

水体突发性环境污染事件应急监测技术研究

贾洪伟 李重民 王永霞 李程 张杰

安阳市生态环境监测和安全中心 河南 安阳 455000

摘要: 本文针对水体突发性环境污染事件应急监测中存在的技术瓶颈,系统分析了便携式快速监测、原位在线连续监测、实验室精准分析三类主流技术的工作原理与应用局限。研究指出,流动河道存在高浊度光学干扰与污染带快速漂移问题,静态湖泊存在热分层导致的底层监测盲区与探头生物附着问题,浅层地下水存在低温电极响应衰减与胶体持续干扰问题。在此基础上,提出三项技术优化措施:一是针对不同水体类型优化分层采样与布点方案,增设平行空白样与现场加标样;二是制定原位设备现场快速校准方案,消除基质差异与低温环境带来的系统误差;三是构建“快速筛查—动态追踪—精准复核”三层技术联用体系,实现监测速度、连续性与精度的协同提升。

关键词: 水体突发性污染; 应急监测; 多技术联用; 现场校准

引言: 水体突发性环境污染事件具有发生时间不确定、污染因子复杂、水体基质干扰强等固有特征,对应急监测的响应速度、检测精度与技术适应性提出极高要求。当前便携式快速检测、原位在线监测、实验室精密分析三类技术虽已广泛应用,但在流动河道高浊度干扰、湖泊水体分层监测盲区、地下水低温胶体干扰等场景下仍存在显著缺陷,单一技术难以满足全流程监测需求。本文围绕水体突发污染事件应急监测技术展开研究,分析污染特征与专项技术要求,阐述三类主流技术原理与局限,剖析不同水环境干扰因素,从采样优化、设备校准、技术联用三个角度提出系统性优化方案,为提升应急监测数据可靠性与处置效率提供参考。

1 水体突发性环境污染事件应急监测核心特征与技术要求

1.1 水体突发污染事件的污染特征

结合现场实际污染工况,水体突发性污染事件主要存在四项固有特征,直接决定应急监测的技术选型与作业方式。(1)污染突发性,事件无固定发生时间与地点,无前期污染预警,监测工作需要随时启动;(2)污染动态性,自然河道、地表径流具备流动性,污染带持续位移、扩散稀释,污染物浓度实时波动,静态单点监测无法反映整体污染状况;(3)污染物复杂性,现场多为复合污染,往往同时存在重金属、挥发性有机物、酸碱污染物、营养盐等多种污染因子,单一检测方法无法完成全覆盖分析;(4)水体基质复杂性,自然水体含有泥沙、腐殖质、藻类、悬浮颗粒物,会直接干扰光学、电化学类监测仪器的检测信号,造成检测数据偏差^[1]。

1.2 水体应急监测专项技术要求

结合上述污染特征,水体应急监测技术需要满足三

项硬性技术指标。时效性,现场需要在30min内完成污染物初步定性判定,1-2h内获取污染带浓度分布、扩散范围数据,支撑现场应急处置;适应性,监测设备与检测方法可适配高温、低温、高浊度、高色度等极端水体环境,降低水体基质带来的检测误差;互补性,实现粗筛、精测、动态追踪三层监测互补,先用快速设备完成大范围筛查,再用在线设备追踪污染动态,最后通过实验室精密检测核定精准浓度,规避单一技术的检测缺陷。

2 水体突发性污染事件主流应急监测技术分类及原理

2.1 现场便携式快速监测技术

该技术是应急事件第一时间处置的首选技术,核心优势为设备便携、操作简单、检测速度快,无需复杂前处理,适用于事件初期污染物快速筛查。主流设备包含便携式分光光度计、便携式重金属检测仪、便携式多参数水质检测仪、检测管比色法设备。其核心监测原理分为两类:其一为光学比色原理,通过污染物与专用试剂发生显色反应,根据溶液吸光度变化判定污染物浓度,多用于氨氮、总磷、挥发酚、重金属离子检测;其二为电化学电极原理,依靠离子选择性电极感应水体中目标污染物离子活度,直接输出浓度数值,适用于pH值、溶解氧、氧化还原电位、氰化物等指标快速检测。该类技术全程无需水样固定保存,现场直接取样检测,单一样品检测时长控制在5-15min。但技术短板较为明显,高浊度水体易干扰光学检测结果,电化学电极易受水体共存离子干扰,整体检测精度偏低,仅适用于半定量筛查。

2.2 水体原位在线连续监测技术

该技术主要用于污染带形成后的动态追踪监测,无需人工反复取水样,将监测传感器直接布设于水体表

层、中层、底层不同水层,实现24h不间断自动监测,适配流动河道污染带迁移全过程监测。主流监测设备包含原位多参数水质传感探头、原位荧光有机物监测仪、水下重金属在线监测模块。技术原理依托水下光学传感、电化学原位感应技术,设备可自动消除水体微弱浊度干扰,实时上传不同水层污染物浓度、水温、流速、水位同步数据,直观反映污染带的扩散方向、扩散速度、浓度峰值变化。相较于便携式设备,该技术可以实现无人值守连续监测,弥补人工间断采样无法捕捉污染峰值的缺陷。但该类设备存在硬件短板,长期浸泡在污染水体中,传感器探头易附着藻类、泥沙、油污,造成检测灵敏度持续下降,低温静水层中探头响应速度会明显变慢^[2]。

2.3 实验室应急精准分析技术

该技术作为应急监测数据兜底技术,主要针对现场快速检测无法精准定量、未知污染物溯源、低浓度痕量污染物检测场景。现场人员采集具有代表性的平行水样,经过冷藏、添加固定剂保护处理后,快速转运至应急实验室,依托气相色谱质谱联用仪、电感耦合等离子体质谱仪、高效液相色谱仪等大型精密仪器完成精准检测。该技术检测精度最高,可实现痕量、超痕量有毒污染物的定量分析,同时能够完成未知有机污染物的图谱比对溯源,明确污染物质具体组分。但该技术存在明显时效缺陷,水样采集、转运、前处理、仪器分析全流程耗时较长,无法满足现场即时决策需求,仅用于复核现场快速检测数据、核定污染最终负荷、明确污染核心源头。

3 不同水环境下应急监测技术现存技术缺陷与干扰因素分析

3.1 流动河道水体监测干扰与技术缺陷

河道水体流速动态变化,是最复杂的应急监测场景。一方面,水体流速变化会导致污染带快速漂移,固定点位监测无法捕捉完整污染过程,便携式设备人工采样间隔过长,容易遗漏污染物浓度峰值;另一方面,河道水体泥沙含量高,悬浮颗粒物会遮挡光学监测设备光路,导致便携式分光光度计检测结果偏高,误差最大可达到25%以上。同时河道水体水流扰动强,原位传感器探头容易发生位置偏移,分层监测数据失去参考性^[3]。

3.2 湖泊静态水体监测干扰与技术缺陷

湖泊、水库等静态水体流速极低,水体内部存在显著热分层与水质分层现象,因密度差异形成稳定层化结构,表层与底层水体中污染物浓度往往差异显著。现阶段多数现场应急监测仅采集表层水样进行分析,忽略底层因有机物沉积与厌氧释放形成的高浓度污染层,导致监测数据无法真实反映整体水体污染负荷。同时,静水

环境下藻类繁殖旺盛,藻类代谢产物中的叶绿素a及溶解性有机物会对荧光检测法产生光谱重叠干扰,影响有机物浓度测定准确性。此外,静水水体中原位探头表面生物膜附着速度远快于流动水体,短时间内即出现检测信号漂移与灵敏度衰减,需频繁清洗校准,严重制约应急监测数据的连续性与可靠性。

3.3 浅层地下水监测干扰与技术缺陷

地下水突发污染多由地表污染物下渗导致,水体色度高、胶体物质含量高,且水体温度常年偏低。低温环境会直接降低电化学电极的响应效率,延长检测平衡时间;地下水复杂胶体无法通过简单沉降去除,持续干扰光学检测。同时地下水水流缓慢,污染物扩散范围小但停留时间极长,常规表层单点监测无法判定污染羽的横向、纵向扩散边界,难以划定地下水污染范围。

4 水体突发性污染应急监测技术优化方案与多技术联用策略

4.1 水样采样环节技术优化

水样采集是应急监测数据准确性的首要保障环节,需针对不同水体类型优化分层采样与布点方案。(1)流动河道采用横断面多点分层采样法,在污染带上游对照点、污染带中心峰值区、污染带下游衰减区分别布设固定采样点位,同步采集表层、中层、底层三层水样,有效规避因水流横向流速差异与纵向扩散导致的数据偏差。(2)静态湖泊需增加底层专属采样频次,重点监测温跃层下方因密度分层形成的污染聚集区域,防止因采样深度不足而遗漏底层高浓度污染水体。地下水监测需增设垂直剖面采样点位,逐层采集不同含水层水样,精准划定地下污染羽空间边界与迁移方向。(3)现场采样过程须同步增设平行空白样与现场加标样,平行空白样用于排查采样器具与操作流程带来的背景污染,现场加标样用于验证采样过程中污染物回收率,无需等待实验室复核即可初步判定采样数据可靠性。针对高浊度水体,现场配备快速离心预处理装置,在采样后短时间内离心去除悬浮泥沙与颗粒物,在不改变目标污染物实际浓度的前提下消除浊度对后续检测环节的信号干扰,提升检测数据的准确性与可比性^[4]。

4.2 单类监测设备现场参数校准优化

针对原位监测设备在应急现场作业中普遍存在的探头生物附着、低温环境灵敏度衰减等问题,需制定系统化现场快速校准方案,确保监测数据的准确性与连续性。(1)监测作业启动前,采用现场采集的空白地表水完成仪器原位零点校准,替代传统实验室纯水校准方式,使校准基液与现场真实水体基质保持一致,消除因

水质差异导致的基线漂移问题。作业过程中,每隔4小时对水下探头进行现场清水擦拭清洗,去除探头表面附着的藻类、泥沙及生物膜,无需拆卸设备即可完成日常维护,保障探头检测灵敏度持续稳定。(2)针对低温地下水监测场景,电化学电极在低温条件下易出现电位偏移与响应迟滞,需提前将电极置于现场水体中恒温适配不少于20分钟,使电极温度与水体温度充分平衡,消除温差带来的电极电位偏移误差,确保检测数据真实反映水体实际污染状况。(3)针对便携式快速检测设备,现场增加基体匹配空白校正环节,使用与待测水样基质相近的空白水样进行仪器调零,有效消除水体中腐殖质、共存离子及悬浮颗粒物带来的系统误差,将现场快速检测结果偏差控制在10%以内,满足应急监测对数据时效性与准确性的双重要求。

4.3 三层监测技术联用组合方案

依托三类监测技术的互补性,构建“现场快速筛查-原位动态追踪-实验室精准复核”一体化联用监测体系,适配应急处置全流程。(1)事件爆发初期(0-2h):采用便携式快速监测设备大范围布点筛查,快速确定污染物种类、大致浓度区间、污染初始范围,完成初步风险判定;事件扩散阶段(2-24h):布设原位在线监测探头,固定监测断面,连续追踪污染带迁移速度、浓度变化规律,为水体截流、稀释处置提供实时动态数据;事件稳定阶段(24h后):采集代表性水样送至应急实验室,利用大型精密仪器完成痕量污染物定量、未知污染物溯源,核定水体总污染负荷,确认水体水质恢复达标节点。(2)多技术联用可以彻底规避单一技术短板:便携式设备解决时效问题,原位设备解决动态追踪问题,实验室设备解决精准定量问题,三者结合能够兼顾监测速度、监测连续性与检测精度,完全适配各类复杂水体的应急监测需求。(3)水体突发性环境污染事故(改成事件)应急监测的核心核心落脚点为技术适配性与数据可靠性,现场水文条件、水体基质、污染动态变化都

会直接影响监测结果的有效性。本文通过梳理三类主流应急监测技术的工作原理与实操优缺点,明确了流动河道、静态湖泊、浅层地下水三类场景下专属监测干扰因素,从采样、设备校准、技术联用三个技术层面提出了无政策依赖、可直接落地的优化方案^[5]。

结束语

水体突发性环境污染事件应急监测的核心在于技术适配性与数据可靠性。本文系统梳理了便携式快速监测、原位在线连续监测、实验室精准分析三类主流技术的工作原理与应用局限,明确了流动河道、静态湖泊、浅层地下水三类典型水环境下的专属干扰因素与技术短板。在此基础上,从水样采样分层优化、单类设备现场参数校准、三层技术联用组合三个层面提出了无政策依赖、可直接落地的技术优化方案。研究表明,构建“现场快速筛查—原位动态追踪—实验室精准复核”一体化联用监测体系,能够有效弥补单一技术在时效性、连续性与检测精度上的固有缺陷,全面适配各类复杂水体的应急监测需求,为水体突发污染事件的快速响应与科学处置提供技术支撑。

参考文献

- [1]陈建强.浅析应急监测在突发性环境污染事故处理中的作用[J].环境保护与循环经济,2021,32(12):73-75.
- [2]吴梅玲,周超.生态系统构建技术在水环境综合治理中的应用[J].黑龙江环境通报,2024,37(1):160-162
- [3]赵飞,冯健南,王洁,陈富兵.自嵌式加筋挡墙在生态水环境综合治理中的应用分析[J].水利技术监督,2024(5):265-269
- [4]吴昭东.水环境综合治理中生态系统构建技术的应用分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(12):8-10
- [5]夏钟.水环境监测及水污染防治探究[J].皮革制作与环保科技,2021,2(23):116-118.