



土壤环境监测技术在土壤污染监测及治理中的应用效果概述

冯光华

蒙阴县蒙阴街道办事处 临沂 276200

摘 要: 土壤环境监测为保护生态环境提供了重要依据。本文简述了土壤环境监测技术在土壤污染监测与治理方面的创新应用。在阐述遥感监测技术的原理及特点的基础上,融合多源遥感数据与地面采样数据,构建出适合不同类型污染的监测技术体系,并进一步引入智能传感和物联网技术,发挥其实时性、自动化等优点,实现了对污染物的快速辨识与动态监测。本文还综合了土壤理化性质、气象条件和其他环境参数,有效提高了监测数据的精度。总之,该监测技术具有覆盖范围广、响应速度快、识别精度高等特点,能够为土壤污染防治提供有效的技术支撑。

关键词: 遥感监测技术; 土壤污染; 环境监测; 智能传感; 多源数据融合

中图分类号: X833

文章编号: 1671-9212(2025)06-0103-04

文献标识码: A

DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.06.013

在工业化和城市化的快速推进过程中,土壤污染问题日益突出,对生态环境和人类健康构成了重大威胁,因此加强土壤环境监测的研究具有紧迫而重要的现实意义。我国相关研究起步较晚,但科研人员依据我国土壤污染特点,已在遥感监测、地理信息系统应用等方面取得了一系列进展,研发出了适用于不同污染场景的监测技术,并积极探索了智能传感与物联网技术的融合应用^[1, 2]。然而,现有技术体系在监测精度、实时性及普适性方面仍存在一定局限。针对上述关键技术瓶颈,本文简述了土壤环境监测技术路径创新、优化策略以及效果评估等,以期提升土壤污染监测能力,为土壤污染防治决策提供科学依据。

1 主要土壤环境监测技术及应用

1.1 土壤环境监测技术的原理与特征

土壤环境监测技术作为一种综合性技术体系,主要借助遥感监测技术、地理信息系统技术、生物监测技术、智能传感与物联网技术等多种监测手段来获取土壤污染信息,各种监测技术的原理与特征

如下:

(1) 遥感监测技术借助传感器收集地物反射或者发射的电磁波信息,实现大范围土壤污染监测。其中,光学遥感主要利用土壤污染物在可见光-近红外-短波红外($0.35 \sim 2.5 \mu\text{m}$)的光谱吸收特征,反演土壤污染物含量,进而评估土壤污染程度;微波遥感则利用 $1 \text{ mm} \sim 1 \text{ m}$ 波段的电磁波对土壤水分较高的敏感性,通过解析后向散射系数或亮温等信息,实现全天候土壤水分含量监测^[3, 4]。

(2) 地理信息系统技术通过高效管理与分析空间数据,能直观展示污染物在空间上的分布特征。

(3) 生物监测技术基于某些指示生物对污染物的敏感响应,通过分析其形态结构或生理指标的变化来评估土壤污染程度。

(4) 智能传感与物联网技术通过布设分布式传感器网络,实现了对土壤污染物浓度的实时、在线自动化监测。

1.2 常用土壤环境监测技术应用

在土壤污染监测实践中,各类土壤监测技术根据其自身的特点,被应用于不同场景。遥感监测技术中, Landsat、SPOT、高分及资源等系列卫星

[收稿日期] 2025-09-15

[作者简介] 冯光华,女,1980年生,工程师,主要从事环境保护工程方面的工作, E-mail: kanhai_997110284@qq.com。



所搭载的多光谱扫描仪,通过分析土壤在可见光、近红外及短波红外波段的反射特征,可有效识别表层重金属污染区域^[5];而高分辨率合成孔径雷达(SAR)系统则利用微波后向散射原理,能够探测深层土壤污染物的分布信息。

地理信息系统技术与 GPS 定位技术结合,实现了从数据采集到智能决策的完整闭环,利用 GPS 提供精准的现场数据(如污染样本位置),再利用地理信息系统技术分析污染物的空间分布规律,追溯污染源,实现了污染物空间分布的可视化与动态追踪^[6]。生物监测技术可以监测土壤肥力、土壤污染胁迫早期预警,对于土壤毒性直接测试、生态系统稳定性和成熟度评估,对污染物的植物毒性、污染物生物有效性、植物修复效果等进行监测等。而智能传感网络则借助电化学传感器阵列,实现对有机污染物的多点位、实时、快速监测。例如,在工业园区等区域,通过布设重金属传感器网络构建风险评估指标体系,可对土壤重金属污染风险进行综合评估和预警。在土壤及地下水污染修复工程中,能持续跟踪土壤污染物浓度的变化,为确定修复目标和评估修复效果提供数据支撑。

2 土壤环境监测技术在应用中存在的问题

2.1 监测体系建设不完善

当前土壤环境监测体系的整体构建尚不完善,在多个环节存在明显短板。监测网络的空间布局不够合理、部分采样点的设置缺乏科学依据、监测点位分布疏密不均,致使一些关键污染区域未能被有效纳入监测范围,难以系统、准确地反映区域整体污染状况。同时,监测频率的设定与采样深度的选择也缺乏统一规范,影响了所获得的数据的连续性和代表性。现有监测规程标准化程度不高,不同来源监测数据之间的一致性难以保障。各监测机构在技术水平、设备条件和人员专业能力方面差异明显,共同制约了监测工作质量的整体提升。

2.2 技术应用存在局限性

当前,土壤环境监测技术在实际应用中存在着一定的局限性。遥感监测易受到地表覆盖和天气条

件干扰,难以持续获取到稳定的数据,且对深层或微量污染物的识别能力有限,很容易出现漏检的情况。生物监测技术的响应周期比较长,难以契合快速预警的需求;不同污染物对生物指标的作用机制较为复杂,影响了监测结果的准确性。智能传感技术在复杂土壤环境中的稳定性有待提高,传感器的寿命有限,且多组分污染物共存时易产生交叉干扰,制约了其监测精度。

2.3 数据质量控制难度较大

土壤环境监测数据在全程质量控制中面临诸多挑战。采样阶段,受土壤空间异质性强、污染物分布不均的影响,样品的代表性难以保障。样品运输以及保存阶段,如果控制不当,容易引起样品性质变化。在数据处理环节,多源异构数据整合困难,不同监测设备与分析方法所获取的数据之间可比性较弱,再加上数据体量大、更新频繁,质量审核的工作量较大。在系统运行过程中,设备故障与环境干扰等因素容易引发数据异常,而历史数据标准不一,缺乏统一的质量评价体系与有效的数据溯源机制,也为质量追溯与责任认定带来困难^[6]。

3 土壤环境监测技术创新与优化策略

3.1 监测点位优化布设

针对当前土壤环境监测网络布局存在结构性不合理的问题,需建立系统化的点位布设优化方案。基于地理信息系统与历史监测数据,可以构建污染风险评估模型,识别高污染风险区域及生态敏感区域,从而确定监测点的空间分布密度。具体实施中,应在工业园区、集约化农业区等高风险区域增加监测点位,而对背景区域则采取稀疏布点方式,以提升监测资源利用效率。同时,可运用空间统计学方法分析污染物的空间变异规律,并结合地形地貌、土地利用类型等环境因素,合理设定采样深度与监测频率,确保监测点位具备良好的空间代表性^[7]。此外,还应建立动态更新机制,根据实际监测结果对布点方案进行及时优化,并构建覆盖国家—省—市—县四级的层级布点体系,实现监测网络的有效衔接与空间全覆盖。



3.2 采样与分析方法改进

针对当前土壤环境监测中采样和分析环节的技术瓶颈,应从以下方面采取改进措施来提升监测质量:在采样技术层面,要积极开发具备 GPS 定位和深度控制功能的智能采样设备,推动采样作业的标准化与自动化;研制适用于不同土壤质地的专用采样工具,确保样品结构的完整性;采用基于污染物垂向迁移规律的分层复合采样方案,优化采样深度设计,提高样品的代表性。在分析技术层面,应大力开发快速、精准的实验室监测方法,如采用离子色谱、原子吸收光谱等高精密仪器,提升分析效率与准确度;建立多污染物同步监测技术,减少组分间相互干扰;完善全过程质量控制体系,通过标准物质校准、平行样品监测等措施,保障数据可靠性;同时开发便携式现场快速监测设备,为污染筛查与应急监测提供技术支持。

3.3 多源数据融合分析

为了解决土壤环境监测中单一数据源信息不完整的问题,需要积极推进多源数据融合分析技术的应用。该技术的核心在于整合遥感影像、地面采样数据、智能传感器实时数据等多源监测数据,构建多层次的数据融合框架。具体实施包括 3 个层次:在数据层,通过标准化处理和时空匹配技术,实现异构数据的统一接入;在特征层,提取各类数据中的关键指标,构建污染物空间特征数据库;在决策层,综合多源数据分析结果,提升污染状况判断的准确性。此外,还应结合土壤理化参数、气象水文条件和地形地貌特征等环境要素,建立污染物迁移转化模型,预测污染动态变化趋势。另外,还要引入深度学习等智能算法处理大规模异构数据,提高数据融合的效率与精度,最终为土壤污染防治提供全面的数据支持。

4 土壤环境监测技术应用效果评估

4.1 评估指标体系构建

为了系统评价土壤环境监测技术的实际应用效果,有必要构建一个涵盖多方面的评估指标体系。该体系应包含监测精度、响应效率以及系统稳定性

等关键指标。其中,监测精度可通过数据准确度、检出限以及重复性等指标来反映;响应效率则关注数据采集周期、传输速率和报警响应时间等关键参数;系统稳定性则依赖于设备运行可靠性、数据传输成功率以及抗干扰能力等指标。同时,还应引入成本效益分析指标,涵盖设备投入、运维成本以及监测效益评估,为技术的推广应用提供决策支持。此外,系统的可扩展性、数据共享能力及其与其他环境监测平台的兼容性也应作为评估体系的重要组成部分。通过建立这样一个多层次、全方位的指标体系,能够科学、客观地评判土壤环境监测技术的实际应用效果。

4.2 实验方案设计与数据采集获取

为了全面考察土壤环境监测技术的应用效果,重点监测了重金属(如铅、镉、汞、砷、铬)、有机污染物(包括多环芳烃和挥发性有机物)以及农药残留物(如有机氯、有机磷)的含量。监测范围覆盖工业园区、农业区和城市绿地等不同土地利用类型,并设置了常态、雨季及干旱期等多种环境情景,旨在从监测精度、响应效率以及系统稳定性等多个角度进行综合评价。监测地点选取了长三角工业园区、西北农业区及东部沿海城市等典型区域,以检验监测技术在不同土壤环境中的适应能力。同时,通过模拟不同环境干扰条件,评估其在实际复杂环境中的性能表现。

为确保数据的可靠性和代表性,采用多源数据采集策略:传统方法采用人工采样,结合实验室原子吸收光谱法测定重金属含量,气相色谱法分析有机污染物含量,采样频率为半年一次。而创新方法则运用多光谱遥感技术(覆盖 $0.4 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 波段)获取地表信息,通过布设电化学传感器网络实现重金属含量的实时监测,并借助气相色谱-质谱联用技术检测有机污染物含量,同时每季度进行一次采样分析。在数据采集过程中,实施严格的质量控制措施,包括对遥感数据进行大气与几何校正、对传感器数据进行异常值筛查、对采样数据实施平行样品分析与质控样品监测。同时,建立数据可追溯机制,记录采样、运输、保存及分析的全过程信息,以此确保数据完整可信。



4.3 监测结果分析

通过对比创新监测技术与传统方法在不同区域、不同环境状况下的表现,发现创新技术在监测精度、响应效率以及系统稳定性方面都有一定优势。由表 1 可以看出,在监测精度方面,多源数据融合技术提升了污染物识别能力,主要污染物的监测精度提升幅度超过了 15%,在复杂土壤环境中表现尤为突出;在响应效率方面,智能传感与自动化采样技术的应用将传统方法所需的 42 ~ 72 h 大幅缩减到 2.1 ~ 3.2 h,实现了高效、实时的预警响应;

在系统稳定性方面,改进后的监测技术在不同环境条件下的性能波动范围被控制在 5% 以内,呈现出良好的环境适应性。

尽管创新技术相比传统方法具有诸多优势,但仍存在一些局限,例如对低浓度污染物的监测灵敏度不足、在多组分干扰情况下数据准确性会有所下降等。针对这些问题,未来,可通过研发高灵敏度传感材料、改进数据分析算法等途径突破上述技术瓶颈,以全面提升土壤环境监测技术的可靠性和适用性。

表 1 不同监测条件下主要技术指标评估结果对比

监测区域类型	环境条件	监测方法	监测精度 (%)	响应时间 (h)	数据传输准确率 (%)	系统稳定性 (%)
工业园区	常态	创新技术	95.3	2.5	99.8	96.5
		传统方法	80.2	48	85.5	82.3
	雨季	创新技术	93.1	3.2	99.5	94.2
		传统方法	75.6	72	82.3	78.5
	干旱期	创新技术	94.7	2.8	99.7	95.8
		传统方法	78.9	60	84.2	80.6
农业	常态	创新技术	96.2	2.3	99.9	97.1
		传统方法	81.5	45	86.2	83.1
	雨季	创新技术	94.5	3	99.6	95.3
		传统方法	76.8	68	83.5	79.2
	干旱期	创新技术	95.8	2.6	99.8	96.4
		传统方法	80.2	56	85.1	81.3
城市绿地	常态	创新技术	97.1	2.1	99.9	97.8
		传统方法	82.3	42	86.8	83.9
	雨季	创新技术	95.2	2.8	99.7	96.2
		传统方法	77.5	65	84.1	79.8
	干旱期	创新技术	96.4	2.4	99.8	97.0
		传统方法	81.1	52	85.6	82.2

5 结语

本研究系统探讨了土壤环境监测技术的创新路径与实际应用成效。相比传统方法,创新监测技术在监测精度、响应效率及系统稳定性方面都得到了明显提升,展现出较好的推广应用前景。

随着智能传感技术和物联网技术的不断发展,自动化监测与实时预警等新型技术的深入应用将成为土壤环境监测领域的重点发展方向。后续工作可聚焦于智能采样装置的研制、多源监测数据的融合分析等,进一步提升土壤污染监测的精准度与时效性,为生态环境保护工作提供支持。(下转第 136 页)



4 蠋螬生物防治在园林绿地中的应用价值

4.1 生态价值

在园林绿地害虫治理的实际操作中, 蠋螬生物防治展现出独特的应用价值。蠋螬通过主动搜寻并捕食蚜虫, 能够有效降低蚜虫种群密度, 减轻植物叶片受损与枝条受害等直接危害, 为景观效果的长期持续稳定提供有力保障^[5]。与传统化学防治相比, 定向释放蠋螬可完全避免农药对植物与环境的负面影响, 有助于构建以天敌为核心的生态调控体系, 促进园林绿地中食物链的稳定运行, 提升园林绿地整体抗病虫害的能力, 有效抑制害虫二次爆发^[6]。

4.2 经济与社会价值

从长期管理来看, 蠋螬的应用价值还体现在经济与社会层面的双重效益上。减少化学农药的使用可降低养护成本, 避免药害及环境污染引发的次生损失, 经济实用。蠋螬生物防治技术的推广也向社会展示了绿色防控的实际成果, 提升了公众对生态园林建设的认同感, 促进了环保理念的传播。蠋螬生物防治技术融合了生态学和园林学的理念, 符合现代园林管理对生态平衡和长效治理的追求。

5 结语

在园林绿地害虫防控实践中, 蠋螬凭借其高效的捕食能力与良好的生态适应性, 能有效控制蚜虫的繁殖与扩散, 降低植物受害率, 减少病害传播风

险。蠋螬生物防治技术减少了化学药剂的使用, 从而减轻了环境污染, 有利于实现园林绿地可持续的健康管理。

随着绿色防控理念的深入推广, 蠋螬作为一种高效、环保的生物防治手段, 在未来园林绿化管理中有着广阔的应用前景, 在维护植物健康生长、优化生态环境和提升城市景观价值等方面, 均具有重要的实践意义。

参考文献

- [1] 肖雪庄, 许静杨, 张华颖, 等. 蠋螬聚集性诱剂介导的害虫生物防治初探 [J]. 天津农林科技, 2023 (4): 10 ~ 14.
- [2] 董艳, 夏舫, 车少臣, 等. 园林植物病虫害绿色防控技术创新与集成应用 [J]. 中国科技成果, 2023, 24 (11): 42 ~ 44.
- [3] 戴文昊. 蠋螬对枸杞棉蚜的捕食功能及其人工饲料的改进研究 [D]. 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2019.
- [4] 于静亚, 董立坤, 王志华, 等. 蠋螬成虫对印度修尾蚜的捕食功能反应 [J]. 湖北植保, 2022 (5): 37 ~ 40.
- [5] 马亚云, 薛柳, 滕玥, 等. 西山国家森林公园释放蠋螬防治榆蓝叶甲试验 [J]. 现代园艺, 2024, 47 (5): 118 ~ 120.
- [6] 杜浩, 刘学敏, 岳建伟, 等. 蠋螬的种群繁育及捕食作用研究进展 [J]. 热带农业科学, 2024, 44 (11): 141 ~ 147.
- [1] 肖胡萱, 蒲生彦, 何发坤, 等. 遥感技术在土壤污染中的应用研究进展 [J]. 地球与环境, 2020 (5): 48.
- [2] 程广兴, 牛勇, 王珑. 土壤环境污染监测与质量控制措施探讨 [J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6 (6): 121 ~ 123.
- [3] 肖宇. 土壤环境污染监测及治理措施 [J]. 资源节约与环保, 2023 (1): 55 ~ 58.
- [4] 刘彦平, 罗晴, 程和发. 高光谱遥感技术在土壤重金
- 属含量测定领域的应用与发展 [J]. 农业环境科学学报, 2020, 39 (12): 2699 ~ 2709.
- [5] 牟俊杰, 相梦琳. 环境监测在环境污染治理中的应用研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6 (13): 79 ~ 81.
- [6] 赵鑫, 孙春花, 沈贤. 我国土壤环境监测技术的应用现状及发展趋势 [J]. 中国资源综合利用, 2022, 40 (6): 125 ~ 127.
- [7] 刘江, 刘畅, 汪璠, 等. 新型传感器在土壤污染监测中的应用研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5 (2): 82 ~ 84.

(上接第 106 页)

参考文献