

# 基于全要素、全过程数据融合的城市轨道交通 车辆智能运维系统

郭建伟<sup>1</sup> 司军民<sup>2</sup> 赵梦露<sup>2</sup> 张里洋<sup>2</sup>

(1. 太原市轨道交通发展有限公司, 030032, 太原; 2. 中车永济电机有限公司, 044500, 永济//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 针对城市轨道交通车辆实际运维需求, 提出了基于全要素、全过程数据融合的城市轨道交通车辆智能运维系统。介绍了该系统的总体架构、技术架构和业务场景, 详细介绍了车辆健康管理、轨旁智能检测、车辆检修管理、智能场段管理和智能总控中心这五大子系统的落地实施模式。分析了该系统的应用价值。该系统能够促进城市轨道交通车辆智能运维全过程数据闭环与融通应用。

**关键词** 城市轨道交通; 车辆; 智能运维; 故障预测与健康

管理

**中图分类号** U231+.91

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2022.01.041

## Intelligent Operation and Maintenance System of Urban Rail Transit Vehicles Based on All-element and Full-process Data Fusion

GUO Jianwei, SI Junmin, ZHAO Menglu, ZHNAG Liyang

**Abstract** In response to the actual operational requirements of urban rail transit vehicles, an urban rail transit vehicle intelligent operation and maintenance system based on all-element and full-process data fusion is proposed. The overall architecture, technical architecture and business scenarios of the system are introduced, and the implementation mode of the five major subsystems, vehicle health management, intelligent trackside detection, vehicle maintenance management, intelligent locomotive depot management and intelligent general control center, are elaborated. The application value of the system is analyzed. The system can promote data close-loop and integrated application of the entire process of intelligent operation and maintenance of urban transit vehicles.

**Key words** urban rail transit; vehicle; intelligent operation and maintenance; prognostics and health management

**Author's address** Taiyuan Railway Transit Development Co., Ltd., 030032, Taiyuan, China

诸多痛点问题和现实需求: 据不完全统计, 2020 年由于故障原因共发生 5 min 及以上延误事件 1 023 次, 列车退出正线故障共计 7 405 次<sup>[1]</sup>; 由于不同线路、不同业务系统间互联互通性差, 导致线网运力和运量匹配度低, 系统运行协同与设备设施维护难度较大; 检修作业的效率低、成本高, 难以满足更加可靠、经济和智能的运维需求; 车辆运营负荷急剧增加、运行成本高, 亟需实现数据共享, 以提升运能运力。运维中缺少线网级的综合监控系统, 缺少全生产要素数字化覆盖的智能化日常维保和维修作业平台。

解决上述痛点问题和现实需求的关键之一是加强车辆运维管理。本文介绍的基于全要素、全过程数据融合的城市轨道交通车辆智能运维系统是实现车辆运维高效管理的技术手段之一。

## 1 总体设计

### 1.1 系统概述

围绕国家战略、聚焦行业需求, 依托物联网、大数据和人工智能等新技术手段, 突破城市轨道交通车辆多元异构数据融合集成技术、车辆健康诊断技术, 构建基于全过程、全要素数据融合应用的城市轨道交通车辆智能运维系统, 打造集车辆、轨旁、场段、检修和总控等多功能于一体的智能运维平台, 推动构建数字化、网络化、智能化城市轨道交通运维服务新模式。该系统的总体设计如图 1 所示。

### 1.2 功能定位

该系统基于新一代信息技术应用, 实现车辆专业设备的状态监测、特征提取、状态评估、故障诊断、故障预测、维修模式优化和维修决策等智能化应用功能, 构建集合车辆、轨旁等与行车安全密切相关的多专业智能运维系统, 达到多专业数据统一采集、数据综合监视、故障联动分析、数据统计分析

我国城市轨道交通在快速发展过程中也面临

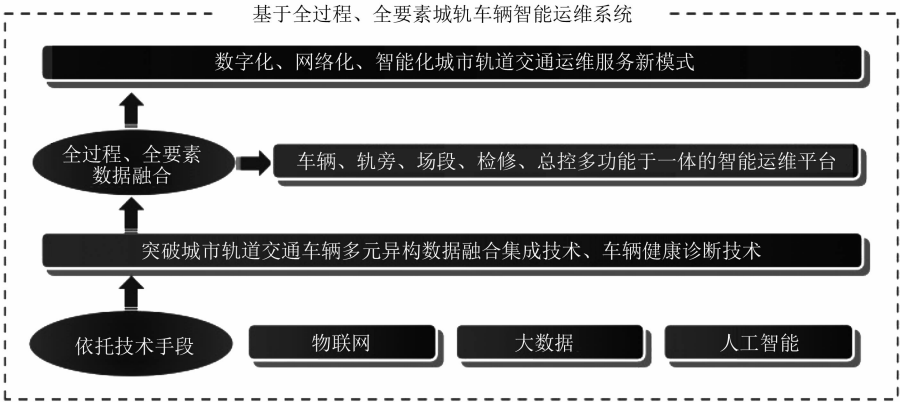


Fig. 1 Integrated design of intelligent operation and maintenance system for urban rail transit vehicles

及数据综合展示的目的。进而实现降低维修保障费用,降低设备运行期间因故障引起的风险,缩短设备全生命周期维修时间,提高设备可用性,保障运营安全。

1.3 业务场景

该系统整体覆盖城市轨道交通车辆智能运维的全过程和业务场景。依托车地无线传输、云平台、大数据挖掘和智能检修设备,围绕“智慧列车、智慧监测、智慧检修”构建车辆健康管理、轨旁智能检测、车辆检修管理、智能场段管理和智能总控中

心五大系统应用,实现车辆实时运行状态监测,结合运行监控与故障预测实现健康管理。同时,将故障诊断报警、故障趋势预测信息与部件全寿命状态维修管理数据、场段的车辆运用调度数据贯通联动,实现检修运维服务网络与产品运行状态精准协同,提升智能化服务质量和效率。最终所有信息和数据统一汇聚至智能总控中心进行统一监控、调度和管理,实现整个智能运维场景的数据闭环。该系统业务场景设计如图 2 所示。

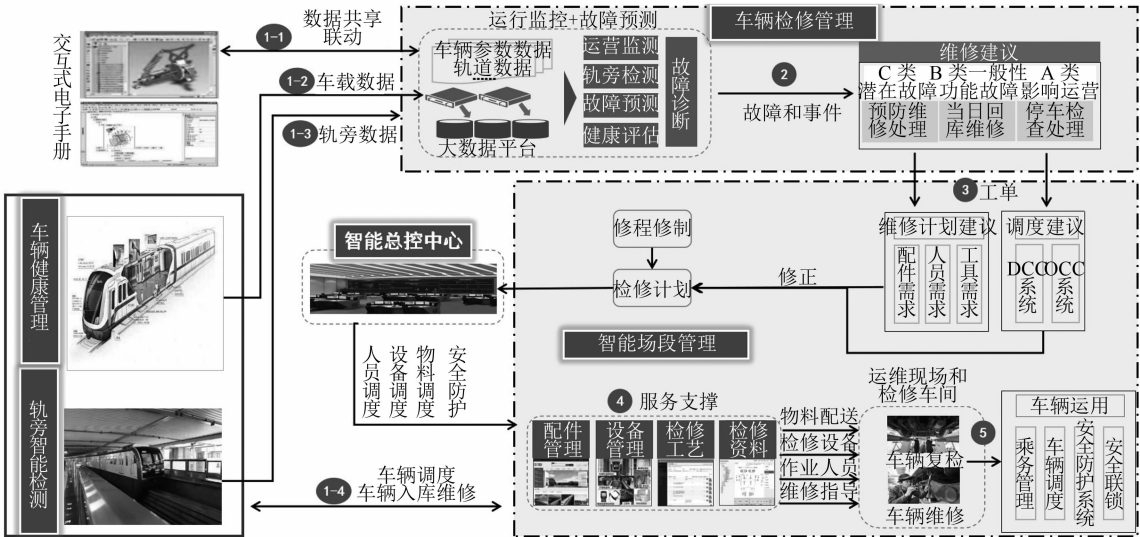


图 2 城市轨道交通车辆智能运维系统业务场景设计

Fig. 2 Business scenario design of intelligent operation and maintenance system for urban rail transit vehicles

2 技术架构

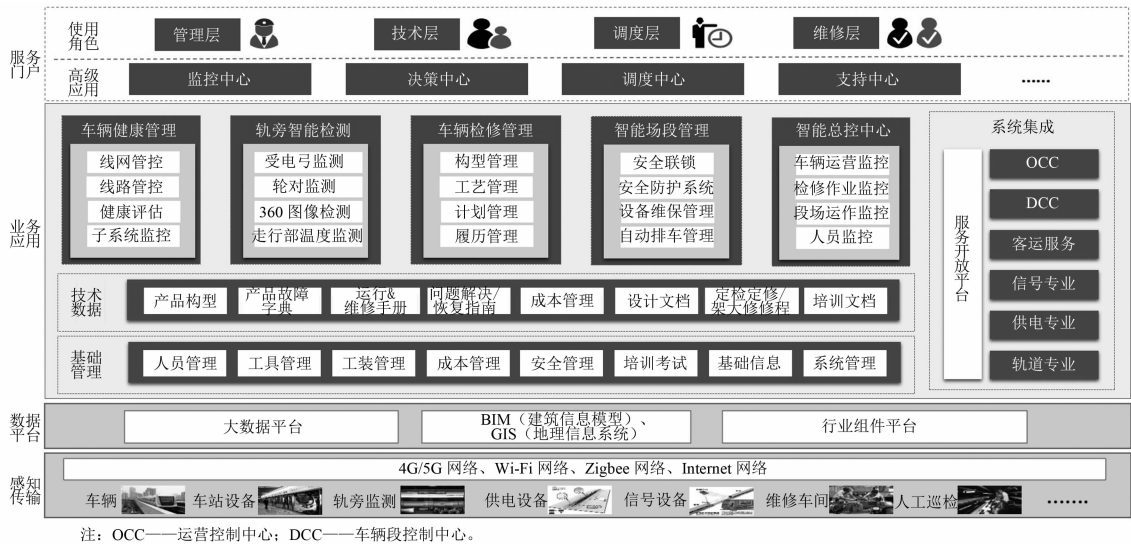
传统信息集成平台能够满足日常业务的处理要求,但伴随全过程、全要素车载、轨旁等设备监测

数据以及管理数据的指数级增长,传统信息集成平台的网络传输能力、数据存储能力、数据处理能力、数据交换能力、数据展现能力以及数据互动能力都已无法满足大数据时代的要求<sup>[2]</sup>。城市轨道交通

车辆智能运维系统升级与数据融通应用的关键在于打破各专业系统间的壁垒。

本文提出的基于全过程、全要素的城市轨道交通车辆智能运维系统,基于实际运维业务场景的数字化、网络化和智能化需求,其总体设计思路为:①基于先进的物联网技术,实现车辆、轨旁等设备的物联接入,使设备具有自动感知能力;②采用工业互联网平台四层体系架构<sup>[3]</sup>,选取先进的大数据应用技术作为整体数据管理的基础,构建基于海

量数据采集、汇聚、分析的服务体系,支撑数据资源的泛在连接、弹性供给和高效配置;③基于微服务架构,结合实际应用场景,形成基于统一平台的差异化数据应用服务;④通过服务门户与大屏指挥终端总揽全局,实现跨专业的联动指令。对应数据处理过程中采集、存储、计算和应用四个阶段,将整个平台划分为感知传输层、数据平台层、业务应用层和服务门户层。该系统的技术架构如图 3 所示。



注：OCC——运营控制中心；DCC——车辆段控制中心。

图 3 城市轨道交通车辆智能运维系统技术架构设计

Fig. 3 Technical architecture design of intelligent operation and maintenance system for urban rail transit vehicles

1) 感知传输层:是整个系统的基础及输入,重点包括各专业设备状态数据接入以及运营线路沿线的气象信息接入。在各专业设备状态数据接入方面,重点将车辆、车站设备、轨旁、供电、信号等当前状态信息数据通过车地无线传输系统收集并分类汇总至线路级中转服务,结合一车一协议归集至线网级的统一管控平台,进行监控分析。在运营线路沿线的气象信息接入方面,重点定位数据获取范围,对接气象系统或线路系统,提供 Webservice 数据接口,实现环境温度、湿度和风沙等数据自动接入;对于如气象或地质灾害等信息,定位数据获取项点,基于网络爬虫技术抓取,补充系统对接数据的不足。基于统一标准化接口服务,能够与各合作厂家的系统进行数据共享与交互。

2) 数据平台层:同时将大数据、互联网和人工智能等新技术与车辆运维服务相融合,通过数据驱动、边云协同,构建更精准、实时、高效的数据采集

体系,建设包括存储、集成、访问、分析和管理等功能的平台应用。

3) 业务应用层:在业务应用层,结合场景,以工业 APP 的形式为业务提供支撑;最终在上层面向不同角色形成车辆运维服务新模式。

4) 服务门户层:这是数字化建设的最终目的。通过引入可视化技术,将数据融合分析应用的结果形象地展示给用户,方便用户理解和接受,引导用户逐步进行分析,辅助用户进行运营决策。

3 功能应用

结合业务场景,整体解决方案的核心围绕车辆健康管理、轨旁智能检测、车辆检修管理、智能场段管理和智能总控中心五个方面进行落地。

3.1 车辆健康管理

重点实现系统关键部件以及车辆的健康评估与管理功能,通过数据关联整合,分层分级构建线路监控和线网管控系统。主要包括线网管控、线路

监控、列车监控和系统监控。根据列车正线故障、历史故障、模型结果、列车载重和运行状态等数据,利用大数据分析和挖掘技术构建合理的健康评估指标和人工智能分析模型,实现对关键部件以及车辆的健康评估与管理功能。同时通过数据关联、整合,分层分级构建线路监控和线网管控系统,展示单条线路或全网线路的列车状态、列车位置、配属统计和当日投运等信息。在列车监控方面,基于整车级车载智能运维主机,实现车辆的走行部、牵引/辅助系统、制动、车门系统和蓄电池等关键子系统在线故障检测和状态评估。通过 5G/4G 或库内 Wi-Fi,实现云端的监测数据库建立、状态资料查询和特征对比等扩展功能,满足数据共

享需求。

### 3.2 轨旁智能检测

重点是将车辆物理外观类故障等“直观”故障现象,通过视频图像分析处理方式进行检测和标记,提高巡检效率和识别报警的准确率;通过在车辆段、正线和轨旁合理配置安装基于红外线、激光和线阵相机等传感技术的检测装置,实现对车辆的受电弓检测、轮对检测(磨耗件尺寸)、360°图像检测(外表故障)和走行部温度检测等,及时发现车辆故障、缺陷及问题。同时可同步向相应的轨旁设备提供车辆运行状态信息,实现关联系统的相互联动,以便运维方及时采取故障处置措施。轨旁智能检测系统如图 4 所示。

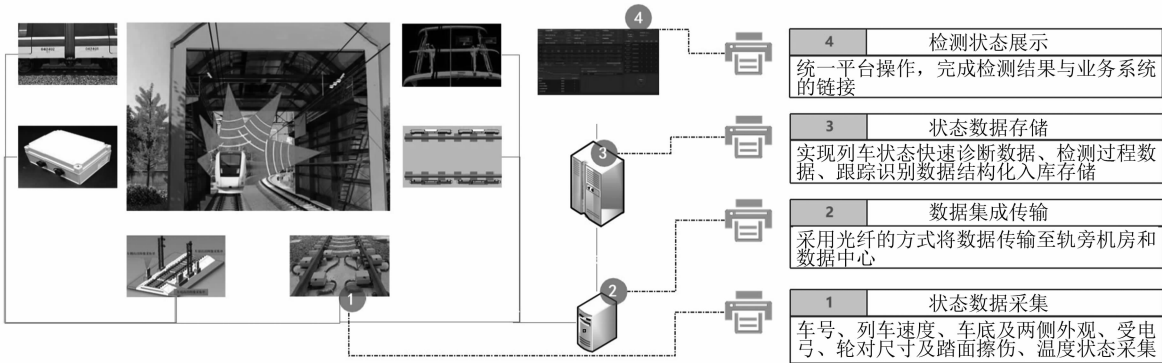


图 4 轨旁智能检测系统设计

Fig. 4 Trackside intelligent detection system design

### 3.3 车辆检修管理

重点是综合智能运维模式下的多专业融合与协同,通过故障管理与检修管理的精准匹配,快速发现故障点,准确判别故障原因,及时采取处置措施。基于标准化修程工艺、有限计划排产、智能装备、物料预测与推送和自动检测设备,搭建基于“人、机、料、法、环、测”全生产要素数字化覆盖的智能化车辆日常维保和维修作业系统。将车辆健康管理与全生命周期数据应用有效贯通,将供应链服务网络与车辆运行状态精准协同。当车辆发生故障或者预测到即将发生故障时触发工单、操作规程和物料等业务流程,确保备品备件、制造和物流等各环节有效协同响应。在提升作业效率与设备可靠性的同时降低运维成本,实现运维场景的智能化闭环。车辆检修管理系统设计如图 5 所示。

### 3.4 智能场段管理

重点是基于数字孪生等技术应用,实现运转可控、轨迹可循和状态可查。主要包括安全联锁、自

动排车、设备维保和安全防护。通过场段数字孪生技术实现运转可控、轨迹可循、状态可查和信息可见;通过情景交融、数据共享助力精准决策。

1) 安全联锁:通过远程集中逻辑控制各子系统,实现隔离开关分合操作、接触网验电接地操作和平台门开关操作之间的紧密联锁关系。

2) 列车运用管理:综合考虑车辆里程梯度、检修状态、回段需求和检修计划等多方面因素,自动完成收发车计划安排,实现数字化管理。

3) 设备维保:实现列车关键设备的选型、购置、安装、操作使用、维护修理和处置等集成管理。

4) 安全防护:安全区域固定,设置报警检测设备,用于检测入侵报警和异常作业等。

### 3.5 智能总控中心

重点是借助综合运维调度指挥中心等实现信息共享和高效指挥,确保线路正常运营,同时实现业务的扁平化管理与资源优化配置。在共享数据平台基础上,进一步完善全过程、全要素数据的收

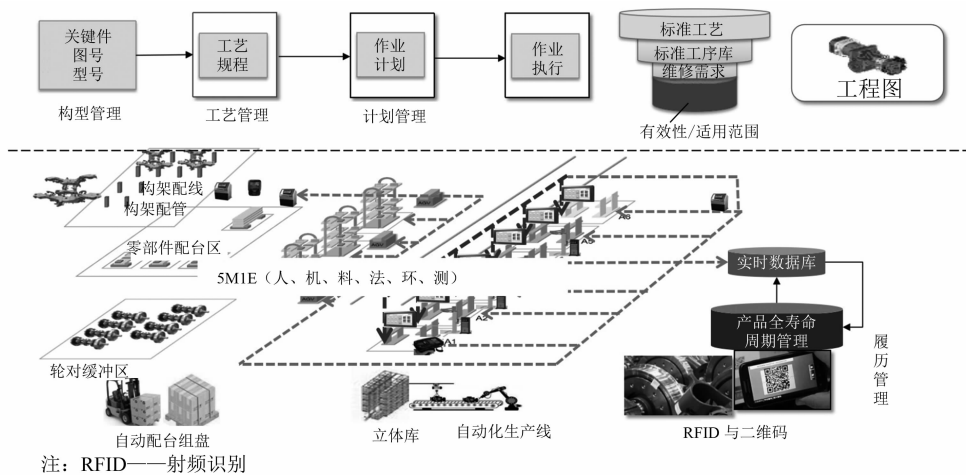


图 5 车辆检修管理系统设计

Fig. 5 Vehicle inspection and repair management system design

集、分析、监控,以及统一管理和统一调度。通过多专业协同联动控制以及线路智能综合调度应用,建

立城市轨道交通车辆智能运输组织辅助决策系统。智能总控中心系统设计如图 6 所示。

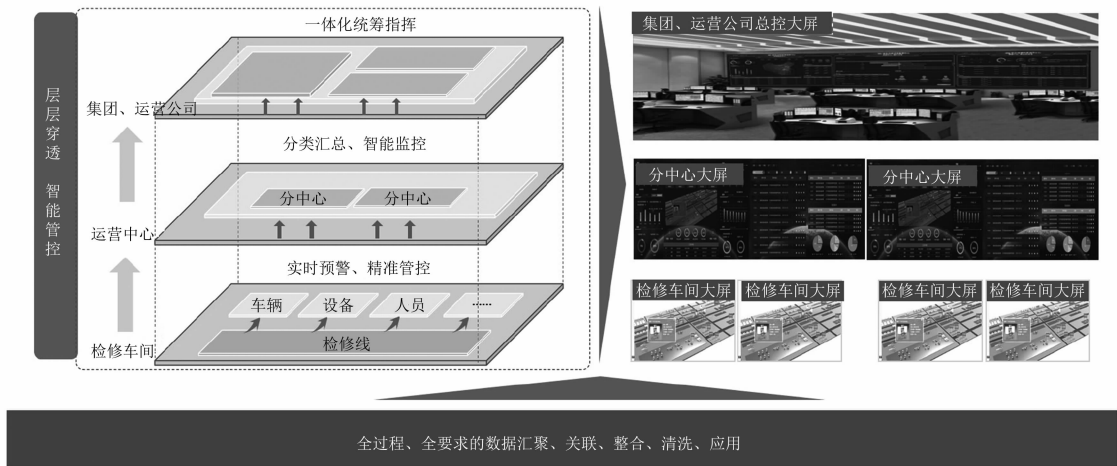


图 6 智能总控中心系统设计

Fig. 6 System design of intelligent general control center

## 4 应用价值

1) 提升车辆的安全性、可靠性和可用性。经综合评估与应用验证,基于大数据与智能算法的车辆健康管理系统能够极大提高关键部件的故障诊断和故障预测能力。实现对车辆运用状态的精准掌控、在线车辆的交互式应急处置以及列车全生命周期状态监测与评估。

2) 提升检修效率,降低运维成本。根据状态维修数据对检修计划、检修执行、检修履历、人员和物资进行综合管理。当修程范围覆盖 60% 以上的人工目检作业,同时减少 30% 以上的人工检查工时,可提高列车运营质量,降低备品备件库存数量,减

少维修成本。

3) 助力运维模式转型升级。依托工业互联网、大数据和人工智能等新技术手段,实现车辆、轨旁和检修服务等数据信息融合,助推车辆运维模式、运维手段、运维技术和运维管理的全面提升。

4) 推动数据深度融合应用。打破传统烟囱式的系统建设架构,基于云边协同的工业互联网平台新模式,实现系统架构弹性扩展和资源动态平衡;基于云化和微服务模式,实现数据与应用分离,突破性能瓶颈,建立全面的能力开放体系,支撑产业生态化发展。

## 5 结语

智能运维是建立在智能制造和工业互联网基础上的新兴的技术发展趋势,是助力城市轨道交通发展,实现高效、经济、可靠、安全运行的有力保障体系<sup>[4]</sup>。尽管业界对于智能运维的价值已形成普遍共识,但其落地应用还处于起步阶段,未来还有很长的路要走。在这个进程当中,需要城市轨道交通运营公司、主机设备厂家和系统供应商,以及数据和平台供应商共同努力和携手并进,共建智能运维生态圈,共享城市轨道交通运维的“蓝海”市场,推动“智慧地铁”建设目标的全面实现。

## 参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通 2020 年度统计和分析报告[R]. 北京:中国城市轨道交通协会,2021.  
China Association of Metros. Annual statistics and analytical re-

port of China urban rail transit in 2020[R]. Beijing:China Association of Metros,2021.

- [2] 张德刚,张德海,吴毅,等. 面向大数据分析的企业信息化解决方案研究[J]. 电力信息与通信技术,2014(9):11.  
ZHANG Degang,ZHANG Dehai,WU Yi,et al. Research on big data analysis oriented enterprise informatization solution[J]. Electric Power Information and Communication Technology,2014(9):11.
- [3] 孟小峰,慈祥. 大数据管理:概念、技术与挑战[J]. 计算机研究与发展,2013(1):146.  
MENG Xiaofeng,Ci Xiang. Big data management: concepts, techniques and challenges[J]. Journal of Computer Research and Development,2013(1):146.
- [4] 刘丙林,朱佳,李翔宇. 城市轨道交通车辆智能运维系统探索与研究[J]. 现代城市轨道交通,2019(6):16.  
LIU Binglin,ZHU Jia,LI Xiangyu. Exploration and research on intelligent operation and maintenance system of urban rail transit vehicles[J]. Modern Urban Rail Transit,2019(6):16.

(收稿日期:2021-11-10)

(上接第 209 页)

## 5 结语

目前应用第三轨的地铁线路逐渐增多,在进行车辆及牵引系统设计联络时,应充分了解线路条件及用户需求,根据实际情况设计主电路及箱体。在地面试验阶段,应模拟线路遇到的各种工况,完善相关功能,提前做好充分准备,避免在装车试验和初期运营阶段遇到问题后反复调试。

本文以牵引系统为对象,对第三轨受流下无电区检测及控制方法、检修线可采用的几种受流方式、洗车模式控制进行了详细对比分析。并以青岛地铁 11 号线为应用案例进行了相关试验验证。

## 参考文献

- [1] 林浩,程永谊,曹俊. 第三轨供电列车高压母线电路拓扑结构设计探讨[J]. 机车电传动,2013(2):91.  
LIN Hao,CHENG Yongyi,CAO Jun. Analysis of train bus circuit topology for vehicles with third rail power supply[J]. Electric Drive for Locomotives,2013(2):91.

- [2] 蒋晓东,夏鸿飞. 采用 1 500 V 第三轨受流的地铁车辆在车辆段的受流模式分析[J]. 机车电传动,2010(4):55.  
JIANG Xiaodong,XIA Hongfei. Analysis of current collection patterns in the depot of metro vehicles with 1 500 V third rail supply system[J]. Electric Drive for Locomotives,2010(4):55.
- [3] 熊哲辉. 深圳地铁 3 号线车辆在接触轨和滑触线供电方式下的应用[J]. 铁道机车车辆,2013(6):77.  
XIONG Zhehui. Vehicle application of Shenzhen Metro Line No.3 under the contact rail and the sliding contact line power supply mode[J]. Railway Locomotive & Car,2013(6):77.
- [4] 宁小辉,张思婉. 深圳地铁 3 号线滑触线安全控制创新研究[J]. 科技视界,2017(10):168.  
NING Xiaohui,ZHANG Siwan. Research on safety control innovation of sliding contact line of Shenzhen Metro Line 3[J]. Science & Technology Vision,2017(10):168.
- [5] 程晋然,朱丽娇. 第三轨地铁供电系统直流冲击特性与继电配合[J]. 机车电传动,2019(7):116.  
CHENG Jinran,ZHU Lijiao. DC impact characteristics of third rail metro power supply system and its relay protection coordination[J]. Electric Drive for Locomotives,2019(7):116.

(收稿日期:2020-08-25)