

智能化技术在仪表自动化故障处理中的应用研究

常 伟

新疆东方希望新能源有限公司 新疆 昌吉 831100

摘 要: 本文探讨了智能化技术在仪表自动化故障处理中的应用。智能化技术,如智能传感器、模糊控制、专家系统、大数据分析及人工智能算法等,显著提升了仪表的测量精度、故障检测效率与维护管理水平。通过实时监测、数据驱动诊断与预测性维护,有效缩短了故障定位时间,降低了维护成本,延长了仪表生命周期。智能化技术的引入,为仪表自动化故障处理带来了革命性的变革,提升了工业生产的稳定性与效率。

关键词: 智能化技术; 仪表自动化故障处理; 应用

引言: 在工业生产自动化日益普及的今天,仪表作为监测与控制的核心组件,其运行状态的稳定性和故障处理的及时性直接影响到生产线的效率和安全性。智能化技术的迅猛进步,为仪表自动化故障处理领域带来了革新性的可能。本研究致力于深入剖析智能化技术在仪表自动化故障处理中的应用,旨在通过智能化的手段提升故障检测与诊断的精度和效率,为保障生产线的稳定运行提供有力支持。

1 特定工况下的仪表自动化挑战

1.1 高温高压工况

(1) 高温高压环境会加速仪表材料老化,如金属部件易出现蠕变、强度下降,非金属密封件易软化失效,导致密封性受损引发介质泄漏;同时高温会改变传感器特性,高压易使测量元件形变,双重作用下测量精度大幅降低,误差可扩大至常规工况的3-5倍。(2) 选型需优先选用耐高温高压材料,如哈氏合金、陶瓷等;设计上采用隔离式测量结构,配备冷却散热装置,密封环节采用金属密封或多层复合密封,且仪表量程需预留20%以上冗余量。

1.2 腐蚀性介质工况

(1) 腐蚀性介质会对仪表接触部件产生化学腐蚀,如酸碱溶液会溶解金属外壳、侵蚀传感器电极,导致仪表结构损坏、测量信号失真,严重时1-3个月即需更换核心部件。(2) 优先选用聚四氟乙烯、氟橡胶等防腐材料,或对金属部件进行电镀、喷涂防腐涂层;采用全密封封装设计,关键部位加装耐腐蚀隔离膜,定期对仪表进行防腐检测与维护。

1.3 高粘度、易结晶工况

(1) 高粘度介质易附着在仪表测量管路和传感器表面,导致管路堵塞、测量响应滞后;介质结晶会包裹传感器,破坏测量环境,增加仪表清洗难度,需频繁拆解

清理,影响生产连续性。(2) 仪表需采用大口径流通结构,减少介质滞留;配备伴热保温装置防止结晶,传感器表面进行防粘涂层处理,设计可拆卸式结构,便于快速清洗维护^[1]。

1.4 两相流、脉动流工况

(1) 两相流中气液或固液混合不均,会导致仪表测量值波动剧烈;脉动流产生的瞬时冲击会损坏传感器,且易引发信号干扰,使测量稳定性下降,数据重复性误差超10%。(2) 测量方法需选用差压式、超声式等抗干扰仪表,信号处理上采用滤波算法、平均值计算技术,同时在仪表前端加装缓冲器或稳流装置,削弱脉动影响。

1.5 蒸汽测量工况

(1) 蒸汽具有高温高压、易冷凝特性,冷凝水会改变测量介质状态,影响流量计算;蒸汽参数随工况变化快,易导致仪表量程不匹配,增加测量难度。(2) 仪表需采用温压补偿技术,实时修正蒸汽密度变化;选用蒸汽专用流量计,配备冷凝罐确保测量元件处于蒸汽环境,误差分析需重点考虑冷凝水影响、参数补偿精度等因素,将测量误差控制在5%以内。

2 智能化技术在仪表自动化故障处理中的应用

2.1 智能传感器与数据采集

(1) 智能传感器通过“感知-转换-处理-传输”四步工作原理实现功能:首先利用敏感元件(如压电、光电元件)感知温度、压力、流量等物理量,将其转换为微弱电信号;随后内置信号调理模块对电信号进行放大、滤波,消除干扰;再通过微处理器对信号进行数字化处理,结合预设算法完成数据校准与误差修正;最后借助通信接口(如4G、LoRa)将处理后的标准化数据传输至控制系统,同时具备自我诊断能力,可实时监测自身电路、敏感元件状态,发现异常时主动发送故障预警信号^[2]。(2) 数据采集技术通过多通道采集模块,实时采

集智能传感器传输的仪表运行数据（如测量值、功耗、温度）及环境数据（如介质浓度、外界湿度），形成多维度数据库。分析技术则运用统计分析、趋势分析等方法，对数据进行深度挖掘：例如通过对比当前数据与历史正常数据的偏差，识别仪表测量值漂移、响应延迟等隐性故障；利用相关性分析，判断不同仪表间数据的逻辑一致性，快速定位因传感器失效导致的连锁故障，大幅缩短故障检测时间，将传统人工排查的几小时缩短至分钟级。

2.2 模糊控制与专家系统

（1）模糊控制技术基于模糊数学理论，将仪表自动化中的模糊问题（如“测量值偏高”“响应较慢”）转化为定量控制策略。其通过定义模糊子集（如“高”“中”“低”）、建立模糊规则库（如“若测量值偏差高且变化率快，则增大校正系数”），利用模糊推理算法对仪表运行参数进行动态调整。例如在液位控制仪表中，当介质粘度变化导致测量波动时，模糊控制可自动优化控制参数，避免传统PID控制的超调现象，使仪表控制精度提升15%-20%。（2）专家系统由知识库、推理机、解释器组成，知识库存储领域专家总结的仪表故障知识（如“压力传感器无输出可能是电源故障或元件损坏”），推理机通过正向推理（从故障现象推导原因）或反向推理（从可能原因验证现象）定位故障。在故障处理中，系统可自动匹配解决方案，如检测到“流量仪表数据波动”，结合历史数据推理出“管路堵塞”，并给出“清洗管路+校准传感器”的处理建议，同时通过解释器说明推理过程，帮助运维人员理解，故障诊断准确率可达90%以上。

2.3 大数据分析 with 预测性维护

（1）大数据分析技术依托分布式计算框架（如Hadoop、Spark），处理仪表长期积累的海量运行数据（包括正常数据、故障数据、环境数据）。通过构建故障预测模型，如基于决策树的分类模型、基于LSTM的时序预测模型，挖掘数据中的故障特征规律：例如分析温度传感器的历史数据，发现“当传感器温度漂移速率连续3天超过0.5℃/天，1周内大概率出现测量失效”，从而提前发出故障预警，避免突发停机。此外，通过关联分析不同设备数据，还能识别因系统协同问题引发的仪表故障，如泵体振动异常导致的流量仪表数据失真^[3]。（2）预测性维护策略以大数据分析结果为依据，制定个性化维护计划：首先对仪表进行风险等级划分，如将关键生产环节的压力仪表列为高风险，普通环境的温度仪表列为低风险；其次根据故障预测模型输出的“故障

发生概率”“剩余使用寿命”，确定维护时间与内容，如预测某流量仪表10天后可能故障，提前安排“更换密封件+校准”维护，而非传统的固定周期维护。实施过程中，通过物联网实时监测维护效果，动态优化模型参数，使维护成本降低20%-30%，仪表平均无故障时间延长50%。

2.4 人工智能算法在仪表故障处理中的应用

（1）遗传算法通过模拟生物进化的选择、交叉、变异过程，优化仪表故障诊断参数：例如在多传感器故障定位中，遗传算法可从大量可能的故障组合中，快速筛选出最优诊断方案，减少冗余计算，提高诊断效率。神经网络算法（如BP神经网络、CNN）则具备强大的非线性拟合能力，通过训练大量故障样本，学习仪表故障与特征数据的映射关系：例如将压力仪表的“输出信号、功耗、温度”等特征作为输入，故障类型作为输出，训练后的神经网络可快速识别“元件老化”“信号干扰”等故障，诊断速度比传统方法快5-10倍，且能处理复杂的多故障耦合问题。（2）AI算法通过动态修正仪表测量参数，提升测量精度与稳定性：例如在流量测量中，神经网络算法可实时分析介质粘度、温度、压力对测量值的影响，建立误差补偿模型，自动修正测量结果，使测量误差从传统的3%-5%降至1%-2%。遗传算法可优化仪表的控制参数，如在液位控制中，通过迭代优化PID参数，减少介质波动对仪表的影响，使液位控制的波动范围缩小40%。此外，AI算法还能通过自学习不断适应工况变化，如在腐蚀性介质工况下，持续学习腐蚀程度与仪表性能的关系，提前调整测量策略，确保仪表长期稳定运行。

3 智能化技术在仪表维护与可靠性提升方面的作用

3.1 故障诊断技术

（1）基于智能化技术的仪表故障诊断方法主要有三类：一是数据驱动诊断法，通过智能传感器采集仪表运行数据（如电流、电压、测量偏差），结合机器学习算法（如支持向量机、随机森林）分析数据特征，识别“传感器漂移”“线路接触不良”等故障；二是模型驱动诊断法，构建仪表正常运行的数学模型，对比实际运行数据与模型输出的偏差，定位故障部位，如通过压力仪表的压力-电流转换模型，判断转换模块是否失效；三是知识驱动诊断法，依托专家系统存储的故障知识库，通过规则推理匹配故障现象与原因，如“测量值无变化”对应“传感器损坏”或“信号线路断开”。（2）故障诊断技术大幅提高仪表维护效率：传统维护需人工逐一排查，耗时数小时，而智能化诊断可实时监测、自动报警，将故障定位时间缩短至分钟级；同时，诊断技术

能区分“关键性故障”（如仪表完全失效）与“非关键性故障”（如轻微偏差），指导维护人员优先处理关键问题，避免盲目检修，减少维护工时30%-50%，降低设备停机损失。

3.2 预防性维护与预测性维护策略

（1）预防性维护是按固定周期（如每月、每季度）对仪表进行检查、校准，实施步骤为：制定维护计划→停机检查仪表参数→更换易损部件→校准调试。预测性维护则基于仪表运行状态数据，预测故障发生时间，实施步骤为：数据采集→模型分析预测→制定个性化维护方案→按需维护。二者核心区别在于，预防性维护依赖固定周期，易出现过度维护或维护不足；预测性维护则基于实际状态，更具针对性。（2）智能化技术在维护中的应用案例丰富：某化工企业在压力仪表中部署物联网传感器，采集压力值、温度、功耗数据，通过大数据分析模型预测密封件老化时间，提前2周发出维护预警，避免密封失效导致的介质泄漏；某电力企业采用振动传感器监测流量仪表运行，结合AI算法分析振动频率变化，替代传统每3个月的预防性校准，维护次数减少40%，同时避免因不必要停机造成的损失^[4]。

3.3 可靠性工程

（1）可靠性工程在仪表设计与选型中的应用体现在两方面：设计阶段，通过故障模式与影响分析（FMEA），识别仪表各部件可能的故障模式（如“显示屏黑屏”“电源模块烧毁”），评估故障影响程度，优化设计，如在高温工况仪表中增加散热模块，降低电源模块烧毁风险；选型阶段，依据可靠性指标（如平均无故障时间、故障率）筛选产品，优先选择符合行业标准、经可靠性测试验证的仪表，如在腐蚀性介质工况中，选用故障率低于0.1次/年的防腐仪表。（2）提高仪表可靠性的智能化技术与方法包括：一是智能自校准技术，仪表可自动对比标准信号与测量信号，实时修正偏差，减少人工校准误差；二是冗余设计技术，关键部件（如传感器、电源）采用双备份，当主部件故障时，智能切换至备用部件，保障仪表持续运行；三是环境自适应技术，通过传感器监测外界温度、湿度变化，自动调

整仪表工作参数，如在低温环境中启动加热模块，防止仪表元件性能下降。

3.4 平均无故障时间与仪表生命周期管理

（1）平均无故障时间（MTBF）是指仪表在正常运行中，两次故障之间的平均时间，是衡量仪表可靠性的核心指标，计算公式为： $MTBF = \text{总运行时间} \div \text{故障次数}$ 。例如，某批仪表总运行时间10000小时，发生5次故障，则 $MTBF = 10000 \div 5 = 2000$ 小时，MTBF值越高，仪表可靠性越强。（2）仪表生命周期管理的智能化策略与实施：全生命周期分为“采购-运行-维护-报废”四阶段，智能化管理通过物联网平台实现全程追溯：采购阶段，录入仪表型号、可靠性参数等信息；运行阶段，实时监测状态，记录MTBF数据；维护阶段，自动关联历史故障与维护记录，优化维护方案；报废阶段，分析仪表故障规律，为后续选型提供依据。某汽车工厂通过该策略，将仪表生命周期内的维护成本降低25%，同时基于MTBF数据，优先采购高可靠性仪表，仪表更换频率减少30%。

结束语

综上所述，智能化技术在仪表自动化故障处理中的应用显著提升了故障检测的准确性和维修效率，为工业生产的连续性和稳定性提供了有力保障。通过智能传感器、数据分析与预测性维护等技术的集成应用，不仅降低了仪表故障对生产的影响，还延长了仪表的使用寿命，减少了维护成本。未来，随着人工智能、大数据等技术的持续演进，智能化技术在仪表故障处理中的应用前景将更加广阔，为工业自动化领域的革新与发展贡献力量。

参考文献

- [1]张麒麟.浅谈化工智能自动化仪表技术与应用[J].智慧中国,2022,(12):82-83.
- [2]陈胜勇.智能化仪器仪表在现代工业中的应用[J].机械工程与自动化,2023,(05):46-47.
- [3]张成华.智能仪器仪表在化工生产中的应用研究[J].自动化技术与应用,2023,(09):59-61.
- [4]李明慧.工业自动化控制系统中的智能仪器仪表应用研究[J].工业自动化与信息化,2024,(10):88-90.