

轨道交通车站机电设备智能运维系统探究

王志鹏

天津城市轨道咨询有限公司 天津 300000

摘要: 本文围绕轨道交通车站机电设备智能运维系统展开研究,分析系统架构设计与关键技术模块,涵盖物联网、大数据、人工智能及数字孪生等技术的应用。详细探讨系统在设备状态监测、故障诊断、运维决策支持等方面的核心功能,并提出系统的实施路径,包括规划、部署、调试及团队建设等内容。针对系统应用过程中面临的技术与管理挑战,提出相应的应对策略,最后展望未来发展趋势,为轨道交通智能化运维提供理论支撑与实践参考。

关键词: 智能运维; 机电设备; 轨道交通车站; 人工智能; 数字孪生

引言: 随着城市轨道交通规模不断扩大,车站机电设备种类日益增多,传统人工运维方式难以满足高效、精准的维护需求。智能运维系统通过数据驱动与智能算法实现设备状态感知、故障预测与科学决策,正在成为提升运维效率与保障运营安全的重要手段。该系统不仅优化了资源配置,也推动了运维模式从被动维修向主动预防转变,为轨道交通智能化转型奠定基础。

1 轨道交通车站机电设备智能运维系统架构设计

1.1 系统总体架构

轨道交通车站机电设备智能运维系统总体架构采用分层设计,各层级既独立运行又紧密协作。硬件层作为基础支撑,由传感器网络、边缘计算设备、通信基础设施构成。传感器网络负责采集设备运行参数、环境指标等基础信息,涵盖温湿度、振动频率、电流电压等维度;边缘计算设备对采集数据进行初步处理与筛选,降低数据传输压力;通信基础设施构建稳定传输通道,保障数据快速准确抵达上层系统。数据层承担数据全生命周期管理职责。数据采集模块通过多源接口对接硬件层设备,实现异构数据统一接入;存储模块采用分布式架构,满足海量数据存储需求;数据清洗与预处理机制对原始数据进行格式转换、缺失值修复、噪声过滤,为后续分析奠定基础。平台层是系统核心功能实现载体。智能分析算法库集成多种成熟算法与自定义算法框架,适应不同设备运维需求;运维知识图谱整合设备原理、历史故障、维修经验等信息,构建知识关联网络;决策支持引擎基于数据层处理结果与知识图谱规则,生成设备状态评估与运维建议。应用层将平台层分析结果转化为实际运维操作。设备状态监测模块以可视化界面展示设备运行状态;故障预警模块基于算法预测潜在故障并触发预警;运维任务调度模块根据预警等级、资源可用性等因素,生成最优维修计划与工单分配方案。

1.2 关键技术模块

物联网(IoT)技术贯穿系统各环节。在传感器选型与部署策略方面,依据机电设备特性与运维需求,选择高精度、低功耗传感器,并通过拓扑优化算法确定传感器安装位置,确保设备运行数据全面覆盖^[1]。设备状态数据实时传输采用多协议适配技术,兼容Modbus、TCP/IP等多种通信协议,实现不同厂商设备数据的统一传输与解析。大数据分析挖掘技术聚焦设备运行数据处理。数据特征提取方法从时间序列、波形数据中挖掘关键特征,提升数据表征能力;异常检测与故障模式识别算法通过建立设备正常运行基线模型,对比实时数据,识别设备异常状态与故障模式,为故障预警提供依据。人工智能(AI)与机器学习(ML)技术深度赋能运维系统。基于深度学习的预测性维护模型,通过分析设备历史运行数据,预测设备故障时间与类型,提前规划维护任务;强化学习在运维任务优化中的应用,以运维效率、成本等为目标函数,通过不断试错学习,优化运维资源分配与任务调度策略。数字孪生技术为车站机电设备构建虚拟镜像。通过三维建模与仿真技术,对设备结构、运行原理进行数字化复现,实现设备全生命周期状态映射。虚实交互机制使虚拟模型能够实时同步真实设备运行数据,支持运维策略在虚拟环境中的模拟验证,降低实际运维风险,提升决策准确性。

2 轨道交通车站机电设备智能运维核心功能

2.1 设备状态实时监测与健康评估

设备状态实时监测与健康评估依赖多源异构数据融合分析技术。轨道交通车站机电设备产生的信号、参数、日志等数据,来源不同、格式各异。通过数据融合算法,将传感器采集的物理参数、设备运行日志、环境监测信息整合,形成完整的设备状态数据集。同时构建设备健康度量化评估指标体系,从机械性能、电气参

数、能耗效率等维度设定评估维度,细化到振动幅度、温度变化率等具体指标,全面衡量设备运行状况。动态阈值设定与状态预警策略保障监测精准性。传统固定阈值难以适应设备运行工况变化,系统通过分析设备历史数据、运行规律,结合实时工况,动态调整监测阈值。当设备运行参数超出动态阈值范围,即触发状态预警,预警级别依据偏离程度分级,为运维人员提供清晰的设备异常提示。

2.2 故障智能诊断与定位

故障智能诊断与定位始于故障特征库构建与更新机制。收集设备故障时的各项特征信息,包括故障现象、关联参数变化、历史维修记录等,形成结构化的故障特征库。随着新故障案例出现,及时更新特征库,确保其时效性与准确性^[2]。基于知识图谱的故障推理技术,将故障特征库中的数据关联整合,构建故障知识网络。当设备出现异常,系统以实时监测数据为输入,在知识图谱中进行模式匹配与推理,分析可能的故障原因。故障传播路径分析与定位算法,从故障现象出发,沿着设备结构、功能链路追溯故障源头,精确定位故障发生位置与影响范围,辅助运维人员快速制定维修方案。

2.3 运维决策支持与任务调度

运维决策支持与任务调度依赖运维资源优化配置模型。针对人力、备件、工具等资源,综合考虑任务需求、资源可用性、成本因素,构建数学模型。通过优化算法求解,实现资源在不同运维任务间的合理分配,避免资源闲置与短缺问题。运维任务优先级动态排序算法依据故障严重程度、设备重要性、影响范围等因素,对运维任务进行优先级评估。紧急故障任务优先处理,常规维护任务根据设备运行状态灵活安排。系统提供预防性、预测性、修复性等多种维修策略推荐,预防性维修基于设备运行周期与历史数据,提前安排维护;预测性维修依据故障预测结果,在故障发生前介入;修复性维修针对突发故障,保障设备尽快恢复运行。

3 轨道交通车站机电设备智能运维系统实施路径

3.1 系统规划与需求分析

系统规划首重车站机电设备分类与运维需求调研。轨道交通车站机电设备涵盖通风空调、电梯扶梯、给排水、供电等多个子系统,各系统运行逻辑与维护需求差异显著。通过设备台账梳理、运行流程分析,明确不同设备的关键监测点、维护周期与故障高发环节。同时设定智能运维系统功能与性能指标,如设备状态监测实时性要求、故障预警准确率标准、数据处理响应速度阈值等,确保系统功能贴合实际运维场景。系统建设目标

需结合车站运营战略制定,细化为阶段性实施计划。初期聚焦关键设备联网与基础数据采集,搭建系统基础框架;中期深化数据分析与智能算法应用,实现故障预警与初步决策支持;后期完善全设备覆盖与跨系统协同,达成运维资源智能调度与策略优化。

3.2 技术选型与集成方案

硬件设备选型需兼顾性能与兼容性。传感器选型依据设备监测需求,选择高精度、低功耗且适应复杂环境的类型;边缘计算设备需具备强大的数据处理能力与通信适配性^[3]。完成选型后,通过兼容性测试验证设备间通信协议匹配度与数据交互稳定性,避免因硬件冲突导致系统运行异常。软件平台架构设计采用分层模块化理念,将数据采集、存储、分析、应用等功能分离,提升系统扩展性与维护性。开发工具选择适配架构需求的技术栈,确保代码高效运行与功能实现。针对第三方系统(如SCADA、BAS)集成,制定统一的数据接口标准与通信协议,设计数据交互流程,打通不同系统间的数据壁垒,实现设备信息与控制指令的无缝对接。

3.3 系统部署与调试优化

系统现场安装调试遵循严格流程。先进行硬件设备部署,包括传感器安装、通信网络铺设、边缘计算节点搭建。传感器安装需确保位置精准,避免干扰与信号衰减;通信网络采用冗余设计,保障数据传输稳定。再完成软件平台部署,配置数据采集模块、算法模型与应用界面。调试阶段重点检查设备数据采集准确性、通信链路稳定性、系统功能完整性。通过模拟设备运行场景,验证数据采集与传输是否正常;对算法模型进行样本测试,确保故障诊断与预测的准确性。系统性能测试与压力评估通过模拟高并发数据采集、复杂算法运算等场景,检验系统响应速度、数据处理能力与稳定性。采用负载测试、容错测试等方法,发现系统性能瓶颈与潜在风险。持续优化与迭代升级机制基于系统运行反馈,定期更新算法模型、优化软件代码,根据设备更新与运维需求变化调整系统功能。

3.4 运维团队能力建设与培训

智能运维技能培训体系围绕系统功能构建。培训内容涵盖设备数据解读、故障预警分析、智能决策工具使用等,采用理论教学与实操演练结合的方式,帮助运维人员掌握新工具与技术。伴随系统应用,运维人员角色从被动维修向主动管理转变,职责调整为设备状态监控、故障预测分析、运维策略执行,需重新明确岗位工作流程与考核标准。跨部门协作与信息共享机制打破组织壁垒。建立运维部门与设备管理、运营调度等部门的

沟通渠道,制定标准化信息传递流程,确保设备异常信息、运维任务安排等及时同步。通过信息共享平台整合多部门数据与资源,促进跨领域协同决策,提升整体运维效率与响应速度。

4 轨道交通车站机电设备智能运维系统挑战与对策

4.1 技术挑战与应对策略

数据安全与隐私保护是智能运维系统面临的关键技术挑战。系统运行过程中,设备运行数据、乘客关联信息等敏感数据易遭窃取或篡改。加密传输与存储技术通过对称加密、非对称加密算法结合的方式,对数据在传输链路及存储介质中进行加密处理,防止数据泄露。访问控制与权限管理机制依据用户角色与职责划分数据访问权限,设置多级授权验证,确保只有授权人员可获取特定数据。算法模型可解释性与鲁棒性影响系统决策可信度与稳定性。复杂机器学习算法的决策逻辑难以直观理解,模型解释方法与可视化工具将算法决策过程转化为可解读的规则或图形,帮助运维人员理解故障诊断与预测结果。面对数据异常或恶意攻击,对抗样本防御与鲁棒性增强技术通过生成对抗网络、模型正则化等手段,提升模型在复杂环境下的抗干扰能力,保障算法稳定运行。

4.2 管理挑战与优化方向

运维流程再造与组织变革是智能运维落地的核心障碍。传统运维模式以人工巡检、故障后维修为主,与智能运维的自动化、预测性特征存在冲突^[4]。探索传统运维模式与智能运维融合路径,需重新设计运维流程,将人工经验与系统决策结合,建立混合式运维体系。同时调整运维团队绩效考核指标体系,弱化故障修复数量等传统指标,强化设备预防性维护成效、系统预警准确率等智能运维关键指标。标准规范缺失制约系统发展。制定智能运维术语与定义标准化文件,统一行业技术表述,避免因概念模糊导致的沟通障碍与技术误解。设备状态监测与故障诊断标准从监测指标、诊断流程、评估方法等方面进行规范,确保不同车站、不同厂商设备运维过程的一致性与可比性。

4.3 未来发展趋势与创新方向

5G/6G通信技术为智能运维带来新可能。高带宽、低时延特性支持设备数据的实时、海量传输,满足系统对设备运行状态快速感知需求。基于5G/6G网络,设备远程控制、高清视频巡检等功能得以高效实现,提升运维响应速度与操作精度。区块链技术赋能运维数据可信共享。利用区块链去中心化、不可篡改特性,构建数据共享平台,确保设备运行数据、维修记录等信息在多部门、多主体间安全可信交互。各参与方对数据的操作均被记录上链,实现数据来源可追溯、操作可审计,增强数据可信度与共享效率。自主机器人与无人机在车站巡检中的应用探索拓展运维模式。自主机器人搭载多种传感器,可按预设路径对机电设备进行全方位巡检,完成数据采集与简单故障排查;无人机凭借灵活机动性,对车站高处、复杂结构区域设备进行快速检测,二者结合弥补人工巡检的局限性,提升巡检效率与覆盖范围。

结束语

轨道交通车站机电设备智能运维系统是推动运维模式升级的关键支撑。通过构建多层级系统架构与融合先进技术,可实现设备全生命周期的状态管理与智能决策。尽管在数据安全、流程重构等方面仍面临挑战,但随着5G、区块链与机器人技术的发展,智能运维将迎来更广阔的应用空间。未来应进一步完善标准体系,深化技术集成,推动运维系统向更高层次的自主化、协同化方向演进。

参考文献

- [1]刘浩恺,胡文涛,彭程.城市轨道交通车站机电设备与监控融合研究[J].智能城市,2023,9(08):29-31.
- [2]谭玉良.城市轨道交通车站机电设备联调策略分析[J].城市轨道交通研究,2022,25(10):206-209.
- [3]耿少阳,靳佩跃.城市轨道交通三岔线路直流机电方案探究[J].电气化铁道,2022,33(05):74-77.
- [4]钟迪盛.城市轨道交通牵引机电及电力技术研究[J].科技与创新,2022,(20):56-58.