

基于 PHM 技术的城市轨道交通车辆牵引系统智能运维研究

廖晓遥

重庆轨道交通运营有限公司, 重庆 400000

[摘要]城市轨道交通的安全稳定运行依赖于车辆牵引系统,而牵引系统的使用寿命及运行状态与车辆安全运行有密切联系。基于此,为强化轨道交通车辆牵引系统运行及使用情况的监督,采用 PHM 技术构建智能运维管理系统,该系统主要提供故障预测、寿命追踪、数据信息管理与传输、运行监控等功能;在各个系统服务功能之中,均置入智能化技术,不仅提高数据信息的处理、存储及传输效率,还提升故障问题的预警精度,综合提高轨道交通车辆牵引设备故障排查及处理效率,为人们的安全出行提供基础保障。

[关键词]PHM 技术;城市轨道交通;车辆牵引系统;智能运维

DOI: 10.33142/sca.v9i4.19573

中图分类号: U279.3

文献标识码: A

Research on Intelligent Operation and Maintenance of Urban Rail Transit Vehicle Traction System Based on PHM Technology

LIAO Xiaoyao

Chongqing Rail Transit Operation Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract: The safe and stable operation of urban rail transit depends on the vehicle traction system, and the service life and operating status of the traction system are closely related to the safe operation of the vehicle. Based on this, in order to strengthen the supervision of the operation and use of the traction system of rail transit vehicles, an intelligent operation and maintenance management system is constructed using PHM technology. The system mainly provides functions such as fault prediction, life tracking, data information management and transmission, and operation monitoring; Intelligent technology is integrated into various system service functions, which not only improves the efficiency of data processing, storage, and transmission, but also enhances the accuracy of fault warning. It comprehensively improves the efficiency of troubleshooting and processing of traction equipment faults in rail transit vehicles, providing a basic guarantee for people's safe travel.

Keywords: PHM technology; urban rail transit; vehicle traction system; intelligent operation and maintenance

引言

随着信息化、数字化、人工智能技术的快速更新与发展,PHM 技术构建的智能运维平台功能逐渐趋于完善,系统服务更加全面,有效避免了因牵引故障引起的安全事件。利用 PHM 技术对城市轨道交通车辆牵引系统进行智能运维,可强化相关机械设备的状态排查,高效识别牵引系统的故障问题,同时在智能运维系统的快速反应下,可强化问题及解决方案的交互,全面提升故障的排查及处理效率。

1 基于 PHM 技术的城市轨道交通车辆牵引系统智能运维现状

城市轨道交通车辆牵引系统智能运维包含在线监测、设备状态评估、状态检修,运维部件包括电气设备及机械

设备;电气设备以受电弓、接触器、功率模块、电容、电机等为主;机械设备包括轮轨、轴承等;通过监测上述部件运行状态及故障发生情况,实施科学、高效的养护及维护,保障城市轨道交通车辆正常运行。对城市轨道交通车辆牵引系统实施智能运维过程中,多采用 PHM 技术建立车辆的 PHM 系统模型,利用该模型对上述关键组成部件进行建模分析,从而实现智能管理。目前,国内外对城市轨道交通车辆牵引系统智能运维进行大量研究,且针对不同部件进行专项研究。国外相关研究起步较早,且经验丰富;我国也进行相关研究,且取得丰富的研究成果,并持续推动我国城市轨道交通的稳定运行。但在 PHM 技术的基础上构建的城市轨道交通车辆牵引系统智能运维体系及平台,仍存在较多问题,具体包括:(1)智能运维故障

识别局限,部分故障无法监测,进而诱发城市轨道交通事故。(2)故障定位精准度不足,促使故障实际发生位置与监测位置存在显著差异。(3)智能运维系统及平台对异常波动数据识别敏感,故而常会引起误报警情况,并提升误报警率。(4)故障问题排查具有单一性,无法进行联合故障诊断,提供更详细的报警信息。(5)监测评估指标单一,仅依靠系统设定的评估阈值进行评估,导致报警结果存在真实性偏差。就以上问题,基于PHM技术的城市轨道交通车辆牵引系统智能运维体系或平台,仍需持续完善,加强城市轨道交通车辆牵引系统智能运维平台功能的优化,提升检测结果及报警结果的准确性及精准度,降低城市轨道交通车辆运行故障发生率,并为安全出行提供保障^[1]。

2 基于 PHM 技术的城市轨道交通车辆牵引系统智能运维架构设计优化

城市轨道交通车辆牵引系统智能运维平台的结构优化设计重点包含总体架构设计、网络架构设计,通过锁定实际应用不足,强化智能运维平台功能完善,提升预警结果的精准度。

2.1 总体架构设计

随着人工智能算法的更新,促使人工智能技术的数据分析精度及分析效率均显著提升,故而设计总体架构过程中,需要充分结合先进技术,为PHM技术构建的智能运维平台提供技术支持。同时还引入大语言模型与前沿技术、物联网、远程控制技术、传感器、数据分析及算法等技术进行融合,使智能运维管理平台功能更加完善。先进技术集结完毕后,需要校正各个技术之间是否具备兼容属性,并建立稳定的数据分析报警系统。排除阻碍因素后,需按照下述架构设计思路完成总体架构设计:第一,构建控制中心;由控制中心下分三个架构模块,分别为设备运维管理、大数据平台、智能监测系统。第二,设备运维管理模块;要求在该模块之中需对城市轨道交通车辆牵引运行状态进行监测,且还需对应提供状态评估结果、故障诊断结果及故障预警,了解运维管理目标。第三,大数据平台模块;数据平台主要负责数据采集、数据分析、数据存储及数据上传显示,结合大数据算法,对海量监测数据进行整合分析,从而获取更精准的数据监测结果^[2]。第四,智能监控模块;该模块之中涉及诸多先进设备的应用,需通过各个先进设备进行整合构建一个智能监控系统,进而强化故障监测、故障定位及故障处理。在智能监控模块中,还要对列车牵引系统涉及的牵引技术、牵引设备、部件等均实施针对性的智能监测,以便可多维度获取智能运维数据资料。

2.2 网络架构设计

智能运维平台中的网络架构主体包含数据采集层、计算层、服务层及应用层。为强化网络架构的稳定性,分别对各个结构模块进行设计,针对不同层级涉及的相关技术及软件进行持续跟进优化。为预测城市轨道交通车辆牵引设备的使用情况,需构建专属独立的网络架构,且在每个模块中设置对应的连接渠道,促使数据信息可进行交互,例如可在网络架构中利用云技术,保证每个模块的功能数据可进行独立分析与诊断,以此可更好地提示故障的发生。在网络架构中还要注重数据保护,故而需要针对各个模块制定专属的安全网关保护体系,促使网络数据处理、存储及传输均得到保护。为进一步提升数据的高效处理效率,可在数据应用层引入数据共享模块,以便数据的精准传输。设计网络架构时需要详细分析每个层级模块的属性及功能,从而保证数据的实时性^[3]。

2.2.1 数据采集层

智能运维平台要具备城市轨道交通车辆牵引设备实时数据采集功能,故而可通过各类型传感器、高清监控设备等采集设备运行数据情况;数据采集后由通信通道传输至网络架构之中,并完成初级数据分析。该阶段为保证数据分析的精准度,需要加强传感器型号的更新,以便采集更高精度的数据信息。数据传输过程中,还要设置通信组件集、解码组件集,以此强化与下一层级数据的交互,保障数据交互准确。

2.2.2 数据计算层

在该层级主要针对采集数据进行深度分析与计算,其间在深度分析数据算法及云技术的辅助下,强化数据分析、存储及传输。数据计算后还会进行处理,以便可将数据传输至下一层级。为保证层级之间数据交互效率,在数据计算层,需设置不同城市轨道交通车辆牵引设备数据类型的计算方式,最后由计算机组件对数据进行标准化处理,以便在服务层中可直观显示或预警故障问题。

2.2.3 数据服务层

经过计算及处理的数据信息传输至服务层后,汇总至数据库之中,由数据检索模块为用户提供数据资料;且数据服务层上下兼容,可利用数据接口进行数据导入或分享;此外,检索数据后可追踪至数据采集层,了解初始数据信息,这对后期设备故障的维护提供重要的修正方向。

2.2.4 数据应用层

数据应用层主要针对数据分析结果执行对应系统指令;要求在该层级不仅要满足设备运行状况的监测、设备健康维护、数据解读及诊断,还要纳入智能模块,提供健

康养护预期结果及后期维护方案等可行性意见,以此提升设备运维质量。

3 城市轨道交通车辆牵引系统智能运维功能设计优化

3.1 功能总体设计

功能总体为智能运维功能构架核心,主要包括监控系统、PHM 管理、大数据技术、数字化维护、智能化流程及系统服务;其中 PHM 管理与大数据技术可针对采集的实时数据进行分析与管理,并为智能运维提供故障处理依据。在实际智能运维故障处理中,因预警评估指标单一,促使预警问题对故障问题本貌显示不全,针对此情况,需在 PHM 管理中设置多状态、多参量、多模式的数据采集方式,以便可多角度评估设备部件的老化程度,综合评定设备的运行情况。功能总体设计也包含系统服务质量及服务效率,为强化设备故障的处理效率,要求收到系统服务指令后,需要快速启动对应的处理流程,对列车牵引系统中的故障实施快速应急维护工作;在执行指令模块中可接入人工智能服务模块,由智能检修服务模式提升人工层级指令执行的检修效率,以此也可满足预警问题处理的及时性^[4]。

3.2 智能运维平台基础服务功能设计

对列车牵引系统设计基础的智能运维平台,需重点集中在基本信息的服务质量及服务效率之中;例如获取预警指令后,可由智能服务平台对预警问题进行风险等级划分,并对应匹配应急处理人员;值得注意的是,需要将每日排班情况上传系统之中,以便进行专属信息高效率传输。关于车辆信息方面,需在系统之中载入车辆行驶路线、车辆生产日期、批次、类型、编码以及运维记录等信息,以此可强化设备故障的高精度分析。为精准反映故障问题,可在基础服务模块之中构建故障修复模型数据库,将过往牵引设备故障进行汇总,不仅要汇总本单位现有的故障类型,还要在相关网站及共享平台中整合相关设备的故障数据信息,以此提高数据库故障反应能力。关于管理制度,需要根据引进新技术、新设备等对应完善流程监管系统,促使运维平台进行稳步运行,保障全部运维管理行为均具备较高的规则性及安全性。关于物料管理,需要将智能维护平台与库存服务系统建立联系;一旦出现预警故障,智能运维计划会向库存服务系统发出设备使用部件需求,若部件缺失会触发预警,采购部门根据预警制定采购计划,以便对牵引设备故障问题进行快速处理^[5]。

3.3 数据处理功能设计

数据处理功能不仅要求具有数据分析、存储等功能,还要具备数据挖掘能力,以此可分析牵引设备使用消耗发

展趋势,这对评估牵引设备的使用寿命产生积极影响;还要持续加强牵引设备特殊故障的汇总,提升数据的挖掘深度。数据处理功能的完善还要重点关注数据安全保护,充分结合上述两个优化方向,对应更新相关数据处理技术。

3.4 顶层应用功能设计

3.4.1 系统监控

列车牵引系统需由智能监控系统进行监管,故而系统监控功能设计优化需要同步跟进,优化重点包括牵引设备状态监测、子系统运行监控、信息可视化处理等;在实施牵引设备状态监测设计优化期间,可通过优化 PHM 管理系统与子系统的数据交互效率,将数据分析结果与底层监测数据对比,并综合评判故障信息。子系统运行监控可建立特定的通信协议及规则,促使各个子系统指标可以形成统一的数据传输及交互标准,保证监控数据信息实现快速交互,提升故障问题的运维处理效率。还需定向优化各个子系统数据监测及处理双向反馈机制,通过实时监测运维数据信息,保证运维工作具备可持续性。关于可视化信息处理,需要连接特殊的数据处理技术,促使采集及经过处理的数据信息可以三维立体模型等可视化方式进行预警,借助直观的观看模式,可快速锁定故障问题;在预警界面可快速进入导引服务之中,并逐级了解牵引设备的故障数据,这对人为故障分析提供重要支持。

3.4.2 系统管理

系统管理主要强调信息表达形式需保持统一,针对不同牵引设备的故障及故障级别需要设置显著的区别可视化图像,便于预警信息快速传递与接收。在系统之中,为强化基础数据管理,要求提高信息的分类及整合,促使数据信息得到进一步优化。基于此,要求在管理层设置信息获取权限,避免数据信息被随意篡改或删除,提升原始数据的保护能力。对各个子系统还要进行整合,例如可为各个子系统提供专属的接口服务,并构建系统管理的硬件支持。

4 牵引设备系统决策算法设计

在列车牵引系统中由 PHM 技术提供支持,智能运维系统中数据算法为核心技术之一,且数据算法还对系统的每项工作内容存在直接联系。针对牵引设备系统决策方面,可利用 BP 神经网络算法进行深度学习与训练数据收集;借助该算法优化数据处理的阈值及函数关系。决策算法对牵引设备的温度指标、电压指标、电流等数据均具有较高的运算精准度;例如,在系统中由基础运行数据预先配置基础运行数据,结合日常运行数据预测实际温度之间的差异,若出现差异多与散热器故障相关,故而在系统中会收到检查散热器等指令。

5 结束语

综上所述,基于 PHM 技术的城市轨道交通车辆牵引系统智能运维平台,属于一个智能化服务平台,在该平台之中由 PHM 技术的城市轨道交通车辆牵引系统发出预警指令,同时针对指令实施智能化运维工作;运维期间还会通过相关监测设备对运维过程进行监督及数据采集,实时反馈运维状态,保证牵引设备的运维质量。构建 PHM 管理系统时,尤为注重先进技术的协同应用,且还有双向反馈及兼容连接模块,促使各个系统可顺畅连接,强化数据传输及处理。

[参考文献]

- [1]崔庭琼,张杨,张增超,等.基于“砺轮”大模型的中车城轨智能运维平台构建与实践[J].控制与信息技术,2025(06):18-25.
- [2]董卓皇,史晓磊,陈亚勋,等.重载铁路货车智能运维方案及关键技术研究[J].中国设备工程,2025(21):26-28.
- [3]张俊尧,郭鹏飞,智鹏,等.基于数字孪生的铁路电力设备智能运维管理系统研究与设计[J].电工技术,2025(18):120-124.
- [4]刘锡顺,李丽,李文斌,等.融合新一代信息技术的城市轨道交通列车智能运维系统设计与应用研究[J].数字化转型,2025,2(06):106-126.
- [5]杜记伟,文林,吕宇,等.基于 Docker 容器的车载智能运维 PHM 模型部署与应用[J].控制与信息技术,2025(3):109-116.

作者简介:廖晓遥(1994—),毕业于上海工程技术大学交通运输工程专业,工程师,现就职于重庆轨道交通运营有限公司。