

基于 PLC 的电梯特种设备故障监测系统设计

胡建中

杭州格特电梯有限公司 浙江杭州 310024

摘要: 电梯作为高层建筑的垂直交通工具,其安全性和可靠性直接影响到乘客的安全。传统监测系统在故障检测上存在一定局限,无法满足现代高层建筑对电梯安全运行的需求。PLC 技术凭借其在逻辑控制和实时处理方面的优势,为电梯故障监测提供了有效的解决方案。本文设计并实现了一个基于 PLC 的电梯特种设备故障监测系统,通过集成传感器数据采集、故障诊断、报警处理和远程监控模块,实现了电梯运行状态的全面监测和故障预警,以提升电梯运行的安全性和维护效率。

关键词: PLC; 电梯特种设备; 故障监测

引言

随着城市化进程加速,电梯作为高层建筑的关键垂直交通工具,其安全性和可靠性备受关注。传统电梯监测系统在故障检测的实时性和准确性上存在不足,无法满足现代需求。可编程逻辑控制器(PLC)凭借其高可靠性、强大逻辑控制能力和易扩展性,在工业自动化领域广泛应用。基于 PLC 的电梯特种设备故障监测系统,通过集成传感器模块、数据采集模块、故障诊断算法和远程监控模块,实现电梯运行状态的实时监测、精准故障诊断与及时报警。本研究旨在设计并实现基于 PLC 的电梯故障监测系统,以提升电梯运行安全性和维护效率,为智能化监测提供新思路。

1 电梯特种设备故障监测系统硬件设计

电梯特种设备故障监测系统硬件设计由传感器模块、PLC 主控模块、I/O 接口模块、通信模块以及人机界面(HMI)模块组成。传感器模块是整个系统的数据源,用于实时采集电梯的运行数据,包括位置传感器、速度传感器、电流传感器、振动传感器等。这些传感器通过 I/O 接口模块与 PLC 连接,实现数据的实时传输和处理^[1]。PLC 主控模块是系统的核心,负责接收和处理来自传感器的数据,执行故障检测与诊断、报警处理等功能。PLC 主控模块采用高性能的工业级 PLC,具备强大的处理能力和稳定性。通信模块采用 Modbus、Profibus、Ethernet 等工业标准的通信协议,实现 PLC 与远程监控中心的数据传输。人机界面(HMI)模块通过触摸屏或工控机,为操作人员提供直观的操作界面,显示电梯的运行状态、故障信息、历史数据等。HMI 与 PLC 通过通信接口连接,实现数据的实时交互。整个系统的硬件设计注重高

可靠性、高实时性和易维护性,确保电梯特种设备的安全运行和故障的及时检测与处理。

2 基于 PLC 的电梯特种设备故障监测系统设计

2.1 电梯运行数据采集模块

电梯运行数据采集模块通过位置、速度、加速度、温度、电流、电压等传感器实时采集电梯的运行状态参数^[2]。为确保数据的准确性和可靠性,必须精确设计数据采集频率和采集精度。采集频率 f_s 的设计公式如

$$f_s = \frac{1}{T_s} \quad (1)$$

式中, T_s 为采样间隔,通过计算最小采样间隔,确保捕捉电梯快速变化的运行状态。假设电梯最大速度变化周期为 0.1 秒,则采样间隔应满足 $T_s \leq 0.1$ 秒,因此采集频率应满足 $f_s \geq 10$ Hz。采集精度方面,通过选择适当分辨率的传感器,例如位移传感器的分辨率 R 为:

$$R = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^N} \quad (2)$$

式中, V_{max} 和 V_{min} 分别为传感器的最大和最小输出电压, N 为传感器的位数。通过高分辨率的位移传感器能够准确监测电梯的位移变化,为速度和加速度的计算提供基础数据。数据采集过程中,采用均值滤波进行信号处理以滤除噪声,提高数据质量。均值滤波公式为:

$$y[n] = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x[n-k] \quad (3)$$

式中, $y[n]$ 为第 n 个采样点的滤波后数据, $x[n]$ 为第 n 个采样点的原始数据, M 为滤波窗口大小, k 为滤波窗口内的样本点数量。通过均值滤波能够平滑传感器信号, 减少随机噪声的影响, 提高数据采集的稳定性和可靠性。

2.2 电梯故障诊断模块

电梯故障诊断模块通过对采集的电梯运行数据进行深入分析, 采用多种故障检测算法和模式识别技术, 实现电梯运行状态的实时监控与故障预警^[3]。通过快速傅里叶变换 (FFT) 对电梯的振动信号进行频域分析, 计算频谱 $X(f)$, 公式如下:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (4)$$

该公式用于将时域信号 $x(t)$ 转换为频域信号 $X(f)$, 以便分析电梯运行过程中可能出现的频率成分异常。利用功率谱密度 (PSD) 计算信号的能量分布, 公式如下:

$$P(f) = \frac{|X(f)|^2}{T} \quad (5)$$

式中, $P(f)$ 表示频率 f 处的功率谱密度, $|X(f)|$ 为频谱幅值, T 为信号总时长。通过分析 $P(f)$ 的分布, 能够识别出特定故障模式对应的频率特征。提取功率谱密度中的特征向量 \mathbf{p} 作为输入特征, 基于支持向量机 (SVM) 算法, 对故障特征进行分类, 公式如下:

$$f(\mathbf{p}) = \sum_{i=1}^N \alpha_i K(\mathbf{p}_i, \mathbf{p}) + b \quad (6)$$

式中, α_i 为拉格朗日乘子, $K(\mathbf{p}_i, \mathbf{p})$ 为核函数, \mathbf{p}_i 为训练样本的特征向量, b 为偏置项, N 为支持向量的数量。该公式通过将输入特征 \mathbf{p} 投影到高维空间, 实现对故障类型的准确分类。

2.3 电梯报警处理模块

电梯报警处理模块通过对实时监测数据的分析, 当检测到异常参数或故障信号时, 立即触发预设的报警机制^[4]。PLC 主控模块根据预先设定的报警阈值和逻辑判断条件, 对

采集的电梯运行数据进行实时对比与计算。假设电梯运行电流的正常值范围为 10A 到 50A, 当实时采集的电流值 $I_{\text{实时}}$ 超过 50A 时, 利用差值计算公式:

$$\Delta I = I_{\text{实时}} - I_{\text{阈值}} \quad (7)$$

式中, $I_{\text{阈值}}$ 表示系统中预先设定的电流安全上限值。

由上述公式可知, 实际电流超过该阈值, 表明电梯出现了过载故障, 系统会通过 PLC 的输出模块启动声光报警装置并通过报警信号继电器, 驱动相关控制电路, 实现现场声光报警和远程通知。在报警信号传输方面, 系统通过 RS485 总线和 Modbus 通信协议, 将报警信息传送到 SCADA 系统 (远程监控中心)。在 SCADA 系统中, 实时显示电梯的运行状态和故障信息, 监控人员可以立即采取措施, 确保及时、准确地处理故障。

2.4 电梯远程监控模块

电梯远程监控模块通过 Modbus 和 Profibus 等多种通信协议, 将电梯运行数据传输至远程控制中心。SCADA 系统通过 HMI 人机界面显示实时数据, 操作人员可以通过设定的界面查看电梯的运行状态和历史数据记录^[5]。正常运行的电梯监控画面如图 1 所示。



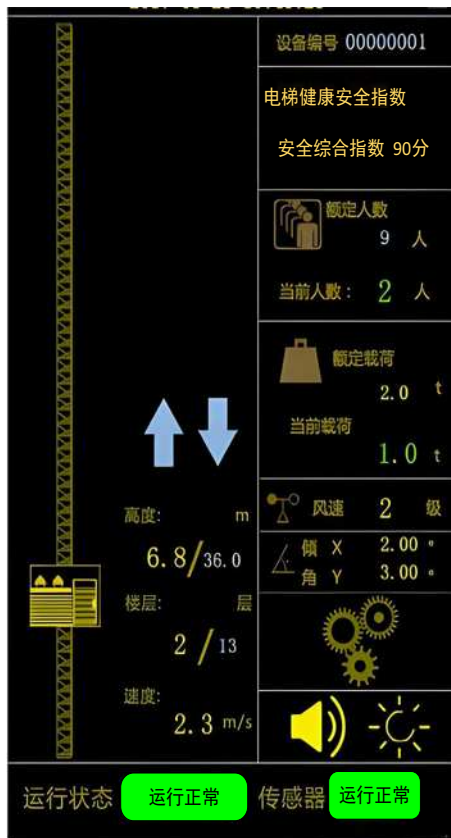


图 1 正常运行的电梯监控画面

例如，实时监测电梯速度为2.3m/s，位置为36cm。当故障发生时，PLC通过预设的阈值判断触发报警，实时将报警信息发送至远程控制中心。操作员能够通过HMI界面接收到详细的故障信息和建议的维护方案。系统利用预测性维护算法，通过分析历史数据和实时数据，预测可能的故障点，并提前进行维护。该模块还集成了视频监控系统，通过摄像头实时传输电梯内部和周围的影像，确保全方位监控。整个系统的实现过程注重数据传输的稳定性和安全性，采用TLS/SSL加密技术，确保数据在传输过程中的保密性和完整性。

3 系统实现与功能验证

3.1 仿真实验环境

在仿真实验环境中，首先搭建电梯运行数据采集模块，通过配置高精度加速度传感器、温度传感器和电流传感器，模拟实际电梯运行状态。传感器采集的数据通过 PROFIBUS DP 通信协议传输至 SIMATIC S7-300 PLC 进行处理。PLC 编程采用 TIA Portal 平台，确保数据采集的实时性和准确性。在电梯故障诊断模块中，采用时域和频域分析方法对传感器

数据进行处理，提取特征值并结合支持向量机算法实现故障识别与分类。该模块通过 PLC 的编程逻辑实现故障检测和类型判断。

3.2 实验设计方法

选取某电梯运行数据集，该数据集包含电梯运行中的电流、电压、速度、加速度和位置等参数，总计 10 万条记录。为确保模型的准确性和鲁棒性，实验中采用 8 万条记录用于训练模型，剩余的 2 万条数据用于测试。选取故障检测率、误报率、响应时间和系统稳定性为评估指标，分别代表模型准确检测到故障的比例、非故障状态下被错误检测为故障的比例、从故障发生到报警触发的时间间隔和在长时间运行中的可靠性。

实验将传统方法设为对照组，本文提出的方法设为实验组。传统方法选用基于阈值判定的故障检测方法，具体为通过设定电梯运行参数的固定阈值，当参数超出阈值范围时判定为故障。测试流程如下：在仿真电梯运行环境中模拟超载、超速以及电机故障等不同故障类型，实时记录 PLC 采集的数据；将数据集中的训练数据用于训练传统阈值判定模型和本文提出的故障检测模型。然后将测试数据集输入至两种模型进行处理，统计模型输出的故障检测情况，并通过上述评估指标进行分析和比较。

3.3 实验结果与讨论

过载故障检测结果如表 1 所示。

表 1 过载故障检测结果

评估指标	传统方法 (%)	本文方法 (%)
故障检测率	80.33	93.27
误报率	20.45	7.54
响应时间 (ms)	270.66	130.49
系统稳定性 (%)	89.37	97.84

由表 1 得知，实验组在过载故障检测中显著优于对照组。故障检测率提高了约 13 个百分点，误报率降低了近 13 个百分点，响应时间缩短了一半多，系统稳定性也有明显提升。表明本文方法在过载故障检测的准确性、响应速度和可靠性方面具有明显优势，有助于提高电梯的安全性和运行效率。

超速故障检测结果如表 2 所示。

表 2 超速故障检测结果

评估指标	传统方法 (%)	本文方法 (%)
故障检测率	84.92	96.41

误报率	16.58	5.69
响应时间 (ms)	240.58	120.74
系统稳定性 (%)	91.58	98.62

由表2得知,实验组在超速故障检测中显著优于对照组。故障检测率达96.41%,误报率降至5.69%,响应时间缩短至120.74毫秒,系统稳定性提高至98.62%。上述指标的显著提升验证了本文方法在超速故障检测中的高准确性、低误报率、快速响应和高可靠性,为电梯安全运行提供了强有力的保障。

电机故障检测结果如表3所示。

表3 电机故障检测结果

评估指标	传统方法 (%)	本文方法 (%)
故障检测率	83.74	94.87
误报率	17.32	6.75
响应时间 (ms)	255.47	127.85
系统稳定性 (%)	90.72	98.29

由表3得知,实验组在电机故障检测中表现出显著优势,故障检测率达94.87%,误报率降至6.75%,响应时间缩短至127.85毫秒,系统稳定性提高至98.29%。这些指标的提升验证了本文方法在电机故障检测中的高准确性、低误报率、快速响应和高可靠性,为电梯系统的安全运行提供了有效保障。

结语:

综上所述,本研究设计了基于PLC的电梯特种设备故障监测系统,通过电梯运行数据采集模块实现实时数据采集,利用故障诊断模块进行数据分析与故障识别,并通过报警处理模块进行故障报警和响应,最终通过远程监控模块实现故障信息和运行数据的远程传输与监控。系统集成了多种传感器、PLC控制器及通信模块,采用高效的数据处理算法和故障检测方法,验证了系统的可靠性和有效性。实验结果表明,该系统能够显著提高电梯运行的安全性和维护效率,为电梯特种设备的智能化监测提供了有效解决方案。

参考文献:

- [1] 梁坤.人工智能在电梯起重机械监控与维护中的应用[J].中国机械,2023,(35):51-55.
- [2] 宋春鹏,王刚.一种基于物联网的电梯远程监控管理系统的设计[J].中国电梯,2023,34(10):59-61.
- [3] 陈骏,翟玉启,曹扬,等.基于边缘计算的电梯运行状态远程监控平台设计[J].自动化技术与应用,2023,42(05):158-161+175.
- [4] 崔玲玲.基于PLC-MCGS技术的电梯运行监控系统设计[J].现代农机,2023,(02):77-79.
- [5] 张志勇.浅谈电梯使用场所安装安全监控设备的重要性[J].中国电梯,2023,34(03):78-79.