

危险化学品事故次生环境污染的应急防控体系研究

王逵 邱娟娟 刘凯

山东省固体废物和危险化学品污染防治中心

DOI:10.32629/eep.v9i1.3039

[摘要] 本研究针对山东省危险化学品事故次生环境污染防控中存在的监测数据滞后、跨部门协同低效及低温重金属废水处置技术不足等问题,构建“省级技术中枢牵引、统一数据总线支撑、闭环流程驱动”的应急防控体系。通过整合预警、响应、处置、恢复四环节,设计便携式GC-MS与PID联用的监测快筛装备链、移动式混凝沉淀一体化处置工艺,建立联络官值守与前置仓联动机制,实现监测研判指令的可追溯闭环。模拟验证表明,该体系使应急响应时间由45分钟压缩至20分钟,污染物控制效率由70%提升至92%,跨部门数据同步延迟由10分钟降至3分钟,为危化事故次生环境污染防控提供可复制的技术方案与制度模板。

[关键词] 闭环防控; 统一数据总线; 便携式监测; 重金属废水处置; 跨部门协同

中图分类号: X703 **文献标识码:** A

Research on the Emergency Prevention and Control System for Secondary Environmental Pollution from Hazardous Chemicals Accidents

Kui Wang Juanjuan Qiu Kai Liu

Shandong Solid Waste and Hazardous Chemicals Pollution Prevention and Control Center

[Abstract] This study addresses issues in the prevention and control of secondary environmental pollution from hazardous chemical accidents in Shandong Province, such as delayed monitoring data, inefficient cross-departmental collaboration, and insufficient low-temperature heavy metal wastewater treatment technologies. A "provincial-level technical center guidance, unified data bus support, and closed-loop process drive" emergency prevention and control system is proposed. By integrating four key stages—early warning, response, disposal, and recovery—the study designs a portable GC-MS and PID combination monitoring screening equipment chain and a mobile integrated coagulation-precipitation wastewater treatment process. Additionally, a liaison officer duty and forward storage linkage mechanism is established to ensure the traceability of monitoring, assessment, and directive processes. Simulation verification shows that this system reduces emergency response time from 45 minutes to 20 minutes, increases pollutant control efficiency from 70% to 92%, and reduces cross-departmental data synchronization delay from 10 minutes to 3 minutes. This provides a replicable technical solution and institutional model for preventing and controlling secondary environmental pollution from hazardous chemical accidents.

[Key words] Closed-loop control; Unified data bus; Portable monitoring; Heavy metal wastewater treatment; Cross-departmental collaboration.

引言

危险化学品事故常诱发空气、水体与土壤的跨介质污染,苯系物与重金属的复合迁移对快速识别和应急处置提出严峻挑战。山东省作为危化品生产储运密集区域,现有防控体系存在监测到指令的闭环管控断裂、跨部门数据标准不一、高浓度含镉废水低温快速处置装备短缺等瓶颈,制约了指挥校核与源头控制的协同效率。基于此,本文以省级技术中枢为牵引,面向预警、

响应、处置与恢复全流程,构建闭环防控框架与装备配置策略,通过统一数据总线打通信息孤岛,强化仪器测值直连与任务单元固化,并在典型情境中开展流程回放与量化评估,以期为危化事故次生环境污染防控提供系统解决方案。

1 危险化学品事故次生环境污染应急防控现状与问题分析

1.1 山东省危险化学品事故次生环境污染应急防控现状

山东省2018-2022年危化事故次生环境污染年均发生3.2起,具有低频高不确定性的特点。事件类型以物料泄漏为主,占65%;火灾爆炸引发外逸占25%;其余如运输散落等占10%。污染物谱系中苯系物在VOCs中占比40%,重金属占20%,以镉和铅为重点,同时存在酸碱中和副产盐类与含氯有机物,呈现复合污染特性。对照区域风险与资源结构,优先形成以泄漏场景和苯系物识别为核心的应急监测布局,为后续流程优化提供依据。

1.2 现有防控体系存在的关键问题

山东省危化事故处置场景显示,现有防控体系在链路完整性与技术适配性方面存在短板。应急响应流程缺乏闭环管控(监测、研判、指令与校核构成的回路),现场监测数据经人工与多平台流转导致平均延迟约10min,反馈滞后影响指令校正。跨部门信息共享覆盖度与一致性不足,生态环境、应急管理及消防等单位共享率仅60%,数据标准不一、接口权限分割与网络隔离造成风险图谱割裂。特定污染物快速处置技术储备不足,如含镉废水在高浓度、低气温条件下需可移动一体化工艺,现有沉淀与吸附设备难以匹配现场流量波动,相关操作规程与备件清单尚未形成可直接下发的工艺包^[1]。

2 危险化学品事故次生环境污染应急防控体系构建

2.1 防控体系的总体框架设计

鉴于山东省危化品生产储运密集、事故易引发跨介质迁移的情境,本研究以山东省固废和危化品污防中心为技术中枢,围绕预警、响应、处置、恢复四环节整合多部门资源,构建闭环防控框架。响应环节依靠应急管理部门完成指挥体系激活与力量调派,生态环境部门同步发布监测布控清单,消防救援负责现场隔离、通风稀释与源头切断,属地政府组织交通疏导与人员转移。处置环节由山东省固废和危化品污防中心提供污染物识别、控制策略与技术路线,生态环境部门开展空气、水体与土壤的快速监测与溯源判定,消防救援实施工艺封堵、泡沫抑制与收集转运,形成监测评估与处置工法的迭代闭合。恢复环节在污染物浓度回落至管控目标后开展生态修复、固体废物规范处置与健康风险告知,同时把事故数据、装备消耗与流程节点绩效回灌至省级平台,用于预案修订、能力建设和协同机制优化,形成常态减灾与应急管理之间的良性循环^[2]。

2.2 关键防控技术与装备配置

鉴于山东省事故中苯系物与镉类重金属出现频次较高,本研究以监测快筛、源头拦截以及现场处置三类装备群的构成为配置主线,形成省级统筹与地市前置协同的储备格局,并将装备与调度机制协同设计,以缩短响应链路。监测快筛方面,选用便携式GC-MS8台面向苯、甲苯与二甲苯进行确证,配合手持式光离子化检测仪开展走航巡测,以便对高浓度区与边界区进行快速划界,同时配置便携式XRF完成镉、铅等重金属的土壤与沉积物筛查,并辅以多参数水质仪和微型气象站,把色谱确证、轨迹推断与动态布点进行联动支撑。源头拦截与现场处置方面,围绕厂界雨水口与下游微型水体,配置充气式围油栏、吸附棉与活性炭,把污染羽流进行圈控与削减;针对含镉废水,储备重金属整合剂

5t以及移动式混凝沉淀一体机,以形成药剂整合与快速固液分离的处置路径。调度方面,构建山东省固废和危化品污防中心—中心两级模式,16地市建立前置仓,接警触发数字化清单、定位与路径规划联动,力求把装备调度时间控制在10min以内,市县先遣包按5min装车出动规则执行,并以台账、定检周期与二维码追踪把可用性与合规转运纳入闭环管理。

2.3 跨部门协同应急机制建立

鉴于危险化学品事故现场多主体协同、信息源分散的特点,本研究构建省级统筹、地市联动、现场一体的跨部门协同体系。依托省应急管理平台搭建统一数据总线,设定事件编码、时间戳、坐标、污染物形态、监测数值、处置需求等标准字段,统一坐标系与单位制,配置消息优先级与回执规则,实现关键警情与监测数据5分钟内跨部门双向传递。协同主体涵盖生态环境、消防救援、公安交警、交通运输、卫健、水利与气象等部门,将数据责任、接口规范与值守要求落实到岗位时段,形成可追溯责任链^[3]。流程以接警建档为起点,平台自动推送至各成员单位,联络官进驻联合指挥部会商,山东省固废和危化品污防中心输出污染物识别、扩散模拟、布点方案与处置建议;消防救援实施堵漏稀释,生态环境开展溯源监测,公安交警组织交通疏导,水利管控闸门取水口,卫健发布防护指引,信息滚动更新至恢复阶段。机制设置联络官制度与24小时联合值守,建立省市县三级会商与指令传递链路,形成标准化作业卡与任务清单;山东省固废和危化品污防中心维护污染物数据库、处置工艺库与监测方案库,组织技术研判与专家会商,统筹装备试剂调用,规范采样投加与暂存转运操作,持续标注技术支持状态以便调度与复盘。

3 应急防控体系的效果评估与优化建议

3.1 防控体系的模拟验证与效果评估

于山东省危化事故处置需把监测、研判与处置闭合起来,本研究选取2023年某储运企业装卸鹤管法兰泄漏诱发苯外逸场景,构建流程回放与指标对照的评估路径。进一步观察发现,把事故全过程的时间戳、监测时序与调度轨迹进行串联,可形成可复核的基线序列,用以与构建后的闭环体系进行并行比对。需重点关注的是,响应时效与污染物控制效率被设置为核心绩效指标,辅以跨部门数据同步延迟、监测布点覆盖度与溢散边界稳定时间等辅助指标,从应急链路与环境风险双重维度刻画体系效能。由此推导,借助统一数据总线、联络官值守与前置仓联动开展的数字化推演,再叠加便携式GC-MS确证、PID走航与微气象场反演等证据链,可以把指令回路压缩与源头拦截效率提升的协同效应进行量化表达,如表1所示。对比基线,响应时间由45min降至20min,控制效率由70%提升至92%,同时跨部门同步延迟由10min缩短至3min,这些对比值用于界定体系在时效与控制能力上的增量效应,并把优化焦点收敛至数据回传与现场处置耦合环节。控制效率的计算采用统一口径,在厂界下风向3个点按时间窗口取均值,再以下述公式换算为百分量纲,从而减少气象扰动对判读的影响。对照过程中把报警触发、装备出库、抵达

与布控完成四个节点作为时序锚点,以保证不同体系下时间指标的 comparability。

$$\eta = \frac{C_{\text{before}} - C_{\text{after}}}{C_{\text{before}}} \times 100\% \quad (1)$$

其中, η 表示污染物控制效率,单位为%, C_{before} 为处理前

浓度,单位为 mg/m^3 , C_{after} 为处理后浓度,单位为 mg/m^3 。

表1 山东省某苯泄漏事故防控体系应用效果对比表

指标	基线体系	构建体系	指标说明	数据来源
应急响应时间	45min	20min	从报警到先遣力量到场	指挥平台时间戳
污染物控制效率	70%	92%	下风向3点按公式2计算并取均值	便携式GC-MS与PID测值
跨部门数据同步延迟	10min	3min	监测数据至联合指挥部的平均延迟	统一数据总线日志
监测布点覆盖度	65%	85%	相对监测布控清单的到位率	现场布点记录与平台对账
溢散边界稳定时间	60min	25min	圈控后下风向等浓度线波动小于10%所需时间	走航监测与微气象反演

3.2 基于评估结果的体系优化

鉴于评估环节呈现的数据回传耦合偏弱与重金属水体处置适配性不足,本研究把指挥闭环与现场工法两端同步优化。指挥侧依靠统一数据总线扩展仪器直连,把便携式GC-MS、PID和多数水质仪测值按标准字段自动入库,并把预警分级、布点建议与处置路径固化为平台任务单元,使报警、派单、物资出库、到场与回执构成可追溯时序链^[4]。考虑到风场突变对布控效率的扰动,联动微气象站馈送对监测布点进行动态调整,同时把联络官值守、双向回执与时间戳校核纳入常态运行,从而把监测、研判与指令在同一平台内闭合。

针对含镉废水的处置短板,选用低温适配的车载式快速处理装备新增储备2台,构建螯合混凝、快速沉降与精密过滤顺序耦合的单元流程,并把加药曲线、停留时间与污泥暂存规范集成为可下发工艺包。装备前置在济南与淄博前置仓,配套螯合剂和滤料的最低库存阈值管控,以便在低温和流量波动场景下把处理能力稳定输出^[5]。

3.3 山东省应用案例的推广价值分析

鉴于山东省危化品生产储运密集且事故呈跨介质迁移特性,本研究归纳的闭环防控框架与协同运行机制具有可推广价值。框

架把预警、响应、处置、恢复4个环节在同一技术中枢下串联,借助统一数据总线、仪器直连和任务单元固化,把监测、研判、指令以及校核连成可追溯链路;联络官值守与前置仓联动把信息流、物流以及作业流整合为快速回路。协同机制以省级统筹、地市联动和现场一体推进来运行,明确标准字段、授权等级与回执规则,从组织与数据双维度稳定跨部门协同,使多主体在统一坐标系与时间戳下开展分工协作。

从推广路径来看,长江三角洲典型化工园区、渤海沿岸港口危化仓储带以及珠三角高密度物流走廊与山东的风险结构相近,可以把技术中枢、数据总线、前置仓以及工艺包作为4个可复制模块进行落地。需重点关注的是,地域气候与水文差异会影响现场工法匹配,应把低温重金属废水快速处置单元、微气象联动布点以及水利阀门管控纳入区域化适配清单,同时把季度联合演练、专家会商与装备定检构建为制度化保障^[6]。

4 结语

本文通过闭环防控体系的构建与验证,证实省级技术中枢牵引下的统一数据总线与装备联动机制能够显著压缩应急响应链路、提升污染控制效能。研究形成的监测快筛、源头拦截与现场处置成套技术,以及联络官值守、前置仓调度等制度设计,已在苯泄漏模拟情境中实现响应时效与控制能力双重优化。针对含镉废水处置短板提出的车载式低温快速处理单元与可下发工艺包,进一步强化了现场工法的区域适配性。

【参考文献】

- [1]赵军,文蓬涛,彭贵,等.1988—2023年新疆危险化学品事故分析研究[J].中国安全生产科学技术,2025,21(01):153-160.
- [2]曾祥锐.危险化学品安全生产事故应急救援处置对策[J].化工管理,2023,(32):111-114.
- [3]王川.危险化学品安全管控与应急救援[J].山东化工,2023,52(12):223-225.
- [4]谢晓辉,刘松荣,杨松,等.隧道内危险化学品事故特性分析及管控措施研究[J].现代隧道技术,2022,59(S1):698-704.
- [5]施展.危险化学品企业安全生产的管理策略[J].化工管理,2022,(24):93-96.
- [6]刘伟.2019—2022年工贸企业危险化学品使用事故分析及防范措施[J].化工管理,2023,(36):117-121.

作者简介:

王逵(1986—),男,汉族,山东济南人,硕士研究生,高级工程师,研究方向:环境保护、环境污染防治。