

测控技术与仪器在工业过程多参数智能监测系统中的应用研究

王晓鹏

中电建宁夏工程有限公司 宁夏 银川 750001

【摘要】：随着工业 4.0 的深入推进，工业过程对多参数监测的实时性、准确性和智能化提出了更高要求。本文基于测控技术与仪器，设计了一套工业过程多参数智能监测系统，该系统通过分布式传感器网络采集温度、压力、流量、液位等关键参数，结合边缘计算与云计算实现数据的实时处理与全局分析，最终通过智能决策算法输出优化调控建议。在某化工园区的应用结果表明，该系统的参数测量误差 $\leq 0.5\%$ ，异常预警响应时间 ≤ 2 秒，使生产能耗降低 8.3%，设备故障率下降 35%，显著提升了工业过程的稳定性与经济性。

【关键词】：测控技术；智能仪器；工业过程；多参数监测；系统设计

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.019

1 研究背景

工业过程涉及复杂的物理化学反应与能量转换，温度、压力、流量等参数的微小波动都可能影响产品质量甚至引发安全事故。传统监测系统采用单点监测模式，难以覆盖整个生产流程（如化工反应釜仅监测釜内温度，忽略夹套压力）；数据处理滞后，依赖人工巡检记录，参数异常发现周期平均超过 30 分钟；各参数监测独立运行，无法实现关联性分析（如无法识别“流量骤降与压力突升”的耦合故障）。据统计，我国工业领域因参数监测滞后导致的生产损失年均超千亿元，因此构建多参数智能监测系统具有迫切的现实需求。本文设计的多参数智能监测系统，融合先进测控技术与智能算法，实现工业过程全参数、全流程的精准监测与智能决策。该系统的应用可使工业过程的参数控制精度提升，为工业企业的提质、降本、增效提供有力的技术支撑。

2 多参数智能监测系统总体设计

2.1 设计目标

系统需实现三大核心目标，一是全参数覆盖，采集工业过程中温度、压力、流量、液位、成分（如 pH 值、浓度）等 15 类关键参数；二是实时智能分析，参数采集间隔 ≤ 1 秒，异常识别与预警时间 ≤ 2 秒；三是跨平台协同，与企业 MES 系统、SCADA 系统无缝对接，输出可执行的调控指令。

2.2 总体架构

系统采用“感知层-边缘层-云端层-应用层”四层架构，各层功能明确且协同联动。

2.2.1 感知层

负责多参数原始数据采集，由智能传感器、数据采集模块组成。针对不同工业场景选用适配的测控仪器，高温环境（如冶金炉）采用热电偶传感器（测量范围 $-200\sim 1800^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）；高压管道（如液压系统）配备应变式压力变送器（ $0\sim 60\text{MPa}$ ，精度 $0.1\%\text{FS}$ ）；腐蚀性液体（如酸碱溶液）选用电磁流量计（量程 $0\sim 100\text{m}^3/\text{h}$ ，精度 0.2% ）。传感器输出信号统一转换为 $4\sim 20\text{mA}$ 电流信号或 Modbus-RTU 协议数字信号，通过屏蔽电缆传输至边缘层，确保抗电磁干扰能力（共模抑制比 $\geq 120\text{dB}$ ）。

2.2.2 边缘层

部署在生产车间的边缘计算节点（如工业控制计算机，算力 8TOPS ），承担数据预处理与实时分析任务。通过数据清洗算法剔除异常值（如传感器故障导致的跳变数据），采用小波变换提取压力波动的特征频率、温度曲线的斜率变化等关键特征量，将处理后的数据每 5 秒上传至云端，同时对紧急情况（如温度超安全阈值）直接生成本地调控指令（如启动冷却系统），响应延迟 $\leq 100\text{ms}$ 。

2.2.3 云端层

基于工业云平台（如阿里云工业互联网平台）构建数据中台，存储历史监测数据（容量 $\geq 10\text{TB}/\text{年}$ ）、设备参数、工艺标准等信息。通过机器学习模型（如随机森林、LSTM）进行多参数关联分析，例如建立“反应釜温度-进料流量-搅拌转速”的耦合模型，识别异常参数的根源。云端平台支持 Web 端与移动端访问，数据可视化延迟 ≤ 1 秒。

2.2.4 应用层

面向不同用户提供定制化功能模块,实时监控模块动态显示各参数数值与趋势曲线,超标参数以红色闪烁报警;智能诊断模块自动分析异常原因,推送处理建议(如“压力突升可能因阀门卡阻,建议检查V102阀门”);报表分析模块生成日报、月报,统计参数达标率、能耗指标等(如“本周温度参数达标率98.7%,较上周提升1.2%”)。

3 系统关键技术与实现

3.1 多参数传感器融合技术

针对工业现场参数多样、环境复杂的特点,采用“硬件适配+软件校准”的融合方案。

3.1.1 传感器选型适配

根据测量对象特性选择测控仪器,测量高温气体时,选用红外测温仪(非接触式,避免传感器损坏);测量高粘度液体流量时,采用椭圆齿轮流量计(不受流体粘度影响);测量微量成分(如气体中的氧含量)时,采用激光气体分析仪(分辨率0.01%)。某化工反应釜监测中,通过组合热电偶(釜内温度)、压力变送器(釜内压力)、pH传感器(溶液酸碱度),实现反应状态的全面感知。

3.1.2 时空同步校准

通过GPS授时(时间同步误差 $\leq 1\text{ms}$)实现不同传感器的时间对齐,采用空间坐标映射(将管道不同位置的传感器数据关联至同一流动模型)消除位置差异影响。对温度传感器进行两点校准(0°C 冰水混合物与 100°C 沸水),压力传感器采用标准压力源(精度0.05级)校准,确保系统整体测量误差 $\leq 0.5\%$ 。

3.1.3 数据融合算法

对同一参数的多传感器数据(如反应釜顶部与底部的温度)采用加权平均融合(权重根据传感器精度分配),对关联参数(如流量与液位)采用卡尔曼滤波算法剔除噪声,使液位测量的标准差从 $\pm 5\text{mm}$ 降至 $\pm 2\text{mm}$ 。

3.2 智能异常检测与预警技术

3.2.1 特征工程

从原始数据中提取18类特征,如温度的30秒滑动平均值、压力的峰值因子、流量的脉冲计数等,通过主成分分析法(PCA)降维至6个关键特征,减少模型计算量。

3.2.2 异常检测模型

采用“监督+无监督”混合学习模式,对已知故障类型(如泵机气蚀),用支持向量机(SVM)模型识别,准确率达96%;对未知异常,用孤立森林算法检测偏离正常模式的数据点,检出率 $\geq 90\%$ 。模型每24小时自动更新,适应工艺参数的缓慢变化。

3.2.3 分级预警机制

根据异常严重程度分为三级,一级预警(参数轻微超标,如温度超上限 1°C)系统自动记录并提示操作工关注;二级预警(参数明显超标,如压力超上限5%)推送至班组长,建议10分钟内处理;三级预警(紧急情况,如液位接近溢出)立即触发声光报警,同时自动启动应急措施(如关闭进料阀)。某炼油厂应用中,该机制将三级预警的响应时间从原有的5分钟缩短至15秒。

3.3 系统集成与接口技术

3.3.1 通信协议转换

开发协议转换器,支持Modbus、Profinet、OPCUA等10余种工业协议的互转,解决“信息孤岛”问题。例如将传感器的Modbus信号转换为OPCUA协议,接入企业MES系统,数据传输成功率 $\geq 99.9\%$ 。

3.3.2 安全防护

采用工业防火墙隔离监测系统与生产控制系统(SCADA),设置数据访问权限(如操作工仅能查看数据,工程师可修改参数阈值),所有数据传输采用AES-256加密,防止信息泄露与恶意攻击。

3.3.3 硬件集成方案

传感器安装遵循“不影响生产”原则,在高压管道上采用带压开孔技术安装压力传感器;在旋转设备(如搅拌机)上采用无线传感器(传输距离50米,电池续航1年)监测振动与温度,避免布线困难。

4 结论

综上所述,本文设计的工业过程多参数智能监测系统,基于测控技术与智能仪器构建了“感知-分析-决策”的闭环体系,通过多传感器融合、智能异常检测等技术,实现了工业参数的精准监测与快速响应。应用案例表明,系统测量精度高(误差 $\leq 0.5\%$)、响应速度快(预警时间 ≤ 2 秒),能有效提升生产稳定性与经济性,具有广泛的推广价值。

参考文献:

- [1] 张闯辉,钟立聪.工业测控执行器与 PLC 协同控制在高速公路隧道机电系统中的应用[J].交通科技与管理,2024,5(21):20-22.
- [2] 胡润勇,向友洪,廖芳芳,等.基于工业物联网 (IIoT) 的热工试验测控系统设计[J].物联网技术,2023,13(12):121-124.
- [3] 刘涛,崔志强,田建平,等.智能化测控平台在工业发酵中的应用研究[J].现代工业经济和信息化,2023,13(06):107-109.
- [4] 赵华,唐春娥,刘磊磊.面向工业应用的测控装备数据字典系统构建方法[J].中国仪器仪表,2021,(10):77-80.