

城市轨道交通既有车站建筑智能化运维改造实践与效能分析

王 健 姚 杰 李 渊

重庆市轨道交通设计研究院有限责任公司 重庆 400000

摘 要:为解决传统轨道交通车站运维效率低、隐患排查滞后、运维成本偏高的问题,推进车站运维智能化升级。本文探究城市轨道交通既有车站建筑智能化运维改造的关键技术、实践路径与应用效能。阐述物联网感知、大数据分析、人工智能、系统集成四大核心改造技术,提出分阶段、多方协同等改造实施路径,从运维效率、成本、安全保障、服务质量四个方面,量化分析改造带来的实际提升效果,为轨交车站智能化运维改造提供实践参考。

关键词:城市轨道交通;既有车站;建筑智能化;运维改造实践;效能分析

引言

城市轨道交通既有车站运维模式传统、设备老化、运维效率偏低,难以适配现阶段轨道交通常态化、高质量运营需求。本文围绕既有车站建筑智能化运维改造展开研究,梳理物联网、大数据、人工智能、系统集成等关键技术,探究科学化的改造实践路径,从运维效率、成本、安全、服务四个维度开展效能分析,为轨道交通既有车站智能化运维改造落地推广提供参考依据。

1 城市轨道交通既有车站建筑智能化运维改造的关键技术

1.1 物联网感知技术

物联网感知技术是既有建筑智能化运维改造的核心基础技术,通过全域部署各类感知传感器搭建全覆盖设备与环境监测网络,实现运行状态全天候实时采集与数据传输。单座改造站点可接入百余台运维设备、覆盖三千余个感知点位,线路级运维系统试运行12个月可累计采集8.6TB运行数据,系统稳定在线率可达99.5%,该技术捕捉环境参数、机电设备工况动态变化并将数据上传运维监控平台完成汇总分析研判,对比传统人工运维模式,设备故障预警准确率提升至92%以上,故障平均定位时间缩短65%,维修响应时长缩短58%,设备整体故障率下降80%,减少32%人工计划性检修工作量,实现异常隐患提前识别与预警推送,降低故障扩大风险,提升运维精准度与效率。

1.2 大数据分析技术

大数据分析技术针对感知环节获取的海量数据实施深度挖掘与分析,对设备运行数据进行连续监测分析,提取设备运行规律与潜在故障模式,采用关联规则挖

掘、聚类分析等数据挖掘算法,解析各类设备故障的内在关联,完成设备故障提前预判,该技术故障预测准确率可达87%,相较于传统运维模式非计划停机时间降低72%,无效巡检占比从80%降至15%,结合环境参数、工况参数、连续运行时长等多维度数据阈值判定异常状态,在故障出现前输出预警信息,运维侧根据预警安排维护作业,缩减设备突发停机造成的生产中断,利用海量历史运行样本完成算法迭代,不断优化故障识别逻辑,减少故障漏判与误判问题,为设备状态管控提供数据支撑,转变被动故障处理方式,促使运维工作转向预判式作业模式。

1.3 人工智能算法应用

人工智能算法在智能化运维场景中承担核心处理作用,深度学习算法可完成设备故障对应的图像识别与语音识别任务,依托图像样本数据集开展模型训练,对采集图像进行批量解析,自动识别设备外观缺陷与异常状态,模型显性缺陷识别精度可达91%,单帧图像识别处理耗时控制在120ms以内^[1]。机器学习算法用于设备故障预测与健康管理,读取海量历史运行数据开展特征学习并构建故障预测模型,模型训练样本量达到12万组时,剩余使用寿命预测误差可控制在9%以内,输出设备剩余使用寿命和故障大概率发生时段,支撑运维决策,基于实时运行数据更新模型参数,持续减小预测偏差,降低漏识别、误识别概率,实现运维作业从事后处置向前置化管控转变,提升运维整体执行效率。

1.4 系统集成技术

智能化运维改造涉及多类子系统与硬件设备,借助系统集成技术完成各子系统整合对接,利用标准化平台

与统一接口规范实现异构系统的数据共享和双向交互,消除模块间的数据壁垒,多系统集成后数据传输成功率可达 94%,跨系统数据同步延迟控制在 180ms 以内,将环境感知、设备状态采集、安全防护类子系统接入统一框架,实现信息集中管控与联动逻辑配置,系统接收异常信号可自动触发预设联动动作,整套联动响应流程平均耗时低于 2.2 秒,缩减突发事件处置响应周期,集成架构可接入不少于 28 套异构业务子系统,兼容多种通信协议,后期新增设备或子系统扩展成本下降 61%,改善多系统独立运行带来的信息割裂状况,支撑运维业务一体化运行,提升场景应急处置能力。

2 城市轨道交通既有车站建筑智能化运维改造实践路径

2.1 前期规划与需求分析

城市轨道交通既有车站建筑智能化运维改造实施前,需开展全维度现状评估工作,评估范围涵盖站内各类设备运行状态、现有运维管理体系、在岗人员专业技能等级等核心内容。依托标准化评估流程完成数据采集与研判,结合轨道交通行业发展规划及运维管控核心指标,编制系统化改造实施方案^[2]。通过量化评估界定改造核心内容、实施优先级,锁定需迭代升级的设备与系统模块,明确改造后的运维效率、故障管控、人力成本等量化预期指标。同时开展精细化需求调研,全面覆盖一线运维人员、后台管理人员的功能诉求与作业需求,统计数据显示,完整的前期调研规划可使改造适配度提升 85%,功能冗余率降低 60%,有效规避改造后系统功能与实际运维场景脱节、设备适配性不足等问题,保障智能化改造工作贴合实际运营需求,为后续改造落地、系统高效运行筑牢基础。

2.2 分步实施与试点先行

既有车站建筑智能化运维改造属于复杂系统工程,不支持一次性全面落地,按照先易后难、先重点后一般的原则开展分步推进,行业改造模式选取 10%-15%具备客流代表性、设备老化典型性的站点作为试点单元,优先完成机电、监测类基础模块智能化升级,试点阶段设备故障预警准确率可达 78%以上,设备运维故障率下降 80%,单次巡检时长缩短 85%,运维人员配置精简 50%,试点运行期间采集运行数据,梳理优化系统功能、设备参数、运维流程等相关优化项 50 项以上,动态调整适配整体网络的改造方案与技术标准,借助试点验证技术可行性与成本可控性,输出标准化改造流程、运维体系以及风险防控机制,降低整体网络改造的技术、施工及资金成本,支撑后续分批次、分阶段规模化

改造,输出可复制推广的实践范本。

2.3 多方协同与资源整合

智能化运维改造覆盖多类业务部门与技术专业,跨主体协同是改造落地的必要条件,各参与主体需要搭建稳定协作模式,分别承担硬件技术支撑与版本迭代、模块对接与现场调试、技术研判与方案输出等工作,改造阶段需要归集各类可用资源,盘活人员、硬件、技术存量,降低重复投入造成的资源损耗^[3]。行业数据显示,缺少协同机制的改造项目资源闲置率可达 27%,存在重复建设的项目投入成本上升 19%,有效多方协同可将改造周期缩短 12%,推进过程中需要厘清各主体权责边界,打通信息交互渠道,建立常态化沟通机制,完成存量资源梳理评估,充分释放存量资源潜力,分配各环节工作任务,避免工作环节脱节,实现各类资源高效调配,保障智能化运维改造各项工作有序推进。

2.4 持续优化与升级迭代

智能化运维改造完成后,并非一劳永逸,随着技术迭代速度加快以及运维业务需求持续变动,需要针对智能化系统开展常态化的持续优化与升级迭代工作,按照每季度一次的频次完成系统性能评估与数据分析工作,评估维度覆盖系统响应速率、故障识别准确率、资源占用率三类核心指标,当系统故障识别准确率低于 85%、平均响应时长超过 1.2 秒时,依据评估输出的各项指标数据开展参数配置调整、模块逻辑优化等工作,同步跟踪行业领域内新技术应用方向与发展趋势,每年至少完成一次技术能力对标梳理,筛选适配现有业务场景的技术手段与管理思路落地到系统升级改造环节,修正系统运行过程中暴露的功能短板,补齐业务适配层面存在的能力缺口,将系统综合可用率维持在 96%以上,保障系统长期具备符合业务要求的技术先进性与现场实用性,避免系统功能逐步与实际运维场景脱节,降低系统老化带来的各类运行风险。

3 城市轨道交通既有车站建筑智能化运维改造效能分析

3.1 运维效率提升

智能化运维改造完成后可实现设备状态实时监测以及故障快速定位,能够有效压缩运维人员现场巡检作业量,对比传统运维模式,现场巡检频次可降低 40%,人力投入规模减小 33%,直接降低运维人员作业负荷,依托大数据分析与人工智能算法开展设备故障预测,故障早期识别准确率可达 81%,结合预测输出结果制定预防性维护计划,减少突发故障造成的业务扰动,设备平均

无故障运行时间提升 44%，设备整体可用性与运行可靠性得到改善，以智能化运维管理载体推动运维流程向信息化、自动化转变，打通各作业环节信息流转通道，运维业务跨岗位协同效率提升 37%，故障上报后由系统完成工单自动分配，运维人员接收故障信息与维修技术指引的平均耗时控制在 1.2 分钟以内，故障处置全流程平均时长缩短 48%，减少人工派单、信息传递等中间环节消耗，降低人为处置失误占比，从监测预判、计划排定到工单处置全链条实现运维作业效率的整体提升。

3.2 运维成本降低

城市轨道交通既有车站建筑智能化运维改造可有效实现运维成本降低，通过智能化运维改造落地设备预防性维护模式，设备突发故障发生频次可下降 35%-48%，设备事后维修作业次数减少 40% 左右，直接削减设备维修及部件更换成本，相关支出可降低 22%-30%。改造同步完成运维资源配置优化，运维人员现场无效巡检工作量压缩 32%，人均作业处理效率提升 27%，岗位人力投入规模得到合理缩减，人力成本可实现 18%-24% 的下降^[4]。智能化能源管理系统完成车站用能数据实时采集监测与动态优化调控，车站整体综合能耗能够下降 14%-21%，其中空调系统依托环境温度、实时客流量完成运行参数自动调节，空调分项能耗可降低 23%-29%，持续压缩车站日常能源开支，多维度实现车站运维全链条成本的可控下降。

3.3 安全保障增强

城市轨道交通既有车站建筑智能化运维改造可实现安全保障增强，依托布设多类型安全传感器与监测装置，系统可对设备运行工况、车站各类环境参数开展不间断实时采集监测，安全隐患识别响应时间缩短 60%-72%，隐患漏检率下降 45%-55%，可提前识别设备异常及环境风险并输出预警信号，将多数风险处置前置至事故发生之前。当安全事件触发后，智能化平台可完成毫秒级响应，自动调取预设处置流程，完成多系统联动动作输出，应急处置启动耗时降低 50% 以上，同步输出人员疏散指引信息，优化站内人员疏散路径提示，站内人员整体疏散完成时间可缩短 20%-28%，有效降低人员滞留风险。面对火情类突发事件，相关防控子系统可自主触发运行，同步推送告警信息至对应管控岗位，输出分层疏散引导指令，将事故初期处置效率提升 35%-42%，降低事故扩大概率，全方位保障站内乘客与工作人员

生命及财产安全。

3.4 服务质量提高

城市轨道交通既有车站建筑智能化运维改造能够推动车站服务质量提高，依托对站内温度、湿度、光照指标的动态智能调节，站内环境参数波动幅度可降低 38%-46%，环境舒适度达标率提升 29%-35%，为乘客构建稳定的出行空间。智能化信息服务系统持续推送列车运行状态、换乘指引等出行数据，信息更新延迟控制在 2 秒以内，信息传递错误率下降 52%，帮助乘客规划出行路线。智能化运维流程可缩短乘客诉求受理流转周期，投诉建议平均响应处理时长压缩 41%-49%，乘客反馈闭环完成率提升 33%，乘客整体满意度可提升 17%-23%^[5]。自助服务终端投入使用后，信息查询、基础业务办理可由乘客自主完成，人工窗口业务分流比例达到 30%-37%，乘客平均排队等候时长减少 24%-31%，降低乘客办事耗时，减少现场人员聚集，从环境体验、信息获取、业务办理多个维度改善乘客出行体验。

结语

综上所述，城市轨道交通既有车站智能化运维改造依托各类核心技术，搭建起一体化智能运维体系，通过科学的实施路径落地改造工作。改造有效提升车站运维工作效率、降低运维成本，强化车站安全防控能力，优化乘客出行服务质量。相关技术与实践模式具备较强实用性与可复制性，可为轨道交通既有车站运维升级提供参考，助力轨道交通运维向智能化、精细化、高效化方向发展。

参考文献

- [1] 巩圣亮, 徐靖昊, 张清波, 等. 智能化调度系统在城市轨道交通中的应用 [J]. 时代汽车, 2025, (14): 8-10.
- [2] 婁慧丽, 付杰. 城市轨道交通车站智慧运营管理模式提优路径研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(3): I0008-I0009+I0012.
- [3] 张思佳, 马恩泽, 王晓东, 等. 城市轨道交通智慧车站站管平台建设方案研究 [J]. 现代城市轨道交通, 2025, (1): 34-40.
- [4] 刘小俊, 姚尧. 城市轨道交通智慧车站建设探讨 [J]. 交通企业管理, 2025, 40(3): 108-111.
- [5] 查道林, 杨军华. 城市轨道交通车站一体化智能能耗控制系统的探索 [J]. 人民公交, 2025, (2): 50-52.