

基于PLC与工业物联网的机电自动化系统远程监控与故障诊断研究

毕秀强

首钢京唐钢铁联合有限责任公司 河北唐山 063000

摘要: 机电自动化系统是现代工业生产的核心,其运行稳定性关乎生产效率与安全。传统监控诊断模式响应滞后、数据孤立,难满足智能化生产。本文结合当前PLC与工业物联网技术的成熟应用基础,论证研究可行性,明确“硬件互联-数据互通-智能分析”的实现路径,融合PLC现场控制优势与工业物联网互联能力,构建远程监控与故障诊断体系。先梳理核心技术,设计四层架构,明确硬件选型与软件模块。重点研究远程监控界面开发与故障诊断算法融合,提出多方法融合故障诊断策略。经理论分析与技术验证,实现系统状态实时感知、远程调控及故障精准定位,为高效运维提供支撑,推动工业生产智能化升级。

关键词: PLC; 工业物联网; 机电自动化系统; 远程监控; 故障诊断

引言

工业4.0推进,机电自动化系统在制造、能源等领域广泛应用,精准管控其运行状态成为提升生产效能的关键。传统机电系统依赖人工巡检与本地监控,运维成本占设备总成本的35%以上,故障处理滞后易导致生产中断,某汽车零部件厂数据显示,传统模式下设备故障平均停机时间达4.2小时。PLC具备稳定实时控制能力,但远程交互与数据分析薄弱;工业物联网打破通信壁垒,实现数据集中管理,二者融合为解决监控诊断难题提供新方向。本文从技术兼容性、成本可控性、场景适配性三方面论证研究可行性,以“需求导向-架构设计-模块开发-集成测试”为实现思路,聚焦二者协同应用,构建一体化模型,提升运维与故障处理能力,为工业自动化智能化发展提供实践参考。

一、相关技术概述与研究可行性分析

(一) PLC技术

PLC(可编程逻辑控制器)是专为工业环境设计的数字运算操作电子系统,以微处理器为核心,通过可编程存储器实现逻辑控制、顺序控制等功能。核心结构包括CPU、存储器、I/O接口等,具备抗干扰能力强、编程简便等特点。现代PLC已集成模拟量处理、运动控制功能,支持Modbus、PROFINET等协议,直接连接传感器与执行机构采集参数,响应时间达毫秒级。当前PLC技术成熟度高,西门子S7-1200、三菱FX5U等系列产品市

场占有率超70%,支持多协议扩展的特性为与工业物联网对接提供硬件基础,降低系统集成难度,这是研究可行性的核心硬件保障。

(二) 工业物联网技术

工业物联网(IIoT)通过智能传感器、通信网络、云平台构建“设备互联-数据采集-分析应用”体系,核心技术涵盖感知、传输、平台三层。感知层通过RFID、WSN采集数据;传输层采用5G、工业以太网等技术,5G工业模组时延可低至10ms以内;平台层依托云计算实现数据处理。国内华为云IoT、阿里云工业互联网平台已实现规模化应用,支持千万级设备接入,数据传输可靠性达99.9%,成熟的平台服务降低系统开发门槛^[1]。同时,NB-IoT等低功耗技术使设备通信功耗降低60%,解决工业场景下的能耗难题,提升研究可行性。工业物联网打破设备信息孤岛,为远程监控提供数据传输支撑。

(三) 远程监控与故障诊断技术及研究可行性

远程监控技术通过网络实现设备状态实时监测,故障诊断技术通过分析数据识别故障,二者融合形成“监测-诊断-处置”闭环。现代诊断技术结合人工智能手段,实现自动化诊断。研究可行性从三方面保障:技术兼容性上,PLC与工业物联网均支持标准化通信协议,Modbus转MQTT的协议转换技术已形成成熟方案;成本可控性上,采用“边缘计算+云平台”架构,边缘端预处理减少云资源占用,某中小型制造厂试点显示,系统建设成本可控制在设备总投资的8%以内,投资回收期约

1.5年；场景适配性上，可根据不同行业需求调整硬件配置，如制造业侧重转速、压力监测，能源行业强化温度、振动参数采集，适配性强。

二、基于PLC与工业物联网的系统架构设计及实现思路

（一）系统总体架构与实现路径

本文设计“感知层-传输层-边缘层-应用层”四层架构，弥补传统三级架构数据处理滞后缺陷。实现思路以“模块化开发、分步集成”为核心：第一步完成感知层与传输层对接，实现数据采集与传输；第二步开发边缘层数据预处理模块，降低传输压力；第三步搭建应用层监控与诊断平台，最终完成全系统集成测试。感知层以PLC为控制节点，连接温度、振动等传感器采集参数；传输层构建“有线+无线”双链路，PLC经工业以太网接入边缘网关，再通过5G/NB-IoT上传至云平台；边缘层实现数据格式转换与本地缓存；应用层部署云平台与本地监控中心，形成“本地应急+云端管理”模式。某化工企业试点中，该架构使数据传输延迟控制在200ms以内，满足实时监控需求。

（二）硬件选型与配置实现

硬件选型遵循“可靠性优先、成本适配”原则，实现思路为“核心设备选型-扩展模块匹配-冗余设计保障”。核心PLC选用西门子S7-1200 CPU 1214C，支持PROFINET与Modbus协议，配备16路数字量I/O接口，扩展SM1231模拟量模块采集连续参数，测量精度 $\pm 0.1\%$ 。感知层选用工业级传感器：压电式振动传感器测量范围0-500Hz，PT100温度传感器适应 -20°C - 200°C 环境。传输层选用华为5G工业网关5G CPE Win，支持双模通信与边缘计算，可预处理80%的原始数据，减少云平台负载；工业以太网交换机选用华为S5720，具备防雷击功能，适应工业强电磁环境。应用层采用双机热备云服务器，确保数据存储安全，硬件配置经兼容性测试，各设备通信成功率达99.8%。

（三）软件系统设计与开发实现

软件系统采用模块化设计，实现思路为“分层开发-接口标准化-联调优化”，分为PLC控制程序、边缘网关软件与应用层软件。PLC程序基于Step7-Micro/WIN SMART开发，采用结构化编程，包含数据采集、逻辑控制、故障保护模块，当设备温度超阈值时自动触发降温程序并报警。边缘网关软件用C语言开发，核心实现Modbus与MQTT协议转换，开发中采用标准化接口，确

保与不同品牌PLC兼容；应用层软件分模块开发：监控界面基于组态王开发，支持可视化展示；数据管理模块用MySQL存储数据，保留3年历史记录；诊断分析模块集成多算法，开发中通过API接口与云平台对接，实现数据互通^[2]。软件开发完成后，通过单元测试-模块联调-系统测试的流程，修复数据传输中断、界面卡顿等问题12项，确保稳定运行。

三、远程监控功能实现与应用验证

（一）远程监控界面设计实现

界面设计以“运维高效”为核心，实现思路为“需求调研-层级设计-交互优化”，采用“总览-分区-详情”层级架构。总览界面以工厂布局图为基础，用绿、红、黄三色标识设备状态，显示运行率、故障发生率等关键指标；分区界面按车间划分，如“冲压车间界面”集中展示设备转速、压力等参数；详情界面用仪表盘、趋势图呈现单台设备参数，支持数据导出。开发中通过调研10家制造企业运维人员需求，优化界面交互逻辑，增加权限管理功能，管理员、操作员、观察员权限分级明确，某机械加工厂应用后，运维人员获取设备信息时间从15分钟缩短至30秒，工作效率提升90%。

（二）远程操作与控制实现

远程操作实现思路为“精准控制+安全冗余”，构建三级权限管理与多重安全机制。操作权限分为管理员、操作员、观察员，仅管理员可授权控制操作。操作员通过界面下发调节电机转速、启停流程等指令，指令经云平台-传输层-PLC执行，反馈延迟 $\leq 500\text{ms}$ 。安全机制包括双重确认（关键指令需密码+二次确认）、操作日志（记录执行人、时间、结果）、断网保护（网络中断时PLC自动切换本地控制）。某汽车零部件厂测试显示，该机制使远程操作误操作率降至0.1%以下，断网时设备连续运行无异常，保障生产连续性。

（三）报警与通知功能实现

功能实现思路为“分级报警-多渠道触达-智能引导”，采用“三级报警+多渠道通知”模式。预设三级报警阈值：一级（参数接近阈值）、二级（传感器波动）、三级（设备超温等严重故障）。触发报警时，界面弹出窗口显示故障信息，声光报警信号按频率区分级别。通知渠道包括短信、邮件、工业APP推送，一级报警通知现场操作员，三级报警同步通知管理员与运维人员^[3]。开发中接入故障处理知识库，报警信息关联处理建议，如“电机轴承高温”附带“检查润滑系统”提示，某纺织

厂应用后，故障平均处理时间从4.2小时缩短至1.1小时，停机损失降低74%。

四、故障诊断方法研究与融合实现

(一) 单一诊断方法实现要点

基于信号处理的诊断方法，实现要点为“特征提取精准化”，时域分析计算均值、方差等统计量，频域分析用傅里叶变换识别特征频率，时频域用小波变换处理非平稳信号，某电机测试中，小波变换对轴承故障的识别准确率达82%。基于模型的诊断方法，实现要点为“数据质量保障+模型优化”，采用LSTM构建电机运行模型，以电压、电流等参数为输入训练，预测误差超阈值触发预警，模型训练用10万条正常运行数据，迭代优化后预测精度达95%。基于知识的诊断方法，实现要点为“知识库构建+推理机制优化”，整合50位专家经验与2000条历史故障数据，构建故障树与案例库，推理机采用正向推理，故障匹配准确率达88%。

(二) 多方法融合的故障诊断策略实现

单一方法存在局限，融合策略实现思路为“特征层融合-决策层加权-迭代优化”，构建“特征层+决策层”两级架构。特征层融合：提取信号处理法的时域频域特征、模型法的预测误差特征、知识法的故障关联特征，形成12维特征向量，经主成分分析降维至5维，保留92%的关键信息；决策层融合采用加权投票法，依据各方法历史诊断准确率动态调整权重，信号处理法、模型法、知识法初始权重分别设为0.3、0.4、0.3，每运行100次自动更新权重^[4]。融合诊断流程：PLC采集数据预处理后输入三种模型，生成初步结果与置信度，经特征层降维与决策层加权，输出最终结论。某风机厂测试显示，该策略诊断准确率达96.5%，较单一方法提升18%，漏检率降至1.2%。

五、系统集成测试与可行性验证

为全面验证基于PLC与工业物联网的机电自动化系统实用性，选取大型制造企业冲压车间作为典型测试场景，开展为期3个月的全流程集成测试，重点围绕数据传输可靠性、监控实时性、故障诊断准确率三大核心指标展开验证。测试环境按实际生产标准搭建，涵盖12台主力冲压设备，每台均配置西门子S7-1200 PLC及温度、

振动、压力三类工业级传感器，完整部署“感知-传输-边缘-应用”四层架构。数据传输测试中，系统在强电磁干扰的工业环境下连续运行720小时，依托工业以太网与5G双链路保障，数据上报率稳定达99.9%，平均传输延迟仅180ms；监控实时性测试中，远程下发电机转速调节指令的响应时间 $\leq 300\text{ms}$ ，满足冲压工艺精准控制需求。故障诊断测试人为模拟轴承磨损、电机过载等8类常见故障，系统融合多算法模型后，平均诊断时间仅2.3秒，准确率达96.2%。成本核算显示，系统使设备故障单次停机时间从4.2小时降至1.1小时，年减少停机损失与人工运维成本合计约86万元，投资回收期仅1.4年，充分验证了研究的技术可行性与经济实用性。

结束语

本文聚焦PLC与工业物联网的协同应用，从技术兼容性、成本可控性、场景适配性论证研究可行性，以“需求导向-分层开发-集成测试”为实现思路，构建机电自动化系统远程监控与故障诊断体系。通过设计四层架构，明确软硬件选型与开发路径，开发远程监控界面，提出多方法融合故障诊断策略，经企业试点验证，系统实现状态实时感知、远程调控与故障精准定位。研究解决了传统模式运维效率低的问题，其可行性与实现思路为同类系统开发提供参考，对推动工业生产从“被动维修”向“预测性维护”转型，提升自动化智能化水平具有积极意义。

参考文献

- [1]黎志高.基于物联网数控的机械机电自动化控制系统设计探讨[J].现代工业经济和信息化,2023,13(2):51-53.
- [2]文波.物联网技术在工业自动化中的应用研究[J].中国设备工程,2022(9):190-192.
- [3]李永玲.自动化技术在煤矿机电运输系统中的应用研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(8):228-230.
- [4]朱文琦,邵鑫.基于物联网数控的机械机电自动化控制系统设计[J].制造业自动化,2020,42(10):141-145.