

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2021.01.025

# 城市轨道交通供电设备运维 智能管控系统研究

李 军

(南宁轨道交通集团有限责任公司运营分公司, 南宁 530029)

**摘 要:** 从供电设备运维现状和智能化、精细化管理需求出发, 引入预知性维修方法, 应用智能传感、大数据、软件集成、人工智能、视频分析、虚拟现实等科学技术, 构建一个涵盖“前端监测+后台管理+过程管控”的智能管控体系, 实现安全、高效、智能的城市轨道交通供电设备运维管理。

**关键词:** 城市轨道交通; 供电设备; 预知性维修; 视频智能分析; 智能诊断; 一键停送电; 作业安全管控  
**中图分类号:** U231      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6073(2021)01-0149-06

## Intelligent Management and Control System for Operation and Maintenance of Urban Rail Transit Power Supply Equipment

LI Jun

(Nanning Rail Transit Group Co. Ltd. Operating Branch, Nanning 530029)

**Abstract:** This paper discusses an intelligent management and control system for operation and maintenance of urban rail transit power supply equipment. Starting from the status quo and intelligent and refined management requirements of operation and maintenance power supply equipment of this paper introduces predictive maintenance methods, application of intelligent sensing, big data, software integration, artificial intelligence, video analysis, virtual reality, and other scientific technologies. It further presents a comprehensive intelligent management and control system covering “front-end monitoring and background management and process management and control” to realize safe, efficient, and intelligent rail transit power supply equipment operation and maintenance management.

**Keywords:** urban rail transit; power supply equipment; predictive maintenance; video intelligence analysis; intelligent diagnosis; one key to power-off or supply; production safety control

我国城市轨道交通处于高速发展时期, 运营线路和里程屡创新高, 为城市便捷出行和缓解地面交通压力带来良好的社会效益。同时, 运营规模不断扩大, 装备体系日益复杂, 还有大量旧线的更新改造任务, 给轨道交通运维管理带来巨大压力, 也对设备维修安全、质量和效率提出更高的要求<sup>[1]</sup>。

供电系统运维是城市轨道交通设备管理的重要组

成部分。笔者对城市轨道交通供电设备运维管控系统进行研究, 引入在线检测及状态维修方法, 探讨了运维管控平台、多维数据监测、智能决策控制、设备维修管理、作业安全管控等方面的内容, 以“前端监测+后台管理+过程管控”的综合性管理架构, 结合各种成熟的高新技术应用, 可以显著提升设备维修管理效率和安全管控能力, 提高运维智能化程度。

收稿日期: 2019-10-21    修回日期: 2020-06-04

作者简介: 李军, 男, 本科, 高级工程师, 主要从事城市轨道交通运营管理工作, 83666545@qq.com

引用格式: 李军. 城市轨道交通供电设备运维智能管控系统研究[J]. 都市轨道交通, 2021, 34(1): 149-154.

LI Jun. Intelligent management and control system for operation and maintenance of urban rail transit power supply equipment[J]. Urban rapid rail transit, 2021, 34(1): 149-154.

## 1 供电设备运维现状

目前,城市轨道交通供电设备运维业务大多沿用传统的管理模式,具有如下特点:一是多计划检修、周期检修、故障修,少在线检测及状态修;二是检修作业普遍采用人工作业、人工监管的方式,效率较低;三是检修作业过程缺乏整体性安全管控措施,难以避免出现安全事故;四是仅以故障指标论成败,检修过程数据不够精细;五是缺少监测、智能化处理、分析供电设备运行状态趋势和故障智能诊断的大数据系统平台及智能化应用<sup>[2]</sup>。随着运营线路和里程的不断增加,运营规模迅速扩大,供电设备和运维人员大幅增加,在相对粗放的运维管理模式下,运维成本一直保持上升态势,同时也影响了质量提升,存在诸多安全隐患。因此,仅依靠传统运维模式已经很难满足行业快速发展的需要。

国内各城市轨道交通运营单位都正在积极探索智能化运维解决方案,已有许多管理系统或技术手段被应用于供电设备运维管理,在提高运维管理效率和安全性保障方面起到一定的作用。但是总的来说,这些系统或技术仅解决了局部或个别针对性问题,侧重于原有检修模式的电子化,而且存在缺乏统一标准、重复投资等问题,难以实现资源共享和向上整合,对于供电运维安全和效率提升未有明显效果。已经规划或建设的综合性管控系统,大多用在公司级层面的信息化管理,难以深入渗透到各专业细分领域,缺乏底层数据支撑,特别是针对供电专业的智能运维管理系统至今还难觅其踪。各运营单位在供电设备运维模式、管理体系以及整体信息化、自动化程度等方面,都还处于起步阶段。

建设一套城市轨道交通供电系统的智能运维管控系统,实现供电设备状态修及全过程的智能化管理和安全管控,突破不同专业、不同业务、不同系统之间的壁垒,并做到从现场、站端到中央管理层的全贯通,这在原来的管理模式和技术层面下难以实现。而当今,新技术不断发展,智能传感、大数据、互联网、人工智能、软件集成、视频处理等技术已经相当成熟。2019年,中共中央、国务院发布《交通强国建设纲要》,更是掀开新时代交通运输工作的新篇章。在此情况下,通过新技术构建城市轨道交通供电设备运维智能管控平台,实现供电设备全生命周期的在线健康监测、趋势分析、故障智能诊断和运维管控已成为可能,也是城市轨道交通供电系统安全运维和技术发展的趋势<sup>[3]</sup>。

## 2 运维管控体系建设

自2018年7月1日起施行的《城市轨道交通运营管理规定》(交通运输部令2018年第8号)明确提出,要建立城市轨道交通智能管理系统,进行集中监管。城市轨道交通供电设备运维智能管控系统,以实现供电设备状态修为目标,从全线甚至整个城市轨道交通线网综合考虑,整体性实现供电设备检修全业务、全过程、全要素的智能化管理和安全管控,是整个城市轨道交通智能管理系统的重要组成部分。

智能管理系统包括运维管控平台、多维数据监测、智能决策控制、设备运维管理、作业安全管控等方面内容,涵盖了前端传感设备及全方位信息采集、管控平台建设及设备运维管理、过程管理及安全管控,以及智能分析、故障诊断、生命周期管理等高级应用。系统以“前端监测+后台管理+过程管控”的综合性管理架构,结合各种成熟高新技术应用,大幅提高管理效率和安全管控能力,提高运维智能化程度,以满足轨道交通供电系统安全、规范、高效的运营要求<sup>[4]</sup>。

### 2.1 运维管控平台

供电设备运维智能管控平台,是整个供电运维管理的数据中心、监控中心和管理核心,为各种系统业务应用提供基础支撑,实现各业务信息共享、深度融合,并提供数据管理、3D全景监视、智能分析决策、智能控制、流程管理、其他系统通信接口、移动终端应用、安全管理等管理和应用服务。

供电运维管控归属于运营综合管理,与地铁公司的各种管理系统及平台接口实现数据互传,其关系如图1所示。供电运维管控平台从综合监控或其他监测系统接口获取各种监测数据,从资产管理系统获取设备台账信息,同时返送设备运维信息,将人员工作绩效、安全活动记录发送给人力资源系统,接受调度平台统一的施工、调度及指挥管理,将重要信息及参数上传至公司级全量数据库及综合信息管理平台,在门户网站、移动平台等界面进行统一展示<sup>[5]</sup>。

### 2.2 多维数据监测

大多数管理系统的最大问题就是缺乏全面的底层数据支持,所以做好全方位数据监测是本系统实施的关键和基础。在供电系统关键设备及运维现场,部署各种监测装置、智能传感器、视频设备等前端设备,从量测数据、状态信号、在线监测、视频信息、检修记录、操作记录、运行参数等不同角度,实现供电主设备的全方位采集监测,各项监测内容统计结果如表1所示。

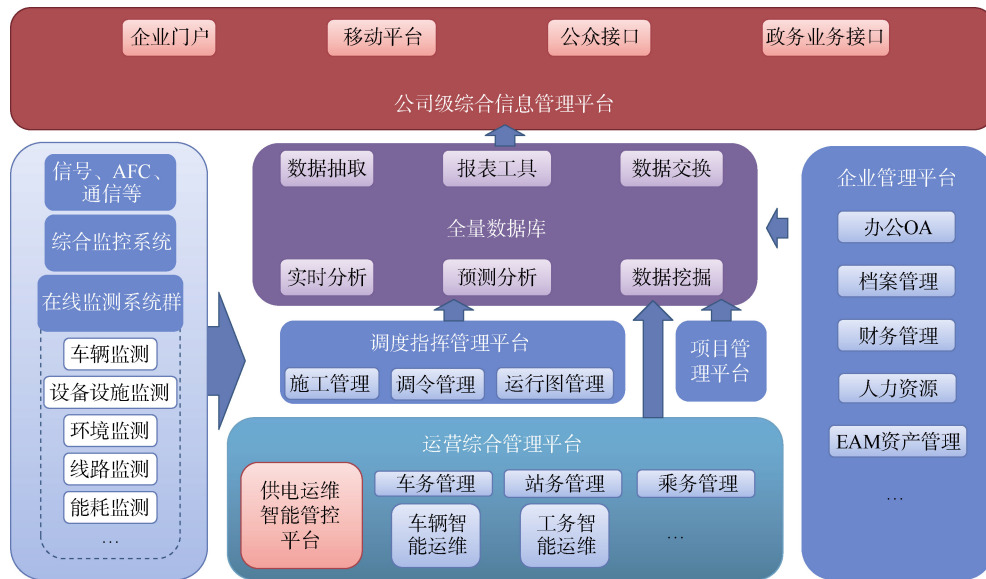


图1 供电运维管控与其他综合管理平台的关系

Fig. 1 Power supply operation and maintenance management and other integrated management platforms

表1 多维数据监测统计

Tab. 1 Multidimensional data monitoring statistics

| 监测类型 | 监测内容                          |
|------|-------------------------------|
| 量测数据 | I、U、P、Q、Cos、有功、无功等            |
| 状态信号 | 位置状态、非同源设备状态、告警信号、动作信号、自诊断信息等 |
| 在线监测 | 无线测温、红外热成像、光纤测温、局放/绝缘监测、环境监测等 |
| 视频信息 | 实时画面、工况识别、分合位置识别、指示灯识别、仪表读数等  |
| 运维记录 | 巡检记录、操作记录、故障/动作记录、维护记录、检修记录等  |
| 运行参数 | 台账信息、铭牌信息、定值参数、维修周期等          |
| 其他   | 故障录波等其他各种直接或间接采集数据接入          |

上述各种监测方式在本系统中均有相对成熟的方案来实现，还增加了非同源设备状态、视频智能分析识别等创新功能。另外，在系统实际实施时，也可从其他既有系统通信接口获取部分监测数据，以节省投资成本。

### 2.3 智能决策控制

在全方位数据采集和全景监视的基础上，利用专家规则库、大数据分析、深度自学等技术，结合供电系统运行理论知识，实现设备状态趋势分析、故障智能诊断、辅助决策、智能联控、一键停送电等智能化应用，提高控制效率和安全性，为设备故障分析、检修决策提供支撑。

### 2.4 设备运维管理

供电设备是运维的对象和主体，设备运维管理包

括运行管理和检修管理两部分。

1) 运行管理：重点研究供电设备虚拟可视化巡检等智能化巡检技术，并实现供电系统主要设备和视频监控、环境监测、安防、消防、隧道、井盖、门禁、应急抢险物资、辅助电源等供电辅助设备及设施的运行监控，这是对主要供电设备监测、运维安全保障的重要补充。

2) 检修管理：包括检修计划、任务工单、两票管理，人员及资质管理，工器具管理，备品备件及材料管理，以及标准修程、检修作业指导、数据及举证材料采集、进度控制、绩效考核等内容，实现设备检修全过程信息化和闭环管理。根据巡检结果、运行记录或智能诊断分析结果来发现设备缺陷或故障，完成缺陷管理和故障处理流程，实现运行和检修的衔接。将所有的设备运行、巡检、检测、缺陷、故障、部件更换、检修、设备报废等记录录入设备运维台账，为实现设备全生命周期管理提供数据支撑。

### 2.5 作业安全管控

安全是一切生产活动的前提，本系统采用各种逻辑控制、强制闭锁、作业引导等技术手段和系列设备，实现对运维作业全过程的安全管控。

本系统通过建立检修计划、任务工单、工作票、操作票、检修标准作业指导等模块之间的逻辑关联，保证计划任务和现场作业的一致性；通过防误锁具、智能锁具、隔离锁具、门禁等闭锁设备，对待操作设备、箱柜门、检修边界、区域进行强制闭锁，通过电

气倒闸防误闭锁、接地管理、智能锁具管理、检修隔离管理等模块及相应的智能手持终端，进行任务授权及解锁操作，引导工作人员完成相应的操作，防止各种误操作和误入带电区域，保证操作安全；通过视频智能分析作业人员劳保穿戴和异常行为，通过安全资质检测、权限验证、智能式穿戴产品等技术手段来保证作业中的人员安全。

3 运维管控系统架构

城市轨道交通供电设备运维智能管控系统由感知层、网络层、平台层和应用层构成，其系统架构如图 2 所示。系统通过保护测控装置、在线监测设备、视频监控设备、作业安全管控设备等感知层设备，实现运维数据采集、安全作业、就地监控及边缘计算；通过多种有线和无线网络的综合应用，将现场数据汇聚

到智能管控平台；通过大数据分析、深度学习等技术，实现运行监测、辅助监控、作业管理、设备管理、预知分析、移动应用等运维功能。

4 管控系统技术创新

4.1 系统 3D 全景监视

系统采用 3D 全景监视技术实现运行监视。首先，对全线供电系统的建筑、场地、设备等进行精细化 3D 建模，构建高精度、等比例的虚拟环境及设备；设备 3D 模型完全仿真，具有与实际设备完全一致的人机面板信息和操作流程，可执行板卡级装卸，便于学习和维护。然后，在 3D 模型中插入热点，关联到设备量测数据、监测数据、视频画面、巡检记录、运维记录等相关信息，实现设备健康状态多维度全景监视。

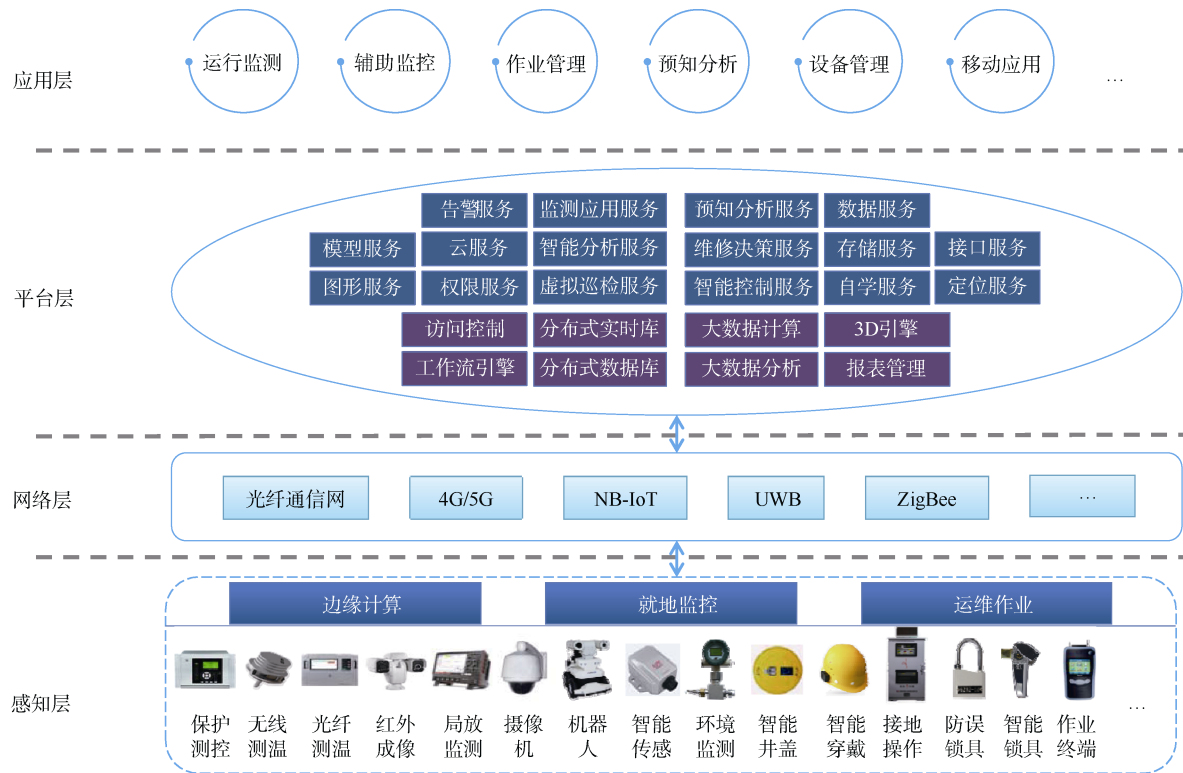


图 2 轨道交通供电设备运维智能管控系统架构

Fig. 2 System architecture of the smart operation and maintenance system for power supply in urban rail transit

4.2 视频智能分析识别

将视频监控与供电运维状态监测、安全管控的需求相结合，对设备状态、环境状况和人员行为进行智能分析识别。可以自动识别设备工况，获取相应的状态和数值，并转换为标准数据格式上传到系统后台，取代现场部分监测传感器功能；可实现烟雾火灾识别、

物品遗留/丢失检测、人脸识别、劳保着装检测、值班人员脱岗、人员越区/逗留/徘徊等异常行为监测等多种安全管控功能，将传统的被动运维方式变成智能、高效的主动运维方式<sup>[6]</sup>。

4.3 虚拟可视化巡检

在 3D 全景监视、电子化巡检、轨道机器人巡检、

视频监控的基础上研究虚拟可视化巡检技术,工作人员可在 3D 场景根据既定巡检路线完成实景漫游,各种设备参数、信号和视频画面自动展现,完成后自动生成巡检报告,从而在电脑前就完成了整个巡检过程。这给电气设备巡检提供了具有丰富环境及立体设备信息的可视化巡检平台,有效提高巡检工作的高效性和数据准确性,节省巡检成本<sup>[7]</sup>。

#### 4.4 设备故障智能诊断

在管控平台建立设备状态趋势分析和故障智能诊断模型(见图 3),完成数据积累、融合和深度学习,跟踪设备数据变化趋势,对比主动预警策略库,实现设备状态趋势分析、自动评价和智能预警;供电系统故障时,根据动作信号及其他监测数据,结合系统运行方式和专家规则库,进行综合判断和智能分析,推导故障原因,参照故障处理策略库,形成故障诊断及决策报告,指导故障快速处理,提高故障处理的准确性和时效性<sup>[8]</sup>。

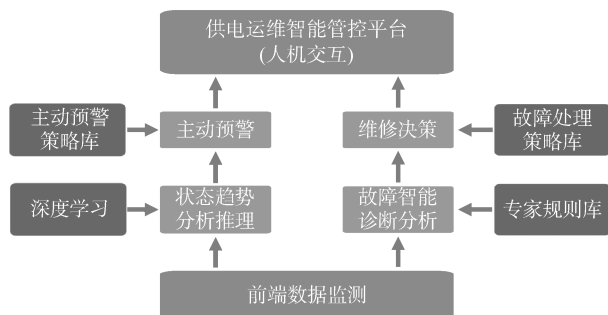


图 3 设备状态趋势分析和故障智能诊断模型

Fig. 3 Equipment status trend analysis and fault intelligent diagnosis model

#### 4.5 检修计划动态管理

传统的检修计划管理依靠调度人员手动推算编制、人工流转和纸质记录,效率不高,尤其在出现临时检修、行政指令等意外情况时,往往会打乱原来计划,更缺乏完整的跟踪管理。本系统研究基于动态规划的检修计划管理技术,根据检修周期、设备状态、运维记录、临时检修计划等条件,动态生成并更新检修计划,按年度自动滚动生成后续周期性计划,在后续实施过程中实现自动提醒、工单生成、现场作业进度控制、数据录入、绩效统计等完整的业务流程控制。完全实现信息化管理,可解决传统模式的各种问题,有利于提高供电运维管理效率和信息化水平。

#### 4.6 非同源设备状态采集

断路器、隔离刀闸通常通过辅助节点获取分、合

位置状态,而本系统采用完全不同的原理及技术,实现断路器、隔离刀闸的第二套位置采集方案,即非同源设备状态采集<sup>[9]</sup>。在系统进行智能程序化控制时,将两种方式获取的设备位置进行逻辑比较,仅两者状态一致时才认为设备确已变位,方能判定操作成功,从而有效保证了智能控制的安全性和准确性。

#### 4.7 一键停送电智能操作

地铁检修只能在晚上停运的短短几个小时内实施,还要进行停送电、安全措施部署等作业准备工作,所以有效检修的时间更少。随着近几年可视化接地技术的普及应用,全线电气设备已全部具备遥控操作条件,压板、空开等二次设备也可实现远程控制,实现了全线供电倒闸操作的智能程序化控制,大大缩短了停送电及安全措施部署时间,为地铁检修提供了更多有效作业时间。

本系统研究一键停送电智能操作技术,包括操作票预制、操作任务生成、设备状态自动判别、防误联锁智能校核、操作步骤一键启动、操作过程自动执行、顺序控制、并行接地等内容,一键即可自动完成全线停送电及安全措施部署,采用非同源设备状态、双因子权限验证、操作前后条件判断、独立防误校验、联动视频监视等技术,保证一键操作的安全性<sup>[10]</sup>,其操作流程如图 4 所示。

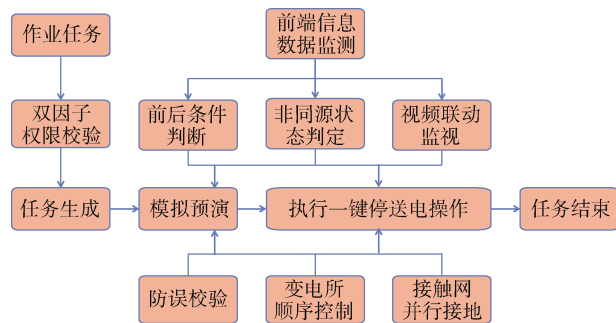


图 4 供电倒闸一键停送电智能操作流程

Fig. 4 Intelligent operation process of one-button power outage or power transmission

#### 4.8 供电运维智能联控

系统充分发挥了管控平台资源共享、深度融合的优势,实现了供电运维多种智能联控功能。当某个点出现报警或异常时,联动控制其他相关模块或子系统,自动跟踪、快速应对,提高了供电系统运维的安全性和应急管理水平。智能联控实现的功能很多,如:操作、告警、环境异常联动视频监视及录像,现场温度、气体监测、水位异常自动启动空调控制、通风、排水,

消防报警自动启动灭火装置、解除门禁、报警信息移动终端自动推送,等等。

## 5 结语

国内城市轨道交通目前处于高速发展时期,传统人工运维方式已不能满足日益发展的轨道交通运维需求,预知性维修是未来主流维修模式。城市轨道交通供电运维智能管控系统符合国家和行业发展战略,创新性地应用智能传感、大数据、软件集成、人工智能、视频分析、虚拟现实等前沿技术,在保证运维作业安全的前提下,为城市轨道交通运营单位带来显著的经济效益和工作效率的提升,具有广阔的市场前景。

## 参考文献

- [1] 何霖, 鹿开阳. 城市轨道交通供电运行安全生产管理系统[J]. 都市轨道交通, 2014, 27(4): 101-104.  
HE Lin, PANG Kaiyang. Management system for power supply operation safety of urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2014, 27(4): 101-104.
  - [2] 兰慧峰, 芮学宝. 轨道交通供电安全生产管理体系探讨[J]. 电气化铁道, 2016(2): 28-32.
  - [3] 徐劲松, 张建昭, 谢涛, 等. 宁波地铁供电作业安全管控系统研究与应用[J]. 轨道交通, 2016(2): 93-98.
  - [4] 池代臻. 浅析城市轨道交通供电运行安全管理体系建设[J]. 中国新技术新产品, 2016(10): 184-185.
  - [5] 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, 87(3): 13-20.
  - 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]. New industrialization strategy, 2018, 87(3): 13-20.
  - [6] 梁国威. 智能视频监控技术在城市轨道交通系统的应用[J]. 通讯世界, 2018(5): 68-69.
  - [7] 魏焱. 基于 VR 的变电站智能巡检场景研究与设计[J]. 科技视界, 2013(27): 317-319.  
WEI Yan. The research and design on the scene of substation intelligent inspection based on VR[J]. Scientific & technical vision, 2013(27): 317-319.
  - [8] 李再华, 刘明昆. 电力系统故障的智能诊断综述[J]. 电气技术, 2010(8): 21-24.  
LI Zaihua, LIU Mingkun. Review of intelligence fault diagnosis in power system[J]. Electrical engineering, 2010(8): 21-24.
  - [9] 朱义贤, 吕学增, 罗俊骁, 等. 闸刀远方操作位置检查方案探析[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2019, 24(1): 63-66.  
ZHU Yixian, LYU Xuezheng, LUO Junxiao, et al. Analysis of position inspection after remote operation of disconnector[J]. Journal of Anhui Electrical Engineering Professional Technique College, 2019, 24(1): 63-66.
  - [10] 陈煜臻. 轨道交通接触轨/网“一键停送电”技术分析[J]. 地下工程与隧道, 2016(1): 40-43.
- (编辑: 王艳菊)
- 
- (上接第 148 页)
- [7] 李聪. 地铁信号系统智能运维方案设计[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(2): 86-90.  
LI Cong. Design of intelligent operation and maintenance plan of subway signaling system[J]. Railway signalling & communication, 2019, 55(2): 86-90.
  - [8] 王西点, 王磊, 龙泉, 等. 人工智能及其在网络优化运维中的应用[J]. 电信工程技术与标准化, 2018, 31(7): 81-86.  
WANG Xidian, WANG Lei, LONG Quan, et al. Artificial intelligence application in network optimization[J]. Telecom engineering techniques and standardization, 2018, 31(7): 81-86.
  - [9] 杜永生. 智能运维, 基于自学习的自动化运维[J]. 信息通信技术, 2018, 12(1): 8-13.
  - [10] 刘述芳. 城市轨道交通关键设备智能运维系统初步建构[J]. 设备管理与维修, 2018(Z1): 22-23.
  - [11] 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.
- (编辑: 王艳菊)

## 勘 误

我刊 2020 年第 6 期 P99 摘要第 6 行“...解决传统 PBA (框—梁—拱)工法...”应为“...解决传统 PBA (桩—梁—拱)工法...”,特此更正。