

有关地下水环境监测存在的主要问题及技术性建议

郭梦龙

河南省资源环境调查三院有限公司

DOI:10.32629/eep.v8i10.2895

[摘要] 当前地下水环境监测面临网络布设不合理、监测指标与方法滞后、数据质量控制薄弱、动态监测与预警能力欠缺以及数据共享效率低下等关键问题。这些问题导致监测结果难以真实反映地下水环境质量状况,制约了污染防控与科学决策效能。本文系统剖析了地下水环境监测现存的技术性缺陷,针对性提出优化监测网络布局、升级监测技术体系、完善全流程质控机制、构建智能预警模型及推动数据深度共享等改进策略,旨在为提升地下水环境监测的精准性、时效性与综合性提供技术参考。

[关键词] 地下水环境监测; 问题; 建议措施

中图分类号: X83 文献标识码: A

Main Issues in Groundwater Environmental Monitoring and Technical Recommendations

Menglong Guo

The Third Institute of Resources and Environment Investigation of Henan Province Co., Ltd.

[Abstract] Current groundwater environmental monitoring faces critical issues such as unreasonable network deployment, outdated monitoring indicators and methods, weak data quality control, insufficient dynamic monitoring and early warning capabilities, and inefficient data sharing. These problems hinder the accurate reflection of groundwater environmental quality conditions in monitoring results, thereby limiting the effectiveness of pollution prevention and control as well as scientific decision-making. This paper systematically analyzes the existing technical deficiencies in groundwater environmental monitoring and proposes targeted improvement strategies, including optimizing monitoring network layouts, upgrading monitoring technology systems, enhancing full-process quality control mechanisms, constructing intelligent early warning models, and promoting in-depth data sharing. The aim is to provide technical references for improving the accuracy, timeliness, and comprehensiveness of groundwater environmental monitoring.

[Key words] groundwater environmental monitoring; issues; Recommended measures

引言

地下水作为重要的水资源储备,其环境质量直接关系到生态系统的稳定与人类健康。然而,随着工业化进程加速及城市化扩张,地下水污染问题日益凸显,对地下水环境监测提出了更高要求。当前监测体系在覆盖范围、技术手段、数据质量及共享应用等方面存在显著短板,难以满足精准化、动态化管理需求。本文聚焦地下水环境监测的关键技术瓶颈,从网络布局、指标体系、质控机制、预警能力及数据应用五个维度展开系统性分析,并提出针对性改进方案,以期为构建现代化地下水环境监测体系提供理论支撑与实践指导。

1 地下水环境监测现状

地下水作为重要的水资源储备,其环境质量直接关系到生态平衡与人类健康。当前我国地下水环境监测体系虽已初步建立,但在系统性、精准性和前瞻性方面仍存在显著短板。监测网

络布局受行政区划和历史条件限制,存在区域覆盖不均、重点污染区监测密度不足的问题,导致污染扩散路径追踪能力薄弱。监测指标体系仍以常规理化指标为主,对持久性有机污染物、新型微污染物及微生物风险因子的监测能力不足,难以反映复合污染特征。数据采集环节存在自动化程度低、校准周期长的问题,传输环节缺乏实时加密技术,导致数据完整性和可信度受损^[1]。动态监测预警方面,多数地区仍采用人工定期采样分析模式,难以捕捉污染物的瞬时变化,预警模型多基于历史数据拟合,对极端污染事件的响应滞后。数据共享机制方面,部门间数据壁垒尚未完全打破,多源数据融合分析平台建设滞后,制约了污染溯源和风险评估的精度。

2 地下水环境监测存在的主要问题

2.1 监测网络布设缺乏系统性与代表性

现有监测点位多集中于城市及工矿区,农村及生态敏感区

(如湿地、饮用水源上游)覆盖不足,难以反映区域地下水环境整体状况。部分点位布设未充分考虑水文地质条件(如含水层渗透性、地下水流向),导致监测数据空间关联性差,无法准确识别污染扩散路径。

2.2 监测指标与技术方法滞后于污染特征

常规监测仍以pH、总硬度、重金属(如铅、镉)等基础指标为主,对新型污染物(如全氟/多氟烷基物质PFAS、药品和个人护理品PPCPs、微塑料)的监测能力薄弱。部分地区仍采用手工采样与实验室分析,存在采样频率低(如季度或半年一次)、数据时效性差的问题,难以捕捉污染突发变化^[2]。

2.3 监测数据质量控制体系不完善

采样过程中存在操作不规范(如洗井不彻底导致水样交叉污染)、保存条件不当(如挥发性有机物VOCs未使用棕色瓶冷藏运输)等问题;实验室分析中,部分基层机构对低浓度污染物(如ng/L级PFAS)的检测限无法满足标准要求,且数据溯源机制(如采样记录、仪器校准记录)不健全,影响数据可靠性。

2.4 动态监测与预警能力不足

缺乏基于实时监测数据的地下水污染预警模型,对污染羽迁移速率、污染物转化路径(如硝酸盐异化还原、重金属形态转化)的预测精度低。多数地区未建立“监测—评估—预警—应急”联动机制,导致污染事件发生后响应滞后。现有监测站点布局难以满足动态监测需求,部分区域监测空白导致污染扩散路径追踪困难。预警阈值设置缺乏科学依据,多采用静态标准值而非基于区域水文地质条件的动态阈值,造成误报漏报频发。应急监测设备配置不足,移动式快速检测装备覆盖率不足30%,难以支撑突发污染事件的现场快速筛查与溯源分析。监测数据平台智能化水平较低,尚未实现多源数据融合分析与风险自动识别,制约了预警决策的科学性^[3]。

2.5 监测数据共享与综合利用效率低

环保、水利、自然资源等部门监测数据各自独立,数据格式(如数据库类型、指标定义)不统一,形成“数据孤岛”。现有数据多用于现状评价,缺乏与地下水数值模拟(如MODFLOW、MT3DMS)、健康风险评估模型的耦合应用,支撑决策的科学性不足。跨部门数据共享机制尚未建立,环保、水利、自然资源等部门数据接口标准不统一,数据更新频率存在差异,导致数据整合时存在时间滞后与格式冲突问题。现有数据平台多停留在数据存储与简单查询层面,缺乏基于大数据分析的污染源解析、污染趋势预测等深度应用功能,难以满足环境管理精细化需求。数据开放程度不足,部分敏感数据因安全顾虑未实现分级分类共享,导致科研机构与第三方服务机构无法获取高质量基础数据,制约了地下水环境研究深度与成果转化效率。

3 地下水环境监测技术性建议

3.1 优化监测网络布局,提升空间代表性

基于“水文地质单元—污染源类型—生态敏感区”三级分区,采用层次分析法(AHP)或地理信息系统(GIS)空间插值技术,加密污染高风险区域(如化工园区下游、垃圾填埋场周边)监测

点位,增设生态敏感区背景值监测点。针对复杂含水层系统(如岩裂隙水、多层承压水),采用“垂向分层监测”技术,通过多深度监测井(如巢式井)获取不同深度含水层水质数据,解析污染物垂向迁移规律。在农业灌溉区、城市饮用水水源地等重点区域,结合土地利用类型与地下水流向,布设长期监测点位,建立“背景值—污染扩散—生态影响”全链条监测网络。对于地质构造复杂区域,利用地质雷达与同位素示踪技术,识别隐伏断裂带与优势通道,优化监测井位垂直分布,确保监测数据能反映三维空间变化特征^[4]。

3.2 升级监测指标与技术方法,覆盖新型污染物

建立“常规指标+特征污染物+新型污染物”全指标监测体系,新增PFAS(如PFOA、PFOS)、PPCPs(如双酚A、抗生素)、挥发性有机物(VOCs)等特征指标,采用固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱(SPE-UPLC-MS/MS)、吹扫捕集-气相色谱-质谱(P&T-GC-MS)等先进检测技术,将检测限提升至ng/L级。推广自动化监测技术,在重点污染源周边布设地下水自动监测站,集成pH、电导率、溶解氧(DO)、ORP等在线传感器,结合被动采样技术(如扩散梯度薄膜DGT、固相微萃取SPME)实现低浓度污染物长期累积监测^[5]。

针对重金属污染区域,引入电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)与X射线荧光光谱(XRF)联用技术,实现多元素同步快速筛查与精准定量。开发基于纳米材料与分子印迹技术的特异性吸附剂,提升对痕量新型污染物(如微塑料、药品残留)的富集效率。构建“实验室检测—移动监测车—便携式设备”三级技术体系,在工业园区、垃圾填埋场等高风险区配备便携式水质快速检测箱,支持现场应急监测与污染溯源。建立污染物指纹图谱库,通过主成分分析(PCA)与正定矩阵分解(PMF)模型,解析污染源贡献率与迁移转化路径。

3.3 完善全流程质量控制体系

制定标准化采样规程,严格执行洗井(如低流量采样法控制流速<500mL/min)、水样保存(如添加还原剂抑制重金属氧化、冷藏运输温度控制在2~8℃)和前处理流程,引入现场空白、平行样、加标回收率等质量控制指标。建立监测数据全生命周期溯源系统,采用区块链技术记录采样、分析、传输全过程信息,确保数据不可篡改;对实验室进行CNAS认证,定期开展盲样考核与仪器校准(如ICP-MS每日校准标准曲线)^[6]。实施监测人员持证上岗制度,组织专业技能培训与考核,涵盖采样规范、分析方法、仪器操作等关键环节。建立实验室间比对机制,通过定期组织不同实验室对同一样品进行分析测试,验证检测结果的准确性与一致性。

3.4 构建动态监测与预警模型,提升应急响应能力

基于物联网(IoT)技术构建“地—空—天”一体化监测网络,整合自动监测站数据、无人机航拍影像(识别地表污染源)、卫星遥感(反演地表温度与植被覆盖度),通过机器学习算法(如LSTM、随机森林)建立污染物浓度时空预测模型。开发耦合水文地球化学过程的地下水污染预警系统,嵌入PHREEQC化学平衡模

型模拟污染物形态转化,结合SEAWAT模拟咸淡水界面迁移,实现污染羽迁移路径与风险等级的可视化预警。同时,集成多源数据融合算法,将实时监测数据、历史污染事件数据及气象水文数据纳入模型训练,提升预测精度。通过构建三维地质模型与污染物扩散模型,动态展示污染羽在含水层中的三维分布及演变趋势,为应急处置提供直观决策支持。建立分级预警阈值体系,根据污染物浓度、迁移速度及受体敏感性,自动触发不同级别的预警响应机制(如短信通知、APP推送、声光报警),确保应急响应的及时性与针对性。例如,当污染物浓度超过一级预警阈值时,系统立即启动最高级别响应,通过短信、APP推送及声光报警同步通知环境监管部门、应急处置队伍及周边受影响居民,同时自动生成包含污染源定位、迁移路径预测及应急处置建议的报告;当浓度处于二级预警区间时,系统向环境监测站与属地管理部门发送预警信息,并启动加密监测频次;对于三级预警,则通过平台推送风险提示信息至相关责任单位,要求加强巡查与数据跟踪。通过分级分类的预警响应机制,实现污染事件的早发现、早处置^[7]。

3.5 推动数据共享与智能应用,支撑科学决策

建立国家级地下水环境监测数据库,统一数据标准(如采用JSON格式、制定《地下水监测指标元数据规范》),通过API接口实现跨部门数据实时共享;利用大数据分析平台(如Hadoop、Spark)挖掘数据关联规律(如降雨量与硝酸盐浓度相关性)。构建“监测数据-数值模拟-风险评估”一体化决策支持系统,将监测数据输入地下水溶质运移模型(如SEAM3D),预测10—30年污染物扩散趋势,结合USEPA健康风险评估模型(如RBCA)量化污染对周边居民的致癌/非致癌风险,为污染修复方案(如渗透反应墙PRB、抽出处理技术)优化提供依据。

开发地下水环境监测移动应用(APP),集成数据查询、污染预警、应急响应指南等功能,面向环保部门、企业及公众提供分级服务(如普通用户可查看区域水质概况,企业用户可获取自身排污口监测数据,管理部门可调取全域实时数据并下发整改指令)。通过区块链技术确保数据溯源与不可篡改,结合地理信息系统(GIS)实现污染源空间分布热力图可视化,辅助精准溯源与

责任认定。同时,建立基于机器学习的异常检测模型,自动识别监测数据中的异常波动(如突增的重金属浓度),结合气象水文数据(如暴雨、河流径流)分析污染扩散风险,为应急预案启动提供动态依据。

4 结束语

综上所述,地下水环境监测在环境保护中占据关键地位,然而当前仍面临诸多问题,如监测网络布设缺乏系统性与代表性、监测指标与技术方法滞后于污染特征、监测数据质量控制体系不完善、动态监测与预警能力不足以及监测数据共享与综合利用效率低等。针对这些问题,本文提出了一系列技术性建议,包括优化监测网络布局、升级监测指标与技术方法、完善全流程质量控制体系、构建动态监测与预警模型以及推动数据共享与智能应用等。这些建议旨在提升地下水环境监测的精准性和时效性,为地下水环境保护提供有力支撑。

[参考文献]

- [1]李瑞杰.地下水环境监测技术的应用及质量控制措施探究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(16):38-40.
- [2]叶倩茹,周震.地下水环境调查关键技术参数与工艺方法探讨[J].皮革制作与环保科技,2024,5(11):81-83.
- [3]王中雅.地下水环境监测发展的主要技术问题及建议[J].水利技术监督,2024,(06):24-25+44.
- [4]张平,刘菲,赵爱华,栾帅.基于大数据的地下水环境监测系统研究[J].资源节约与环保,2024,(02):51-54.
- [5]王君.土壤与地下水环境管理问题思考与对策[J].皮革制作与环保科技,2022,3(24):83-85.
- [6]胡玲娟,陈舒影,朱黄强.废水地下水监测中存在的问题及对策分析[J].皮革制作与环保科技,2022,3(23):173-175.
- [7]黄钦佩.浅谈地下水环境影响评价的若干关键问题[J].化工管理,2019,(02):145-146.

作者简介:

郭梦龙(1990--),男,汉族,河南新乡人,硕士研究生,工程师,研究方向:地质水工环境。