

土壤污染检测技术在环保领域的研究进展

李 珏

巴彦淖尔市生态环境局, 内蒙古 巴彦淖尔 015000

[摘要]土壤污染源涵盖了工业排放、农业活动、生活垃圾等多个方面, 污染物种类则包括有机物、无机物以及重金属等。面对如此复杂的污染情形, 化学分析法凭借其高精度, 在污染检测中得到了广泛应用; 生物法检测凭借其环境友好性, 已在生态监测领域占据了重要地位; 而物理法检测则凭借其快速、无损的特点, 在现场监测中发挥着关键作用。随着智能化、自动化及多参数集成检测技术的不断发展, 土壤污染检测的效率与数据分析能力显著提升, 为污染防控与修复工作提供了更加精准的科学支持。

[关键词]土壤污染; 检测技术; 环保领域

DOI: 10.33142/nsr.v2i2.16985

中图分类号: X53

文献标识码: A

Research Progress of Soil Pollution Detection Technology in the Field of Environmental Protection

LI Jue

Bayannur Ecological Environment Bureau, Bayannur, Inner Mongolia, 015000, China

Abstract: Soil pollution sources cover multiple aspects such as industrial emissions, agricultural activities, and household waste, and the types of pollutants include organic matter, inorganic matter, and heavy metals. Faced with such complex pollution situations, chemical analysis methods have been widely used in pollution detection due to their high accuracy; Biological detection has occupied an important position in the field of ecological monitoring due to its environmental friendliness; Physical testing plays a crucial role in on-site monitoring due to its fast and non-destructive characteristics. With the continuous development of intelligent, automated, and multi parameter integrated detection technology, the efficiency and data analysis capabilities of soil pollution detection have significantly improved, providing more accurate scientific support for pollution prevention and remediation work.

Keywords: soil pollution; testing technology; environmental protection field

引言

土壤污染已成为全球性环境问题, 严重威胁着生态安全与人类健康。随着工业化与城市化进程的加速, 污染物通过废水、废气及固体废弃物进入土壤, 污染形势愈加严峻。精准地检测污染物, 并及时评估其污染程度, 已成为实现有效治理与修复的关键环节。土壤污染检测技术的不断创新, 为环境监测与污染防治提供了坚实的技术支持。通过技术的进步, 污染物的精准检测与评估变得更加高效与可靠, 从而为环境保护提供了更加有力的保障。

1 土壤污染的主要类型与特性

1.1 有机污染物

有机污染物是土壤污染的重要成分, 主要包括多环芳烃(PAHs)、多氯联苯(PCBs)和挥发性有机化合物(VOCs)等。它们主要来源于石化、化工、农药使用及废物处理等活动, 因其化学结构稳定、难以降解, 通常在土壤中持久存在, 并通过食物链累积, 给生态系统和人类健康带来风险。有机污染物的迁移与转化受到物理、化学和生物因素的共同影响, 污染物的疏水性及土壤有机质含量、矿物组成等因素决定了其吸附特性。此外, 土壤的孔隙结构和水分条件也影响污染物的扩散与滞留。生物降解是降低有机污染物浓度的主要方式, 但对某些结构稳定的污染物, 如

PCBs 和 PAHs, 降解速度较慢。而挥发性较高的 VOCs 可能逸散到大气中, 形成二次污染。光降解和化学降解也在污染物转化中起着重要作用, 通过紫外线照射或氧化还原反应加速其分解。针对有机污染物的复杂性精准监测至关重要, 气相色谱-质谱联用(GC-MS)和液相色谱-质谱联用(LC-MS)等技术具有高灵敏度和分辨率, 可有效进行定性定量分析。然而, 由于污染物种类繁多且分布不均, 单一检测方法无法全面反映污染情况。进一步发展现场快速检测和原位监测技术将有助于动态监测和精准溯源, 为污染治理提供科学支持。

1.2 无机污染物

无机污染物是土壤污染的关键组成部分, 主要包括重金属(如铅、镉、汞、砷)和无机盐类(如硫酸盐、硝酸盐、氯化物), 这些污染物的来源非常广泛, 涉及矿业开采、冶金加工、农业中过量施用化肥和农药, 以及工业废弃物的堆放与生活垃圾的填埋等活动。由于无机污染物具有化学性质稳定且难以自然降解的特点, 一旦进入土壤环境, 它们通常会长期存在, 通过地下水渗透、地表径流或土壤颗粒的迁移扩散, 导致大范围的污染。重金属在土壤中主要通过吸附、沉淀及络合等化学作用与土壤颗粒结合, 从而减少其流动性。在酸性环境下或当螯合剂存在时, 重

金属可能从土壤中被释放,进而增强污染物的迁移性,显著增加生态风险。值得注意的是,重金属一旦被植物根系吸收并进入食物链,便可能对生态系统与人体健康造成严重威胁。与重金属不同,无机盐类因其较高的水溶性和流动性,极易随地表水或地下水扩散。当盐类在土壤中过量积累时,往往会导致地下水富营养化,从而引发土壤盐渍化问题。盐分胁迫不仅会破坏土壤结构,还抑制植物的生长,削弱土壤的生态功能,最终形成难以逆转的生态退化。目前,土壤中无机污染物的检测主要依赖于高精度的分析技术,如原子吸收光谱(AAS)、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)和X射线荧光光谱(XRF)。这些方法能提供准确的定量和定性数据。随着技术的进步,便携式分析设备和原位检测手段也已逐步推广,使得污染物的现场快速筛查成为可能,这对及时掌握污染动态至关重要。全面监测无机污染物在污染源追踪、污染程度评估以及土壤修复方案制定中的作用不容忽视。未来,借助多种检测技术的综合应用与智能数据分析的引入,土壤污染监测的效率与精度将得到进一步提升,为科学决策提供更加有力的支持。

1.3 重金属污染物

重金属污染物是土壤污染中最具危害性的类型,主要包括铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)和铬(Cr)等,这些污染物广泛来源于冶金、电镀、矿产开采以及农业活动。由于无法通过微生物降解,重金属在土壤中易于积累,且毒性持久,严重威胁生态系统和人类健康。在土壤中,重金属的迁移性受土壤性质、pH值、有机质含量等因素影响。通常,重金属与土壤颗粒发生络合或吸附作用,减少其迁移性。但在酸性环境或人为活动影响下,重金属可能从土壤颗粒解吸或溶解导致二次污染。尤其是镉和铅,即使在低浓度下也能显著抑制植物生长,影响农作物发育。此外,重金属具有生物富集效应,食物链中逐级积累,对人类健康造成威胁。长期摄入污染农产品或地下水可能引起神经损伤、肾衰竭等健康问题,尤其是镉和砷,其致癌性和致突变性尤为严重。目前,重金属的检测主要依赖于原子吸收光谱(AAS)、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)和X射线荧光光谱(XRF)等技术,这些方法具有高灵敏度和精确度,且现场快速检测技术逐步应用,为土壤修复和动态监测提供了有效支持。

2 土壤污染检测技术概述

2.1 化学分析法

化学分析法作为土壤污染物检测的重要手段,凭借其卓越的灵敏度与精确度,在环境监测与污染评估中得到了广泛应用。通过化学试剂或专用仪器,该方法能够对土壤样本中的目标污染物进行定性与定量分析,涵盖有机污染物、无机污染物及重金属元素等多种类型。常见的化学分析技术包括光谱分析、色谱分析与质谱分析。光谱分析法,如原子吸收光谱(AAS)与电感耦合等离子体质谱

(ICP-MS),广泛用于检测重金属元素的浓度,因其出色的选择性与检测灵敏度,成为土壤中金属污染物检测的首选方法。对于挥发性与半挥发性有机物的检测,气相色谱(GC)与高效液相色谱(HPLC)表现出良好的分离与定量能力,能够精准地识别复杂混合物中的目标化合物。质谱分析法(MS)则通过分子量测定与结构解析的优势,常与色谱联用,形成GC-MS或LC-MS组合,进一步提升了污染物检测的灵敏度与鉴定精度。化学分析法的显著优势在于其检测结果的准确性与良好的重现性,特别是在实验室条件下,能够有效检测痕量污染物。然而,在实际应用中,通常需要经过复杂的样品前处理步骤,如土壤样本的干燥、研磨、提取与净化等环节,以确保检测数据的可靠性。与此同时,由于化学分析仪器的高成本及对操作人员技术要求的限制,使得该方法在大范围实时监测中的应用受到一定约束。随着科技的不断进步,化学分析法正朝着自动化、智能化与联用技术方向发展。现代仪器设备的高度集成显著缩短了检测时间,提升了分析灵敏度与准确度。同时,结合地理信息系统(GIS)与大数据分析技术,化学分析法能够有效实现污染源的追踪溯源及土壤污染状况的动态监控,为环境治理与土壤修复提供了强有力的科学依据。

2.2 生物法检测

生物法检测是一种利用生物体或生物分子对土壤污染物进行识别与分析的技术。与传统的化学分析法相比,这一方法具有环境友好、成本较低、操作简便等优点,尤其适用于现场快速筛查与生态风险评估。其主要手段包括生物指示法、生物传感器技术以及生物标志物检测等。生物指示法通过观察特定生物体在污染环境下的生理、生化或行为反应,从而推测土壤污染的程度。当某些植物、微生物或动物暴露于特定污染物时,它们通常会表现出显著的敏感性,例如生长抑制、形态发生异常或生物量减少等现象。这些反应能够有效指示污染物的存在与浓度。例如,一些植物对重金属的富集能力较强,因而可以作为土壤重金属污染的生物指示物^[1]。生物传感器技术则利用特定生物分子(如酶、抗体或DNA探针)与污染物发生特异性反应,产生信号变化。通过物理或化学方式,这些信号被转化为可测量的电信号、光信号或颜色变化,从而实现污染物的快速检测。生物传感器具备高灵敏度与快速响应的特点,广泛应用于有机污染物及重金属离子的监测。生物标志物检测依赖于生物体内特定代谢产物或基因表达的变化,污染物进入生物体后,可能会引发一系列代谢途径的改变,如抗氧化酶活性增加、DNA损伤或特定基因的过表达,通过监测这些生物标志物的变化,能够推测污染物的类型与毒性,从而评估其对生态系统的潜在影响。尽管生物法检测在灵敏度与环境适应性方面具有明显优势,但其结果仍可能受到环境条件与生物体状态的影响,从而

带来一定的不确定性。因此,在实际操作中,通常将生物法与化学分析法或物理法结合使用,以确保污染检测结果的全面性与准确性。随着生物技术与分子生物学的不断进步,生物法检测的灵敏度与特异性预计将得到进一步提高,从而为土壤污染监测与生态保护提供更加有力的支持。

3 土壤污染检测技术的未来发展趋势

3.1 智能化与自动化检测技术

随着科技的不断进步,土壤污染检测领域的智能化与自动化技术展现出了显著的潜力。传统的土壤污染检测方法多依赖人工采样与实验室分析,这不仅耗时长、成本高,而且在大规模监测时效率较低。智能化与自动化技术的引入,为土壤污染监测提供了更加精准、高效和实时的解决方案。智能检测技术通过集成先进的传感器、物联网技术与人工智能算法,实现了对土壤污染的实时监测与数据分析。传感器网络的部署使得土壤中各种污染信息(如重金属浓度、有机污染物含量等)能够被实时采集,并通过无线网络传输至中央数据平台。在平台上,借助数据分析与人工智能算法,污染源得以快速识别,污染程度被准确评估,并能及时向相关部门发出预警通知^[2]。通过这一自动化的数据处理过程,监测效率得到了显著提高,人工干预被大幅减少,响应速度也得到增强。例如,便携式智能传感器与无人机技术的结合,使得大范围土壤污染监测变得更加灵活且高效。无人机搭载多种传感器,如光谱传感器与红外传感器,能够对地面土壤污染物进行探测与图像采集,从而实现对大面积区域的监控,并精准定位污染源。这些设备不仅能够在难以到达的地区进行监测,还能自动生成污染分布图,为环境治理提供科学支持。随着人工智能技术的飞速发展,智能系统的自学习与自适应能力也得到了不断增强。基于机器学习的算法,能够分析历史数据与实时监测数据,进而建立污染源与污染物之间的关系模型,进行更为精准的污染预测与趋势分析,这种智能化的预测能力提升了污染防控的精准性,并为土壤污染的长期管理与可持续治理提供了重要的支撑。

3.2 多参数集成与实时监测技术

多参数集成与实时监测技术的应用,标志着土壤污染检测进入了一个全新的发展阶段。传统的监测方法通常专注于单一污染物的检测,尽管这些方法能够提供详尽的信息,但却无法全面评估土壤污染的总体情况。而与此不同,多参数集成技术通过将多个传感器和检测设备集成于一个系统中,能够同时检测多种污染物,从而显著提高了监测的效率与准确性,该技术的主要优势在于能够同步监测

土壤中的多种污染物,包括重金属、有机污染物以及挥发性物质等。通过集成多种类型的传感器,如电化学传感器、光谱传感器、气体传感器等,可以实现不同污染物浓度的实时采集,形成一个全方位、多层次的监测网络。通过这种方式,研究人员和环境监控人员能够获得更加全面的污染信息图谱,从而更清楚地了解土壤污染的种类、分布及变化趋势,并为污染源追踪与风险评估提供了科学依据。实时监测技术的应用突破了传统人工实验室测试的时空限制,数据采集与分析不再局限于静态环境,通过智能传感器,土壤污染物的浓度可以被持续监控,并实时将数据传输至云平台或管理系统^[3]。依托大数据分析,这些实时数据不仅能及时揭示污染变化,还能够对污染趋势进行预测,并发出预警,从而有效增强了环境管理的前瞻性。在此基础上,土壤污染治理可以根据实时反馈进行动态调整和精准控制,从而降低环境风险。在大范围或偏远地区的监测中,多参数集成与实时监测技术展现出显著的优势。该技术能够克服传统监测方法的局限,确保数据采集的自动化与连续性。传感器网络与智能设备可以自主运行,减少人工干预,同时确保数据的高时效性和可靠性,通过这一技术的应用不仅提高了土壤污染检测的效率,也为环境保护与土壤修复提供了实时的决策支持。

4 结语

土壤污染检测技术在环境治理过程中扮演着至关重要的角色,为污染源的识别、污染程度的评估以及修复工作提供了不可或缺的数据支持。随着智能化、自动化及多参数集成技术的不断进步,检测手段将在未来实现更高效与更精准的监测,能够有效地进行实时监测与动态预警。通过技术创新、跨学科的协作以及政策的有效引导,土壤污染防治的工作将朝着更加科学、系统与可持续的方向发展。未来的检测方法,必将更加精准与高效,为环境保护与土壤修复提供坚实的技术支持。

[参考文献]

- [1]潘晓荣.土壤污染检测技术在环保领域的研究进展[J].皮革制作与环保科技,2025,6(2):117-119.
- [2]段罡,张居奎,刘陈.土壤重金属镉污染现状及检测技术研究[J].河南化工,2025,42(3):10-13.
- [3]李继磊,卢鹏宇,王珊珊.土壤污染的检测方法及其监测技术的发展趋势[J].清洗世界,2024,40(8):145-147.

作者简介:李珏(1994.8—),毕业院校:内蒙古大学,所学专业:化学工程,当前就职单位名称:巴彦淖尔市生态环境局,就职单位职务:科员,职称级别:中级工程师。