

# 化工事故应急处置技术与预案优化研究

乔 戈

河南开祥精细化工有限公司 河南 三门峡 472300

**摘要:** 化工行业作为国民经济的重要支柱,其生产过程涉及大量易燃、易爆、有毒、有害物质,安全风险高,一旦发生事故,极易造成灾难性后果。高效的应急处置是控制事态、减少损失的关键防线。本文系统梳理了当前主流的化工事故应急处置技术,包括泄漏控制、火灾扑救、爆炸抑制、中毒救援及环境次生灾害防控等,并深入剖析了现有应急预案体系在实践中暴露出的目标模糊、情景缺失、联动不足、演练形式化及动态更新滞后等核心问题。在此基础上,本文提出了一套以“情景-任务-能力”(STC)模型为核心的预案优化框架,并融合了基于数字孪生的智能推演、多主体协同决策机制以及全生命周期管理理念。研究表明,通过构建精准化、智能化、协同化的现代应急管理体系,能够显著提升化工事故的响应效率与处置效能,为保障人民生命财产安全和生态环境提供坚实的理论支撑与实践路径。

**关键词:** 化工事故; 应急处置技术; 应急预案; 预案优化; 情景构建

## 引言

化工产业是现代工业基石,为多领域提供基础原料与产品,但其高风险属性使其成为安全生产重点。历史上,博帕尔毒气泄漏、天津港“8·12”等事故,以及近年频发的化工厂燃爆、危化品泄漏事件,都凸显了化工安全事故突发性强、破坏力大、连锁反应复杂、社会影响深远的特点。尽管“预防为主、防消结合”方针下,源头预防与过程控制至关重要,但“零事故”难以绝对实现。因此,构建科学高效的事故应急处置体系意义重大。应急预案是应急管理体系核心,但实践中许多企业预案存在“纸上谈兵”问题,未能有效转化为实战能力。同时,新一代信息技术发展使传统应急处置技术与管理模式面临变革机遇。如何将先进技术融入应急处置全流程,优化预案,是当前化工安全领域关键问题。本文将梳理应急处置技术,诊断预案短板,探索预案优化路径,为提升化工行业安全水平与应急能力提供参考。

## 1 化工事故的主要类型与危害特征

### 1.1 事故主要类型

化工事故可大致分为以下几类:(1) 泄漏事故:这是最常见也是最基础的事故类型,包括气体、液体或固体危险化学品的意外释放。泄漏可能由设备腐蚀、操作失误、超压、自然灾害等多种原因引发。(2) 火灾事故:由泄漏物遇点火源(明火、静电、高温表面等)引发,可分为池火、喷射火、闪火(VCE)等多种形态,燃烧速度快,热辐射强。(3) 爆炸事故:包括物理爆炸(如压力容器超压破裂)和化学爆炸(如蒸气云爆炸VCE、粉尘爆炸)。爆炸瞬间释放巨大能量,产生冲击波、碎片抛射

和剧烈震动,破坏范围广。(4) 中毒与窒息事故:有毒气体(如氯气、氨气、硫化氢)或蒸气泄漏后,通过呼吸道、皮肤等途径侵入人体,导致急性或慢性健康损害,甚至死亡。(5) 环境污染事故:事故产生的污染物进入水体、土壤或大气,造成长期的生态破坏和公共健康威胁。

### 1.2 危害特征分析

化工事故的危害呈现多维复合特性:(1) 链式反应性:单一事故极易诱发次生、衍生灾害。例如,泄漏可能导致火灾,火灾又可能引发邻近储罐的沸腾液体扩展蒸气爆炸(BLEVE),形成灾难性连锁反应。(2) 快速扩散性:气体或挥发性液体泄漏后,受气象条件(风速、风向、温度层结)影响,可在短时间内扩散至大范围区域,威胁周边社区<sup>[1]</sup>。(3) 信息不确定性:事故发生初期,现场信息往往混乱、残缺,难以准确判断物料性质、泄漏量、扩散范围等关键参数,给决策带来巨大挑战。(4) 处置专业性:不同化学品的理化性质和危险特性千差万别,要求应急处置人员具备高度的专业知识和技能,盲目施救可能适得其反。这些特征决定了化工事故应急处置必须是快速、精准、协同且高度专业化的行动。

## 2 主流化工事故应急处置技术体系

针对上述事故类型与危害,业界已发展出一套相对成熟的技术体系。

### 2.1 泄漏控制技术

应急处置首要原则是迅速切断源头,关闭上游隔离阀门或停止相关泵送设备,阻止危险物料持续外泄。切断源头后,重点进行围堵与收容,用围油栏、吸附棉、沙土等限制泄漏物料扩散,引导其流入应急收集池。针

对特定化学品,可采取针对性措施,如用化学中和剂消除毒性或腐蚀性,喷洒专用泡沫覆盖层抑制挥发。条件允许且安全时,倒罐转移是有效策略,将受损容器内剩余物料转移到备用容器,消除隐患。

## 2.2 火灾扑救技术

化工火灾扑救强调冷却抑爆与隔离灭火结合。消防力量到场后,先对着火设备及邻近受威胁的储罐或装置大量喷水冷却,防止设备因内部压力剧增或材料强度下降发生物理性爆炸,对盛装液化烃类储罐,防止沸腾液体扩展蒸气爆炸(BLEVE)至关重要。同时,用高压水幕或临时构筑防火墙建立隔离带,阻断火焰蔓延。灭火剂选择要依据燃烧物性质,如扑救水溶性易燃液体火灾用抗溶性泡沫,忌水物质用干粉或专用D类灭火剂<sup>[2]</sup>。高风险区域灭火优先采用消防机器人、移动遥控炮或高喷消防车等装备远距离、非接触式操作。

## 2.3 爆炸抑制与防护

爆炸风险防控体现在设计预防与事故临界点紧急防护。工艺和设备设计时,设置泄爆板、隔爆阀等安全附件,爆炸发生时将能量和火焰导向安全方向,或阻断爆炸在管道网络中传播。惰化保护是主动防御手段,向可能存在爆炸性混合物的容器或空间充入氮气、二氧化碳等惰性气体,降低氧气浓度,消除爆炸可能性。若监测数据或直观现象表明爆炸即将发生,立即启动最高级别人员疏散程序,利用广播、警报等系统,引导人员撤至上风向开阔安全地带或坚固掩体避险。

## 2.4 中毒与人员救援

涉及有毒物质事故中,救援人员安全是有效救援前提。进入污染区域人员必须佩戴与泄漏物危害等级匹配的个人防护装备,如自给式空气呼吸器(SCBA)和全身防护服。在上风向安全区域设洗消点和临时医疗点,对撤出人员进行快速检伤分类,按伤情轻重缓急决定救治和转运顺序。所有疑似受化学污染人员,都要在洗消点彻底冲洗,清除有害物质,防止二次伤害和交叉污染。医疗急救方面,根据中毒物质种类储备并迅速使用特效解毒药物,如氰化物中毒用亚硝酸钠-硫代硫酸钠组合解毒。

## 2.5 环境次生灾害防控

化工事故应急处置要考虑周边环境保护。物料可能进入水体时,在厂区雨水排放口、事故池出口及附近河流下游关键节点设多级拦截坝,投放活性炭、絮凝剂等吸附或沉淀污染物,防止水体污染扩散。大气环境方面,布设移动式或利用固定式气体检测网络,对下风向空气质量连续实时监测,数据是评估公众健康风险、决定是否扩

大疏散范围或调整疏散路线的核心决策支撑<sup>[3]</sup>。此外,预案要包含受污染土壤初步处置方案,明确后续挖掘、安全封存及专业修复工作的责任主体和基本流程,应对事故后长期环境治理需求。

## 3 现有应急预案体系的问题诊断

尽管法规强制要求企业编制应急预案,但在实际运行中,仍存在诸多制约其效能发挥的瓶颈。

### 3.1 预案目标与定位模糊

许多预案过于笼统,缺乏清晰、可量化的应急目标(如“黄金一小时”内控制泄漏源、将影响范围控制在厂区边界内等)。这导致在应急响应过程中,各行动小组目标不一致,资源分配缺乏优先级。

### 3.2 情景构建缺失或失真

传统预案多基于“最坏情况”假设,缺乏对事故演化路径的精细化、差异化情景构建。现实中,事故的发展受多种因素影响,呈现出多种可能的情景分支。没有覆盖这些关键情景的预案,必然会在真实事故面前显得僵化和无力。

### 3.3 多方协同联动机制薄弱

化工事故应急涉及企业内部各部门、政府应急、消防、环保、医疗、公安、交通等多个主体。现有预案往往侧重于企业内部响应,对外部联动的职责划分、信息共享、指挥协调机制描述不清,导致“联而不动”、“动而不畅”。

### 3.4 应急演练流于形式

演练常常是为了应付检查,预设脚本、走过场,缺乏“双盲”(不预告时间、不预告科目)演练和压力测试。这使得预案中的流程、通讯、装备等未经受真实考验,无法暴露深层次问题。

### 3.5 动态更新与评估机制滞后

许多企业的预案一经备案便束之高阁,未能根据工艺变更、设备更新、组织结构调整、演练复盘结果以及外部法规标准的变化进行及时修订和迭代,导致预案内容与实际情况严重脱节。

## 4 基于“情景-任务-能力”(STC)模型的预案优化框架

为破解上述难题,本文提出以“情景-任务-能力”(Scenario-Task-Capability, STC)为核心逻辑的预案优化框架。

### 4.1 核心理念阐释

(1) 情景:指基于风险辨识与脆弱性分析,构建的一系列可能发生且具有代表性的事故演化路径。每个情景都包含初始事件、关键节点、影响范围、所需资源等

要素。(2)任务:针对每一个具体情景,分解出为达成应急目标所必需执行的一系列关键行动。例如,在“大型液化烃储罐泄漏并起火”情景下,关键任务包括“启动厂级应急响应”、“冷却邻近储罐”、“建立警戒区”、“请求外部支援”等。(3)能力:指完成上述任务所需的全部资源集合,包括人员(数量、技能、资质)、装备(类型、数量、状态)、物资(灭火剂、吸附材料、药品)、通讯系统、外部协议等。该模型的精髓在于建立了从“可能发生什么”(情景)到“需要做什么”(任务),再到“能否做到”(能力)的严密逻辑链条,使预案从静态文本转变为动态的能力需求清单。

#### 4.2 优化实施路径

(1)精细化情景构建:运用HAZOP、LOPA等风险分析工具,结合历史事故数据库和专家经验,识别出N个关键事故情景。利用计算流体动力学(CFD)等模拟软件,对泄漏扩散、火灾热辐射、爆炸超压等进行量化模拟,使情景描述更加科学、精准。(2)任务分解与映射:为每个情景绘制详细的应急响应流程图(Emergency Response Flowchart),明确各时间节点、各岗位的具体任务、决策点及信息流。(3)能力缺口分析:对照任务清单,全面盘点现有应急资源,识别能力缺口(如缺少某种特种灭火剂、缺乏专业的堵漏队伍等)。(4)能力提升与资源整合:通过内部培训、装备采购、签订互助协议(如区域联防)、与政府专业救援力量对接等方式,弥补能力缺口,确保“任务有对应能力支撑”<sup>[4]</sup>。(5)预案文档重构:将传统的章节式预案,重构为以情景为索引的模块化预案库。在应急指挥中心,可根据接报的初步信息,快速匹配到最相似的情景模块,调取对应的响应方案。

### 5 融合智能技术的预案赋能策略

#### 5.1 基于数字孪生的智能推演与辅助决策

构建化工园区或重点装置的数字孪生体,集成实时物联网(IoT)数据(压力、温度、液位、气体浓度)、三维地理信息、气象预报、应急预案等多源信息。在事故发生时,系统可自动匹配情景,模拟事故未来N分钟的演化趋势,并在数字空间中推演不同处置方案的效果,为指挥员提供最优决策建议,实现从“经验驱动”向“数据+模型驱动”的转变。

#### 5.2 构建多主体协同的应急指挥平台

开发统一的应急指挥信息系统(ICS),打破信息孤

岛。该平台应能实现:(1)一键报警与信息自动推送:事故信息自动同步至所有相关方。(2)资源可视化调度:实时显示内外部应急资源的位置、状态,支持在线调度指令下达。(3)多方音视频会商:保障指挥中心、现场指挥部、外部支援单位之间的高效沟通。(4)电子化任务分发与跟踪:将预案中的任务自动分发给责任人,并跟踪完成状态。

#### 5.3 全生命周期管理与动态更新

建立预案的电子化管理档案,将其纳入企业的变更管理(MOC)流程。当发生任何可能影响应急响应的变更时(如新上马一套装置),系统自动触发预案评审与更新流程。同时,每次演练或真实事件后的复盘报告,都应作为输入,驱动预案的持续改进,形成PDCA(计划-实施-检查-改进)闭环。

### 6 结语

化工事故应急处置是一项复杂的系统工程,其效能直接关系到事故后果的严重程度。本文通过系统分析,揭示了当前应急处置技术体系的构成与现有应急预案的普遍性缺陷。在此基础上,提出的以“情景-任务-能力”(STC)模型为核心的优化框架,为预案从“有”到“优”、从“文本”到“能力”的转变提供了清晰的路径。特别是,通过深度融合数字孪生、大数据、协同通信等智能技术,能够构建一个感知更敏锐、研判更精准、响应更协同、进化更敏捷的现代化应急管理体系。未来的研究与实践应进一步聚焦于:一是深化AI在事故早期预警与态势智能研判中的应用;二是探索基于区块链技术的应急资源共享与信任机制;三是加强跨区域、跨行业的巨灾情景下的应急协同能力建设。唯有不断创新与完善,才能真正筑牢化工安全的最后一道防线,为高质量发展保驾护航。

#### 参考文献

- [1]李彦.化工安全事故的预防与应急处理研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(22):66-68.
- [2]高田.化工企业生产安全管理与事故应急管理措施分析[J].化工管理,2025,(36):91-94+122.
- [3]刘阳.化工安全技术与事故应急措施探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(23):85-87.
- [4]段波涛.化工企业安全生产事故应急处置流程及优化路径[J].化纤与纺织技术,2025,54(11):138-140.