

# 城轨变电所智慧运维系统应用探讨

郭志奇

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037)

**摘要:** 针对城轨变电所综合自动化系统调度、运维方式的痛点, 从系统构架、硬件配置、信息化条件、调度模式、运维管理等方面进行总结, 提出城轨变电所智慧运维系统建设方案。设计城轨变电所智慧运维系统总体框架, 集成分散建设的各供电子系统并形成统一的调度和运维平台, 整合城轨供电和配电侧的设备全寿命周期数据, 构建城轨供电领域变电所智慧运维系统适用城轨云的技术规范, 解决城轨供电系统分散建设、标准不统一、重复投入的多子系统和关键设备的接入需求等问题, 符合智能供电系统当前和未来的发展需要。

**关键词:** 城市轨道交通; 变电所; 智慧运维系统; 总体框架; 功能设计

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2025)02-0106-05

## Exploration of the Application of Smart Operation and Maintenance System for Urban Rail Power Substations

GUO Zhiqi

(Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037)

**Abstract:** An investigation into the current status of the smart operation and maintenance system for urban rail power substations has been conducted. The paper summarizes the challenges faced by the current comprehensive automation system scheduling and operation and maintenance methods of urban rail power substations, which are considered from aspects such as system architecture, hardware configuration, information conditions, dispatching mode, and operation and maintenance management. Requirements for the smart operation and maintenance system of urban rail power substations have been proposed. The overall framework of the smart operation and maintenance system for urban rail power substations has been designed; various independently constructed power supply subsystems have been integrated to form a unified dispatching and operation and maintenance platform, and the full life cycle data of equipment on both the power supply and distribution sides of the urban rail power supply system have been integrated. The smart operation and maintenance system for substations in the urban rail power supply field, which has been constructed, is applicable to the technical specifications of the urban rail cloud, addressing issues such as decentralized construction, inconsistent standards, and redundant investment in multiple subsystems and key equipment of the urban rail power supply system. It meets the current and future development needs of intelligent power supply systems.

**Keywords:** urban rail transit; substation; smart operation and maintenance system; overall framework; function design

### 1 变电所综合自动化现状及困难

2020年3月12日发布的《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》中首次提出了建设智慧地铁、智能

供电的要求<sup>[1]</sup>。结合我国“碳达峰、碳中和”双碳目标的临近,《我国城市轨道交通规划“十四五”发展战略》明确提出供电系统的建设目标之一为智慧供电,引导各城轨建设单位在工程建设中应充分研究和分析

收稿日期: 2024-06-14 修回日期: 2024-10-23

作者简介: 郭志奇, 男, 本科, 正高级工程师, 主要从事轨道交通供电及智能化研究工作, 411322898@qq.com

基金项目: 浙江省交通运输厅(202220)

引用格式: 郭志奇. 城轨变电所智慧运维系统应用探讨[J]. 都市轨道交通, 2025, 38(2): 106-110.

GUO Zhiqi. Exploration of the application of smart operation and maintenance system for urban rail power substations[J].

Urban rapid rail transit, 2025, 38(2): 106-110.

智慧地铁、智能供电的需要，在编制可行性研究报告中，专项列支供电智能运维的资金<sup>[2]</sup>。目前，在编的《城市轨道交通供电系统》《绿色城市轨道交通设计标准》《绿色城市轨道交通评价标准》等团体标准中明确了智能供电系统的相关要求，包括能源管理要求、智能运维要求，我国城轨供电系统建设进入智能化运维时代。

### 1.1 现状分析

在国内城轨供电领域，变电所综合自动化系统主要负责关键开关设备远程控制、电气信息收集、故障跳闸信息上传，但是无法感知监测导体连接质量、绝缘损坏等故障，以及开关磨损、变压器铁芯发热等，并且海量的供电设备基础信息、设备生产制造信息、元器件可追溯信息都未建立资产管理档案。另外，城轨供电系统除电力监控以外，大量基于管理、运维及数据采集等应用系统的设置造成传输通道建设浪费、中心级服务器及工作站冗余设置、站级设备数据上送接口复杂、系统构架层级多等问题，例如，杭州城轨线路供电系统包含的子系统有电能质量管理体系、杂散电流监测系统、牵引网可视化接地维护系统、作业票管理系统、场段隔离开关监视系统、供电复示系统、模拟供电培训系统等。

### 1.2 面临困难

城轨供电系统是一个庞大而复杂的系统，传统运维机构或辅助系统对于供电系统基本元件和运行设备的故障率、故障修复时间的统计较为缺乏，对于引起整个系统发生故障的元件和设备仅从分析者的直觉和经验出发，凭分析对象所处的环境、过去与现在的延续状态和最新资讯进行判断，对研究对象的发展规律作出评价，最终从概率的角度进行分析。由于元件和设备的运行数据资料不足，不能对供电设备故障进行定量分析。

因此，当前城轨变电所综合自动化系统运维工作面临如下困难。

1) 设备的实际情况可见度差，状态变化趋势未及时反映，存在一定监测盲区，设备、作业、环境监测能力不足；安全隐患不容易发现，运营有风险。

2) 维修时间、部件及故障问题缺乏依据，轻重缓急不突出、工作量大、效率较低。

3) 计划式的检查、维修工作，人力、设备、备品备件资源投入大，成本高<sup>[3]</sup>。

4) 数据融通支撑不够，各类信息互相独立，系统间横向数据融合困难，融合不充分；数据“不准确、

不全面、不互通、不会用”的问题突出。

5) 数据实时性不足，数据传输链路长，专业壁垒多，通常经过多个节点；难以在源头实现数据融合共享，如跨专业、内外部共建共享。

6) 标准化智能化不足，未建立统一的数字化标准体系，部分终端智能化、标准化程度较低。

### 1.3 城轨供电系统智能运维情况

国内各地铁公司都已开展研究或挂网应用供电智能运维管理系统。北京地铁“十三五”规划明确了设备实现状态修的发展方向，状态修则需设备实时在线监测作为支撑。北京建立《供电设备在线监测系统》，将现场及电力监控系统未能监测到的、封闭柜体及过轨穿管内不可视的关键供电设备运行状态，实施在线监测诊断、异常预报警，促使隐患故障消除于萌芽状态，确保供电系统安全、稳定地运行<sup>[4]</sup>。

南京地铁提出建立基于云计算的城轨设备运维管理系统，有效地提高设备信息化管理水平，提高设备运维管理系统信息数据源的利用率，降低运营企业在设备运维管理方面的投资，节约维护设备运维管理系统的成本。基于云计算的设备运维管理系统还可以通过增加应用软件结合数据库实现更多的功能，例如故障诊断、设备管理与维修决策优化等<sup>[5]</sup>。

广州地铁提出一种全生命周期管理系统，有效整合利用城轨的大数据，达到设备运维管理业务信息化、可视化、智能化<sup>[6]</sup>。基于大数据的城轨供电设备运维管理系统，以电力设备运行数据平台为依托，使用“在线+带电+实时”状态量采集技术对电力系统设备的可靠性状况进行研究，并对供变电系统设备的运行状况做出评估，同时做到电力设备服役期限和故障率的预测<sup>[7]</sup>。目前已完成广州地铁站级应用示范(嘉禾望岗主所、嘉禾望岗车辆段牵引所)，在广州地铁8号线北延段全线推广应用。

总体来看，各城市地铁公司都提出了基于设备运维的智能管理系统，但都是以一个新系统的方式叠加在日益扩大的变电所综合自动化系统之上，导致现行的城轨供电系统的子系统类型众多且系统冗余。

因此，有必要研究将智能供电信息运维、管理系统作为变电所综合自动化调度系统的扩展和延伸，主要围绕当前城轨供电系统的各个环节，充分运用先进的信息技术、人工智能等新时代科技，实现供电系统电力调度管理、设备在线实时监测及寿命预测、供电设备智能故障处理及设备信息数字化档案管理。

## 2 变电所智慧运维系统总体设计

### 2.1 系统构架

城轨变电所智慧运维系统运用现代先进的测量、传感、控制、通信、信息、人工智能等技术，以变电所智能化设施和双向高速通信网络为基础，以信息化、网络化、自动化、互动化为技术特性，具有全息感知、多维整合、重构自愈、智慧决策等技术内涵。

城轨变电所智慧运维系统的智能化应覆盖供电系统设备的各个环节，从物理层面可划分为牵引配电设备智能化、供电调度系统智能化以及供电运行和维护管理系统智能化 3 部分，如图 1 所示。

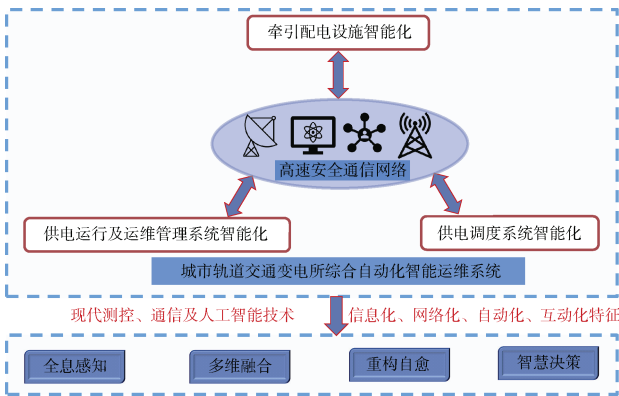


图 1 变电所智慧运维系统构成

Figure 1 Components of substation intelligent operation and maintenance system

城轨变电所智慧运维系统为基于智能设备构成的供电变电设备(包括主变电所、二级开闭所、牵引降压混合变电所、降压变电所、上网越区可视化一体接地开关室等)与接触网、专用回流轨道等，以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本条件，自动完成信息采集、测量、控制、安全、计量和设备在线监测等功能。

供电调度系统智能化对变电所设施设备进行远程监视、测量、控制和调度的同时，还实现了源端维护、综合告警、辅助调度决策等高级功能。

供电运行和维护管理系统智能化以变电所运行检修所需要的各种基本数据、检测监测数据、运行维修数据等分析处理为基础，对设备实施运行管理、检测管理、维护管理以及故障诊断、预测与健康评价等进行全生命周期管理的系统<sup>[8]</sup>。除实现供电设施运行检修管理外，还能实现供电系统故障诊断、故障预测、健康评估、应急指挥与维修决策等功能。

### 2.2 主要功能

城轨变电所智慧运维系统是集主变电所、牵引变电所、降压所、跟随所及区间接触网隔离开关等智能供电设施和智能供电调度系统与智能供电运行检修系统于一体的平台化系统，以实现对城轨供电系统的自检、自判、自愈等功能，与传统的城轨供电变电所综合自动化系统对比如表 1 所示。

表 1 智慧运维系统与传统系统对比

Table 1 Comparison between intelligent operation and maintenance system and traditional system

项目	传统系统	智慧运维系统
系统构成	主变电所、牵引变电所、降压所、跟随所彼此相对独立	主变电所、牵引变电所、降压所等供电设施、电力调度系统和供电智能运维管理系统一体化、智能化
设备构成	常规设备	在线监测、设备智能化
传输媒介	电缆、屏蔽双绞线、光缆	光缆、5G 无线传输
控制功能	面向变电所单一开关或设备	顺序控制，可控制供电范围内的一个间隔或多个间隔
保护功能	面向变电所单一保护装置	就地-变电所自动化-中心级系统三级保护
开关设备闭锁	站内开关实现闭锁	供电范围变电所、接触网隔离开关均能实现安全闭锁
运行方式切换	主变电所之间支援供电倒接、35 kV 环网故障倒接	供电范围内故障后自愈重构，牵引网故障时，快速隔离故障区段、恢复非故障区段供电
状态监测	无法实现	主要供电设备实时监测，可视化展示设备状态
故障诊断	无法实现	城轨供电故障诊断形成分析报告供运维人员决策
故障预测	无法实现	供电设备故障趋势形成分析报告供运维人员决策
健康评估	无法实现	供电设备健康评估，形成分析报告供运维人员决策
维修决策	无法实现	依据故障诊断、故障预测和健康评估，结合维修成本分析并制定维修策略
源端维护	无法实现	变电所改造增加设备，自动调整供电调度系统数据库
信息化功能	只提供电流电压电气量信息	提供全方位信息包括电气量、监测值、故障分析报告
辅助系统	视频、安防、火灾、智能空调、智能风机、温湿度传感、水浸探测	采用综合一体化系统实现

随着电力电子技术的发展，城轨供电变电设施将发生根本变化，如电力电子变压器、柔直供电及能量路由器的应用，供电智能运维相应的功能也将发生改变。智能供电设施将不以变电所为基础单元，而是以供电区段为对象，在该供电区段，通过电力电子装置实现

电压、电流实时调整,使得供电区段的功率配置实时变化,同时辅助车辆位置信息监测以实现能量的运控;城轨变电所智慧运维系统应能实时根据整个系统的情况优化调度各个供电区段的电力输出。

### 2.3 技术特征

城轨变电所智慧运维系统将现代先进技术与传统供电系统相结合,通过实时采集供电系统各级变电所各种数据信息,实现信息共享联动,且高速通信网络是其实现的基础,其技术特征如表2所示。

表2 变电所智慧运维系统技术特征

Table 2 Technical characteristics of substation intelligent operation and maintenance system

项目	技术特征
信息化	变电所设备设置传感器采集设备的关键运行状态指标,上传至站级智能运维汇聚屏和中心级电力调度智能运维系统,准确掌握设备缺陷、实现设备主动维修
网络化	利用通信骨干网络将主变电所、牵引变电所、降压所及区间接触网隔离开关等供电设施基础信息进行传输、形成供电设施的网络化,实现信息的传输与共享
自动化	在信息化的基础上,提升供电系统保护与测控技术、故障测距精度与自愈重构功能,提高供电系统功能与性能
互动化	通过信息的实时共享与分析,实现供电系统各个环节的互动,增强供电系统的运行效率和可靠性
高效化	通过电力电子技术的应用,丰富牵引供电设施的内涵,实现整个牵引供电系统的容量实时配置和能量运控,提高牵引供电系统的经济性
全息感知	通过采集运行数据、设备在线监测数据、视频等环境监控监测数据等信息,感知供电系统全方位的信息
多维融合	在对多维信息感知的基础上,实现自动化系统与信息化系统的融合,一次设备与二次设备的融合,多源异构数据的信息融合,现场测控网络、传感网络及传输网络的网络融合等多维度的信息和功能融合
重构自愈	将主变电所、牵引变电所、降压所及区间接触网隔离开关等供电设施的信息共享,实现分层闭锁、广域保护、自愈重构等功能,提高继电保护的准确性、快速性以及故障测距的准确性,从而提高供电可靠性
智慧决策	通过采集供电系统主变压器、GIS开关、SVG装置、牵引变压器、直流开关、整流器、断路器、互感器、避雷器、馈线电缆、接触网重要零部件等关键设备的运行数据,综合在线、离线、运检数据信息,实现故障预测与健康的管理,并提出维修决策

### 2.4 工程案例

以杭州城轨三期工程和四期工程(新建线路)供电系统变电所综合自动化系统为例,三期工程供电系统子系统种类繁多,“单独开发、独立运行、分散管理”现象严重,造成通道重复建设、人机接口多、管理任务量大、接口复杂,降低了管理效率;信息共享程度较低,限制了高级智能应用的发展。针对这一现象,四期项目(新建线路)开发了一体化的变电站综合自动

化智能运行系统,旨在建立全新的一体化监管平台。城轨供电系统综合自动化及其他子系统设置对比如表3所示。

表3 城轨供电系统综合自动化及子系统设置对比

Table 3 Comparison of integrated automation and subsystem configuration in urban rail power supply system

系统名称	杭州地铁三期线路				杭州地铁四期(新建线路)			
	是否设置	通信通道	DCC终端	OCC终端	是否设置	通信通道	DCC终端	OCC终端
电能质量监测系统	是	单独建设	单独建设	无	否(集成于智能运维系统)	无	无	无
杂散电流监测系统	是	与电能质量监测系统共用通道	单独建设	无	否(专用轨无杂散电流)	无	无	无
可视化接地系统	是	与电能质量监测系统共用通道	单独建设	无	否(三遥上SCADA,视频上智能运维系统)	利用边缘云通道	无	无
供电智能运维系统	否	无	无	无	是(智能化电力调度及运维一体平台系统)	利用边缘云通道	是	是
电力监控系统	是	集成于综合监控	设场段电调工作站	综合监控统筹			设场段电调工作站	中心云平台统筹

与传统方案相比,该方案电能质量监测系统集成于供电智能运维系统,与智能运维系统共用汇集交换机;取消可视化接地装置,采用一体化三工位接地上网及越区组合成套装置,上网、越区、接地功能统一在运营控制中心调度,接地开关状态视频通过组网交换机接至供电智能运维屏内;变电所内设置智能运维摄像头,摄像头及其组网由通信专业负责,组网后接至车站边缘云,供电智能运维系统经车站边缘云提取变电所智能运维摄像头。边缘云交换机通过光缆接入供电智能运维屏内交换机;车站级供电智能运维布置于车站边缘云上,相关服务器由边缘云提供,工作软件由供电智能运维厂家提供,站级智能运维系统不再设置工作站,采用便携式计算机进行相应调试工作,站级智能运维主要进行视频存储及处理;变电所综合自动化系统作为电力调度的核心生产系统,保证原有的开关设备远程操控调度及报警、跳闸信息上传;车站变电所综合自动化系统通过云平台部署在车站级的边缘云提供算力和传输;中心级电力监控及智能运维统一部署在中心云平台。站级变电所智慧运维系统如图2所示。

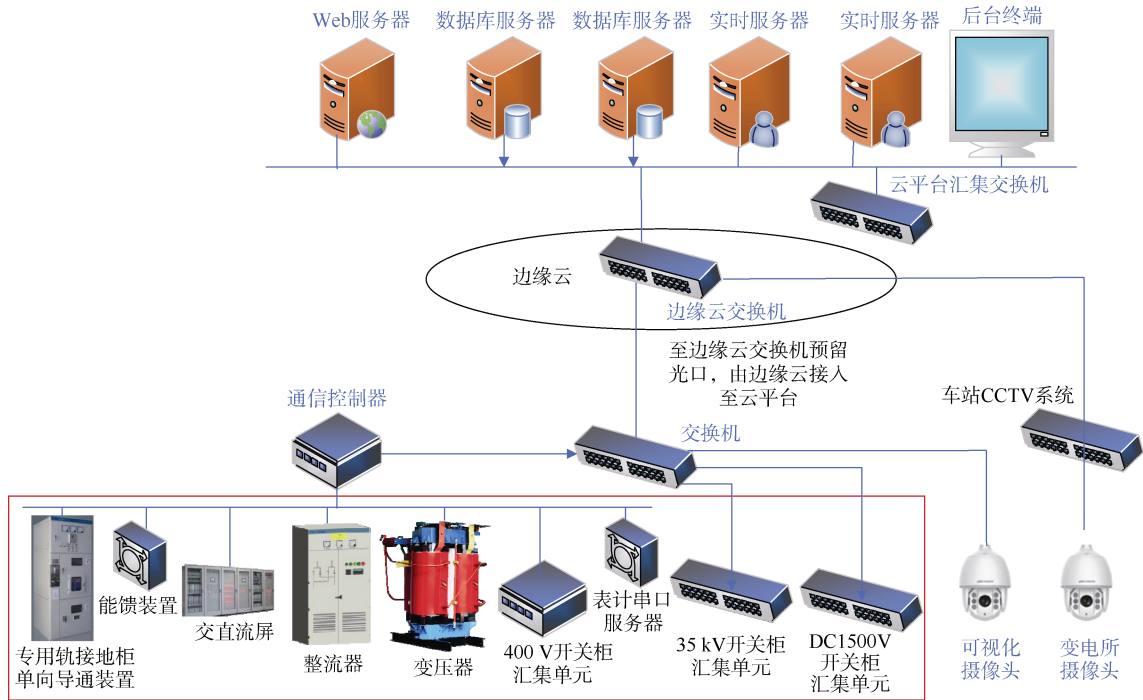


图 2 站级变电所智慧运维系统构成

Figure 2 Components of station-level substation intelligent operation and maintenance system

该方案整合既有子系统，集约了传输、调度、运维等生产调度班组，符合城轨供电智慧化的发展趋势；但对运维人员的综合素质和专业素质提出了更高级别的要求，也对线路运营构架带来了新的变化。

此外，该方案在设备智能化方面也提出具体要求，以直流开关柜为例，其智能直流断路器在拥有原直流断路器所有性能的基础上，通过加装系列传感器和智能测控装置从而实现断路器的在线实时监控，并依据数据分析建立断路器健康监测模型，诊断和预测断路器寿命，直流开关柜智慧运维系统如图 3 所示。结合城轨直流牵引供电运行经验及运维人员的实际需求，统计直流断路器关键机械部件及模块重要感知量。

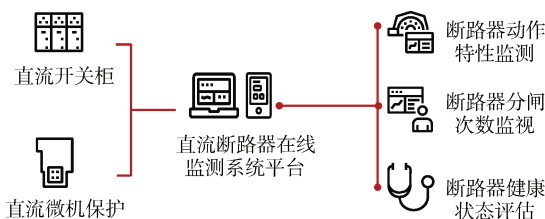


图 3 直流开关柜智慧运维系统构成

Figure 3 Components of DC switchgear intelligent operation and maintenance system

### 3 结束语

随着我国城市轨道交通的大规模投入运行，供电

系统调度及运行维修管理凸显重要，城轨变电所智慧运维系统将先进技术与传统供电系统相结合，建立融合的一体化智能管理平台，为今后城轨供电高级智能应用提供范例，符合城轨绿智融合的发展方向。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发“十四五”现代综合交通运输体系发展规划的通知: 国发[2021]27号[A/OL]. (2022-01-18)[2023-06-12]. [https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content\\_5669049.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm).
- [2] 中国城市轨道交通协会. 中城轨关于印发《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》的通知: 中城轨[2020]10号[A/OL]. (2020-03-12)[2024-01-20]. <https://www.camet.org.cn/sy/xyxw/6271.shtml>.
- [3] 王鹏聪, 李熙光. 供电系统可视化大数据综合维修管理系统研究[J]. 电气化铁道, 2023, 34(2): 10-14. WANG Pengcong, LI Xiguang. Study on visualized big data integrated maintenance management system for power supply system[J]. Electric railway, 2023, 34(2): 10-14.
- [4] 房金萍, 郭彦军, 吕翘楚. 北京地铁供电设备智能运维初探[J]. 电器工业, 2019(2): 68-71. FANG Jinping, GUO Yanjun, LYU Qiaochu. Discussion on intelligent operation and maintenance of power supply equipment in Beijing subway[J]. China electrical equipment industry, 2019(2): 68-71.

(下转第 132 页)

- WANG Jing, TIAN Tengfei. Predicament and countermeasures of urban rail transit construction with medium and low volume[J]. People's public transportation, 2024(6): 37-39.
- [13] 施仲衡, 丁树奎. 城市轨道交通绿色低碳发展策略[J]. 都市轨道交通, 2022, 35(1): 1-4.
- SHI Zhongheng, DING Shukui. Strategies for green and low-carbon development of urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2022, 35(1): 1-4.
- [14] 交通运输部科学研究院. 交通运输碳达峰、碳中和知识解读[M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- Scientific Research Institute of the Ministry of Transport. Interpretation of peak carbon dioxide emissions and Carbon Neutralization in Transportation[M]. Beijing: China Communications Press, 2021.
- [15] 冯增文, 李珂, 李梓豪, 等. 低空无人机的倾斜摄影测量技术在城市轨道交通建设中的应用[J]. 测绘通报, 2020(9): 42-45.
- FENG Zengwen, LI Ke, LI Zihao, et al. The application of oblique photography technology based on low-altitude UAV in urban rail transit construction[J]. Bulletin of surveying and mapping, 2020(9): 42-45.
- [16] 许飞雪, 刘勤明, 叶春明, 等. 基于服务性能合同模式下单部件系统视情维修策略研究[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(2): 460-464.
- XU Feixue, LIU Qinming, YE Chunming, et al. Research on condition-based maintenance for single-unit systems under performance-based contracting[J]. Application research of computers, 2021, 38(2): 460-464.
- [17] 蒋赏. 基于计算机视觉的桥梁智能检测方法 with 装备研发[D]. 南京: 东南大学, 2023.
- JIANG Shang. Research and development of bridge intelligent detection method and equipment based on computer vision[D]. Nanjing: Southeast University, 2023.
- [18] 陈光, 乔梁, 何赵亮, 等. 基于目标检测的视频分析方法研究[C]//2023年江西省电机工程学会年会论文集. 南昌, 2024: 223-226.
- [19] HUANG J, RATHOD V, SUN Chen, et al. Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors[C]//2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017, Honolulu, HI, USA. IEEE, 2017: 3296-3297.
- [20] LIU Wei, ANGUELOV D, ERHAN D, et al. SSD: single shot MultiBox detector[C]//Computer Vision—ECCV 2016. Cham: Springer International Publishing, 2016: 21-37.
- [21] XIE Xuemei, CAO Guimei, YANG Wenzhe, et al. Feature-fused SSD: fast detection for small objects[C]//Ninth International Conference on Graphic and Image Processing, 2017: 10615.

(编辑: 王艳菊)

(上接第110页)

- [5] 周琦, 朱铝芬, 韩雪, 等. 基于云计算的轨道交通设备运维管理系统的研究与设计[J]. 交通世界, 2018(S2): 259-261.
- ZHOU Xun, ZHU Lyufen, HAN Xue, et al. Research and design of rail transit equipment operation and maintenance management system based on cloud computing[J]. TranspoWorld, 2018(S2): 259-261.
- [6] 林勇, 徐钦伟, 谭冠岗, 等. 基于大数据的轨道交通供电设备运维管理系统的设计与实现[J]. 新型工业化, 2018, 8(3): 9-16.
- LIN Yong, XU Qinwei, TAN Guangang, et al. The designing and practicing of the management system of rail transit power system based on big data[J]. The journal of new industrialization, 2018, 8(3): 9-16.
- [7] 东升. 城市轨道交通供电智能运维系统应用研究[J]. 电气化铁道, 2023, 34(5): 61-65.
- DONG Sheng. Study on application of intelligent operation and maintenance system for power supply system of urban rail transit[J]. Electric railway, 2023, 34(5): 61-65.
- [8] 蒋先国, 陈兴强. 智能牵引供电系统现状与发展[J]. 中国铁路, 2019(9): 14-21.
- JIANG Xianguo, CHEN Xingqiang. Current situation and development of intelligent traction power supply system[J]. China railway, 2019(9): 14-21.

(编辑: 王艳菊)