2 dùng trong tính toán động lực học như trong Bảng 2 [8, 10].

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật dùng trong tính toán động lực học của toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2

Bộ phận	Tham số	Ký hiệu	Đơn vị	Trị số
Trục bánh	Khối lượng	M_w	kg	1728
	Mô men quán tính lăn ngang (quanh trục X)	I_{wx}	kg.m ²	740
	Mô men quán tính gạt đầu (quanh trục Y)	I_{wy}	kg.m ²	115
	Mô men quán tính lắc đầu (quanh trục Z)	I_{wz}	kg.m ²	740
Khung giá chuyển hướng	Khối lượng	M_t	kg	2600
	Mô men quán tính lăn ngang (quanh trục X)	I_{tx}	kg.m ²	2106
	Mô men quán tính gạt đầu (quanh trục Y)	I_{ty}	kg.m ²	1424
	Mô men quán tính lắc đầu (quanh trục Z)	I_{tz}	kg.m ²	2600
Thân xe	Khối lượng	M_c	kg	30500
	Mô men quán tính lăn ngang (quanh trục X)	I_{cx}	kg.m ²	84564
	Mô men quán tính gạt đầu (quanh trục Y)	I_{cy}	kg.m ²	1278900
	Mô men quán tính lắc đầu (quanh trục Z)	I_{cz}	kg.m ²	1102725
Tham số độ cứng của hệ thống treo	Độ cứng lò xo sơ cấp thẳng đứng	K_{pz}	N/m	1244000
	Độ cứng dọc định vị hộp trục	K_{px}	N/m	13700000
	Độ cứng ngang định vị hộp trục	K_{py}	N/m	5490000
	Độ cứng dọc lò xo không khí	K_{sz}	N/m	159700
	Độ cứng ngang lò xo không khí	K_{sx}	N/m	159700
	Độ cứng thẳng đứng lò xo không khí	K_{sy}	N/m	990800
Tham số hệ số giảm chấn của hệ thống treo	Hệ số giảm chấn sơ cấp thẳng đứng	C_{pz}	N.s/m	19600
	Hệ số giảm chấn thứ cấp ngang	C_{sy}	N.s/m	58800
	Hệ số giảm chấn chống rần rò	C_{sdx}	N.s/m	2450000

2.3. Tiêu chuẩn đánh giá động lực học toa xe

Theo Quy chuẩn Quốc gia Trung Quốc GB5599-1985 về thử nghiệm, đánh giá tính năng động lực học đoàn tàu quy định các chỉ tiêu đánh giá độ ổn định vận hành như trong Bảng 3 [9]:

Bảng 3. Các cấp độ đánh giá độ ổn định vận hành toa xe

Cấp độ	Chỉ tiêu ổn định vận hành toa xe W	Đánh giá
Cấp 1	< 2,5	Rất tốt
Cấp 2	2,5 - 2,75	Tốt
Cấp 3	2,75 – 3,0	Đạt yêu cầu

Bảng 2 gồm có 3 cấp độ đánh giá độ ổn định vận hành của toa xe, trong đó W - Chỉ tiêu đánh giá ổn định vận hành toa xe được xác định bằng công thức sau đây:

$$W = 7,08^{10} \sqrt{\frac{A^3}{f}} F(f) \quad (1)$$

Trong đó: A là gia tốc dao động [m/s²]; f là tần số dao động [Hz]; F(f) là Hàm điều chỉnh phụ thuộc vào tần số và được tính theo công thức gần đúng theo Bảng 4.

Bảng 4. Hàm điều chỉnh tần số

Dao động thẳng đứng		Dao động ngang	
Khoảng tần số (Hz)	Công thức	Khoảng tần số (Hz)	Công thức
0,5 - 5,9	$F(f) = 0,325 f^2$	0,5 - 5,4	$F(f) = 0,8 f^2$
5,9 - 20	$F(f) = 400/f^2$	5,4 - 26	$F(f) = 650/f^2$
>20	$F(f) = 1$	>26	$F(f) = 1$

2.4. Tính toán động lực học toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2 theo phương thẳng đứng

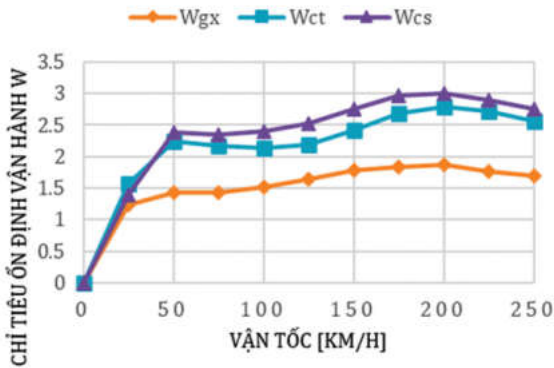
Ứng dụng phần mềm Matlab tính toán, khảo sát dao động theo phương thẳng đứng của toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2 theo dải tốc độ từ

0÷250 km/h, từ kết quả tính toán dao động, tiến hành tính chỉ tiêu ổn định vận hành W tại ba điểm là điểm ở giữa toa xe (Wgx), điểm giữa chỗ nối giá chuyển hướng trước với thân xe (Wct) và điểm giữa chỗ nối giá chuyển hướng sau với thân xe (Wcs), kết quả khảo sát được như Bảng 5 và Hình H.6.

Bảng 5. Chỉ tiêu ổn định vận hành toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2 theo phương thẳng đứng

V(km/h)	Wgx	Wct	Wcs
0	0	0	0
25	1.2296	1.5609	1.3934
50	1.4279	2.2480	2.3857
75	1.4198	2.1765	2.3542
100	1.5140	2.1275	2.3911
125	1.6449	2.1893	2.5268
150	1.7814	2.4087	2.7544
175	1.8412	2.6883	2.9665
200	1.8608	2.7943	2.9916
225	1.7660	2.7167	2.8981
250	1.6874	2.5584	2.7523

Từ đồ thị H.6 thấy rằng trong khoảng tốc độ từ 0 đến 250 km/h chỉ tiêu ổn định vận hành theo phương thẳng đứng của toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2 luôn nhỏ hơn 3, đạt yêu cầu với quy định. Chỉ số ổn định tăng khi tốc độ tăng lên và tăng cao nhất trong khoảng 180-200 km/h sau đó giảm dần.



H.6. Đồ thị chỉ tiêu ổn định vận hành của toa xe kéo theo CRH2 theo phương thẳng đứng

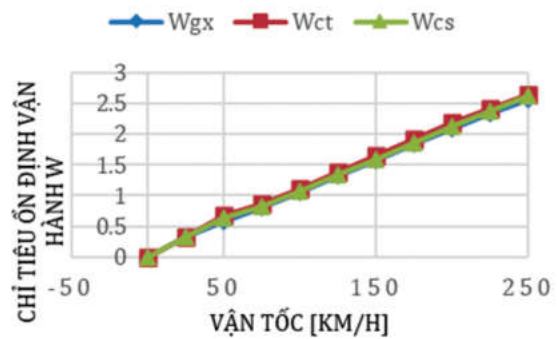
2.5. Tính toán động lực học toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2 theo phương nằm ngang

Kết quả tính toán chỉ tiêu ổn định vận hành theo phương nằm ngang của toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2 theo dải tốc độ từ 0-250 km/h, kết quả tính toán được như trong Bảng 6 và Hình H.7.

Bảng 6. Chỉ tiêu ổn định vận hành toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2 theo phương nằm ngang

V(km/h)	W_{gx}	W_{ct}	W_{cs}
0	0	0	0
25	0.3268	0.3298	0.3243
50	0.5748	0.6826	0.6322
75	0.8064	0.8656	0.8218
100	1.0575	1.1217	1.0738
125	1.3145	1.3870	1.3347
150	1.5734	1.6543	1.5988
175	1.8313	1.9193	1.8630
200	2.0844	2.1776	2.1234
225	2.3281	2.4241	2.3753
250	2.5569	2.6524	2.6133

Từ đồ thị H.7 thấy rằng chỉ tiêu ổn định vận hành theo phương nằm ngang của toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2 tăng tuyến tính khi tốc độ tăng lên và trị số nhỏ hơn 3,0 nên đạt yêu cầu với quy định.



H.7. Đồ thị chỉ tiêu ổn định vận hành của toa xe kéo theo CRH2 theo phương nằm ngang

3. KẾT LUẬN

➢ Bài báo đã nghiên cứu kết cấu giá chuyển hướng toa xe kéo theo của đoàn tàu tốc độ cao CRH2, đây là một loại kết cấu điển hình mà hiện nay các đoàn tàu tốc độ cao trên thế giới đang vận dụng. Kết cấu hộp trực kiểu tay đòn quay một khối kết hợp với lò xo tròn thẳng đứng và giảm chấn thủy lực thẳng đứng tạo ra kết cấu đơn giản, có độ cứng vững cao, sửa chữa, lắp ráp dễ dàng; Khung giá chuyển hướng sử dụng loại thép hàn, kết hợp hệ thống lò xo không khí, giảm chấn thủy lực ngang, giảm chấn chống rần bô nhằm tạo ra ổn định và an toàn khi vận hành đoàn tàu.

➢ Nghiên cứu đã nghiên cứu mô hình động lực học của toa xe kéo theo CRH2 theo phương thẳng đứng, phương nằm ngang và mặt cắt đứng; Ứng dụng phần mềm Matlab khảo sát, tính toán được các dao động, chỉ tiêu ổn định vận hành của toa xe kéo theo đoàn tàu tốc độ cao CRH2 trong dải tốc độ từ 0 đến 250km/h. Kết quả tính toán chỉ ra rằng các chỉ tiêu ổn định vận hành của toa xe kéo theo CRH2 được đảm bảo ở dải vận tốc dưới 250km/h. Kết quả nghiên cứu của bài báo có ý nghĩa về nghiên cứu và là tài liệu tham khảo hữu ích cho dự án đường sắt tốc độ cao tuyến Hà nội – Hồ Chí Minh khi lựa chọn về kết cấu giá chuyển hướng cho toa xe kéo theo trong đoàn tàu tốc độ cao.

➢ Trong các nghiên cứu tiếp theo nhóm tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu kết cấu giá chuyển hướng của toa xe động lực và kết cấu tổng thể toa xe kéo theo, toa xe động lực ở các tốc độ thiết kế 250 km/h và 350 km/h □



TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lã Ngọc Khuê (2015). Động lực học vận hành của Đầu máy toa xe. Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội.
2. Nguyễn Hữu Dũng (2006). Động lực học đầu máy Diesel. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà nội.
3. Khuất Tất Nhưỡng (2002). Đầu máy Toa xe hiện đại. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà nội.
4. Thương Diệu Tiến, Mai Văn Thắm, Đỗ Việt Dũng (2017). Thiết kế và kết cấu đoàn tàu động lực. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà nội.
5. Zhang ShuGuang (2008), Study on testing and establishment method for the load spectrum of bogie frame for high-speed trains, Science in China Series E: Technological Sciences.
6. Amtrak and High Speed Rail in America - November 9, 2010" (PDF). Amtrak. Retrieved 21 October 2012.
7. 翟碗明 (2007). 车辆-轨道耦合动力学(第三版). 北京: 科学出版社.
8. 张曙光 (2008). CRH2型动车组. 北京: 中国铁道出版社.
9. GB 5599-85 中华人民共和国国家标准. 铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范. 1985.
10. 程迪, 程海涛 (2010). CRH2 动车组动力学性能分析. 机车电传动.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường của Trường Đại học Giao thông Vận tải, mã số T2023-CK-006

RESEARCH ON STRUCTURE AND DYNAMIC CALCULATION OF THE TRAILER BOGIE OF THE CRH2 HIGH-SPEED TRAIN

Mai Van Tham, Nguyen Trung Hieu

ABSTRACT

Train structure and dynamics calculations have long been of research interest. Especially, the North-South high-speed railway project is being researched for implementation. The article studies the typical trailer bogie structure of the CRH2 high-speed train. Thereby, it has conducted research on the dynamic model of the trailer, calculated the dynamics, and evaluated the operational stability criteria of the trailer. The results are not only reference documents but also have practical significance for the North-South high-speed railway project.

Keywords: bogie, high-speed rail, vehicle dynamics

Ngày nhận bài: 16/10/2023;

Ngày gửi phản biện: 18/10/2023;

Ngày nhận phản biện: 15/11/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 18/11/2023.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.