

化工生产中仪表测量误差分析与补偿方法

李学智

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 750411

摘要: 化工生产工况恶劣, 仪表测量精度直接影响生产安全与产品质量。本文以化工生产中常用测量仪表为基础, 阐述误差基本理论、分类及评价指标, 系统分析仪表自身、安装、环境、人为及工艺干扰五类误差来源, 介绍常规对比、校准等误差检测识别方法, 重点探讨常规补偿方法与智能补偿技术的实操要点。研究表明, 合理选用补偿手段可有效降低测量误差, 常规方法适配普通工况, 智能技术更贴合高精度、连续化生产需求, 为化工仪表测量误差管控提供实践参考与技术支持。

关键词: 化工; 测量仪表; 误差来源分析; 补偿方法

引言: 在化工连续化生产中, 温度、压力、流量、液位等核心参数的精准测量是保障工艺稳定、安全生产的关键, 测量仪表作为核心检测设备, 其测量准确性至关重要。但化工生产存在介质腐蚀、工况波动、环境复杂等问题, 极易导致仪表产生测量误差, 进而影响工艺调整与生产效率, 甚至引发安全隐患。当前, 误差补偿技术仍存在适配性不足等问题。因此, 深入分析仪表测量误差来源, 研究科学合理的检测识别与补偿方法, 对提升化工生产测量精度、保障生产稳定具有重要的现实意义。

1 化工生产中常用测量仪表及工作原理

化工生产具有介质腐蚀性强、工况高压高温、参数波动频繁等特点, 常用测量仪表主要围绕温度、压力、流量、液位四大核心工艺参数设计, 是保障生产安全稳定运行的关键。温度测量仪表中, 热电偶利用热电效应, 通过两种不同金属导体组成闭合回路, 将温度差转化为热电势实现测量, 广泛应用于高温反应釜测温; 热电阻则基于金属电阻随温度变化的特性, 适用于中低温管道测温。压力测量以压力变送器为主, 通过弹性元件感受压力形变, 将其转化为电信号输出, 可精准监测管路、反应容器内压力。流量仪表中, 孔板流量计依靠流体流经节流装置产生的压差计算流量, 涡街流量计利用流体振动频率与流量的正比关系实现测量, 适配不同粘度介质。液位仪表常用差压式和浮筒式, 前者通过液柱压差反映液位高度, 后者利用浮筒浮力随液位变化的原理测量, 满足各类储罐、塔器的液位监测需求, 所有仪表均需适配化工恶劣工况, 确保测量稳定性和准确性^[1]。

2 化工生产中仪表测量误差的基本理论

2.1 测量误差的定义与数学表达

在化工仪表测量过程中, 测量误差是指仪表测量值

与被测量真实值之间的差值, 其核心是反映测量结果的偏离程度, 是分析误差来源、制定补偿方案的基础。化工生产中, 被测量真实值通常难以直接获取, 多采用标准仪表测得的约定真值替代。测量误差的数学表达式为: $\Delta x = x - x_0$, 其中 Δx 为测量误差, x 为仪表测量值, x_0 为被测量的真值(或约定真值)。当 Δx 为正值时, 测量值偏大; 为负值时, 测量值偏小。结合化工工况特点, 误差表达式可进一步拓展为考虑环境影响的修正形式, 为后续误差定量分析和补偿计算提供理论支撑。

2.2 测量误差的分类及本质区别

化工仪表测量误差按产生原因和性质, 主要分以下三类。(1) 系统误差由仪表自身缺陷、安装偏差等固定因素引起, 具有确定性、可重复性, 误差大小和方向相对稳定, 可通过校准、修正等方法消除, 如化工压力变送器零点漂移导致的误差。(2) 随机误差由温度波动、介质流速不稳定等偶然因素引起, 服从统计规律, 误差大小和方向随机变化, 无法彻底消除, 仅能通过多次测量取平均值弱化影响。(3) 粗大误差由人为误操作、仪表故障等异常因素引起, 误差数值偏大且偏离正常范围, 属于无效误差, 需及时识别并剔除。

2.3 误差的评价指标

评价化工仪表测量误差的核心指标包括精度、准确度和灵敏度。(1) 精度反映测量结果的离散程度, 侧重体现随机误差的影响, 精度越高, 多次测量结果的一致性越好, 如化工流量仪表多次测量值的偏差越小, 精度越高。(2) 准确度反映测量结果与真值的接近程度, 侧重体现系统误差的影响, 准确度越高, 测量值偏离真值的幅度越小, 如经过校准的温度仪表, 准确度显著提升。(3) 灵敏度反映仪表对被测量变化的响应能力, 灵敏度越高, 被测量微小变化时仪表输出信号的变化越明

显, 适配化工生产中参数细微波动的测量需求^[2]。

3 化工生产中仪表测量误差的主要来源分析

3.1 仪表自身误差

仪表自身误差是测量误差的固有来源, 直接与仪表制造、使用损耗相关, 在化工生产中长期存在。制造精度方面, 部分仪表因生产工艺限制, 零部件加工精度不足, 如压力变送器的弹性元件、流量仪表的节流件尺寸偏差, 导致测量基准存在先天误差, 尤其在高精度测量场景中影响更为明显。随着使用时间延长, 仪表出现老化现象, 零部件磨损、密封性能下降, 如热电偶丝氧化、浮筒式液位计浮筒腐蚀变薄, 导致测量灵敏度下降。此外, 化工生产中频繁的工况切换的温度、压力波动, 易引发仪表零点漂移, 如差压式流量计零点偏移, 导致无介质流动时仍有虚假信号输出, 影响测量准确性。

3.2 安装误差

安装误差是化工现场仪表测量中最常见的误差来源之一, 源于安装过程未严格遵循规范要求。安装位置不当最为典型, 如温度仪表安装在靠近热源、冷源或管线弯头处, 未避开介质死区, 导致测量值无法反映介质真实温度; 压力仪表安装在管线最高点, 易积聚气体, 或安装在最低点, 易积聚冷凝液, 造成压力传导不畅。安装角度偏差也会产生误差, 如涡街流量计安装角度倾斜, 破坏流体流动状态, 影响振动频率检测。同时, 管线匹配性不足, 如仪表连接管线直径与工艺管线不匹配、管线存在泄漏或堵塞, 会导致流体流速、压力分布异常, 间接引发测量误差。

3.3 环境误差

化工生产现场环境恶劣, 环境因素对仪表测量的干扰显著, 形成环境误差。温度影响最为突出, 环境温度过高会导致仪表电子元件性能不稳定, 过低则会影响仪表介质流动性, 如电容式液位计因环境温度变化, 电容值发生漂移, 导致液位测量偏差。现场高湿度环境会侵蚀仪表接线端子、电路板, 造成绝缘性能下降, 引发信号干扰; 环境压力波动会影响仪表内部元件的正常工作, 尤其对精密仪表的测量精度影响较大。此外, 化工生产中常见的酸碱、有毒等腐蚀介质, 会侵蚀仪表传感器、外壳, 导致零部件损坏, 破坏测量结构, 进而产生误差。

3.4 人为误差

人为误差源于操作人员的操作行为, 与人员专业素养、操作规范性密切相关。操作不规范主要表现为仪表启动、调试流程不当, 如流量仪表未进行满管调试就投入使用, 液位仪表未设置合理的量程范围, 导致测量数

据失真。校准不到位是关键诱因, 部分操作人员未按规程定期校准仪表, 或校准过程中使用的标准仪表精度不足、校准方法错误, 导致仪表测量偏差无法及时修正, 误差长期累积。此外, 读数偏差也会产生误差, 如操作人员读取压力表、温度计数值时, 视线未与刻度线垂直, 或对刻度值解读错误, 尤其在连续化生产中, 读数偏差会直接影响工艺参数判断。

3.5 化工工艺干扰误差

化工工艺的复杂性和不稳定性, 会对仪表测量产生针对性干扰, 形成工艺干扰误差。介质波动是主要因素, 化工生产中原料组分、粘度、温度、压力等参数频繁波动, 如反应釜内介质粘度突变, 会导致流量仪表测量值剧烈波动, 无法稳定反映实际流量。现场振动干扰普遍存在, 反应釜、泵体运行产生的振动会传递至仪表, 破坏仪表内部测量结构, 如热电偶接线松动、压力变送器弹性元件变形, 导致信号异常。化工现场的变频器、高压电缆等设备会产生强烈的电磁干扰, 干扰仪表信号传输, 导致测量值出现虚假波动, 尤其对智能仪表的数字信号影响更为明显, 严重时会导致仪表无法正常工作^[3]。

4 仪表测量误差的检测与识别方法

化工仪表测量误差的检测与识别, 是误差补偿的前提, 核心是快速定位误差类型、排查误差来源, 结合化工现场工况, 常用方法可分为以下几类, 兼顾实用性和精准度。(1) 常规对比检测法, 这是现场最常用的基础方法, 将待检测仪表与精度更高的标准仪表, 在相同工况下测量同一参数, 通过对比两者测量值的差值, 判断待检测仪表是否存在误差及误差大小, 可初步识别系统误差和粗大误差, 操作简便、成本低, 适配各类化工常规仪表检测。(2) 校准检测法, 按仪表校准规程, 定期对仪表进行零点、量程校准, 通过分析校准数据与标准数据的偏差, 识别仪表自身老化、零点漂移等引发的误差, 同时可验证仪表测量精度, 及时修正系统误差。(3) 智能识别法, 针对复杂工况, 采用数据拟合、异常检测算法, 对仪表连续测量数据进行分析, 通过识别数据波动规律、异常值, 判断随机误差和工艺干扰误差, 适配智能仪表和连续化生产场景。(4) 工况排查法, 结合化工工艺参数, 排查仪表安装、环境、介质等因素, 辅助识别安装误差、环境误差和工艺干扰误差, 确保误差识别全面、贴合现场实际。

5 化工仪表测量误差的补偿方法

5.1 化工仪表测量误差的常规补偿方法

化工生产现场中, 常规补偿方法因操作简便、成本

较低、适配性广，是解决仪表测量误差的主流手段，主要针对系统误差、安装误差等可预判、可修正的误差类型，结合仪表特性和工况设计，具体分为以下几类：

(1) 硬件校准补偿法，核心是调整仪表硬件参数消除固有误差，适用于仪表老化、零点漂移、量程偏差等问题。实操中，用标准仪表定期对被测仪表进行零点和量程校准，如压力变送器零点漂移时，通过自带校准按钮修正零点信号；热电偶因热电偶丝老化产生误差时，更换同型号标准热电偶丝并校准热电势转换参数。针对安装偏差，调整仪表安装位置、角度及管线匹配性，如将温度仪表从管线弯头迁移至直管段，调整压力仪表角度避免冷凝液、气体积聚，更换与工艺管线匹配的连接管线，减少流体扰动误差。(2) 线路补偿法，解决仪表信号传输中线路损耗、干扰引发的误差，适配长距离信号传输仪表。针对信号衰减，在仪表与控制系统间加装信号放大器；对于电磁干扰，采用屏蔽电缆铺设并远离高压电缆、变频器等干扰源，做好接地处理。此外，热电偶等温度仪表采用补偿导线，匹配热电偶丝电阻，减少环境温度对信号传输的影响，避免导线电阻差异引发的误差。(3) 工艺优化补偿法，结合化工工艺特点，通过优化参数、改善环境间接补偿误差。针对介质腐蚀，选用聚四氟乙烯等耐腐蚀材质传感器，定期做防腐处理；对于介质粘度波动、杂质过多引发的流量仪表误差，在仪表前端加装过滤器，通过工艺调整稳定介质粘度。针对环境温湿度波动，在仪表安装区域加装保温、防潮装置，避免环境变化影响仪表电子元件性能^[4]。

5.2 化工仪表测量误差的智能补偿技术

随着化工生产向智能化、连续化发展，智能补偿技术依托数据处理和算法模型，实现对随机误差、工艺干扰误差的精准补偿，无需人工频繁操作，适配大型化工装置和多参数联动场景，具体主要有以下几种：(1) 基于机器学习的智能补偿技术，核心是采集仪表测量数据和工况参数，构建误差补偿模型实现实时预判和自动补偿。实操中，选取环境温度、介质压力等典型误差影响因素，通过数据采集模块实时采集参数与测量值，导入线性回归、BP神经网络等算法训练误差预测模型，模型

自动识别误差规律并输出修正值，传输至控制系统完成测量值自动修正。例如，大型反应釜温度测量中，采集环境温度、反应压力等参数，通过BP神经网络模型预测误差，自动调整仪表参数，补偿环境和工艺波动带来的误差。(2) 基于数据融合的智能补偿技术，适用于多仪表联动场景，通过融合多个仪表测量数据，剔除异常数据、修正误差。化工生产中，关键参数常采用多仪表同步测量，如反应釜压力用压力变送器和压力表同时测量，通过数据融合算法剔除粗大误差，结合仪表精度加权计算最优测量值。针对温度、压力耦合对流量测量的影响，融合三个参数数据构建耦合误差补偿模型，确保流量测量准确。(3) 嵌入式智能补偿技术，将补偿算法集成到仪表嵌入式芯片，实现仪表自身智能补偿，无需额外设备。仪表工作时，嵌入式芯片实时采集自身运行、环境及测量数据，通过内置算法自动识别误差并完成修正。例如，智能差压式流量计内置温压补偿算法，实时采集介质温压数据，自动修正波动影响，计算标准工况流量值。

结束语：本文围绕化工生产中仪表测量误差分析与补偿方法展开全面探讨，梳理了常用仪表工作原理，明确了误差的理论基础、主要来源及检测识别路径，对比分析了常规补偿方法与智能补偿技术的实操应用。结合化工现场工况，各类补偿方法可针对性解决不同类型误差问题，有效提升测量精度。化工仪表测量误差管控要结合工况特点，合理选用检测与补偿手段，未来可进一步优化智能补偿算法，提升其在复杂工况下的适配性。

参考文献

- [1] 张玉鑫. 煤化工流量计测量误差的统计分析与校正方法[J]. 中国设备工程, 2025(21): 128-130.
- [2] 周志博. 化工仪表的维护与故障排除分析[J]. 化工管理, 2021(15): 197-198.
- [3] 郑锟. 化工仪器仪表故障诊断与维修关键技术分析[J]. 电子元器件与信息技术, 2025, 9(6): 34-37.
- [4] 陈旭. 高精度仪器仪表测量误差补偿算法研究及应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(12): 98-100+106.