

# 土壤重金属污染监测与修复技术的前沿进展

李东旭

山西蓝天大地环境检测有限公司

DOI:10.12238/eep.v7i5.2049

**[摘要]** 本文综述了土壤重金属污染监测与修复技术的前沿进展,随着工业化进程的加速,土壤重金属污染问题日益严重,对生态环境和人类健康构成严重威胁。因此,开展土壤重金属污染的监测与修复技术研究显得尤为重要。在监测技术方面,介绍了包括高分辨率遥感技术、激光诱导击穿光谱(LIBS)技术、纳米生物传感器技术以及人工智能与大数据技术等在内的前沿进展,这些技术为土壤重金属污染的监测提供了高效、准确的手段。在修复技术方面,探讨了纳米技术修复、植物修复、微生物修复、化学淋洗与稳定化技术以及联合修复技术等前沿进展,这些技术为土壤重金属污染的修复提供了多样化、环保的解决方案。通过综合应用这些技术,可以有效地监测和修复土壤重金属污染,保护生态环境和人类健康。

**[关键词]** 土壤重金属污染; 监测技术; 修复技术; 前沿进展

**中图分类号:** Q938.1+3 **文献标识码:** A

## Advances in monitoring and remediation of heavy metal pollution in soils

Dongxu Li

Shanxi Blue Sky Earth Environmental Testing Co., LTD

**[Abstract]** This paper reviewed the advance of soil heavy metal pollution monitoring and remediation technology. With the acceleration of industrialization, soil heavy metal pollution has become increasingly serious, posing a serious threat to the ecological environment and human health. Therefore, it is particularly important to study the monitoring and remediation technology of soil heavy metal pollution. In terms of monitoring technology, the advanced development including high-resolution remote sensing technology, laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) technology, nano-biosensor technology, artificial intelligence and big data technology are introduced, which provide efficient and accurate means for monitoring soil heavy metal pollution. In terms of remediation technology, the advances in nanotechnology remediation, phytoremediation, microbial remediation, chemical leaching and stabilization technology and joint remediation technology were discussed, which provide diversified and environmentally friendly solutions for the remediation of soil heavy metal pollution. Through the comprehensive application of these technologies, the soil heavy metal pollution can be effectively monitored and repaired, and the ecological environment and human health can be protected.

**[Key words]** soil heavy metal pollution; Monitoring technology; Repair technique; Frontier progress

土壤作为地球生态系统的重要组成部分,不仅承载着生物生存的基础,还为人类提供了丰富的资源。然而,随着工业化、城市化的快速发展,大量重金属通过废水、废气、废渣等途径进入土壤,造成土壤重金属污染。土壤重金属污染具有隐蔽性、持久性和不可逆性等特点,对生态环境和人类健康构成严重威胁。因此,开展土壤重金属污染监测与修复技术的研究,对于保护生态环境、维护人类健康具有重要意义。

### 1 土壤重金属污染监测与修复技术的重要性

土壤重金属污染监测与修复技术的重要性不容忽视,在现

代工业化和城市化的快速发展中,土壤重金属污染问题日益凸显,对生态环境和人类健康构成了严重威胁。因此,土壤重金属污染的监测和修复工作变得尤为重要。在土壤重金属污染监测方面,它是评估土壤环境质量、制定修复方案的基础。通过精确的监测技术,可以全面、准确地了解土壤中重金属的种类、含量、分布及其变化趋势。这些数据不仅能够为土壤污染评价提供科学依据,还能为后续的修复工作提供重要的参考。同时,监测数据的持续积累和分析,有助于更深入地理解土壤重金属污染的成因和演变规律,为制定更加科学、有效的防治措施提供有力支

持。土壤重金属污染修复技术是实现土壤污染治理、恢复土壤功能的关键。针对不同类型的土壤重金属污染,需要采用不同的修复技术。这些技术包括物理修复、化学修复、生物修复等多种方法,旨在有效降低土壤中重金属的含量,减轻其对生态环境和人类健康的危害。通过修复技术的应用,可以显著改善土壤质量,恢复土壤的生态功能,为农业生产、城市建设等提供更加安全、可靠的土地资源。因此,加强土壤重金属污染修复技术的研究和应用,对于维护生态安全和保障人类健康具有重要意义。

## 2 土壤重金属污染监测技术

### 2.1 高分辨率遥感监测技术

高分辨率遥感监测技术在土壤重金属污染监测领域展现出其独特的优势,借助先进的卫星和无人机平台,这项技术能够覆盖广阔区域,捕捉到土壤表面的微小变化。搭载的高性能传感器精确捕捉土壤反射的光谱信息,这些光谱中蕴含着土壤中重金属元素的“指纹”。通过精细的光谱分析和图像处理技术,这些复杂的数据被转化为直观的图像和信息,使得土壤中的重金属污染无所遁形。这项技术不仅显著提升了监测的效率和准确性,还极大地拓展了监测范围,为快速评估大面积土壤污染提供了强有力的技术支持。

### 2.2 激光诱导击穿光谱技术 (LIBS)

激光诱导击穿光谱 (LIBS) 技术以其独特的优势,在土壤重金属污染监测领域展现出革命性的潜力。它运用高能激光束直接照射土壤样品,瞬间产生高温高压的等离子体。在这一过程中,土壤中的重金属元素被激发,释放出独特的光谱信号。这些光谱信号蕴含着丰富的信息,通过精密的光谱分析技术,研究人员能够迅速解码出其中蕴含的重金属元素种类及含量。LIBS技术的非接触性特点使其能够直接对土壤进行监测,无需繁琐的样品预处理过程,大大节省了时间和成本。其快速响应和高灵敏度特性使得该技术能够在现场进行实时监测,为土壤重金属污染的快速识别和评估提供了强有力的技术支持。因此,LIBS技术在土壤重金属污染监测领域具有广阔的应用前景和巨大的发展潜力。

### 2.3 纳米生物传感器技术

纳米生物传感器技术结合了纳米技术和生物传感技术,通过纳米材料的高比表面积和生物识别元件的特异性识别能力,实现对土壤重金属的高灵敏度和高选择性监测。纳米生物传感器可以通过改变纳米材料的结构或表面修饰,实现对不同重金属离子的特异性识别,并通过电化学、光学等信号转换方式将识别结果转化为可测量的信号输出。该技术具有检测限低、响应速度快、便携性好等优点,适用于现场实时监测。

### 2.4 人工智能与大数据技术在监测中的应用

随着人工智能和大数据技术的飞速发展,土壤重金属污染监测领域迎来了革新。通过广泛收集和分析土壤监测数据,研究人员能够利用先进的机器学习、深度学习算法构建高精度的预测模型。这些模型具备强大的学习能力,能够根据历史数据和当前环境条件,精准预测土壤重金属污染的未来演变趋势及潜在

风险区域。结合地理信息系统 (GIS) 技术,研究人员能够将复杂的监测数据转化为直观、易懂的图形和图像,为政策制定者、环保专家等提供全面、深入的决策支持。这一技术的引入,不仅提升了监测的智能化和精准化水平,也极大地促进了监测数据的有效利用和广泛共享,为土壤环境保护和治理提供了强大的技术支撑。

### 2.5 新型环境友好型监测材料

随着全球环保意识的日益增强和可持续发展战略的深入实施,土壤重金属污染监测领域正迎来一场材料革新的浪潮。研究人员正积极探索和开发新型环境友好型监测材料,这些材料不仅具备生物相容性好、可降解的特质,还做到了无毒无害,极大地降低了对环境的潜在威胁。在土壤重金属污染监测的实际应用中,这些新型材料被巧妙地用于制造传感器,其监测性能卓越,能够精准捕捉土壤中的重金属污染情况。更为值得一提的是,这些传感器在完成监测任务后能够自然降解,不会对环境造成长期负担。这一创新不仅提高了监测技术的环保性,也为土壤重金属污染的防治提供了更加绿色、可持续的解决方案。

## 3 土壤重金属污染修复技术

### 3.1 纳米技术修复

纳米技术修复在土壤重金属污染领域展现出了巨大的潜力和前景,这种方法依赖于纳米材料独特的物理化学性质,如极高的比表面积和反应活性,为重金属离子的去除和固定提供了全新的解决方案。纳米材料,如纳米零价铁、纳米氧化铝和纳米碳材料等,已被科研人员广泛研究和应用于土壤重金属污染的修复实践中。这些纳米材料能够与土壤中的重金属离子发生化学反应,如氧化还原、沉淀等,从而有效去除或转化重金属离子。它们还通过物理吸附作用,将重金属离子固定在材料表面,阻止其进入生态系统。这种修复技术不仅效率高,而且针对性强,能够针对不同类型的重金属污染进行精准治理。纳米材料还具有良好的稳定性和环境相容性,能够在土壤中长时间保持活性,持续发挥修复作用。随着纳米技术的不断发展和完善,相信这种修复方法将在未来土壤重金属污染治理中发挥更加重要的作用<sup>[1]</sup>。

### 3.2 植物修复技术

植物修复技术在土壤重金属污染修复领域中备受关注,因其绿色、经济的特性而具有显著优势。该技术通过植物对重金属的自然吸收、转运和积累过程,实现土壤中重金属的去除或转化。近年来,科研人员通过筛选和培育高效重金属吸收能力的植物品种,显著提升了植物修复技术的效率和实用性。同时,植物与微生物的联合修复技术也展现出良好的应用前景,通过微生物的协助,植物能够更有效地吸收和转化重金属。此外,植物纳米材料联合修复和植物-基因工程修复等新型技术也逐渐被探索和应用,为土壤重金属污染修复领域带来了新的希望和可能。

### 3.3 微生物修复技术

微生物修复技术在土壤重金属污染修复领域扮演着越来越重要的角色,这项技术基于微生物对重金属的强大吸附、转化和

降解能力,为土壤修复提供了新的解决方案。某些微生物具有特殊的细胞壁官能团,它们能够与土壤中的重金属离子发生络合作用,从而有效地将重金属从土壤中去。而其他微生物则通过其独特的酶系统,将重金属离子转化为毒性较低或无毒的形态,降低了重金属对环境和生物体的危害。近年来,科研人员在这一领域取得了显著的进展。他们通过筛选和培育出具有高效重金属修复能力的微生物菌株,显著提升了微生物修复技术的效率。基因工程技术也被应用于微生物修复中,通过改造微生物的遗传物质,使其具备更强的重金属吸附和转化能力,从而提高了修复技术的稳定性和可靠性。这些前沿进展为土壤重金属污染的修复提供了更加高效、环保的解决方案<sup>[2]</sup>。

### 3.4 化学淋洗与稳定化技术

土壤重金属污染修复领域正不断迎来技术革新,其中化学淋洗与稳定化技术尤为引人注目。化学淋洗技术通过向受污染的土壤中注入特定的淋洗液,利用淋洗液与土壤中的重金属离子发生作用,将重金属离子从土壤中有效淋洗出来。随后,经过处理的淋洗液可以进一步回收和处理,以减少对环境的二次污染。稳定化技术则是一种更为直接的方法,它通过在土壤中添加稳定剂,如硅酸盐、磷酸盐等,使重金属离子与稳定剂发生化学反应,形成稳定的化合物。这种稳定化合物能够显著降低重金属离子的生物有效性和迁移性,从而有效减少重金属对土壤生态系统的潜在威胁。近年来,研究人员不断对这两种技术进行改进和优化。他们通过深入研究重金属离子与淋洗液、稳定剂之间的作用机制,优化淋洗液和稳定剂的配方,使其更加高效、环保。他们还在淋洗和稳定化工艺上进行了创新,如采用先进的淋洗设备和稳定化技术,提高了修复效率和稳定性。这些进展不仅为土壤重金属污染修复提供了新的思路和方法,也为环境保护和可持续发展贡献了力量<sup>[3]</sup>。

### 3.5 联合修复技术

土壤重金属污染修复技术的前沿正不断拓展,联合修复技术作为其中的亮点,展现了其独特的优势。这种技术巧妙地将两

种或多种修复方法融合,旨在最大化各种技术的效能,以提升整体修复效率和可行性。例如,植物修复与微生物修复的结合,通过植物根系分泌物为微生物提供生长环境,进而增强微生物对重金属的转化和固定能力。另外,化学淋洗与稳定化技术的联合使用,能够先通过淋洗去除大量重金属,再利用稳定剂将剩余重金属转化为稳定形态,减少其环境风险。联合修复技术的灵活性和适应性使其能够应对不同类型和程度的土壤重金属污染,为土壤修复领域提供了更加全面、高效的解决方案<sup>[4]</sup>。这些前沿技术的不断进步,将为土壤重金属污染的治理和环境保护作出重要贡献。

## 4 结语

土壤重金属污染问题日益严重,对生态环境和人类健康构成严重威胁。监测与修复技术的研究显得尤为重要。当前,高分辨率遥感、LIBS技术、纳米生物传感器以及人工智能与大数据技术等前沿进展,为土壤重金属污染的监测提供了高效、准确的手段。纳米技术修复、植物修复、微生物修复等多样化修复技术则为治理提供了环保解决方案。展望未来,这些技术将持续向更高效、环保方向发展,为土壤重金属污染防治提供坚实支撑。同时,加强环境保护意识,共同守护地球家园,刻不容缓。

## [参考文献]

- [1]何雪莲,韦超前,来楷迪,等.耕地土壤重金属污染与修复技术研究进展[J].资源节约与环保,2023,(12):141-148.
- [2]黎红娟,刘宇.铅锌冶炼场地重金属污染土壤修复技术研究进展[J].绿色矿冶,2023,39(06):81-85.
- [3]徐晓晨,李馨瞳,赵艺源.园林景观土壤环境重金属污染生物修复技术研究[J].环境科学与管理,2023,48(12):123-128.
- [4]杨超.工业地块中重金属污染土壤典型修复技术研究进展[J].广东化工,2023,50(19):134-135+106.

## 作者简介:

李东旭(1985--),男,汉族,山西太原人,硕士,工程师,从事环境监测。