

基于 PLC 的电梯智能故障诊断与预测性维护策略

任晓琨 侯永琪 刘彦博 刘磊 谢峰 冼海玲

长春电子科技学院 吉林长春 130114

摘 要: 电梯运行安全于公共安全而言至关重要, 以往传统的维护手段已然难以契合当下需求, 以 PLC 为依托构建的智能故障诊断与预测性维护策略, 凭借 PLC 在电梯运行数据采集方面的高效优势, 将数据挖掘技术与机器学习算法相融合, 达成对故障的即时监测与精确预判, 构建科学合理的维护模型并对维护计划加以优化, 此策略可显著降低故障发生频率, 增强电梯运行的稳定性, 削减维护成本支出, 为电梯智能化管理打造创新型解决路径, 有力推动行业技术革新进程。

关键词: PLC; 电梯; 智能故障诊断; 预测性维护

引言

伴随城市化快速推进, 电梯已成为现代建筑必备设施, 其运行状况与公众生命财产安全紧密相连, 传统事后维修和定期巡检方式, 不仅存在响应迟缓问题, 还易造成资源浪费, 难以适应复杂多变的运行环境。近年来, 可编程控制技术的发展越来越迅速, 利用 PLC 控制技术对电梯的控制系统进行改进, 对电梯进行集成选控、并联集成控制、群体控制等逻辑控制, 能大幅提高电梯的拖动技术和安全性能, 为人们的出行提供更加可靠、安全、舒适的服务^[1]。

1 电梯运行维护现状与 PLC 应用需求

1.1 传统电梯维护模式的局限性

电梯维护过往长期采用人工巡检与事后维修两种传统模式, 人工巡检依据经验设定周期, 常见为每周或每月一次, 这样的周期安排存在显著滞后性, 难以第一时间捕捉电梯早期故障迹象, 两次巡检间隙, 电梯内部即便出现细微隐患, 也可能因未到巡检时段而无法及时发现, 权威统计表明, 超六成电梯故障源于隐患未被及时察觉, 电梯突发故障不仅会中断运行, 给乘客出行造成不便, 更会对乘客生命安全构成威胁。

1.2 电梯运行故障的复杂性

电梯属于典型的机电一体化装置, 其运行受众多因素共同作用, 机械方面, 机械部件经长期运转, 磨损不可避免, 像电梯轴承长时间承载重压并持续转动, 表面慢慢磨损, 致使间隙变大, 干扰电梯运行平稳性; 导轨长期使用, 因轿厢频繁升降, 可能发生变形, 让轿厢运行时出现卡顿、晃动状况, 电气领域, 电气系统元件随使用时长增加会逐步老化,

极易引发信号异常, 电梯控制系统里的继电器, 历经无数次开合, 触点会氧化、磨损, 造成接触不良, 使得电梯信号收发错误, 妨碍正常运转, 温湿度等环境因素对电梯运行也有不小影响。

1.3 PLC 技术的适配性分析

PLC 具备毫秒级高速数据采集能力, 可精准采集轿厢位置、运行速率等二十余项关键数据, 能敏锐感知电梯运行的细微变化, 并及时将数据反馈给控制系统。同时, PLC 操控精准, 可根据采集数据调节运行参数, 保障电梯平稳运行。此外, 它还拥有强大的抗干扰能力, 能在复杂电磁环境中稳定工作, 确保数据传输准确。其可编程逻辑特质, 为搭建电梯智能监测体系提供了技术支撑, 可实现对电梯运行状态的智能判断。

2 基于 PLC 的智能诊断与预测性维护策略架构

2.1 数据采集与传输层构建

通过 PLC 扩展模块, 系统可全面采集电梯运行数据, 涵盖模拟信号与数字信号。模拟信号来自温度、压力等传感器, 如机房温度、曳引系统受力情况; 数字信号则是电梯控制指令, 包括启动、停止等操作信号。在数据传输方面, 工业以太网和现场总线技术发挥重要作用。工业以太网传输高速稳定, 适合大数据量快速、完整传输; 现场总线技术布线简便、成本低且可靠性高, 能有效连接电梯各传感器与执行器, 确保数据准确传输至中央服务器。

2.2 数据处理与分析模块设计

电梯原始数据存在噪声和干扰, 无法直接用于故障诊断, 需先进行预处理。通过数字滤波和降噪技术, 可优化数

据质量。数字滤波利用均值滤波等算法,剔除高频噪声和异常波动,如平滑轿厢运行速度数据;小波降噪技术则分离并去除噪声。预处理后,运用主成分分析(PCA)算法提取关键特征参数。PCA 能将多个相关原始变量转化为少数互不相关的主成分,实现数据降维,保留关键信息的同时减少计算量。在分析电梯电气系统时,可将电压、电流等参数转换为主成分,表征系统运行特征。

2.3 智能诊断与预测模型搭建

为实现电梯故障诊断与预测,引入支持向量机(SVM)、随机森林算法搭建故障诊断模型。SVM 基于统计学习原理,寻找最优分类超平面区分数据类别,通过训练学习电梯历史故障特征,实现精准故障分类。随机森林算法构建多棵决策树,以投票机制提升分类准确性和稳定性,能有效处理复杂数据关系^[2]。融合 LSTM 神经网络构建预测模型。LSTM 擅长处理时间序列数据,可捕捉电梯运行状态的长期依赖关系,通过学习历史数据,分析运行趋势,预测故障发生概率和时间节点。

3 基于 PLC 的维护策略实施路径

3.1 硬件系统部署方案

于某一线城市商业综合体的电梯改造工程里,为落实基于 PLC 的前沿维护策略,择取高性能 PLC 控制器,此控制器数据处理效能优异,扩展接口充裕,可契合多部电梯实时监测所需,部署模拟量输入模块,采集轿厢倾斜角度、门开合力度等电梯运行模拟信号,为运行状况评估提供详实依据,同时配置兼容工业以太网与现场总线通信协议的通信模块,保障数据稳定、高效传输至中央服务器,该项目改造 30 部电梯达成实时监测,传感器网络全面覆盖曳引、门机、轿厢环境等关键区域:曳引系统装设速度、位移、力传感器,监测运行速率、轿厢位置及曳引绳受力情况;门机系统配备门位置、速度、力传感器,实时监控门开合状态、运行速度与关门阻力,防范夹人意外发生。

3.2 软件算法优化过程

围绕采集的电梯运行数据,搭建 CNN-LSTM 混合预测模型,CNN 卷积神经网络善于自动挖掘局部特征,可处理传感器采集的图像化、结构化数据,探寻内在规律,LSTM 神经网络则在时间序列数据处理上独具优势,能够捕捉数据间长期依赖关系,分析运行状态变化走向,二者融合,彼此取长补短,有效提高故障预测精度,模型搭建完成后,着手

开展超参数调优与迭代工作,借助随机搜索、网格搜索等手段,对 CNN 卷积核尺寸、LSTM 隐藏层节点数量等参数进行调整,寻求最佳参数组合,利用新数据不断训练优化模型,增强其泛化性能,历经多次改进,门机系统故障预测准确率提升至 93%,可提前精准预判电机、门锁等故障,为及时维护提供有力支持。

3.3 维护计划动态调整

依据故障诊断和预测结论,综合电梯使用频次与运行状况,借助遗传算法完善维护计划,商业综合体电梯于工作日早晚高峰使用频繁,深夜时段则使用较少;高层写字楼电梯停靠次数多,工业厂房电梯承载重物多,遗传算法模拟自然选择及遗传原理,对维护计划参数进行编码^[3]。经选择、交叉、变异操作产生新方案,按照预设目标函数评估筛选,逐步演化出最佳计划,如此一来把传统定期维护模式转变为基于设备状态驱动的按需维护,一旦故障预测模型发出预警,系统迅速调整维护计划,优先对存在隐患的电梯进行维护,不再采用固定周期的统一维护方式。

4 策略实施效果多维度评估

4.1 安全性提升量化分析

实施基于 PLC 的智能诊断与预测性维护策略后,电梯安全性提升效果显著,故障预警机制功不可没,凭借对电梯运行数据的实时监测剖析,能够预先察觉潜在故障隐患并及时示警,一旦系统预判电梯将现严重故障,便即刻启动安全举措,比如自动减缓运行速度、就近停靠并开启轿厢门,防止人员被困,实际运行数据显示,该机制使电梯突发故障引发的安全事故风险下降超八成,以往电梯突发故障致使人员被困的情况屡见不鲜,给乘客身心均造成不小伤害。

4.2 可靠性指标对比验证

设备平均无故障运行时间(MTBF)作为衡量电梯运行稳定性的关键可靠性指标,在基于 PLC 的维护策略实施前,该商业综合体电梯 MTBF 仅为 1200 小时,新策略落地后,凭借实时监测电梯运行状态、及时排查处置潜在故障隐患,电梯运行稳定性大幅跃升,经周期统计,设备平均无故障运行时间攀升至 2100 小时,实现更长时段稳定运行,有效降低故障引发的停运频次与时长,以往电梯故障停运维修时有发生,不仅干扰商业综合体正常运营,也对顾客购物体验造成负面影响。

4.3 经济效益综合测算

基于 PLC 的维护策略实施后,在经济效益领域收获颇丰,直接成本层面,年度维护费用削减 38%,传统定期维护模式常出现过度维护现象,不少电梯即便未达维护需求,仍按固定周期开展维护作业,致使人力与物料资源大量浪费^[4]。而新的状态驱动按需维护模式,依据电梯实际运行状况安排维护工作,规避不必要的维护操作,从而降低维护成本,从设备使用寿命维度考量,因电梯故障隐患得以快速发现并处理,设备使用寿命延长约 20%,这使得在同等使用期限内,电梯无需频繁更换设备,有效减少设备更换次数与成本支出,电梯故障减少、运行效率提升,也带动商业综合体等使用方运营效率大幅提高。

5 技术发展与应用拓展方向

5.1 算法模型优化路径

随着深度学习技术的快速演进,电梯故障诊断预测领域迎来崭新契机,积极探寻 Transformer、图神经网络等前沿技术在此领域的应用,成为提升电梯智能化程度的重要方向,Transformer 模型以其强大的自注意力机制,在处理长序列数据时展现出突出优势,能够精确捕捉复杂时间序列数据中的全局依赖关系,鉴于电梯运行数据复杂、变量繁多且相互关联,Transformer 模型可深入剖析,挖掘其中潜在联系,增强对复杂故障的识别能力,当面临多部件同时故障时,Transformer 通过学习大量历史数据,能够准确判断故障类型与成因,图神经网络善于处理图结构数据,电梯部件间的复杂连接关系可用图结构呈现,借助图神经网络,可更精准地对电梯整体运行状态进行建模分析,显著提升故障预测的精准度。

5.2 多技术融合创新方向

PLC 技术与物联网、大数据、云计算的深度交融,构成了电梯运行维护变革的核心推力,物联网技术消除设备与用户间的信息阻隔,达成设备间互联互通,让电梯运行数据实时上传云端,用户也能经终端远程掌握运行状况,大数据技术可对海量电梯运行数据实施高效存储、管理及深度剖析,挖掘潜在规律与价值,剖析大量故障数据,能够归纳出不同故障的高发时段和区域,为制定针对性维护策略提供依据^[5]。云计算技术提供强大的计算和存储资源,有助于搭建电梯全

生命周期管理平台,实现从设计到报废全过程的远程运维与智能决策。

5.3 行业标准完善建议

电梯智能诊断预测技术日益普及,统一行业标准已成为亟待解决的问题,目前,各厂家生产的电梯在数据采集、格式以及算法模型方面存在显著差异,数据采集环节,一些厂家沿用传统传感器定时采集关键部件参数,另一些厂家则借助先进实时监测系统,对数据进行全流程不间断采集,在数据格式方面,由于研发理念和系统架构不同,产生了二进制、CSV、XML 等多种格式的数据,导致跨系统、跨平台的数据整合工作困难重重,算法模型更是千差万别,部分着重于故障模式识别,部分专注于预测性维护,缺乏通用与兼容性,极大地制约了行业智能化发展步伐。

6 结语

PLC 赋能的电梯智能故障诊断及预测性维护策略,凭借技术革新推动电梯管理模式迭代,该策略充分发挥 PLC 数据采集效能与智能算法剖析实力,切实攻克传统维护模式的固有缺陷,大幅增强电梯运行安全性与可靠性,同时削减维护成本,展望未来伴随物联网、大数据技术不断演进,还需持续优化算法模型,深化多源数据融合分析,达成电梯全生命周期智能化管理,为电梯行业长远发展注入更为强劲的技术动能。

参考文献:

- [1] 王宏伟,基于 PLC 的电梯控制系统优化设计[J]. 电气传动,2022,52(8): 85-90.
- [2] 李建国,机器学习在电梯故障诊断中的应用研究[J]. 控制工程,2021,28(6): 1089-1095.
- [3] 陈志强,电梯预测性维护策略的构建与实践[J]. 中国电梯,2020,31(15): 25-30.
- [4] 张立峰,基于 PLC 的电梯数据采集与分析系统设计[J]. 自动化仪表,2019,40(11): 78-82.
- [5] 刘晓明,智能算法在电梯故障预测中的应用[J]. 计算机应用研究,2018,35(12): 3725-3729.

作者简介: 任晓琨(2004.03—),男,汉,河北省邯郸市,本科,研究方向:自动化。