



基于中低速磁浮提速的轨道结构动力响应分析

魏高恒

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘要: 中低速磁浮是一种安全性好、振动噪声小的轨道交通制式。目前国内中低速磁浮线路的运行速度普遍较低, 多为 100 km/h 左右。其中, 作为列车悬浮和导向直接载体的磁浮轨道是磁浮提速的关键。为了得到中低速磁浮提速后轨道的动力响应, 文章以某中低速磁浮线路为研究对象, 建立了中低速磁浮列车-轨道耦合动力学模型, 并基于模型进行了动力学仿真计算, 最终在该线路上完成了现场试验。研究表明, 动力学仿真结果和现场测试结果相近, 动力学模型能较好地模拟轨道的动力响应; 轨道结构动力作用较小, 磁浮交通非接触运行的优势明显; 轨缝垂向错位对 F 轨振动加速度有较大影响, 对 F 轨位移和动力系数影响较小; 车体振动加速度、车辆平稳性指标随着速度的增加而增大, 但均满足规范要求。

关键词: 中低速磁浮; 提速; 轨道; 动力学仿真; 现场测试; 有限元; 轨道不平顺; 轨市轨道交通

中图分类号: U237

文献标志码: A

文章编号: 1000-128X(2025)02-0056-08

0 引言

磁浮交通与轮轨交通相比最具吸引力的特点是其无接触、非黏着的运行方式, 避免了机械磨损、摩擦噪声等问题, 成为 21 世纪极具竞争力的轨道交通制式^[1-3]。采用常导电磁悬浮、短定子直线电机牵引的中低速磁浮交通是一种新型的城市轨道交通制式, 拥有安全性好、振动噪声小、爬坡能力强、曲线通过半径小、运维成本低等优点, 运行速度为 80~160 km/h^[4]。目前国内已开通运营的线路有长沙磁浮快线、北京地铁 S1 线、凤凰磁浮观光快线、清远磁浮旅游专线, 正在建设中的项目有长沙磁浮快线东延线、长沙至浏阳市域铁路、长沙至宁乡市域铁路等, 这些线路运营速度等级多为 100 km/h, 因此, 提高运营速度对中低速磁浮的推广具有重要意义。

磁浮轨道的结构在直接承受中低速磁浮列车荷载的同时, 还需将荷载传递至承轨梁或路基等下部结构, 有严格的几何形位要求^[5], 运营速度提高后的轨

道结构受载更为恶劣, 因此针对提速后的轨道结构动力作用进行研究非常必要。文献[6]以某中低速磁浮试验线 20 m 简支梁为研究对象, 分别建立考虑 F 轨和不考虑 F 轨两种系统耦合振动模型并结合现场进行试验, 结果表明考虑 F 轨的仿真结果更准确。文献[7]采用 PID 悬浮控制法建立了中低速磁浮试验车动力学模型, 并按照相干性原理构建了不平顺与车体振动的相干函数, 得到了影响车体振动的敏感波长。文献[8]针对上海临港磁浮试验线 25 m 简支梁、空簧中置式磁浮列车开展现场试验, 试验主要针对车辆、轨道和桥梁展开, 由于试验速度较低, 仅为 60 km/h, 轨道结构受到的动力作用较小。文献[9]以北京磁浮 S1 线为对象, 开展了中低速磁浮轨道-桥梁结构振动特性研究, 分别测试了扣件锚固螺栓拧紧和松动工况下的自振频率, 并进行现场实车测试, 研究了轨道的振动情况。文献[10]以某中低速磁浮 25 m 双线简支梁为研究对象, 建立了中低速磁浮-F 轨-钢轨枕-承轨梁系统动力学模型, 分析了钢轨枕间距、轨下扣件刚度等对承轨梁动力系数的影响。

本文为研究提速后轨道的动力作用, 以某中低速

基金项目: 中铁四院科研课题 (2022K018, 2022K015)

通信作者: 魏高恒, 男, 主要从事磁浮轨道结构研究、设计工作; E-mail: 274550665@qq.com

引用格式: 魏高恒. 基于中低速磁浮提速的轨道结构动力响应分析[J]. 机车电传动, 2025(2): 56-63.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.02.006.

Citation: WEI Gaoheng. Analysis of guideway dynamic response induced by accelerations in medium- and low-speed maglev systems[J]. Electric drive for locomotives, 2025(2): 56-63.DOI:10.13890/j.issn.1000-128X.2025.02.006.

磁浮线路为研究对象进行中低速磁浮列车-轨道耦合动力学仿真计算，并开展现场试验。

1 列车-轨道耦合动力学模型

1.1 轨道有限元模型

磁浮轨道以轨排为单元整体铺装而成，自上而下主要由感应板、F型钢、H型钢轨枕、扣件系统、承轨台等组成，具体如图1所示，轨道有较为严格的形位要求，需要有足够的刚度和强度来保证其优良的服役性能。在轨缝处需设置轨道接头，不同类型的轨道接头匹配不同宽度的轨缝^[11]，本文针对使用最多的Ⅰ型轨道接头和适应最宽轨缝的Ⅲ型接头进行研究，轨道接头如图2所示。

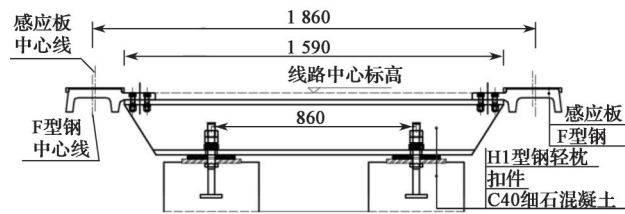


图1 轨道截面图
Fig. 1 Cross section of guideway



图2 轨道接头示意图
Fig. 2 Schematic diagram of guideway joint

首先分析每个部件的受力特点，然后根据部件的受力特点选择合适的有限元单元进行建模：F轨采用Shell63壳单元建模，Ⅰ、Ⅲ型轨道接头采用横向、垂向Combin14弹簧单元建模，H型钢轨枕采用Shell63壳单元建模，承轨台采用8节点实体单元Solid185建模^[12]，最后利用模态综合法计算轨道模态并进行联合仿真。建立的轨道动力学模型如图3所示，动力学模型材料参数如表1所示。

1.2 磁浮列车动力学模型

磁浮列车采用三车编组，编组形式为=Mc1-M-Mc2=（其中，=为全自动车钩，-为半自动车钩，Mc为带司机室的端车，M为中间车），列车全长48.31 m^[13]。

磁浮车辆由车体和5个悬浮架组成，悬浮架由侧梁、抗侧滚梁、电磁铁、空气弹簧、滑台、迫导向机构等组成，具体如图4所示。车体和悬浮架之间通过滑

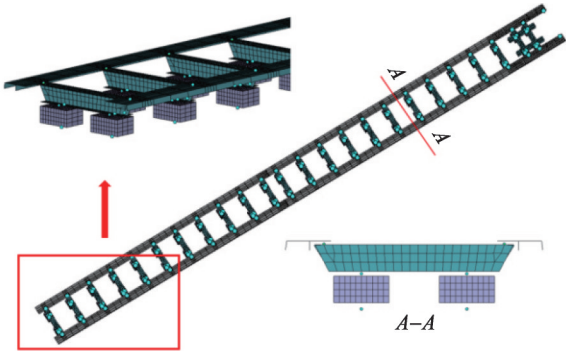


图3 轨道动力学模型
Fig. 3 Dynamic model of guideway

表1 轨道结构材料参数

Table 1 Material parameters of guideway

结构	参数	数值
F 轨	弹性模量/GPa	206
	泊松比	0.2
	密度/(kg·m ⁻³)	7 840
H 型钢枕	弹性模量/GPa	210
	泊松比	0.2
	密度/(kg·m ⁻³)	7 850
承轨台	弹性模量/GPa	32.5
	泊松比	0.2
	密度/(kg·m ⁻³)	2 440

台连接；为了车辆安全高效地通过曲线区段，其中的2位和5位滑台与车体固结，其他的滑台可沿车体横向滑动；空气弹簧和滑台连接。

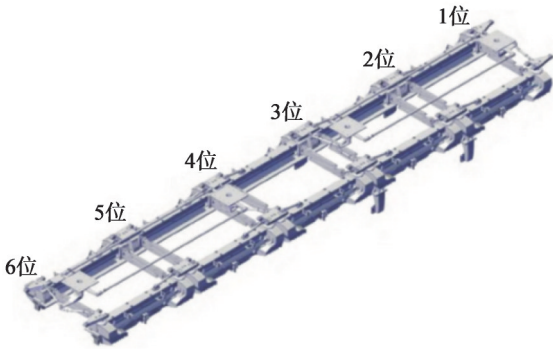


图4 磁浮车辆悬浮架
Fig. 4 Levitation bogie on maglev vehicle

采用多刚体动力学软件建立了磁浮列车动力学模型如图5所示，磁浮列车各刚体的自由度如表2所示，部分动力学参数如表3所示。

1.3 耦合动力学模型

中低速磁浮列车通过U型电磁铁吸引固定在承轨梁上的F轨实现列车悬浮，电磁悬浮力的计算公式为^[12]

$$F=k\left(\frac{I}{S}\right)^2$$

(1)

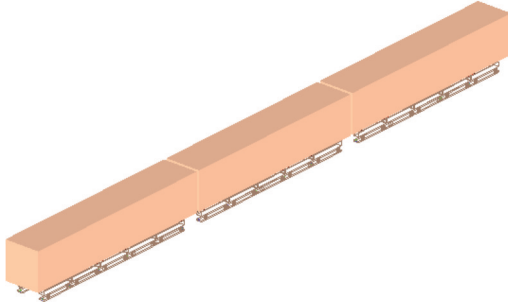


图 5 磁浮列车动力学模型
Fig. 5 Dynamic model of maglev train

表 2 磁浮列车自由度

Table 2 Degrees of freedom for maglev trains

刚体	自由度						备注
	伸缩	横摆	沉浮	侧滚	点头	摇头	
车体	x_{ci}	y_{ci}	z_{ci}	ϕ_{ci}	φ_{ci}	ψ_{ci}	$i=3$
左侧梁	x_{FLi}	y_{FLi}	z_{FLi}	ϕ_{FLi}	φ_{FLi}	ψ_{FLi}	$i=1\sim18$
右侧梁	x_{FRi}	y_{FRi}	z_{FRi}	ϕ_{FRi}	φ_{FRi}	ψ_{FRi}	$i=1\sim18$
移动滑台	—	y_{sdi}	—	—	—	—	$i=1\sim24$
抗侧滚梁片梁	—	—	—	—	—	ψ_{ARBi}	$i=1\sim60$
抗侧滚梁吊杆	—	—	—	ϕ_{PDLi}	—	—	$i=1\sim60$

表 3 磁浮列车动力学参数

Table 3 Dynamic parameters of maglev trains

参数名称	参数值
车辆长度(M/Mc)/m	15.000/15.718
相邻悬浮架中心距/mm	2 800
邻车悬浮架中心距/mm	4 400
车辆质量(AW0/AW2/AW3)/t	25/32/35
悬浮架质量/kg	337.6
悬浮电磁铁质量/kg	470

式中： I 为电磁铁电流； S 为悬浮间隙； k 为电磁铁常数。

根据 Kirchhoff 定律，悬浮电磁铁电压方程表示为

$$\frac{d(LI)}{dt} = -RI + U \quad (2)$$

式中： R 为电阻； U 为电压； L 为随悬浮间隙 S 和悬浮电磁铁常数 k 变化而变化的电感， L 可表示为式(3)所示。

$$L = \frac{2k}{S} \quad (3)$$

将式(3)代入式(2)，可得

$$LI = -RI + \frac{LI}{S} \dot{S} + U \quad (4)$$

悬浮电磁铁处于额定状态时， F_0 为额定悬浮力， S_0 为额定悬浮间隙，其他额定值分别为：

$$I_0 = S_0 \sqrt{F_0/k} \quad (5)$$

$$U_0 = RI_0 \quad (6)$$

$$L_0 = \frac{2k}{S_0} \quad (7)$$

电压控制方程为

$$U = U_0 + U_S \Delta S + U_v \dot{S} + U_{is} \int_0^t \Delta S dt - U_a \ddot{Z} \quad (8)$$

式中： $\Delta S = S - S_0$ ； $\ddot{Z}$ 为悬浮电磁铁垂向加速度； U_S 、 U_v 、 U_{is} 、 U_a 分别为悬浮间隙、悬浮电磁铁速度、电流以及悬浮电磁铁加速度的反馈系数。

综上，考虑控制的悬浮电磁铁电路动力学方程为

$$LI = -RI + U_S \Delta S + (U_v + LI/S) \dot{S} + U_{is} \int_0^t \Delta S dt - U_a \ddot{Z} \quad (9)$$

动力学软件内置悬浮控制模块，可根据车辆、轨道参数调整状态反馈系数以确保车辆稳定悬浮。磁浮列车和轨道通过悬浮力相互作用构成了磁浮列车-轨道耦合动力学模型，具体如图6所示。

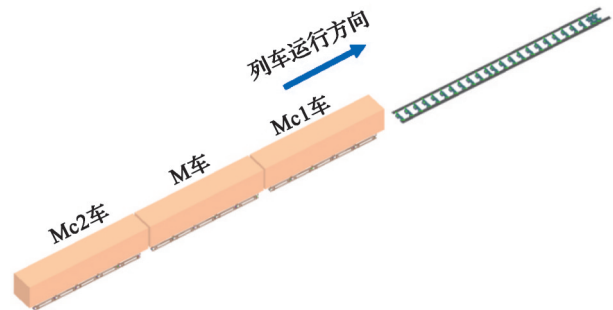


图 6 磁浮列车-轨道耦合动力学模型

Fig. 6 Coupling dynamic model of maglev train-guideway

2 动力学仿真计算

为了研究磁浮列车对轨道的影响，本章将计算磁浮列车在 100 km/h、110 km/h、120 km/h、130 km/h、140 km/h、150 km/h、154 km/h 共 7 种速度工况，空载 (AW0)、定员 (AW2)、超载 (AW3) 3 种载荷工况下的磁浮列车-轨道耦合系统的动力学响应。

轨道不平顺是耦合振动系统的主要外部激励，但目前中低速磁浮仅有两条运营线路，无法通过大量实测数据来进行统计以获得可靠的轨道不平顺功率谱。本文采用文献[14]中推荐的轨道谱，其功率谱密度函数为

$$S(\Omega) = \frac{A_r}{\Omega^n} \quad \text{m}^2 \cdot \frac{\text{m}}{\text{rad}}$$

式中： Ω 为空间波数； n 为频率特征参数； A_r 为表面粗糙度系数。

反演得到的轨道不平顺样本如图7所示，其中高低不平顺幅值在 ± 4 mm内波动，波长范围取 0.50~50 m。

2.1 轨道动力响应

轨道中部F轨外侧磁极面、钢轨枕和承轨台的垂向振动加速度响应幅值随车速的变化曲线如图8所示。从图8可以看出，轨道各部位的垂向振动加速度幅值随着车辆荷载增大而增大、随着速度增大而增大，其中F

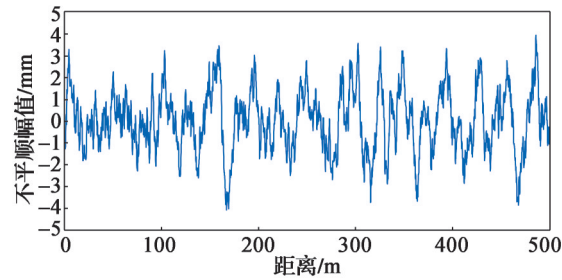


图7 中低速磁浮轨道不平顺空间样本
Fig. 7 Spatial samples of guideway irregularity in MLSM

轨、钢轨枕和承轨台的垂向振动加速度最大值分别为 8.74 m/s^2 、 2.35 m/s^2 和 0.48 m/s^2 ，远小于《高速铁路工程动态验收技术规范》(TB 10761—2024)中钢轨振动加速度 $5\,000\text{ m/s}^2$ 、轨枕振动加速度 500 m/s^2 的规定值，由此可见磁浮列车非接触运行对轨道结构动力作用小。

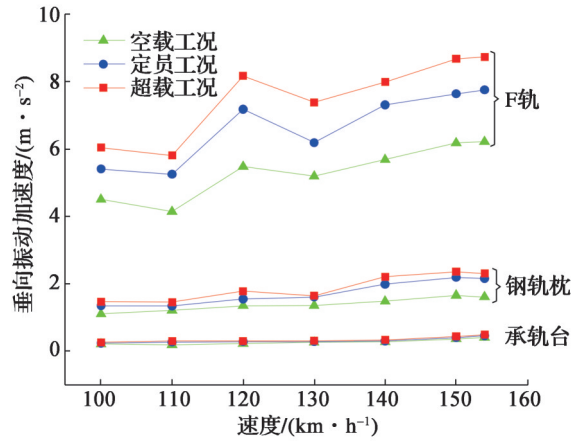


图8 轨道垂向振动加速度幅值
Fig. 8 Amplitude of vertical vibration accelerations of guideway

2.2 轨道接头动力响应

列车静停在轨道结构上时，Ⅰ型、Ⅲ型轨道接头轨缝处F轨的垂向位移分别为 0.26 mm 、 0.28 mm ，定义磁浮列车通过时的动位移和静位移的比值为动力系数，轨缝处F轨动力系数如图9所示。从图9可以看出，F轨动力系数随着车速的增大而增大，最大值分别为1.51、1.68。

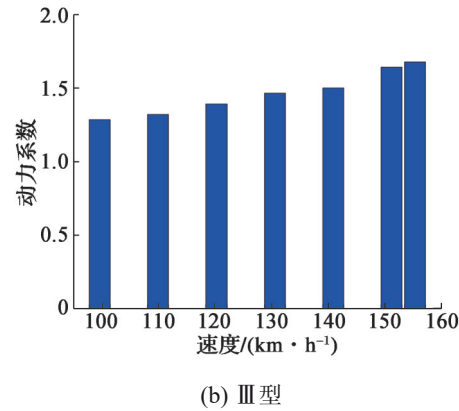
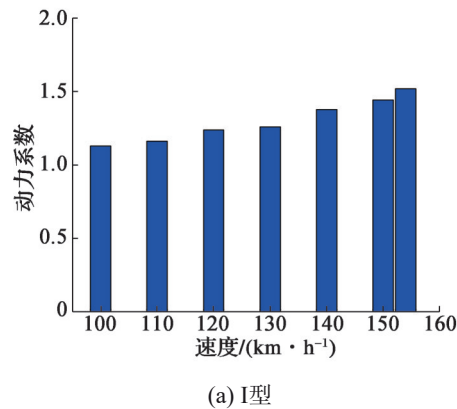


图9 轨道接头轨缝处F轨动力系数
Fig. 9 Dynamic coefficient of F-shaped rail at guideway joint

列车以 100 km/h 速度通过Ⅲ型轨道接头轨缝处F轨的垂向振动加速度时程曲线如图10所示。从图10可以看出，加速度最大值为 18.2 m/s^2 。

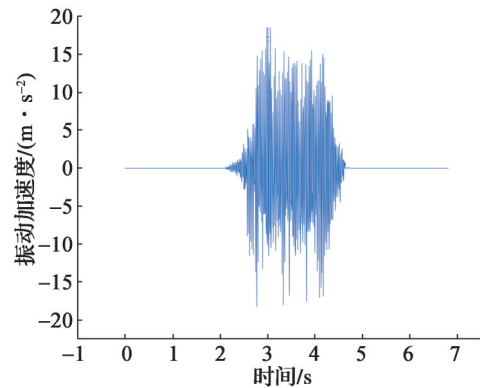


图10 轨道振动加速度时程图
Fig. 10 Time history diagram of vibration accelerations of guideway

轨道接头轨缝处F轨垂向振动加速度响应幅值随车速的变化曲线如图11所示。从图11可以看出，F轨垂向振动加速度随着车速的增大而增大，Ⅰ型、Ⅲ型接头处最大值分别为 14.15 m/s^2 、 28.23 m/s^2 ，分别约是轨道中部F轨的2倍、4倍。

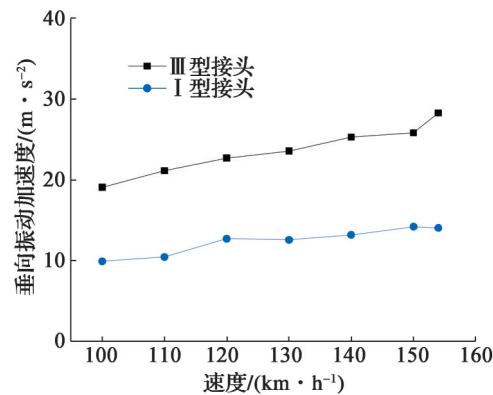


图11 轨道接头轨缝处F轨垂向振动加速度
Fig. 11 Vertical vibration accelerations of F-shaped rail at guideway joint

2.3 轨缝垂向错位对动力响应的影响

由于轨道制造、现场安装以及长时间运用所产生的偏差,相邻F轨轨缝处会产生垂向错位,根据《磁浮铁路技术标准(试行)》(TB 10630—2019)的规定,前后相邻轨道之间的垂向轨缝错位容许偏差为 $\pm 1\text{ mm}$ 。考虑Ⅲ型轨道接头轨缝错位为 1 mm ,将Ⅲ型轨道接头处轨缝垂向错位叠加到轨道不平顺中实现对轨缝错位的模拟,如图12所示。

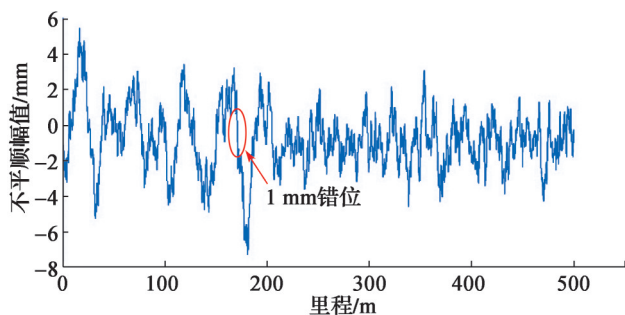


图 12 考虑轨缝错位的高低不平顺幅值

Fig. 12 Vertical irregularity contributed by misalignment at guideway joint

列车静停在轨道结构上时,Ⅲ型轨道接头轨缝处F轨的垂向位移为 0.28 mm ,F轨的动力系数变化曲线如图13所示。从图13可以看出,考虑 1 mm 轨缝错位和不考虑轨缝错位的Ⅲ型轨道接头轨缝处F轨垂向位移、动力系数几乎没有变化;Ⅲ型轨道接头轨缝处F轨垂向振动加速度响应幅值随着车速的变化曲线如图14所示,从图14可知,考虑 1 mm 轨缝错位的Ⅲ型轨道接头轨缝处F轨垂向振动加速度响应幅值比不考虑轨缝错位的幅值平均增大 32% ,最大值为 38.70 m/s^2 。

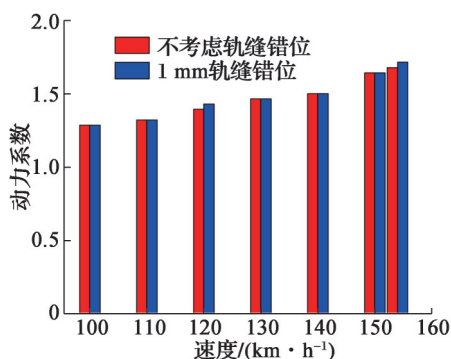


图 13 Ⅲ型轨道接头轨缝处F轨动力系数

Fig. 13 Dynamic coefficient of F-shaped rail at type-III guideway joint

2.4 车辆动力响应

定员工况下车体垂向、横向振动加速度幅值如图15所示。从图15可看出,车体振动加速度幅值随着速度的增大而增大,最大值分别为 0.73 m/s^2 、 0.42 m/s^2 ,根据《中低速磁浮交通设计规范》(Q/CRCC 32803—

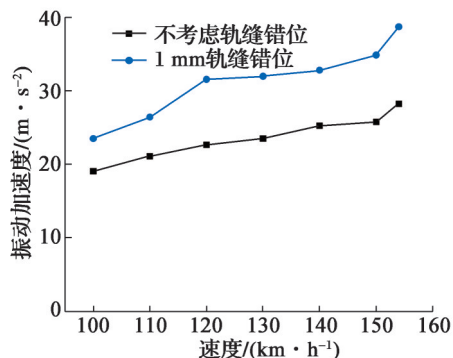


图 14 Ⅲ型轨道接头轨缝处F轨垂向振动加速度

Fig. 14 Vertical vibration accelerations of F-shaped rail at type-III guideway joint

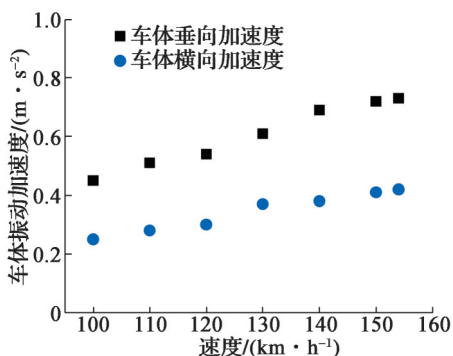


图 15 车体振动加速度幅值

Fig. 15 Amplitude of vibration accelerations of carbody

2019) 8.3.6规定,车体垂向振动加速度 $a_z \leq 0.13g$ (半峰值),车体横向振动加速度 $a_y \leq 0.1g$ (半峰值)。

定员工况下根据《机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范》(GB/T 5599—2019)计算得到的车辆垂向、横向平稳性指标如图16所示。从图16可以看出,车辆平稳性指标随着速度的增大而增大,但均满足规范要求,由于仿真计算线路直线横向动力响应较小,所以车辆横向平稳性指标评价均为优。

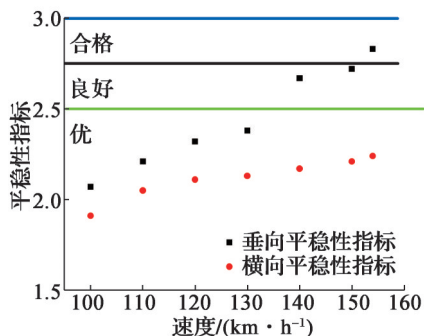


图 16 车辆平稳性指标

Fig. 16 Sperling index of vehicle

3 现场测试

为了获得中低速磁浮列车提速后轨道结构、车辆的动力响应,开展了中低速磁浮提速现场测试。测点布置如图17所示,选择了适应最宽轨缝的Ⅲ型轨道接

头和轨道中部作为测试截面。根据《机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范》(GB/T 5599—2019)规定,选择第1位和第5位悬浮架的中心在车辆地板上的投影位置左右1 m处布置车体振动加速度测点,分别进行了磁浮列车空载、定员和超载工况 100~150 km/h 速度下的现场试验,每种工况至少测试3次,剔除偏差过大的数据后取平均值作为测试结果。

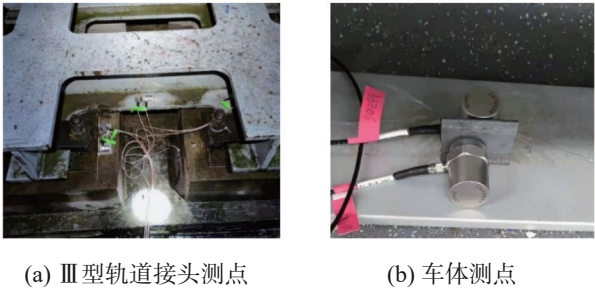


图 17 现场试验测点布置
Fig. 17 Layout of measuring points in field experiments

3.1 轨道动力响应

轨道中部测试截面的振动加速度幅值随速度的变化曲线图 18 所示。从图 18 可知,钢轨枕振动加速度幅值随着速度增大而增大,其中垂向、横向最大值分别

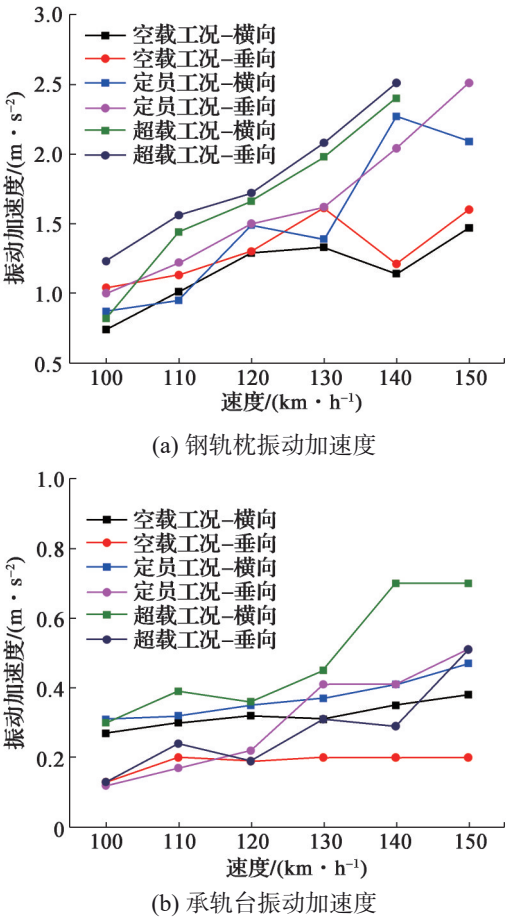


图 18 轨道中部测试截面振动加速度
Fig. 18 Vibration accelerations of the experimental section in the middle of the guideway

为 2.51 m/s²、2.40 m/s²; 承轨台振动加速度随着速度增大而增大,随着列车荷载增大而增大,其中垂向、横向加速度最大值分别为 0.51 m/s²、0.70 m/s²。

磁浮列车定员工况下钢轨枕垂向加速度响应幅值的仿真计算结果和现场测试结果的对比如图 19 所示。从图 19 可以看出,仿真计算结果和现场测试结果较为吻合,因此认为动力学模型可以较好地模拟轨道的动力作用。

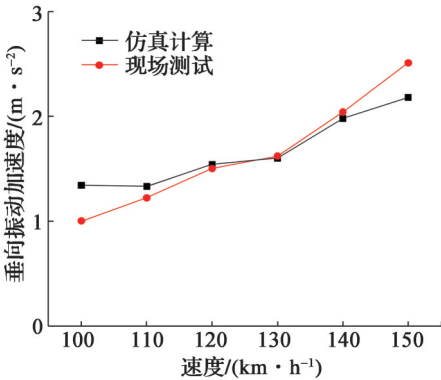


图 19 钢轨枕加速度响应仿真计算和现场测试对比
Fig. 19 Comparison between simulation calculations and field experimental data on steel sleeper response to accelerations

3.2 车辆动力响应

车体振动加速度幅值随速度的变化曲线如图 20 所示。从图 20 可以看出,车体振动加速度幅值随着速度

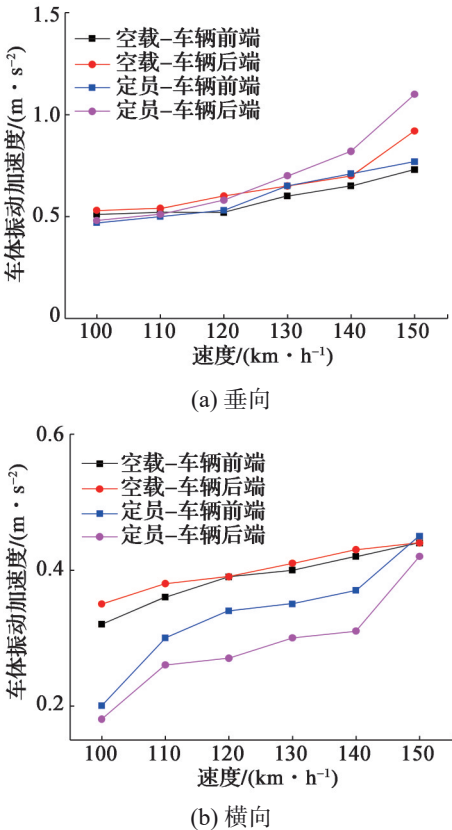
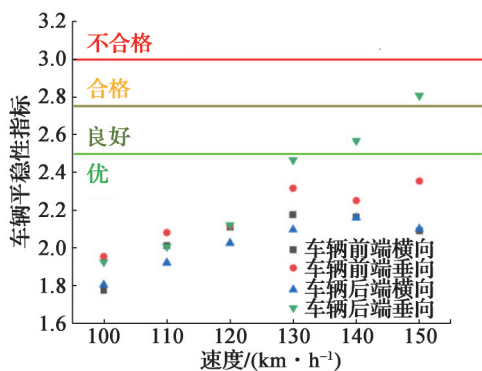


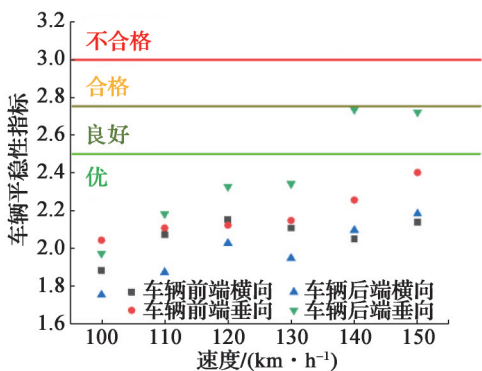
图 20 车体振动加速度幅值
Fig. 20 Amplitude of vibration accelerations of carbody

的增大而增大,且车辆后端的振动加速度幅值大于前端,其中的垂向、横向车体振动加速度幅值最大值为 1.10 m/s^2 、 0.45 m/s^2 ,满足《中低速磁浮交通设计规范》要求。

根据《机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范》(GB/T 5599—2019)计算的横向、垂向平稳性指标如图21所示。从图21可以看出,平稳性指标随着速度的增大而增大,且均满足规范要求。



(a) 空载工况



(b) 定员工况

图 21 车辆平稳性指标

Fig. 21 Sperling index of vehicle

4 结论

针对中低速磁浮提速进行了动力学仿真计算和现场测试,主要结论如下:

①建立的磁浮列车-轨道动力学模型可以较好地模拟轨道的动力作用。

②根据仿真计算得到,F轨在轨道中部、I型接头轨缝处、Ⅲ型接头轨缝处的垂向振动加速度最大值分别为 8.74 m/s^2 、 14.15 m/s^2 和 28.23 m/s^2 ,钢轨枕、承轨台的垂向振动加速度最大值分别为 2.35 m/s^2 、 0.48 m/s^2 ,说明磁浮交通非接触运行的优势明显。

③I型轨道接头轨缝处F轨的垂向静位移为 0.26 mm ,最大动位移为 0.39 mm ,动力系数最大值为 1.51 ;Ⅲ型轨道接头轨缝处F轨的垂向静位移为 0.28 mm ,最大动位移为 0.47 mm ,动力系数最大值为 1.68 。

④考虑Ⅲ型接头 1 mm 轨缝垂向错位的F轨垂向振动加速度响应幅值比不考虑轨缝错位的幅值平均增大 32% ,最大值为 38.70 m/s^2 ,F轨垂向位移及F轨动力系数几乎无变化。

⑤车体振动加速度、车辆平稳性指标随着速度增加而增大,且满足《中低速磁浮交通设计规范》(Q/CRCC 32803—2019)、《机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范》(GB/T 5599—2019)要求。

参考文献:

- [1] 翟婉明,赵春发.现代轨道交通工程科技前沿与挑战[J].西南交通大学学报,2016,51(2):209-226.
ZHAI Wanming, ZHAO Chunfa. Frontiers and challenges of sciences and technologies in modern railway engineering [J]. Journal of southwest jiaotong university, 2016, 51(2): 209-226.
- [2] 徐飞,罗世辉,邓自刚.磁悬浮轨道交通关键技术及全速度域应用研究[J].铁道学报,2019,41(3):40-49.
XU Fei, LUO Shihui, DENG Zigang. Study on key technologies and whole speed range application of maglev rail transport[J]. Journal of the China railway society, 2019, 41(3): 40-49.
- [3] LEE H W, KIM K C, LEE Ju. Review of maglev train technologies[J]. IEEE transactions on magnetics, 2006, 42(7): 1917-1925.
- [4] 马卫华,罗世辉,张敏,等.中低速磁浮车辆研究综述[J].交通运输工程学报,2021,21(1):199-216.
MA Weihua, LUO Shihui, ZHANG Min, et al. Research review on medium and low speed maglev vehicle[J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2021, 21(1): 199-216.
- [5] 李伟强,冯洋,赵春发.桥梁竖向变形引起的中低速磁浮轨道不平顺分析[J].铁道标准设计,2021,65(6):77-82.
LI Weiqiang, FENG Yang, ZHAO Chunfa. Analysis on track irregularities of medium-low speed maglev transit induced by bridge deformation[J]. Railway standard design, 2021, 65(6): 77-82.
- [6] 李小珍,王党雄,耿杰,等.F轨对中低速磁浮列车-桥梁系统竖向耦合振动的影响研究[J].土木工程学报,2017,50(4):97-106.
LI Xiaozhen, WANG Dangxiong, GENG Jie, et al. Study on the influence of F-rail in vertical coupling vibration of low-medium speed maglev train-bridge system[J]. China civil engineering journal, 2017, 50(4): 97-106.
- [7] 王波,罗世辉,孙琦,等.EMS型磁浮列车车体响应与轨道不平顺的相干性分析[J].机车电传动,2020(2):113-117.
WANG Bo, LUO Shihui, SUN Qi, et al. Coherence analysis between vehicle vibration response of EMS maglev vehicles and track irregularities[J]. Electric drive for locomotives, 2020(2): 113-117.
- [8] LI Miao, LUO Shihui, MA Weihua, et al. Experimental

study on dynamic performance of medium and low speed maglev train-track-bridge system[J]. International journal of rail transportation, 2020, 9(3): 232-255.

[9] 孙琳. 中低速磁浮列车运行引起的轨排-桥梁结构振动响应分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.

SUN Lin. Vibration response analysis of guideway-bridge structure caused by operation of medium-low speed maglev train[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.

[10] 王亚朋, 蔺鹏臻. 中低速磁悬浮双线简支轨道梁的冲击效应研究[J]. 铁道学报, 2021, 43(4): 77-84.

WANG Yapeng, LIN Pengzhen. Study on impact effect of double-track simply supported track beams for medium and low speed maglev[J]. Journal of the China railway society, 2021, 43(4): 77-84.

[11] 全顺喜. 中低速磁浮轨道伸缩接头的布置及结构设计[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(8): 62-66.

QUAN Shunxi. Arrangement and design of expansion rail joints in medium-low-speed maglev transit[J]. Journal of railway engineering society, 2017, 34(8): 62-66.

[12] 魏高恒. 新型中低速磁浮列车-轨排-桥梁动力作用研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.

WEI Gaoheng. Research on the dynamic of new type medium-low speed maglev train-transport rail-beam[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2020.

[13] 佟来生. 长沙磁浮快线列车概述[J]. 电力机车与城轨车辆, 2020, 43(4): 1-5.

TONG Laisheng. Summary of Changsha maglev express train[J]. Electric locomotives & mass transit vehicles, 2020, 43(4): 1-5.

[14] WANG Dangxiong, LI Xiaozhen, WANG Yuwen, et al. Dynamic interaction of the low-to-medium speed maglev train and bridges with different deflection ratios: experimental and numerical analyses[J]. Advances in structural engineering, 2020, 23(11): 2399-2413.

Analysis of guideway dynamic response induced by accelerations
in medium- and low-speed maglev systems

WEI Gaoheng

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: Medium- and low-speed maglev (MLSM) systems are recognized as a type of rail transit featuring excellent safety and low noise levels. Currently, operational MLSM systems in China predominantly operate at low speeds, typically around 100 km/h. As the direct bearing structure for levitation and guidance, maglev guideways are crucial for maglev accelerations. This paper presents a study on the coupling dynamic model of the MLSM train-guideway, taking a particular MLSM line as the research object. Dynamic simulations were performed based on the model. Furthermore, field experiments were conducted on the selected line. The close agreement observed when comparing simulation and experimental results indicates that the established dynamic model can effectively simulate the dynamic response of the guideways. These results reveal minimal dynamic actions from the guideways, highlighting maglev’s inherent advantage of non-contact operation. Additionally, vertical misalignment in rail joints exerts a greater impact on the vibration acceleration of the F-shaped rails, with little influence on their displacement and dynamic coefficients. Both carbody vibration acceleration and the Sperling index increase with speed, yet remain within the limits specified in relevant specifications.

Keywords: medium- and low-speed maglev (MLSM); acceleration; guideway; dynamic simulation; field experiment; finite element; track irregularity; urban rail transit