

新环境下化工储运安全管理和事故的应急策略

史亮亮 (山东未来石化有限公司, 山东 东营 257000)

刘增强 (山东瑞源安全科技有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 在大数据技术快速发展的背景下, 促进化工储运环境进行变化, 给化工园区大型储存装置日常运行带来一系列安全隐患。基于此, 本文从不同方面分析化工储运中面临的多样化安全风险, 指出化工储运安全管理中存在的泄露监测、阀门可靠性、联锁控制等缺陷问题, 在安全管理基础上从多传感器、材料优化、算法改进等方法提出创新性技术, 并结合工程案例验证该安全管理技术的可行性。经过实践证明, 通过利用创新性安全管理技术能够显著降低防火阀门故障率, 减少泄露事故率, 全面加强化工储存的安全水平。

关键词: 化工; 储运安全; 阀门可靠性

中图分类号: TQ086.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 022-0145-03

Chemical storage and transportation safety management and emergency response strategies for accidents in the new environment

Shi Liangliang (Shandong Future Petrochemical Co., LTD, Dongying Shandong 257000, China)

Liu Zengqiang (Shandong Ruiyuan Safety Technology Co., LTD, Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Against the backdrop of rapid development of big data technology, promoting changes in the chemical storage and transportation environment has brought a series of safety hazards to the daily operation of large-scale storage facilities in chemical parks. Based on this, this article analyzes the diverse safety risks faced in chemical storage and transportation from different perspectives, pointing out the deficiencies in leak monitoring, valve reliability, interlock control, and other aspects of chemical storage and transportation safety management. Innovative technologies are proposed from multiple sensors, material optimization, algorithm improvement, and other methods based on safety management, and the feasibility of this safety management technology is verified through engineering cases. Through practical experience, it has been proven that utilizing innovative safety management technologies can significantly reduce the failure rate of fire valves, decrease the rate of leakage accidents, and comprehensively enhance the safety level of chemical storage.

Keywords: chemical industry; Storage and transportation safety; Valve reliability

化工园区储运系统安全管控是保障生产安全的核心要素, 其运行效能直接影响产业园区的可持续发展, 当前随着产业规模持续扩大, 物料周转量不断提升, 储运系统复杂度持续优化, 潜在的安全风险呈现多维度增长态势, 对设备可靠性、工艺安全性、管理精细化提出了更高要求。特别是在高温高压、易燃易爆等特殊工况下, 一旦储运装置出现安全事故, 很容易引发一系列连锁反应, 造成严重的人员伤亡、财产损失、环境污染。为了促进石油化工园区的安全稳定运行, 工作人员要深入开展大型化工储运装置的安全防控技术研究, 探索科学的防控措施, 主要涉及到风险识别、隐患排查、实时监测、应急响应等环节, 通过积极引入物联网传感器、大数据分析及人工智能预测模型等智能化监控技术, 有助于工作人员实时监测储运装置运行状态。并且工作人员要从管理制度、操作规范、应急预案等方面提出优化对策, 全面提升储运装置的安全管理水平, 给石油化工园区的安全生产提供坚实保障。

1 工程概况

该化工基地石油储罐区占地规模达 12 万 m^2 , 配备 20 台单体容量 5 万 m^3 的立式储罐, 形成总储存能力 100 万吨、年周转量突破 500 万吨的大型储运系统, 被列为重大危险源储运设施。但由于受到建设时期的规范标准、长期运行工况、设备自然老化等因素, 现有安全防控体系已经无法匹配新时代安全生产管理要求, 需要工作人员利用技术优化来提升本质安全水平。特别是在面对高温高压、易燃易爆等工况时现在防控措施在风险识别、隐患排查、应急响应等方面存在明显不足, 甚至影响到应对突发事件的合理性。如储罐区在运行过程中很容易受到管线泄漏、阀门失效、操作失误等问题, 势必引发火灾、爆炸等严重事故。

2 新环境下化工储运的安全风险

2.1 产品危险特性

化工产品由于其化学性质过于复杂, 普遍化工产品具有易燃、易爆、有毒等危险特性, 这些特性使其在储运过程中存在较高的安全风险。石油作为日常生

活中最常见的化工产品，一旦遇到点火源很容易引发爆炸事故，造成严重的人员伤亡和财产损失。为了降低化工储运安全风险，工作人员要采取科学的防控措施，如采用防爆型电气设备、安装液体泄漏监测报警系统、设置防火堤等，同时针对石油化工产品毒性特点配备完善的个体防护装备和应急处置方案，确保事故发生时能够迅速响应，最大限度地减少事故危害。

2.2 生产工艺复杂

石油化工储运系统作为产业核心基础设施，主要包含储罐集群、输送管网、泵阀设备等核心组件，其运行工况涵盖高压、高温等严苛条件，对安全管控提出更高要求。以某石油化工龙头企业为例，其原料石油储配系统年吞吐量达到 1500 万吨级，输送管网延伸超过 50km，工作压力范围介于 10–20MPa，操作温度跨度达 200–500℃，这种多参数工艺特性使得系统运行过程中存在介质泄漏、设备失效等安全风险，给安全防护体系建立带来一系列挑战。如高压下的管道泄漏、高温引发的材料疲劳、设备密封失效等问题，不仅可能早晨生产中断，还可能引发火灾、爆炸、有毒物质泄漏等安全事故。

2.3 高度集中布置

由于石油化工生产工艺具有高度连续性，这些设备通常采用集中布置方式，虽然有利于提高化工生产效率，但这种布置方式也会带来各种安全风险，如果局部风险点出现意外情况，非常容易引发连锁反应，造成严重的事故后果。2014 年 8 月某炼化企业发生的石油储罐泄漏事件具有典型警示意义，事故中泄漏物料沿着地面大面积向外进行扩散，一旦遇明火，很容易引发快速燃烧，甚至引爆相邻储罐，给周边环境构成严重威胁。深入分析上述案例，发现危化品储运系统风险具有较强的传导反应特征，加强全过程安全管控具有较强的必要性，全面分析上述事件发现设备高度集中布置在安全管理上的薄弱环节，尤其是提出危险化学品泄漏的应急处置能力更高要求^[1]。

3 新环境下化工储运安全管理和事故的应急策略

3.1 优化鹤管联锁控制算法

为了提升鹤管联锁控制系统智能化水平，工作人员开发了一种基于多智能体协同的智能控制算法，本系统采用分布式智能架构，将每个装车鹤管构建成具备自主决策能力的独立单元，各单元集成环境感知、任务规划、精准执行三大核心功能，并通过无线传感网络建立实时数据交互通道，实现多设备协同作业。在顶层架构设计中，基于危化品储运安全规范，特别配置中央调度模块作为系统决策中枢，通过动态优化各鹤管单元的作业参数，确保整个装车系统在安全阈

值内实现效能最大化。全局调度智能体通过综合分析装车任务需求、管线压力、流量分配等多维数据，动态调整各鹤管智能体的工作状态，降低局部异常给系统运行造成严重故障；在算法设计方面，设计人员采用多智能体强化学习（MARL）方法，使鹤管智能体通过与环境互动不断优化控制策略。例如，当鹤管智能体检测到管线压力出现异常问题，鹤管智能体自动调整阀门开度并根据实时数据科学评估调整效果，对相关控制行为进行优化，进一步加速算法的收敛速度，让其能够在复杂工况下快速找到全局最优解，显著提升系统的自适应能力。

在提升鹤管联锁控制系统安全性方面，需要设计人员引入区块链技术，充分利用区块链去中心化、不可篡改等特点建立智能体协同网络，并且将所有控制指令全部利用交易形式进行详细记录，若出现指令篡改行为，系统会立即识别并阻止，防止恶意攻击影响系统运行。同时，区块链技术为智能体之间的信任机制提供技术保障，使得各鹤管智能体能够在分布式环境下高效协作，通过智能合约（Smart Contract）部署可以实现控制逻辑的自动化执行，如在检测到异常情况时自动触发应急预案，而不用人工手段进行干预，不仅提高系统的透明度，还可以大幅增强系统的抗干扰能力^[2]。

3.2 设计新型防火阀门

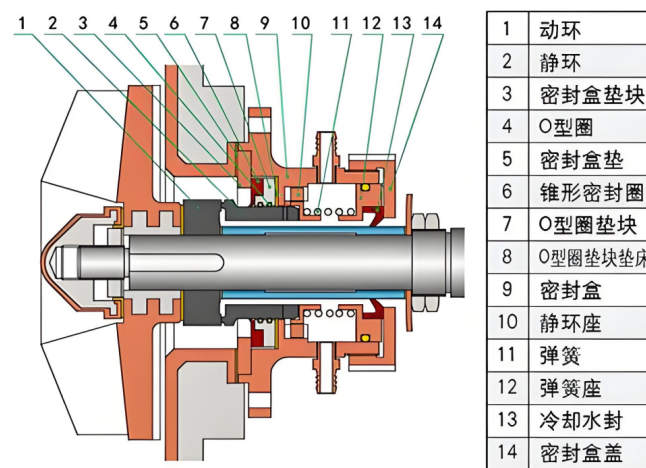


图1 多重冗余备份的复合密封结构

在材料选型方面，工作人员采用金属陶瓷复合材料制备阀门部件，这种材料集成钛合金粉末和氧化铝陶瓷粉末的良好性能并利用热压烧结工艺形成高强度、耐高温的复合结构。实验表明，金属陶瓷复合材料能够在 600℃ 高温环境下连续工作 1000h 以上，而其使用性能几乎不受任何影响，显著提升阀门在恶劣工况下的可靠性；在结构设计上，根据航空发动机多级密封结构理念开发出复合密封结构，充分利用多层

密封环和动态补偿机制,有效防止介质泄漏,即使某一密封层失效,其他层级一直可以维持密封效果,从而显著提高系统的整体可靠性;同时,通过优化流道几何形状和表面处理工艺进一步降低阀门在高压、高速流体环境中的磨损、腐蚀风险(见图1)。

在控制方式上,利用物联网和边缘计算技术,研发出先进的智能执行系统,利用传感器实时监控阀门的工作状态,包括温度、压力、流量等重要数据,并将数据实时传输到边缘计算设备进行分析^[3]。一旦检测到密封失效、执行机构卡滞等异常情况时系统能够自动切换至备用执行通道,保证阀门在紧急情况下的工作效率;在系统中导入深度神经网络 DNN 算法,帮助系统进一步挖掘运行大数据,可以提前预判潜在故障,实现预测性维护(Predictive Maintenance, PdM)。例如,通过学习历史数据,智能执行系统能够准确识别出阀门在特定工况下的疲劳变化,提前根据实际情况进行预警,避免发生严重的安全故障。在阀门测试阶段,通过数字孪生技术模拟阀门整个使用周期内的不同工况,进行加速寿命测试,快速发现设计问题并优化结构,保证阀门在使用前符合设计要求^[4]。

3.3 创新设计多传感器融合泄漏监测系统

在化工储运安全管理和事故应急策略中,创新设计多传感器融合泄漏监测系统从光、声、电、磁等物理场中选择灵敏度高、适应性强传感器,科学优化组合充分发挥不同物理场的应用优势,详细感知泄漏信号。例如,光纤传感器能够实时监测应变变化,适用于储罐和管道的微小形变检测;声发射传感器则注重捕捉泄漏产生的高频振动信号;而电磁传感器可以探测泄漏引发的磁场异常变化。通过分析上述这些传感器,发现传感器数据采集具有多源异构特性,反复学习疑似泄漏的弱信号,提高模型识别准确性。例如,基于卷积神经网络的多模态泄漏信号识别算法,可融合光纤传感的应变数据与声发射传感的频谱数据,形成高维度特征向量,快速判断泄漏信号。该方法将检测灵敏度提升至高数量级,显著增强系统实用性^[5]。

针对传统泄漏监测系统中存在的局部盲区问题,工作人员开发蛇形机器人(Snake Robot)作为辅助监测工具,有利于进行储罐底部、罐壁等复杂区域的泄漏探测,能够在狭窄空间或人工难以到达的区域执行任务。蛇形机器人搭载分布式传感器网络(Distributed Sensor Network, DSN),包括气体浓度传感器、红外热成像传感器、超声波传感器等,实现全方位无盲区的泄漏监测。例如,气体浓度传感器可检测挥发性有机化合物(VOCs)的泄漏,红外热成像传感器能够识别温度异常问题,而超声波传感器则用于检测储罐壁

的裂纹,填补传统监测系统的盲区。

4 应用效果

经过一系列技术改造,显著改善石油储罐区的安全状况,具体效果见表1。在为期一年的实际运行中,大幅优化储罐区的关键安全指标,其中防火阀门故障率从5.26%下降至0.27%,鹤管联锁失效率从每年17次降至1.6次,泄漏事故率下降97%。数据表明,通过引入高可靠性防火阀门、创新鹤管联锁控制算法、多传感器融合泄漏监测系统等技术,有助于工作人员有效提升储罐区的整体安全性能。特别是在泄漏检测方面,灵敏度从2.50kg/h提高至0.05 kg/h,定位精度从5.0m缩小至0.5m,大幅增强对潜在泄漏风险的早期识别能力,有利于提升应急响应效率,各项技术经济指标均达到预期目标,充分验证技术改造方案的可行性。

例如,通过采用金属陶瓷复合材料制造防火阀门部件并结合航空发动机多级密封设计理念,有效延长设备的使用寿命;通过基于多智能体协同的智能控制算法优化鹤管联锁系统,提高系统的自适应能力;而多传感器融合技术和蛇形机器人进行相互结合,则泄漏监测储罐区全方位无盲区。

表1 优化效果

指标	优化前	优化后
防火阀门故障率/%	5.26	0.27
鹤管联锁失效率/(次/年)	17.0	1.6
泄漏检测灵敏度/(kg/h)	2.50	0.05
泄漏定位精度/m	5.0	0.5

5 结语

综上所述,发现在大型化工储运中面临一系列问题,需要工作人员积极引进先进的信息技术,如开发多传感器融合泄漏监测系统、开发高可靠性防火阀门等全面加强大型化工储运的安全水平,给我国石油化工行业发展提供支持。未来研究过程中,工作人员要对相关技术加速创新力度,进一步提升石油化工储运的智能化水平,促进石油化工企业实现可持续发展。

参考文献:

- [1] 仲海舰. 化工储运安全管理存在的问题及解决措施[J]. 房地产导刊, 2024(10):70-72.
- [2] 孙磊. 论石油化工企业危险化学品储运过程中的安全管理[J]. 中国化工贸易, 2022(35):193-195.
- [3] 初志杰, 李国辉, 王邦坤. 石油化工企业储运安全管理与风险控制策略研究[J]. 中国化工贸易, 2023,15(23):118-120.
- [4] 黄剑波. 基于石油化工企业的油气储运工程安全管理探讨[J]. 中国化工贸易, 2023,15(27):103-105.
- [5] 陆晓健, 马玉亮. 信息化技术在石油化工安全管理中的应用研究[J]. 中国公共安全, 2024(4):88-90.