

文章编号: 1674—8247(2024)01—0001—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.01.001

成渝中线高速铁路时速 400 km 关键技术创新研究

谢 毅 黄艳磊 邱钰峻

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:成渝中线高速铁路建成后将成为我国建设标准最高、运行速度最快的高速铁路。为贯彻国家创新驱动发展战略,结合中国国家铁路集团有限公司 CR450 科技创新工程,依托成渝中线高速铁路的建设,开展我国时速 400 km 高速铁路关键技术创新研究和更高速度标准的综合试验验证,系统优化完善我国既有时速 250 ~ 350 km 高速铁路基础理论及规范标准,全面构建时速 400 km 全生命周期技术标准体系。研究成果不仅可助推我国高速铁路装备升级和高速铁路成套建造技术创新发展,还能指导我国的既有高速铁路网进一步提速,促进区域社会经济高质量发展。

关键词:成渝中线高速铁路; 时速 400 km; 关键技术

中图分类号: U212.32 **文献标志码:** A

Research on Innovation of Key Technologies of 400 km/h Middle Line of Chengdu-Chongqing High-speed Railway

XIE Yi HUANG Yanlei QIU Yujun

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Upon the completion of Middle Line of Chengdu-Chongqing High-speed Railway, it will be the fastest high-speed railway with the highest construction standard in China. By relying on the construction of Middle Line of Chengdu-Chongqing High-speed Railway, and combined with the CR450 Science and Technology Innovation Project of China State Railway Group Co., Ltd., research on the key innovative technologies of China's 400 km/h high-speed railway and the comprehensive test and verification of higher speed standards are carried out, in a bid to implement the national innovation-driven development strategy. Through the key technology innovation research and comprehensive test verification, the basic theory and specification standards of existing 250 ~ 350 km/h high-speed railway was systematically optimized, and a full life cycle technical standard system of 400 km/h high-speed railway was built. The research results can promote the upgrading of high-speed railway equipment and the innovative development of complete set of high-speed railway construction technology in China, and guide the further acceleration of China's existing high-speed railway network, in addition to boosting the high-quality regional socio-economic development.

Key words: Middle Line of Chengdu-Chongqing High-speed Railway; 400 km/h; key technology

高速铁路的发展是衡量国家工业发展水平和科技创新能力的重要指标。在世界范围内,当前日本正

在开展新一代新干线列车“ALFA-X”测试,拟按时速 360 km 运营;英国拟建高速铁路运营时速 402.3 km;

收稿日期:2023-11-03

作者简介:谢毅(1975-),男,教授级高级工程师。

引文格式:谢毅,黄艳磊,邱钰峻. 成渝中线高速铁路时速 400 km 关键技术创新研究[J]. 高速铁路技术,2024,15(1):1-6.

XIE Yi, HUANG Yanlei, QIU Yujun. Research on Innovation of Key Technologies of 400 km/h Middle Line of Chengdu-Chongqing High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(1):1-6.

《欧洲铁路技术发展战略》提出,2035年前将运营速度提升至时速360 km。世界各国纷纷投入研究,竞相抢占更高速度高速铁路技术的战略制高点。2021年1月19日,总书记考察京张高速铁路时指出“我国自主创新的一个成功范例就是高速铁路,从无到有,从引进、消化、吸收再创新到自主创新,现在已经领跑世界。要总结经验,继续努力,争取在“十四五”期间取得更大的发展”。中共中央制定的“十四五”规划和《二〇三五年远景目标建议》也明确提出“深入实施创新驱动发展战略,完善国家创新体系,加快建设科技强国”。在此背景下,中国开展研究更高设计速度的高速铁路,并率先实现更高标准高速铁路的成功运营是十分必要和迫切的。

1 项目概况

成渝中线高速铁路是成渝地区双城经济圈的标志性工程。线路起自重庆枢纽重庆北站,经重庆科学城、铜梁、大足、安岳、乐至、成都东部新城,终至成都枢纽成都站,线路全长约291.3 km,共设置8座车站。项目设计时速为350 km(其中大足至简州段建设综合试验段),建设总工期5年。项目已于2022年11月底开工建设。成渝中线高速铁路建成后,将成为我国建设标准最高、运行速度最快的高速铁路。

2 创新目标

国铁科法〔2021〕45号《“十四五”铁路科技创新规划》^[1]中明确提出:在技术装备领域重点工程要实施CR450科技创新工程、建立时速400 km高速铁路技术标准体系;在工程建造领域重点工程要依托沪渝蓉沿江高速铁路等工程项目开展CR450科技创新工程基础设施工程化技术验证。为巩固我国铁路技术世界领先优势,中国国家铁路集团有限公司正依托成渝中线高速铁路实施CR450科技创新工程,并计划在成渝中线高速铁路上系统开展更高速度相关试验验证,以期最终实现我国时速400 km高速铁路的运营新速度。

围绕国家规划要求及中国国家铁路集团有限公司成渝中线高速铁路实施CR450科技创新工程的任务要求,确定成渝中线高速铁路时速400 km关键技术创新目标为:一是深化我国既有高速铁路理论与实践成果转化,优化完善技术体系,形成自主完备的时速250~350 km高速铁路设计建造和既有铁路向更高速度提速改造技术标准体系;二是开展400 km/h+更高速度技术攻关及试验验证,构建世界领先的时

速400 km高速铁路全生命周期基础理论及规范标准体系。

3 技术难点及主要研究内容

国内外学者近年来对时速400 km移动装备和基础设施进行了全面研究,成果涵盖土建工程^[2-5]、站后系统^[6-7]、轮轨关系^[8-10]、振动噪声^[11-12]等方面。目前研究成果虽然可为成渝中线高速铁路的设计建造提供较为丰富的理论技术支撑,但尚有技术难点亟需攻克,未形成完整的技术体系,需要进一步对成渝中线高速铁路时速400 km关键技术进行系统性研究。

3.1 需攻克的技术难点

我国目前高速铁路的最高运营速度为350 km/h,为世界第一。若要成功实现时速400 km商业运营,首先需要解决基础理论、高速列车、标准体系三方面难题。基础理论方面,虽然时速400 km高速铁路的轮轨关系、弓网关系、气动效应、减振降噪等具备较多的科研及试验成果,但尚未经过系统试验验证;高速列车方面,对比CR400在时速350 km运营条件下的能耗指标和制动性能,时速400 km运营条件下节能、环保、制动性能相当或指标参数增加不多的动车组尚未下线;规范标准方面,在世界范围内暂无时速400 km+高速铁路商业运营经验,勘察设计、施工、验收、运营等标准体系尚未完全建立。

3.2 主要研究内容

基于成渝中线高速铁路时速400 km关键技术创新目标,从移动装备、基础设施两个方面开展成渝中线高速铁路时速400 km关键技术创新研究,分别由《国家重点研发计划:时速400 km高速列车工程化技术研究与CR450高速动车组研制》《国家重点研发计划:时速400 km高速铁路线路基础设施关键技术研究》课题组开展相关研究及试验验证。

(1) 移动装备

对时速400 km高速列车动车组总体技术条件、技术方案及标准体系进行研究,从核心控制系统、转向架系统、车体系统三方面开展时速400 km移动装备关键技术创新研究,以实现高可靠性、高安全核心控制系统,高临界速度、高运行安全性转向架,轻量化、低阻力、低振动、低噪声等多目标优化车体系统的设计与研制,并依托成渝中线开展工程化验证和运用考核。移动装备主要研究要点如图1所示。

(2) 基础设施

列车时速由350 km提高至400 km后,线路基础设施动力学响应显著增大,面临轮轨动力作用加剧、

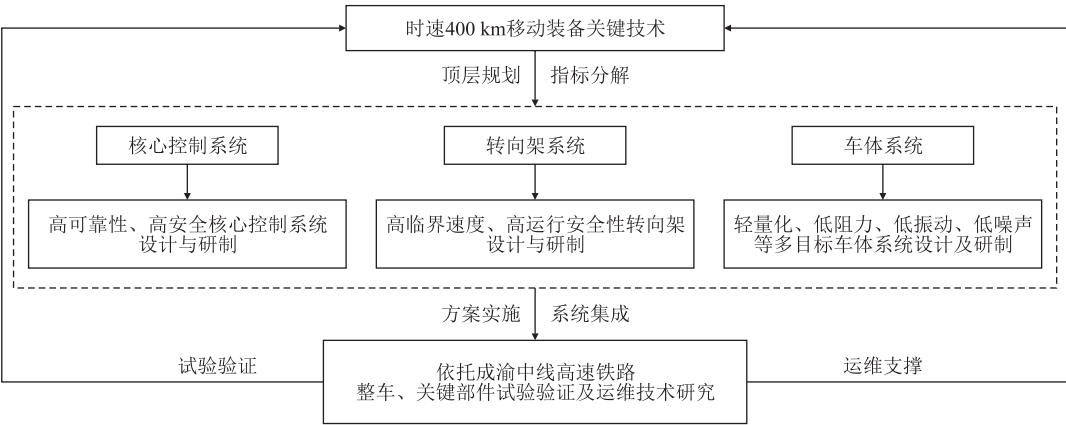


图 1 移动装备主要研究要点图

基础变形影响敏感、振动噪声增加、空气动力学效应增强等方面的技术挑战。因此,从轮轨关系、路桥结构、气动效应、振动噪声四方面开展时速 400 km 基础设施关键技术创新研究,并依托成渝中线高速铁

路进行试验验证,研究成果为新建时速 400 km 高速铁路、时速 250 ~ 350 km 既有铁路提速改造提供技术支撑和理论指导。基础设施主要研究要点如图 2 所示。

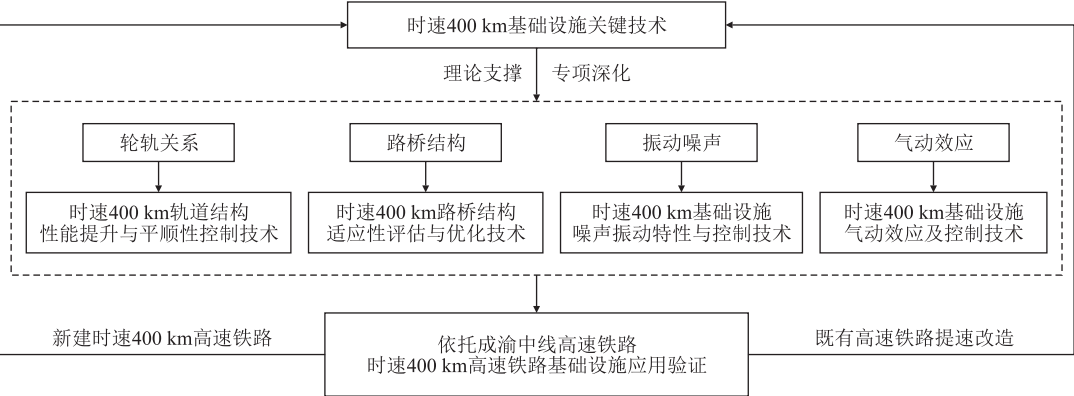


图 2 基础设施主要研究要点图

4 工程方案设置与综合试验部署

4.1 工程方案设置

结合最新科研课题的研究成果,为系统验证目前时速 400 km 高速铁路相关理论研究成果,并满足开通后能够以时速 400 km 运营的需求,同时为确保高质量建设,成渝中线高速铁路较常规时速 350 km 高速铁路的设计在以下方面存在差异。

(1) 线路

一方面是平纵断面技术参数限值不同。平面最小曲线半径、竖曲线半径、缓和曲线长度、夹直线长度等限值较时速 350 km 标准略有增加。如成渝中线高速铁路平面最小曲线半径一般为 8 500 m、困难为 7 500 m;夹直(圆)线最小长度一般为 320 m,困难为 240 m。另一方面是针对时速 400 km 高速铁路运营

对质量的高要求,为规避既有时速 350 km 高速铁路在运营中常见的病害情况,选线设计过程中有针对性地提高桥梁占比,尽量“以桥代路”,尽可能减少过渡段、高陡边坡、深挖方、短隧道、短路基等工点的处数,对选线难以规避的特殊工点,从专业设计上采取加强措施,有针对性地进行工程处理。

(2) 轨道

为提升结构耐久性,成渝中线高速铁路 CRTS 双块式无砟轨道道床板与底座间设置 2 mm 厚 EPDM 隔离层, CRTS Ⅲ型板式无砟轨道自密实混凝土与底座间设置 2 mm 厚 EPDM 隔离层。为降低无砟轨道周期性不平顺,在大足至简州段采取控制轨道板初始翘曲量、优化自密实混凝土灌注扣压装置、优化轨道板精调、控制钢轨廓形偏差、提高钢轨接头平直度、增加 20 m 和 60 m 弦控制不平顺等工程技术措施。在安

岳至乐至段铺设优化型 WJ-8B 扣件;在安乐站 1 号、3 号、5 号、7 号岔位铺设优化型 18 号道岔。在蜀安隧道内(长 280 m)铺设减振型 CRTS III 型板式无砟轨道、在永爱村 1 号大桥(长 469 m)铺设减振型 CRTS III 型板式无砟轨道、在邓家嘴双线大桥(长 240 m)铺设减振型 CRTS 双块式无砟轨道。

(3) 路基

因桥台台背影响,传统过渡段临近台背无法使用大型机械碾压,施工质量难以控制,在成渝中线高速铁路 155 处桥路填方连接处采用桩板-倒梯形组合过渡结构,180 处桥路挖方连接处采用倒梯形过渡结构,基坑采用混凝土回填,有效解决因差异沉降造成的平顺性问题。选取安岳站和安岳-乐至区间 2 段共 3.1 km 的路基,基床表层采用全断面沥青混凝土封闭结构,具体结构形式为 0.1 m 沥青混凝土 + 0.3 m 级配碎石,开展路基基床结构性能和防水优化示范应用。随着列车运行速度的提高,列车荷载引起路基线下基础设施及环境振动增大,基础设施自身缺少有效的减隔振措施,在正线 DK 160 + 480 ~ DK 160 + 563 线路一侧路堤段设置隔振排桩试验工点,研究时速 400 km 高速铁路排桩减隔振技术,评价减隔振效果。结合川渝地区红层软岩一般具有膨胀性、局部为弱膨胀岩的特点和既有工程路基基底上拱案例,对中心挖高 15 ~ 30 m 且边坡挖高大于 35 m,或中心挖高大于 30 m 地段采取桩板结构加固,对边坡高度大于 20 m 路堑地段(已设置桩板结构的除外)轨道预留上拱变形量,为运营期可能发生的基底上拱提前准备预防整治措施。

(4) 桥梁

全线推广采用预制装配式桥面系,有效提高建造速度、保证施工质量。在成渝中线高速铁路安岳东梁场(DK 102 ~ DK 131)供应范围采用 40 m 跨度、2.8 m 高 32 m 跨度的简支箱梁,开展在时速 400 km 条件下的简支箱梁工点的示范应用及验证。针对列车速度增加而引起铁路桥梁对周围环境的振动危害加剧问题,在成渝中线高速铁路龙泉高架特大桥和部分振动敏感区桥梁,开展竖向隔振支座的研究应用。在大足石刻至简州试验段内,桥面处风速超过 12.5 m/s 且发生的概率大于 10% 时,设置长度约 20 km 的风屏障。

(5) 隧道

为建立时速 400 km 高速铁路隧道洞口设计和改造技术体系,选择石桥沟隧道、何家坝隧道、伍家湾隧道、文昌村隧道、高峰村隧道、许家坡隧道 6 座隧道,

开展不同隧道洞口缓冲结构气动效应综合缓解技术研究;选择棕树坡隧道(120 m²)、荣家湾隧道(110 m²)、何家坝隧道(100 m²) 3 座隧道开展不同隧道净空面积条件下隧道气动效应研究。

(6) 声屏障

时速 400 km 运行速度下,既有声屏障存在降噪效果下降、气动荷载超出设计值等问题,成渝中线高速铁路对声屏障的降噪性能进行优化提升研究。选择 DK 68 和 DK 149 附近 2 处桥梁,开展 2.3 m 高和 3.3 m 高优化 I 型声屏障工点示范应用;选择 DK 224 和 DK 238 附近 2 处桥梁,开展 3.3 m 高和 2.3 m 高减载式声屏障工点示范应用;选择 DK 67 处 1 处桥梁,开展既有声屏障加装顶端降噪结构工点示范应用。

(7) 牵引供电方式

CR450 动车组较时速 350 km 动车组功率增大约 30%,对牵引供电能力提出了更高的要求。计划在成渝中线高速铁路大足石刻至简州段采用双边供电方式,可有效提高牵引供电能力,满足时速 400 km 高速铁路安全运行的要求。

(8) 接触网

时速 400 km 接触网在系统参数、线材、张力组合、关键装备等方面较时速 350 km 高速铁路均有变化,成渝中线高速铁路对接触网部分参数和结构形式进行优化。评价指标上采用 $135 \text{ N} \leq \text{平均接触力 } F_m \leq 225 \text{ N}$ 、最大接触力 $F_{\max} \leq 400 \text{ N}$;线材张力组合采用 JTMH-120(28 kN) + 铜合金接触线 -150(36 kN);关键装备上对腕臂支撑、定位及下锚补偿等关键装备的结构形式进行及性能进行优化提升,以满足更大张力荷载及更强振动疲劳的要求。

(9) 信号

对 ATP(含 ATO)的控车曲线算法、列车自动驾驶算法,与 CR450 动车组安装与电气接口适配等进一步优化提升,确保时速 400 km 高速铁路安全运营。

4.2 综合试验方案部署

根据中国国家铁路集团有限公司规划部署,选择大足石刻至简州段约 150 km,开展新建时速 400 km 高速铁路示范应用和更高速度试验验证,构建时速 400 km 高速铁路技术标准体系,挑战轮轨速度极限;选择成渝中线高速铁路其余段落,开展提速至时速 400 km 示范应用和试验验证,建立既有高速铁路提速至时速 400 km 适应性评估和提速改造技术体系,优化完善时速 250 ~ 350 km 高速铁路设计建造及提速改造技术标准体系。同时基于成渝中线高速铁路时速 400 km 关键技术体系,开展基础设施适应性、CR450 动车

组及站后系统功能性验证。试验方案流程如图 3 所示。

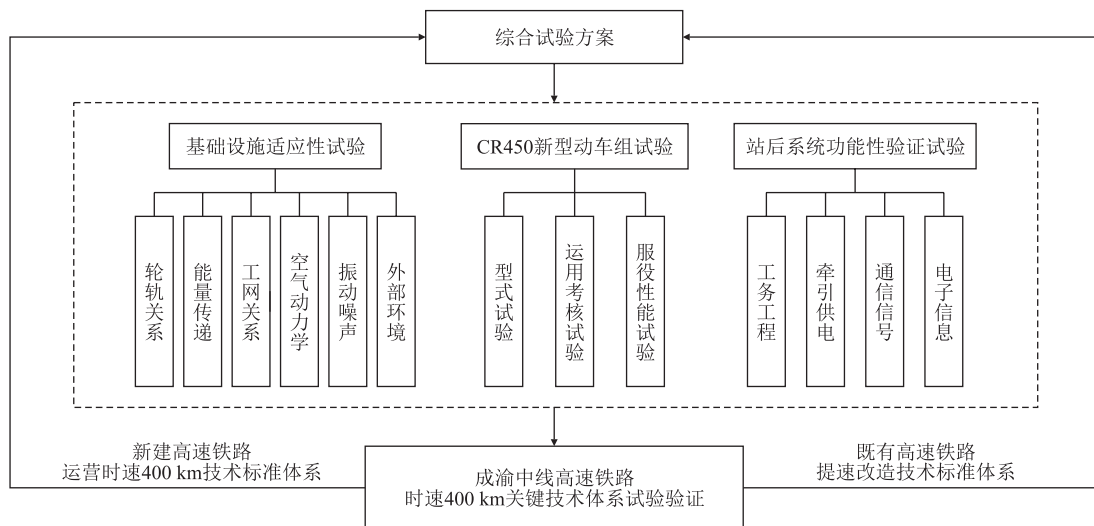


图 3 成渝中线综合试验方案流程图

5 预期创新成果

通过对成渝中线高速铁路时速 400 km 关键技术的系统研究及依托成渝中线高速铁路开通前的综合试验,预期将取得移动装备、系统验证、优化标准、构建体系、速度界限、轮轨极限六方面试验成果。移动装备方面,更高速度、更加安全、环保、节能、智能的 CR450 动车组下线。系统验证方面,时速 400 km 运行条件下固定设施、移动装备安全性、匹配性和适用性得到验证。优化标准方面,优化完善了我国既有时速 250 ~ 350 km 高速铁路设计建造及提速改造技术标准体系。构建体系方面,全面建立了世界领先的时速 400 km 高速铁路全生命周期基础理论及规范标准体系。速度界限方面,确定了轮轨经济、安全的最高运营速度与高速磁浮之间的速度界限。轮轨极限方面,将冲击轮轨系统试验速度极限时速 600 km 的世界新纪录。

6 结束语

本文针对成渝中线高速铁路实现时速 400 km 商业运营关键技术路线进行了系统性研究,分析了时速 400 km 高速铁路技术需要攻克的难点和主要研究方向,提出了成渝中线高速铁路满足时速 400 km 运行条件下各专业工程方案设置和综合试验验证方案部署意见,总结了时速 400 km 高速铁路关键技术研究 and 综合试验的预期创新成果。

通过成渝中线高速铁路时速 400 km 关键技术的

研究与试验验证,我国时速 250 ~ 400 km 高速铁路的建造体系得到了系统性的优化和完善。这一重要进展不仅为我国高速铁路装备的升级和高速铁路成套建造技术的持续创新提供了有力支撑,也确保了我国高速铁路技术在全球的领先地位,为实施高速铁路“走出去”战略奠定了坚实基础。同时,这一技术成果也为我国既有高速铁路网,特别是西部地区面临复杂地形地质条件的西安至成都、成都至贵阳等时速 250 km 标准高速铁路,提供了在较小经济代价下提升运营速度的技术指导。这一进步对于推动区域社会经济发展方面具有深远而重大的意义。

参考文献:

- [1] 国铁科法[2021]45 号,“十四五”铁路科技创新规划[S].
Guo Tie Ke Fa [2021]No. 45, “14th Five-Year Plan” Railway Science and Technology Innovation Plan [S].
- [2] 李泰澧. 时速 400 km 高速铁路路基-地基工后沉降变形映射关系及控制标准[J]. 铁道建筑, 2023, 63(8): 107-112.
LI Taifeng. Mapping Relationship and Control Standard of Post-construction Settlement Deformation of Subgrade and Ground of 400 km/h High Speed Railway [J]. Railway Engineering, 2023, 63(8): 107-112.
- [3] 安博伦,杨光,李英奇,等. 时速 400 km 高速铁路钢轨不平顺合理限值[J]. 铁道建筑, 2023, 63(5): 17-20.
AN Bolun, YANG Guang, LI Yingqi, et al. Reasonable Limit for Rail Irregularities in High Speed Railway with Speed of 400 km/h [J]. Railway Engineering, 2023, 63(5): 17-20.
- [4] 王巍. 350 km/h 高铁 32 m 简支箱梁提速至 400 km/h 适应性分

析[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(7): 50-54.

WANG Wei. Analysis of Adaptability of the 32 m Simply-supported Box Beam Used in the 350 km/h High Speed Railway with Speed Increasing to 400 km/h [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022, 39(7): 50-54.

[5] 王田天, 吴小梅, 张雷, 等. 基于压力舒适性400 km/h双线高速铁路隧道净空面积研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2023, 54(1): 378-389.

WANG Tiantian, WU Xiaomei, ZHANG Lei, et al. Research on Clearance Area of 400 km/h Double Track High Speed Railway Tunnel Based on Pressure Comfort [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2023, 54(1): 378-389.

[6] 孙传铭, 陈星, 杨泽锋, 等. 时速400 km高速铁路弓网参数优化设计[J]. 铁道标准设计, 2023, 67(6): 172-179.

SUN Chuanming, CHEN Xing, YANG Zefeng, et al. Optimal Design of Pantograph-catenary Parameters for 400 km/h High-speed Railway [J]. Railway Standard Design, 2023, 67(6): 172-179.

[7] 高俊明, 李明兵, 唐乾坤, 等. 400 km/h高速铁路ZPW-2000轨道电路器材适应性研究[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(1): 83-88.

GAO Junming, LI Mingbing, TANG Qiankun, et al. Study on Adaptability of ZPW-2000 Track Circuit Equipment for 400 km/h High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1): 83-88.

[8] 翟婉明, 姚力, 孙立, 等. 基于车辆-轨道耦合动力学的400 km/h高速铁路线路平面参数设计研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(2): 1-10, 16.

ZHAI Wanming, YAO Li, SUN Li, et al. Research on Route Plan Design Parameters of 400 km/h High-speed Railway Based on Vehicle-track Coupling Dynamics [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 1-10, 16.

[9] 常崇义, 陈波, 蔡园武, 等. 时速400 km轮轨制动大蠕滑黏着试验研究(二): 水介质条件下纵向蠕滑控制模式对黏着特性影响[J]. 中国铁道科学, 2022, 43(5): 87-93.

CHANG Chongyi, CHEN Bo, CAI Yuanwu, et al. Experimental Study on Large Creepage Adhesion of Wheel/Rail Braking at 400 km/h (II)-Effect of Longitudinal Creepage Control Model on Adhesion Characteristics in Water Medium [J]. China Railway Science, 2022, 43(5): 87-93.

[10] 韦强文, 朱胜阳, 罗俊. 无砟轨道层间离缝对时速400 km高速铁路车辆-轨道系统动力特性影响[J]. 铁道标准设计, 2023, 67(3): 74-79.

WEI Qiangwen, ZHU Shengyang, LUO Jun. Study on the Influence of Ballastless Tracks Interface Debonding on the Dynamic Properties of Vehicle-track System in 400 km/h High-speed Railways [J]. Railway Standard Design, 2023, 67(3): 74-79.

[11] 冯读贝, 曾庆华, 陈以庭, 等. 400 km/h高速铁路穿越住宅小区车致振动响应及二次结构噪声研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(2): 115-120.

FENG Dubei, ZENG Qinghua, CHEN Yiting, et al. Research on Train-induced Vibration Response and Secondary Structure-borne Noise Based on a 400 km/h High-speed Railway Passing beneath a Residential Area [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 115-120.

[12] 史佳伟, 王浩, 圣小珍. 400 km/h速度下转向架气动噪声特性研究[J]. 噪声与振动控制, 2020, 40(3): 125-130.

SHI Jiawei, WANG Hao, SHENG Xiaozhen. Study on Aerodynamic Noise Characteristics of Bogies at 400 km/h Speed [J]. Noise and Vibration Control, 2020, 40(3): 125-130.