

地铁车站机电设备智能化维保体系构建及效能评估

杨婉清

贵阳轨道交通三号线建设运营有限公司运营分公司, 中国·贵州 贵阳 550000

摘要: 地铁车站机电设备作为城市轨道交通系统安全运行与高效服务的基础保障, 长期以来在维护与保养方面面临着管理粗放、反应滞后、人工成本高、设备故障难以提前预警等诸多挑战。随着大数据、物联网、人工智能等技术的快速发展, 智能化维保体系已成为推动地铁机电设备管理现代化、科学化、精细化转型的必然趋势。论文以地铁车站机电设备为对象, 系统分析了智能化维保体系的构建路径与关键技术, 梳理了现有维保管理存在的典型问题, 提出基于物联网感知、数据驱动、智能诊断和预测性维护的智能化维保体系设计思路。在此基础上, 建立维保效能评估指标体系, 通过实际应用与数据对比, 评估智能化维保体系对设备故障率、维修响应、资源利用率等方面的优化效果。研究表明, 智能化维保体系能够有效提升设备运行可靠性与运维效率, 为城市轨道交通运营和高质量发展提供有力支撑。文章最后展望了地铁车站机电设备智能维保技术的未来发展方向。

关键词: 地铁车站; 机电设备; 智能化维保; 体系构建; 效能评估

Construction and Efficiency Evaluation of Intelligent Maintenance System for Mechanical and Electrical Equipment in Subway Stations

Wanqing Yang

Guiyang Metro Line 3 Construction and Operation Co., Ltd. Operation Branch, Guiyang, Guizhou, 550000, China

Abstract: As the basic guarantee for the safe operation and efficient service of urban rail transit systems, the mechanical and electrical equipment of subway stations has long faced many challenges in maintenance and upkeep, such as extensive management, delayed response, high labor costs, and difficulty in early warning of equipment failures. With the rapid development of technologies such as big data, the Internet of Things, and artificial intelligence, an intelligent maintenance system has become an inevitable trend in promoting the modernization, scientific, and refined transformation of subway electromechanical equipment management. The paper takes the electromechanical equipment of subway stations as the object, systematically analyzes the construction path and key technologies of intelligent maintenance system, sorts out the typical problems existing in existing maintenance management, and proposes a design idea for intelligent maintenance system based on IoT perception, data-driven, intelligent diagnosis, and predictive maintenance. On this basis, establish a maintenance efficiency evaluation index system, and evaluate the optimization effect of intelligent maintenance system on equipment failure rate, maintenance response, resource utilization rate, etc. through practical application and data comparison. Research has shown that intelligent maintenance systems can effectively improve equipment reliability and operational efficiency, providing strong support for the safe operation and high-quality development of urban rail transit. The article concludes with an outlook on the future development direction of intelligent maintenance technology for subway station electromechanical equipment.

Keywords: subway station; mechanical and electrical equipment; intelligent maintenance; system construction; effectiveness evaluation

0 前言

地铁作为城市轨道交通的重要组成部分, 承担着城市居民日常出行的核心功能。随着城市轨道交通建设规模不断扩大、系统复杂性逐步提高, 地铁车站机电设备的运行维护面临巨大挑战。传统维保模式存在周期性强、被动式管理、人工成本高、设备突发故障频发等问题, 难以满足安全、高效、智能化管理的需求。近年来, 信息化、数字化和智能化技术的快速发展, 为机电设备维保管理注入了新动能。通过

引入物联网、大数据、人工智能等技术, 推动维保模式从“事后被动”向“事前预防”“智能预测”转型, 已成为地铁设备管理提升的关键突破口。智能化维保体系的构建不仅能够提升设备运行的稳定性和可靠性, 还能实现资源的最优配置和运维成本的有效控制。论文聚焦地铁车站机电设备智能化维保体系构建, 分析体系设计、关键技术、运行效能和优化路径, 为轨道交通现代化管理和安全运营提供理论支撑与实践参考。

1 地铁车站机电设备维管理现状与问题分析

1.1 维管理的现状

目前地铁车站机电设备主要包括空调通风、电梯扶梯、给排水、电力照明、自动售检票、消防安防等多个子系统。维管理普遍采用定期巡检与定额维护为主，辅以突发故障处理。各系统维护标准与频次不一，作业流程依赖人工经验，缺乏统一的信息化平台支撑，导致设备全生命周期管理难度大、管理手段分散、工作效率较低。部分地铁运营单位已初步引入移动巡检、在线监测等信息化工具，但智能化水平仍有待提高。

1.2 存在的主要问题

首先，传统维管理缺乏实时性与精准性。大多数运维依靠时间节点与经验判断，无法及时感知设备潜在异常，容易导致故障发生后被动应对。其次，维保资源配置不均，存在部分设备重复维保、部分设备疏于管理现象。再次，维保数据碎片化，信息孤岛问题突出，设备运行与维修数据未能有效整合，难以智能决策和优化提供支撑。最后，技术人员队伍老化、技能结构单一，智能化管理理念与技能储备不足，难以适应设备运维现代化发展需求。

1.3 技术发展需求

随着地铁网络规模扩大和乘客服务需求提升，设备故障容忍度不断降低。地铁车站机电设备管理亟须从“事后修复型”向“预测预防型”“智能协同型”转变。智能化维保体系的构建对信息感知、数据处理、智能分析、资源调度和决策优化提出了更高要求，必须集成物联网、人工智能、大数据分析等多元技术，推动地铁设备维保全面升级。

2 地铁车站机电设备智能化维保体系的架构设计

2.1 体系总体架构

智能化维保体系以物联网感知平台为基础，集成了智能传感器、边缘计算设备和无线通信网络，能够实现对机电设备状态的全天候、全方位在线采集与实时监控。通过高精度传感器采集温度、振动、电流、电压等关键运行参数，边缘计算设备对数据进行预处理和初步分析，减少了数据传输压力，提高了系统响应速度。核心数据平台汇集设备运行历史、维护记录及故障信息等多元异构数据，依托大数据分析技术、人工智能诊断算法和专家系统决策支持，实现设备全生命周期的智能化管理闭环。体系架构划分为设备层、网络层、平台层和应用层，分别承担数据采集、传输、存储与处理以及运维决策和可视化展示等功能，确保维保流程的自动化、精准化和高效化。该体系不仅提升了设备状态监控的实时性和准确性，也优化了维护资源配置，有效降低设备故障率和运维成本，为智能化设备管理提供坚实支撑，推动传统维保向智能运维转型升级。

2.2 关键功能模块

主要包括状态监测模块、健康评估模块、故障诊断模块、

预测维护模块、资源管理模块和效能评估模块。状态监测模块实现对关键机电设备运行参数（如电流、电压、温度、振动、噪声等）的实时采集。健康评估模块基于历史与实时数据，动态判断设备健康等级。故障诊断模块集成基于规则与模型的智能诊断算法，实现故障的快速定位与成因分析。预测维护模块通过机器学习、数据挖掘等手段，预测设备失效概率和剩余寿命，自动生成维护计划。资源管理模块优化人员、工具与备件调度，提升运维资源利用率。效能评估模块对维保过程和设备运行状态进行多维度评价，实现体系持续优化。

2.3 技术实现路径

体系建设以智能感知技术为核心，精心选用高精度传感器、无线采集节点及边缘计算设备，确保数据采集的高效性和可靠性。通过先进的硬件部署，实现对地铁设备各类运行参数的实时监控，为后续数据处理奠定坚实基础。平台层集成了强大的大数据处理与分析引擎，构建设备知识库和智能诊断模型，实现对设备状态的深入解析与异常预警，提升故障预测的准确性。应用层面开发了功能完善的可视化管理界面、便捷的移动运维 APP 以及智能运维决策系统，有效支撑运维人员的精准操作和管理层的科学决策。体系采用分布式部署和分级管理方式，确保地铁各站点、设备和运维人员之间的全方位智能协同，推动设备维护管理从传统被动向主动预防转型，实现资源的最优配置与运维效率的最大化。此智能运维体系为地铁设备的稳定运行与安全保障提供了坚实保障，助力智慧城市基础设施建设。

3 智能化维保体系的关键技术与集成创新

3.1 物联网感知与智能采集技术

该系统依托无线传感器网络技术，覆盖地铁车站内所有关键机电设备，实现对温度、湿度、电流、电压、振动等多个参数的多点实时采集。无线传感器的灵活部署使得监测范围广泛且布设便捷，有效弥补了传统有线监测的局限。边缘计算设备承担数据的初步处理和异常信号筛选任务，能够在数据传输前完成预处理，极大降低了网络负载，提升了数据响应的及时性和准确性。感知层的设计重点在于保证设备的高可靠性，确保数据采集不中断，减少丢包现象，同时须具备低延迟性能，满足实时监控对时效性的严格要求。低能耗特性则保障传感节点能够长时间稳定运行，减少维护频率。整个系统通过多参数同步监测与智能分析，构建了一个高效、稳定且安全的机电设备监控平台，为地铁设备的安全运行和故障预警提供了坚实的技术保障。

3.2 大数据分析 with 智能诊断算法

平台通过汇集历史数据与实时维保信息，利用先进的数据挖掘技术和机器学习算法，构建设备故障判别、异常趋势预测以及剩余寿命评估模型。这些模型能够对设备运行状态进行全面分析，识别潜在的异常信号，并预测设备可能出现的故障风险和剩余使用时间。智能诊断算法结合多维数据

融合技术,整合传感器数据、环境参数和运行记录,实现对设备状态的精准感知。专家系统规则与深度学习技术相结合,进一步提升诊断的准确性和智能化水平,对异常情况进行科学分级管理。通过这一系统,维保人员不仅可以实时掌握设备的健康状况,还能获得基于数据分析的维修建议和决策支持,有效指导维护策略的制定和执行。该平台的应用显著提高了设备管理的智能化水平,降低了维护成本,减少了设备故障停机时间,为保障设备稳定运行和延长使用寿命提供了坚实技术支撑。

3.3 预测性维护与自动化运维决策

预测性维护依托设备状态监测数据和故障概率分析,能够自动生成科学合理的维护计划,有效避免因过度维护导致的资源浪费,也能预防突发故障对生产运行造成的影响。通过整合云计算平台和移动应用技术,实现对设备状态的远程实时监控,系统能够在设备出现异常时自动触发报警,及时通知相关人员。维保任务则通过智能化平台自动分派,确保维护工作迅速响应且有序开展。自动化决策系统支持多站点、多设备的协同运维,实现运维资源的优化配置和最大化利用。该系统不仅提升了维保的响应速度和执行效率,也增强了整体设备管理的科学性和精准性。借助数据驱动和智能分析,维护计划动态调整更为灵活,保障设备运行稳定,延长设备寿命,提高生产安全和经济效益。预测性维护在智能化运维体系中扮演着核心角色,为现代工业和基础设施管理注入了强大的技术动力。

4 智能化维保体系效能评估指标体系与实证分析

4.1 效能评估指标体系构建

效能评估体系涵盖设备可靠性指标、维保效率指标、资源利用率指标、运维响应指标以及运维成本指标等多个方面。设备可靠性通过故障率和平均无故障运行时间等关键数据反映设备的稳定性和寿命表现。维保效率则以故障响应时间和维护完成时间为衡量标准,体现运维团队的快速反应和处理能力。资源利用率关注人员配置、工具使用和备件管理的合理性与效率,确保资源发挥最大效能。运维成本方面,不仅包括直接的维修费用,还涵盖设备停机带来的经济损失。通过对这些指标的综合分析,可以全面了解维保体系的运行状况和存在的问题。数据驱动的多维评估为优化智能化维保体系提供科学依据,使管理者能够精准调整策略,提升设备管理水平和运维效率。评价结果还助力识别瓶颈环节,推动资源合理配置和流程改进,促进智能维保体系的持续完善和升级,从而保障系统安全稳定运行,提升整体运营效益。

4.2 智能化维保应用成效

地铁系统引入智能化维保体系后,设备故障率显著降低,突发性故障事件大幅减少,维保响应速度和维修完成效率得到了明显提升。运维人员借助智能平台能够实时接收和处理任务,结合精准的数据分析,优化维修方案,确保操作

流程更加规范和高效。设备的利用率得到显著提高,资源调度更加科学合理,避免了资源浪费和重复调配。对比传统维保模式,智能化体系不仅节省了大量人力成本,还有效降低了运营风险,保障了地铁系统的安全稳定运行。通过智能预警和远程监控,实现了设备状态的实时把控,使得潜在问题能够在早期得到发现和处理,减少了因设备故障带来的运营中断和安全隐患。整体来看,智能化维保体系在提升地铁设备管理水平的同时,也促进了运维效率和服务质量的全面提升,为现代城市轨道交通的可持续发展提供了强有力的技术支持。

4.3 系统优化与持续改进路径

效能评估结果为智能化维保体系的优化提供了科学依据。通过持续分析和反馈,能够针对感知节点的布设进行合理调整,确保数据采集更加全面和精准。数据分析模型的不断完善使得异常检测和预测能力显著提升,推动决策流程更加高效和智能化。跨部门和跨专业的协作机制为体系的全面发展注入活力,不同领域的专家共同参与,促进资源共享和优势互补,提升整体运维水平。标准化和规范化的运维流程建设成为保障体系稳定运行的重要支撑,确保各环节操作规范统一,减少人为失误,提高响应速度和处理效率。知识共享平台和经验沉淀机制的建立,有助于积累和传承运维智慧,形成持续改进的良性循环。随着技术和管理的不断升级,智能化维保体系将不断演进,适应复杂多变的运行环境,实现更加高效、精准和可持续的设备管理,为系统安全稳定运行提供坚实保障。

5 结语

地铁车站机电设备智能化维保体系的建设,成为推动城市轨道交通现代化管理的重要组成部分。该体系融合物联网、大数据、人工智能等先进技术,实现设备状态的实时监测、健康评估以及故障的精准诊断与预测性维护,从而显著提升了地铁设备的运行可靠性和整体效率。通过建立科学的维保效能评估体系,不仅为智能维保体系的持续优化提供了坚实的数据支撑,也为决策者制定合理的运维策略提供了依据。研究实践证明,智能化维保有效提升了设备管理水平,优化了人力与物资资源配置,降低了维护成本,极大增强了地铁系统的安全性与稳定性。未来的发展应着力于技术创新,推动智能维保关键技术的突破,并积极构建完善的标准体系以规范行业发展。

参考文献:

- [1] 赵磊,王伟.城市轨道交通机电设备智能化运维体系研究[J].城市轨道交通研究,2022(10):77-84.
- [2] 李斌,许晨.基于物联网的地铁机电设备智能监测与维护管理[J].中国设备工程,2023(6):115-121.
- [3] 刘彬,邓立国.轨道交通机电系统智能运维效能分析与评价[J].智能系统学报,2021(12):96-103.