

城市土壤和地下水污染状况调查及治理对策探讨

高瑜璇

纵润环境科技河北有限公司

DOI:10.32629/eep.v8i11.2983

[摘要] 城市化进程与工业活动的叠加,使城市土壤-地下水污染呈现复合化、隐匿化、跨介质迁移的新型特征,对生态安全与人居健康构成双重威胁。本文基于最新调查技术手段,系统梳理我国城市土壤-地下水污染的区域分异特征与核心污染源,结合宜昌地下水污染防治试验区、大庆工业城市土壤源头防控等典型案例,剖析当前治理工作中存在的监测精准度不足、协同管控缺失、治理成本高昂等痛点。从智慧监测体系构建、源头阻断技术创新、全链条协同治理机制完善三个维度,提出兼具针对性与可操作性的治理对策,为推动城市土壤-地下水污染治理从“末端修复”向“源头防控”转型提供理论参考与实践借鉴。

[关键词] 城市土壤; 地下水污染; 协同治理; 智慧监测; 源头防控

中图分类号: Q938.1+3 **文献标识码:** A

Investigation on the Pollution of Urban Soil and Groundwater and Discussion on the Countermeasures

Yuxuan Gao

Zongrun Environmental Technology Hebei Co., Ltd.

[Abstract] The superposition of urbanization and industrial activities has led urban soil-groundwater pollution to exhibit new characteristics of complexity, concealment and cross-medium migration, posing a dual threat to ecological security and human settlement health. Based on the latest survey technologies, this paper systematically sorts out the regional differentiation characteristics and core pollution sources of urban soil-groundwater pollution in China. Combined with typical cases such as the Yichang Groundwater Pollution Prevention and Control Pilot Zone and the soil source prevention and control in Daqing, an industrial city, it analyzes the current pain points in governance, including insufficient monitoring accuracy, lack of collaborative management and control, and high governance costs. From three dimensions—the construction of an intelligent monitoring system, the innovation of source blocking technologies, and the improvement of a full-chain collaborative governance mechanism—this paper puts forward targeted and operable governance countermeasures, providing theoretical reference and practical experience for promoting the transformation of urban soil-groundwater pollution governance from end-of-pipe remediation to source prevention and control.

[Key words] Urban soil; Groundwater pollution; Synergistic management; Smart monitoring; Source control

引言

土壤与地下水是城市生态系统核心载体,其质量关乎人居环境与城市可持续发展。我国实施《土壤污染防治行动计划》后,已形成完善的场地调查与风险评估技术体系,土壤修复市场规模破百亿,从业队伍不断壮大。但治理实践存在“重末端修复、轻源头防控”“重单一污染、轻复合治理”等痛点,传统调查技术难以精准刻画污染羽迁移路径,城市更新中工业遗留地块污染问题突出。因此,创新调查技术与治理体系,实现“治已病”到“防未病”的转变,是城市生态环境保护的迫切需求。

1 城市土壤与地下水污染状况调查与特征分析

1.1 调查技术体系升级与应用

传统土壤-地下水污染调查多依赖单点采样与实验室分析,存在监测滞后、覆盖不足等缺陷。近年来,智慧监测技术的应用实现了调查模式的革新:在宜昌地下水污染防治试验区,首创双井交替自动监测系统,结合水质多重金属连续分析仪,实现29项水质指标的实时监测,精准捕捉地下水与地表水交互带来的水质变化;大庆市则通过构建“土壤-地下水-大气”立体监测网络,整合无人机遥感、土壤传感器阵列等技术,完成全域污染地

块的拉网式排查。这些技术创新使污染调查从“定性描述”转向“定量溯源”,为精准治理提供了数据支撑。

1.2 核心污染特征与区域分异

1.2.1 复合污染态势显著:工业城市普遍存在重金属与有机污染物复合污染,如大庆石化工业区土壤中检出镉、铅等重金属与石油烃类有机污染物共存,地下水则出现硝酸盐与全氟化合物叠加污染;城市垃圾填埋场周边则呈现“渗滤液-土壤-地下水”的污染链,特征污染物涵盖COD、氨氮、重金属等多种类型。

1.2.2 区域分异特征明显:西部喀斯特地区因地质结构特殊,形成“高背景值-强人为扰动-低环境容量”的污染格局,地下水通过岩溶管道快速扩散,污染范围远超污染源边界;东部工业城市则以历史工业遗留污染为主,如珠三角产业集群区土壤-地下水污染呈现“点源集中、面源扩散”的特征;北方干旱半干旱城市因地下水超采,加剧了污染物的富集效应,如内蒙古高原地区地下水中氟、砷的高背景值与工业排放叠加,形成区域性污染。

1.2.3 污染源类型多元:工业排放、矿产开发、垃圾填埋是主要污染源,其中矿产开发对西部城市影响突出,如云贵川渝喀斯特地区有色金属开采导致土壤镉背景值偏高;快速城市化带来的新型污染不容忽视,交通尾气中的重金属、农业面源的抗生素、塑料垃圾分解产生的微塑料等,已成为城市土壤-地下水的新兴污染物。

2 城市土壤与地下水污染治理现存问题

2.1 监测体系不完善,精准溯源能力不足

一方面,传统监测模式存在明显短板,部分城市仍以人工单点采样、实验室离线分析为主,监测频次低、时空分辨率不足,难以精准捕捉污染物在土壤-地下水-地表水间的跨介质迁移转化规律,无法及时反映污染浓度的动态变化特征,导致污染风险预警滞后。另一方面,新污染物监测能力存在显著缺口,针对微塑料、抗生素、全氟化合物、抗生素抗性基因等新兴污染物,目前缺乏成熟统一的检测标准与低成本、高灵敏度的快速监测技术,且相关监测设备购置与运维成本高昂,多数中小城市难以承担,造成污染风险识别存在“盲区”。例如,黄土高原能源化工集中区域,农业面源抗生素排放与工业污染叠加,滋生的抗生素抗性基因可通过土壤-地下水系统扩散,但由于该区域对这类新污染物的监测与研究起步较晚,尚未建立完善的风险评估体系,严重影响污染风险的精准管控与有效处置。

2.2 协同治理机制缺失,治理碎片化问题突出

从监管体系来看,土壤污染治理主要由生态环境部门牵头,地下水污染治理则涉及生态环境、水利、自然资源等多个部门,各部门间存在权责划分交叉或空白的情况,缺乏常态化的统筹协调与信息共享机制,导致治理工作呈现“各自为战”的碎片化状态,难以形成治理合力。从空间协同来看,跨区域、跨流域污染治理联动机制不健全,对于具有流动性、扩散性的污染问题,无法实现上下游、跨行政区域的同步监测、联合防控与协同治理。以中蒙边境地区为例,该区域频发的沙尘暴会携带蒙古国中南部矿区的重金属污染物,沉降后渗入我国边境城市土壤与地

下水系统,形成跨境复合型污染,但目前我国与蒙古国尚未建立针对此类跨境土壤-地下水污染的协同监测、风险评估与联合治理机制,导致污染防控陷入被动。

2.3 治理技术适配性差,成本效益失衡问题显著

一是技术与区域环境特征适配度不足,我国不同区域地质地貌、水文条件差异巨大,现有治理技术难以全面适配复杂场景需求。如喀斯特地区岩溶地貌发育,地下水径流路径复杂且流速快,污染物扩散范围广、溯源难度大,传统的阻隔修复技术易因地质结构破坏引发二次污染;北方干旱半干旱地区地下水埋深大、包气带结构特殊,土壤原位修复技术的降解效率大幅降低。二是治理成本与效益不匹配,当前主流的土壤-地下水污染修复技术(如热脱附、化学氧化、抽出-处理等)普遍存在前期投入大、运维成本高的问题,以某工业污染地块为例,采用化学氧化修复技术的单位成本可达200-300元/立方米,远超中小企业的承受能力。同时,末端修复技术占比过高,难以从根本上解决污染问题,后续需持续投入资金进行长期监测与维护,进一步加剧了成本压力,制约了治理工作的规模化推进。

3 城市土壤与地下水污染协同治理对策

3.1 构建智慧监测网络,提升精准溯源能力

整合物联网、大数据、遥感等技术,构建“空天地一体化”立体监测网络:在重点工业园区、垃圾填埋场等风险高发区域,全面推广宜昌双井交替自动监测模式,配置重金属连续分析仪、水质多参数检测仪等精密设备。如宜昌磷化工园区通过该模式,实现了地下水中磷、重金属等29项指标的实时动态监测,精准捕捉到3次突发性渗漏污染事件并及时处置。针对微塑料、抗生素、全氟化合物等新污染物监测短板,加快研发低成本、高灵敏度的检测技术。例如,在长三角某县级市试点应用基于表面增强拉曼光谱的新污染物快速检测设备,可在20分钟内完成土壤-地下水中5种典型新污染物的定量分析,有效降低了中小城市监测成本,扩大了监测指标覆盖范围。建立全国统一的土壤-地下水污染数据库,打通生态环境、水利、自然资源等部门的数据壁垒,实现监测数据跨区域、跨部门共享,如苏浙沪皖四地已实现重点污染地块监测数据实时互通,在此基础上运用机器学习算法构建污染物迁移预测模型,成功预警了太湖流域某印染企业污水渗漏引发的地下水硝酸盐污染扩散,为精准溯源和应急处置争取了时间,显著提升了污染溯源与风险预警的精准度。

3.2 创新源头阻断技术,推动治理模式转型

借鉴大庆源头防控经验,全面推动工业企业实施绿色化改造,重点对物料输送管线、化学品储存设施等关键环节进行防渗升级,构建泄漏检测预警系统,如广东某石化企业通过安装泄漏检测与修复(LDAR)系统,将物料泄漏率降低90%以上,从源头减少了土壤与地下水污染风险;在矿产开发集中区域,严格推广绿色矿山建设标准,同步实施生态补偿机制,如云贵川喀斯特地区某铅锌矿通过建设矿山废水处理站、覆土绿化、修建截排水系统等措施,大幅减少了开采过程中重金属污染物的排放,周边土壤镉含量较治理前下降62%,地下水水质达标率提升至95%。针对

不同区域污染特征,优化治理技术方案,实现精准适配:喀斯特地区推广宜昌“水系搭桥”源头减量技术,如贵州某废弃硫铁矿山通过该技术,将上游污染来水改道,使下游污水处理站日均处理量从4000立方米降至300立方米,治理成本大幅降低;工业城市全面应用大庆“发现一管控一跟踪”闭环管控模式,如沈阳某冶炼厂遗留地块通过该模式,实现了污染风险的全周期管控;在北方干旱地区加强地下水超采管控与人工补给,如内蒙古鄂尔多斯某矿区通过引黄河水人工补给地下水,结合土壤碳基改良技术,同步解决了地下水超采与土壤重金属污染问题。此外,加快研发推广低碳修复技术,如在江苏某电镀污染地块应用基于炭基固定化功能菌剂的生物修复技术,土壤中重金属去除率达85%以上;在湖南某农田污染区域采用磷基材料重金属稳定化技术,有效降低了土壤中镉的生物有效性,且治理成本较传统化学修复技术降低40%,显著减少了治理过程中的环境影响。

3.3完善协同治理机制,强化全链条管控

建立跨部门、跨区域协同治理领导小组,明确生态环境、水利、自然资源等部门的权责清单,统筹推进土壤-地下水污染调查、监测、治理等全流程工作,打破部门间的监管壁垒,如山东省组建省级协同治理专班,将土壤与地下水污染治理各环节纳入统一监管流程,某化工园区污染地块治理周期较之前缩短40%。完善跨区域污染联防联控机制,针对跨境、跨流域污染问题建立协商合作平台,如针对中蒙边境沙尘暴携带重金属污染问题,推动建立中蒙双边监测预警合作平台,共享污染数据并联合实施边境防护林建设工程;太湖流域苏浙皖三地签订《土壤-地下水污染协同治理协议》,明确上下游污染管控责任与补偿标准,通过联合监测、同步治理实现流域环境质量协同改善。健全“谁污染、谁治理”责任体系,强化企业污染治理主体责任,将污染管控情况纳入企业信用评价,如江苏省对30家土壤污染重点监管企业实施信用分级,对治理成效优良的企业给予税收减免,对失信企业限制融资授信;建立政府、企业、社会多元共治模式,通过财政补贴、税收优惠等政策激励企业主动参与治理,如浙江、江苏等地对采用低成本修复技术的中小企业给予治理

费用50%的补贴,有效提升了企业治理积极性。同时,鼓励社会资本投入污染修复产业,采用“环境修复+开发利用”模式,如上海某历史工业污染地块通过引入社会资本实施修复,既解决了土壤重金属污染问题,又实现了地块商业开发再利用,形成治理与效益双赢格局。此外,完善政策标准体系,结合区域环境容量制定差异化排放标准,如针对太湖流域农业面源污染突出的特点,制定严于国家标准的土壤氮磷含量限值;建立土壤-地下水污染治理生态补偿机制,如长江流域推行“治理成效与补偿挂钩”机制,上游城市若因污染治理不力导致下游水质恶化,需向中下游支付补偿资金,反之则获得奖励,保障治理工作长效推进。

4 结束语

城市土壤-地下水污染治理是一项长期复杂的系统工程,关乎生态安全、人居健康与城市可持续发展。当前,我国城市土壤-地下水污染治理已从“被动应对”向“主动防控”转型,宜昌智慧监测、大庆源头管控等典型模式为治理工作提供了宝贵经验。未来治理工作需以智慧监测为支撑,精准把握污染特征;以源头防控为核心,创新治理技术路径;以协同机制为保障,强化全链条管控。通过技术创新与制度完善的双重驱动,推动城市土壤-地下水污染治理实现从“末端修复”向“源头防控”、从“单点治理”向“系统治理”的根本性转变,为建设宜居、绿色、安全的现代化城市奠定坚实基础。

[参考文献]

- [1]罗浩,王长明,张光,等.探析城市土壤及地下水污染状况与应对策略[J].皮革制作与环保科技,2023,4(5):144-146.
- [2]张虎成,张川.浅析城市土壤及地下水污染状况与对策研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2021.
- [3]黄帅,孙秀萍,张力,等.城市土壤及地下水污染状况与对策研究[J].资源节约与环保,2022(1):30-33.

作者简介:

高瑜璇(1991--),女,汉族,河北省新乐市人,本科,环保工程中级职称,研究方向:土壤和地下水检测分析方向。