

基于自动化仪表的储罐液位监测与控制系统研究

倪良远 (安徽实华工程技术股份有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要: 工业储罐作为能源储运与化工生产的关键单元, 其液位变化关涉物料平衡、安全阈值管控与生产调度精度, 伴随自动化体系的普及, 液位监测逐步由人工巡查转向仪表感知、控制协同的结构化模式, 监测精度与响应速度均得到增强。凭借自动化仪表构建的液位监测与控制系统, 可在介质扰动频繁的环境中维持稳定测量链路, 使液位变化趋势、状态偏移与控制指令形成闭环逻辑。研究围绕液位测量特性、系统构成与控制运行机制展开, 旨在为储罐液位管理提供可复用的技术框架。

关键词: 自动化仪表; 储罐液位; 液位监测; 液位控制; 工业过程自动化

中图分类号: TP273; TE972 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 005-0129-03

Research on Tank Liquid Level Monitoring and Control System Based on Automation Instruments

Ni Liangyuan (Anhui Shihua Engineering Technology Co., Ltd., Hefei Anhui 230000, China)

Abstract: Industrial storage tanks are key units in energy storage and transportation as well as chemical production. The variation in liquid levels is crucial for material balance, safety threshold control, and production scheduling accuracy. With the widespread use of automation systems, liquid level monitoring has gradually shifted from manual inspection to a structured model of instrument perception and control collaboration, enhancing both measurement accuracy and response speed. The liquid level monitoring and control system built with automation instruments can maintain a stable measurement link in environments with frequent medium disturbances, ensuring that liquid level variation trends, state deviations, and control instructions form a closed-loop logic. This study focuses on the characteristics of liquid level measurement, system composition, and control operation mechanisms, aiming to provide a reusable technical framework for tank liquid level management.

Keywords: Automation instruments; Tank liquid level; Liquid level monitoring; Liquid level control; Industrial process automation

储罐液位作为工业过程参数的核心变量, 常在节奏快速、介质复杂的环境中承担安全约束与生产调节双重任务, 自动化体系的普及让液位测量与控制由经验型管理转向数据驱动模式, 液位状态、信号波动与执行结构的耦合强度被显著增强。自动化仪表的感知稳定性、信号转换能力与远程交互特性, 为储罐建立连续监测链路奠定条件, 也让液位控制更具前移性、精细性与可追溯价值。

1 储罐液位监测对象与自动化仪表基础

1.1 储罐液位监测的工程特性

储罐结构形式与介质属性差异显著, 液位监测对象通常呈现动态性强、边界约束严格与运行扰动频繁等特点, 固定顶罐、内浮顶罐与卧式罐在液面波动幅度、气液界面稳定性与温度梯度结构方面存在明显差别。液位变化常常伴随进出料速率调整、介质热胀冷缩与搅动扰动, 因此液位信号会呈现多源耦合的波动形态。液位偏离安全区间时, 溢罐、吸空或泵汽蚀风险随即上升, 安全管理与调度计划均面临压力, 液位监测还关联物料衡算、库存管理与装置节奏协调, 例如油品储运环节需依托液位变化判断装卸时间窗, 化

工生产需依据液位稳定度维持反应物供给节奏。液位监测的工程难点主要集中在蒸汽干扰、泡沫覆盖、密度漂移与温度波动等因素, 因此测量链路需要具有抗干扰、稳定性强与补偿机制完善等特性。

1.2 液位测量原理与仪表类型

液位测量方法因介质性质与储罐条件而异: 静压式仪表依赖压力与液位高度的函数关系, 安装结构简洁, 但受密度变化影响较大; 差压式仪表适用于高温、高压及密闭储罐, 凭借上、下压力差表征液位, 在挥发性介质中保持较稳定表现; 浮力式液位计依靠浮子位置变化反映液位, 结构直观, 但不适用于高黏度或含杂质介质; 雷达液位计借助电磁波反射时间测定界面位置, 抗蒸汽与粉尘能力较强, 在大型储罐与复杂工况中应用广泛; 超声波液位计以声波传播特性识别液面位置, 但受到泡沫和温度变化干扰。不同仪表的适用场景并不重叠, 因此工程部署需结合介质粘度、挥发性、罐内扰动强度与温度梯度挑选类型。测量原理的差异让各类仪表在响应速度、量程范围与抗干扰性能上呈现不同强项, 合理组合仪表有助于维持监测链路稳定。

1.3 自动化仪表在液位感知中的功能定位

自动化液位仪表处于监测链路的前端，是整个液位控制系统的基础信息源，液位仪表除获取高度数据外，还需承担信号转换、温度补偿与状态诊断等任务。液位信号经变送器转换为4-20mA+HART或数字总线数据后进入控制层，信号链稳定性直接影响控制决策质量，感知端若出现零点漂移、探头污染或回波弱化等问题，系统会在历史数据偏离、变化速率异常或诊断标志改变中暴露^[1]。自动化仪表的关键价值在于维持连续、稳定、可溯源的液位记录，使液位变化趋势得以清晰呈现，进而为控制链路的调节逻辑提供可信依据，随着数字化仪表普及，设备自诊断、远程参数整定与通信状态识别进一步增强感知端的可靠性，为储罐液位监测的工程品质提供更高保障。

2 基于自动化仪表的液位监测系统构成与实现机制

2.1 液位信号采集与传输结构

液位监测系统的信号链条由仪表探头、变送单元、通信链路与控制设备构成，链路稳定性左右数据可信度，液位仪表完成测量后，信号经变送环节转化为标准电流或数字量，并沿屏蔽电缆、现场总线或工业以太网传输至控制层^[2]。液位信号在传输过程中常受到电磁干扰、阻抗变化与温度漂移影响，因此工程部署普遍采用隔离端子、规范接地与线路防护等措施，借助屏蔽结构降低干扰强度，维持数据波动的可控性。数字通信链路可携带诊断标志、设备状态与量程信息，让监测系统在出现漂移、回波弱化或回路阻抗异常时及时识别问题根源，避免液位数据偏离实际情况。信号链路的完整性为储罐液位监测构建基础支撑，也为后续控制逻辑提供稳定输入。

2.2 监测系统的硬件架构

液位监测系统在工程实践中大多采用“现场层—控制层—监控层”三级结构，层次明确、扩展性强。现场层由液位仪表、变送器与接线单元组成，主要承担液位感知、信号初步处理与数据上传任务；控制层以PLC、DCS或专用控制器为核心，借助I/O模块采集液位信号，并结合阈值逻辑、报警条件与运行策略形成判断链条；监控层依托HMI或SCADA平台呈现液位曲线、报警状态与历史数据，为操作人员提供图形化运行界面^[3]。硬件架构依托工业以太网、现场总线或混合通信方式实现互联，使液位监测系统能够在多储罐、多物料场景中形成统一数据池。三级结构的优势体现在部署灵活、故障隔离方便与维护路径清晰，有助于工程人员在复杂工况中维持系统运行的可控性。

2.3 液位数据的实时显示与状态识别

液位监测系统的可视化模块围绕实时呈现、趋势

跟踪与状态判断展开，界面通常以液位指示条、趋势曲线、报警窗口与历史数据表等形式表达运行动态。趋势曲线可反映进出料节奏、波动幅度与变化速率，让操作人员基于数据波形快速判断液位行为是否处于正常区间，例如进料期若液位上升速率持续高于历史均值，界面会在斜率趋势中凸显异常段落，引导操作人员核查阀门启闭位置、泵工况或物料路径。实时界面对液位跳变现象也具有敏感性，如雷达液位计遇到泡沫或蒸汽干扰时，曲线可能出现短时突降，监测系统可依据波形连续性、信号强度与回波特征判断是否属于干扰片段。

状态识别逻辑围绕液位上限、下限、缓冲区与速率阈值构建，超限趋势会在界面提示与报警系统中同步呈现，使操作人员在短窗口内完成处置判断。液位无波动、波动振幅异常扩大或变化速率偏离历史区间均可视为潜在风险信号，例如液位长时间保持静止可能源于仪表探头污染、回波通道受阻或量程配置偏移，系统会依据“时间—波动幅度—信号质量”形成综合提示。实时显示还承担辅助诊断功能，如液位曲线呈现周期性锯齿波形，通常对应阀门间歇性卡顿或泵间隙磨损；液位响应迟缓可能提示管线阻力升高、介质粘度变化或温度梯度加剧。液位变化记录经由历史数据库留存，可在检修、调优与风险复盘提供依据，使监测体系具备可追溯性与工程化诊断能力。

3 储罐液位控制系统的运行逻辑与安全保障

3.1 液位控制目标与控制方式

液位控制目标围绕“稳态保持、调节柔性、安全裕度构建”三条主线展开，储罐运行常伴随进出料节奏变化、温度扰动与介质性质波动，因此控制逻辑需要兼顾静态精度与动态稳定性。液位偏移可能导致溢罐、吸空、泵汽蚀或供料节奏紊乱，工况复杂性由此被放大，液位控制体系在工程环节中承担基础支撑作用。液位控制方式通常包括比例调节、PID调节与顺序调节三类，比例控制结构简洁，适用于液面波动幅度小、响应需求不高的储罐；PID调节能够平衡偏差、变化速率与累积偏移，让控制节奏呈现柔性过渡特征；顺序控制多用于多泵、多阀协同场景，在进出料路径切换、启停节奏协调方面具有明显优势^[4]。例如大型罐区需要匹配“进料阀缓开—泵启动—维持中位液位—出料泵停机”的链式逻辑，借助分段调节方式形成平稳流量曲线。

液位控制目标还需回应装置上下游的动态关系，物料供给若出现节奏波动，液位调节策略需要提前介入，凭借趋势变化判断来维护罐区整体协调性。液位控制方式的差异在工程应用中呈现多样化，但共同目

标均指向液位在安全区间内保持稳定, 并让调节行为具备前移判断能力。

3.2 液位控制回路与执行机构协同

液位控制回路的核心理念在于建立“感知—计算—执行—反馈”的连续链条, 链路稳定程度决定调节质量, 液位仪表以连续序列表达液位变化, 控制器依据设定值、偏差大小与变化速率形成调节指令, 执行机构再结合机械特性与动力条件完成节奏调整^[5]。执行机构类型包括调节阀、变频器与切换阀等, 各设备在响应时间、动作幅度与精细化能力方面差别显著。

控制回路中“执行延迟—液位惯性—计算响应”之间的关系在运行环节尤为关键, 延迟过大可能让液位出现滞后反应, 延迟过小又会导致阀门频繁动作, 机械磨损与振荡风险同步提升。例如高黏度介质储罐因流体流动性较弱, 液位对调节动作的反馈速度本身较慢, 因此PID参数需做适配, 避免控制系统进入“动作—滞后—过调—再调整”的循环。多储罐系统中, 液位回路之间还会出现相互牵引关系, 如进料罐液位下降过快会推动下游储罐提前进入高位区, 进而对控制策略提出协同要求。

3.3 异常工况下的联动与保护机制

异常液位变化往往与设备状态、物料路径或仪表链路相关, 风险暴露具有突发性, 因此联动保护体系需具备识别精度、响应速度与冗余能力。液位快速上升通常与进料阀卡滞、管线阻塞或泵出力异常相关, 而液位持续下降可能源于阀门未关紧、泵漏流或工艺波动。监测系统依托多级报警区间构建分层提示, 包括预警区、限值区与紧急区, 各区间对应不同响应级别, 例如液位进入预警区时触发界面提示, 进入限值区时触发“进料阀关闭—泵减速”组合动作, 进入紧急区时触发联锁切断路径。趋势变化同样具备判断价值, 如液位变化斜率达到历史上限时, 系统可提前进入缓冲模式, 减小风险暴露窗口。

信号异常也是常见隐患, 如雷达液位计回波弱化可能由泡沫、沉降物或蒸汽冷凝层引起, 系统可依据回波强度、信噪比与历史回波形态构建故障判断逻辑^[6]。对于挥发性、高危险性介质, 液位异常需与温度、压力信号形成复合判断链路, 例如液位突然下降但压力未变, 可能提示仪表链路异常而非实际液位变化。罐区多联系统中, 异常事件会通过联锁路径传递至其他罐体, 例如A罐液位超高可触发B、C罐供料降级运行, 以避免局部风险外溢到系统层面。

3.4 液位控制的运行调优与稳定性维持

液位控制的稳定性依赖持续调优、参数适配与设备状态保持, 调优过程围绕响应速度、超调量与稳态

误差展开, 液位系统常呈现大惯性、时滞明显等特征, PID参数整定需结合工况特性组织阶跃试验, 观察液位响应曲线识别系统惯性大小、死区区段与波动周期。例如高温液体因温度梯度造成密度偏移, 液位响应曲线可能呈现“缓慢爬升—快速修正”的变化过程, 参数整定需为这种双阶段动力特性预留调节空间。运行期间的稳定性维持需依托趋势分析, 例如阀门动作后液位是否出现回波震荡、泵出力变化后液位是否存在过冲, 趋势偏移可提示执行机构滞后、阀芯磨损或管路阻力变化。

液位调优还需结合介质性质、装置季节性变化与进出料节奏变化构建动态调整策略, 例如冬季高黏度介质的流动性下降会让液位响应速度变慢, 控制参数需适度增强比例项与微调积分项, 以保持节奏一致性。稳定性维持还涉及设备健康管理, 例如调节阀磨损、变频器故障、电缆老化均会在液位曲线中留下特征波形, 利用特征识别可建立“参数偏移—趋势异常—设备状态”之间的对照逻辑。

4 结语

储罐液位监测与控制体系伴随自动化仪表的技术升级呈现出更高稳定性, 液位变化的连续记录、趋势辨识与联动响应均在数字化结构中获得增强, 自动化仪表提供的精细化数据链让储罐运行更加透明, 控制逻辑能够围绕液位区间、安全裕度与执行节奏形成动态协调, 各类异常信号在多维判断中得到提前暴露, 风险管理的前移性由此被强化。监测链路、控制结构与保护逻辑之间构成递进关系, 工程化可靠性在长期维护中逐步稳固。研究梳理液位测量特性、系统结构与运行机制, 为储罐液位管理提供可借鉴的技术路径, 也为后续智能化与自诊断扩展奠定应用基础。

参考文献:

- [1] 吴军, 陈思, 刘鑫. 抽油井漏油远程监测和储罐液位异常检测技术研究[J]. 中国信息化, 2025(12):65-66.
- [2] 金恒. 基于多层感知机的储罐液位共振响应的高精度预测方法[J]. 科学技术与工程, 2025,25(27):11581-11589.
- [3] 班亚伟, 林颖轩. 石油化工油品储罐自动化仪表及工程设计研究[J]. 流程工业, 2025(03):22-25.
- [4] 蒋善臣. 自动化仪表在石油化工罐区中的应用探究[J]. 化工设计通讯, 2024,50(09):74-77.
- [5] 孙岩. 油罐(舱)固定式自动液位计应用研究[J]. 石油化工自动化, 2023,59(05):101-103+106.
- [6] 郑娟. 现场总线型雷达液位计在储罐液位检测中的应用[J]. 石油化工自动化, 2023,59(02):71-74.