

化工生产安全事故案例分析与应急响应策略

贾云朋¹ 黄震²

1. 抚顺矿业集团有限责任公司页岩炼油厂 辽宁 抚顺 113000

2. 中国石油抚顺石化分公司石油三厂 辽宁 抚顺 113001

摘要: 化工生产涉及多种危险化学品, 事故类型多样且危害严重, 具有突发性强、扩散快、危害叠加、处置难等特点。本文通过“瑞士奶酪模型”等分析事故成因, 结合典型案例深度剖析多维度成因耦合效应。同时, 评估应急响应时效性与有效性, 构建指标体系。最后, 从预防、准备、响应、恢复四个阶段提出化工企业应急管理能力提升路径, 为化工安全生产与应急管理提供参考。

关键词: 化工事故; 案例分析; 应急响应; 安全管理

引言: 化工产业作为国民经济重要支柱, 其安全生产至关重要。然而, 化工生产因涉及易燃易爆等危险化学品, 工艺复杂, 事故频发, 给人民生命财产和环境带来巨大损失。深入分析化工事故成因, 探究科学有效的应急响应策略, 提升企业应急管理能力, 不仅关乎企业自身生存发展, 更是保障社会公共安全、推动化工行业健康可持续发展的迫切需求。

1 化工生产安全事故概述

1.1 化工事故类型与特点

化工生产涉及易燃易爆、有毒有害等危险化学品, 工艺复杂且工况多变, 事故类型呈现多样性特征。常见类型包括爆炸、泄漏中毒、火灾、腐蚀、窒息等, 其中爆炸与泄漏中毒事故危害最为严重。化工事故具有四大核心特点: 一是突发性强, 多数事故由反应失控、设备破损等因素引发, 前兆不明显, 留给应急处置的时间极短; 二是扩散速度快, 危险化学品易通过空气、水体、土壤扩散, 扩大影响范围; 三是危害叠加性, 事故易引发次生灾害, 如爆炸后引发火灾, 泄漏后导致环境污染与人员伤亡; 四是处置难度大, 需结合化学品特性、工艺参数制定专项方案, 对处置人员专业能力要求极高。这些特点决定了化工事故防控与应急工作的复杂性和紧迫性。

1.2 事故成因分析模型

化工事故成因复杂, 单一因素引发事故的概率较低, 多为多因素叠加导致, 常用分析模型可实现系统化溯源。其中, “瑞士奶酪模型”应用广泛, 该模型将事故发生过程类比为多层奶酪, 每层代表一道安全防护屏障, 如人员操作、设备防护、管理制度等, 当各层屏障均出现“孔洞”且形成贯通通道时, 事故即会发生^[1]。因果分析图(鱼骨图)可精准拆解成因, 从人、机、

环、管四大维度梳理具体因素, 如人员误操作、设备老化、环境温湿度异常、制度缺失等。还有事故树分析(FTA), 通过逻辑推理从事务结果反向推导可能的原因组合, 量化各因素对事故发生的影响权重。

1.3 应急响应的重要性

化工事故应急响应是控制事故扩大、减少人员伤亡与财产损失的关键环节, 直接决定事故处置的最终成效。化工事故发生后, 若应急响应不及时、措施不当, 会导致危险化学品进一步扩散, 次生灾害频发, 造成更大范围的生态破坏与经济损失, 甚至引发社会恐慌。高效的应急响应可通过快速启动预案、调配救援资源、实施科学处置, 在事故初期遏制事态发展, 最大限度降低危害。同时, 应急响应过程也是总结经验、优化防控体系的重要契机, 通过实战检验应急预案的可行性、救援队伍的实战能力与资源配置的合理性。规范的应急响应能保障救援人员自身安全, 避免救援过程中出现二次伤亡。做好应急响应工作, 既是化工企业安全生产的底线要求, 也是保障社会公共安全的重要举措。

2 化工事故成因的多维度溯源分析

2.1 基于“人-机-环-管”的成因分析框架

“人-机-环-管”四维框架是化工事故成因分析的核心体系, 各维度相互关联、相互影响, 共同构成事故发生的基础条件。人是核心因素, 主要包括操作技能不足、安全意识薄弱、违规作业、应急处置不当等, 多数事故与人员误操作直接相关。机即设备设施, 涵盖设备老化磨损、设计缺陷、维护保养不到位、安全防护装置失效等, 如反应釜密封件损坏导致物料泄漏、仪表失灵引发工况误判。环指作业环境, 包括温度、湿度、气压、通风条件、照明状况等, 恶劣环境易影响设备运行与人员操作, 如高温环境加速化学品反应失控。管即安全管

理, 涉及管理制度缺失、应急预案不完善、培训教育不足、监督检查不到位等, 是贯穿其他三维度的保障因素, 管理漏洞会放大人员、设备、环境的风险隐患。

2.2 典型事故成因深度剖析

2.2.1 案例1: 化工厂反应釜爆炸事故

精细化工企业反应釜爆炸事故造成3人死亡、设备严重损毁, 经溯源符合“人-机-环-管”多因素耦合特征。人员层面, 操作工未严格执行工艺规程, 擅自缩短物料升温时间, 且未实时监控反应釜内压力、温度参数, 发现异常后处置慌乱, 未及时启动紧急泄压装置^[2]。设备层面, 反应釜使用年限超期, 内壁腐蚀严重, 压力传感器老化失灵, 无法准确反馈工况, 且安全泄压阀未定期校验, 处于失效状态。环境层面, 生产车间通风条件差, 夏季高温导致釜内温度易失控, 且车间内未设置可燃气体检测报警装置。管理层面, 企业未建立完善的设备定期检修制度, 对操作工的工艺培训流于形式, 应急处置演练未针对性开展, 多重隐患叠加最终引发爆炸事故。

2.2.2 案例2: 储罐区泄漏中毒事故

石化企业储罐区苯泄漏中毒事故导致5人中毒昏迷, 周边环境受到污染, 成因聚焦于管理疏漏与设备隐患。人员层面, 巡检工安全意识淡薄, 未按规定佩戴防毒面具开展巡检, 且发现泄漏后未第一时间上报, 擅自尝试封堵, 导致泄漏量扩大。设备层面, 苯储罐进料管道接头因长期震动出现老化开裂, 且管道未设置泄漏检测装置, 无法及时发现微量泄漏, 同时储罐围堰防护高度不足, 泄漏苯液体溢出围堰扩散。环境层面, 事发时风力较大, 加速苯蒸气扩散, 且储罐区下风向为员工休息室, 扩大了受影响范围。管理层面, 企业未定期对储罐区管道进行全面检测, 巡检制度执行不严格, 对员工的防毒培训与应急处置培训不足, 应急预案中未明确泄漏后的疏散路线与封堵流程, 加剧了事故危害。

2.3 成因耦合效应与风险演化机制

化工事故并非单一成因独立作用的结果, 而是各维度成因相互耦合、风险逐步演化的过程, 耦合效应会放大初始隐患的危害程度。从风险演化路径来看, 初始隐患多为单一维度缺陷, 如管理层面的培训不足导致人员操作不规范, 这一人员隐患与设备层面的仪表失灵耦合时, 会引发工况误判; 若再叠加环境层面的高温高湿环境, 会加速设备故障与工艺失控, 使风险从潜在状态转化为显性隐患。当隐患突破安全防护阈值, 会引发初始事故, 如泄漏, 而泄漏事故又会与通风不良、应急处置不当等因素耦合, 进一步演化为人身中毒、火灾等次生事故。风险演化具有不可逆性, 且演化速度随耦合因素

增多而加快, 只有精准识别各成因的耦合关系, 阻断风险演化链条, 才能从源头降低事故发生概率与危害程度。

3 化工事故应急响应的时效性与有效性评估

3.1 应急响应流程分解

化工事故应急响应流程遵循“快速启动、科学处置、闭环管理”原则, 可分解为四个核心环节。一是预警与启动阶段, 通过监测设备、巡检人员发现事故征兆或确认事故后, 立即上报信息, 企业应急指挥部快速评估事态, 启动对应等级应急预案, 通知各救援小组到位。二是现场处置阶段, 救援小组开展人员搜救、伤员转运、危险化学品封堵、火源控制等工作, 同时设置警戒区域, 疏散周边人员与车辆, 防止无关人员进入危险区域。三是资源调配阶段, 根据处置需求, 协调调配应急物资、救援设备、专业队伍等, 如防毒面具、堵漏设备、消防车辆、医疗急救人员等, 保障处置工作有序开展^[3]。四是收尾评估阶段, 事故得到控制后, 开展现场清理、环境监测、事故初步调查等工作, 总结处置经验, 优化应急预案, 形成响应闭环。各环节衔接流畅是保障响应效率的关键。

3.2 响应时效性量化评估

应急响应时效性直接影响事故处置成效, 需通过量化指标进行科学评估, 核心指标涵盖四个维度。一是响应启动时间, 即从事故发生或确认到应急预案正式启动、救援队伍集结完毕的时长, 化工事故要求该时长控制在15分钟内, 爆炸、大面积泄漏等重特大事故需压缩至10分钟内。二是现场抵达时间, 救援队伍从集结点抵达事故现场的时长, 需结合企业布局与交通条件评估, 一般不超过20分钟。三是关键处置时间, 包括人员搜救完成时间、泄漏封堵时间、火源扑灭时间等, 如泄漏事故需在30分钟内完成初步封堵, 防止化学品扩散。四是资源调配时间, 应急物资、设备从储备点调至现场并投入使用的时长。通过对各指标的量化统计与分析, 可精准定位响应流程中的薄弱环节, 优化处置节奏, 提升响应效率。

3.3 响应有效性评估指标体系

应急响应有效性评估需构建多维度指标体系, 全面衡量处置工作的实际效果, 核心指标分为四大类。一是人员安全指标, 包括伤亡人数控制情况、伤员救治成功率、被困人员解救率等, 是评估的核心目标。二是事故控制指标, 涵盖事故扩大范围、次生灾害发生情况、危险化学品泄漏量控制效果等, 衡量事态遏制能力。三是资源利用指标, 包括应急物资使用率、设备完好率、救援队伍协同效率等, 评估资源配置的合理性与利用效

率。四是社会与环境影响指标,包括周边群众疏散满意度、环境污染物达标时间、社会舆情控制效果等,衡量事故对社会与生态的影响程度。通过对各指标的量化评分与综合分析,可全面总结应急响应工作的优势与不足,为预案优化与能力提升提供依据。

4 化工企业应急管理能力提升路径

4.1 预防阶段:本质安全强化

本质安全强化是化工企业事故预防的核心,从源头降低风险隐患,筑牢安全防线。企业需优化工艺设计,采用先进、安全的生产工艺,替代高风险工艺,减少危险化学品使用量与储存量,合理布局生产区域与储罐区,设置足够的安全防护距离。加强设备全生命周期管理,严格执行设备采购、安装、调试、检修、报废等流程,定期开展设备无损检测与维护保养,及时更换老化、破损设备,确保安全防护装置、检测仪表等正常运行。强化人员本质安全能力,开展常态化安全培训与技能考核,提升员工操作规范性与风险辨识能力,建立岗位安全责任制,严禁违规作业。定期开展风险评估,针对高风险环节制定专项防控措施,实现风险动态管控,从根本上遏制事故发生。

4.2 准备阶段:应急预案优化

应急预案优化是提升应急准备能力的关键,需确保预案的科学性、针对性与可操作性。企业应结合生产工艺、危险化学品特性、周边环境等实际情况,修订完善应急预案,细化不同类型事故、不同响应等级的处置流程,明确各部门、各岗位的职责分工,避免职责交叉或遗漏。加强应急物资储备管理,根据应急预案需求,足额储备防毒、堵漏、消防、急救等应急物资与设备,定期检查物资完好性与有效期,建立物资台账,实现动态补充。开展常态化应急演练,结合企业实际设置复杂场景,模拟爆炸、泄漏等典型事故,检验预案可行性、队伍实战能力与资源调配效率,演练后及时总结不足,优化预案与处置流程。加强与周边企业、消防、医疗等部门的联动,构建协同应急机制。

4.3 响应阶段:协同机制完善

完善协同机制是提升应急响应效率与效果的核心保障,需打破内部部门壁垒与外部联动障碍。企业内部应建立高效的应急指挥体系,明确指挥权限与决策流程,确保事故发生后指挥统一、指令畅通,各救援小组、各部门高效协同配合,避免各自为战。加强与外部应急力

量的协同联动,与当地消防、医疗、环保、应急管理等部门建立常态化沟通机制,签订协同应急协议,明确联动流程、资源共享方式与职责分工^[4]。搭建统一的应急信息共享平台,实现事故信息、工艺参数、救援进展等数据实时传递,为指挥决策与协同处置提供支撑。同时加强救援队伍专业化建设,组建兼职应急救援队伍,开展针对性技能培训与演练,提升队伍在复杂场景下的协同处置能力。

4.4 恢复阶段:长效机制建设

恢复阶段的长效机制建设是巩固应急处置成果、防范同类事故的重要举措,涵盖现场恢复、经验总结与体系优化。事故控制后,企业需科学开展现场清理工作,妥善处置危险废物与受污染物资,委托专业机构开展环境监测,确保各项指标达标后再恢复生产。深入开展事故调查,全面梳理事故成因、应急处置过程中的问题与不足,明确责任追究,严肃处理相关责任人。建立事故教训复盘机制,组织全员开展事故案例学习,深刻汲取教训,针对性优化安全管理制度、工艺流程与应急预案。完善员工心理疏导机制,对事故受影响人员开展心理干预,帮助其恢复正常工作与生活。通过建立长效机制,实现应急管理与安全生产的闭环优化,持续提升企业安全管理水平。

结束语

化工生产安全事故的防控与应急管理是一项长期且艰巨的任务。通过对事故成因的多维度溯源、应急响应的全面评估以及企业应急管理能力提升路径的探讨,明确了从预防到恢复各阶段的关键举措。化工企业应积极落实各项措施,强化本质安全,优化应急预案,完善协同机制,建设长效机制,不断提升安全管理水平,切实降低事故风险,保障安全生产与社会稳定。

参考文献

- [1]王桂欣.企业生产安全事故应急预案编制探讨[J].化工管理,2024,(18):117-119.
- [2]黄辉.化工安全生产管理与事故应急管理举措[J].当代化工研究,2023,(14):182-184.
- [3]李峰.智能制造在工业生产中的应用研究[J].现代制造工程,2021(9):56-58.
- [4]张明.应急管理机制优化与发展趋势[J].中国安全生产,2023(6):43-45.