

《中国高速列车》一书的架构与特点 ——本书作者答本刊编者问

李中浩¹ 孙 章² 顾保南²

(1. 中国城市轨道交通协会专家与学术委员会, 100038, 北京;

2. 同济大学《城市轨道交通研究》杂志社, 200331, 上海)



摘要 [目的]《中国高速列车》即将出版,本文隆重推介这本书。[方法]通过问答的方式来介绍该书的构架、主要内容、特点及公众特别关心的问题。[结果及结论]该书是一本具有史实和学术双重属性的力作。从时间和技术两个维度以专业的角度讲述中国高速列车的前世今生,从时间的角度表述中国高速列车“从无到有”到“引进消化吸收再创新”再到“自主创新”三个阶段的发展历程,从技术的角度表述中国工程师对高速列车核心技术的认知过程、从“知其然”到“知其所以然”的创新历程。全书分发展历程和关键技术上下两篇,上篇6章、下篇8章,共110万字。每个章节的作者都是中国高速列车发展过程中的亲历者和这个技术领域的资深专家。阅读此书,你可获得诸如我国高铁列车为什么能够走到世界前列的缘由,中国高速列车拥有哪些核心技术、经历了哪些艰难曲折、技术先进程度等许多热点问题的答案。

关键词 中国高速列车;核心技术;创新历程

中图分类号 U442.55

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.05.001

Architecture and Characteristics of China's High-Speed Trains

LI Zhonghao¹, SUN Zhang², GU Baonan²

(1. The Expert and Academic Committee of China Association of Metros, 100038, Beijing, China; 2. Urban Mass Transit of Tongji University, 200331, Shanghai, China)

Abstract [Objective] The book China's High-Speed Trains is about to be published, and therefore is solemnly recommended in this research. [Method] The architecture, main content, characteristics, and issues of particular public concern in this book are introduced through a question-and-answer approach. [Result & Conclusion] This book is a masterpiece with both historical and academic attributes. It tells the past and present of CRH (China Railway High-speed) from a professional perspective in both time and technology dimensions. In terms of the time perspective, this book describes the development process of CRH in three stages: "from the scratch", "introduction, digestion, absorption and re-innovation", and "independent innovation"; and in terms of the technology perspective, it describes the cognitive process of Chinese engineers regarding the core technologies of high-speed trains, and the innovation process from knowing what to knowing why. The whole book is divided into two parts: the development process and key technologies. The first part has 6 chapters, and the second 8 chapters, totaling 1.1 million words. The author of each chapter is an eyewitness to the development of CRH and a senior expert in this technical field. Reading this book, you can obtain answers to many hot questions, such as why CRH can rank among the world's top, what core technologies CRH possess, what difficulties and twists CRH have experienced, as well as what degree of CRH technological advancement.

Key words CRH; core technology; innovation process

编者按:本文根据本刊采访《中国高速列车》李中浩等作者的录音整理,文稿已经受访者本人审定。

核心技术是买不来的,列车控制、牵引、制动等一系列核心技术都有其独特的创新历程,《中国高速列车》作为一本学术性的著作,能把复杂的核心技术简单地讲明白需要功力,作者们为此下足了功夫。

中国高速列车成为中国的一张靓丽名片绝不是偶然的,其成因有中国铁路人自强不息、自主创新的精神,也有以用户为主导、“产学研用”一体化的创新机制,更有我国守正创新、举国体制的优势。书中的结语对此作了归纳总结。

伴随着中国改革开放的演进,中国客运列车的速度从 100 km/h 提高到 400 km/h,如今已处于世界领先地位。在高速列车技术的研发过程中,既有很多攻坚克难的艰辛,也有很多鲜为人知的故事,因此在《中国高速列车》一书中插入了几十个故事,还提供了不少视频,使本书更具可读性。

把这段波澜壮阔的历史表述出来,不是一件轻松的事,作者们本着实事求是的原则,不放过每一个数字与事件,在广泛征求意见后,已六易其稿。该书能实现史实与学术的交融,人文精神与科学精神的统一,实属难能可贵。本书将于今年 6 月由人民交通出版社出版发行。

问:为什么编写这本著作?

答:CR450 高速列车在 2024 年 12 月 28 日下线了,作为一位轨道交通装备战线上的老兵,不禁感叹万千。过去我们总是说,在高速铁路的建设领域我们处于世界领先地位,这是不争的事实,因为我们国家的高铁覆盖范围广,严酷的环境有东北的严寒、海南的湿热、西北的风沙、高原的空气稀薄,我国高铁总里程有 4.8 万 km,约是全世界其他国家高铁总里程的两倍多。然而在谈到高铁装备时,我们的提法是“处于世界先进行列”,腰杆子就没有高铁建设领域那么硬,这也是实事求是的。在高铁装备领域,欧洲、日本是我们的老师,这几年我们赶上来了,但是只是跟着别人走,很难说有啥原始创新,或者需要在“领先”前面加上几个定语,谈不上全面领先;领先不仅要反映在速度上,在智能、绿色、经济上也要有所体现,CR450 已具有这样的特征。例如,在既有 350 km/h 线路上运行,CR450 要达到 400 km/h 运行速度,这就要求与 CR400 有同样的紧急制动距离(6 500 m),这是非常有挑战性的指

标。我们都知道,制动能量与速度是三次方的正比例关系,要达到这个目标必须减重,必须充分利用黏着力,CR450 的轴重必须减少到 14.5 t,还要在这样的轴重下,保证全天候不打滑、不空转,连续两次紧急制动时制动盘的温度不超过限定值,这就需要追求全制动系统的领先性了;又如 CR450 在 400 km/h 运行时,每公里平均功率要与 CR400 在 350 km/h 运行时相当,不能大于 22 kWh/km,这也是一个极具挑战性的指标,必须要求列车大幅度减少运行阻力,提高传动系统效率;还比如,要求在 400 km/h 运行时室内噪声指标不能高于 CR400 在 350 km/h 运行时的数值等。当达到这些近乎苛刻的技术指标后,才能保持与发挥中国高速列车的经济性。这些指标是为了 CR450 在既有 350 km/h 线路上运营而提出的正向设计的指标。当 CR450 在 350 km/h 的既有高铁线上按 400 km/h 运营时,我们更可以很硬气地说:“中国高速列车达到了世界领先水平!”

为了让广大读者了解我国高铁如何从“从无到有”到全面“领先世界”的艰辛过程,我们组织相关人员编写了《中国高速列车》这本书。

问:为什么说,讨论中国高速列车的发展历程需要正本清源?

答:中国高速列车当前已发展到世界领先水平,其起点在哪里?是像社会上广为流传的“二桃杀三士”故事那样,发源于 2004 年的大规模引进吗?我国又是从哪一年开始研究动力分散的动车组的?“九五”期间(1996—2000 年)我国研发的“中华之星”高速列车,在秦沈(秦皇岛至沈阳)客运专线的高速试验段上创造了 321 km/h 的速度,是我国自主的技术吗?从 1997 年到 2007 年的铁路六次大提速与中国高速铁路的建设又是什么关系?应如何评价 2004—2012 年期间的大规模技术引进?“和谐号”动车组与“复兴号”动车组有什么区别?中国的高速列车已经实现了 100% 的自主化了吗?……近几年来围绕以复兴号为代表的中国高速列车这一热门话题,社会上众说纷纭,各种演绎广为流传,但是对我国高速列车发展历程进行系统分析的著作却为数不多。社会需要一本具有史料价值的学术著作,以利正本清源。这也成了作为这个时代亲历者的我们的一份历史责任。

问:为什么说,本书具有史书与学术著作兼容的特点?

答:写中国高速列车发展历程,一开始我们就定位在习近平总书记关于高速铁路发展的三段论上。习近平总书记明确指出:“我国自主创新的一个成功范例就是高铁,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。”这段精辟的话语不但是对中国高铁也是对中国高速列车取得成就和发展历程的高度概括。

我们在编写过程中很快意识到,仅仅写发展历程还不能全面回答高速列车牵引传动、制动、列车网络控制等系统的创新历程和关键技术,在高速运行条件下高速列车的运行控制、弓网关系与受电弓、列车动力学和转向架、列车的空气动力学与车体、列车的车内外噪声等都必须讲明白,才能反映中国高速列车的关键技术所在以及反映出几代铁路人的自主创新精神。

《中国高速列车》定位在史书和学术著作兼容的双向定位上。作为“史书”,需要立足实事求是,力图客观地表述中国高速列车的前世今生;作为学术著作,本书突出了自主科技创新,既展示我国高速列车核心技术的突破,也不回避存在的不足。书中不但凸显了物质成果,又写出了几代机车车辆人的奋斗精神。

在写作过程中我们坚持反复推敲,唯真唯实,通过六易其稿来确保文稿质量。高速列车的技术发展经历了30多年,由于年代久远有些事件难免记忆模糊;写作者经历过不同的历史阶段,处于不同的工作岗位,对某些事情的看法也难免不一致,其中不乏争论。我们本着实事求是、给后人留下一段真实历史的初衷,深入探讨,通过讨论取得共识,并反映在文稿中。

问:为什么说,关键核心技术是买不来的?

答:引进技术带来的益处毋庸置疑,但存在的问题必须正视。众所周知,中方更多看中的是国外先进技术,而外方需要的是中国市场,故而有“市场换技术”的提法。但在引进技术过程中,主动权往往掌握在拥有技术的外方手中,而核心技术又是其“安身立命”之根本,绝不可能轻易转让出去。不言而喻,市场是换不来核心技术的。在动车组技术引进中,虽然技术转让协议中包含了国外合作伙伴应向国内中标企业全面系统地转让动车组及零部件

的设计和制造技术,但在具体实施协议和项目执行过程中,外方只是同意将相关图纸、制造工艺、质量控制、检测试验方法等制造合格产品和保障运用所必需的文件资料转让过来,而对于原始设计依据、计算分析方法、关键参数选取、研究实验数据及控制软件等都严加管控,并且拒绝转让诸如牵引传动系统、网络控制系统、列车制动系统等关键核心软硬件,以至于一段时间内动车组的故障排查以及重要参数的调整都离不开外方的“技术支持”,这不仅影响了动车组的运用效率,也严重制约了动车组的优化升级和发展。事实无情地告诉我们,在核心技术上指望“站在巨人肩膀上”的想法往往是不切实际的,也是靠不住的。我们都知道,科学发现可以成为人类共享的财富,但技术特别是核心技术由于其具有功利性、独占性,外方为了取得有利竞争地位和获得利润,绝不会轻易转让。外方的“看家”本领——核心技术不仅买不来,而且是被严加保护和严格保密的。例如,在动车组技术引进项目中,交-直-交牵引控制软件作为核心技术之一,毫无例外地被排除在技术转让之外,即使有的外国公司在中国境内设立牵引系统合资企业,其相关软件程序的修改、调整、加载等工作都必须在其本土公司进行,合资企业员工均无法沾边。由此可见,核心技术的突破没有捷径,“巨人肩膀”靠不住,我们只能依靠自力更生、自主创新、自强不息。

经验还告诉我们,引进成效更多取决于自身基础和实力。如果一个企业本身具有较深的底蕴和内功,其技术水平才会通过引进获得提升,创新能力才能得到增强,这就是“借力发力”;相反,倘若企业基础薄弱,缺乏定力,缺乏管理与人才,则很容易被人绑架。

问:这本书的看点和重点有哪些?

答:本书分为上下两篇。上篇以高速列车发展“从无到有”“引进、消化、吸收、再创新”和“自主创新”三个历史阶段的纵向时间轴展开,并且追溯了铁路大提速的历史,预测了未来发展前景;高速列车的发展离不开基础研究、试验平台,本书专门就高校、研究单位、生产工厂的试验装备和运行部门的检测装备写了一章纳入上篇的范围。上篇冠名为《中国高速列车·发展历程篇》。下篇围绕核心技术系统的技术要点和研发过程展开,为了将关键技术表述得更符合逻辑、能抓住本质,将转向架与

列车动力学、车体与空气动力学、受电弓与弓网关系、车内关键设备(门、窗、风档、空调)与噪声防治、车载列控系统(列车运行)等概括为五大关系,用五个章节进行表述,还将牵引传动、制动、网络控制三大核心系统单独成章从不同的发展路径、技术难度去阐述创新点,下篇 8 章定名为《中国高速列车·关键技术篇》。以给读者提供更为全面的知识和信息。这也是本书的看点之一。

为了让读者读完本书后有更清晰的系统概念,在上篇末还附了中国高速列车发展大事记,便于读者阅读后归纳、检索。

本书遵照习近平总书记关于中国高铁三个发展阶段的概括,系统论述了中国高速列车成长的历程。20 世纪 90 年代至本世纪初是“高速列车的从无到有”的第一阶段,这是最艰难的起步阶段。“九层之台起于垒土”,普速机车车辆的自主化创新始于 1958 年;而中国高铁则始于铁路大提速。为提速,我国自行研制了东风 11 型、东风 4D 型内燃机车,韶山 8 型、韶山 9 型和韶山 7E 型电力机车,25 型客车以及多种型号的电传动动车组。其中动力分散动车组 KDZ1 的项目始于我国“七五”(1986 年至 1990 年)科技攻关计划。由于当时改革开放不久,工业基础差,立项十年后 1998 年才完成了这列动车组的组装。KDZ1 动车组的研制为以后投入运行的春城号、先锋号动力分散动车组的研制打下了基础。其后自主开发的先锋号和中华之星高速列车,实现了从 0 到 1 的历史性突破。但与发达国家相比,技术水平还有不小差距。2004 年到 2012 年是我国高速列车发展的第二阶段,重点开展了引进、消化、吸收、再创新工作,形成了大批量生产高速列车的能力,制造了多种型号和谐号动车组,通过再创新开发了 380 型系列高速列车。事实说明,引进国外先进技术和管理经验对提高我国机车车辆制造水平发挥了重要作用,扩大了生产能力,有力支撑了我国高速铁路的迅速发展。同时也使我们认识到关键核心技术是买不来的,必须立足于自立自强。

从党的十八大召开至今,高速列车发展进入第三阶段,特点是自主创新,这也是《中国高速列车》全书突出的重点。作者们通过自身的经历指出,在产品引进中,网络控制、牵引传动、制动等关键核心技术外方并未转让,必须靠自主创新加以解决。由于受制于人的知识产权问题成为中国高速列车发

展和“走出去”的障碍,由于引进不同国家开发的四种车型,彼此之间难以兼容,列车运营利用率不高,维护成本居高不下,给运用与维修带来很大困难,因此实现自主化、标准化、模块化成为开发复兴号高速列车的原动力。复兴号是我国第一代基于运输需求正向设计的高速列车。社会和科技需求是系统创新的源泉,这一规律同样体现在最新型的 CR450、川藏高原动车组技术条件的确定上。在中国高速列车发展的第三阶段中,本书重点阐述了我国科技人员及广大职工坚持自主创新,开展正向设计,打造复兴号中国高速列车品牌系列、实现赶超世界先进水平的艰辛过程。

为了增强可读性,全书穿插了 25 个攻坚克难、励志创新的故事,力图做到与正文相呼应。全书还通过二维码插入了对全书脉络进行简介的 PPT,一些更为详细的部件技术介绍,十几个高速列车发展阶段的视频。为了给全书起到画龙点睛的作用,在本书的最后专门撰写了“结语”,系统地分析了中国高速列车创新和发展的成功经验,并强调最为关键的是中国共产党领导下的举国体制以及铁路人自强不息的奋斗精神。

问:编写这本书的主力军来自何方?最后也请对读者说几句。

答:中国高速铁路的发展过程与改革开放初期毕业的一批大学生、研究生的工作经历同步。80 年代中后期、90 年代初期毕业的这批年轻人,一参加工作就投入到了轰轰烈烈的既有线提速改造和高速铁路的建设中,经过几十年的奋斗,他们建成了世界一流的高速铁路网,经历了我国高速铁路发展的全过程,他们中间的佼佼者已成长为高速铁路各个领域的专家。现在这批当时的年轻人也老了,到了退休的年龄,他们是编写这本书的主力。为了充分反映出中国高速列车各个发展阶段的本来面貌和关键技术的核心内涵,我们选择了他们中间参与高速列车策划、研发、制造、试验、运营等工作有成就者。他们中有科研院所的研究员、大学的教授、企业的总工程师和主管技术的领导干部。有的主持或参与了中国铁路列车的提速、先锋号和中华之星高速列车的研制,有的经历了和谐号高速列车的引进、消化、吸收和再创新工作,有的投入了复兴号高速列车的研发和试验。他们组成了一个对中国高速列车的发展历程、技术创新最为了解、最有话

语权的一个群体。

我们深知,尽管作者们已经付出很多心血,但本书仍然会存在一些不足,希望读者予以批评指正。本书主要面向铁路工程技术人员,铁路机车车辆设计、制造、运维等相关人员以及高等院校交通专业师生,兼顾其他领域人士。对于非铁路专业的读者,可以只阅读上篇和结语,就可从总体角度对中国高速列车有全面的了解;对于铁路专业的读者,可以在读完上篇后,重点阅读与本专业有关的章节,并通过参考文献扩展学习;对于高等院校交通专业师生,是可以直接从对口专业的章节入手的。专业知识从少到多、再从多到少有个螺旋式上升过程,各章的作者都已是在本专业内能把书读少的大专家,希望能帮助读者建立本专业的系统概念。

衷心希望这本书出版后能得到大家的认同,也期望读者能从中得到启迪。

参考文献

- [1] 余以正,杨明智,滕万秀,等. 车辆转向架前端加装弧形导流槽对转向架积雪结冰情况的影响[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(2): 49.
YU Yizheng, YANG Mingzhi, TENG Wanxiu, et al. Influence of installing arc air deflector at the vehicle bogie front end on the situation of snow and ice accumulation in bogie zone[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(2): 49.
- [2] 陈笃,滕雷昌,薛良君. 机车用16 V280ZJB型柴油机的开发与研制[J]. 铁道机车车辆, 2003, 23(增刊1): 24.
CHEN Du, TENG Leichang, XUE Liangjun. Development of 16 V280ZJB type locomotive diesel engine[J]. Railway Locomotive & Car, 2003, 23(S1): 24.
- [3] 葛来薰. 准高速机车架悬式转向架设计制造和试验(上)[J]. 内燃机车, 1998(3): 2.
GE Laixun. Design, manufacture and test of suspension bogie for quasi-high-speed locomotive (I)[J]. Diesel Locomotives, 1998(3): 2.
- [4] 周翊民,李中浩. 中国交流传动机车的发展[J]. 中国铁路, 1995(7): 12.
ZHOU Yimin, LI Zhonghao. Development of Chinese AC transmission locomotives[J]. Chinese Railways, 1995(7): 12.
- [5] 田红旗,梁习锋,许平. 列车空气动力性能研究及外形、结构设计方法[J]. 中国铁道科学, 2002, 23(5): 138.
TIAN Hongqi, LIANG Xifeng, XU Ping. Research on the aerodynamic performance of train and its configuration and structure design method[J]. China Railway Science, 2002, 23(5): 138.
- [6] 李学峰,王悦明. 《中华之星》交流传动电动车组及其综合试验技术[J]. 铁道机车车辆, 2003, 23(增刊2): 44.
LI Xuefeng, WANG Yueming. Chinese star" AC drive EMU and comprehensive test[J]. Railway Locomotive & Car, 2003, 23(S2): 44.
- [7] 倪纯双,王悦明. 基于网络技术的分布式数据采集系统的实现[J]. 铁道机车车辆, 2003, 23(5): 24.
NI Chunshuang, WANG Yueming. An implement of distributing data acquisition system based on network technology[J]. Railway Locomotive & CAR, 2003, 23(5): 24.
- [8] 倪纯双,黄强,王悦明,等. 机车车辆动力学试验数据分析处理软件 DASO[J]. 中国铁道科学, 2004, 25(1): 28.
NI Chunshuang, HUANG Qiang, WANG Yueming, et al. Development of test data analysis software DASO of locomotive and car dynamics performance[J]. China Railway Science, 2004, 25(1): 28.
- [9] 楚永萍,唐永明,黄振飞. 先锋号电动车组转向架结构性能简析[J]. 铁道机车车辆, 2004, 24(4): 7.
CHU Yongping, TANG Yongming, HUANG Zhenfei. Analysis of the bogies structure and performance of Xianfeng's electric trainset[J]. Railway Locomotive & CAR, 2004, 24(4): 7.
- [10] 路向阳,张元林,谢维达,等. "先锋"号电动车组控制系统[J]. 机车电传动, 2002(3): 8.
LU Xiangyang, ZHANG Yuanlin, XIE Weida, et al. Control system of "Xianfeng" EMUs[J]. Electric Drive for Locomotive, 2002(3): 8.
- [11] 奚国华,路向阳,夏寅. 我国列车通信网络的实践与开发探讨[J]. 机车电传动, 2000(1): 2.
XI Guohua, LU Xiangyang, XIA Yin. Exploration on the practice and development of train communication network in China[J]. Electric Drive for Locomotive, 2000(1): 2.
- [12] 刁晓明,宋永丰. 中国标准动车组互联互通测试关键技术[J]. 中国铁路, 2021(6): 9.
DIAO Xiaoming, SONG Yongfeng. Key technologies for interoperability testing of China standard EMUs[J]. China Railway, 2021(6): 9.
- [13] 李海龙,刘晓磊,苏晓波. 中国标准动车组网络系统半实物仿真试验平台[J]. 机车电传动, 2017(5): 70.
LI Hailong, LIU Xiaolei, SU Xiaobo. Train network system semi-physical simulation test platform for CEMUs[J]. Electric Drive for Locomotives, 2017(5): 70.
- [14] 黄志平,齐延辉,赵红卫,等. 动车组以太网控车的设计与应用[J]. 铁道机车车辆, 2022, 42(5): 34.
HUANG Zhiping, QI Yanhui, ZHAO Hongwei, et al. Design & application of Ethernet-based train communication network used on EMU[J]. Railway Locomotive & Car, 2022, 42(5): 34.
- [15] 钱铭,张大勇,廖洪涛. 复兴号高原双源动力集中动车组关键技术[J]. 中国铁路, 2022(6): 1.
QIAN Ming, ZHANG Dayong, LIAO Hongtao. Key technologies of Fuxing Plateau dual-source power centralized EMU[J]. China Railway, 2022(6): 1.
- [16] 林晖. 动力集中动车组制动系统设计及运用研究[J]. 铁道机车车辆, 2020, 40(5): 1.
LIN Hui. Research on design and application of brake system of

- power centralized EMU[J]. Railway Locomotive & Car, 2020, 40(5): 1.
- [17] 田红旗. 中国高速轨道交通空气动力学研究进展及发展思考[J]. 中国工程科学, 2015, 17(4): 30.
- TIAN Hongqi. Development of research on aerodynamics of high-speed rails in China[J]. Engineering Sciences, 2015, 17(4): 30.
- [18] 卢春房. 中国高铁技术发展展望: 更快、智能、绿色[J]. 科技导报, 2018, 36(6): 1.
- LU Chunfang. Prospects for the development of China's high-speed rail technology: faster, intelligent and green[J]. Science & Technology Review, 2018, 36(6): 1.
- [19] 田红旗. 中国列车空气动力学研究进展[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(1): 1.
- TIAN Hongqi. Study evolvement of train aerodynamics in China[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(1): 1.
- [20] 田睿. 世界高速列车的发展(中)[J]. 国外铁道机车与动车, 2020(5): 1.
- TIAN Rui. The development of high-speed trains in the world[J]. Foreign Railway Locomotive and Motor Car, 2020(5): 1.
- [21] 张健. 国外高速列车最佳头尾部形状的研究[J]. 机车电传动, 2000(2): 16.
- ZHANG Jian. Research on optimum nose and tail shapes of foreign high-speed trains[J]. Electric Drive for Locomotive, 2000(2): 16.
- [22] 杨志刚, 毛懋, 陈羽. 高速列车底部结构参数对气动阻力作用规律[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(7): 1055.
- YANG Zhigang, MAO Mao, CHEN Yu. Influence laws between underbody structure parameters of high speed train and aerodynamic drag[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2019, 47(7): 1055.
- [23] 刘风华. 高速列车减阻技术试验研究[J]. 现代城市轨道交通, 2019(5): 35.
- LIU Fenghua. Study on high-speed train resistance reduction technology tests[J]. Modern Urban Transit, 2019(5): 35.
- [24] 马胜全, 何思俊, 支锦亦, 等. 高速列车局部外形气动优化设计研究[J]. 铁道机车车辆, 2020, 40(1): 19.
- MA Shengquan, HE Sijun, ZHI Jinyi, et al. Research on aerodynamic optimization design of some part on high-speed train[J]. Railway Locomotive & Car, 2020, 40(1): 19.
- [25] 孙艳军, 夏娟, 梅元贵. 高速列车气动噪声及减噪措施介绍[J]. 铁道机车车辆, 2009, 29(3): 25.
- SUN Yanjun, XIA Juan, MEI Yuanguai. Introduction of aerodynamic noise generated by high-speed train and the reduction of the noise[J]. Railway Locomotive & Car, 2009, 29(3): 25.
- [26] 杨弘. 高速列车减振降噪技术研究[J]. 铁道车辆, 2006, 44(2): 9.
- YANG Hong. Research on damping and noise reduction technologies for high speed trains[J]. Rolling Stock, 2006, 44(2): 9.
- [27] 董孝卿, 黄欣, 吴宁. 高速铁道车辆辐射噪声特性初步研究[J]. 铁道机车车辆, 2009, 29(4): 42.
- DONG Xiaoqing, HUANG Xin, WU Ning. Research of emission noise property of high-speed railway cars[J]. Railway Locomotive & Car, 2009, 29(4): 42.
- 收稿日期:2025-03-19 修回日期:2025-03-26 出版日期:2025-05-10
Received:2025-03-19 Revised:2025-03-26 Published:2025-05-10
· 通信作者:李中浩,正高级工程师,umt1998@vip.163.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license