

液体危险化学品常压储罐联锁系统的可靠性研究

邱守华（鲁北万润智慧能源科技（山东）有限公司，山东 滨州 251900）

摘要：本研究围绕储罐联锁系统的构成与运行原理，分析传感检测和执行机构以及控制软件等关键环节对系统稳定性的影响，梳理潜在故障因素探讨优化提升策略。研究表明提高传感器测量精度，增强执行机构响应能力，优化软件控制逻辑可有效降低系统失效风险，提升储罐运行的安全性和稳定性。研究成果对提高常压储罐的智能化监控水平，完善风险管控体系具有重要应用价值。

关键词：液体危险化学品；常压储罐；联锁系统；可靠性；优化策略

1 引言

液体危险化学品广泛应用于石油和化工以及医药等行业，其储存安全性直接影响生产稳定和环境保护。常压储罐因结构简单和运行成本低，被广泛用于储存低挥发性液体化学品，但在长期运行中，易受液位异常和压力波动以及阀门故障等因素影响，存在泄漏和爆炸等安全风险。联锁系统作为储罐运行的关键安全保障，能在异常工况下迅速响应防止事故发生。然而传统联锁系统在传感器精度、执行机构稳定性、控制系统抗干扰能力等方面仍存在不足，导致储罐安全性能受限。研究储罐联锁系统的可靠性问题优化系统结构，提高运行稳定性对提升危险化学品储存安全具有重要意义。

2 液体危险化学品常压储罐联锁系统的构成与运行原理

2.1 常压储罐联锁系统的基本组成

液体危险化学品常压储罐联锁系统主要由传感检测装置和逻辑控制单元还有执行机构和报警反馈装置构成。传感检测装置负责实时监测储罐的液位和压力以及温度和流量等关键参数，通常采用高精度液位计和压力变送器以及热电偶或热电阻等传感器，保障数据的准确性和可靠性。逻辑控制单元是联锁系统的核心，依据预设安全阈值对传感器采集的数据进行分析和处理，并根据工艺需求设定多级报警和联锁触发条件，保障储罐在异常工况下能够快速做出响应。执行机构包括电磁阀和调节阀还有切断阀以及泵控装置等组件，负责在系统指令下完成储罐进料和出料以及紧急切断等动作以控制物料流动状态。报警反馈装置用于向操作人员提供异常状态信息，通常包括声光报警、远程监控界面、数据记录系统等，以便管理人员及时干预。整体系统依托精密传感设备和稳定的控制单元以及高效执行机构和可靠的报警反馈，实现储罐的安

全监控与事故防范。

2.2 储罐联锁系统的控制逻辑与运行机理

储罐联锁系统在正常工况下，传感检测装置持续采集储罐内液位、压力、温度等参数，并将数据实时传输至逻辑控制单元。控制单元依据设定的工艺限值判断储罐状态是否处于安全范围内，当检测值接近或超过安全限值系统会触发预警机制，并根据储罐联锁策略执行相应的控制动作。当液位接近上限控制单元发出信号关闭进料阀门防止液体溢出，当储罐内部压力异常升高系统启动紧急泄压阀，释放过量压力避免罐体损坏。系统还支持多层次联锁控制，以适应不同危险等级的工况需求，如在检测到严重泄漏时不仅切断进料还能联动启动应急排放系统或灭火装置。基于此储罐联锁系统具备数据存储与远程监控功能，可记录异常情况并提供数据分析支持，以优化运行策略提高储罐的安全性和稳定性。

2.3 储罐联锁系统在危险工况下的响应机制

储罐联锁系统常采用多级联锁策略，根据危险程度采取不同的应对措施。液位异常情况下若储罐液位超过警戒阈值，系统首先发出声光报警提醒操作人员注意，并自动关闭进料阀，同时可联动上游输送系统停止物料输送避免液体溢流。压力异常升高时系统检测到压力超过设定上限，将立即打开安全泄压装置释放过量压力，并根据情况调节罐体的通风系统，以降低内部气体积聚带来的安全隐患。泄漏检测方面系统结合液位变化速率和气体浓度传感器及红外监测技术，实现对储罐外泄的快速判断，一旦确认发生泄漏立即启动紧急切断阀封锁泄漏点，并联动防泄漏围堰或应急回收系统防止化学品扩散。

温度异常情况下如发现储罐内部温度异常升高，控制系统会分析升温速率判断是否存在反应失控风险，并采取降温和降压等措施，必要时启动灭火系统

以防止储罐受热膨胀或发生燃爆。针对控制系统的故障或失效，联锁系统设计有冗余保护机制，在主要传感设备或执行装置发生故障时，备用系统自动接管控制任务保障储罐安全运行。基于此系统配备远程监测和数据存储功能，使操作人员能够实时掌握储罐运行状态，在事故发生前采取预防措施进一步提升储罐的安全可靠性。

3 常压储罐联锁系统的可靠性影响因素分析

3.1 储罐联锁系统的传感器及信号可靠性

储罐联锁系统传感器的可靠性受测量精度和环境适应性以及信号稳定性和故障冗余设计等因素影响。液位传感器主要包括雷达液位计和超声波液位计还有静压式液位计等，各类传感器在测量范围以及抗干扰能力和适用介质上存在差异。雷达液位计适用于高精度测量，能抵抗蒸汽和泡沫等干扰，但安装位置和测量角度影响信号回波质量，超声波液位计成本较低，但在高温和高压环境下信号衰减较快影响测量准确性，静压式液位计应用广泛但传感元件易受沉积物影响导致测量偏差。

压力传感器常采用扩散硅压力变送器和电容式压力传感器，前者在高温高压环境下表现稳定，但受温漂影响较大，后者适用于微小压力变化检测但长期运行可能出现漂移。温度传感器多采用热电偶和热电阻热电偶响应速度快，适用于高温环境但热电势漂移会影响测量精度，热电阻测量精度高但导线损耗可能引入误差。信号传输过程中，电磁干扰、传输线路老化、环境湿度等因素会影响信号稳定性，导致数据失真。为提高可靠性，储罐联锁系统通常采用双重冗余或多通道信号处理机制，在传感器发生故障或信号波动异常时，系统自动切换至备用通道保障数据传输的连续性和准确性。同时信号滤波和误差补偿和实时诊断技术可优化传感数据，提高测量精度增强联锁系统的稳定性。

3.2 储罐联锁系统的执行机构稳定性分析

电磁阀还有气动阀和电动调节阀是储罐联锁系统常见的执行机构。电磁阀动作速度快，但长期运行可能因线圈过热导致磁性衰减影响开关性能。气动阀依靠压缩空气驱动，适用于高温以及高压和腐蚀性介质环境，但供气系统故障可能引起阀门卡滞影响联锁响应。电动调节阀控制精度高，可实现远程自动调节但电机过载和齿轮磨损可能降低动作可靠性。执行机构的密封性直接关系到储罐的安全性，阀座材料和密封

圈耐腐蚀性能还有机械磨损程度决定了长期运行的稳定性。

阀门开关频繁和储罐介质的化学性质、温度压力波动等因素都会加速执行机构的老化。驱动系统的稳定性也影响联锁系统的可靠性，气动执行机构受气源压力波动影响较大，电动执行机构的电机驱动部分可能因电压波动或控制线路故障导致失效。为提升储罐联锁系统的执行机构可靠性，需采用高耐磨和高耐腐蚀的密封材料，优化驱动系统的电气保护和冗余设计，同时根据定期维护和智能诊断技术，监测执行机构运行状态，及时发现异常提高系统响应的稳定性。

3.3 储罐联锁系统的软件控制与通讯安全性

控制系统的软件架构和算法优化以及容错机制和实时性设计决定了其运行性能。控制逻辑应具备严密的层级联锁机制，根据储罐不同状态设定安全阈值，采用动态调整算法以适应不同工况的变化。系统异常诊断算法可结合历史数据分析和趋势预测，提前识别异常信号提高故障预警能力。软件系统的可靠性受数据处理能力和实时响应速度影响，冗余计算和异常检测和故障恢复机制可提升系统的稳定性。通讯安全性也是储罐联锁系统的重要因素，数据传输过程中可能受到网络延迟、电磁干扰或外部攻击的影响，导致信息传输失真或控制指令异常。

工业控制网络采用 MODBUS、PROFIBUS、CAN 等协议进行数据交换，不同协议的抗干扰能力和安全加密机制影响系统的通讯稳定性。无线通讯方式虽可提高系统灵活性，但信号覆盖范围、数据丢包率和网络安全性能仍是影响因素。为了提升储罐联锁系统的软件控制和通讯安全性，可采用双机冗余控制架构保障主控系统发生故障时，备用系统能无缝接管任务，避免系统失效。加密通讯协议和数据校验技术可提高网络数据传输的安全性，降低外部入侵和信号篡改风险。远程监测系统可结合云计算和边缘计算技术，提高数据处理能力和响应效率增强储罐联锁系统的整体可靠性。

4 液体危险化学品常压储罐联锁系统的可靠性优化策略

4.1 储罐联锁系统传感与检测环节的优化

储罐联锁系统的传感与检测环节优化策略需从传感器选型、信号处理、故障冗余和环境适应性等方面入手。高精度传感器的应用可提升检测的稳定性，如采用调频连续波雷达液位计提升液位监测的准确度，

避免泡沫、蒸汽等因素影响测量结果。压力传感器选用抗温漂性能优异的扩散硅或陶瓷电容式传感器，提高压力测量的长期稳定性。温度传感器可结合光纤测温技术，实现精确测量并减少电子元件老化对检测精度的影响。

信号处理优化可采用智能滤波算法，减少环境噪声干扰，并结合数据融合技术，提高不同传感器测量数据的可信度。故障冗余机制可采用双通道或多通道检测方案，在主传感器出现异常时，备用传感器可无缝接管测量任务保障数据采集不中断。环境适应性优化可采取防腐蚀、防尘、防高湿设计，例如在高腐蚀环境下，采用耐酸碱涂层保护传感器壳体，在高温环境下配备散热结构延长传感器使用寿命。基于此可结合自检与校准技术，使传感器在运行过程中周期性进行零点修正，减少长期使用导致的测量偏差提高储罐联锁系统的可靠性。

4.2 储罐联锁系统执行与控制环节的改进

执行机构的响应速度和控制系统的优化策略应着眼于驱动机构、联锁逻辑、控制算法和异常响应能力的提升。驱动机构优化可采用高耐磨、耐腐蚀材料制造阀门密封件，减少长期运行导致的泄漏风险，并采用数字控制执行器，使阀门动作更加精准。电磁阀可采用双线圈冗余设计，在主线圈失效时备用线圈可快速接管，避免阀门无法开启或关闭的故障。气动阀可配备智能定位器，实现阀门开度的实时监测和自适应调整，提高联锁执行的准确性。控制系统优化可采用动态阈值调整策略，使联锁系统能够根据不同工况自动修正设定值减少误触发现象。

智能化控制算法可结合模糊控制和神经网络技术，对储罐运行状态进行自学习分析，提高系统的异常识别能力。执行控制系统的抗干扰能力可根据屏蔽电磁干扰和增强信号滤波以及优化电源管理等方式提升，保障指令传输的稳定性。异常响应优化可采用快速切断与渐进式调节相结合的策略，使系统在突发事故发生时能采取最优控制策略，保证安全的同时又避免剧烈调节带来的二次风险。基于此可引入远程控制与诊断功能，让操作人员能实时监测执行机构的运行状态，并远程调整或切换控制模式提高系统的可靠性和灵活性。

4.3 储罐联锁系统维护与安全管理优化

维护与安全管理的优化策略需涵盖预测性维护和智能巡检以及远程监测与事故应急响应等方面。预测

性维护可结合大数据分析和人工智能诊断技术，根据采集储罐联锁系统的历史运行数据建立健康状态评估模型，提前发现潜在故障避免突发性失效。智能巡检可采用无人机和机器人巡检系统，对储罐及联锁系统的关键部件进行定期检查，提高维护效率并减少人为操作失误。

远程监测系统可结合工业互联网技术，构建云端数据分析平台实现储罐运行状态的远程实时监控，并利用智能告警机制对可能发生的异常状况进行预警减少事故发生概率。事故应急响应优化可根据建立自动化应急联动机制，突发工况下储罐联锁系统可自主触发预设的应急策略，例如自动切断进料阀和联动排放系统以及激活消防设备等，减少人员干预带来的延迟提高应急处置的速度和精准度。基于此可建立系统化的安全培训和操作模拟系统，使操作人员能够根据虚拟仿真平台模拟不同类型的故障场景，提高应急响应能力保证储罐联锁系统的长期稳定运行。

5 结论

液体危险化学品常压储罐的安全运行关系到生产稳定和环境保护，联锁系统的可靠性直接影响事故预防和应急响应能力。本研究围绕储罐联锁系统的构成和运行原理以及影响因素及优化策略展开分析，从传感检测和执行控制还有维护管理等方面提出改进措施，提高系统的稳定性和智能化水平。优化后的联锁系统能够增强储罐运行的安全保障，减少设备故障带来的风险提高应对复杂工况的能力。

参考文献：

- [1] 管强强, 陈广怀, 许国柱, 等. 危险化学品常压储罐的安全防护措施分析 [J]. 浙江化工, 2025, 56(01): 37-44.
- [2] 南海, 井辉, 杨晓雨. 原油常压储罐罐顶腐蚀原因分析与防护措施 [J]. 中国特种设备安全, 2024, 40(S2): 97-100.
- [3] 王十, 赵彦修. 常压储罐在用检验相关标准及其应用思考 [J]. 中国特种设备安全, 2024, 40(11): 13-17.
- [4] 石秀山, 王十, 都亮. 我国常压储罐检验现状、问题及对策分析 [J]. 中国特种设备安全, 2024, 40(10): 29-32.
- [5] 李凌浩. 密闭常压储罐安全设计与应用研究 [J]. 中国氯碱, 2024, (10): 41-45.

作者简介：

邱守华（1994-），男，汉族，山东滨州人，函授本科在读，职务：安环部主管，研究方向：无机化工。