

水环境重金属污染监测技术优化与风险评估研究

于跃刚¹ 李婧²

1 青山绿水（江苏）检验检测有限公司 2 江苏省常州环境监测中心

DOI:10.32629/eep.v8i9.2869

[摘要] 本文关注水环境重金属污染监测技术的优化和风险评估研究,说明水环境重金属污染的危害和现状,分析当前监测技术的不足,给出优化策略,改进传统技术和引进新兴技术等,对风险评估方法加以探讨,形成科学合理的评估体系,做到对水环境重金属污染风险的准确评估,希望给水环境重金属污染的有效防控和水生态安全的保障给予理论和技术支持。

[关键词] 水环境; 重金属污染; 监测技术优化; 风险评估

中图分类号: X924.2 **文献标识码:** A

Research on Optimization and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution Monitoring Technology in Water Environment

Yuegang Yu¹ Jing Li²

1 Qingshan Lvshui (Jiangsu) Inspection and Testing Co., Ltd

2 Jiangsu Changzhou Environmental Monitoring Center

[Abstract] This article focuses on the optimization and risk assessment of heavy metal pollution monitoring technology in water environment, explaining the hazards and current situation of heavy metal pollution in water environment, analyzing the shortcomings of current monitoring technology, proposing optimization strategies, improving traditional technology and introducing emerging technology, exploring risk assessment methods, forming a scientific and reasonable assessment system, and achieving accurate assessment of heavy metal pollution risks in water environment. It is hoped that theoretical and technical support can be provided for effective prevention and control of heavy metal pollution in water environment and the guarantee of water ecological security.

[Key words] water environment; Heavy metal pollution; Optimization of monitoring technology; risk assessment

引言

水环境是生态系统的关键组成部分,工业发展和人类活动增多,水环境重金属污染问题愈发严重,重金属毒性强,难降解,易富集,给水生态系统和人类健康带来潜在危害,精确监测水环境中重金属的含量、分布及其变化情况,科学评价污染风险,对制定有效的污染防控措施至关重要。因此,开展水环境重金属污染监测技术优化和风险评估研究具有现实意义。

1 水环境重金属污染概述

1.1 重金属的定义及特性

重金属通常指密度高于 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 的金属元素,包括铅、汞、镉、铬、砷等,这些重金属具有独特的物理和化学性质,在自然环境中难以被微生物分解,会在水体、土壤和生物体内长期存在,重金属会通过食物链的生物放大作用,在生物体内不断积累,当积累到一定浓度时,会对生物体产生毒性效应,影响生物体的正常生理功能,甚至导致疾病和死亡。

1.2 水环境重金属污染的来源

水环境重金属污染的来源十分广泛,工业废水排放,矿山开采,农业面源污染,城市污水排放等都是水环境重金属污染的来源,在工业生产过程中,电镀,冶金,化工等行业会产生大量含重金属的废水,如果未经处理直接排放到水体中,就会造成严重的重金属污染,矿山开采活动会破坏土壤和岩石结构,使得原本固定在其中的重金属释放到环境中,通过地表径流等途径进入水体,农业生产中使用的农药,化肥含有一定量的重金属,随着雨水冲刷,灌溉等过程进入水体,城市污水中也可能含有来自垃圾填埋,汽车尾气等的重金属。

1.3 水环境重金属污染的危害

水环境重金属污染给生态系统和人类健康带来多方面的危害。对水生生物来说,重金属会影响它们的生长、繁殖和生存,水生生物种群数量会减少,生物多样性也会下降。汞会影响鱼类的神经系统和免疫系统,使鱼类的行为异常,降低其对疾病的抵

抗力。对于人类健康而言, 饮用受污染的水或者食用受污染的水产品, 重金属会在人体内蓄积, 引发各种疾病。铅会损害儿童的智力发育, 镉会导致肾脏疾病、骨质疏松等。

2 水环境重金属污染监测技术现状

2.1 传统监测技术

传统的水环境重金属监测技术主要涉及化学分析法和仪器分析法。化学分析法主要有容量分析法、重量分析法等, 这种方法能确保较高的准确度和可靠性, 但它存在步骤太多、分析时间长的缺点, 需要专业实验人员以及复杂的实验设备, 因此不适合在野外进行快速监测。仪器分析法主要涵盖原子吸收光谱法(AAS)、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)等, 具备灵敏度高、检测限低等诸多优点, 可以精准测定水环境中不同重金属元素的含量。可是这些仪器价格昂贵, 更新养护的费用高, 而且对实验环境有很高的要求, 在基层监测部门和现场监测环节应用存在一定的阻碍^[1]。

2.2 新兴监测技术

近年来, 随着科技的发展, 一些新兴的水环境重金属检测技术不断涌现, 生物传感器技术就是其中之一。它利用生物分子与重金属之间的特异性相互作用, 将重金属的浓度转化为可检测的电信号或光学信号, 具有灵敏度高、反应速度快、可实现现场实时监测等优点。纳米材料技术在监测领域的应用, 为水环境重金属监测带来了新的途径。纳米材料具有较大的比表面积和独特的物理化学性质, 可以提高对重金属的吸附和检测能力。遥感技术利用卫星或无人机等平台获取大面积的水环境信息, 快速监测水体中重金属的分布情况, 为宏观层面的污染监测提供支持。

2.3 现有监测技术存在的问题

尽管现有的监测技术已经成为成为水环境重金属污染监测的主要支撑, 在污染溯源、风险评价等场景中发挥了不可替代的作用, 但现有技术体系仍存在明显不足, 还不能完全满足复杂多变的监测需求。传统监测技术受限于实验室分析的核心模式, 必须经历样品采集、运输、前处理等多个环节, 耗时较长, 时效性较差, 且对现场复杂环境因素的适应性不强, 无法实时对突发污染事件做出快速响应, 不能及时监测到水质的动态变化。新兴监测技术在便携性、检测速度等方面虽具有突破性潜力, 但多数技术仍处于研发或小规模试用阶段, 其核心技术性能尚未完全成熟。在复杂水体基质干扰下, 检测的准确度、长期工作的稳定性和结果的真实性还需经过大量实际测试来改进。最重要的是, 还没有形成系统整合的技术体系, 不同技术的检测原理、操作标准和数据标准存在差异, 没有形成统一的协同体系, 因此, 监测数据缺乏一致性和可比性, 无法开展数据融合分析, 不利于数据价值的最大化^[2]。

3 水环境重金属污染监测技术优化策略

3.1 改进传统监测技术

传统监测技术的改良升级是提升监测效能的基础保障, 重点在于通过技术改良和人员培训来增强其适用性与精准度。针

对化学分析法, 可以集中精力简化流程和实现自动化升级, 开发便携式分析仪器, 减少操作环节和分析时间, 使其适用于现场快速监测的场景。针对仪器分析法, 要改进设备设计和操作参数, 在提高灵敏度和稳定性的同时, 降低设备购置成本和维护难度。此外, 要建立常态化的培训体系, 提高实验人员的操作技能和数据分析能力, 通过规范操作流程和加强质量控制, 保证监测结果的准确性和可靠性。

3.2 推广新兴监测技术

新兴监测技术是突破传统监测瓶颈的关键, 要从研发、规范、产业化等多方面推动其落地应用。加大研发投入, 重点扶持生物传感器、纳米材料等前沿技术的攻关, 研制便携式、高精度的监测设备。建立新兴技术的标准规范体系, 明确技术指标、操作流程、验证方法, 保证监测结果的可靠性和行业可比性。深化产学研协同机制, 推动技术成果转化为产业化产品, 通过规模化生产降低应用成本, 提高基层监测单位的技术可及性, 为现场快速监测提供高效解决方案^[3]。

3.3 整合多种监测技术

搭建多技术融合的监测体系, 依靠优势互补实现监测效能的最大化。采用“宏观排查+定点精准”的整合模式, 利用遥感技术开展大范围宏观监测, 快速确定污染区域和扩散范围。在此基础上, 借助传统仪器分析法的精准定量优势, 结合生物传感器等新兴技术的快速反应特性, 实施定点监测, 实现对污染范围和浓度的精确把控。搭建一体化的监测网络平台, 打通不同技术的数据接口, 实现监测数据的实时共享和综合分析。依靠多源数据的交叉验证, 为污染溯源、风险评估以及防控决策提供全面、精确的信息支持。

4 水环境重金属污染风险评估方法

4.1 基于模型的风险评估方法

基于模型的风险评估方法就是通过建立数学模型, 把重金属在水环境里迁移转化过程和生态效应描述出来, 以此来评估它的污染风险。经常用到的模型有水质模型, 生态毒理模型等等, 水质模型能够模拟重金属在水里扩散, 吸附, 沉淀这些过程, 预估重金属浓度分布和变化趋向, 生态毒理模型可以根据重金属对水生生物的毒性数据, 评价重金属对生态系统的潜在危害, 这些模型给风险评估提供了定量依据, 不过模型的建立得依靠大量基础数据和专业知识, 模型的准确性和可靠度受到许多因素的影响^[4]。

4.2 基于指标体系的风险评估方法

基于指标体系的风险评估方法, 是水环境重金属污染风险评估的典型技术路径, 这个方法依靠筛选重要指标来创建评价框架, 然后根据权重分配和打分标准展开评判。指标筛选要紧紧抓住污染表征的主要部分, 既有重金属含量等直接展现污染程度的核心指标, 又有生物毒性之类表达生态影响的衍生指标, 也要涵盖污染面积之类的空间特征指标, 构建起层次分明的指标体系, 利用明晰的打分准则实现单一指标污染程度的数值化, 之后按照权重标准得出综合风险等级, 逻辑清晰, 操作流程遵守标

准化,不需要很多专业技术支持就能执行,适合基层实际状况。但需重视其局限性:指标选取要结合评估区域的水文背景、污染源等实际情形,权重确定时常受专家经验等主观因素影响,所以要经实地调研、多轮校验来优化参数,保障评估结果和实际污染状况精确契合。

4.3 综合风险评估方法

综合风险评估方式,以方法融合为核心,把模型法的量化分析优点同指标体系法的系统识别优势结合起来,形成“宏观研判—精准验证”的二级评估体系,大量提升风险评估的准确性与可靠性,适合复杂水环境重金属污染的场景;实际应用时,先靠模型法的量化分析优势,构建污染扩散与风险传导模拟框架,迅速锁定风险核心区域,大致判定风险等级,给后续评估打下基础,已经在此基础上,借助指标体系法开展精细化评估,针对核心区域细化指标选取、优化权重分配,对模型评估结果进行验证与修正,这样的协同模式既摆脱模型法对复杂场景适配不足的毛病,又克服指标体系法主观因素影响的缺点,为污染防控决策给予科学又实用的技术依靠^[5]。

5 构建科学合理的水环境重金属污染风险评估体系

5.1 确定评估指标

确定评估指标是形成水环境重金属污染风险评估体系的关键,评估指标直接决定评估结果的科学性、全面性与实用性,选取评估指标需根据重金属污染全链条特点,系统集成污染源、迁移转化规律、生态环境响应及社会经济影响等多个层面因素,筛选具备代表、敏感且可操作的评估指标,在常规采用重金属浓度、生物毒性等基本指标基础上,要超越传统单指标局限,提升指标拓宽。可着重采用生态系统服务功能损失相关指标,来体现污染给水体调节,净化,生物栖息等核心功能造成的破坏程度;而且要加入人体健康风险指标,综合考虑重金属经由饮水,食物链等途径对人群健康的潜在威胁,通过多维度指标的有机融合,做到对水环境重金属污染风险的全方位,深层次刻画,为后续风险分级,管控决策给予全面又可靠的依据。

5.2 确定指标权重

指标权重的确定影响到风险评估结果的准确程度,可以利用层次分析法、专家打分法等方法来确定各指标的权重,层次分析法经由创建层次结构模型,把复杂的问题分成许多层次,然后经由两两比较的方式确定各个指标的相对重要性,从而算出各个指标的权重,专家打分法就是邀请有关领域的专家对各个指标的重要性实施打分,之后依照专家的意见确定指标权重,确定指标权重的时候,要兼顾不同地区,不同水体类型的特点,保证

权重的合理性和适用性^[6]。

5.3 建立评估模型

要精准开展水环境重金属污染风险评估,就要根据已确定的评估指标和对应的权重,采用科学、恰当的数学方法来构建评估模型,常用的有模糊综合评价法、灰色关联分析法等,每种方法都有其适合的场景和运用逻辑,模糊综合评价法的主要价值在于处理评估中经常出现的 uncertainty、模糊性问题,通过对隶属函数的合理建立,构建起完整的模糊关系矩阵,就能对水环境重金属污染风险实施多维度、全方位的综合评价,规避用单个指标判断的局限性。灰色关联分析法则关注的是指标和风险等级的关联情况,它通过分析各个评估指标与不同风险等级的关联程度,为风险等级的精确判定给予强有力的支持,在构建评估模型的时候,要重点保证模型的稳定性及可靠性,模型应该可以有效过滤掉干扰因素,精确反映水环境重金属污染的真实风险情况,给后续风险防控和治理决策给予科学,可信的量化依据,确保评估结果具有实际应用价值。

6 结论

本文对水环境重金属污染监测技术优化和风险评估展开研究,剖析水环境重金属污染的来源,危害和现状,指出现存监测技术存在的问题,并给出优化策略,改进传统监测技术,推广新兴监测技术,整合多种监测技术,探讨水环境重金属污染风险评估方法,形成科学合理的风评估体系,经由这些研究,给水环境重金属污染的监测和防控给予理论和技术支撑。

[参考文献]

- [1]刘丹.水环境重金属污染现状及检测技术进展[J].清洗世界,2024,40(09):76-78.
- [2]周旭东,刘竟成,罗俊.水环境质量自动监测[M].化学工业出版社,2023.08.189.
- [3]杜开健.水环境检测中重金属检测技术的应用[J].清洗世界,2023,39(04):80-82.
- [4]梁家乐,郝军,王强,等.水环境检测中重金属检测技术运用分析[J].皮革制作与环保科技,2023,4(08):11-13.
- [5]汤荣生.物联网技术在水环境实时监控中的应用[J].福建电脑,2022,38(03):61-63.
- [6]裴松松.浅析水环境重金属污染监测技术[J].环境与发展,2017,29(07):164+166.

作者简介:

于跃刚(1989--),男,汉族,安徽宿州人,硕士,工程师,研究方向:环境保护。