

# 穗腾操作系统云平台在广州地铁车载主动运维项目中的应用

蔡昌俊<sup>1</sup> 陈希隽<sup>1</sup> 彭有根<sup>1</sup> 叶富智<sup>1</sup> 李 洋<sup>2</sup>

(1. 广州地铁集团有限公司, 510330, 广州;

2. 铁科院(北京)工程咨询有限公司, 100081, 北京//第一作者, 正高级工程师)

**摘要** 目的: 车载主动运维检测技术在城市轨道交通基础设施运维中发挥的作用显著且安全性较高, 检测系统与运维系统间快捷、智能的数据交互平台成为该技术的发展需求之一, 因此需要基于穗腾 OS(操作系统)云平台对其在城市轨道交通车载主动运维项目中的应用进行研究。方法: 设计了广州地铁 11 号线车载主动运维项目的研究路线, 从车载综合数据管控层、车地数据无线传输层及穗腾 OS 云平台分析应用层等方面探讨了车载综合系统的架构和功能, 深入分析了动态检测数据在车载端与车地端的快捷传输, 以及在穗腾 OS 云平台物模型与数据分析组件的设计与应用成果。结果及结论: 车载综合系统自身具备数据智能化感知和传输功能, 结合穗腾 OS 云平台的物联网、大数据、综合分析技术, 可实现车载检测数据的实时车地传输、上云集中处理及云端应用。穗腾 OS 云平台辅助城市轨道交通线路运营人员快速掌握主动运维动态检测中的关键信息和数据分析结果, 为广州地铁 11 号线的运维工作提供有效支持。

**关键词** 城市轨道交通; 车载主动运维; 穗腾操作系统云平台

**中图分类号** TP31: U231. 94

**DOI:**10. 16037/j. 1007 - 869x. 2023. 10. 002

## Application of Suiteng OS Cloud Platform in Guangzhou Metro On-board Proactive Operation-maintenance Project

CAI Changjun, CHEN Xijun, PENG Yougen, YE Fuzhi, LI Yang

**Abstract** Objective: The on-board proactive OM (operation-maintenance) detection technology plays a significant role in urban rail transit infrastructure OM and has high safety level. A fast and intelligent data interaction platform between the detection system and the OM system is one of the development requirements for the technology. Therefore, research on its application in urban rail transit on-board proactive OM project based on the Suiteng OS cloud platform is needed. Method: The research approach for the on-board proactive OM project of

Guangzhou Metro Line 11 is designed. The architecture and functionality of the on-board comprehensive system are explored from the perspectives of on-board integrated data control layer, vehicle-wayside wireless data transmission layer, and Suiteng OS cloud platform analysis application layer. The fast transmission of dynamic detection data between the on-vehicle and vehicle-wayside ends is analyzed in depth. The design and application achievements of the physical model and data analysis components in the Suiteng OS cloud platform are also discussed. Result & Conclusion: The on-board comprehensive system possesses intelligent data perception and transmission functions. By integrating the IoT (internet of things), big data, and comprehensive analysis technologies of the Suiteng OS cloud platform, real-time vehicle-wayside data transmission, cloud-based centralized processing, and cloud-based application for on-board detection data can be achieved. The Suiteng OS cloud platform assists urban rail transit line operators in swiftly grasping key information and data analysis results in proactive OM dynamic detection, thereby providing effective support for the OM work of Guangzhou Metro Line 11.

**Key words** urban rail transit; on-board proactive operation-maintenance; Suiteng OS cloud platform

**First-author's address** Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510330, Guangzhou, China

随着城市轨道交通(以下简称“城轨”)行业的高速发展,车载检测系统在基础设施运维中发挥着越来越重要的作用<sup>[1]</sup>。车载主动运维检测作为一种具有针对性的、预防性的基础设施智能运维技术,相较通常的检修技术具有更高的安全价值。在广州地铁 11 号线(以下简称“11 号线”)车载主动运维项目的设计过程中,需要确定各车载检测系统间采集设备、数据项点及传输方式等方面的联动性,以简化、持久化的方式解决高并发数据的存储

和上云问题;同时需要加强对主动下发至车载设备的指令以及上报数据的同步管理;在现有车载数据网络环境下,需要探索提升检测精度和数据联动性的方法,以优化数据传输效率的途径。

针对上述因素,综合考虑 11 号线列车的运用环境,设计了车载主动运维项目的研究路线,如图 1 所示。在该研究路线的设计中,率先确定了车载主动运维项目的范围和需求,开发了车载综合系统和穗腾 OS(操作系统)云平台,并在实际环境中进行了部署和验收。

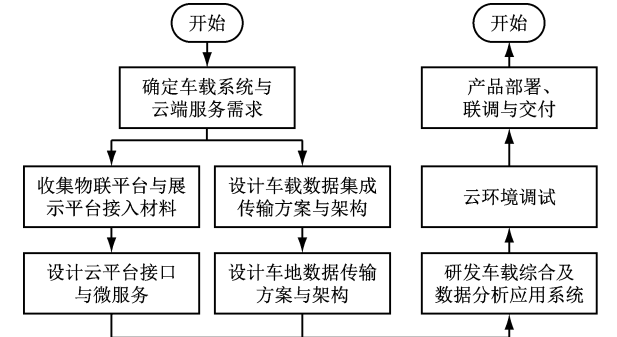


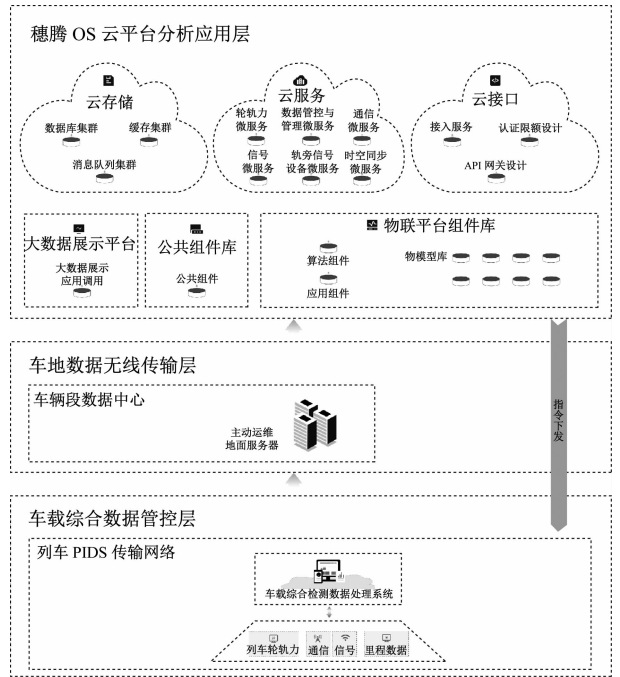
图 1 11 号线车载主动运维项目的研究路线

Fig. 1 Research roadmap of Line 11 on-board proactive OM project

### 1 车载综合系统的设计与实施

在 11 号线车载主动运维项目中设计了车载综合系统。该系统可结合车地 PIDS(旅客信息显示系统)通道和穗腾 OS 云平台,实现对车辆、信号、通信等专业的实时检测、实时传输及上云分析。针对上述功能,设计了由车载综合数据管控层、车地数据无线传输层、穗腾 OS 云平台分析应用层组成的车载综合系统架构,如图 2 所示。其中:车载综合数据管控层感知列车搭载的主动运维设备数据,利用多线程进行数据汇集和预处理,并传输数据至车地 PIDS 网络接入点;车地数据无线传输层涉及 PIDS 网络下的多个无线传输通道,可将主动运维数据输入车辆段的地面服务器;穗腾 OS 云平台分析应用

层利用云端资源,设计运维系统的云接口、微服务、数据库等,结合物联平台达成具有穗腾风格的数据应用效果。



注:API 为应用程序编程接口。

图 2 车载综合系统架构图

Fig. 2 Architecture diagram of on-board comprehensive system

#### 1.1 车载综合数据管控层

11 号线车载主动运维系统包括轮轨力、通信、信号等多个检测子专业。为保证多专业的数据管理,车载综合数据管控层在列车上构建了专有主动运维系统数据网络,该网络具有高度数据集成化和传输实时性的特点。车载主动运维系统车上部分网络拓扑如图 3 所示。其中:通信、信号检测子系统设备分布在列车的 M3(无受电弓的动力车 3)和 Tc1(带司机室的拖车 1)车厢,管控层的车载数据主机和轮轨力检测系统安装在 Tc2(带司机室的拖车 2)上,跨车信息交互通过 PIDS 交换机实现。

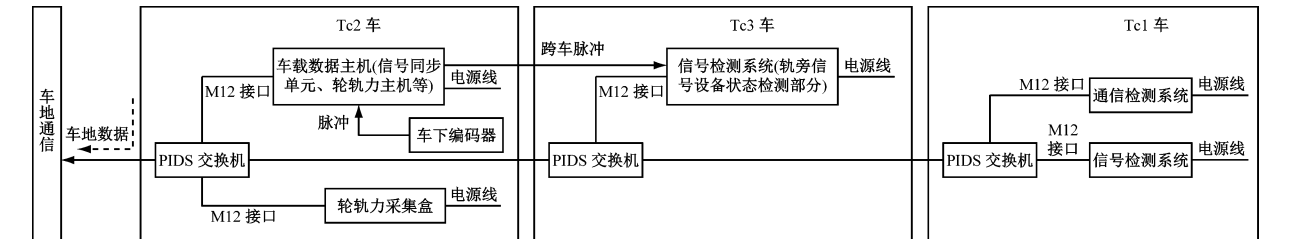


图 3 车载主动运维系统车上部分网络拓扑图

Fig. 3 Vehicle part network topology diagram of the on-board proactive OM system

轮轨力检测子系统主要负责收集轮轨关系数据,如轮轴、轴箱和转向架的垂向力、横向力等,以评估车辆的运行平稳性状态和安全性。通信检测子系统负责对 LTE-M(地铁长期演进系统)、5G(第 5 代移动通信技术)、Wi-Fi 等车载无线通信方式的场强和服务质量性能进行实时监测。信号检测子系统主要针对轨旁信号设备的状态进行巡检,收集设备状态图像和紧固状态点云数据等信息,同时实时监测 ATO(列车自动运行)系统信号状态。

车载综合数据管控层实现了各个主动运维子系统设备数据的汇集接收、解析,以及转发至 PIDS 车地通道接入点的功能。该系统还具备数据预处理功能,可以对原始检测数据进行初步处理,清洗无效数据,以提高后续车载、车地传输及上云效率。此外,为满足不同专业领域的需求,车载综合数据管控层采用模块化和风格兼容性设计,不仅可以根

据实际需求对数据进行扩展和调整数据管理形式,还可以通过现有的穗腾 OS 云平台与各运维系统无缝对接,实现检测数据的高效整合和管理。

### 1.2 车地数据无线传输层

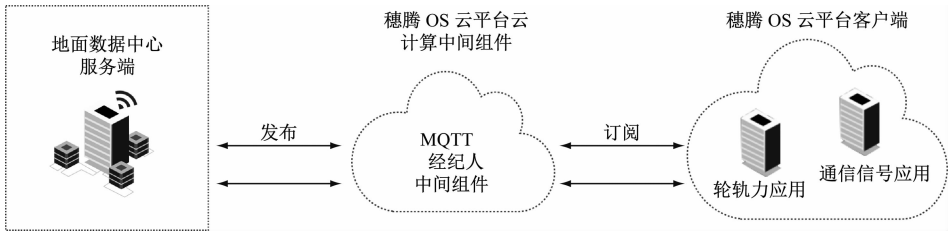


图 4 基于 MQTT 协议的车地传输数据上云原理图

Fig. 4 Principle diagram of vehicle-wayside data transmission onto cloud based on MQTT protocol

HTTP 适用于非结构化数据传输,如高清图片、视频、点云等大型原始检测数据。HTTP 具有通用性、易于实现的特点,适合在非结构化数据车地通信中使用<sup>[3]</sup>。应用层数据需在 HTTP Header(请求头)和 HTTP Body(请求体)中填充,每个 HTTP 请求会发送文件的元数据和文件本身。车载主动运维项目中,可对 HTTP 传输的各类数据进行加密,以规避信息安全风险。车载主动运维项目中的 HTTP 概念如图 5 所示。

车载综合系统利用车地数据传输通道确保车辆数据能够准确、高效的落地,实现车辆、线路(包括车辆段与车站)和云端无缝对接效果。除了传输效率,带宽占用、缓存和断点续传也是需要考虑的问题。

#### 1.2.1 车地数据传输协议

为保证车上检测子系统数据与地面的顺畅交互,车载主动运维项目采用了 MQTT(消息队列遥测传输)协议和 HTTP(超文本传输协议)。

MQTT 协议适用于结构化数据的传输,如轮轨力、通信和信号专业的数值型数据。MQTT 协议的基本格式分为固定报头、可变报头和有效载荷等 3 个部分。其中:有效载荷部分为业务数据,采用 JSON(JavaScript 对象简谱)格式进行封装。为确保检测数据的完整性,车载主动运维项目对 MQTT 消息的 QoS(服务质量)和会话超时时间进行设置,保证消息不丢失、不重复提交。

MQTT 协议具有轻量级、低带宽占用、易移植等优点,适合在车地结构化传输和上云中使

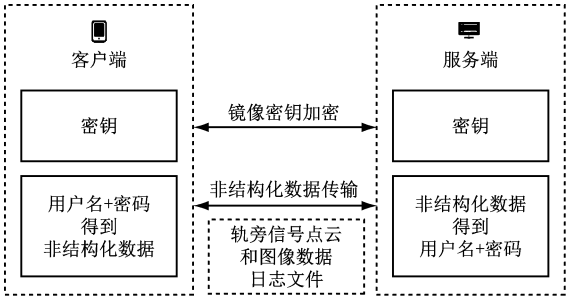


图 5 车载主动运维项目中的 HTTP 概念图

Fig. 5 Concept diagram of HTTP in on-board proactive OM project

车载综合系统分别利用 MQTT 协议和 HTTP 传输结构化和非结构化的数据,实现了车地间数据的高效、可靠传输,并为落地后数据的快速上云提供便利。

1.2.2 车地分级传输方案

为提升车载主动运维数据的时效性和安全性,广州地铁要求车载综合系统在车辆行车时需将问题信息实时上报至穗腾 OS 云平台,以方便工作人员更快速掌握和定位问题,并做出处理决策。

11 号线 PIDS 车地传输通道具有一定的带宽余量,利用此余量进行数据实时传输不仅能满足时效性和安全性需求,也能缓解地面传输的压力,缩短车辆回库到下电的时间,从而提升运维工作的资源利用率。车地数据无线传输层根据数据类型和信息关键紧急程度,采用了实时和延时分级传输方案。该传输层对车载主动运维系统计算得到的小

体量结果数据优先进行实时传输,因为这些数据占用带宽低且可能包含病害超限等关键信息。大体量数据、点云及高清图片等原始检测数据选择延时传输方式。

11 号线分配给车载综合系统的带宽为 49 Mibit/s。为确保数据实时传输效率和质量预留一定冗余,选择轮轨力检测子系统的各项数值类结果数据,通信检测子系统的 WLAN(无线局域网)场强、LTE-M 场强、5G 服务质量、EUHT(超高速移动通信技术)服务质量等结果数据,信号检测子系统的轨旁信号设备状态巡检图像和紧固状态点云数据,以及车载综合系统的控制指令、速度里程信息等作为实时传输数据,数据带宽合计约为 43 Mibit/s。表 1 展示了通信检测子系统的数量量和分级规划内容。此外,设备状态监控告警数据在产生时优先占用此实时传输通道。

表 1 通信检测子系统的数量量和分级规划表

Tab.1 Data volume statistics and hierarchical planning of communication detection subsystem

数据种类	数据指标	数据类型	每条数据容量/KiB	最高采样频率/Hz	总数据带宽/(MiB/s)	可实时传输数据带宽/(MiB/s)	分级规划
原始数据					4.95	0	Ⅱ级
结果数据	LTE-M 服务质量数据	数值	2	10	0.02	2.98	Ⅰ级
结果数据	WLAN 服务质量数据	数值	2	10	0.02	2.98	Ⅰ级
结果数据	Wi-Fi 服务质量数据	数值	2	10	0.02	2.98	Ⅰ级
结果数据	EUHT 服务质量数据	数值	2	10	0.02	2.98	Ⅰ级
结果数据	5G 服务质量数据	数值	2	10	0.02	2.98	Ⅰ级
结果数据	LTE-M 场强数据	二进制点阵	32	30	0.96	2.98	Ⅰ级
结果数据	WLAN 场强数据	二进制点阵	64	30	1.92	2.98	Ⅰ级

注:Ⅰ级数据为实时传输数据,占用车地通道的实时传输带宽;Ⅱ级数据为车辆入库后延时传输。按照压缩后 1 MiB 计算可实时传输数据带宽。

为积累数据资产,广州地铁要求全量主动运维数据落地和上云。PIDS 通道的带宽余量不满足列车在正线行车时将车辆全部数据完成车地传输,且在库外搭建局域网需要极大成本,因此,在地面车库内搭建稳定无线局域网,延时传输原始数据、全量高清图片、点云等非关键信息类或超大体量数据。

车地数据传输层充分考虑了不同专业的数据内容、传输格式需求及带宽限制,从而制定合理的传输协议及其优先级,以支持车载主动运维项目中数据的高效落地和资产积累。

1.3 穗腾 OS 云平台分析应用层

穗腾 OS 云平台分析应用层通过构建物联平台与物模型库,基于云计算和应用展示的中间组件

库,提供强大、便捷、开源的数据处理、分析和复用能力。该应用层可构建多形式可视化界面,如波形图、柱状图、饼状图和散点图等。穗腾 OS 云平台分析应用层系统界面能够对多条线路主动运维数据的超限大值、历史变化趋势及检测病害等进行统计展示。为满足不同维度的数据查询和调用需求,该应用层支持按照时间、行别、区段和里程等条件进行筛选,快速、精确获取关键信息和问题病害,为运维工作提供指导和养护依据,有助于优化设备维护策略和提高设备运行效率。

穗腾 OS 云平台分析应用层利用高算力的云资源服务器,在处理海量云端数据时表现出良好的精确性和稳定性,以支持多期检测数据的同步处理。

此外,该平台上丰富的组件库使分析应用层具有较高的扩展性,可以根据不同的业务、用户惯性和数据管理应用等需求进行灵活调整。

综上,车载综合系统从车辆数据管控、车地数据传输及上云、云平台数据分析与应用等 3 个方向优化 11 号线车载主动运维项目的实施,提升主动运维数据从产生、处理到应用管理的智能化水平,保证车载检测数据的时效性和使用价值。

## 2 穗腾 OS 云平台的设计与应用

穗腾 OS 云平台是一种基于物联网、大数据和人工智能等技术的云端操作系统。在车载主动运维项目中,该平台可以通过物模型和数据分析组件处理和运用各专业检测数据:各项物模型组成穗腾 OS 云平台的物模型库,用于表示单个主动运维系统某项设备的可显示、可操作能力;各项数据分析组件组成穗腾 OS 云平台的组件库,用于在平台上实现信息的处理分析和可视化效果。

### 2.1 物模型的设计与应用

物模型是描述设备结构和行为的电子化模型,是车载主动运维系统应用在穗腾 OS 云平台的核心组成部分。

#### 2.1.1 物模型设计

车载主动运维项目中,针对检测设备创建的物模型从属性、服务、事件等 3 个特征描述了轮轨力检测子系统采集箱、测力轮对、信号检测子系统环境传感器等 35 套设备的信息。其中:属性特征为设备可查看或上报的数据,服务特征为对设备下发的控

制指令,事件特征为设备运行状态的告警和消警。穗腾 OS 云平台将实现设备设施物模型的创建和导入,以响应广州地铁和穗腾 OS 云平台的标准化、统一化,以及产业化项目产品研发上线流程。

#### 2.1.2 物模型应用

物模型在物联平台上可实现查询固有属性、上传检测数据、下发服务指令及上报告警类事件等功能。同时,物模型与算法库和应用库相结合,为设备的各项指标提供计算和展示功能<sup>[4]</sup>。通过物模型在穗腾 OS 云平台上的信息,运维人员可以实时了解当前运行车辆的部件状态,以及掌握车辆异常信息。

### 2.2 数据分析组件的设计与应用

11 号线车载主动运维项目中穗腾 OS 云平台的数据分析组件包括算法库和解耦应用库,是实现数据处理和分析的关键支撑。

#### 2.2.1 数据分析组件设计

算法库管理所有设备产生的初始数据和形成结果数据过程中涵盖的计算、运算组件。解耦应用库管理所有设备产生的初始数据、结果数据,以及形成应用中涵盖的过程组件。算法库和解耦应用库的输入指标若与某个物模型相关,可从物联平台直接调用。算法库和解耦应用库的输入指标可自动转化为穗腾 OS 云平台展示结果。数据分析组件在建设时统计所有的输入、输出指标,并明确它们的计算方式。轮轨力检测子系统的的天数据分析组件指标项统计结果,如表 2 所示。

表 2 轮轨力检测子系统的的天数据分析组件指标项统计结果表

Tab.2 Statistical results of wheel-rail force detection subsystem data analysis component index items

数据分析组件指标项	涉及的物模型	计算方式
脱轨系数	测力轮对左、右轮的垂向力和横向力	通过轮轨横向力和垂向力的比值计算车辆的脱轨系数
轮重减载率	测力轮对左、右轮垂向力	通过左、右两轮垂向力差值的绝对值与左、右两轮垂向力平均值的比值,计算车辆的轮重减载率
轮轴横向力	测力轮对左、右轮横向力	通过左、右两轮横向力差值的绝对值计算车辆的轮轴横向力
垂向平稳性	车体垂向加速度	其他计算方式
横向平稳性	车体横向加速度	其他计算方式
轮轨噪声	测力轮对左轮和右轮的垂向加速度和横向加速度	其他计算方式

#### 2.2.2 数据分析组件应用

数据分析组件在穗腾 OS 云平台上的应用主要包括数据的边缘计算和可视化。通过数据分析组

件,运维人员可以对物模型的属性、服务及事件等信息进行深度分析处理,进一步评估单个设备部件的状态和性能,以便于快速发起相应操作。



- (12): 43.
- [7] ZHAO C, DUJIC D, MESTER A, et al. Power electronic traction transformer—medium voltage prototype[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(7): 3257.
- [8] 程永谊, 轩云龙. 城轨车辆辅助系统 DC 110 V 电源电路拓扑结构分析[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(1): 76.
- CHENG Yongyi, XUAN Yunlong. Analysis on the topological structure of DC 110 V power supply circuit for auxiliary system in urban rail vehicle[J]. Railway Locomotive & Car, 2013, 33(1): 76.
- [9] 余新颜, 段善旭, 康勇. 零电压零电流移相全桥 DC/DC 变换器关键技术的研究[J]. 通信电源技术, 2005, 22(1): 1.
- YU Xinyan, DUAN Shanxu, KANG Yong. Research of several key technique of PS-FB-ZVZCS-PWM converter[J]. Telecom Power Technologies, 2005, 22(1): 1.
- [10] 夏冰, 阮新波, 陈武. 高压大功率场合 LCC 谐振变换器的分析与设计[J]. 电工技术学报, 2009, 24(5): 60.
- XIA Bing, RUAN Xinbo, CHEN Wu. Analysis and design of LCC resonant converter for high voltage and high-power applications[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(5): 60.
- [11] NATHAN B S, RAMANARAYANAN V. Analysis, simulation and design of series resonant converter for high voltage applications[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology 2000. New York: IEEE, 2002: 688.
- [12] ABOUSHADY A A, FINNEY S J, WILLIAMS B W, et al. Steady-state analysis of full-bridge series resonant converter with phase-shift and frequency control [C] // 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010). Brighton: Institution of Engineering and Technology, 2010: 1.
- [13] 廖永福, 林磊, 李傲, 等. 移相串联谐振高压电容器充电电源谐振参数设计方法及其电流控制策略[J]. 电工技术学报, 2016, 31(16): 83.
- LIAO Yongfu, LIN Lei, LI Ao, et al. Resonant parameters design method and current control strategy of phase-shifted series resonant high-voltage capacitor charging power supply[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(16): 83.
- [14] 李菊, 阮新波. 全桥 LLC 谐振变换器的混合式控制策略[J]. 电工技术学报, 2013, 28(4): 72.
- LI Ju, RUAN Xinbo. Hybrid control strategy of full bridge LLC converters[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(4): 72.
- [15] HOLMES D G, LIPO T A. Pulse width modulation for power converters: principles and practice [M]. Piscataway: Wiley-IEEE Press, 2003.
- [16] 吴彩秀, 孙善锋, 庄舜雄. 地铁列车蓄电池运维情况研究与展望[J]. 现代城市轨道交通, 2022(增刊2): 48.
- WU Caixiu, SUN Shanfeng, ZHUANG Shunxiong. Research and prospect on operation and maintenance of battery for metro trains [J]. Modern Urban Transit, 2022(S2): 48.
- [17] 贾智军, 杜广群, 鲍庆臣. CRH6A-A 型短编城际动车组牵引变流器设计[J]. 现代城市轨道交通, 2020(5): 30.
- JIA Zhijun, DU Guangqun, BAO Qingchen. Design of CRH6A-a short consist intercity EMU traction converter[J]. Modern Urban Transit, 2020(5): 30.

(收稿日期: 2023-06-14)

### (上接第10页)

- [4] 何霖, 姚世峰, 冯亚琳. 物联网与移动互联技术应用于城市轨道交通设备设施维修的探索[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(10): 1.
- HE Lin, YAO Shifeng, FENG Yalin. Application of IoT and mobile Internet in urban rail transit equipment maintenance[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(10): 1.
- [5] 刘海斌. 基于云平台的城市轨道交通综合监控系统设计与实现[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(10): 194.
- LIU Haibin. Design and implementation of urban rail transit integrated monitoring system based on cloud platform[J]. Microcomputer Applications, 2022, 38(10): 194.
- [6] 吕广杰, 刘庆良, 吴超, 等. 城市轨道交通自主可控云平台业务系统迁移探析[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(1): 48.
- LYU Guangjie, LIU Qingliang, WU Chao, et al. Business system migration for the independent controllable cloud platform of urban rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(1): 48.
- [7] 王瑞锋. 基于智能检测监测与大数据技术的城市轨道交通智能运维管理[J]. 现代城市轨道交通, 2021(11): 85.
- WANG Ruifeng. Intelligent operation and maintenance management of urban rail transit based on intelligent detection and monitoring and big data technology[J]. Modern Urban Transit, 2021(11): 85.

(收稿日期: 2023-05-06)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn