

Reflections on the Application Measures of Intelligent Signal Maintenance Systems in Urban Rail Transit

Ruobing He Shouqian Deng Xiangyin Shen

Chongqing Transportation Construction Co., Ltd., Chongqing, 400043, China

Abstract

Urban rail transit plays a vital role in urban public transportation by alleviating ground traffic congestion and enhancing operational efficiency. The signaling system is intrinsically linked to train operations, necessitating the implementation of an intelligent signaling maintenance system that integrates IoT, big data, and AI technologies. This system enables real-time monitoring of operational status, intelligent fault early warning, and comprehensive lifecycle management, thereby significantly improving maintenance effectiveness. This article analyzes the application strategies of intelligent signaling maintenance systems in urban rail transit, aiming to elevate maintenance standards and ensure safe, reliable operations across the entire urban rail network.

Keywords

intelligent signal maintenance system; urban rail transit; application measures

信号智能化维护系统在城市轨道交通的应用措施思考

何若冰 邓寿乾 沈香吟

重庆交通建设管理有限公司, 中国 · 重庆 400043

摘 要

城市轨道交通在城市公共交通运行中发挥了重要作用,能够缓解地面交通压力,提高交通运行效率。信号系统与列车运行情况息息相关,需要引进智能化信号维护系统,对物联网、大数据技术、人工智能技术等进行联合应用,实现信号系统运行状态的实时监测、故障智能预警,并实现信号系统全生命周期管控,有效提升信号系统维护效果。文章主要对信号智能化维护系统在城市轨道交通中的应用措施进行分析,从而有效提升城市轨道交通信号维护水平,实现整体城市轨道交通的安全可靠运行。

关键词

信号智能化维护系统;城市轨道交通;应用措施

1 引言

随着城镇化进程的加快,城市轨道交通全自动运行线路规模逐渐扩展,同时对信号系统维护模式提出了更高的要求,传统的人工巡检、故障被动处置方式已经不适合新时期发展需求。本文以 FAO 全自动信号系统为研究对象,对信号智能化维护系统在城市轨道交通中的应用策略进行分析,提出适配城市轨道交通场景的落地优化措施,推动城市轨道交通信号维护系统的数字化转型发展。

2 信号智能化维护系统在城市轨道交通中的应用意义

FAO 全自动运行信号系统是城市轨道交通领域当前技术层级最高的信号控制系统,区别于传统自动化等级较低的

信号系统,FAO 系统可实现列车从发车、行驶、停靠、开关门到折返的全流程无人干预运行,是支撑城市轨道交通智能化转型的核心基础设施。FAO 系统取消了车上乘务人员,所有行车调度、运行控制均由信号系统自主完成,对信号设备的运行可靠性、故障处置时效性提出了远高于传统线路的要求。传统的信号系统维护模式存在的问题,包含:维护方式以人工定期巡检为主,对维护人员的经验判断过度依赖,难以提前识别设备隐性故障,仅仅能够进行事后处置,维修模式较为被动;此外,FAO 系统设备点多面广,包含数百个核心子设备,人工巡检效率较低,容易出现漏检错检现象;故障发生后需要多个部门系统定位排查,故障处置时间较长,容易引起大面积运营延误问题^[1]。针对这种情况,需要依托物联网、大数据分析技术、人工智能技术构建信号智能化维护系统,以便对信号系统设备的运行状态进行实时监测,提前预警潜在故障,精准定位故障位置,有效提升整体城市轨道交通运维水平,保障行车安全,提升运营效率需求,实现全生命周期管理,促进城市轨道交通可靠性运行。

【作者简介】何若冰(1986-),女,中国陕西西安人,本科,高级工程师,从事信息化及轨道交通研究。

其中，信号智能化维护系统核心架构如表 1 所示。

表 1 信号智能化维护系统核心架构

层级	核心组成	主要功能
端侧采集层	各类传感器、通信接口、数据采集模块	采集信号设备的电压、电流、温度、板卡状态、通信时延等多维度运行数据，实现全设备点位的数据接入
边缘计算层	车站边缘节点、数据预处理单元	完成原始数据清洗、格式转换、本地逻辑判断，实现轻量级故障的本地快速处置，减少云端算力消耗
云端分析层	大数据存储平台、AI 分析引擎、运维管理中台	开展设备健康度评估、故障预警预测、全生命周期数据管理，生成运维决策方案

3 信号智能化维护系统在城市轨道交通中的应用路径

3.1 设备状态实时监测

城市轨道交通信号系统发生故障频率较高的设备有转辙机、信号机、轨道电路。针对不同设备的具体情况，智能化维护系统采取相适应的应对措施：针对转辙机，对该设备运行过程中的电流曲线、功率曲线等数据进行全面采集，并根据转辙机的动作时间、摩擦力等参数，对该设备的卡阻、缺油、接触不良等潜在隐患进行精准识别，如果在监测过程中发现转辙机动态电流呈现持续上升状态，则表面该设备的机械摩擦力阻力过大，需要提前预警，如在天窗点进行维护，确保其正常运转。针对信号机设备，需要对点灯电流波动情况进行实时监测，精准识别灯丝断丝的潜在隐患，防止信号灯非正常灭灯引起的行车停车问题^[2]。针对轨道电路问题，需要对其发送端电压、接收端电压等状态进行实时监测，精准识别轨道电路分路不良、设备老化问题，以便提前处置，防止列车占用检测错误问题。信号智能化维护系统在 FAO 系统中的应用，需要利用统一数据接口标准，把各个分散的子系统数据进行集中接入，改变以往数据孤岛问题。如可以对车载控制器中的无线通信时延、应答器接收误差等数据进行实时监测和动态采集，一旦数据偏离正常阈值，就会第一时间触发异常提醒，提醒维护人员及时处理，避免故障升级引发行车事故。

3.2 设备故障诊断

在人工智能算法的基础上，智能化维护系统对故障进行提前预警，并对历史故障数据进行整合分析，构建数据预测模型，以便对设备故障进行提前预警，落实信号系统预测维修模式。现阶段城市轨道交通中常见的预测模型包含长短期记忆网络、支持向量机、随机森林算法等^[3]。针对信号系统常用的继电器设备，FAO 系统中继电器的动作次数超过上万次，触点磨损、接触不良故障较为多见。针对这种情况，智能化维护系统需要采集继电器动作时的电压电流波形，并将其与正常波形比较分析，以便提前识别触点老化等隐性故

障，向维护人员发出预警信号，以便提前更换，减少突发故障引起的紧急停车问题。此外，信号智能化维护系统构建轨道交通信号系统的故障诊断知识库，对不同设备的典型故障模式、诊断流程等内容进行综合整合，为后续快速定位、修复故障提供依据。此外习题还可以给出相应的维修方案，如更换关键部件、调整参数等，实现故障诊断过程的自动化、智能化，提高故障排查速度，减少对列车正常运营的影响。

3.3 全生命周期运维管理

信号智能化维护系统在 FAO 系统中的运用，可以对设备采购入库、进场验收、安装调试、运行维护、报废更换等全生命周期数据进行统一存储和管理，形成完整的设备健康档案，在系统中详细记录设备型号、供应商、安装位置、安装时间、调试参数等数据信息，同时要自动记录设备运行数据、维护记录、故障处置记录等。运维人员需要结合信号系统全生命周期数据，分析不同品牌、不同型号设备的实际使用寿命和故障发生率，为后续设备采购、更新改造提供数据支撑。通过结合设备健康度自动生成运维计划，结合设备状态进行差异化巡检，减少无效运维工作量，控制运维成本，促进系统维护精准性^[4]。当设备接近设计使用寿命时，要结合长期运行数据评估设备的健康状态，预测剩余使用寿命，即利用健康评估数据判断故障程度、利用趋势数据预测判断故障动态、利用已知累计里程和维修履历提取特征参数，进而预测设备剩余寿命，提前维护人员及时更换。通过全生命周期管理，管理人员可以全面掌握所有信号设备的状态，合理安排维护计划，避免过度维护增加运营成本，也避免维护不足引发安全隐患。

3.4 故障快速定位抢修

当信号系统出现突发故障后，智能化维护系统能够快速定位故障位置，并给出精准诊断，为后续抢修工作的开展提供依据。信号智能化运维系统能够对多元数据进行交叉验证，并直接锁定故障设备与故障点，并精准判断故障类型，缩短故障范围，减少现场逐一排查时间，提高抢修效率^[5]。此外系统还能够对该设备同类型故障历史处置记录进行自动调取，生成标准化的抢修方案，为一线维护人员抢修工作的开展提供技术指导。在该系统支持下，还可以利用 AR 技术远程协助强求工作，后台专家可以通过实时画面指导现场操作，提高抢修效率，减少故障引发的运营延误。

3.5 通信网络的智能化运维

通常情况下，城市轨道交通信号系统采用数字化、网络化架构，并利用工业以太网对不同信号设备之间进行数据交互，只有保障通信网络的安全性才能促进信号系统的可靠运行。信号智能化维护系统能够实时监测信号通信网络的关键指标，如网络带宽利用率、丢包率、端口状态等，并分析网络流量特征，以便精准识别潜在的网络异常、网络攻击等疾患问题，快速定位通信网络故障位置。此外还能够统一管理网络配置信息，对网络配置变更历史进行详细记录，一旦

出现网络故障，就会第一时间回溯变更内容，提高故障排查效率。还能对车地无线通信系统各个位置的信号强度、信噪比等进行实时监测，精准识别信号盲区和干扰源，为后续干扰排查、调整天线位置提供指导。信号智能化维护系统在城市轨道交通中的应用效果如表 2 所示。

表 2 智能化信号维护系统的应用效果

效果维度	具体成果
安全性大幅提升	-线路故障率下降 30% 以上 -列车晚点时长缩短 40%
运营效率明显提高	-高峰时段客运量增加 15% 以上 -乘客平均等候时间下降 20%
维护成本显著降低	-维修成本降低 25% 左右 -人工成本下降 30% 以上
管理决策更加智能化	-线路运行状况全面可视化 -为管理人员提供科学决策支持

3.6 协同调度管理

在信号智能化维护系统支持下构建线网级的智能化维护平台，以便对各个线路信号设备运行状态进行统一监测，实现各类资源的统一调度。尤其可以通过强化学习算法，对列车运行状态数据和各个车站客流分布情况进行实时采集和分析，线网指挥中心能给利用平台实时勘察所有线路信号系统的健康状态，实现行车调度系统、乘客信息系统的联动，一旦线路出现轻微设备故障，系统会自动向调度系统发送调整建议，并调度附近线路的维护人员、备件库存信息，辅助指挥中心调度应急抢修资源，提高应急处置效率，减少对运营的影响。当系统识别到某一个道岔设备出现异常预警后，自动调度后续列车避让该道岔，通知维护人员在运营间隙前

往处置，完全不影响正常运营秩序。同时还可以对所有线路的设备故障数据进行汇总分析，总结故障发生规律，提前采取预防性维护措施，强化运维管理工作的针对性和有效性。

4 结论

综上所述，信息时代，FAO 全自动信号系统在城市轨道交通中得到广泛应员工你，推动了城市轨道交通的智能化发展。信号智能化维护系统在 FAO 全自动信号系统中的应用，能够提高运维效率，强化轨道交通运营安全性和可靠性，尤其可以实时监测设备状态、实现提前预警诊断，实现全生命周期运维管理，减少故障出现几率，为城市轨道交通高质量发展创建良好条件。

参考文献

[1] 郑涛. 智能化技术在地铁信号系统维护中的应用探索 [J]. 中国设备工程, 2025, (06): 33-35.

[2] 陈佳民. 全自动运行系统中信号系统与站台门的集成控制方案研究 [J]. 运输经理世界, 2024, (34): 70-72.

[3] 周理. 信号智能化维护系统在城市轨道交通的应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (11): 160-162.

[4] 冯浩楠,姜庆阳,刘剑,等. 城市轨道交通全自动运行信号系统设计与实现[C]// 中国智能交通协会. 第十四届中国智能交通年会论文集 (2) . 中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所;国家铁路智能运输系统工程技术研究中心;中国铁道科学研究院集团有限公司;北京华铁信息技术有限公司,; 2019: 14-19.

[5] 徐德龙,韩安平,徐杰. 高速铁路信号系统运维数据可视化和智能化研究[C]// 中国智能交通协会. 第十五届中国智能交通年会科技论文集 (1) . 中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所,; 2020: 266-277.