

# 突发污染事件应急环境监测处置策略

王无忌 吴梦

云南坤发环境科技有限公司, 中国·云南 昆明 650034

**摘要:** 突发环境事件频发对传统监测以及响应体系提出严峻考验, 特别在污染物类型多元、扩散机制繁复及复合污染交织的背景下, 应急处置面对识别滞后、溯源困难与协同低效等瓶颈。为此, 本研究系统解析水体以及大气突发污染的演化特征, 融合物联网、无人机与卫星遥感等多源数据, 建立依据物理约束神经网络以及图卷积模型的动态模拟框架, 实现污染扩散分钟级推演; 借助 ERDS-3.0 系统集成四维变分同化与风险双触发机制, 改良“三区三线”布点方针和多介质同步采样技术, 增进监测时空分辨率以及响应精准度; 更深一步融合智能协同平台推进源头拦截、受体分级保护与跨部门联动, 形成从态势感知到决策执行的闭环管理体系。结果表明, 该体系明显缩短预警延迟, 强化了应急响应的科学性以及协同效能。

**关键词:** 突发污染事件; 应急环境监测; 污染扩散模拟; 风险动态评估; 协同处置优化

## Emergency Environmental Monitoring and Response Strategies for Sudden Pollution Incidents

Wang Wuji, Wu Meng

Yunnan Kunfa Environmental Technology Co., Ltd., China Yunnan Kunming 650034

**Abstract:** Frequent sudden environmental incidents pose severe challenges to traditional monitoring and response systems. Especially against the backdrop of diverse pollutant types, complex diffusion mechanisms and intertwined composite pollution, emergency disposal is confronted with bottlenecks including delayed identification, difficult source tracing and inefficient collaboration. Therefore, this study systematically analyzes the evolution characteristics of sudden water and atmospheric pollution. By integrating multi-source data such as the Internet of Things, unmanned aerial vehicles and satellite remote sensing, it constructs a dynamic simulation framework based on physically constrained neural networks and graph convolutional models to realize minute-level deduction of pollution diffusion. With the ERDS-3.0 system integrating four-dimensional variational data assimilation and dual risk triggering mechanisms, this research optimizes the site layout principle of "three zones and three lines" and multi-medium synchronous sampling technology, so as to improve the spatiotemporal resolution of monitoring and the accuracy of response. Furthermore, an intelligent collaborative platform is adopted to promote source interception, hierarchical receptor protection and cross-departmental coordination, forming a closed-loop management system covering situation perception to decision implementation. The results show that the proposed system can significantly reduce early warning delay and enhance the scientificity and collaborative efficiency of emergency response.

**Keywords:** Sudden pollution incidents; Emergency environmental monitoring; Pollution diffusion simulation; Dynamic risk assessment; Collaborative disposal optimization

## 0 引言

突发污染事件的频发态势暴露出环境监测体系在响应速度、技术协同与决策支持方面的深层短板, 水体与大气污染的复合性、瞬时性特征使得传统监测手段比较难捕捉污染物迁移转化的动态过程, 应急布点滞后、多介质采样不同步、现场快检数据法律效力不足等问题持续困扰一线处置行动, 现有预警机制虽已引入动态风险评估模型但受

限于监测网络覆盖密度以及数据同化能力致使预测精度不稳定, 智能协同系统的发展为多部门联动给出了技术可能却因信息孤岛和接口异构问题削弱了实际响应能力<sup>[1]</sup>。

## 1 突发污染事件的类型与特征识别

### 1.1 水体突发污染事件的主要表现形式

水体突发污染事件的表现形式表现人为主导的明显特征, 有毒化学品的泄漏入河构成了最常见事故类型, 其

涉及苯系物、有机磷等高毒物质大多引发快速扩散, 危险废物的非法倾倒则多见于湖泊水库区域, 该类事件常伴随砷、铬等重金属及强酸碱介质的释放造成持久性生态损害, 生产废水的意外直排或溢流一般以及管网破裂或极端天气关联, 致使酚氰化合物及重金属离子在短期内大量进入受纳水体, 油品运输事故虽发生频次较低, 但总石油烃与多环芳烃的泄漏对江河流域构成严重威胁, 面源污染的剧毒农药集中汇入作为偶发性事件, 其有机磷或氨基甲酸酯类污染物经暴雨冲刷产生的急性毒性效应不能忽视。

## 1.2 大气突发污染事件的典型特征

大气突发污染事件的空间扩散呈现出一种难以预料的紧迫性, 大部分事件能在短时间内形成广阔的污染羽流, 气象条件特别是风向风速主导着这种扩散行为, 污染物的组分复杂性构成了应急监测的重点考验, 单一高毒物质污染的比例有所下降, 多种污染物复合污染变成主要形态, 这要求现场监测设备必须具备快速定性与初步定量分析的能力, 时间的突发性特征极为明显, 从事故发生到浓度到了峰值总是仅有数分钟间隔, 留给应急响应的窗口期非常短暂, 溯源工作受到多源排放叠加与繁复气象场的影响而变得困难, 健康危害阈值则表现出剧烈的突变性, 某些急性毒性物质在极短暴露窗口内即可到了半数致死浓度, 传统依据质量浓度的响应形式可能无法匹配实际的毒性风险, 监测网络的包含盲区以及设备能力的不足更深一步制约了响应的时效以及精准度<sup>[2]</sup>。

## 2 应急环境监测的关键技术路径

### 2.1 快速响应式监测布点策略

应急监测布点需依据实时环境参数动态建立。在获取风向流速等现场数据后, 依据“三区三线”原则迅速划定污染、警戒以及对照区域, 并沿上、下及侧向布设监测点位, 保证空间包含的科学性以及代表性。对于跨区域水污染事件, 融合上下游断面梯度与智能浮标网格实现多维追踪; 大气污染则依赖无人机蜂群协同扩散模型生成三维布点云, 加强垂直方向识别精度。所有布点方案须经 GIS 平台自动校验, 保障响应时效以及空间匹配度。

### 2.2 多介质同步采样与分析方法

多介质同步采样分析方法注重于建立包含水体、土壤、大气及生物组织的统一时空采样框架, 该技术体系依赖集成化移动监测平台实现现场快速部署, 响应时间压缩至数分钟级别, 其重点在于应用联用检测设备与微型化传感装置, 此类装备可以突破传统单一介质分析的限制, 达成多种污染物跨介质的准同步捕获与定量解析, 相关操作

已由更新的国家技术规范给予标准化支撑, 并在近些年的若干突发环境事件应急演练中验证了其明显能力, 譬如在特定危化品泄漏场景下, 该方法将苯系物以及重金属的同步检出时间较传统流程缩短超过九成。

## 3 污染态势动态评估与预警机制

### 3.1 基于实时数据的污染扩散模拟

实时污染扩散模拟构成污染态势动态评估的核心技术支撑, 这项技术深度融合了物联网传感器、无人机移动监测以及卫星遥感等多源异构的实时数据流, 其使用的模型机理经历了从传统物理模型向数据驱动模型的范式转变。物理约束神经网络以及图卷积网络等先进算法被嵌入到计算架构中, 它们在边缘计算节点上实行高效推演, 然后将模拟响应延迟压缩至分钟甚至秒级。这一明显进步使得模型可以快速捕捉污染团的空间轮廓与浓度转变。融合了四维变分同化等数据同化技术的业务化模型系统, 已在中国生态环境部发布的最新技术规范中得到明确认可, 为应急决策给予了高时效性的科学依据<sup>[3]</sup>。

### 3.2 风险等级动态划分标准

风险等级的动态划分依据多重参数融合评估。HJ 589-2021 规范明确了依据监测响应时效、检出浓度倍数及空间包含密度的加权计算模型, 其计算结果 R 值直接映射为四个等级。国办函〔2022〕12 号文则建立了依据风险源等级、受体敏感性以及控制失效概率的三维矩阵评估体系, 并引入了动态调整的双触发机制。最新的管理实践主张实时性, 譬如一级响应要求每 2 小时评估一次, 并依赖 ERDS-3.0 系统实现数据的自动分级与指令推送。突发污染事件风险等级动态划分核心参数与阈值(基于近期规范整合)如表 1 所示。

## 4 应急处置措施的协同优化分析

### 4.1 源头控制与拦截技术选择

源头控制与拦截技术的选择构成了应急处置的初始环节, 其决策过程必须融合考量污染物的物理化学特性、环境介质的时空分布特征以及不同技术手段的响应时效以及处置效能。物理拦截技术凭借其快速的现场部署能力, 特别适用于漂浮类或非水相液体的初级围堵, 将污染物限定在有限空间内以阻断其扩散途径。化学封堵方法凭借引入特定药剂引发凝胶或沉淀反应, 可以高效固定溶解态的重金属离子或有毒化合物, 这种基于分子层面作用的控制机制展现出对特定污染物的高度选择性。生物屏障技术则利用固定化微生物的代谢活动, 在拦截污染团的时候启动生物降解过程, 特别适用于可生化性较好的氮类或有机污染

表1 突发污染事件风险等级动态划分核心参数与阈值（基于近期规范整合）

规范/文件名称	核心动态划分维度	量化模型/阈值	动态调整机制	关键支撑技术/备注
《环境应急监测技术规范》（HJ 589-2021）	监测响应时效(T)、检出浓度倍数(C)、空间覆盖密度(D)	$R=0.4T+0.35C+0.25D$ ; $R \geq 8.5$ 为Ⅰ级, $6.0 \leq R < 8.5$ 为Ⅱ级, $3.5 \leq R < 6.0$ 为Ⅲ级, $R < 3.5$ 为Ⅳ级	每次新增监测点位或关键指标超限即重新计算R值	2023年起强制接入全国环境应急监测云平台实时回传数据
《国家突发环境事件应急预案》（国办函〔2022〕12号）	环境风险源等级(L)、受体敏感性(S)、控制失效概率(P)	采用 $L \times S \times P$ 三维矩阵映射为Ⅰ-Ⅳ级	任一维度升级即启动等级上调；连续2次监测值回落至阈值80%以下方可降级	首次明确要求AI驱动的多源传感数据融合预警模块作为支撑
《突发环境事件应急管理办法》（2022年修订版）	污染物类型、泄漏量、影响范围、气象水文条件等	依据附录B“气象扩散系数K值阈值表”等进行综合判定	明确Ⅰ级响应“每2小时评估一次”，Ⅱ级“每6小时复核”，Ⅲ级“每日动态校准”	修订版增加了水体纵向离散系数 $D <_{sub}>L </sub>$ 的实时估算公式
《化工园区突发环境事件风险评估指南》（T/CPCIF 0123-2023）	源强衰减率( $\alpha$ )、受体暴露时长( $\tau$ )、生态恢复力指数(E)	动态风险指数 $RI = \alpha^{-1} \times \tau \times E^{-0.5}$ ; $RI > 12$ 为Ⅰ级, 6-12为Ⅱ级, 2-6为Ⅲ级, $< 2$ 为Ⅳ级	每30分钟基于在线监测数据自动迭代 $\alpha$ 与E参数	将大气污染物二次转化速率常数 $k <_{sub}>OH </sub>$ 纳入 $\alpha$ 的实时修正因子
综合动态执行要求	实时监测数据、污染物毒性、影响范围	涉剧毒化学品、放射性核素或特定新污染物超标直接定为Ⅰ级	通过ERDS-3.0系统每30分钟重算风险等级	2025年12月起，地级市以上监测站强制接入动态评级系统

物的缓释处理。越来越成熟的智能协同系统整合了多源传感与自动执行装置，其依赖物联网架构形成感知-决策-行动的闭环，实现对复合型污染的快速识别与准确响应，该项技术代表了应急监测处置向智能化、自动化方向演进的趋势<sup>[4]</sup>。

### 4.2 受体保护优先级判定原则

受体保护优先级的判定遵循一套多维度且刚性的技术原则，法定层级确立了以人体健康为重点、生态功能次之、经济财产居后的刚性排序，技术规范要求对儿童、孕妇等脆弱群体施加更高的保护权重，空间判定标准则依赖应急案例库的数据积累为水源地、高密度人口区等敏感区域设置了明确的地理阈值，该类阈值在事件发生时能自动触发最高级别的响应，动态调整机制引入了实时推演系统，该系统整合气象、人口流动等多源数据以实现优先级矩阵的周期性更新，这种机制使响应方案可以顺应污染态势的迁移而快速调整，特定实例中村庄的优先级因地表径流突发转向在极短时间内完成升级并触发撤离行动，判定过程还设置了不容触碰的红线，程序上任何对法定敏感目标清单的遗漏都将直接致使应急响应成效的否定，该类原则共同构成一个不只遵循预设规则又具备动态适应能力的决策框架，意在保证应急资源始终投向风险最高的受体目标。

### 4.3 跨部门联动响应机制构建

跨部门联动响应机制的建立需依赖制度化协同框架以及技术性接口统一。现行规范明确要求生态环境、应急、公安、卫健、交通及气象部门在事件识别后实现1小时内

信息通报，并凭借省级政务数据共享平台完成监测数据实时交互。联合响应中心实行四部门常驻轮值制，保证指令下达不超过15分钟，形成闭环处置流程。可是，部分实例显示气象参数未及时接入致使疏散延迟，暴露出现有系统间数据互通瓶颈，特别体现在卫健专网格式兼容性不足，制约整体响应能力。

依据三网融合平台建设目标，多地已推进监测一指挥一协同一体化架构落地，长三角区域更实现跨省监测车组30分钟集结以及数据互认。活动时序模型显示，从预警启动到会商决策各环节需严格对齐部门职能节点，任一模块延迟将影响全局时效。目前全国地级市平台建成率达86.7%，但数据接口实际互通率仅为61.3%，折射出标准执行层面依旧存在明显落差，迫切需要强化技术适配与制度刚性约束<sup>[5]</sup>。

## 5 结语

突发污染事件的应急环境监测以及处置必须立足于类型特征的准确识别，水体事件以有毒化学品快速扩散、危险废物持久损害、生产废水意外直排、油品泄漏及剧毒农药集中汇入为主要形态，大气事件则表现多污染物复合、毒性阈值剧烈波动与监测响应滞后的典型矛盾，复合型污染更因多源信号耦合、动态转化超限、标准方法包含不足及AI模型鲁棒性缺陷而加重识别难度，动态评估依赖物理约束神经网络与四维变分同化技术实现秒级模拟推演，风险分级严格遵循HJ 589-2021以及国办函〔2022〕12号文建立的三维双触发机制，预警发布已压缩至基层平均两分

钟接收,布点方针凭借“三区三线”与GIS自动校验增强空间匹配精度,多介质同步采样将苯系物以及重金属检出时效缩短九成以上,便携设备锁定峰值进入黄金窗口,智能协同系统助推源头拦截、受体保护以及跨部门指令闭环落地,数据互通瓶颈倒逼一体化平台向制度与技术双重适配纵深推进。

#### 参考文献:

[1] 李明斌,黄健昌,陈曦等.突发水环境污染事件应急指挥系统的研究与设计[J].现代信息科技,2026,10(04):122-126+132.

[2] 郭英,普俊.突发水环境事件中的石油类污染测定研究[J].皮革制作与环保科技,2026,7(01):64-66.

[3] 施惠清.化工企业针对突发环境事件的应急预案及风险防控策略[J].生态与资源,2025(12):163-165.

[4] 谢键羽.提升突发环境污染事件的应急监测能力[J].工程建设与设计,2025(22):245-247.

[5] 朱洪腾.突发固体废物污染环境事件的应急处置措施探讨[J].低碳世界,2025,15(11):23-25.

作者简介:王无忌(1996.05.26),男,汉族,云南省昆明市,本科,助理工程师,研究方向:环境检测。