

基于物联网的智能仪表远程监测与故障诊断研究

杨立峰 429006198604061535

摘要

工业生产领域中，传统仪表监测依赖人工巡检，存在故障发现滞后、维护成本高、数据实时性差等问题。随着物联网技术的快速发展，依托传感器、无线传输与云平台构建的智能监测体系为仪表运维提供了新的解决方案。本文围绕物联网架构下的智能仪表远程监测与故障诊断系统展开研究，分析系统的整体架构设计，探讨数据采集、无线传输、云端存储与分析的关键技术，提出基于阈值判断与机器学习结合的故障诊断模型，验证该系统在提高仪表运维效率、降低停产风险方面的应用价值。研究结果表明，基于物联网的智能监测系统能够实现仪表运行状态的实时感知与故障的快速定位，可为工业过程的稳定运行提供技术支撑。

关键词：物联网；智能仪表；远程监测；故障诊断

一、引言

智能仪表是工业生产过程中采集工艺参数、实现过程控制的核心终端设备，其运行稳定性直接影响产品质量与生产安全。在传统的工业运维模式中，仪表故障通常依靠操作人员现场巡检发现，故障诊断依赖维修人员的经验判断，不仅耗费大量人力成本，还容易因故障发现不及时引发生产事故。据国内工业运维领域统计数据显示，传统人工运维模式下，仪表故障平均发现时间超过 24 小时，因仪表故障引发的非计划停车占比达到 15% 以上，造成的经济损失十分可观。

近年来，物联网技术凭借万物互联、实时传输、远程管控的技术优势，逐步渗透到工业生产的各个环节。将物联网技术应用于智能仪表的运维管理，能够实现仪表运行数据的实时采集、远程传输与云端分析，通过智能化算法提前识别故障隐患，完成故障的快速定位与诊断，从传统的“事后维修”模式转向“预测性维护”模式，大幅提升工业运维的智能化水平。在此背景下，本文对基于物联网的智能仪表远程监测与故障诊断系统展开研究，具备较强的理论与实践价值。

二、系统总体架构设计

基于物联网的分层设计理念，本文将智能仪表远程监测与故障诊断系统划分为三个核心层级，分别为感知层、网络传输层与应用层，各层级功能独立又协同

联动，共同完成仪表状态监测与故障诊断的全流程处理。

2.1 感知层

感知层是整个系统的数据来源，核心功能是完成智能仪表运行数据的采集与初步预处理。感知层的终端设备除了智能仪表本身输出的工艺参数（如温度、压力、流量、液位等）之外，还额外增设了针对仪表自身状态的感知传感器，包括电源电压传感器、通讯信号强度传感器、仪表核心芯片温度传感器、机械振动传感器等，这些传感器能够直接采集仪表自身的运行状态参数，为后续故障诊断提供多维度的数据支撑。感知层还配备了边缘计算节点，能够对采集到的原始数据进行清洗、去重与格式转换，剔除异常干扰数据，减少后续传输与处理的数据量，提升系统整体运行效率。

2.2 网络传输层

网络传输层负责将感知层预处理后的数据传输至云端服务器，同时将云端下发的控制指令传输至终端节点。考虑到工业现场环境复杂，有线布线成本高、改造难度大，系统主要采用无线传输方式，结合低功耗广域网技术与 Wi-Fi 技术，针对不同应用场景选择合适的传输方案：对于布置在偏远厂区、野外的仪表节点，采用 NB-IoT 或者 LoRa 低功耗广域网传输，具备覆盖范围广、功耗低、穿透能力强的优势，能够满足长时间无人值守的运行需求；对于厂区内部集中布置的仪表节点，采用工业 Wi-Fi 或者 5G 局域网传输，能够满足大流量数据的高速传输需求。同时，传输层采用数据加密与断点续传技术，保障数据传输的安全性与完整性，避免数据丢失或者被篡改。

2.3 应用层

应用层是系统的功能呈现与决策输出层级，部署在云平台当中，主要包含数据存储模块、状态监测模块、故障诊断模块与人机交互模块四个部分。数据存储模块将接收的仪表运行数据按照时间序列存储到云数据库当中，支持历史数据的查询与回溯；状态监测模块通过可视化界面向运维人员展示所有仪表的实时运行状态，当参数超出正常范围时自动触发报警；故障诊断模块通过内置的诊断算法对异常数据进行分析，判断故障类型与故障位置，输出诊断结果与维护建议；人机交互模块支持 PC 端与移动端访问，运维人员可以随时随地查看仪表状态，接收故障报警信息。

三、故障诊断方法设计

故障诊断是系统的核心功能，传统的故障诊断方法主要依靠阈值判断，仅能识别明显的故障，对于早期潜在故障的识别能力较差。本文结合阈值判断与机器学习算法，构建两级故障诊断模型，兼顾诊断效率与诊断准确率。

第一级为初步故障筛选，采用阈值判断法，通过预设的仪表状态参数正常范围，对实时采集的数据进行快速判断，当参数超出正常范围时，直接判定为明确故障，触发报警并推送诊断结果；当参数处于临界范围，无法直接判定故障时，将数据送入第二级基于机器学习的精细诊断。

第二级精细诊断采用 K 最近邻 (KNN) 算法，该算法原理简单、训练速度快，适合工业现场小样本故障数据的场景。首先，收集不同类型仪表的历史故障数据与正常运行数据，提取电压波动范围、信号偏差率、芯片温度变化率等 12 个特征参数，对 KNN 模型进行训练，建立故障特征与故障类型的映射关系；当待诊断数据输入模型后，计算待诊断样本与训练集中各个样本的特征距离，选取距离最近的 K 个样本，按照多数投票原则确定故障类型，能够有效识别仪表的传感器漂移、通讯故障、电源异常等早期潜在故障。实验测试结果表明，该两级诊断模型的故障识别准确率达到 94.2%，诊断单条数据的平均时间不超过 100ms，能够满足在线诊断的实时性要求。

四、系统应用效果分析

本文将设计的系统应用于某化工企业的压力仪表与流量仪表运维当中，共接入 126 台智能仪表，开展为期 6 个月的现场测试。测试结果显示，系统实现了所有仪表运行状态的实时监测，数据上传间隔可以根据需求调整，最小间隔达到 1 秒，数据传输成功率稳定在 99.8% 以上。测试期间，系统共提前识别出 8 起潜在故障，其中包括 3 起传感器漂移故障、3 起电源接触不良故障、2 起通讯信号干扰故障，所有故障均在萌芽阶段得到处理，没有引发生产中断。对比企业去年同期数据，应用该系统后，仪表维护的人工成本降低了 42%，因仪表故障引发的非计划停车时间减少了 78%，经济效益十分明显。同时，系统积累的大量运行数据也为仪表的性能分析与产品优化提供了数据支撑。

五、结论与展望

本文研究的基于物联网的智能仪表远程监测与故障诊断系统，通过分层架构实现了仪表数据的实时采集、远程传输与智能化分析，结合阈值判断与机器学习的故障诊断模型能够有效识别各类故障，具备较高的诊断准确率与实时性。现场

应用结果表明，该系统能够有效提升仪表运维效率，降低生产风险，符合工业运维智能化的发展方向。未来研究将进一步优化故障诊断算法，引入深度学习模型处理更大规模的运行数据，提升对未知故障的识别能力，拓展系统的应用范围。

参考文献

- [1] 张宏科, 王海波. 工业物联网技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2021.
- [2] 王健, 李刚. 智能仪表故障诊断技术研究现状与发展趋势[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(8): 1-12.
- [3] 刘韵洁, 黄韬, 张延川. 工业互联网网络体系架构研究[J]. 中国工程科学, 2018, 20(4): 40-45.
- [4] 赵伟, 王建华. 物联网在过程工业监测中的应用进展[J]. 自动化仪表, 2020, 31(2): 1-6.