

物联网环境下电梯故障智能响应体系构建

王棋波

杭州优迈科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：本文聚焦物联网环境下电梯故障智能响应体系构建。阐述物联网技术及智能响应体系相关理论，设计涵盖感知、网络、平台、应用四层的体系架构。研究基于多传感器融合与机器学习的故障监测诊断方法，并开展结果评估验证。制定故障分级预警、应急处理流程规划及维修资源调度优化策略，实现电梯故障全流程自动化、智能化响应，提升电梯运维效率与安全性，保障人员安全。

关键词：物联网；电梯故障；智能响应体系；故障监测；应急处理

引言：随着城市化进程加快，电梯数量剧增，传统运维模式难以满足需求。物联网技术融合感知、通信、计算等功能，为电梯运维带来新契机。构建电梯故障智能响应体系，可实现故障“监测-诊断-预警-处理-维修”全流程自动化、智能化，提升故障响应效率与准确性，降低运维成本与安全风险。本文深入探讨该体系相关理论与技术，为电梯安全运维提供新思路与方法。

1 物联网与电梯故障智能响应相关理论技术

1.1 物联网技术概述

物联网技术是融合感知、通信、计算、智能分析的综合性技术体系，其核心是通过各类传感器、射频识别设备、通信模块等终端，实现物与物、物与人、物与网络的互联互通，构建全方位、实时化的信息采集与传输网络。在电梯领域，物联网技术打破了传统电梯运维的被动模式，通过嵌入各类感知设备，实现对电梯运行参数、部件状态的实时监测，将电梯运行数据实时传输至后台平台，为故障预警、诊断与响应提供数据支撑^[1]。物联网技术的核心技术包括感知技术、通信技术与数据处理技术，其中感知技术负责采集电梯运行中的速度、振动、温度等关键参数；通信技术（如5G、LoRa、NB-IoT等）保障数据高效、稳定传输，适配电梯井道复杂的通信环境；数据处理技术则对海量运行数据进行清洗、分析与挖掘，提取故障特征，为智能响应提供决策依据，是实现电梯故障智能响应的技术基础。

1.2 智能响应体系相关理论

智能响应体系是基于物联网、大数据、人工智能等技术，实现故障“监测-诊断-预警-处理-维修”全流程自动化、智能化的综合体系，其核心理论包括故障诊断理论、智能决策理论与闭环控制理论。故障诊断理论为故障识别提供方法支撑，通过提取故障特征、建立诊断模型，实现故障类型、位置与严重程度的精准判断；智能

决策理论基于故障诊断结果，结合电梯运行场景、维修资源等信息，自动生成最优响应策略，实现预警、应急与维修的智能化调度；闭环控制理论则保障响应流程的完整性，通过实时反馈故障处理进度与效果，动态调整响应策略，形成“监测-诊断-响应-反馈-优化”的闭环机制。另外，系统工程理论与协同优化理论也为智能响应体系的构建提供支撑，确保感知层、网络层、平台层与应用层的协同运行，提升故障响应的效率与可靠性。

2 物联网环境下电梯故障智能响应体系架构设计

2.1 总体架构设计

物联网环境下电梯故障智能响应体系总体架构采用分层设计理念，分为感知层、网络层、平台层与应用层四层，各层相互衔接、协同工作，构建全流程、智能化的故障响应体系。总体架构以“数据驱动、智能决策、高效响应”为核心目标，感知层负责采集电梯运行全参数，为体系运行提供基础数据；网络层承担数据传输功能，保障数据从感知层到平台层的高效、安全传输；平台层负责数据处理、分析与决策，是体系的核心枢纽；应用层面向不同用户群体，提供故障预警、诊断、应急处理等实际应用服务。各层之间通过标准化接口实现数据互通与功能协同，同时融入安全防护机制，保障电梯运行数据与响应指令的安全可靠，整体架构兼顾实用性、扩展性与可维护性，能够适配不同类型电梯的运维需求，实现故障响应的智能化、高效化与精准化。

2.2 感知层设计

感知层作为智能响应体系的“感知器官”，负责全面采集电梯运行过程中的各类参数，为故障监测与诊断提供原始数据，其设计核心是全面性、准确性与实时性。感知层主要由各类传感器、数据采集模块与终端节点组成，根据电梯运行关键部位与故障类型，合理部署传感器设备：在曳引机、导轨、钢丝绳等机械部件上部

署振动传感器、温度传感器,监测部件运行状态;在电气回路部署电流、电压传感器,监测电气系统运行参数;在电梯轿厢、门系统部署红外传感器、位移传感器,监测门开关状态、轿厢位置等^[2]。数据采集模块对传感器采集的模拟信号进行转换、滤波与放大,确保数据准确性;终端节点负责将处理后的数据汇总,通过通信模块上传至网络层,同时具备本地数据存储功能,防止网络中断导致的数据丢失,感知层的合理设计是实现故障精准监测的基础。

2.3 网络层设计

网络层是智能响应体系的数据传输通道,负责将感知层采集的电梯运行数据实时、可靠地传输至平台层,同时将平台层的指令下发至感知层与应用层,其设计核心是稳定性、高效性与低功耗。结合电梯运行环境的特殊性,网络层采用“无线为主、有线为辅”的混合传输模式,无线传输选用NB-IoT、LoRa等低功耗、广覆盖的通信技术,适配电梯井道复杂的通信环境,降低布线成本与维护难度;有线传输采用以太网,用于电梯机房核心设备的数据传输,保障数据传输的高速性。网络层还集成了数据加密、身份认证等安全机制,防止数据被篡改、窃取,保障数据传输安全;同时设计数据缓存与重传机制,应对网络波动,确保数据不丢失、不延迟,为平台层的数据处理与智能决策提供可靠的数据支撑。

2.4 平台层设计

平台层是智能响应体系的核心枢纽,承担数据处理、分析、存储与智能决策功能,是连接感知层、网络层与应用层的关键环节,其设计核心是智能化、高效化与可扩展性。平台层主要由数据存储模块、数据处理模块、智能诊断模块与决策调度模块组成:数据存储模块采用云存储与本地存储相结合的方式,存储电梯运行数据、故障数据、维护记录等海量信息,保障数据的安全性与可追溯性;数据处理模块对采集的数据进行清洗、去噪、归一化处理,提取故障特征,为故障诊断提供高质量数据;智能诊断模块基于机器学习算法,建立故障诊断模型,实现故障类型、位置与严重程度的精准判断;决策调度模块根据诊断结果,自动生成故障预警、应急处理与维修调度方案,下发至应用层。平台层还具备数据可视化、接口标准化等功能,方便与各类应用系统对接,提升体系的扩展性。

2.5 应用层设计

应用层是智能响应体系的终端应用载体,面向电梯运维人员、管理人员、使用人员等不同群体,提供针对性的应用服务,其设计核心是实用性、便捷性与人性

化。应用层主要包括故障预警系统、故障诊断系统、应急处理系统与维修管理系统四大模块:故障预警系统通过平台层的分析结果,对潜在故障进行提前预警,以短信、APP推送等方式通知运维人员,实现故障早发现、早处理;故障诊断系统为运维人员提供故障详细信息(类型、位置、成因),辅助运维人员快速定位故障;应急处理系统在电梯发生故障时,自动启动应急流程,安抚轿厢内人员,同时通知运维人员赶赴现场处理;维修管理系统实现维修资源、维护计划的智能化管理,记录维修过程与结果,优化维护流程。应用层还提供数据统计、报表生成等功能,为管理人员提供决策支撑,提升电梯运维管理水平^[3]。

3 电梯故障监测与诊断方法研究

3.1 基于多传感器融合的故障监测

多传感器融合的故障监测方法,可解决单一传感器监测局限,提升准确性与全面性。先依电梯故障类型与监测需求,选适配传感器并合理部署,覆盖关键部位,采集多维度参数。再采用数据级、特征级与决策级相结合的方式处理数据:数据级校准对齐原始数据,消除偏差;特征级提取故障特征,构建多维度特征向量;决策级基于融合后的向量,用融合算法(如贝叶斯估计、神经网络)综合判断故障。此方法能弥补单一传感器缺陷,提升对轻微、潜在故障的识别能力,为故障诊断提供全面准确的基础数据,保障监测可靠性。

3.2 基于机器学习的故障诊断

基于机器学习的故障诊断是电梯故障智能诊断的核心技术。先构建电梯故障数据集,收集不同故障和运行状态下的数据,经清洗、标注与划分,得到训练集和测试集。接着选合适算法,如支持向量机、随机森林、神经网络等,用训练集训练诊断模型,优化参数提升精度。最后用测试集验证模型,调整结构与参数,确保能准确识别各类故障。与传统方法比,它有自适应、自学习能力,能应对复杂环境和多样故障,无需人工干预即可快速精准诊断,大幅提升故障诊断效率。

3.3 故障诊断结果评估与验证

故障诊断结果的评估与验证,是保障故障诊断方法可靠性、实用性的关键环节,其核心是通过建立科学的评估指标体系,对故障诊断模型的诊断效果进行全面检验,确保诊断结果的准确性与可信度。评估指标主要包括诊断准确率、漏诊率、误诊率与诊断速度,其中诊断准确率是核心指标,反映模型正确识别故障的能力;漏诊率反映模型遗漏故障的概率,漏诊可能导致故障扩大;误诊率反映模型将正常状态误判为故障的概率,误

诊会增加不必要的运维成本；诊断速度反映模型的响应效率，直接影响故障处理的及时性。验证过程采用真实电梯故障数据与模拟故障数据相结合的方式，对诊断模型进行全面测试，同时对比不同诊断方法的评估指标，优化诊断模型参数。通过现场实际应用验证，结合运维人员的反馈，进一步完善诊断方法，确保其能够满足实际电梯故障诊断需求。

4 电梯故障智能响应策略制定

4.1 故障分级与预警机制

故障分级与预警机制是电梯故障智能响应的前提，其核心是根据故障的严重程度、影响范围与紧急程度，对电梯故障进行分级，制定差异化的预警策略，实现故障的分级管控与提前处置。结合电梯运行安全规范与实际运维经验，将电梯故障分为三级：一级故障（轻微故障），不影响电梯正常运行，仅存在潜在隐患，如部件轻微磨损、参数轻微偏差；二级故障（一般故障），影响电梯部分功能，存在一定安全隐患，如门系统卡顿、电梯轻微异响；三级故障（严重故障），导致电梯停运或存在重大安全隐患，如曳引机故障、电气短路，可能危及人员安全。针对不同等级故障，制定差异化预警策略，一级故障采用常规预警，提醒运维人员定期检查；二级故障采用重点预警，通知运维人员限期处理；三级故障采用紧急预警，立即启动应急响应，确保人员安全，同时快速调度维修资源。

4.2 应急处理流程规划

应急处理流程规划是保障电梯故障发生后快速、有序处置的关键，其核心是围绕“人员安全优先、快速处置故障、减少损失”的原则，制定标准化、智能化的应急处理流程，覆盖故障发生后的全流程处置环节。应急处理流程主要包括四个环节：一是故障确认，平台层收到感知层传输的故障数据后，快速诊断故障等级与类型，确认故障真实性与严重程度；二是人员安抚与疏散，若电梯停运且有人被困，通过轿厢内语音系统安抚人员，指导人员正确自救，同时通知救援人员赶赴现场；三是故障处置，根据故障等级与类型，启动对应的处置方案，轻微故障远程调试解决，严重故障安排专业人员现场维修；四是恢复运行与复盘，故障处置完成

后，检测电梯运行状态，确认无安全隐患后恢复运行，同时记录故障处置过程，分析故障成因，优化应急流程与维护计划，避免同类故障再次发生。

4.3 维修资源调度与优化

维修资源调度与优化是提升电梯故障维修效率、降低运维成本的核心手段，其核心是基于故障等级、故障位置、维修资源分布等信息，通过智能调度算法，实现维修人员、维修设备、维修配件的最优配置，确保故障快速修复^[4]。首先建立维修资源数据库，记录维修人员的技能水平、所在位置、值班状态，维修设备与配件的库存、分布等信息，实现维修资源的动态管理；然后根据故障等级与位置，采用智能调度算法（如遗传算法、粒子群算法），优先调度距离近、技能匹配的维修人员，合理调配维修设备与配件，缩短维修响应时间；同时建立维修资源优化机制，根据故障发生频率、维修效率等数据，动态调整维修人员排班、配件库存分布，优化维修资源配置，避免资源闲置或短缺。另外，通过建立维修人员培训体系，提升维修人员技能水平，进一步提升维修效率与质量，保障电梯快速恢复正常运行。

结束语

物联网环境下电梯故障智能响应体系的构建，融合多学科技术，实现电梯故障全流程智能化管理。通过分层架构设计、多方法故障监测诊断及科学响应策略制定，提升故障识别与处理能力，保障人员安全与电梯正常运行。未来，随着技术发展，该体系将不断完善，为电梯运维提供更高效、精准的解决方案，推动电梯行业向智能化、安全化方向发展。

参考文献

- [1]徐华成,黄钢剑.基于边缘计算的电梯曳引机故障诊断方案[J].现代制造技术与装备,2026,62(2):176-178.
- [2]周前飞,曹宏伟,庆光蔚,等.基于大数据分析的电梯应急处置智能引导方法[J].物联网技术,2025,15(6):107-112.
- [3]庆光蔚,刘肖凡.基于机器学习的城市电梯困人故障原因预测方法研究[J].物联网技术,2022,12(10):55-58.
- [4]李剑晨,李功宁,王磊,等.电梯曳引系统动力学建模与故障状态下的张力变化特性[J].特种设备安全技术,2025(6):31-34.