

化工仓储安全管理中的风险评估与经济效益分析

王华东 (合肥循环经济示范园管理中心, 安徽 合肥 231600)

摘要: 化工仓储是化工产业链中关键环节, 其安全管理关系到企业运行的稳定性与经济效益。由于化学品具有易燃、易爆、有毒等特性, 仓储过程稍有疏忽即可引发严重事故。建立科学的风险评估体系, 有助于全面识别安全隐患并实施有效防控。同时, 安全投入不仅是成本支出, 更能通过降低事故率、提高效率和增强企业信誉, 实现良好的经济回报。本文围绕化工仓储中的风险分类与评估方法, 探讨其安全管理对经济效益的促进作用。

关键词: 化工仓储; 安全管理; 风险评估; 经济效益; 事故防控

中图分类号: TQ053.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 027-0145-03

Risk assessment and economic benefit analysis in chemical storage safety management

Wang Huadong (Hefei Circular Economy Demonstration Park Management Center, Hefei Anhui 231600, China)

Abstract: Chemical storage is a key link in the chemical industry chain, and its safety management is related to the stability and economic benefits of enterprise operation. Because chemicals have flammable, explosive, toxic and other characteristics, a little negligence in the storage process can cause serious accidents. The establishment of a scientific risk assessment system is helpful to comprehensively identify security risks and implement effective prevention and control. At the same time, the safety input is not only the cost expenditure, but also can achieve a good economic return by reducing the accident rate, improving the efficiency and enhancing the enterprise reputation.

Key words: chemical storage; safety management; risk assessment; economic benefits; accident prevention and control

随着化工产业链的延伸和安全监管力度的加大, 化工仓储的安全问题日益受到重视。化学品种类繁多、性质复杂, 一旦管理疏忽, 极易引发火灾、爆炸、中毒等事故, 造成严重人员伤亡和经济损失。在高风险与高价值并存的背景下, 如何在保障安全的同时兼顾成本效益, 成为企业管理的重要课题。科学的风险识别与评估机制, 不仅有助于提升事故防控能力, 也为企业在安全投入与资源配置方面提供决策依据。同时, 安全管理经济性分析也逐渐成为企业优化经营效率和提升竞争力的重要手段。

1 化工仓储安全风险的识别与分类

1.1 化学品物理性质带来的安全风险

化工仓储中涉及的物料多数具有危险性, 其理化特性是造成事故的根源之一。如甲苯、乙醇、氢氰酸、苯乙烯等物质, 常温下便具备高度挥发性和反应活性。以苯乙烯为例, 其闪点为 31℃, 自燃点约为 490℃, 在通风不良或温度偏高的环境下极易积聚蒸气形成爆炸性混合物, 爆炸极限为 1.1% ~ 6.1%, 稍有不慎便可能引发爆燃。部分物质如氢氰酸还具有剧毒性, 即使微量泄漏也会对作业人员健康构成严重威胁。此外, 化学品若分类储存不当, 如将强氧化剂与醇类、烃类等还原性物质混合放置, 极易诱发剧烈化学反应, 其释放的热量和反应产物在封闭空间中可能迅速累积

风险, 成为事故诱因之一。

1.2 仓储设施与设备的安全隐患

仓储设施作为承载危险物料的物理空间, 其结构和技术状态直接决定着安全运行的底线。常见的硬件性隐患包括仓库墙体防火分隔不足、屋面保温材料不耐火、地面未作防渗处理等。在某些旧库区, 还存在通风孔设置不合理或风量不足的问题, 易导致可燃气体或有毒蒸气局部积聚。储罐区若未设有泄压口或缺乏隔离带, 也将显著增加突发事件的传播风险。监控设备方面, 一些企业仍使用单一类型的感应器, 灵敏度与响应时间无法满足当前物料多样性需求; 另有部分单位存在报警器布点不均、联动装置未定期测试等问题, 使得系统在突发状态下可能失效, 增加了事故的不可控性。

1.3 作业人员操作风险

作业人员的规范行为在化工仓储中扮演着核心角色, 任何偏差都可能成为事故的直接触发因素。统计数据显示, 在多数典型事故案例中, 人员违规操作的比重高于设备故障或物料问题。例如, 有工作人员未按规定穿戴阻燃工作服和正压式呼吸器, 在毒性或爆炸性物料区域长时间作业, 存在严重的职业暴露风险; 在灌装作业中使用未经防爆处理的金属工具, 摩擦或碰撞后产生火花, 成为点火源; 夜班值守期间, 部分

岗位人员存在擅离岗位、巡检记录虚填的情况，造成了隐患无法及时上报，事故发生时反应迟缓。人因因素成为事故链条中极其活跃且不确定性高的环节。

1.4 管理制度缺陷引发的系统性风险

企业安全制度的完备性与执行力，决定了整个化工仓储运行的规范程度。实践中，部分单位虽设有基本制度框架，但缺乏动态更新机制，导致制度脱离现场实际。例如，有的仓储单位未建立风险清单管理制度，对作业环境中存在的危险源缺乏系统归档与分级处理；部分企业在危化品出入库管理上仍采用手工登记，物料流向不清，极易出现管理盲区。此外，安全检查多为应付检查式开展，未建立有效的闭环机制，导致隐患复发率居高不下。信息化水平不足也是普遍问题，作业数据未能及时归档和分析，限制了对安全状态的实时掌握与预警响应。

1.5 自然环境与外部不确定性因素

自然条件的变化对化工仓储系统具有外部冲击性和不可预测性。在高温、高湿、强风等极端气候条件下，化学品的稳定性可能大幅下降。如某些低沸点物料在高温暴晒下蒸气压迅速升高，极易导致储罐膨胀变形甚至泄漏。沿海或台风频发地区的化工仓库常面临强风破坏、海水倒灌、基础沉降等自然灾害影响，一旦结构强度不足，可能造成系统性破坏。此外，一些仓库临近居民区、交通干道或工业园区，周边火源、电力设施、车辆流动等也构成潜在干扰源。部分企业未对外部突发事件建立情境模拟与风险评估模型，缺乏前置响应机制，使其在自然或社会应急状态中承压能力薄弱。

2 化工仓储风险评估体系的构建与应用

2.1 风险评估方法的选择与适用性分析

化工仓储安全风险种类繁多，涵盖物理性、化学性、操作性和环境性等多个维度，其评估方法的选择需与具体场景相匹配。目前应用较广的评估技术包括危险与可操作性分析（HAZOP）、失效模式与影响分析（FMEA）以及层级保护分析（LOPA）。

其中，HAZOP 侧重于工艺流程的节点分析，适用于分析储罐系统、卸料流程中的偏差风险；FMEA 适用于识别设备层面的潜在故障，如阀门失效、传感器漂移等问题；LOPA 则可用于定量分析某一风险事件是否具备足够的保护层，评估现有措施是否满足安全目标。

由于仓储系统既包含复杂工艺节点，也涉及大量物理设备，建议采用“HAZOP+LOPA”复合方法进行交叉验证，既确保全面性，又提升评估结果的量化精度，适应风险动态演变的实际需求。

2.2 风险评估指标体系的构建

为实现量化、标准化的风险评估，需构建多维度的指标体系，以提升评估的科学性与操作性。在传统的“发生概率 × 后果严重度”模型基础上，引入五级评分标准，将仓储物质的易燃性、毒性、腐蚀性、爆炸性作为基础物质属性指标，同时结合人员暴露频率、作业密度、物料存储量、应急响应时间等操作条件，形成较为完整的评价体系。此外，还需考量控制手段的成熟度和自动化水平，如是否具备多级联动报警、视频监控覆盖率、自动关断系统等，作为“防控能力”指标纳入评估框架。指标权重分配可采用层次分析法（AHP）结合专家打分法或熵权法，在保证结构合理的同时提升评估结果的客观性与适应性。依据《危险化学品重大危险源辨识》规范，可将风险评分结果划分为“高风险”“中风险”“低风险”三级，为后续制定管控策略提供数据支撑。

2.3 风险等级划分与响应等级对接

风险等级划分的目的是将复杂评估结果转化为可执行的管理方案。通常采用二维风险矩阵法，以“发生频率”为横轴，“后果严重度”为纵轴，将每项风险映射至一个颜色区域，形成清晰直观的分区管理图：红色区域为不可接受的高风险，必须立即采取整改措施；黄色区域为中度风险，应制定限期整改计划并强化日常监控；绿色区域为可接受风险，维持现有管理状态。为实现评估结果与响应行动的无缝对接，应建立响应等级联动机制。例如，对于红区风险，设置双人同时作业制度、增加自动联锁装置、配置专属应急响应包，并实行 24h 不间断监控；中风险区域要求每周至少一次安全巡检，定期更新作业指导书并开展专项培训；而低风险区域则可通过抽检、自动日志分析等方式维持管理效率，确保有限资源配置于高风险环节，提升整体防控效能。

2.4 案例分析：某化工企业仓储风险评估实践

以某大型石化企业的甲醇仓储区域为例，该企业储罐区常年用于大批量甲醇储存，安全管理面临较大压力。在实施风险评估前，该区域曾多次发生小范围甲醇泄漏事件，尽管未造成重大事故，但已引起管理层高度重视。企业随后引入 HAZOP 分析法，对仓储系统各个关键节点进行系统识别与分析，结果发现多个关键装置存在安全隐患，尤其是呼吸阀老化严重，无法有效平衡罐内外压力，同时泄压装置反应迟缓，存在一定滞后性。结合 LOPA 分析后发现，该储罐的整体防护系统仅具备两道独立保护层，远低于行业安全推荐的四层防护标准。

为此，企业依据评估结果，迅速制定整改措施，

对呼吸阀与泄压装置进行了全面更换,升级为具备自动响应功能的不锈钢防腐型呼吸阀,同时引入了气体浓度检测报警系统与远程监控平台,可实时监测罐体内外压力和甲醇蒸气浓度,实现早期预警。整改完成后,仓储区年均泄漏警报次数从6次下降至1次,且均为轻微波动,未造成实际泄漏。

3 安全管理对经济效益的影响分析

3.1 安全投入的主要构成

化工仓储安全管理的投入主要体现在多个方面,涵盖硬件设施、人员管理、制度体系和信息技术等维度。在硬件层面,常见投入包括防爆电气设备、气体探测报警系统、自动喷淋装置、防泄漏地坪与围堰等基础设施。例如,一套中型仓库可燃气体报警系统(含探头、主机及云端连接)投入约为50万元,具备实时监测与联动功能,可集成至消防系统中。在管理方面,一次全流程大型应急演练费用约为8万至10万元,需结合应急预案同步开展。制度建设方面则涉及操作规程修订、岗位培训、安全台账维护等,培训费用通常占年度安全预算的15%以上。此外,还有安全生产责任险、环保监测、第三方评估等隐性支出,约占企业年度总预算的5%~8%。这些投入虽隐形但关键,对事故防控与法律风险规避具有重要意义。

3.2 事故成本的构成与损失分析

相比于前期的安全投入,安全事故一旦发生,其造成的经济损失往往是不可控且呈叠加放大的趋势。以某地发生的一起甲醛仓库泄漏事故为例,因储罐阀门失效导致甲醛大量泄漏,直接经济损失包括人员伤亡赔偿、设备修复与清污处理费用累计超过3000万元。更为严重的是,事故造成企业连续两个月被勒令停产,订单取消与违约赔偿使客户信任流失,影响波及企业下游供应链。

同时,监管部门对企业立案调查,处以高额罚款并强制整改,不仅增加运营负担,也使企业形象大打折扣。在一些上市化工企业中,事故甚至导致股价短期内大幅波动。由此可见,事故成本不仅包括可见的直接财产损失,更包括难以量化的间接损失,其危害程度与事故等级成指数关系,尤其在管理制度薄弱或高危物料种类繁多的企业中风险尤甚。

3.3 风险防控带来的经济回报

科学的安全管理不仅仅是成本的支出,更是保障长期稳定发展的投资。在现代化仓储管理实践中,越来越多的企业通过部署自动化智能系统来降低人工依赖和人为失误。例如,某大型化工园区引入智能仓储管理系统(WMS)后,将日常巡检频次由每日6次降至2次,人工成本降低约20%,设备报警响应时间缩

短30%。通过精准监测,减少了冗余配置,提升了资源利用效率。事故率下降使企业获得保险费率优惠,年度保险成本降低超过35%。在环保合规方面,借助VOC治理设备和在线监测系统,有效控制排放风险,避免高额罚款与环境责任追偿。同时,良好的安全记录提升了企业信誉,有助于获取政府信用评级、政策支持和优质客户资源,在市场竞争中占据优势,实现了安全与经济效益的同步提升。

3.4 典型案例:投入与效益对比分析

某国有大型化工仓储公司自2020年起,面对仓储设施老化、安全隐患频发等问题,决定对整体安全管理体系进行全面升级,累计投入约800万元。主要用于引入集成式安全监控系统,包括视频监控、气体浓度报警、温湿度联动调控装置,同时对仓储作业流程进行标准化重构,涵盖人员进出管理、危险品分区、动态风险预警等模块。三年内,该企业事故发生率从年均20余起下降至1起以下,下降幅度超过95%;年度保险费用由原来的280万元降至90万元,保险公司基于风险评估结果下调了保费等级。更重要的是,随着系统化管理水平提升,作业效率、库存周转率、资源调度能力均得到优化,综合运营效率提升12%,年均节约运营成本达400万元。

4 总结

化工仓储作为高风险环节,其安全管理水平直接影响企业的运营稳定与经济效益。通过对化工仓储中常见风险的系统识别与分类,可有效掌握事故诱因,增强安全管理的针对性和主动性。构建科学的风险评估体系,有助于提升评估的准确性与管理效率,实现从“被动应对”向“预防为主”的转变。同时,从经济角度看,合理的安全投入不仅能降低事故发生率和损失成本,还能提升企业运行效率和市场信誉,带来实质性经济回报。安全与效益并重,已成为现代化工仓储管理的基本共识和实践方向。

参考文献:

- [1] 延奥. 化工危险品仓储安全管理探析[J]. 中国储运, 2023,(07):190-191.
- [2] 李官送. “工业互联网+”背景下的危险化学品仓储风险评价与对策研究[D]. 南昌大学, 2023.002428.
- [3] 王文浩. 危险化学品重大危险源的风险管控与环境安全设计[D]. 天津工业大学, 2023.000706.
- [4] 焦莹, 王娅娇. 化工危险品仓储安全管理思考[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021,41(19):87-88.
- [5] 张磊, 冯金焱. 数字经济下危化品物流管理创新发展策略[J]. 长春金融高等专科学校学报, 2024,(02):78-84.