

文章编号: 1674—8247(2022)01—0007—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.01.002

高速磁浮交通环境与灾害监测预警系统方案研究

侯圣杰¹ 刘先恺¹ 汤凯谊¹ 刘孜学² 王富斌²

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266000;
2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:高速磁浮列车运行速度更快,对运行环境及沿线灾害更加敏感,针对 600 km/h 级高速磁浮车辆对其主要运用环境提出的系列要求,本文对高速磁浮运行环境与灾害监测预警系统开展了相关研究,提出的监测与预警系统能够实现对强风、强降雨、强降雪、结冰、地质灾害、地震以及异物侵限、周界入侵等运行环境因素进行全方位监测和预警,也可对沉降、道岔及轨道梁位移等基础设施进行有效监测和预警。本文提出的试验方案,能够在高速磁浮实验中心实施,可验证本系统的功能完备性和准确性,也可为运行环境及基础设施变化对高速磁浮列车运行的影响分析提供数据支撑,对确保高速磁浮交通的早日商业运营有一定的推动作用。

关键词:高速磁浮; 运行环境; 灾害; 监测; 预警; 系统

中图分类号:U237 文献标志码:A

Study on Plan of High-speed Maglev Traffic Environment and Disaster Monitoring and Early Warning System

HOU Shengjie¹ LIU Xiankai¹ TANG Kaiyi¹ LIU Zixue² WANG Fubin²

(1. CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266000, China;
2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: High-speed maglev train runs faster than common trains, and it is more sensitive to the running environment and disasters along the line. Aiming at the requirements of the 600 km/h high-speed maglev vehicle for its main operating environment, this paper studies the high-speed maglev running environment and disaster monitoring and early warning system. The proposed monitoring and early warning system can realize all-around monitoring and early warning of strong wind, heavy rainfall, heavy snowfall, icing, geological disasters, earthquakes, foreign body invasion, perimeter invasion, and other operating environment factors, and it can also effectively monitor and warn settlement and displacement of infrastructures such as turnout and track beam. The test plan proposed in this paper can be implemented in the High-speed Maglev Experimental Center, which can verify the functional completeness and accuracy of the system. It can also provide data support for the analysis of the influence of the operating environment and infrastructure changes on the operation of high-speed maglev trains, and it can promote the early commercial operation of high-speed maglev transportation.

Key words: high-speed maglev; operating environment; disaster; monitoring; early warning; system

在 2019 年由中共中央、国务院颁布的《交通强国建设纲要》中明确指出“到 2035 年基本建成交通强

国,达到全国主要城市 3 小时覆盖的目标”,并提出要强化前沿关键科技研发,其中,“时速 600 公里级高速

收稿日期:2021-11-12

作者简介:侯圣杰(1990-),男,工程师。

引文格式:侯圣杰,刘先恺,汤凯谊,等. 高速磁浮交通环境与灾害监测预警系统方案研究[J]. 高速铁路技术,2022,13(1):7-11.

HOU Shengjie, LIU Xiankai, TANG Kaiyi, et al. Study on Plan of High-speed Maglev Traffic Environment and Disaster Monitoring and Early Warning System[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1):7-11.

磁悬浮交通系统的技术储备研发”被列为了重点^[1]。目前,轮轨铁路最高速度在 400 km/h 左右^[2],已经无法满足“主要城市 3 小时覆盖”的需求目标,需要速度更快的交通制式做支撑。另一方面,600 km/h 高速磁浮填补了航空和轮轨高速铁路之间的速度空白,可助力形成速度梯度层级完善、高效、灵活便捷的多维立体交通构架,对于丰富我国交通运输速度谱系具有重大的技术和经济意义。

国外开展高速磁浮的研究较早,自 20 世纪 60 年代起,德国、日本、英国、美国、加拿大、法国等国家相继开始筹划磁浮交通系统的研发^[3]。其中,德国 Transrapid (TR) 高速磁浮系统于 2003 年在上海开通示范运营,最高试验速度 505 km/h、运营速度 430 km/h^[4-5]。我国在高速磁浮领域已经经历了近 20 年的持续研究和技术积累,在 2021 年取得的重大创新突破。7 月 20 日,由中国中车承担研制、具有完全自主知识产权的我国 600 km/h 高速磁浮交通系统在青岛成功下线,另外,针对工程产业化,中车四方股份公司在国家高速列车技术创新中心建成了专业的高速磁浮集成实验中心和试制中心,联合国内协作单位,构建了包含车辆、牵引供电、运控通信、线路轨道在内全系统仿真、试验平台,搭建了从核心零部件、关键系统到系统集成的国产化产业链,这标志着我国已经掌握了高速磁浮成套技术和工程化的能力。

随着高速磁浮交通关键装备的逐渐成型,意味着高速磁浮交通的研究不再仅仅是“纸上谈兵”,国产化 600 km/h 级高速磁浮的工程应用即将成为现实。为保证高速磁浮交通的顺利商业运营,配套的监测和预警系统需要同步开展研究。一方面,强风、大雾、暴雨雪、地震等极端天气及自然灾害等对轨道交通的安全运行存在影响,一旦发生诸如轨道梁、车辆在强风等极端天气下出现失稳等状况,将会危及乘客生命安全^[6-7]。另一方面,在磁浮线路尤其是长大干线中,线路跨度范围大,环境复杂多变,沿线若遇地质灾害,将对沿线桥梁、轨道等基础设施健康状态造成危害,并威胁运营安全^[8]。相较于轮轨高速铁路,600 km/h 级高速磁浮交通列车运行速度更快,对运行环境与沿线灾害更加敏感,因此,本文研究了一种适用于高速磁浮交通的运行环境与灾害监测预警系统。

1 监测需求分析

高速磁浮运行速度快、自动化程度高,基于安全保障及系统完整性的考虑,有必要对高速磁浮系统需求及主要运用环境和系统参数进行综合分析,结合高速磁浮的运营场景,建立高速磁浮交通系统应对灾害与

线路环境异常的监测预警系统,提高高速磁浮交通系统自动运行及主动防护的智能化水平,保障列车安全运行,降低事故发生概率,提高应急救援效率。

本文以中国中车承担研制的 600 km/h 级高速磁浮交通系统为研究对象,根据 CJJ/T 310 - 2021《高速磁浮交通设计标准》^[9],高速磁浮车辆对其主要运用环境提出了下列监测要求,如表 1 所示。

表 1 高速磁浮车辆主要运用环境监测要求表

风速	降雨	线上积雪	线路结冰	地震
26 m/s 及以上区段应设置风速监测	在易发生滑坡、泥石流地段应设置雨量监测	20 年最大 100 mm 以上区段应设置雪深监测	轻冰区及以上区段应设置覆冰监测	动峰值 0.1 g 及以上应设置地震监测

综合分析高速磁浮系统需求及主要运用环境和系统参数,高速磁浮交通环境与灾害综合监测预警系统的监测对象可分为两大类:列车运行环境和基础设施,如表 2 所示。

表 2 监测对象分类表

类别	监测对象
列车运行环境监测	强风、强降雨
	强降雪及冰
	地质灾害
	地震
	异物侵限
	周界入侵
基础设施监测	沉降监测
	道岔及轨道梁监测(检测)

针对 600 km/h 高速磁浮的运用环境指标(环境温度、相对湿度、最大风速、最大降雨、线上积雪、线路结冰、地震烈度、地理条件等),结合列车高速行进中气象、异物侵限及周界入侵、地质灾害等可能对行车安全构成影响的因素,梳理列车运行环境监测对象包括:气象(风、降雨、气温)、降雪及轨面结冰、地质灾害(滑坡及泥石流、危岩落石)、地震、异物侵限、周界入侵等。以上监测对象对列车高速行驶有直接影响,在监测过程中应做到实时监测,在技术条件成熟情况下可超前预报及提前预警,从而确保列车行车安全。

高速磁浮基础设施监测内容主要包括:基础设施沉降监测、道岔及轨道梁监测(检测)。以上监测属于长期监测,并定期对监测内容进行分析,从而对基础设施健康程度进行评估,保证高速磁浮长期运营安全。

2 技术方案

2.1 监测预警技术的可行性

针对前文提出的各项监测对象,结合当前技术发展趋势及高速铁路应用情况,分别对各项监测对象进行技术可行性分析。

(1)气象(风、降雨、气温)

高速铁路中采用超声波多合一气象传感器对风速、风向、降雨、大气温度进行实时监测、实时报警。在铁路及气象科研方面,当前可采用加密布设风速、风向传感器并通过长期观测数据积累开展预测算法研究,已取得的成果显示,可对区域风速、风向实现超前预报。

(2)强降雪及结冰

采用激光及多光谱测量技术可对设定区域的积雪及结冰厚度,进行实时检测及报警,其中雪深监测在高速铁路中已成熟应用,路面结冰监测在航空、公路交通中也有应用。

(3)地质灾害(滑坡、泥石流、危岩落石)

地质灾害发生后的实时报警,预警存在误报的可能。国土部门地灾监测技术应用成熟,高速及普速铁路部分线路及工点均有试点应用。

(4)地震

采用 P 波超前预报,可实现实时监测预警,已列入高速铁路设计规范,高速铁路地震监测预警系统与牵引变电、信号系统实现预警报警联动。

(5)异物侵限

高速铁路系统采用双电网触发报警方式监测上跨铁路的道路桥梁异物侵限。

当前人工智能技术不断发展,已有应用实验表明,可在线路周边布设高清摄像机,通过视频图像智能分析技术,完成对线路限界特定内障碍物的实时检测分析、报警,但当前技术存在一定误报。

(6)周界入侵

当前可行的技术手段包括:红外、激光对射;电子围栏、振动光纤、AI 视频分析,但单一化的安全防护手段在实际运用中漏报率和误报率较高。

(7)沉降监测

高速铁路系统可采用静力水准仪对基础设施(路基、桥梁、隧道)沉降变形进行监测,实现毫米级变形自动测量,通过后台可及时发布预警和报警信息。

(8)道岔及轨道梁检测

采用振动、位移、加速度等传感器可对道岔及轨道梁变形、振动等进行长期观测,但针对高速磁浮缺少实际应用测试。

综上,现有监测技术及已应用的技术方案可部分适用于高速磁浮交通系统。其中,轨面结冰、异物侵限与高速磁浮车辆悬浮间隙(一般为 8 ~ 12 mm)直接相关,不能照搬高速铁路相关技术方案,需对现有技术进行集成创新。

2.2 系统方案及构成

根据我国高速磁浮交通系统的研发进程,当前我国 600 km/h 高速磁浮交通系统还处于线路试验阶段,尚无工程化应用示范线路,故本文以青岛高速磁浮集成实验中心试验线为研究对象,并开展本系统方案研究与设计。

高速磁浮交通环境与灾害监测预警系统由中心平台、现场监测子系统和传输网络组成,系统总体架构如图 1 所示。

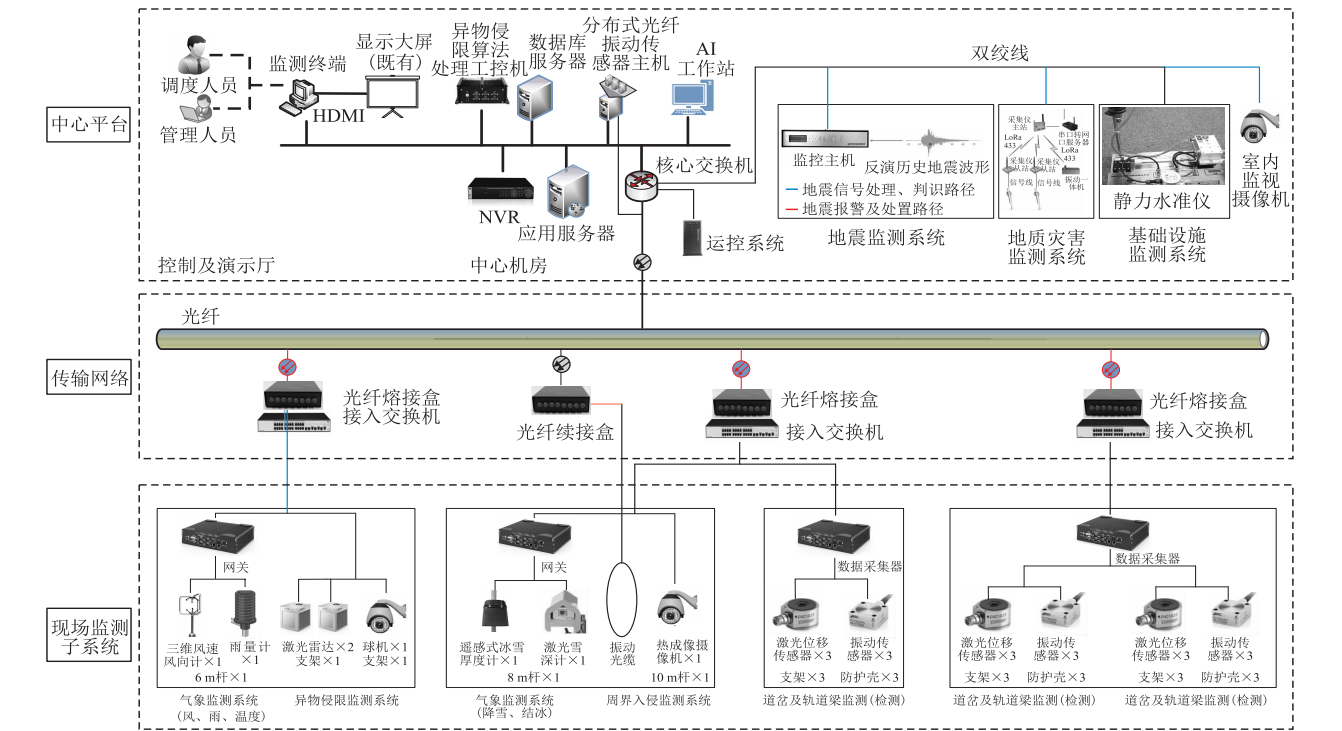


图 1 系统总体架构图

(1)中心平台

中心系统主要包括硬件设备(应用服务器、数据库服务器、AI 工作站、核心交换机、网络通信设备、监测终端、显示大屏等)与软件系统(操作系统、数据库、业务应用软件等)。

中心平台设置于运控中心,服务器及网络设备设置于运控机房。

(2)监测子系统

本项目考虑试验线的实际建设情况,结合功能展示需求及效果,将监测子系统分为:室外监测、室外试验和室内试验 3 种类别,如表 3 所示。

表 3 监测子系统分类表

子系统分类	监测对象	模拟/虚拟/实物	设置场地
室外监测	风、雨、气温	实物	线路附近通过立杆进行设置
	降雪及轨面结冰	实物	
	道岔及轨道梁监测(检测)	实物	线路道岔、库外轨道梁断面处
室外试验	异物侵限	实物	线路末端处设置
	周界入侵	实物	线路附近立杆及周边围栏处设置
室内试验	地质灾害	实物/模拟	室内放置
	沉降监测	实物/模拟	室内放置
	地震	模拟/实物	室内放置

室外监测类子系统将监测设备(传感器)置于实验线的室外线路旁(包括库内线路)及线路上,通过监测设备在线监测。

室外试验类子系统将监测设备(传感器)置于实验线的室外线路旁,通过现场试验实现对监测功能的演示及实时展示。

室内试验类子系统将监测设备(传感器)置于室内,通过室内拟等方式进行监测功能的演示。

(3)传输网络

传输网络主要包括骨干通信网络和现场数据接入网络。

① 骨干通信网络

骨干通信网络实现现场采集汇聚的数据传输至运控中心,由汇聚核心交换机和光缆组成,组网采用星型组网方式。

② 现场数据接入网络

现场数据接入网络包括有线接入和无线接入两种。

其中,现场气象(风、降雨、气温、降雪及冰)监测、道岔监测、异物侵限监测等传感器数据通过 RS-485 协议汇聚于现场数据采集器,并通过接入层交换机接入骨干传输网络,实现数据回传。周界入侵监测系统

中的传感光缆直接在骨干光缆分歧处熔接,接入骨干传输网络。位于机房内的地震监测数据通过网线接入核心交换机,实现数据传输

模拟地灾监测、沉降监测现场传感网组网,设置无线自组网,通过无线主站接入骨干传输网,实现数据回传。

2.3 关键技术与创新

(1)中心软件平台

该软件平台实现高速磁浮道岔及轨道梁监测、周界报警、地质灾害、桥梁沉降、气象监测等多专业的监测数据汇聚,并支持利用智能分析、大数据处理等手段对信息进行深度融合,采用直方图、曲线、2.5D 立体图像、实时视频等可视化方式对信息进行多元展示。

(2)轨面积雪结冰监测

本系统采用遥感式的监测方式,针对高速磁浮运行环境对轨面结冰和积雪的指标要求,通过对当前可行技术手段进行分析。由于受限于遥感式轨面传感器测量量程,提出以遥感式冰雪厚度传感器与激光雪深计进行组合,根据水的多相态对不同波长光的吸收也不同,导致其光谱属性发生改变的光学原理,实现轨面的冰和雪状况检测与区分,然后采用光电子/激光测距技术,并研究设计融合分析算法,实现各种天气状况下远距离、毫米级精度的冰雪深度测量。

(3)异物侵限监测报警

在各种天气和气候条件下,针对在路基地段可能威胁到列车正常行驶的落石、闯入人员等各类异物,采用激光雷达扫描、智能视频识别、系统联动控制等多传感融合技术实现异物入侵自动监测,利用前端设备内置的算法实现对侵限异物的快速、准确识别,同时对告警目标进行定位、跟踪、放大,并快速传递告警信息。

(4)道岔及轨道梁检测

系统包括轨道梁及道岔多断面位移、加速度动态响应监测,基于时频分析技术和历程数据统计,可实现轨道梁及道岔工作状态、统计指标的精确监控及异常振动预警。通过后台分析软件可实现轨道及道岔梁的受力状态,结构应力分析。结合车辆运行数据可实现车轨相互作用、悬浮状态及耦合作用分析,为车辆系统、悬浮导向系统及轨道系统试验、设计及改进提供基础数据。

3 实施与部署

3.1 高速磁浮试验线

本文研究的高速磁浮交通环境与灾害综合监测预警系统拟在高速磁浮集成实验中心开展试验研究,在实验中心已建成高速磁浮试验线,试验线全长 664.608 m,其中室外轨道长 406.45 m,如图 2 所示。



图2 高速磁浮集成实验中心试验线图

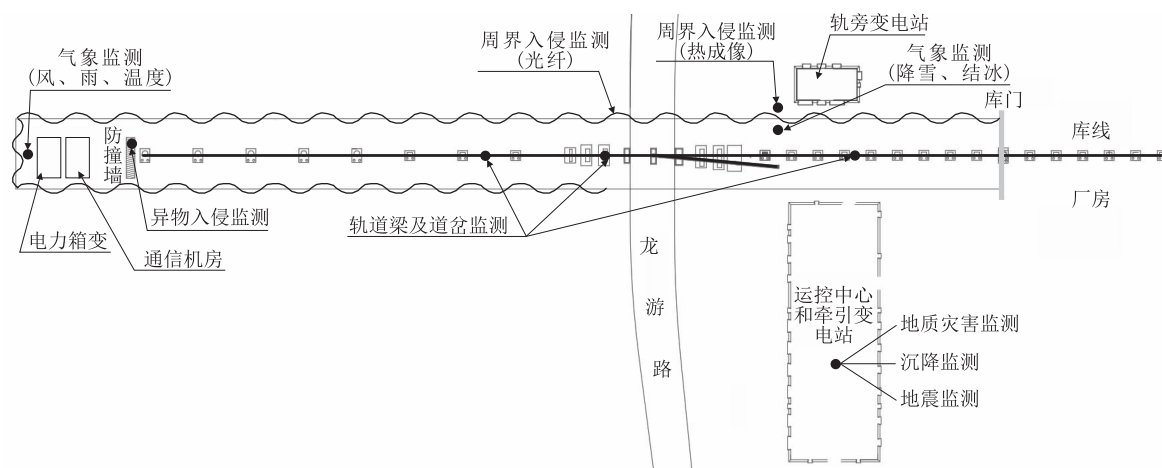


图3 总体平面布置示意图

(1) 气象监测系统

风、雨、温度监测设备设置在线路末端电力箱变房屋附近,降雪、结冰监测设备设置在轨旁变电站附近,均采用立杆方式安装。

(2) 周界入侵监测系统

热成像摄像头采用立杆方式安装设置在轨旁变电站附近;光纤沿线路两侧轨旁栅栏敷设。

(3) 异物入侵监测系统

异物入侵监测设备设置在线路末端防撞墙上,通过支架固定。

(4) 轨道梁及道岔监测系统

轨道梁及道岔监测设备分别设置在道岔梁、道岔梁前后各1孔混凝土梁,共3孔梁作为监测点。

(5) 地质灾害监测系统、沉降监测系统、地震监测系统

监测系统设备均设置在运控中心机房内。

4 结束语

本文首先根据 600 km/h 级高速磁浮车辆对其主

该试验线定位为高速磁浮线路试验平台,可进行高速磁浮各子系统在不同工况下的综合测试及验证,为方便试验工作的开展,试验线与高速磁悬浮制造及检修维护基地有机衔接。

3.2 总体平面布置

本文结合高速磁浮集成实验中心的现场条件、考虑各项监测预警功能的实现等因素,研制并部署建立了高速磁浮交通环境与灾害综合监控预警样机系统,实现数据采集、监测报警、灾害或事件预警、数据存储及图形化展示等功能。

经过现场踏勘调研,本项目中各子系统的总体平面布置如图3所示。

要运用环境提出的要求,对系统监测需求进行了分析,梳理出了高速磁浮列车运行环境监测对象以及基础设施监测对象。进一步根据监测需求,制定了1套由中心平台、监测子系统和传输网络3部分构成的系统架构,提出了中心平台的详细设备构成以及骨干通信网络的组网方式和无线数据网络接入方式,并对系统中涉及的关键技术与创新进行了阐述。针对高速磁浮集成实验中心的现场条件提出了现场实施方案。根据该方案,可以有效将本文提出的监测和预警系统在实验中心进行部署,为系统功能验证和高速磁浮列车运行的联调联试提供有效支撑。

参考文献:

- [1] 王梓丞,易立富,谭冠华,等. 时速600 km 高速磁浮运行控制系统关键技术研究[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(11): 1-3.
WANG Zicheng, YI Lifu, TAN Guanhua, et al. Research on Key Technologies of Train Operation Control System for 600 km/h High-speed Maglev [J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(11): 1-3.

(下转第38页)

CAO Kefei, XIANG Hangying. Necessity of New Construction of EMU Maintenance Base in Chengdu [J]. High Speed Railway Technology, 2010, 1(1): 40-45.

[11] 安琪. 动车组运用计划的优化方法研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2013.

AN Qi. The Research on Optimization Method of EMUs Plan[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2013.

[12] ALFIERI A, GROOT R, KROON L, et al. Efficient Circulation of Railway Rolling Stock[J]. Transportation Science, 2006, 40(3): 378-391.

[13] ZHOU Wenliang, XIE Jin, DENG Lianbo. Sequencing Optimization Method for Drawing Train Operation Diagram of High-speed Railway[J]. Journal of Multimedia, 2013, 8(1): 16-23.

[14] 向航鹰. 高速动车段规模的计算方法研究[J]. 中国铁路, 2005(6): 45-46.

XIANG Hangying. Research on the Calculation Method of the Scale of High-speed EMU Depot[J]. Chinese Railways, 2005(6): 45-46.

[15] TB 10028-2016 铁路动车组设备设计规范[S].

TB 10028-2016 Code for Design of Electric Multiple Unit Facility [S].

[16] TG/CL156-2020 CR400AF/BF 平台动车组三级检修规程[S].

TG/CL156-2020 Regulations on Level 3 Maintenance of CR400AF/BF Multiple Units[S].

[17] 谢红太. 新建宁淮城际铁路南京北动车所整体布局方案研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.

XIE Hongtai. Research on the Overall Layout and Technological Scheme of Nanjing North EMU for the New Ninghuai Intercity[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2021.

[18] 谢红太, 王伟, 武振锋. 铁路枢纽内动车组运维检修规模测算分析研究[J]. 华东交通大学学报, 2021, 38(5): 90-100.

Xie Hongtai, Wang Wei, Wu Zhenfeng. Analysis and Research on the Scale of Operation Maintenance and Repair of EMUs in Railway Hub[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(5): 90-100.

[19] 王伟, 谢红太, 雒沛丰, 等. 国内动车段(所)高级修厂房布局及检修工艺设计研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(6): 52-60.

WANG Wei, XIE Hongtai, LUO Peifeng, et al. A Study on the Design of Layout of Advanced Maintenance Workshops of Multiple Unit Depot (Section) and Maintenance Processes[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6): 52-60.

(上接第11页)

[2] 沈通, 马志文, 杜晓洁, 等. 世界高速磁悬浮铁路发展现状与趋势分析[J]. 中国铁路, 2020(11): 94-99.

SHEN Tong, MA Zhiwen, DU Xiaojie, et al. Development Status and Trend Analysis of High Speed Maglev Railways Worldwide[J]. China Railway, 2020(11): 94-99.

[3] 张炳民. 高速磁悬浮铁路车站布置图型研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(S2): 36-40.

ZHANG Bingmin. Study on Layout Pattern of High-speed Maglev Railway Station [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(S2): 36-40.

[4] 孙玉玲, 秦阿宁, 董璐. 全球磁浮交通发展态势、前景展望及对中国的建议[J]. 世界科技研究与发展, 2019, 41(2): 109-119.

SUN Yuling, QIN Aning, DONG Lu. Research on Development and Prospects of Maglev Transportation and Suggestions to China [J]. World Sci-Tech R & D, 2019, 41(2): 109-119.

[5] 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.

[6] 刘孜学, 杨捷, 虞凯, 等. 城市轨道交通行车环境安全监测系统技术方案研究[J]. 通信与信息技术, 2017(2): 69-72.

LIU Zixue, YANG Jie, YU Kai, et al. Research on Technical Scheme of Safety Monitoring System for Urban Rail Transit Operating Environment [J]. Communication & Information Technology, 2017(2): 69-72.

[7] 刘孜学, 曾永平, 周帅, 等. 川藏铁路峡谷风特性监测系统的方案研究及实现[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(2): 29-34.

LIU Zixue, ZENG Yongping, ZHOU Shuai, et al. Research and Implementation of Canyon Wind Characteristics Monitoring System along Sichuan-Tibet Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(2): 29-34.

[8] 虞凯, 刘孜学, 韦道准. 川藏铁路基础设施实时监测预警系统架构及功能研究[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(2): 41-44.

YU Kai, LIU Zixue, Wei Daozhun. The Architecture and Function Research on the Real-Time Monitoring and Early Warning System of the Infrastructure along the Sichuan-Tibet Railway [J]. High Speed Railway Technology. 2015, 6(2): 41-44.

[9] CJJ/T 310-2021 高速磁浮交通设计标准[S].

CJJ/T 310-2021 Standard for Design of High-speed Maglev Transit [S].