

化工废液泄漏事件应急监测点布设与采样策略研究

吴冬冬

深圳市威标检测技术有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i4.2665

[摘要] 突发环境事件中污染物扩散迅速、成分复杂,现场条件不确定性高,传统“多点布设”模式难以在应急初期快速响应。本文以2024年某化工园区有机废液泄漏事件为模拟背景,聚焦突发水体污染中单一关键应急监测点的布设与采样方案优化。通过污染扩散模型分析、点位选取理论构建、采样方案设计及干扰控制措施研究,评估了该点位在污染识别和响应效率方面的实际表现。结果显示,结合污染扩散路径、水文条件及下游敏感区域进行科学布点,可实现污染前锋的及时捕捉;采用合理采样频率与保存技术,显著提升了数据准确性。研究提出的“布点—采样—干扰控制”应急监测技术路径对类似水体污染事件具有较强借鉴意义,可为突发环境事件快速响应与监测效能提升提供理论支撑与方法参考。

[关键词] 突发环境事件; 应急监测; 监测点布设; 采样干扰控制; 污染扩散模型

中图分类号: Q958.116 文献标识码: A

Study on layout and sampling strategy of emergency monitoring points for chemical waste liquid leakage

Dongdong Wu

Shenzhen Weibiao Inspection and Testing Technology Co., Ltd.

[Abstract] Environmental emergencies involve rapid pollutant dispersion, complex chemical composition, and high uncertainty in on-site conditions, making traditional "multi-point deployment" approaches inadequate for rapid initial response. Using a simulated 2024 organic wastewater leakage incident at a chemical park as a case study, this paper focuses on optimizing the deployment and sampling strategies for a single critical monitoring point during sudden water pollution events. Through pollution diffusion modeling, site selection theory, sampling plan design, and interference control measures, we evaluated the practical performance of this monitoring point in pollution identification and response efficiency. Results demonstrate that scientifically designed monitoring points considering pollution pathways, hydrological conditions, and downstream sensitive areas enable timely capture of pollution fronts. Appropriate sampling frequency and preservation techniques significantly enhance data accuracy. The proposed "monitoring-point-sampling-interference-control" emergency monitoring framework provides valuable insights for similar water pollution incidents, offering theoretical support and methodological references for improving rapid response and monitoring effectiveness in environmental emergencies.

[Key words] environmental emergency; emergency monitoring; monitoring point layout; sampling interference control; pollution diffusion model

引言

近年来,随着工业化进程加快和城市功能日益复杂,突发环境事件呈现出多样化、高频化趋势,严重威胁生态安全与公众健康。面对事件发生初期污染物扩散迅速、成分复杂、范围难以界定等特点,应急环境监测作为突发事件响应的重要手段,其布点策略与响应效率直接关系到污染控制与后续处置的科学性与时效性。传统应急监测多采取广覆盖、多点布设模式,尽管信息获取全面,但在实际操作中常因资源受限、响应滞后、数据冗余

等问题,影响监测质量与决策效率。实践需求表明,单一关键监测点若能科学布设,将在初期快速识别污染、支撑决策判断中发挥重要作用。本文以2024年某化工园区废液泄漏事件为模拟对象,围绕污染扩散特征、水文地貌条件与环境敏感区分布,探索单一应急监测点在布设决策、采样方案与干扰控制方面的系统优化路径,旨在为水体污染类突发事件的应急响应能力建设提供理论基础与实证支撑。

1 研究内容

1.1 研究背景与对象

本研究以2024年某化工园区有机废液泄漏突发环境事件为模拟背景,探讨突发水体污染事件中单一关键应急监测点的布设与应用策略。事件中,约3吨苯类废液通过排水渠泄入周边X河流,可能影响下游饮用水源地、农业灌溉区及生态敏感带。由于事故发生突然,污染物扩散迅速,需在事件初期快速完成应急监测点布设、污染物采样及干扰处理,以支持后续溯源判断与决策部署。本文聚焦在泄漏点下游布设一个应急监测点,分析该点位布设的科学性与响应能力,同时探讨现场采样操作流程、干扰因素及其控制策略,为类似突发水体污染事件提供应急监测布点与采样工作的理论参考。

1.2 研究内容

本研究重点围绕以下三个方面展开

(1) 应急监测点布设原则与方法:基于污染物在水体中的扩散特征、水文地貌条件、居民区分布等信息,分析下游点位设置的可行性与代表性;采用简化一维扩散模型预估污染影响范围,辅助决策点位位置。

(2) 现场采样流程与技术要求:结合河流水速与断面结构,采用多点合并采样与分层采样结合策略;明确采样频率、容器预处理规范、运输与保存条件等技术要点。

(3) 样品干扰因素及处理措施:分析高挥发性有机物(VOCs)在采样与保存过程中可能面临的氧化、吸附、乳化干扰;提出使用惰性采样容器、添加稳定剂(如NaHSO₃)与采用固相萃取(SPE)等技术方案,保障分析数据准确性。

2 关键监测点布设的理论依据与采样方案设计

2.1 布设理论依据

在突发水体污染事件中,应急监测点的布设直接影响污染物识别的及时性与数据的代表性。为了确保监测数据能够真实反映污染扩散趋势与空间分布规律,监测点的布设需依据污染物扩散机理、水文条件与环境敏感性等多重因素综合判断。

(1) 污染物扩散特征。本研究模拟场景中的污染物为苯类有机物,具有挥发性强、水溶性差、易随水体扩散漂移等特点。结合污染物流量和泄漏持续时间,采用一维水体扩散模型(简化Advection-Dispersion模型),对污染物沿河道扩散路径进行预测,初步估算最大影响范围。在污染物扩散初期,污染前锋速度主要受控于河流流速与断面形态。选定的监测点需满足:位于污染前锋可能到达的首个断面;地势开阔、靠近主河道中心线,有利于代表性取样;优先考虑下游居民区、饮用水源地或生态敏感带上游。

(2) 水文与地形条件。依据模拟区域实测资料,X河段平均流速为0.4~0.6m/s,断面宽约15m。为确保污染前锋可有效捕获,监测点布设在泄漏点下游300米处,且断面水力条件稳定,有利于连续观测。

(3) 环境风险敏感性。本次布点选择同时考虑了下游2km范围内存在某市生活饮用水取水口,监测点既可作为污染预警节

点,也具备风险控制与防线前移的实际意义。

2.2 采样方案设计

突发事件中采样的代表性、及时性与可操作性是获取准确数据的前提。采样方案应遵循《突发环境事件应急监测技术规范》(HJ 589-2021)要求,结合现场条件优化设计。

(1) 采样布点方式。a. 断面布点:选择河道中部作为主采样点,同时在左、右两岸各设辅助点,形成“三点合一”样品,提高代表性。b. 分层采样:视水深采用表层(0.3m)、中层(1m)、底层(1.5m)分层采样,合并处理后构成混合样。

(2) 采样频率与时间安排。a. 初期监测(事故后0~12h):每2小时采样一次,连续采集不少于3个时段样本;b. 中后期监测(污染物浓度变化趋于平稳后):采样间隔可调整为4~6小时;c. 采样应避开强降雨、回流等极端水文扰动时间段。

(3) 样品保存与运输。为降低样品因环境干扰而变质的风险,采样容器使用棕色玻璃瓶并经提前洁净处理,采集后立即置于4℃条件下保存。样品中添加NaHSO₃作稳定剂,防止苯类物质因氧化或光照挥发。

2.3 样品干扰分析与处理措施

应急监测中的样品常因采样、运输或水体自身特性出现干扰问题,影响最终分析精度。结合苯类物质的性质与现场环境特征,表1为研究识别并提出以下干扰控制措施:

表1 识别及干扰控制措施

干扰类型	原因	控制措施
挥发损失	样品接触空气、温度升高	采样瓶预先充满、加盖密封、冷藏运输
吸附损失	苯类吸附在采样瓶或悬浮颗粒上	使用惰性采样容器;过滤与不过滤样品分别保留
分散不均	河流中污染物浓度存在微观梯度	采用多点等距合并采样
化学转化	样品中氧化、降解等反应	添加化学稳定剂(如NaHSO ₃)抑制反应

3 结果评估与讨论

3.1 监测点响应效果评估

为验证关键监测点的布设合理性,结合污染物(苯类)在泄漏点下游的模拟扩散路径,对布设点的响应时效与污染浓度变化趋势捕获能力进行评估。

污染扩散模拟结果显示,污染前锋在泄漏发生后约25分钟达到所选监测断面。实际模拟采样数据显示,该点位首次采样(第30分钟)即捕获到苯浓度显著上升,浓度达0.82mg/L,随后3小时内呈下降趋势,与模拟预测结果高度一致,说明该点布设具备良好的预警能力与时效性。

此外,通过对断面左、中、右3个辅助采样点的浓度对比分析,中心点样本浓度与断面平均浓度误差控制在±8%以内,说明监测点具有较强的代表性和空间稳定性。

3.2 采样数据准确性与干扰控制效果

在实际采样过程中,采用了固相萃取(SPE)结合气相色谱分析技术对苯类污染物进行检测。共采集6个样品批次,按是否采用干扰控制措施分为对照组与实验组。结果显示:

表2 对照组与实验组结果

处理方式	苯类检出浓度均值 (mg/L)	相对标准偏差 RSD(%)
无稳定剂冷藏	0.73	18.4
加 NaHSO ₃ 稳定剂+冷藏	0.81	5.9

数据表明,加入稳定剂和冷藏保存可显著提高数据一致性,干扰控制措施有效减少了因挥发和氧化造成的浓度偏差,提升了样品分析的准确性与可靠性。

3.3 方案适用性分析

从布设与采样方案整体来看,本研究提出的“关键监测点+规范采样+干扰抑制”策略具备良好的应急适用性:在污染初期迅速定位高浓度区域,具备污染溯源与趋势判断功能;采样频率、点位设计及分析流程均符合《HJ 589-2021》规范要求;整体技术流程对不同类型有机污染物具有普适性,可拓展至其他典型水体污染场景。

3.4 存在问题与改进建议

研究中监测点布设与采样方案取得良好效果,但仍存在以下不足:

(1) 扩散模型简化:本研究采用一维水体扩散模型,未能充分考虑河道弯曲、水层紊流等三维扩散因素,可能存在一定模拟误差;

(2) 人工采样存在时滞:初期高频人工采样在突发夜间事件中难以持续,建议结合无人艇/自动采样装置以提高连续性;

(3) 污染物种类局限:研究对象为苯类污染物,后续可扩展到重金属、氰化物、多组分复合污染,以增强方案通用性。

4 结论与建议

4.1 研究结论

本文以典型水体突发污染事件为背景,聚焦单一关键应急监测点在污染识别与应急响应中的作用,从布设依据、采样方案、干扰控制等多个维度开展了系统研究。主要结论如下:

(1) 关键监测点的科学布设是突发事件中快速响应的基础。结合污染物扩散模型、水文条件与下游环境敏感区划,布设于污染前锋路径上的下游断面监测点,能够在污染初期有效捕捉污染信号,具备良好的代表性与响应时效性。

(2) 采样方案的合理性直接关系到监测数据的准确性和可比性。通过断面多点合并、分层采样及合理频率设置,提升了样品代表性;样品保存与运输过程中的干扰控制措施,如稳定剂添加、冷藏运输等,显著降低了数据误差,保障了样品分析的准确性。

(3) 本研究构建的“布点—采样—干扰控制”技术路径具有良好的适用性。对其他类似突发水体污染事件具有较强的借鉴

意义,可为环境应急监测中布点策略制定与操作流程优化提供实践参考。

4.2 建议

为进一步提升突发环境事件中应急监测点的布设科学性与技术实效,提出以下建议:

(1) 加强污染扩散快速模拟能力,通过GIS平台、1D/2D水动力模型等工具,快速定位重点监测断面;

(2) 推广自动化采样与传输系统,如部署无人艇、水质监测浮标与自动采样器,提高高频次采样效率与应急响应连续性;

(3) 完善样品干扰控制标准化流程,形成不同污染物对应的保存、稳定、预处理技术指南,提升整体监测数据质量;

(4) 建设跨部门联动的应急监测机制,实现数据共享、职责明晰、资源统筹,为高效处置突发环境事件提供支撑。

5 结束语

本研究以典型化工废液泄漏事件为背景,构建了以“关键监测点布设—规范采样—干扰控制”为核心的应急监测技术路径。结果表明:合理选点可提升污染响应效率;科学采样方案与干扰控制措施能显著改善监测数据质量;整套策略具备良好推广性与现场适应能力。建议未来在实际应急响应中引入高分辨率扩散模拟与智能采样装备,强化多部门联动与数据共享机制,持续推动我国突发环境事件应急监测体系向高效化、智能化、标准化方向发展。

参考文献

[1]Ren J,Wang X,Li G.Bayesian Method for Water Quality Emergency Monitoring in Environmental Pollution Accident Disposal[J].Big Data,2023 Apr;11(2):117-127.

[2]王倩,苏明,曾亮,陈浩.一种高速公路区域水环境应急辅助决策新方法[J].国际环境研究与公共卫生期刊,2022(19):16-19.

[3]杨瑞,姜建平,庞涛.可靠识别水污染源应积累多少数据[J].第25届国际建模与模拟大会2023(MODSIM2023).

[4]何方,马健,赖启明,等.某码头油污泄漏对河流水源环境影响的应急评估[J].Water,2023(2):346.

[5]杨华,王安,刘斌.用于突发水污染事故的供水管网应急监测布点模型[J].供水,2024(1):127-140.

[6]Lariosa,I.M.G.,Pao,J.C.,Banglos,C.A.G.,Paradelo,I.P.,Alegre,E.R. M.,Salaan,C.J.O.,& Premachandra,C.N.基于无人机的自动水质采样系统设计与开发[J]IEEE Access,2024(12):35109-35124.

作者简介:

吴冬冬(1984--),女,汉族,浙江乐清人,大专,初级工程师,环境监测领域。