

Fault Self-healing Technology and Application Practice of Environment and Equipment Monitoring System in Urban Rail Station

Nan Sheng Yirao Zhang

Changchun Rail Transit Group Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract

The continuous expansion of urban rail transit networks and escalating operational demands have made station environment and equipment monitoring systems (BAS systems) indispensable for ensuring stable and reliable operations. Traditional fault handling methods, which rely on manual inspections and responses, suffer from inefficiency and delayed responses. In contrast, fault self-healing technology integrates intelligent sensing, diagnosis, and execution mechanisms to automatically detect, locate, and restore system anomalies, significantly enhancing system resilience and operational intelligence. This paper comprehensively explains the fundamental principles and core framework of urban rail BAS fault self-healing technology, supplemented by practical application cases. It analyzes the implementation pathways and benefits of key technologies, providing valuable insights for the safe, efficient, and intelligent development of urban rail operations.

Keywords

urban rail transit; building automation system (BAS); fault self-healing; intelligent operation and maintenance; application practice

城轨车站环境与设备监控系统的故障自愈技术及应用实践

盛楠 张艺饶

长春市轨道交通集团有限公司, 中国·吉林 长春 130000

摘要

城市轨道交通网络规模接连扩张和运营要求的持续提高,使车站环境与设备监控系统(BAS系统)稳定可靠运行的地位无可替代。传统故障处理模式依赖于人工巡检与响应,有效率低、响应慢等问题,然而故障自愈技术聚合智能感知、诊断和执行机制,可实现系统异常的自动检测、定位与恢复,大幅提高系统韧性和运维智能化水准。本文全面讲解城轨BAS系统故障自愈技术的基本原理、核心框架,加上实际应用案例,分析关键技术的落实路径和应用效益,为城轨运营的安全、高效与智慧化发展提供借鉴。

关键词

城市轨道交通; 车站设备监控系统(BAS); 故障自愈; 智能运维; 应用实践

1 引言

城轨车站环境与设备监控系统(BAS)是保障车站公共安全、优化乘客体验、实现能源精细化管理的关键系统,监控涉及通风空调、给排水、照明、电梯扶梯等多台设备。该系统一旦故障,轻度情况干扰服务品质,情况严重会威胁运营安全。常规故障管理多采用“事后维修”或定期检修,跟不上现代城轨高密度、高强度运营对设备可靠性的严苛标准。面对这样的形势,结合物联网、大数据、人工智能等先进技术的故障自愈理念就此形成。故障自愈技术要实现的目标是让BAS系统具备自适应、自诊断、自恢复能力,把故

障影响降到最低,降低运维开支,是城轨智慧运维建设的关键发展路径。本文聚焦技术内涵、体系构建与实践应用3个层面推进,细致探究城轨BAS系统故障自愈技术。

2 故障自愈技术的内涵与体系架构

2.1 技术核心内涵

核心为3个关键环节的闭环自动化。第一项为“自感知”。系统依托遍布车站和区间的密集传感网络,实时抓取通风、照明、电扶梯、给排水等关键设备的状态参数,同步采集温湿度、客流密度等环境数据,生成设备运行的全景动态画像,精准察觉异常波动与潜在风险。第二项为“自诊断”。系统并非仅凭预设规则开展初步判断,还借助机器学习模型关联分析历史故障案例与实时数据,判定复杂模式下的故障类型、锁定具体设备并估算影响范围,大幅压缩诊断时长。第

【作者简介】盛楠(1986-),女,中国吉林长春人,本科,高级工程师,从事电子信息工程研究。

三项为“自恢复”。通过诊断结论触发预案执行动作,对故障风机执行远程重启、切换备用回路或调整站内通风模式。在无工干预时迅速让系统回归正常运作或保持最低服务标准,构建从感知到恢复的完整闭环,显著增强系统韧性与可靠性^[1]。

2.2 系统层级架构

城轨BAS故障自愈体系采用多层级协同架构。基础层级为“设备感知与执行层”,依靠安装在各类机电设备上的智能传感器、PLC控制器与执行器,达成设备数据的高频采集与动作指令的精准下发,从而搭建系统的“神经末梢”。中间层定为“边缘计算与区域自治层”,把边缘服务器部署到车站或区域控制中心,通过本地数据实时清洗、聚合与分析。启用提前设定的快速诊断算法与恢复策略,能够实现自主控制。顶端为“云端分析与管理层”,能够收拢全线数据并实施深度挖掘。通过大数据平台不断训练与优化故障预测模型,为各边缘节点同步更新及下发自愈策略,实现跨线、跨区域的智能协同及系统能力的不断优化,从而构建集中管理加分布式执行结合的高效体系。

2.3 与传统监控的区别

传统BAS系统核心定位为“监视者”,是通过SCADA界面集中呈现设备状态。在参数超出限定值时触发声光报警,由运维人员人工识别信息、现场排查并手动实施恢复操作,整体反应滞后且对人员经验门槛高。故障自愈系统实现从“感知报警”到“决策执行”的本质跨越,本质为拥有自主决策能力的“智能运维体”。系统能第一时间察觉异常,可自动分析故障根源、评估影响,落实预置或动态生成的恢复指令,诸如自动启动冗余设备、调整系统运行参数或隔离故障区段。这种变化可以把运维人员从频频的紧急处置里解脱出来,让它更聚焦系统策略优化、故障原因分析及预防性维护,推动运维模式从“被动响应”切换到“主动防御”和“预测性维护”,全面强化城轨系统自动化水平和提升运营安全。

3 故障自愈的关键技术实现

3.1 多源数据融合与智能感知技术

根据BAS系统内部设备的实时运行状态数据、车站环境动态参数(如温湿度、CO₂浓度、光照度等)以及视频监控画面信息,搭建多维度立体化综合监测体系。采用时序数据分析技术,对海量数据连续追踪及模式挖掘,采用先进的异常检测算法,对系统运行状态做实时智能扫描。这类算法可精准分辨正常波动和真实异常,从纷繁环境噪声里精准锁定潜在风险模式,大幅提升感知的精准度和灵敏性。该技术可对设备早期故障开展预警,还能快速应对环境异常,为后续诊断和处置抢出宝贵时间,全面增强BAS系统的主动感知与预警能力^[2]。

3.2 基于知识图谱与机器学习的故障诊断技术

构建覆盖BAS设备结构、功能属性、故障模式与因果

关联的知识图谱,为智能诊断提供足量语义化上下文与关系支撑。依托已积累的历史故障案例库,通过机器学习算法(如决策树、随机森林及深度学习模型)实施训练,构建能自动识别故障类型、分析根本原因的智能诊断模型。系统识别到异常后,诊断模块可快速完成知识图谱的语义检索和模式匹配,比对以往案例,推算出最可能的故障起因和影响范围。该技术可实现故障快速分类和定位,还可给出解读性分析,辅助运维人员理解故障机理,给精准高效地恢复决策筑牢可靠基础,明显提升运维智能化水平。

3.3 自适应策略生成与安全执行技术

按照故障诊断输出结果,系统能自动生成针对性恢复策略,或智能启用预置应急预案库,生成策略严守安全第一原则。在开展应急响应时,必须优先保障消防联动设备、大客流区域通风和环境控制等关键系统稳定,现场设备接收由可编程逻辑控制器或智能物联网网关精准下达的恢复指令。执行期间依靠传感器网络持续监测设备反馈和环境变化,实时考核执行成果,构建起“感知—诊断—执行—验证”的完整控制闭环,赋予系统动态调整 and 自适应优化能力。这项技术既能保障单次恢复动作的有效性,又能保障其安全性,也依托持续学习和反馈提升系统整体鲁棒性和长期运行稳定性。

4 在城轨车站BAS系统中的实践应用

4.1 通风空调系统自适应调节与故障处置

当系统探测到某台空调机组风机电流出现异常暴涨时,自带的自诊断模块会马上启动多维度分析程序。该模块不光实时比对电流数值与预设的安全运行阈值,还会整合风机转速反馈、轴承振动传感数据以及近期运行历史曲线做综合判断,对电流突变的波形特征与持续时间展开分析。系统可初步锁定故障根源为电气过载或机械卡阻两种主要诱因,同时排除瞬时电压波动造成的误报警,完成这项诊断仅需数秒,为后续自动化应对出具准确的故障定性依据。

按诊断结论,系统的自恢复模块优先落实预设的初级处置策略。它能够马上向异常风机的驱动控制器下达指令,试运行软启动复位程序1次。通过平滑调整电压和频率,消除电气冲击引发的暂时性过载隐患。在电流数据复位后监测周期内未恢复正常,系统判定此故障为持续性机械问题,立刻启动备用预案。自恢复模块自动把该故障机组隔离出制冷回路,顺利启动备用空调机组接管其负荷,系统动态调整对应水阀开度,满足新投用机组的换热需求,并配合新风机组调节送风占比和风量,把该服务区域温湿度波动快速控制在预设可接受范围,最大程度维持环境舒适度连贯^[3]。

4.2 水泵与水箱系统的异常自恢复

在日常监控车站给排水系统时,中央管理系统检测到某组生活水泵出现不符合常规逻辑的频繁启停现象时,或水箱、水池的水位信号长时间停滞、出现跳跃式突变等异常,系统自带的专家诊断算法马上启动。该算法不单独着眼于单个信号,而是把水泵运行状态、启停频率、电流曲线、水位

变化速率以及历史数据趋势做交叉比对和关联分析。借助这类综合分析,系统能精准区分真实用水波动引发的正常调节,或是设备本身故障引发的异常动作,由此初步精准确定故障源自水位传感器信号失真、传感器探头附着物干扰,或是水泵控制柜内继电器粘连、控制回路接触不良相关问题。

凭借上述诊断结论,系统的自愈控制模块将落实提前设定的多层次应对策略。面对疑似传感器故障,系统将自动排除该故障传感器的读数,切换到由相邻区域液位传感器数据、水泵累计运行时长及用水量估算值共同组成的冗余逻辑计算模式,借此间接核算实际水位。若判定问题出自水泵控制单元,系统马上把该主泵的控制权限调整为“维护锁定”状态,同步平稳启动同规格备用水泵接入管网,维持供水压力和流量平稳。在全程切换期间,系统调整关联阀门,维持供水线路平稳过渡,实时监测排水管路压力变动,防止供水波动诱发排水系统气塞或回流。

为全面阻断风险,系统启用备用设备的同步阶段。针对已识别的故障设备,从逻辑和电气两个层面强制锁定。这不只是要在控制软件界面标明“不可用”,也是采用远程指令或硬接线途径,切断其控制回路使能信号,从根本上杜绝故障传感器持续上传错误数据干扰系统,或是故障水泵因控制回路紊乱引发未被授权的误启停。所有诊断步骤、完成的切换操作、设备锁定状态及切换后的系统运行参数,都会生成详细的事件日志与故障报告,自动推送至运维人员的监控终端,在保障供水安全和排水顺畅的同时,为后续人工维修的高效、精准开展提供清晰技术指引和决策依据^[4]。

4.3 照明回路故障的智能隔离与补偿

当智能照明监控系统监测到某公共区域照明回路突发短路故障导致断路器自动脱扣跳闸时,系统即刻启动故障响应序列。它第一步将回路通信模块传回的失电信号和拓扑网络做比对,数秒内精准锁定故障涉及的物理回路编号及对应具体区域,譬如某站厅层东侧广告灯箱集群回路,系统同步获取该回路跳闸前刹那的电流、电压波形数据进行瞬态分析,结合历史运行数据,初步界定故障类别,为后续自动处理决策提供凭据。

系统的自愈控制程序依照预设策略开展操作。第一步是启动,当系统确认无人工干预指令时,可以对该断路器开展1次远程合闸操作。执行该操作,是为了降低瞬时性冲击

(如浪涌电压)引发误跳闸的可能性。合闸后电流监测模块瞬间检测到远超安全阈值的短路电流,系统迅速识别这属于永久性故障,马上再次分断断路器,系统把该故障回路在电气逻辑图上标注为“故障隔离”状态,切断对应上级关联的智能控制开关,让故障支路彻底与网络断开关联,阻止故障扩大或引发安全隐患。

在完成故障回路隔离后,系统并非消极等候维修,转而主动激活照明补偿方案。系统按照该故障回路前承担的照明负荷和所在位置的空间光学模型,自动核算相邻且运行正常的照明回路可调节裕度,始终不超过回路设计负荷。系统采用调光控制系统,按适度幅度平稳提升相邻回路灯具亮度。通过略微调高故障区域周边的一般照明和重点照明,能够补上局部熄灯引发的照度损失和均匀度下降。这套动态补偿机制,可覆盖维护人员到现场修复的前置时段,全力保障车站整体照明环境舒适安全,切实降低对乘客视觉体验和空间导向感的不良影响,说明系统保障基础运行的同时,落实服务品质的精细维护。

5 结语

城轨车站环境及设备监控系统故障自愈技术,展现了轨道交通运维管理朝智能化、主动化发展的必然走向。它创建汇集智能感知、精准诊断与自主恢复的技术体系,可切实强化BAS系统的可靠性和韧性,降低运营中断频次和减少运维开支。目前在统一标准、复杂故障处理等方面仍存挑战,但技术逐步成熟和实践案例增加,故障自愈技术必将在更广泛的城轨场景中深入落地,也是保障城轨安全、高效、智慧运营的核心技术支撑项之一。在未来,依托数字孪生、预测性维护等前沿技术,故障自愈能力会往更前瞻、更协同的方向不断演进。

参考文献

- [1] 李珂.适应储能调频的控制系统故障诊断及自愈控制[J].山东电力高等专科学校学报,2024,27(06):41-47.
- [2] 张力,徐进霞.基于人工智能的电力系统故障诊断与自愈控制[J].电工技术,2024,(S2):218-220.
- [3] 黄蓓,张宗华,温晓莹,谭社平.基于人工智能的供配电系统故障诊断与恢复策略[J].广西水利水电,2024,(03):128-131.
- [4] 张蝶.高速铁路牵引供电系统故障仿真与自愈重构技术的研究与实现[D].北京交通大学,2023.