

# Environmental engineering assessment of ecological risks of heavy metals in river sediment

Jie Wang Mengting Wang Shuang Chen Tangpu Ma

Hubei Liangqing Agricultural Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

## Abstract

As a crucial part of the aquatic ecosystem, river sediment contains pollutants such as heavy metals, which directly affect the health of the water environment and biodiversity. Given the difficult degradation and easy accumulation of heavy metals, their existence and concentration in sediment pose potential risks to the ecosystem. Through environmental engineering techniques, the ecological risk level of heavy metals in sediment can be systematically evaluated, providing scientific basis for water environment management and restoration. By combining monitoring data with risk assessment models, the spatial distribution and potential ecological impacts of heavy metal pollution can be explored, laying a solid foundation for the protection and sustainable use of river ecological environment.

## Keywords

River sediment; Heavy metals; Ecological risk; Environmental Engineering

# 环境工程评估河道底泥重金属生态风险

王洁 王梦婷 陈爽 马堂普

湖北良顷农业科技有限公司, 中国·湖北 武汉 430000

## 摘要

作为水体生态系统至关重要部分的河道底泥, 容纳着诸如重金属等污染物的沉积, 直接影响到水环境健康与生物的多样性, 鉴于重金属有难降解、易累积的特性, 其在底泥里的存在形式及其浓度对生态系统构成潜在风险, 通过环境工程技术手段, 可系统评估底泥里重金属的生态风险等级, 为水环境管理与修复提供科学依据, 将监测数据与风险评价模型结合起来, 探究重金属污染在空间上的分布状况及其潜在的生态影响, 为河道生态环境保护及可持续利用夯实基础。

## 关键词

河道底泥; 重金属; 生态风险; 环境工程

## 1 引言

重金属污染作为威胁河流生态安全的主要隐患, 不可忽视, 因其来源广泛, 迁移过程复杂难辨, 在底泥中的存在形式丰富多样, 使生态系统受到长期的影响, 环境工程领域通过多学科交叉的途径, 对底泥内重金属的分布规律、迁移机制及其生态风险做科学评估, 助力污染治理技术创新及环境风险管理优化, 加大对河道底泥重金属生态风险的研究力度, 对保障水资源安全以及生态系统的稳定至关重要。

## 2 河道底泥中重金属的分布特征

### 2.1 重金属的种类及浓度水平

重金属污染物借助河道底泥这一重要介质汇集, 因其表面积颇大且吸附能力强, 易集聚起多种污染物, 工业生产

排放、交通运输废气沉降、生活污水、农业面源排放以及自然地质风化过程, 乃是这些重金属的主要来源。在特定水域内, 不同类别重金属的浓度存在明显差别, 受地理环境、流域开发力度、土地利用形式等因素综合左右, 处于重工业集中分布的地带, 底泥中铅和镉的含量普遍超出一般水平, 而于农田排水密集之处, 砷与汞的异常积累颇为常见, 借助采样剖析与实验室检测, 可以知晓底泥中各类重金属的浓度数值, 这些数据不只为环境管理给出依据, 还是后续进行生态风险评估与底泥修复工作的基础。

### 2.2 空间分布规律

河道底泥里的重金属污染展现出明显的空间异质现象, 清晰呈现出热点区域与低污染区的强烈反差, 该分布模式与区域水动力态势、沉积速率、岸边输入源和底泥类型密切相连, 位于城市河段跟工业集聚区周边, 老是会出现污染物聚集区域, 底泥中重金属浓度比上游、自然保护段高出不少。农业区的排水明渠和人河通道也是重金属输入的关键通道, 尤其是降雨冲刷之后呈现显著提升, 河道水流的速度在某种程度

【作者简介】王洁(1995-), 女, 中国河南信阳人, 本科, 从事环境工程研究。

上左右着沉积物的携带与沉降能力,较缓流速与较静水体的区域更易形成重金属富集区,沉积物颗粒的组成对重金属吸附性能的影响同样关键,粒径小、有机质含量高的沉积物对重金属有更强吸附力,造成污染物在这类区域的停留时间拉长,采用遥感技术和地理信息系统手段,能实现重金属空间分布的可视性表达,辅助辨认高风险区域及治理优先地段<sup>[1]</sup>。

### 2.3 重金属形态及其生物有效性

于河道底泥中,重金属并非仅以单一形式存在,而是多种化学形态彼此间相互转化,涉及可交换态、与碳酸盐相连的状态、与铁锰氧化物相连的状态、有机结合态、残渣态,其在水环境中的稳定性、生物可利用性及潜在毒性由不同的结合状态所决定,可交换态、碳酸盐结合态金属易被底栖生物吸纳,存有较高的生物毒性与迁移的潜在风险;残渣态金属相对稳定些,不易为生物所利用。众多因子可对重金属的形态变化造成影响,涵盖底泥 pH 值、氧化还原电位的具体数值、有机质含量高低及微生物活动等,在水体富营养化严重或是受扰动的状态下,底泥当中的重金属也许会由稳定态转为活性态,增大生态系统面临的威胁,只依靠总浓度对生态风险进行判断往往欠缺,需把重金属的形态分析结合进去,综合评估其环境行为及潜在生态结果,借助形态分析的法子,为科学地拟定风险管理策略与底泥修复举措筑牢了根基。

## 3 生态风险评估方法与技术

### 3.1 污染物浓度基准与评价指标

常见的评价指标体系有潜在生态风险指数以及污染负荷指数,RI 把重金属的毒性系数与污染程度整合起来,可体现出污染物潜在生态危害的强度,而 PLI 可对多种重金属污染的累积效应进行衡量,这些指数的应用,有助于有效比对不同区域的污染程度及生态风险等级,方便开展分区管理及资源调配,随着研究的深入,越来越多的评估体系开始考虑底泥中重金属的生物有效性和赋存状态,而不是仅仅局限于总量浓度范围,正确选取与本地区生态特性相符合的评价标准,有利于增强评估结果的科学性,提升管理的可行性。

### 3.2 风险评价模型应用

为提高生态风险评估精度及系统性的提升,环境科学领域逐步吸纳了多种量化、模型化的分析手段,这些模型可把重金属的浓度、生物毒性、生态暴露路径等因素统一纳入,生成更贴合实际生态状况的风险评估体系,其中应用广泛的方法叫生态风险指数法,其依靠重金属的毒性响应和富集水平这两个方面,对各类污染源与重金属元素开展综合打分,进行等级划分,利于生态管理的优先级排序。多元统计分析利用主成分分析、聚类分析以及判别分析等途径,对大量重金属数据开展降维及相关性分析,探究污染源的成分特性及其对风险水平的贡献程度,风险矩阵法则通过对可能性与危害性实施交叉分析,构建二维评估框架,用以鉴别和排列重

大风险因子,体现出良好的操作性与可视化优势,由于这些模型的广泛应用,生态风险评估的客观性和系统性得到提高,能在不同的时间尺度及空间尺度开展动态评估,为河道污染治理规划提供可靠支撑力,未来研究重要方向中,模型参数的本地化与数据输入的实时化不可忽视<sup>[2]</sup>。

### 3.3 环境工程技术支撑

生态风险评估需借助环境工程技术的支撑,这些技术为风险识别与评估提供了高效手段,也在风险管理过程中起着重要作用,借助水文、水动力及地球化学模型,重金属迁移模拟技术得以开展,预测重金属于水-泥界面中的释放、扩散及再沉积情况,该预测功能可对潜在风险的发展趋势和空间分布进行判断,底泥修复技术的发展为控制重金属生态风险提供了多样选择,例如原位稳定化技术通过投加钙基、铁基或黏土矿物类物质,把重金属固定于底泥中,使该物质的迁移性与生物有效性下降;生态修复技术结合植物与微生物的协同合力,逐步使底泥中的重金属浓度下降,实现生态系统自净能力的恢复。生物监测技术成为识别与确认生态风险的关键手段,利用底栖动物、微生物群落及水生植物作为生物指标,可实时反映重金属对生态系统的实际作用效果,增强评估的准确性,环境工程技术持续推陈出新,使生态风险评估具备前瞻性、动态性与干预能力,为水环境健康管理提供了强有力的技术保障。

## 4 河道底泥重金属污染的生态影响

### 4.1 无线传感网络构建

以往水质监测大多依赖有线连接形式,由于地域、布线成本和物理条件方面受限,较难满足覆盖范围大、密度高、实时性的监控要求,构建无线传感网络可有效解决这些问题,通过低功耗广域网(LPWAN)、ZigBee、NB-IoT 等无线通信技术实现,可以做到对偏远水域、流动水体和多点源的全面覆盖。传感器节点以无线模式实时传输数据,中心系统可实时获取现场的水质情况,提高整体监测效率,无线网络的应用让设备部署及维护流程简化,还为系统后续的扩展以及区域的升级赋予了极高的灵活性,在突发性环境事件期间,无线通信实现了关键数据的快速传送与远程回应,提升了水质安全保障的能力。

### 4.2 边缘计算应用

随着水质监测点位持续增加,数据量不断增长,如果把所有数据都上传到云端处理,可能存在网络陷入拥堵的风险,导致响应产生延迟,边缘计算作为新兴的数据处理架构,可在靠近数据源的本地设备处完成初步的数据分析与筛选,极大地减少了云平台的计算压力。依托嵌入式边缘计算模块,具备基础的数据筛选、分析、压缩及异常判别能力,若出现污染物浓度异常等紧急情形,系统可在本地直接启动预警机制,快速反馈情况到监控中心与相关人员处,该本地处理与全局协同相结合的模式,使水质监测系统既保证响应速

度又优化了资源,切实提高整体运行的效率与稳定性<sup>[1]</sup>。

### 4.3 移动终端与智能终端结合

在智能监测网络的运维管理过程中,便捷性与实用性十分重要,随着移动互联网的发展,环境监测的现场操作和远程控制普遍采用了智能手机、平板电脑等终端设备,通过专用应用程序或网页平台,在任何时候与地点,运维人员均可查看各监测点实时数据、趋势曲线、预警信息等内容,实时知晓水质变动。当遇到紧急情形,移动终端同样能够实现远程操控操作,如重新开启传感器设备、调节监测参数或者发出报警通告,极大提高了现场响应的灵活程度与效率,智能终端跟主监控平台之间的数据同步能力日益增强,促进现场跟中心系统之间的信息传导更加通畅,提升协同管理水平。通过无线传输、边缘计算与移动终端等多项物联网技术的融合应用,水质监测系统正朝着智能互联、自动回应以及高效管理控制的方向飞速演进,智能监测网络不仅完成了水质信息的动态采集与实时传输,还为环境工程多场景、多区域协同治理构建了技术支撑体系,该全链条与多层次相结合的感知网络模式,正逐步替代传统那种静态孤立的检测方式,推动建设智慧化的环境治理格局。

## 5 河道底泥重金属风险管理与治理措施

### 5.1 多系统融合平台搭建

传统水质监测多通过分散的设备开展,各环节之间未形成有效联动,造成数据运用率不高、反应链条拖沓等现象,为突破这些局限,智能水质检测正朝着系统融合方向发展,通过整合传感器采集终端、边缘和云端计算平台、数据分析系统和自动控制模块,打造统一架构、集中管理的综合型一体化平台,提高整体运行效率与控制水平。平台能自动把多参数传感器收集到的数据上传到数据库,由算法模型进行分析判别后,再联动现场控制装置进行自动化调节或发出预警通告,该融合设计不仅增强了系统功能的协同能力,还为运维管理提供了清晰的结构后盾,提高了平台的可管理性及稳定性。

### 5.2 智能预警与决策支持

在水环境安全保障过程中,预警及应急响应具有关键意义,通过对历史与实时数据进行动态分析,智能系统可自动识别潜在隐患,迅速触发预警机制,若检测到重金属含量瞬间猛增或溶解氧水平异常降低状况,系统可通过可视化界面或移动终端及时地发出多级预警,并提出与之对应的风险

处置方案。将规则引擎与机器学习模型结合到一起,平台可全面考量污染源类别、水体承载能力、季节更替等要素,助力环境管理人员做出科学决策,拟定针对性强的应对行动,该预警与决策机制的建立,大幅提高了水环境管理的主动意识与精准水平,为应对复杂环境所带来的变化提供了有力后盾。

### 5.3 应用场景多样化

智能水质检测系统适用性已超越传统所指的水厂和实验室范畴,逐步拓展到范围更广的实际场景,在工业领域内,可针对化工、电镀、造纸等行业的废水排放进行在线监控,实现对排放指标实时监测与自动预警,在城市水务管理的场景中,智能检测技术保障了自来水生产、输送及二次供水过程中的水质安全,提升了城市居民饮水保障的水平。从生态环境保护角度看,河流、湖泊、水库等自然水体的常态监测广泛采用了智能水质系统,为水生态修复、湿地管理和流域综合整治添砖加瓦,随着系统的持续优化与功能的不断拓展,其在农业灌溉、地下水保护以及海洋监测等领域,也体现出广阔的应用前景,引领环境工程智能化建设往深层发展。通过系统融合、智能决策和多场景适配,水质检测正渐渐从单点感知过渡至综合治理平台,系统集成和应用创新不仅体现技术发展的轨迹,还映射出环境工程管理模式深层次变革,带动智能水质检测从辅助工具成为环境治理核心支撑的关键力量。

## 6 结语

水环境保护中,河道底泥里重金属的存在及其引发的生态风险是关键议题,通过科学的分布特征研究与多维度生态风险判定,可揭示污染物潜在的影响机制,将环境工程技术应用与风险管理策略结合起来,推动污染治理及生态修复有效实施,维护河道生态系统健康及长期可持续发展,后续应不断加强针对底泥重金属生态风险的综合研究及技术创新,推动水环境治理水平持续提升。

### 参考文献

- [1] 杨歌等.“滇东南矿区河流底泥重金属污染潜在生态风险评价.”环境科学导刊 26.1(2007):3.
- [2] 许友泽等.“湘江底泥重金属污染特征与生态风险评价.”环境化学 35.001(2016):189-198.
- [3] 王越兴等.“深圳市河流底泥重金属的污染现状及生态风险评价.”环境与健康杂志 28.10(2011):2.