

化工生产中安全风险与环保问题耦合分析及应对策略

周帅帅

淮北市星光新材料科技有限公司 安徽 淮北 235000

摘要: 化工生产安全风险与环保问题存在显著耦合特性, 两类风险相互传导、叠加放大, 易引发复合型事故。本文界定耦合风险核心概念与特征, 剖析物质、工艺设备、管理三大耦合机理, 梳理事故型、常态型、整改型耦合表现, 指出当前治理理念片面、风险辨识不足等核心问题, 从理念、预警、管控、应急四个维度提出协同应对策略, 为化工企业防控复合型风险、实现安全环保一体化发展提供参考。

关键词: 化工生产; 安全风险; 环保问题耦合; 应对策略

引言: 化工行业工艺复杂、高危物料集中, 生产过程兼具安全事故高发与环境污染易发性特点。在行业绿色安全高质量发展背景下, 单一安全或环保管控模式已无法适配生产需求, 安全与环保风险耦合引发的连锁灾害事故频发, 造成严重安全损失与生态破坏。现阶段多数企业存在风险割裂治理问题, 耦合隐患防控存在诸多短板。基于此, 本文深入探究化工生产安全环保耦合机理, 针对性制定协同治理策略, 助力行业筑牢安全生产与生态环保双重防线。

1 化工生产安全风险与环保问题耦合核心理论

1.1 核心概念界定

(1) 化工生产安全风险: 指化工原料、生产工艺、设备运行、人员操作、管理制度等环节存在的, 易引发火灾、爆炸、泄漏、中毒等安全事故的潜在隐患。其本质是生产系统中人一机一环一管各要素失衡所导致的故事可能性与严重程度的综合表征。(2) 化工生产环保问题: 指生产过程中产生的废气、废水、固废、噪声、异味, 以及突发事故引发的污染物扩散、土壤水体大气污染等环境破坏问题。环保问题不仅影响厂区及周边生态环境质量, 还可能通过累积效应形成长期区域性环境压力^[1]。(3) 安全-环保耦合风险: 指化工生产中安全隐患与环保隐患相互关联、相互诱发、叠加放大, 形成的复合型、连锁型风险。其本质是安全系统与环保系统交叉作用产生的新增风险形态, 具备风险传导性、多级放大性和治理联动性等核心特征, 其风险水平往往大于两类风险简单相加之和。

1.2 耦合风险主要特征

(1) 关联性与传导性: 安全隐患可诱发环境污染事故, 环保治理不当也会反向引发安全事故, 风险可在生

产装置、储存设施、污染防治设施及外围环境系统之间双向传导, 形成风险溢出效应。(2) 叠加性与放大性: 单一小概率隐患可通过耦合效应升级为重大安全环保事故, 风险危害范围、损失程度及应急处置难度均大幅提升, 产生“1+1>2”的非线性放大后果。(3) 隐蔽性与突发性: 耦合隐患潜伏期长, 早期征兆微弱, 日常单专业排查易被忽视; 在工况波动、操作失误、极端天气等诱因作用下可突然爆发, 给预警防控带来极大困难。

1.3 化工生产风险耦合基本类型

(1) 安全风险诱发环保风险: 如设备腐蚀泄漏、反应失控爆炸等安全事故, 导致有毒有害物质大量外泄, 引发大气污染、水体污染及土壤污染等次生环境灾害。(2) 环保治理诱发安全风险: 如废气吸收塔失效、废水处理池违规动火作业、固废危废超量堆积、环保设施改造施工不规范等, 直接或间接引发燃爆、中毒、窒息等安全事故。(3) 双向交叉耦合风险: 生产系统安全隐患与环保系统隐患相互交织、交替诱发, 形成“安全事故→环境污染→治理过程次生安全风险→二次污染”的多米诺式风险闭环, 构成多维复合型风险场^[2]。

2 化工生产安全风险与环保问题耦合机理及现存问题分析

2.1 安全-环保风险耦合形成机理

(1) 物质层面耦合: 化工原辅材料、中间体、产品及废弃物多为易燃易爆、有毒有害物质, 其危险化学属性既是火灾、爆炸、中毒等安全事故的直接致因, 也是大气、水体、土壤污染的核心载体。物质层面的双重属性决定了安全风险与环保风险在源头处即存在天然耦合性, 任何物质失控行为均可能同时触发安全与环保双重灾害。(2) 工艺设备层面耦合: 现代

化工生产以连续化、密闭化、高温高压为基本特征,工艺系统与环保设施高度集成运行。当设备老化、腐蚀减薄、参数失控等安全问题时,不仅威胁生产装置本身安全,还会导致污染物无序排放、超标排放;反之,环保处理设备故障(如吸收塔循环中断、焚烧炉熄火、除尘器失效)会倒逼生产工况被动调整,进而诱发温度、压力异常等安全隐患,形成工艺-环保联动风险链^[3]。(3)管理体系层面耦合:多数企业将安全管理和环保管理分属不同部门,采用独立制度体系运行,导致管控标准不统一、风险数据不互通、隐患排查不联动。安全巡检忽视环保设施隐患,环保监测忽略安全风险征兆,责任界面存在交叉盲区,在双重监管的灰色地带,耦合风险持续累积直至爆发。

2.2 化工生产耦合风险典型表现形式

(1)事故型耦合:由突发安全事故引发次生环境污染的典型模式。如储罐爆炸导致大量化学品瞬间释放形成有毒烟羽,管道破裂致使高危液体渗入地下含水层,此类事故通常具有瞬时高强度、污染范围广、生态修复周期长的显著特征,是耦合风险最剧烈、社会影响最大的表现形式。(2)常态型耦合:在日常生产工况下,不规范操作、阀门密封失效、换热器内漏等低级别隐患持续存在,长期形成“跑冒滴漏”式的微量污染排放;这些污染物在设备基础、管廊支架、下水道系统中逐渐累积,产生腐蚀加速、堵塞加剧、换热效率衰减等负面效应,不断衍生出新的设备劣化和工况恶化问题,形成慢性的双向互促循环。(3)整改型耦合:企业在实施安全整改或环保提标改造过程中,因整改方案未充分论证交叉风险、施工作业管理不规范、临时连接与旁路措施考虑不周,往往在治理某一类风险的过程中意外触发新的安全事件或环保次生污染,陷入“治理—衍生新风险—再治理”的被动循环。

2.3 当前化工耦合风险治理现存核心问题

(1)治理理念片面:多数企业将安全与环保视为互不相关的独立事务,普遍存在“重安全防事故、轻环保慢治理”或“重排放指标达标、轻系统风险防控”的认知偏向,未能将二者纳入统一的系统性治理框架,治理思维呈现明显的单一化、碎片化特征。(2)风险辨识能力不足:现行的HAZOP分析、JSA分析、隐患排查清单等主要面向单一类型风险设计,缺少耦合风险识别的方法论支撑和专用工具,风险评估停留于线性叠加思维,难以捕捉隐患之间的非线性关联与链式放大效应,大量潜伏期长的耦合隐患无法被提前发现。(3)管控体系不完善:安全与环保

两套管控机制在制度规范、监测网络、预警指标、应急流程等方面各自独立运行,跨部门信息壁垒严重,异常工况下无法实现联合研判和协同响应,系统性抵御复合型事故的整体能力存在明显短板。(4)人员专业能力欠缺:一线操作人员、车间管理人员及专职安全环保人员普遍缺乏跨领域复合知识,对“安全如何传导至环保、环保如何反向影响安全”的内在规律认知不足,在巡检研判、异常诊断和初始处置中难以有效识别耦合前兆信号,丧失了宝贵的早期干预时机。

3 化工生产安全与环保耦合风险协同应对策略

3.1 树立安全环保一体化治理理念

(1)强化企业主体责任,将安全防控与环保治理纳入企业核心发展体系和战略决策框架,摒弃单一化、碎片化治理思维,确立安全环保同规划、同部署、同推进、同考核的协同治理导向。企业主要负责人应亲自推动耦合风险治理工作,从顶层设计上将安全与环保作为统一的系统工程来抓,避免“两张皮”现象。(2)常态化开展全员安全环保耦合风险专项培训,将耦合风险认知纳入新员工入职教育、岗位技能提升及管理人员晋升培训体系。培训内容应系统覆盖风险传导路径、叠加放大机理、典型案例剖析及异常工况联合处置方法,使全员充分认知双向风险的客观规律,切实提升协同防控意识和主动发现能力,实现从“被动应对”向“主动防控”的根本转变。(3)构建安全环保协同文化,通过设立“安全环保双达标”标杆班组、开展耦合风险合理化建议征集等活动,营造“人人关注耦合、处处防范风险”的企业文化氛围,将协同治理理念内化为全体员工的自觉行为准则。

3.2 构建全方位耦合风险辨识与预警体系

(1)完善风险辨识机制,以危险与可操作性分析、作业条件危险性评价等系统化方法为基础,针对化工生产全流程、全工位、全时段,开展安全-环保耦合隐患拉网式排查。重点辨识物质交界界面、工艺切换节点、环保设施接入点等高风险环节,逐项识别安全与环保风险的交叉作用路径,建立动态更新的耦合风险台账,按照风险等级实施差异化分级分类管控^[4]。(2)搭建智能化耦合风险预警平台,深度融合生产设备运行参数、DCS控制数据、可燃有毒气体监测数据、污染物排放在线监测数据及气象环境数据,构建多维数据融合分析模型。运用大数据挖掘和机器学习算法,自动识别异常关联模式,实现耦合风险的实时监测、趋势研判、超前预警和精准推送,确保预警信息直达相关岗位和管理人员,为科学决策提供数据支撑。(3)建立耦合风险动态评估制

度,定期对生产工艺变更、设备更新改造、环保设施提标等变动进行专项耦合风险评估,及时更新风险清单和管控措施,确保风险辨识始终与生产实际保持同步,杜绝因变更管理不到位而引入新的耦合风险点。

3.3 健全安全环保协同管控管理制度

(1) 优化管理制度体系,系统梳理现行安全管理制度与环保管理制度在管控标准、执行流程、验收要求等方面的差异,制定统一协调的耦合风险管控标准。整合隐患排查治理、现场作业管理、工况参数管控等核心环节的制度要求,消除标准冲突和管控盲区,实现安全与环保管理制度的有效衔接和深度融合。(2) 建立跨部门协同工作机制,打破安全管理部门、环保管理部门与生产运维部门之间的信息壁垒,建立隐患互通、整改联动、联合巡检的常态化协同工作模式。设立安全环保一体化调度中心,明确协同管理流程和责任界面,确保耦合隐患发现、上报、评估、处置、验收的全流程闭环管理,杜绝推诿扯皮和监管真空。(3) 完善考核监督机制,将耦合风险防控实效——包括耦合隐患发现率、整改完成率、预警响应时效等核心指标——纳入各级部门和人员的绩效考核体系。建立耦合风险管控督查机制,定期开展协同管理效能评估,对因管控不力导致耦合事故的,严格倒查管理责任,形成正向激励与反向约束并重的责任闭环。

3.4 优化耦合风险应急处置体系

(1) 修订完善复合型事故应急预案,在现有安全事故应急预案和环境污染事故应急预案基础上,系统梳理安全诱发环保、环保诱发安全、双维同时爆发等各类耦合事故情景,制定专项应急处置流程。明确耦合事故状态下工艺处置、消防救援、环境监测、污染拦截、人员疏散等各环节的协同处置程序和分工职责,确保应急预案的针对性和可操作性。(2) 常态化开展耦合事故综合应急演练,每年度至少组织一次涉及安全、环保、生产、消防多部门联动的复合型事故实战演练,重点检验

应急响应速度、信息传递效率、联合处置能力和污染扩散控制效果。演练结束后开展系统评估,及时修订预案缺陷,确保应急体系始终保持激活状态,工作人员熟练掌握复合型事故的快速处置和协同救援技能^[5]。(3) 配备适配复合型事故的应急物资装备,在常规消防灭火、堵漏抢险器材基础上,增配污染物围堵吸附材料、便携式多因子环境监测设备、应急中和处置药剂等环保应急物资。建立应急物资动态储备和快速调配机制,确保耦合事故发生后安全事故救援与环境污染应急处置同步推进,最大限度降低事故叠加损失。同时加强应急装备的日常维护保养和操作培训,确保关键物资随时可用、操作人员熟练使用。

结束语

综上所述,化工生产安全与环保风险耦合具备隐蔽性、传导性和放大性,是行业风险防控的重点与难点。安全与环保治理并非相互独立,而是深度绑定、相辅相成的整体。本文通过分析耦合风险的形成机理与现存治理问题,构建了全方位的协同防控体系。未来化工企业需持续深化一体化治理理念,动态优化风险管控与应急机制,精准化解耦合风险,推动化工行业安全、绿色、可持续发展。

参考文献

- [1] 刘畅,赵江平. 化工生产安全与环境风险耦合特征及演化路径分析 [J]. 环境工程学报,2024,18(02):652-661.
- [2] 陈晨,杨世林. 化工企业安全环保耦合风险识别与管控策略 [J]. 安全与环境学报,2022,22(08):1125-1131.
- [3] 周磊,吴凯. 精细化工生产过程安全-环境耦合风险评估研究 [J]. 化工进展,2023,42(11):5890-5898.
- [4] 李明远,王浩宇. 化工生产安全与环保风险耦合问题及综合治理策略 [J]. 化工安全与环境,2025,38(09):36-39.
- [5] 张鑫,孙丽娟. 新时期化工企业安全环保耦合风险防控体系构建 [J]. 现代化工,2024,44(07):210-214.