

危险化学品存储设施安全性能评估与优化

卢昌虎 (庐江县应急管理局, 安徽 合肥 231500)

摘要: 针对危险化学品存储设施的安全性能问题, 研究其风险评估方法, 并探索优化策略和动态管理机制, 以提升整体安全性。研究构建了风险识别与分类的理论框架, 并基于定量分析评估存储设施的脆弱性, 同时提出多维度的安全性能综合评估模型。在优化策略方面, 研究从布局优化、安全冗余、智能监测、管理协同等角度提出具体措施, 以提升存储安全水平。动态管理部分构建了数据驱动的风险预警模型, 并通过反馈机制实现自适应调整, 确保安全管理的持续改进。本研究为危险化学品存储安全提供了理论依据和实践路径, 为相关行业的安全管理体系完善奠定基础。

关键词: 危险化学品存储; 安全性能评估; 优化策略; 风险量化; 动态管理

中图分类号: TQ086.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 015-0162-03

Safety Performance Assessment and Optimization of Hazardous Chemical Storage Facilities

Lu Changhu (Emergency Management Bureau of Lujiang County, Hefei Anhui 231500, China)

Abstract: Aiming at the safety performance issues of hazardous chemical storage facilities, this paper studies the risk assessment method and explores the optimization strategies and dynamic management mechanisms to improve the overall safety. The study constructs a theoretical framework for risk identification and classification, and evaluates the vulnerability of storage facilities based on quantitative analysis. At the same time, a comprehensive evaluation model of safety performance from multiple dimensions is proposed. In terms of optimization strategies, specific measures are put forward from the perspectives of layout optimization, safety redundancy, intelligent monitoring, and management coordination to improve the storage safety level. In the part of dynamic management, a data-driven risk early warning model is constructed, and adaptive adjustment is realized through a feedback mechanism to ensure the continuous improvement of safety management. This study provides a theoretical basis and practical path for the safety of hazardous chemical storage, and lays the foundation for the improvement of the safety management system in related industries.

Keywords: Hazardous Chemical Storage; Safety Performance Assessment; Optimization Strategy; Risk Quantification; Dynamic Management

在复杂环境条件下, 如何精准评估存储设施的安全性能, 并制定科学合理的优化策略, 成为当前研究的重点。现有研究在风险评估方法、指标体系构建及优化技术方面取得了一定进展, 但仍需进一步提升动态管理能力, 以实现安全性能的持续优化。本研究围绕存储设施的安全评估、优化策略及动态管理展开分析, 构建多层次安全管理体系, 以提升危险化学品存储的安全水平, 并为行业实践提供理论依据与技术支持。

1 危险化学品存储设施安全性能评估方法

1.1 风险识别与分类理论框架

危险化学品存储设施的安全风险具有复杂性和多变性, 涉及物理、化学、环境以及人为因素的交互作用。在风险识别过程中, 精确界定潜在的安全隐患是提升防控能力的关键。基于系统安全理论, 风险识别通常采用层级分析方法, 对存储设施中的危险源进行系统性拆解, 区分固有风险与外部风险, 并结合事故致因理论, 构建全面的风险分类框架。固有风险主要源于化学品本身的物理化学特性, 包括易燃、易爆、腐蚀

性及毒性等方面。外部风险则涉及环境条件、存储设施结构、温湿度变化及管理不当等影响因素。为了精准刻画风险影响范围, 研究方法通常采用事件树分析、故障树分析以及贝叶斯网络模型, 以量化不同风险因素之间的作用关系, 并建立动态风险映射体系。

1.2 基于定量分析的设施脆弱性评估

危险化学品存储设施的脆弱性评估涉及结构强度、耐火性能、泄露风险承受能力等多个方面, 直接影响设施的安全可靠性。在评估过程中, 定量分析方法被广泛应用于测算设施在不同工况下的安全裕度。以结构可靠性理论为基础, 评估模型通常包含材料特性分析、受力变形分析及环境因素干扰分析。材料特性分析聚焦于设施的耐腐蚀性、抗压能力及温度适应性, 确保设施在长时间存储过程中保持稳定^[1]。受力变形分析则通过有限元模拟技术计算不同外部载荷作用下设施的变形量, 并结合实验数据, 预测长期使用后的安全边界。环境因素干扰分析关注气候、地质及人为干预等变量, 通过多变量回归模型, 测算其对设施结构完整性的影响程度。结合大规模数据训练, 建

立存储设施脆弱性评分体系,使得不同类型的存储单元能够依据脆弱性等级进行优化设计,提高其安全稳定性。

1.3 多维度安全性能综合评估模型

单一风险评估指标难以全面衡量危险化学品存储设施的整体安全性,可知,多维度综合评估模型成为安全性能分析的重要工具。该模型通常基于层次化分析法,将设施安全性划分为物理安全、环境安全及管理安全三个主要维度,并分别赋予不同的权重系数,以确保评估结果的精准性。物理安全维度主要考察设施的耐火性、结构稳定性及材料耐受度,确保在极端条件下仍能维持基本安全功能。环境安全维度涵盖存储区域的气象条件、地下水污染风险及土壤渗透性,以评估外部环境对存储设施的影响。

2 安全性能评估指标体系的构建

2.1 指标分类与层次化设计原则

危险化学品存储设施的安全评估指标体系需要综合考虑多个维度,以确保评估结果的全面性和科学性。在指标分类过程中,通常采用层级化方法,将安全性能分解为若干关键因素,并进一步细化成具体的测量指标。物理安全层面涵盖存储设施的耐火性能、结构稳定性、抗震能力及耐腐蚀性,以确保设施在不同环境条件下维持安全状态。环境安全层面包括气象条件、地理位置、地下水污染风险以及空气质量监测等因素,以评估外部环境对存储设施的影响。管理安全层面涉及操作规程、应急预案、巡检制度以及从业人员培训情况,以衡量人为管理因素对整体安全性的贡献度。

2.2 权重分配与敏感性分析方法

在安全性能评估体系中,不同指标对整体安全性的影响程度存在差异,因此合理的权重分配成为确保评估科学性的关键环节。权重分配通常采用多准则决策方法,通过专家打分法、层次分析法或模糊综合评价法计算各指标的重要性系数。高风险指标在整体评估体系中的权重相对较高,而低影响因素的权重相对较低,以保证评估结果的精准度。敏感性分析则用于验证权重分配的合理性,确保评估体系对关键变量的响应能力^[2]。在敏感性分析过程中,通常采用参数扰动法或蒙特卡洛模拟法,对不同指标的权重进行随机扰动,观察评估结果的变化趋势。如果评估结果对某一指标的权重调整表现出极端波动,则表明该指标对整体安全性影响较大,需进一步优化其评估方式。

2.3 动态指标的实时更新机制

危险化学品存储设施的安全状况受环境变化、设备老化及管理因素的影响,传统的静态评估方法难以满足实际应用需求。因此,建立动态指标的实时更新

机制成为提升评估体系时效性的关键。动态更新机制依赖于物联网传感技术、大数据分析及人工智能算法,通过实时采集存储设施的运行数据,对评估指标进行动态调整。在监测层面,传感器网络可实时记录温湿度、压力、气体泄漏情况及设备运行状态,为评估体系提供高频数据。在数据处理层面,人工智能算法可基于历史数据趋势,预测未来风险变化,并在安全阈值超出预警范围时自动调整评估指标。在决策支持层面,实时更新的评估结果可为管理者提供即时反馈,使其能够根据最新的风险态势调整存储策略。

3 存储设施安全性能优化策略

3.1 布局优化与安全冗余设计理论

危险化学品存储设施的布局直接影响整体安全性,合理的空间分布有助于降低事故发生概率,并减小事故影响范围。在布局优化过程中,需充分考虑存储单元之间的安全距离,确保不同性质的化学品不会因空间排列不当而产生连锁反应。隔离区的设置应基于化学品的物理化学特性,以减少相互作用的可能性^[3]。此外,通风系统的布置应确保气体挥发物不会在密闭空间内聚集,从而降低爆炸风险。安全冗余设计则是提升存储设施稳定性的关键手段,通过双层防护结构、独立监测系统及备用安全阀门等技术手段,确保即便在部分设备失效的情况下,整体系统仍能维持基本安全功能。压力泄放通道、自动灭火装置及多级安全屏障的合理布局,能够有效分散事故能量,减少高危区域的负荷压力。

3.2 智能监测技术的集成应用路径

传统的存储设施监测手段多依赖人工巡检,其滞后性和主观性易导致安全隐患的发现不及时。智能监测技术的引入,使得实时数据采集、远程监控及异常预警成为可能,提高了安全管理的精准度与效率。在气体泄漏监测方面,高灵敏度传感器能够精准探测危险化学品的挥发情况,并结合数据分析算法预测潜在风险。温湿度监测系统通过自动化调控,使存储环境维持在安全范围内,降低物理或化学反应的触发概率。远程监控系统的集成使得管理人员能够通过多终端设备随时掌握设施运行状态,并在异常状况发生时快速响应。基于人工智能的异常识别技术可对历史数据进行模式分析,预测可能的设备故障或管理漏洞,从而提前采取补救措施。将多种智能监测技术整合至统一管理平台,可提升存储设施的实时监控能力,并使管理决策更加智能化、自动化。

3.3 管理流程与应急预案协同优化

危险化学品存储设施的安全性能不仅依赖于工程设计与技术手段,管理体系的优化同样是不可忽视的

关键环节。管理流程的标准化能够提升日常操作的规范性,降低人为失误带来的安全风险。在巡检制度方面,智能化巡检系统结合大数据分析,可对巡检路线、周期及重点监测区域进行动态调整,提高管理资源的利用率。

在应急预案优化方面,多层次应急响应机制可确保不同类型事故发生时,相关部门能够迅速协调并采取针对性措施。应急演练与培训的常态化,有助于提升工作人员的事故应对能力,使其在突发情况下能够迅速作出正确判断。另外,跨部门协同机制的建立,使得消防、医疗、环境保护等多个领域的专业人员能够高效配合,提高应急救援效率^[4]。

4 安全性能的动态管理与持续改进

4.1 实时数据驱动的风险预警模型

危险化学品存储设施的安全管理需要依赖高频数据分析,以识别潜在风险并提供早期干预手段。实时数据驱动的风险预警模型能够通过传感器网络、大数据分析和人工智能算法,实现对危险因素的快速感知。多维数据融合技术使得不同类型的监测数据能够协同作用,提高异常情况的识别精度。在气体泄漏检测领域,高灵敏度传感器能够捕捉微量气体浓度的波动,并结合历史数据训练模型,预测可能发生的泄漏趋势。温湿度监测系统通过自适应调节算法,确保存储环境始终处于安全阈值内,减少温度变化对化学品稳定性的影响。远程数据采集平台整合环境监测、设备运行状态和操作记录,使得管理者能够基于实时数据进行决策优化。当系统检测到数据异常时,风险预警模型能够自动触发应急响应机制,为管理人员提供决策建议,并在必要时启动安全防护措施,以降低突发事件的破坏力。

4.2 反馈机制与自适应调整策略

静态管理模式无法满足复杂存储环境下的安全需求,自适应调整策略能够通过数据反馈机制,实现管理模式的动态优化。反馈系统的核心在于信息采集、智能分析和策略调整的闭环运作,使得管理体系能够基于实际运行情况不断完善。智能化反馈系统利用数据流分析技术,对安全事件进行分类处理,并通过自学习算法识别潜在的安全隐患。存储设施的安全指标并非固定不变,环境因素、设备老化及管理流程优化均会影响评估标准,自适应调整策略使得系统能够根据风险等级变化,实时修正安全评估参数。

4.3 全生命周期安全管理闭环体系

危险化学品存储设施的安全管理并非短期行为,而是贯穿设施整个生命周期的持续优化过程。全生命周期安全管理闭环体系涵盖规划设计、建设实施、运

行维护及退役处置等多个环节,通过系统化管理手段,确保存储设施在不同阶段均具备较高的安全标准。在规划设计阶段,综合考虑化学品特性、环境影响及未来扩展需求,制定科学合理的安全布局方案。建设实施阶段,采用高标准施工工艺,并结合智能监测系统,确保存储设施的结构稳定性和耐久性^[5]。运行维护过程中,通过数字孪生技术构建虚拟存储系统,使管理者能够在仿真环境下测试不同安全策略的有效性,并基于模拟结果优化安全方案。在退役处置阶段,采用绿色拆解技术,对存储容器进行无害化处理,降低环境污染风险。

5 结束语

危险化学品存储设施的安全性能涉及多维因素,涵盖风险识别、指标体系构建、优化策略制定及动态管理等多个环节。研究表明,基于多层次分析的安全评估体系能够有效识别不同类别的潜在风险,并提供数据支持,以增强存储设施的抗风险能力。量化分析方法提高了评估精度,使设施脆弱性分析更加科学,能够为安全管理决策提供有力支撑。在安全性能优化方面,合理布局与安全冗余设计降低了存储区事故发生的可能性,智能监测技术的引入增强了数据采集的精度,并提升了突发状况下的响应能力。

此外,管理流程的优化确保应急预案的有效性,实现了设施安全与管理效率的双重提升。在动态管理方面,数据驱动的预警机制确保风险能够被及时感知,自适应调整策略提高了系统的稳定性,并实现了安全管理的智能化发展。全生命周期的安全管理闭环体系增强了长期安全管控能力,使危险化学品存储设施具备更高的安全可靠。研究结论表明,精细化管理与技术创新的结合能够有效提高安全性能,未来应进一步探索智能化、自动化管理模式,以提升危险化学品存储设施的安全水平。

参考文献:

- [1] 胡敬坤,张成栋,翟玉豪.危险化学品储存过程的安全管理及风险把控[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(04):63-65.
- [2] 马超.化学危险品仓库的安全防火探讨[J].今日消防,2021,6(09):106-108.
- [3] 王小明.危险化学品使用和存储的安全监控技术[J].石化技术,2015,22(06):243.
- [4] 李立强.危险化学品的安全存储[J].中国公共安全(学术版),2011(03):78-80.
- [5] 张国之.危险化学品全生命周期风险分析及管理研究[J].安全、健康和环境,2019,19(03):46-49.