

城市轨道交通车辆智能运维系统的建设方案^{*}郭泽阔¹ 贺莉娜² 王 璐¹

(1. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 100037, 北京;

2. 北京市轨道交通运营管理有限公司, 100068, 北京 // 第一作者, 正高级工程师)

摘 要 车辆智能运维是城市轨道交通智能运维的重点内容之一。结合国内多个城市的车辆智能运维建设经验,从车辆智能运维系统的建设目标出发,提出了车辆智能运维系统建设的 3 个阶段,即规范化运维、信息化运维及智能化运维。对车辆智能运维系统的建设要点进行了分析,梳理了车辆智能运维系统与线网智能运维系统的关系,提出车辆智能运维系统的关键技术。

关键词 城市轨道交通车辆; 智能运维系统; 建设方案

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.06.034

Construction Scheme of Urban Rail Transit Vehicle Intelligent Operation and Maintenance System

GUO Zekuo, HE Li'na, WANG Lu

Abstract Vehicle intelligent operation and maintenance is one of the key contents of intelligent urban rail transit O&M (operation and maintenance). With the construction experience of vehicle intelligent O&M in many domestic cities, starting from the construction goals of vehicle intelligent O&M system, three stages of vehicle intelligent O&M system construction are innovatively put forward, which is O&M standardization, informatization and intelligentization. Key points of vehicle intelligent O&M system construction are analyzed, and the relationship between the vehicle and line network intelligent O&M systems is sorted. Key technologies of vehicle intelligent O&M system are proposed.

Key words urban rail transit vehicle; intelligent operation and maintenance system; construction scheme

First-author's address Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., 100037, Beijing, China

基于目前行业内并无车辆智能运维相关标准,亦无公认的关于车辆智能运维的定义,本文初步提出城市轨道交通车辆智能运维的概念。车辆智能

运维,即采用预设点位的传感器、图像、生物特征识别等信息采集手段,通过车载 LTE(长期演进)、物联网、工业互联网等传输技术,将车辆运行及维护状态数据实时在线传输到车辆段控制中心,利用统计分析、大数据挖掘、AI(人工智能)学习等技术,实现车辆运维的人、物、作业流程的综合决策和智能化管理。车辆智能运维是实现车辆状态修的必要手段。

1 国内典型城市车辆智能运维应用现状

1.1 北京车辆智能运维应用现状

北京车辆智能运维的探索可以追溯到 20 世纪初。2001 年北京地铁统一采用物资部的采购-资产-库存管理系统,实现了在线材料领用和采购申请;2005 年完成了车辆碎修业务信息汇总,但并未对车辆的整体维修信息进行汇总统计;2008 年使用运营生产管理系统,记录人员请假、交接班、会议管理、设备巡检及学习演练等;2013 年在北京地铁 6 号线五里桥车辆段上线检修防误系统,实现了月检/列检人员实时防护;2014 年在部分地铁线路上使用车辆检修手持记录仪;2017 年在北京燕房线车辆段配置车辆及设备巡检系统,在北京地铁 7 号线三期车辆段配置检修智能管控系统;2019 年北京大兴国际机场线依托北京市科技重大专项“基于大数据的智能化车辆基地管控系统关键技术研究与应用”,将车辆段智能运维系统业务扩展为包括车辆大架修、轨道车维护在内的全业务覆盖,创新性地部署物联网的应用,积极探索检修设备基础数据的深度互联互通,为大数据应用分析奠定基础。北京大兴国际机场线更加重视数据的安全性,在磁各庄车辆段搭建稳定性、安全性强的主备双活数据中心。未来北京新建地铁线路车辆段将全部应用智能运维管理

^{*} 北京市科技重大专项(D171100008117001)

系统。

北京地铁车辆智能运维系统为“3+1”体系框架^[1]。其中,3 个平台包括车辆 TCMS(列车控制与管理系统)监测平台、车辆走行部监测平台及车辆能耗管理平台,1 个系统为现场检修信息管理系统。3 个平台涵盖车辆 80% 的关键信息,包括列车走行部监测数据、轨旁设备监测数据、列车 TCMS 数据、车载能耗计量数据等信息。车辆维修员工手持巡检 PAD(平板电脑)记录巡检点位、检测数据报表、拍摄故障图像、记录故障修复工时,以及记录部件更换和库存信息等生产数据,并对其进行管理。

1.2 上海车辆智能运维应用现状

国家发展与改革委员会于 2019 年 1 月批复了上海申通地铁集团有限公司的智能运维系统为国家示范工程,并将城市轨道交通智能运维列为《增强制造业核心竞争力三年行动计划(2018—2020 年)》项目之一。

上海轨道交通车辆智能运维系统包括车联网系统、轨旁车辆综合检测系统、车辆维护轨迹系统等 3 大组块^[2]。车联网系统实时监控列车状态并利用大数据技术进行数据处理,涵盖列车 95% 的子

系统关键参数,包括各系统信号、信息达 4 000 余项。轨旁车辆检测系统实现列车不停车自动检测,覆盖不低于 60% 的人工目视检查作业和 100% 轮对尺寸测量作业,通过机器视觉、先进传感、人工智能等技术提高车辆关键部件的检测频率,延长人工检查周期。车辆维护轨迹系统可将人工作业的各个业务过程数字化、信息化,例如,该系统可将检修工单、工具使用、物料流转等信息提供给各环节工作人员,使决策层做出有利于生产要素组合优化的决策,使资源合理配置,达到最大经济效益。

上海轨道交通车辆智能运维系统(见图 1)从 17 号线正式上线应用,到 2021 年底已覆盖上海轨道交通全线网 20 条线路、1 400 余列车及 30 个检修基地。17 号线车辆检修由日检演变为 8 日检,人车比由 0.60 减为 0.33,同时保持着高水平的运营质量水平。2018 年 17 号线列车无运营故障间隔里程超过 10 万 km,相比新线开通首年的运营水平提升 63.7%。车辆智能运维系统延长检修间隔使列车不回库检修成为可能,未来检修基地可缓建或减少占地面积。

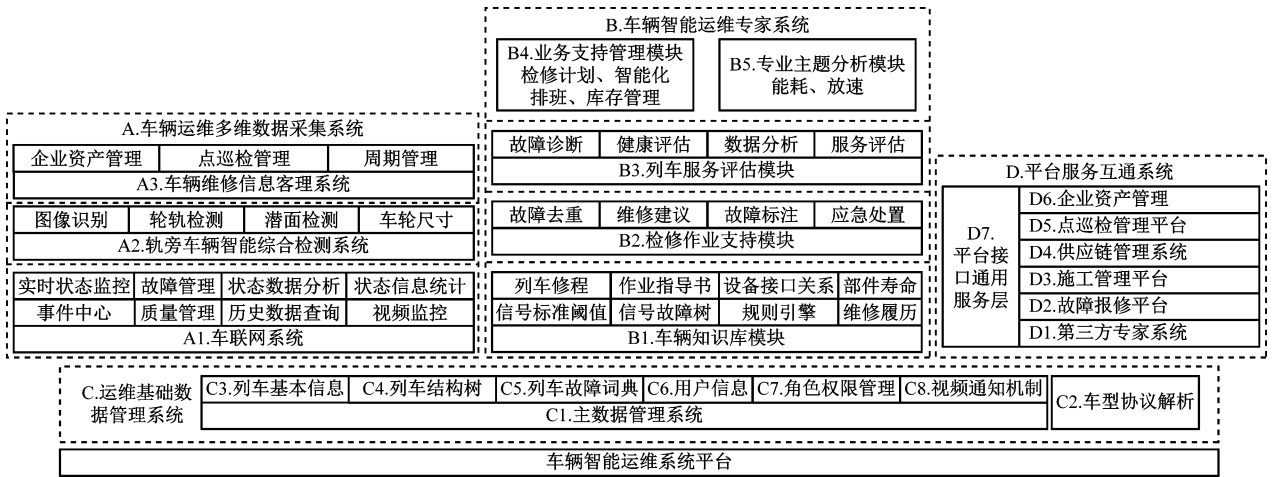


图 1 上海轨道交通车辆智能运维系统平台

Fig. 1 Shanghai rail transit vehicle intelligent O&M system platform

2 车辆智能运维系统的建设意义

目前,国内大多数城市都在探索地铁车辆智能运维系统的建设问题,各轨道交通配套的供货厂商也在大力推广车辆智能运维系统。事实上很多城市对此并未有明确目标,未分析清楚车辆智能运维系统需要解决的问题,亦未明确车辆智能运维系统

的顶层目标和基本架构,仅是应用一些热门设备,如车辆入库 360° 照相分析系统、智能列检机器人、车辆入库综合检测系统、车辆走行部在线检测等,而各设备数据协议不统一导致数据难以融合,致使采集到的设备大数据无法发挥其真正作用,这并不是真正的车辆智能运维系统。

车辆智能运维系统建设的最终目标是实现车

辆检修从计划修到状态修。本文以车辆智能运维系统在上海轨道交通中的应用背景分析其建设意义。

截至 2018 年底,上海轨道交通线路已通车运营 17 条线路,总里程达 705 km,配属列车 856 列、地铁车辆 5 116 辆,车型有 41 种之多。2018 年上海轨道交通车辆检修员工成本达 7.5 亿元。随着车辆服役时间的增长以及配属列车的增加,检修任务量日趋增长,而传统计划修和人工检查效率低、成本高,不是可持续发展的方式。车辆传统检修模式中还有着如下问题:

- 1) 人员安全管理问题:依赖规则制度,技术保障措施有限;
- 2) 检修工艺问题:以人工经验管理为主,有一定随意性;
- 3) 车辆履历管理问题:纸质记录,追溯、共享有难度;
- 4) 检修设备管理问题:信息化程度低,依赖厂家售后服务,成本高,效率低;
- 5) 数据中心管理问题:数据孤岛,数据不全,纸质文件多,信息检索不便;
- 6) 车辆故障诊断:现场诊断,检修人员以经验为主,存在技术瓶颈;
- 7) 人员培训:采用传帮带模式,教材单一,对大规模新线通车以及新技术、新车型的应用有欠缺;
- 8) 状态判定:依据各个系统和人工检测判定车辆状态,以人工经验为主;
- 9) 集中管理:控制中心无法实时了解各车辆段维修情况,各车辆段数据资源及检修经验不能共享。

车辆智能运维系统建设的主要目的在于减少运营故障、缩小运营影响、降低故障等级、确保运营安全。针对超大体量的城市轨道交通网络,车辆智能运维系统可有效减少人工作业,降低劳动强度、减少人为影响,提升作业智能化程度。具体包括:

- 1) 解决上述管理现状中存在的问题;
- 2) 减少车辆故障的事后抢修,将其变为预判性维修;
- 3) 降低车辆日检工作量,逐步延长车辆日检周期,最终取消车辆日检;
- 4) 实现检修人员的减员;
- 5) 将车辆运用、检修规范化,使检修质量得到保障;
- 6) 车辆检修与物资管理联动,实现车辆配件及

时供给,降低物资库存、公司资金压力;

- 7) 提高车辆发车率;
- 8) 实现车辆状态修。

3 地铁车辆智能运维系统建设

地铁车辆智能运维系统是庞大而复杂的系统工程,国内各城市车辆智能运维系统的建设需结合自身运维模式、运维中存在的问题、管理平台的建设等,循序渐进地研究适应于自身的车辆智能运维系统。总结北京和上海地铁车辆智能运维系统的建设经验,认为车辆智能运维系统建设在顶层目标和总体架构下分为规范化运维、信息化运维、智能化运维等 3 个阶段。

3.1 规范化运维

规范化运维是车辆智能运维系统建设的第 1 个阶段,是实现智能运维的基础。国内大多数城市地铁车辆运维采用传统的人工检修模式,检修人员需按照规章制度及工艺流程对车辆进行计划性维修保养。目前,车辆运维存在实际检修工艺执行不到位、管理不闭环、纸质记录追溯困难等弊病。因此,通过搭建一套规范化的车辆智能运维系统,可实现对现场检修维护相关人员等的实时跟踪指导与防护。现场检修人员通过手持设备实时传送作业单以完成每一步检修工作,并反馈接收下一步检修工作任务。车辆智能运维系统的规范化建设包括车辆智能检修管理系统(见图 2)和检修安全防护系统^[1]两套系统。在建设车辆智能检修管理系统的同时,着手搭建车辆智能运维系统的总控平台,预留系统扩展的接口,规定好各检测系统、工艺设备的数据接口形式。

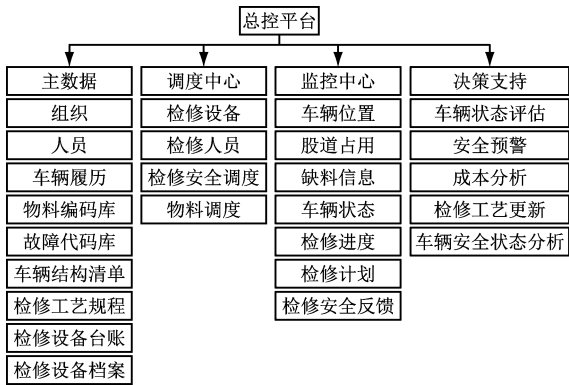


图 2 车辆智能检修管理系统构架图

Fig. 2 Architecture diagram of vehicle intelligent maintenance management system

3.2 信息化运维

信息化运维是车辆智能运维系统建设的第 2 个阶段,是目前北京和上海轨道交通基本实现的运维模式。通过车载 TCMS、车辆入库综合检测系统、车辆走行部检测,以及检修管理系统采集到数据,并

将其传输到数据终端和云平台,实现车辆维修的信息化,及其与公司物资管理系统的联动。信息化运维系统(见图 3)基本具备车辆智能运维的硬件配置,并可将其接入到线网的智能运维系统中^[3]。

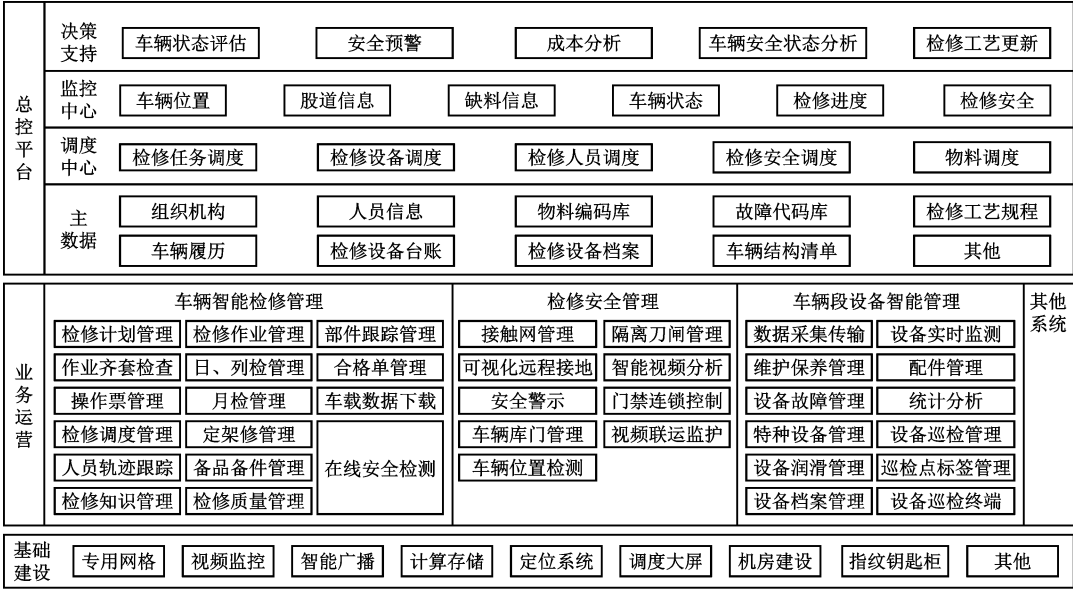


图 3 信息化运维系统构架图
Fig. 3 Architecture diagram of informatization O&M system

3.3 智能化运维

智能化运维的本质是状态修,状态修是智能运维的最终目标。在信息化运维的大数据采集和积累的基础上,通过大数据挖掘和 AI 技术,建立车辆状态评价模型,预判车辆的状态,实现车辆状态修。通过大数据挖掘建立专家库,在车辆发生故障时,车辆智能运维系统(见图 4)可实时推送处理方案^[4]给检修人员。

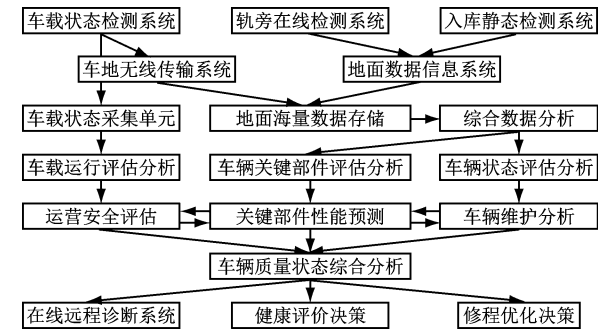


图 4 车辆智能化运维系统构架图
Fig. 4 Architecture diagram of vehicle intelligentiza-tion O&M system

4 地铁车辆智能运维系统的建设要点

车辆智能运维系统总体架构如图 5 所示。

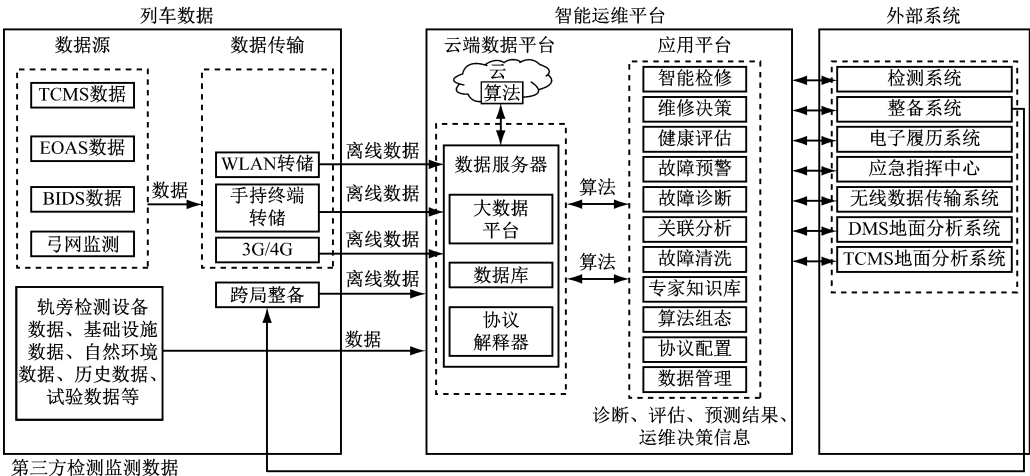
4.1 分布实施建设原则

车辆智能运维系统由上百个管理系统、工艺设备、数据采集系统等组成。各系统和设备可自成系统独立运行,又可在大系统下协调运行。在车辆智能运维系统建设中,业主需要遵循如下原则:

- 1) 接口标准化:通过平台接口统一写入子系统运行结果,并在建设初期规定好各子系统遵循的接口协议,方便后期数据融合。
- 2) 业务可插拔:子系统采用可插拔模式,系统功能具备可扩展性。
- 3) 系统松耦合:各业务系统可自成体系独立运行,也可在大系统下协调运行。
- 4) 流程化管理:以车辆运维作业流程为导向,对其全过程进行实时防护和信息化处理。

4.2 车辆智能运维系统与线网智能运维系统的关系

每条城市轨道交通线路均各自形成横向线路



注:EOAS 为司机操控信息分析系统;BIDS 为转向架失稳检测系统;DMS 为列控设备动态监测系统;WLAN 为无线局域网;3G 为第 3 代移动通信技术;4G 为第 4 代移动通信技术。

图 5 车辆智能运维系统总体构架

Fig. 5 Overall architecture of vehicle intelligent O&M system

级的智能运维系统,包括车辆、机电、信号等系统。不同专业子系统构成纵向的专业级系统。就车辆而言,多条线路的运营车辆一般共用多个检修中心,每个检修中心负责检修的车辆、车辆入库位置、检修人员均不固定,以及多线、多库调度复杂导致检修计划难以制定;车型众多、配件繁多、修程及检修内容不统一等导致车辆精细化管理和信息化程度不足;物资管理颗粒度大,以及生产、检修履历信息化程度低导致物流工作计划性差。因此,车辆智能运维系统只有融入线网智能运维系统,构成综合运维系统总平台(见图 6),才能发挥更大的作用。

运维系统中。这就要求建设者在建设初期理清车辆智能运维系统与线网智能运维系统的关系与接口,做到两者无缝衔接与实时联动。

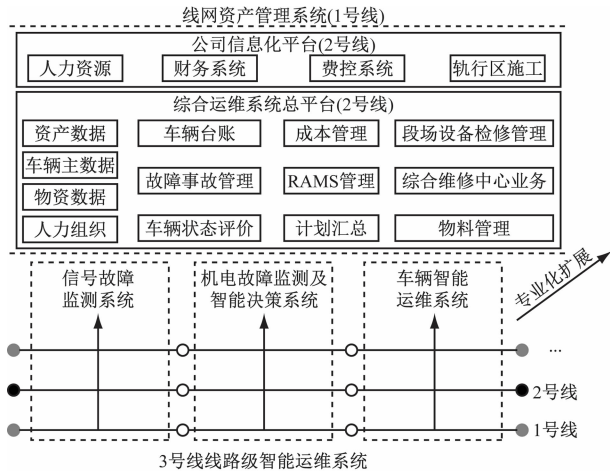
4.3 车辆智能运维系统的关键技术

车辆智能运维是一套庞大而复杂的系统,关键技术如下:

1) 车辆基地综合数据采集及预处理技术^[5]。基于传感器、RFID(射频识别)和定位技术等对车辆运行数据、车辆检修状态数据、终端设备的监测数据,以及重要的自动化设备的监测数据、计量数据、位置数据进行系统化采集和预处理。

2) 车辆基地多网融合技术。基于大数据的智能化车辆基地管控系统将有线网络、无线网络、窄带物联网等 3 张网络的数据融合。不同网络分别承载车辆基地不同业务系统数据的传输,3 张网络数据融合共同构成车辆基地的传输网络,以实现车辆、重要通信设备、重要自动化设备的监测、计量、定位等信息的收集和上传。3 张网络作为传输网络的融合,以及多种网络之间的安全防护措施,为系统安全稳定运行提供支撑。

3) 基于大数据的车辆健康状态评价技术^[6-7]。综合利用多源监测数据,依托车辆状态数据建立自动化采集的评价指标计算模型,从车辆可靠度、关键部件检测参数、寿命预测、缺陷隐患等多维度构建车辆健康评价模型;采用逻辑回归、TOPSIS(综合评价法)、熵权法等算法建立动态权重自适应评价模型,为制定检修计划排程和部件更换提供依据。



注:RAMS 为可靠性、可用性、可维护性和安全性。

图 6 综合运维系统总平台

Fig. 6 Comprehensive O&M system general platform

车辆运维是城市轨道交通运维最重要的环节之一,车辆智能运维系统建设须融入到线网的智能

4) 智能化车辆维修决策模型^[9]。基于现场实时状态数据建立智能化的车辆维修决策模型。车辆维修决策模型通过 FMEA(故障模式影响析)以及报警、故障、异常及运行数据的归集,运用 RCM(以可靠性为中心的维修)分析模型,确定设备维修策略、周期和内容。该模型包含维修策略决策、时机决策及设备维修项目决策。针对故障异常现象和报警信息,采用动态 FTA(故障树分析)定位故障,按零部件寿命周期预警提出需要更换检查的清单,结合设备状态检测结果,提出车辆计划修的检查项目和维修更换内容。

5) 适用于城市轨道交通的专用物联网技术。实时获取机电设备及其他重要设备的信息,为轨道交通大数据积累和分析、轨道交通设备维护策略优化,以及智能应用的发展打好基础。

6) 设备设施监测及故障预警技术。利用多种一体化数字传感器采集多源监测数据,通过窄带物联网系统,实现机电设备,如风机、空调、水泵及其他重要设备运行、监测数据的上传。依托监测设备状态数据,反向判别设备故障类型,多维度进行设备健康评价,构建故障隐患判定模型^[9],为制定检修计划和部件更换提供依据。

5 结语

1) 在 5G 技术、物联网技术、AI 智能技术迅猛发展的背景下,车辆智能运维系统的建设使状态修从诉求变为可能。车辆智能运维是整个地铁运维系统中最重要的一环,但需注意:不能为了“智能”而“智能”,为了状态修而忽略经济性。应在符合车辆零部件寿命一般规律的前提下,结合其寿命与既有修程统筹考虑。车辆智能运维系统的建设不是一蹴而就的,也无法实现“拿来主义”,需要建设者结合自身实际情况,拟定车辆智能运维系统的总体架构,掌握关键技术,循序渐进分步实施、分阶段实现,最终融入地铁线网级别的智能运维中。

2) 做好顶层规划。在设备招标阶段,规定好数据接入类型,对车辆复杂设备配备自身的健康管理系统。

3) 建设方重点建立多专业、多供货商协调工作机制;建立有效的运营需求调研机制,充分挖掘运维一线需求;建立各设备系统统一的数据、接口及故障等级标准。

4) 在顶层目标的统一规划,以及标准数据协议的统一下,产业链上、下游联动,各司其职、形成合

力,共同搭建车辆智能运维系统。

参考文献

- [1] 张唯. 车辆智能运维建设需求与框架设计研究[J]. 现代城市轨道交通, 2019(6):10.
ZHANG Wei. Research on demand and framework design of vehicle intelligent operation and maintenance construction[J]. Modern Urban Rail Transit, 2019(6):10.
- [2] 胡佳琦. 上海市轨道交通车辆智能运维系统研究与应用[J]. 现代城市轨道交通, 2019(7):5.
HU Jiaqi. Research and application of intelligent operation and maintenance system for Shanghai rail transit vehicles[J]. Modern Urban Rail Transit, 2019(7):5.
- [3] 黄亚唯, 彭东亮, 黎志华, 等. 城市轨道交通行车关键设备主动运维系统探索与实践[J]. 现代城市轨道交通, 2019(7):10.
HUANG Yawei, PENG Dongliang, LI Zhihua, et al. Exploration and practice of active operation and maintenance system for key equipment on urban rail transit[J]. Modern Urban Transit, 2019(7):10.
- [4] 吉敏. 基于大数据的专家系统在地铁智能运维方面的应用研究[J]. 计算机产品与流通, 2017(11):74.
JI Min. Research on application of specialist system in metro intelligent operation and maintenance based on big data[J]. Computer Product and Communication, 2017(11):74.
- [5] 余博. 面向运维的城轨列车在途监测若干关键技术研究与应用[D]. 北京:北京交通大学, 2014.
YU Bo. Research and application on key techniques for operation and maintenance oriented urban rail train real-time monitoring[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.
- [6] 陈燕燕. 大数据系统在上海轨道交通车辆运维中的初步应用[J]. 城市轨道交通研究, 2019(7):169.
CHEN Yanyan. Application of big data in the operation and maintenance of Shanghai rail transit vehicles[J]. Urban Mass Transit, 2019(7):169.
- [7] 孙思齐. 面向安全大数据应用的车辆设备健康状态评估及预测研究[D]. 北京:中国铁道科学研究院, 2019.
SUN Siqi. Health condition assessment and prediction of vehicle equipment for the safety big data application[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2019.
- [8] 张成光. 考虑多种维修模式的城市轨道交通关键设备维护检修技术研究[D]. 成都:西南交通大学, 2018.
ZHANG Chengguang. Study on maintenance and overhaul for urban railway system key equipment considering multiple maintenance mode[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.
- [9] 史芸铭. 基于 Petri 网的地铁车辆远程故障诊断系统研究[D]. 北京:北京交通大学, 2017.
SHI Yunming. Research on remote fault diagnosis system of metro vehicle based on Petri net[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.

(收稿日期:2020-04-17)