

智能化维护在地铁全自动运行线路信号系统中的应用与实践

吴新宇

徐州地铁集团有限公司运营分公司 江苏 徐州 221000

摘要: 本文着重探讨智能化维护技术在地铁全自动运行信号系统中的创新应用与实践,随着城市轨道交通的飞速发展,地铁全自动系统成为提升效率、保障安全的关键;信号系统作为其核心,稳定性与可靠性尤为重要。本文分析智能化维护的原理、特点及信号系统应用,结合实际案例评估其在提高效率、降低成本、增强可靠性上的显著效果,为智能化维护提供理论与实践指导。

关键词: 智能化维护; 地铁全自动; 运行线路; 信号系统; 应用

引言

地铁全自动运行系统(FAO)是城市轨道交通的高级形态,实现了列车运行的自动化与智能化。其中,信号系统作为核心,负责安全控制与行车调度。但随着系统复杂度提升,传统人工维护显得力不从心。因此,引入智能化维护技术,实现信号系统的自动监测、故障诊断及预测性维护,成为提升地铁运营管理水平的关键路径,具有重要意义。

1 智能化维护技术概述

智能化维护技术是工业与信息技术融合的产物,它革新了设备维护管理模式,摒弃了传统的定期检修和事后维修,转而采用大数据分析、人工智能算法、物联网技术等前沿科技,构建起全面、高效、智能的维护体系。该技术通过实时采集设备运行数据,如运行参数、环境变量、故障记录等,利用大数据处理深度挖掘与分析,揭示设备状态变化规律和潜在风险。大数据分析在此中至关重要,能提炼有价值信息,预测设备未来状态。人工智能算法,特别是机器学习和深度学习技术,作为智能化维护的智慧核心,能自我学习优化故障识别与预测模型,提高故障诊断准确率和响应速度。物联网技术的融入实现了设备全天候、全方位监控,支持远程监控与诊断,通过即时传输设备动态信息至维护系统,确保了维护工作的及时性和针对性,进一步提升了维护效率。

2 地铁全自动运行线路信号系统分析

2.1 信号系统的基本构成与功能

(1) 列车自动监控(ATC): ATC作为非安全控制系统,为操作人员提供了直观的人机接口界面,涵盖本地与中央监控功能。中央ATC系统掌控全局,负责车辆路径

的正确规划,向相关区域发送进路指令,并在显示屏上精确展示车辆位置;ATS还具备临时限速、车站跳停等辅助功能,通过冗余网络连接至DCS骨干网,保障数据传输的稳健性和可靠性。(2) 列车自动控制(ATC): ATC系统分为车载ATC和轨旁ATC两部分。车载ATC核心为车载控制器(CC),与轨旁设备通过DCS进行安全通信,实时监控并调整列车运行状态。轨旁ATC包括区域控制器(ZC)和线路控制器(LC),其中ZC负责计算并发送列车运行授权,确保列车安全间隔;LC则协同ZC工作,进一步细化控制逻辑。(3) 计算机联锁(CI): 计算机联锁(CI)系统是地铁全自动运行线路信号系统的核心安全组件,它通过严格的逻辑判断,实现道岔、信号机与轨道区段之间的精准联锁控制。CI系统采用先进的硬件与软件设计,确保在复杂运营环境下,每个联锁动作都能准确无误地执行,从而有效防止列车冲突和脱轨等安全事故的发生,为地铁全自动运行提供了坚实的安全保障。(4) 数据通信系统(DCS): 作为信号系统的数据传输纽带,DCS采用双网冗余配置,确保通信的实时性与可靠性。它不仅支持列车与地面的数据传输,还促进了信号系统与其他系统(如综合监控、车辆管理等)的深度融合,推动构建以交通指挥为核心的智能城市体系。

2.2 全自动运行对信号系统的特殊要求

(1) 高度自动化与智能化: 全自动运行系统(FAO)要求信号系统具备高度的自动化与智能化水平,能够完成对列车运行全过程的智能化管理,并具有自动唤醒/休眠、自动出进库、自动清洗、手动行驶、自动停止等功能;信号系统还需具备自诊断、故障定位、报警及自动恢复等智能功能,提高系统的可用性与可靠

性。(2)高精度与实时性:全自动运行对列车位置监测与速度控制提出了更高要求。信号系统需具备高精度的列车位置监测能力,实时监测列车运行状态,并根据列车位置与速度信息自动调整信号灯状态,确保列车之间的安全间隔;信号系统还需具备实时性强的数据传输能力,确保各子系统之间的信息交换及时、准确。(3)高可靠性与安全性:全自动运行系统对信号系统的可靠性与安全性要求极高。各控制设备需采用冗余配置,提高系统的容错能力;在系统设计与实施过程中,需严格遵循相关国际标准与规范,确保系统的RAMS(可靠性、可用性、可维护性及安全性)水平达到规定要求;信号系统还需具备完善的故障处理机制与应急预案,确保在故障发生时能够迅速响应并恢复系统正常运行^[1]。

2.3 信号系统故障及影响分析

(1)信号系统常见故障可细分为多类,每一类故障均对列车运行产生显著影响。例如,列车自动监控系统(ATIS)故障可能导致列车运行图紊乱,影响列车调度与运营秩序;区域控制器(ZC)故障则可能使列车失去移动授权,引发紧急制动,影响列车正常运行;车载ATP/ATO设备故障则直接关系到列车安全防护与自动驾驶功能,一旦失效,将严重威胁行车安全。(2)智能化维护通过集成大数据、物联网、人工智能等先进技术,实现了对信号系统状态的实时监测与精准分析。系统能够自动识别异常数据,提前预警潜在故障,有效避免了故障的发生或扩大。在故障发生时,智能化维护平台能迅速定位故障点,提供详尽的故障信息,指导维护人员快速响应并高效处理,显著缩短了故障恢复时间,减少了对列车运行的影响。(3)智能化维护还通过数据分析与挖掘,优化了信号系统的日常维护策略,实现了从定期检修向状态修的转变,不仅提高了维护效率,还降低了运维成本。

3 智能化维护在信号系统中的应用实践

3.1 实时监测与预警系统建设

3.1.1 数据采集与传输技术

(1)数据采集技术通过各类传感器和监测设备,实时收集信号设备的运行状态数据,包括电压、电流、温度、振动等关键参数。这些数据通过高速、可靠的数据传输技术,如工业以太网、光纤通信等,实时传输至数据处理中心。(2)数据传输过程中,采用了多种冗余和校验机制,确保数据的完整性和准确性。同时,通过加密技术和安全协议,保障数据传输的安全性,防止数据泄露和篡改;还引入了数据压缩技术,以减少数据传输量,提高传输效率。

3.1.2 异常检测算法应用

(1)基于机器学习、深度学习等先进算法,系统能够自动分析采集到的数据,识别出异常状态。这些算法通过训练大量历史数据,建立正常状态的数据模型,并实时对比当前数据与模型之间的差异,一旦差异超过设定阈值,即触发异常报警。(2)异常检测算法的应用,使得系统能够在故障发生初期就发现潜在问题,避免了故障扩大化;通过不断学习和优化算法模型,系统的异常检测能力不断提升,更加适应复杂多变的运行环境。

3.2 故障诊断与定位技术

3.2.1 基于AI的故障诊断模型

(1)基于人工智能(AI)的故障诊断模型,通过深度学习和神经网络等算法,对异常数据进行深入分析,自动诊断出故障类型和原因;这些模型不仅能够识别常见故障,还能对复杂故障进行精准判断。(2)在故障诊断过程中,系统首先利用特征提取算法,从原始数据中提取出关键特征;然后,通过分类算法或回归算法,将提取的特征与故障类型进行匹配;最后,输出故障诊断结果和可能的故障原因;基于AI的故障诊断模型,大大提高了故障诊断的准确性和效率。

3.2.2 故障精确定位方法

(1)在故障诊断的基础上,系统利用多维数据分析和空间定位技术,对故障进行精确定位。通过比对不同监测点的数据变化,系统能够准确判断故障发生的位置和范围。(2)结合现场视频监控和无人机巡检等技术手段,系统能够进一步确认故障点的实际情况。故障精确定位方法的应用,使得运维人员能够迅速到达故障现场,采取针对性的维修措施,缩短故障恢复时间。

3.3 预测性维护与优化策略

3.3.1 设备寿命预测模型

(1)基于大数据分析和机器学习算法,系统能够建立设备寿命预测模型,对信号设备的剩余寿命进行精准预测。这些模型通过分析设备的历史运行数据、维护记录和环境因素等多维度信息,建立设备寿命与各项参数之间的关联关系。(2)通过实时监测设备运行状态参数的变化趋势,系统能够提前预判设备可能出现的故障和失效情况,并制定相应的预防性维护计划。设备寿命预测模型的应用,使得运维工作更加主动和高效,避免了因设备突然失效而导致的系统瘫痪和安全事故^[2]。

3.3.2 维护计划智能生成

(1)在预测性维护的基础上,系统能够智能生成维护计划。根据设备寿命预测结果和当前运行状态评估结果,系统综合考虑维修资源、人员配置和成本效益等因

素,自动生成最优的维护计划,这些计划包括维护时间、维护内容、所需材料和人员安排等详细信息。(2)维护计划智能生成技术的应用,使得运维工作更加科学化和规范化。运维人员只需按照系统生成的计划执行维护工作即可,大大提高了工作效率和维护质量;通过不断优化维护计划生成算法和模型参数,系统能够不断提升维护计划的准确性和针对性。

3.4 智能化维护平台的构建与集成

3.4.1 平台架构设计

(1)平台架构设计应充分考虑系统的可扩展性、可靠性和安全性等要求。一般采用分层架构设计思路,将平台划分为数据采集层、数据处理层、业务逻辑层和用户交互层等多个层次。(2)数据采集层负责实时采集信号设备的运行状态数据;数据处理层负责对采集到的数据进行清洗、转换和存储等操作;业务逻辑层负责实现实时监测、异常检测、故障诊断和预测性维护等核心功能;用户交互层则负责向运维人员提供直观的操作界面和结果展示,各层次之间通过标准化的接口和协议进行通信和数据交换。

3.4.2 与现有系统的接口与集成

(1)智能化维护平台需要与现有信号系统进行无缝集成,实现数据的共享和功能的互补。在接口设计方面,应遵循标准化和开放性的原则,确保平台能够与不同厂商、不同型号的信号系统兼容;通过定义清晰的接口协议和数据格式规范,确保数据在传输过程中的准确性和一致性。(2)在集成过程中,需要充分考虑现有系统的特点和运维需求,合理规划和设计集成方案。例如,在信号系统与智能化维护平台之间设置数据交换中间件或消息队列等组件,实现数据的异步传输和消息的解耦处理;在业务逻辑层实现跨系统的业务流程整合和数据共享机制等。

3.5 实践案例分析

3.5.1 应用场景描述

以某城市轨道交通信号系统为例,该系统采用了智能化维护平台进行全面升级改造。改造前,系统存在监测手段单一、故障诊断能力不足、维护效率低下等问题;改造后,通过引入实时监测与预警系统、故障诊断与定位技术以及预测性维护与优化策略等措施,实现了信号系统的全面智能化维护。在实时监测与预警方面,

系统通过部署各类传感器和监测设备实现了对信号设备运行状态数据的全面采集和实时传输;同时利用异常检测算法对采集到的数据进行实时分析处理,及时发现并预警潜在故障。在故障诊断与定位方面,系统建立了基于AI的故障诊断模型和故障精确定位方法,实现了对复杂故障的精准诊断和快速定位。在预测性维护方面,系统通过设备寿命预测模型和维护计划智能生成技术实现了对信号设备的预防性维护管理^[3]。

3.5.2 实施效果评估

经过智能化维护平台升级改造后,该城市轨道交通信号系统的运维效率和稳定性显著提升。具体表现在以下方面:第一,通过实时监测与预警系统建设,系统能够在故障发生初期就发现潜在问题并触发报警机制;相比改造前依靠人工巡检的方式大大提高了故障发现率。第二,基于AI的故障诊断模型和故障精确定位方法的应用使得系统能够对复杂故障进行精准判断和快速定位;相比传统故障诊断方式大大提高了诊断准确性和效率。第三,通过预测性维护策略的实施避免了因设备突然失效而导致的系统瘫痪和事故的发生;同时减少了不必要的维修次数和材料消耗降低了维护成本。第四,智能化维护平台的构建与集成实现了对信号设备的全生命周期管理;运维人员只需按照系统生成的维护计划执行维护工作即可大大提高了工作效率和维护质量。

结语

智能化维护技术在地铁全自动运行信号系统中的应用,极大提升了维护效率与可靠性,同时降低了运营成本,为地铁安全高效运营奠定了坚实基础。展望未来,随着技术持续进步,智能化维护将在轨道交通领域展现更大价值。建议紧跟技术前沿,加强研发创新,全力推动地铁运维管理的智能化升级,开创创新发展局面。

参考文献

- [1]王磊,贺昌寿,尤刚.互联互通框架下的地铁信号集中监测系统设计[J].电子设计工程,2022,30(04):129-133.
- [2]王枫博.地铁信号设备在线监测系统设计与实现[J].电子科学技术,2020,03(02):131-134.
- [3]熊振兴,陈漾,李长霖,王小敏.地铁多专业在线监测系统研究现状及趋势分析[J].铁道通信信号,2020,56(10):70-74.