

入河排污口排查溯源技术分析

皮 蒙 徐 菲

江苏环保产业技术研究院股份公司 江苏 南京 210000

摘 要：入河排污口排查溯源技术涵盖多类体系。排查技术含人工、遥感、无人机及水文水利排查等，各有优势与适用场景。溯源技术包括物理、化学、生物及智能化溯源，形成完整溯源链条。排查与溯源技术通过功能互补、多尺度耦合、动态反馈等协同应用，遵循递进式流程，借助智能平台与多维度验证体系衔接。技术优化方向聚焦排查技术智能感知设备集成、遥感分辨率提升等，溯源技术则致力于分子标记物数据库建设、多技术融合及实时动态溯源模型构建。

关键词：入河排污口；排查技术；溯源技术；技术衔接；优化方向

引言：入河排污口作为污染物进入河流的关键节点，其排查溯源工作对水环境治理意义重大。当前，水环境污染问题复杂多样，传统排查溯源手段难以满足精准治理需求。随着科技发展，多种先进技术不断涌现并应用于该领域。从人工实地巡查的初步筛查，到遥感、无人机等技术的宏观监测，再到物理、化学、生物及智能化溯源技术的深度解析，各类技术各具特色、优势互补。深入分析入河排污口排查溯源技术，明确各技术特点、协同方式及优化方向，有助于提升排查溯源效率与准确性，为水环境科学治理提供有力支撑。

1 排查技术体系

1.1 人工排查技术

现场巡查方法通过人工实地走访对目标区域进行系

统性观察，重点针对河流沿岸、工业集聚区及排污口集中地带开展拉网式排查。巡查人员借助便携式检测设备，对水体颜色、浊度、气味等表观特征进行初步判断，记录异常排污行为及潜在污染源位置^[1]。感官识别技术依托专业人员经验积累，通过视觉、嗅觉等直接感知方式，识别水体中油膜漂浮、悬浮物聚集及异味散发等典型污染迹象。该技术对突发性污染事件响应迅速，尤其适用于偏远地区或设备覆盖盲区的初步筛查，但识别结果易受主观因素影响，需结合仪器分析进行验证。

1.2 遥感排查技术

遥感排查技术依托不同波段光谱特性实现污染监测，分为多光谱、高分辨率、热红外三种核心类型，各类细分技术的核心参数如表1所示。

表1

细分技术类型	核心方法	核心优势	适用场景
多光谱遥感技术	利用地物光谱反射差异，分析植被指数、水体浊度等参数	覆盖范围广、监测速度快，可识别面源污染	流域级宏观监测、非法排污口识别
高分辨率遥感技术	借助亚米级影像分辨率，捕捉排污管道、污水扩散细节	细节清晰，可为污染源定位提供空间依据	排污口精准定位、污染形态监测
热红外遥感技术	检测地表温度异常，捕捉隐蔽排污迹象	可识别夜间偷排、地下渗漏，针对性强	工业废水违规排放、夜间隐蔽排污监测

三种技术形成从宏观到微观的遥感监测体系，有效弥补地面巡查的时空局限性。其中多光谱遥感技术可实现大范围快速扫描，对隐蔽性排污行为具有较好监测效果；高分辨率遥感技术能清晰捕捉排污管道走向、污水扩散形态等细节信息；热红外遥感技术则可精准识别夜间偷排或地下渗漏等隐蔽污染行为，三者协同应用可提升遥感排查的全面性与精准度。

1.3 无人机排查技术

低空航拍排查方法利用无人机灵活机动特性，对复

杂地形区域开展低空高分辨率影像采集。通过规划多航线覆盖模式，实现河道全线无死角监测，重点识别岸线侵占、垃圾堆积及非法构筑物等问题。无人机搭载设备应用涵盖可见光相机、多光谱传感器及激光雷达等多种载荷。可见光相机获取高清晰度影像，辅助人工判读排污口位置；多光谱传感器分析水体富营养化程度；激光雷达生成三维地形模型，量化河道淤积状况。设备间数据融合处理可自动提取污染特征参数，提升排查工作效率与数据可靠性。

1.4 水文水利排查技术

流量监测相关技术通过声学多普勒流速仪、电磁流量计等设备,实时获取河道断面流量数据。结合水质在线监测仪的同步数据,分析流量与污染物浓度的动态关系,判断是否存在异常排放行为。水位联动排查方法建立水位变化与排污行为的关联模型,通过分析潮汐周期、降雨事件等对水位的影响,识别利用水位波动进行隐蔽排污的规律。该技术对入海河流及感潮河段污染溯源具有重要价值,可有效区分自然水文过程与人为污染输入的贡献比例。两种技术共同构建水文驱动的污染排查框架,为确定污染源排放时序特征提供科学依据。

2 溯源技术体系

2.1 物理溯源技术

示踪剂溯源方法通过向疑似污染源投放特定标记物质,利用其物理化学性质稳定特性,追踪污染物在管网或水体中的迁移路径^[2]。该方法涵盖荧光示踪剂、放射性同位素及染色剂等多种类型,通过浓度梯度分析或辐射监测设备,确定污染源与排污口的关联性。水流轨迹追踪技术借助水流动力学模型,结合地形地貌数据与实时监测流量,模拟污染物扩散过程。通过构建三维水流域模型,可逆向推演污染源可能位置,尤其适用于复杂管网系统或非点源污染场景的溯源分析。

2.2 化学溯源技术

特征污染物识别技术通过分析水体中特定化学物质的组成与浓度特征,建立污染源指纹图谱库。该方法聚焦重金属、有机污染物及营养盐等典型污染物,利用质谱仪、光谱仪等高精度分析仪器,捕捉污染物分子结构差异,实现污染源类型快速鉴别。污染物组分分析技术采用色谱-质谱联用等先进手段,对复杂污染物样本进行全组分解析。通过对比不同污染源的化学组成特征,可定量评估各污染源对水体污染的贡献率,为责任认定与治理方案制定提供数据支撑。两种技术形成从定性识别到定量分析的完整化学溯源链条。

2.3 生物溯源技术

生物指示物应用技术利用特定生物对污染环境的敏感性,通过监测水生生物群落结构变化或生物体内污染物富集情况,反推污染源位置与类型。该方法涵盖底栖动物、浮游生物及鱼类等多种指示生物,结合生物毒性试验数据,可评估污染源的生态影响范围。微生物溯源方法通过分析排污口与潜在污染源的微生物群落组成差异,构建基于16SrRNA基因测序的微生物指纹图谱。利用机器学习算法对微生物数据进行聚类分析,可实现污染源与排污口的高精度匹配,尤其适用于生活污水与工业废水混合排放场景的溯源。

2.4 智能化溯源技术

大数据溯源技术整合多源监测数据、管网拓扑信息及历史污染记录,通过数据挖掘与关联分析算法,构建污染源-排污口关系网络。该方法可自动识别异常排放模式,预测污染扩散趋势,为溯源决策提供智能化支持。物联网溯源技术通过部署水质传感器、流量计及视频监控设备,实现排污口状态实时感知与数据自动采集。结合边缘计算技术,可对监测数据进行本地化预处理,提升溯源响应速度。地理信息系统溯源技术将空间分析功能与溯源模型深度融合,通过叠加排污口分布、管网走向及地形数据,生成污染源可能位置的热力图,为现场排查提供精准空间指引。三种技术共同构建智能化溯源体系,推动溯源工作向自动化、精准化方向演进。

3 排查与溯源技术衔接

3.1 排查技术与溯源技术的协同应用

3.1.1 功能互补机制构建

排查技术通过空间覆盖优势快速锁定污染区域,溯源技术借助深度分析能力明确污染来源,两者形成"广度覆盖-深度解析"的协同模式^[3]。遥感排查发现的异常水体斑块,可引导地面采样团队进行针对性溯源;水质化学指纹分析确定的污染源类型,又能反推排查工作的重点区域。这种双向互动机制避免了技术应用的盲目性,使污染防控资源向关键环节集中。

3.1.2 多尺度技术耦合

宏观尺度上,卫星遥感提供流域级污染分布图景,为溯源工作划定优先级区域;中观尺度上,无人机航拍获取高分辨率影像,识别排污口具体位置;微观尺度上,现场快速检测设备测定污染物浓度梯度,辅助确定污染扩散方向。三种尺度技术通过地理信息系统(GIS)平台实现空间叠加,构建起从流域到污染源的完整解析链条。

3.1.3 动态反馈机制优化

建立排查-溯源技术应用的闭环系统,溯源阶段发现的污染源特征参数自动反馈至排查数据库,持续修正污染风险评估模型。例如,微生物溯源技术识别出的特定菌群,可作为后续排查工作的生物标记物;重金属同位素分析结果能优化排查设备的检测波长设置。这种动态更新机制使技术体系保持自我进化能力。

3.2 技术衔接流程与方法

3.2.1 递进式工作流程设计

技术衔接遵循"初步筛查-精准定位-验证确认"的逻辑路径。排查阶段采用"空天地"一体化监测体系,通过遥感影像解译与地面巡查结合,生成污染风险热力图;溯源阶段运用化学指纹匹配与微生物源解析技术,对高风险区域进行深度解析;最终通过管网拓扑建模与水力模拟验证污

染传播路径。每个阶段成果为后续工作提供导向性输入。

3.2.2 智能衔接平台开发

构建基于知识图谱的技术衔接平台,集成各类污染特征数据库与算法模型。平台自动解析排查数据中的空间特征参数,通过关联规则挖掘匹配最优溯源技术组合。例如,当监测数据显示某区域存在持续性有机污染时,系统自动推荐气相色谱-质谱联用技术与稳定同位素分析的组合方案,并生成标准化采样指南。

3.2.3 多维度验证体系

建立物理-化学-生物联合验证框架,对技术衔接结果进行交叉确认。物理验证通过管网水力模型模拟污染物迁移过程,化学验证采用不同分析方法比对污染特征物质,生物验证利用环境DNA技术分析微生物群落结构。三种验证方式从不同角度构建证据链,当三种方法指向同一污染源时,判定结果可信度达到最高等级。

4 技术优化方向

4.1 排查技术的优化路径

4.1.1 智能感知设备集成应用

推进多参数智能传感器研发,将电导率、溶解氧、浊度等监测模块集成于微型化设备,实现水体理化指标的实时同步采集^[4]。通过物联网技术构建传感器网络,采用自组网通信协议确保数据传输稳定性,降低人工巡检频次。开发基于边缘计算的智能预警系统,对异常数据流进行本地化分析,仅将超过阈值的监测结果上传至云端平台,提升数据处理的时效性。

4.1.2 遥感技术分辨率提升

推动亚米级光学遥感卫星组网运行,提高云层穿透能力与成像清晰度,增强对隐蔽排污口的识别精度。研发高光谱成像仪搭载平台,通过地物光谱特征库比对,区分自然水体与污染水体的细微差异。融合合成孔径雷达(SAR)技术,实现全天候监测能力,解决光学遥感在阴雨天气下的应用局限。建立多源遥感数据融合模型,利用机器学习算法优化特征提取效果,提升复杂环境下的污染区域识别准确率。

4.1.3 无人机系统功能拓展

开发长航时混合动力无人机,搭载多光谱相机与激光雷达复合载荷,实现单架次覆盖50平方公里区域的立体监测。研发智能航线规划算法,根据地形起伏自动调整飞行高度,确保影像重叠度满足三维建模需求。集成AI图像识别模块,在飞行过程中实时标注疑似污染点,通过5G网络将结果回传至指挥中心,缩短污染事件响应时间。

4.2 溯源技术的改进方向

4.2.1 分子标记物数据库建设

构建涵盖重金属、有机污染物、微生物等类别的特

征标记物谱库,收录不同行业排放物的指纹图谱。采用高分辨质谱技术建立非目标筛查方法,通过碎片离子匹配算法识别未知污染物。开发溯源专用软件,集成同位素分馏模型与微生物源解析算法,实现污染来源的快速推演。定期更新数据库版本,纳入新型污染物检测数据,保持溯源体系的先进性。

4.2.2 多技术融合溯源体系

推进稳定同位素示踪与微生物组学技术的耦合应用,通过碳氮同位素比值分析确定污染物来源类型,结合微生物群落结构解析追溯具体排放主体。引入区块链技术建立溯源数据存证平台,确保采样、检测、分析等环节的数据不可篡改。开发虚拟现实(VR)溯源演示系统,将复杂的技术流程转化为可视化场景,提升污染防控决策的直观性。

4.2.3 实时动态溯源模型

建立基于水动力-水质耦合的数值模型,融入实时监测数据实现污染扩散路径的动态模拟。开发自适应算法,根据新获取的溯源信息自动调整模型参数,提高长期追踪的准确性。构建污染源-受体关系网络,量化不同排放源对受纳水体的贡献比例,为总量控制提供科学依据^[5]。将模型部署于云计算平台,支持多用户并发访问与协同分析,提升溯源工作的协同效率。

结束语

入河排污口排查溯源技术的不断发展与完善,为水环境治理提供了坚实的技术保障。排查技术体系的多元化发展,实现了从宏观到微观、从地面到空中的全方位覆盖;溯源技术体系的精细化构建,能够精准定位污染来源并量化贡献比例。排查与溯源技术的有效衔接,形成了协同作战的强大合力。通过持续优化排查技术与改进溯源技术,不断提升技术应用的智能化、精准化水平,能够更高效地解决入河排污口污染问题,切实改善水环境质量,保障水生态系统的健康稳定。

参考文献

- [1]蔡子辉.入河排污口排查溯源技术分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(1):53-55.
- [2]黄佳舒.入河排污口排查溯源技术分析[J].中国资源综合利用,2024,42(9):271-273.
- [3]胡国仲,谭印月,巢波,等.入河排污口排查溯源技术及应用[J].科技创新与应用,2023,13(8):158-161.
- [4]陈珏.入河排污口排查及其在桂林市水环境治理中的应用[J].皮革制作与环保科技,2024,5(3):116-118.
- [5]邵捷.云南龙陵县入河排污口排查溯源与水环境治理策略研究[J].世界生态学,2026,15(1):197-203.