

土壤重金属污染治理技术与应用研究

凌玲

内蒙古岫川工程技术有限公司

DOI:10.12238/eep.v7i9.2251

[摘要] 土壤重金属污染已成为全球环境问题中一个不容忽视的挑战,对农业生态系统和人类健康构成了严重威胁。本文针对土壤中重金属污染的治理技术进行了系统的探讨,分析了物理、化学和生物修复方法的原理、优缺点及其在实际应用中的可行性与限制性。通过对不同修复技术的比较,明确了各类技术的适用条件和发展前景,并提出了一些未来可能的改进方向,着重为土壤重金属污染治理提供科学依据和技术支持。本文还详细讨论了数字化分析在重金属污染治理中的应用,以期在环境治理中实现更高的精度和效率。

[关键词] 土壤污染; 重金属; 修复技术; 物理治理; 生物修复

中图分类号: X53 **文献标识码:** A

Research on Soil Heavy Metal Pollution Control Technology and Application

Ling Ling

Inner Mongolia Yuchuan Engineering Technology Co., Ltd

[Abstract] Soil heavy metal pollution has become a significant challenge in global environmental issues, posing a serious threat to agricultural ecosystems and human health. This article systematically explores the treatment technologies for heavy metal pollution in soil, analyzes the principles, advantages and disadvantages of physical, chemical and biological remediation methods, and their feasibility and limitations in practical applications. By comparing different remediation technologies, the applicable conditions and development prospects of each technology have been clarified, and some possible improvement directions for the future have been proposed, focusing on providing scientific basis and technical support for the treatment of soil heavy metal pollution. This article also discusses in detail the application of digital analysis in heavy metal pollution control, in order to achieve higher accuracy and efficiency in environmental governance.

[Key words] soil pollution; Heavy metals; Repair technology; Physical governance; Bioremediation

引言

随着工业化和城市化的不断推进,土壤重金属污染问题日益严峻,尤其是在矿区、工业园区及周边农业用地,重金属污染的影响范围广、危害大。重金属元素如铅、镉、铬和汞等在土壤中难以降解,能长期滞留并积累,最终通过食物链对人类健康产生威胁。为了降低重金属污染对生态环境和人类健康的危害,研发和应用有效的土壤修复技术已成为各国科研工作者和环保部门的关注焦点。本文旨在探讨多种重金属污染治理技术及其在实际应用中的效果和局限性,期望通过系统的研究为未来土壤修复提供参考和依据。

1 土壤重金属污染的物理治理技术及其应用

1.1 固定化技术

固定化技术是一种常见的物理治理方法,主要是通过向土壤中添加特定的固定化剂,将重金属元素固定在土壤中,减少其

流动性和生物可利用性。常见的固定化剂包括石灰、水泥、磷酸盐等,通过这些物质与重金属发生化学反应,使重金属元素沉淀或转化为稳定形态,从而降低污染物的毒性。固定化技术的优点在于操作简便,成本较低,适用于大面积的土壤修复。然而,其限制在于仅能降低重金属的生物有效性,并不能完全去除污染物,同时在固定化剂用量和混合均匀度上需要精确控制,以保证修复效果。此外,由于固定化剂的添加可能会改变土壤的物理化学性质,因此在使用该技术时需要结合具体的土壤类型进行评估和优化。

1.2 土壤换填法

土壤换填法是一种直接有效的物理修复技术,通常用于重金属污染严重且修复难度较大的区域。其基本原理是将被污染的土壤挖出,换上未受污染的新土,改善土壤质量。土壤换填法虽然在短时间内能够显著改善污染浓度,但其实施成本高,操作

过程复杂,尤其是对于大面积污染区域,土壤换填的运输和处置问题成为了该技术的主要瓶颈。此外,被挖出的污染土壤如何进行无害化处理也是一大挑战。

1.3 电动修复技术

电动修复技术利用电场将重金属从污染土壤中迁移出来,是一种较为先进的物理修复方法。该技术适用于重金属污染较重且土壤导电性较好的场景,能够有效地将重金属从土壤中迁移到电极区域,并通过电极进行收集和处理。电动修复的优点在于对重金属有较高的去除效率,尤其是对深层土壤的修复具有独特的优势。然而,该技术的耗能较高,电极材料的选择和配置成本较大,且对土壤结构的影响需要进一步研究,以评估其长期应用的可行性。

2 土壤重金属污染的化学修复技术及其应用

2.1 化学淋洗技术

化学淋洗技术是通过向被污染的土壤中添加化学淋洗剂,使重金属溶解到淋洗液中,从而实现污染物的去除。淋洗剂的选择通常包括酸、碱和螯合剂等,这些化学物质能够与重金属形成可溶性配合物,便于后续的分离和处理。化学淋洗技术的优点在于能快速降低土壤中重金属的含量,但其存在一定的生态风险。在某个镉污染严重的农田区域,研究人员使用EDTA作为螯合剂进行化学淋洗处理。结果表明,通过淋洗处理后,土壤中镉的含量降低了约70%,同时土壤中其他主要营养元素的含量变化较小,表明该技术对镉的去除具有较好的选择性。然而,EDTA的残留和可能的地下水污染仍然是该技术应用中需要重点关注的问题。因此,未来的研究可以考虑开发更加环保和易降解的淋洗剂,以降低对环境的潜在危害。

2.2 化学氧化还原技术

化学氧化还原技术是通过添加氧化剂或还原剂来改变重金属的价态,从而降低其毒性或增加其沉淀能力。例如,铬元素在土壤中以Cr(VI)的形式存在时具有较高的毒性,通过添加还原剂可以将其转化为毒性较低的Cr(III)形态。该技术的优点在于可以有效降低某些特定重金属的毒性,但其局限性在于不同重金属的化学行为差异较大,需针对具体污染物选择合适的药剂和反应条件,同时反应产物的长期稳定性也需要进一步验证。在某工业园区的土壤修复中,研究人员使用亚硫酸氢钠作为还原剂,将土壤中的六价铬转化为三价铬,结果表明,土壤中Cr(VI)的浓度降低了90%以上,Cr(III)的含量显著增加。该修复过程不仅降低了铬的生物毒性,还减少了其在环境中的迁移风险。但还原剂的选择和使用量需要根据具体的污染物特性进行调整,同时反应过程中产生的副产物是否对环境有其他潜在影响也需要进行系统评估。

2.3 化学稳定化技术

化学稳定化技术类似于物理固定化,通过向土壤中添加稳定剂,使重金属与土壤中的其他成分发生化学反应,形成难溶或不可移动的化合物,以降低重金属的生物可利用性。常用的稳定剂包括磷酸盐、石灰和铁氧化物等,这些物质能够与重金属生成

稳定的沉淀物。化学稳定化的优势在于其成本较低,适合大面积应用,但对于不同类型的重金属,所需的稳定剂及其反应条件可能差异较大,且稳定化后的土壤在自然条件下的长期行为仍需进一步观察。在某农业用地中,研究人员向受污染的土壤中添加磷酸盐,以降低土壤中镉和铅的生物有效性。结果表明,通过磷酸盐的添加,镉和铅的迁移率分别降低了50%和65%。此外,土壤中的pH值也有所改善,有助于提高植物对其他营养元素的吸收。然而,化学稳定化后的长期效果仍需进一步观测,特别是在不同气候条件下,稳定化物质是否会重新释放重金属仍然是未来需要研究的关键问题。

3 土壤重金属污染的生物修复技术及其应用

3.1 植物修复技术

植物修复技术是一种利用植物对重金属的吸收、积累和固定作用,减少土壤中重金属污染的技术。某些耐重金属植物,如向日葵、苋菜和水稻等,能够吸收并积累大量的重金属,将其固定在根系或地上部,从而减少土壤中的重金属含量。在某工业区的边缘地带,研究人员种植了向日葵以修复受污染的土壤。经过两个生长周期后,土壤中铅的含量降低了40%以上,表明向日葵对铅的吸收具有显著效果。然而,由于植物修复的周期较长且需要适宜的生长环境,对于高浓度污染区域或气候条件较差的地区,其修复效果可能受限。此外,植物修复后的生物物质如何进行无害化处理也是需要解决的问题,特别是对于积累了大量重金属的植物,其处理不当可能会造成二次污染。

3.2 微生物修复技术

微生物修复技术通过利用微生物的代谢活动,促使重金属的沉淀、氧化还原或络合反应,从而减少其在土壤中的移动性和生物有效性。例如,一些厌氧细菌能够将高毒性的六价铬还原为低毒性的三价铬,而某些真菌则能够通过分泌有机酸螯合重金属,减少其毒性。微生物修复技术的优势在于其选择性好,能够对不同的重金属污染进行特异性修复,但微生物修复需要特定的环境条件,如适宜的pH值、温度和湿度等,否则微生物活性会受到抑制,影响修复效果。在某矿区土壤中,研究人员分离出了一种对镉具有较强耐受性和修复能力的细菌,通过接种该细菌,土壤中镉的生物有效性降低了60%以上。然而,微生物修复也面临一些挑战,如如何保持微生物的高活性和稳定性,以及在复杂环境条件下如何确保修复效果的一致性。因此,未来的研究可以考虑微生物与其他修复手段的联合应用,以提高整体修复效率。

3.3 植物-微生物联合修复

植物-微生物联合修复技术通过将植物和微生物结合使用,利用两者的协同作用来提高重金属的修复效果。例如,根际微生物能够分泌促进植物生长的物质,提高植物对重金属的耐受性和吸收能力,而植物根系分泌的有机物则为微生物提供了良好的生长环境,从而实现了对重金属的高效去除。植物-微生物联合修复的优点在于能够克服单一技术的局限性,但其应用还面临着修复体系复杂、操作控制难度大等问题。在某农业用地的修复中,研究人员采用了苋菜与特定的根际微生物联合修复方法,

结果表明,土壤中镉的含量降低了75%以上,同时土壤中的有机质含量也有所增加,表明该联合修复技术对改善土壤质量具有积极作用。然而,植物与微生物之间的协同作用受到多种因素的影响,如土壤的pH值、营养元素的含量等,因此在实际应用中需要对环境条件进行精细化管理,以保证修复效果的一致性和可持续性。详见图1。

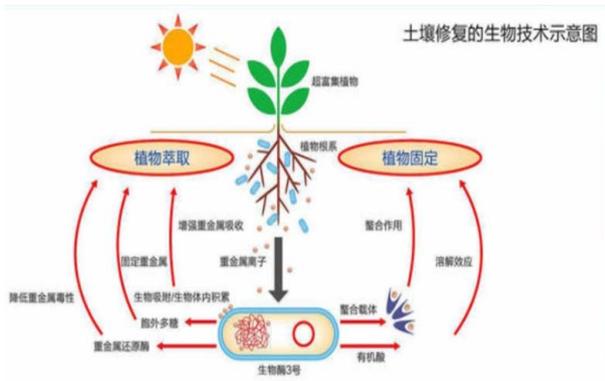


图1 土壤修复的生物技术示意图

4 数字化分析在重金属污染治理中的应用

4.1 重金属污染的空间分布分析

通过数字化分析技术,可以准确地对土壤中重金属污染的空间分布进行评估。借助地理信息系统(GIS)和遥感技术,研究人员可以将采样数据进行数字化处理,从而得到污染物的空间分布图。例如,某工业区的土壤中铅的平均浓度为350mg/kg,而临近的农业区则为80mg/kg,这些数据通过GIS系统进行处理后,可以帮助制定针对性更强的治理措施。这种技术的应用提高了污染治理的精确度,能够使修复工作有的放矢,从而节省成本,提高修复资源的利用效率。

4.2 数据建模与预测

通过建立数学模型,可以对土壤重金属污染的变化趋势进行预测。例如,某地区土壤中镉的浓度在过去十年间由10mg/kg增加至15mg/kg,通过建立回归模型,可以预测未来五年的污染趋势,并为治理工作提供科学依据。数字化建模的优势在于能够为治理方案的制定提供量化支持,使得修复措施的制定更加科学化和合理化。然而,模型的精确性受到多个因素的影响,如数据质量、建模方法的选择等,因此在使用时需结合现场实际情况进行修正。在某工业区的污染治理中,研究人员基于历史数据建

立了污染物迁移的数学模型,并结合气象、地形等因素对未来的污染趋势进行了预测。结果表明,如果不采取任何治理措施,土壤中镉的浓度将在未来五年内增加至20mg/kg以上。因此,研究人员建议尽快采取化学稳定化和植物修复等措施,以有效控制污染的进一步扩散。

4.3 重金属污染的风险评估

数字化技术在重金属污染风险评估中的应用主要体现在数据分析和风险评价指标体系的构建上。例如,基于土壤中重金属含量、土壤pH值、重金属在食物链中的迁移系数等数据,可以计算出重金属对生态环境和人类健康的风险指数。在某地区的风险评估中,研究人员通过收集土壤样本、分析重金属含量及土壤理化特性,结合食物链迁移系数,构建了多参数的风险评估模型。结果显示,工业区的铅和镉的风险指数均超过了3.5,表明对当地居民和生态系统存在较高的健康风险。因此,研究人员建议采取联合修复技术,并对土壤进行定期监测,以确保修复效果和环境安全。

5 结语

土壤重金属污染的治理是一个复杂而长期的过程,需要结合物理、化学和生物等多种技术手段,以实现污染物的有效去除和环境的持续改善。不同的治理技术在实际应用中各有优缺点,需要根据具体的污染状况和环境条件进行选择和优化。同时,数字化技术的引入为污染评估和治理提供了新的思路和方法,有助于提高修复工作的科学性和精准性。未来的研究应重点关注多技术集成应用的探索,以期为土壤重金属污染治理提供更加高效和可行的解决方案。

[参考文献]

- [1]褚文斌,许雅馨.土壤污染治理技术现状及展望[J].环境科学与技术,2023,46(3):15-20.
- [2]邹浩,李建威.重金属污染土壤的生物修复技术研究[J].生态环境学报,2022,41(4):98-105.
- [3]冯子豪,程雨轩.基于GIS的土壤重金属污染风险评估[J].地理科学,2024,59(2):112-118.

作者简介:

凌玲(1988—),女,汉族,内蒙古赤峰市宁城县人,本科,工程师,研究方向:生态环境工程。