

# 化工工程中的安全管理与风险评估方法研究

陈启龙<sup>1</sup> 张广伟<sup>2</sup> 邓成果<sup>2</sup>

1. 山东蔚扬药业有限公司 山东济宁 273500

2. 山东泓辰化学科技有限公司 山东济宁 273500

**摘要：**化工工程作为高风险行业，其安全管理与风险评估直接关系到生产安全和人员生命财产安全。本文通过构建完善的安全管理体系框架，深入分析了化工工程中危险源识别、风险评估和安全控制的关键技术。研究表明，建立科学的组织架构和制度体系是安全管理的基础，运用HAZOP、FTA等先进的风险评估方法能够有效识别潜在危险，而实施分级管控和应急响应机制则为安全生产提供了可靠保障。该研究为化工企业提升安全管理水平和降低事故风险提供了理论依据和实践指导。

**关键词：**化工安全；风险评估；HAZOP分析；安全管理体系；应急响应

## 引言

化工生产过程涉及高温高压、易燃易爆、有毒有害等多种危险因素，一旦发生事故往往造成重大人员伤亡和财产损失。近年来国内外化工事故频发，暴露出传统安全管理模式的不足，迫切需要建立系统性的安全管理体系和科学的风险评估方法。通过深入研究化工工程安全管理的核心要素，运用现代风险评估技术识别和量化潜在危险，构建多层次的风险控制体系，对于提升化工行业整体安全水平具有重要的理论意义和实践价值。

## 一、化工工程安全管理体系构建

### （一）安全管理组织架构与职责体系

化工企业安全管理组织架构应遵循统一指挥、分级负责的原则，建立以总经理为第一责任人的三级安全管理网络。企业设立安全生产委员会作为最高决策机构，负责重大安全事项的决策和协调；生产部门设置专职安全管理人员，承担日常安全监督和技术指导职能；班组层面配备兼职安全员，落实现场安全管控措施。各级管理人员的安全职责应明确界定，形成横向到边、纵向到底的责任网络，同时建立安全绩效考核机制，将安全责任履行情况与薪酬待遇和职业发展挂钩，确保安全管理工作的有效执行。在具体实施过程中，企业应根据生产规模和工艺复杂程度合理确定安全管理人员配置比例，大型化工企业可设立独立的安全环保部门，中小型企业则可采用安全生产专职负责人制度。安全管理人员的选拔应注重专业背景和实践经验，要求具备化工工艺、安

全工程或相关专业知识和经验，并定期参加安全管理培训和技能提升<sup>[1]</sup>。为保证安全管理工作的连续性和专业性，企业应建立安全管理人员职业发展通道，提供相应的薪酬激励和晋升机会，避免安全管理队伍的频繁流动。同时，建立跨部门的安全协调机制，定期召开安全生产例会，协调解决安全管理中的重难点问题，确保安全管理决策能够快速传达和有效执行。

### （二）安全管理制度建设与执行机制

完善的制度体系是安全管理的重要保障，应建立涵盖安全生产责任制、操作规程、检查制度、教育培训、应急管理等方面的制度框架。安全生产责任制要明确各岗位人员的具体职责和考核标准，操作规程应结合工艺特点制定标准化作业指导书，安全检查制度要规定检查频次、内容和整改要求。制度执行方面，应建立闭环管理机制，通过定期检查、考核评价、持续改进等手段确保制度落地生效，同时运用信息化技术提升制度执行的透明度和可追溯性，形成制度建设与执行的良性循环。制度建设应遵循系统性、针对性和可操作性原则，结合企业实际情况和行业特点，制定符合自身特色的安全管理制度体系。在制度内容设计上，要充分考虑不同工艺单元的风险特征，制定差异化的安全管理要求，避免“一刀切”的管理模式。制度执行监督机制应包括内部审计、外部检查、员工监督等多种形式，建立制度执行情况的定期评估和反馈机制，及时发现制度执行中的问题和不足。为提高制度执行效果，企业应加强制度宣贯和培训工作，确保各级人员充分理解制度要求和执行标

准。同时，建立制度违规处罚和激励机制，对严格执行制度的单位和个人给予表彰奖励，对违反制度规定的行为进行严肃处理，营造人人遵章守纪的良好氛围。制度的动态管理也是关键环节，应根据法律法规变化、技术发展和管理实践，及时修订完善相关制度，保持制度的时效性和适用性。

## 二、化工工程风险识别与评估技术

### （一）化工过程危险源识别方法

化工过程危险源识别是风险管理的基础环节，需要运用系统化的分析方法全面识别潜在危险。工艺危险性分析从工艺流程、设备设施、操作条件等维度系统梳理危险因素；HAZOP分析通过引导词和偏差分析，深入挖掘工艺参数偏离正常值可能引发的风险；故障树分析采用演绎推理方式，从顶事件逆向追溯可能的故障原因；事件树分析则从初始事件出发，正向分析可能的事故后果<sup>[2]</sup>。这些方法各有特点，应根据分析对象的复杂程度和精度要求选择合适的方法组合，形成全面、准确的危险源识别结果。在实际应用中，危险源识别工作应贯穿项目全生命周期，从设计阶段的概念性危险分析，到建设期的详细安全分析，再到运行期的定期安全评价，形成持续的危险源识别和管理体系。HAZOP分析作为最常用的危险源识别方法，应由具备丰富经验的多学科专家团队共同完成，包括工艺工程师、设备工程师、仪表工程师、安全工程师等，确保分析的全面性和专业性。分析过程中要充分利用工艺流程图、管道仪表图、设备布置图等技术资料，结合历史事故案例和经验教训，深入分析各种可能的偏差情况。对于识别出的危险源，应建立完整的档案记录，包括危险源的位置、性质、可能的触发条件、影响范围等信息，并定期更新维护。同时，应建立危险源分级管理制度，根据危险程度和影响范围对危险源进行分类，制定相应的管控措施和监督检查频次，确保重大危险源得到有效控制。

### （二）定量风险评估模型与算法

定量风险评估通过数学模型计算事故发生概率和后果严重程度，为风险决策提供科学依据。概率风险评估模型综合考虑设备失效率、人为失误概率、环境因素影响等要素，运用蒙特卡罗模拟等方法计算系统整体风险水平。后果分析模型针对火灾爆炸、毒气泄漏等典型事故场景，建立伤害半径和损失程度的计算公式，量化事故影响范围和严重程度。个人风险和社会风险评估分别从个体和群体角度衡量风险可接受性，通过与国际通

用的风险标准对比，判断风险是否在可接受范围内，为制定风险控制措施提供量化指标。定量风险评估的准确性很大程度上依赖于基础数据的质量和完整性，因此需要建立可靠的数据收集和处理体系。设备失效率数据可通过设备制造商提供的可靠性数据、同类设备的运行统计数据以及国际通用的设备可靠性数据库获得，并根据具体的运行条件和维护水平进行修正。人为失误概率的确定需要考虑操作复杂程度、人员技能水平、工作环境条件、管理制度完善程度等多种因素，可参考THERP、HEART等人因可靠性分析方法。在后果分析方面，应建立涵盖不同事故类型的计算模型库，包括池火灾、喷射火、闪火、爆炸超压、毒气扩散等模型，并考虑气象条件、地形地貌、人员分布等环境因素的影响。风险评估结果应采用多种表达方式，如个人风险等值线图、社会风险F-N曲线等，便于不同层次的管理人员理解和应用。同时，应开展敏感性分析，识别对风险评估结果影响较大的关键参数，为风险控制措施的制定提供重点方向。

### （三）风险评估软件工具与数据分析

现代风险评估越来越依赖专业软件工具和大数据分析技术，提升评估效率和准确性。主流风险评估软件如PHAST、ALOHA等集成了丰富的物性数据库和成熟的计算模型，能够快速完成复杂场景的风险计算和结果展示。历史事故数据是风险评估的重要参考，通过统计分析同类装置和工艺的事故频率、原因分布等信息，可以修正和验证风险评估结果。实时监测数据与风险评估模型结合，实现风险的动态评估和预警，当关键参数超出安全范围时及时发出警报。可视化技术将复杂的风险数据转化为直观的图表、热力图等形式，便于管理者理解和决策。随着人工智能和机器学习技术的发展，风险评估软件的智能化水平不断提升，能够自动识别数据模式、预测潜在风险趋势，为风险管理提供更加精准的支持。在软件选择和应用过程中，应充分考虑软件的适用范围、计算精度、易用性等因素，选择与企业实际需求相匹配的软件工具。同时，应加强软件操作人员的培训，确保能够正确使用软件功能，准确理解计算结果。数据质量管理是软件应用的关键环节，应建立完善的数据收集、验证、更新机制，确保输入数据的准确性和时效性。为提高风险评估的标准化水平，企业应制定统一的软件应用规范和技术标准，规范评估流程和方法，保证评估结果的一致性和可比性<sup>[3]</sup>。此外，应重视评估结果的验证

和校核工作，通过对比分析、专家评议等方式验证评估结果的合理性，不断完善和优化评估方法。建立风险评估数据库和知识库，积累评估经验和资料，为后续的风险评估工作提供参考和支撑。

### 三、化工安全风险控制与应急管理

#### (一) 风险控制措施设计与实施

有效的风险控制应遵循本质安全优先、多重保护的原则，构建层次化的安全防护体系。本质安全设计通过选择更安全的工艺路线、减少危险物质库存、降低操作温度压力等手段从源头消除或减少危险；工程控制措施包括安全仪表系统、紧急切断阀、泄压装置等硬件设施，在异常情况下自动启动保护功能；管理控制措施涉及操作规程、人员培训、定期检维修等软性手段，确保人员具备应对风险的能力。双重预防机制将风险分级管控和隐患排查治理有机结合，对不同等级的风险采取相应的管控措施，通过定期排查及时发现和消除安全隐患，形成风险管控的闭合回路。风险控制措施的选择应基于风险评估结果，采用成本效益分析方法，优先选择投入产出比高的控制方案。在本质安全设计方面，应从工艺路线选择阶段就充分考虑安全因素，优先选用安全性更高的催化剂、溶剂和反应条件，通过工艺优化减少中间储存环节，降低物料泄漏风险。设备设计应采用失效安全原理，确保设备在发生故障时能够自动转入安全状态。安全仪表系统的设计应符合 IEC61511 等国际标准要求，根据风险评估结果确定安全完整性等级（SIL），选择相应等级的安全仪表设备。系统架构应采用冗余配置和多样化设计，提高系统可靠性<sup>[4]</sup>。管理控制措施的实施需要全员参与，通过建立安全文化、强化安全意识、完善管理制度等途径，形成人人关注安全、人人负责安全的良好氛围。风险分级管控应建立风险清单和管控清单，明确每项风险的管控主体、管控措施和管控标准，建立风险管控效果评估机制，定期检查管控措施的有效性。隐患排查治理应建立全覆盖、全过程的排查体系，采用定期排查和专项排查相结合的方式，运用先进的检测技术和手段，提高隐患发现能力。

#### (二) 应急响应体系与事故处置

完善的应急响应体系是减少事故损失的最后防线，应建立快速响应、协调有序的应急管理机制。应急组织

体系采用统一指挥、专业处置的模式，设立应急指挥部统筹协调各方资源，下设抢险救援、医疗救护、后勤保障等专业组织分工协作。事故应急处置程序应针对不同类型事故制定具体的响应流程，明确各阶段的关键节点和处置要求，确保应急行动有序进行。应急资源配置要根据企业风险特点和事故场景需求，合理配备消防器材、检测设备、防护用品等应急装备，建立应急物资储备和调配机制<sup>[5]</sup>。事故调查分析是应急管理的重要环节，通过深入分析事故原因和暴露的问题，及时修订完善应急预案和安全生产管理制度。

### 结论

化工工程安全管理与风险评估是一个系统性工程，需要从组织、制度、技术、应急等多个维度构建完整的安全保障体系。通过建立科学的安全管理组织架构和制度体系，为安全生产提供组织保障和制度支撑；运用先进的风险识别和评估技术，准确识别和量化潜在风险，为制定针对性的控制措施提供科学依据；实施分级管控和应急响应机制，有效防范和应对安全风险。随着化工技术的不断发展和安全管理理念的持续更新，应进一步加强新技术、新工艺的安全研究，完善风险评估方法和工具，提升应急处置能力，推动化工行业安全发展水平不断提升。

### 参考文献

- [1] 陶士英, 祝田欣, 黄辉, 等. 化学化工实验室安全风险评方法评析[J]. 化工安全与环境, 2022, 35(6): 12-15.
- [2] 许景寒, 杨文平. 精细化工反应安全风险评估在设计中的应用与探讨[J]. 山东化工, 2023, 52(24): 213-215.
- [3] 樊柯. 化工过程安全与风险评估方法研究[J]. 工程管理与技术探讨, 2025, 7(2): 202-204.
- [4] 刘运香. 风险评价技术在化工设备安全评估中的应用探究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(6): 2.
- [5] 金宁. 化工工程建设管理与工程建设安全的关系[J]. 葡萄酒, 2024(13): 0176-0178.