

重金属污染地块风险评估及土壤修复治理方案

邓江飞 李雪婷*

新疆蓝熹禾环保科技有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 论文聚焦重金属污染地块, 系统开展风险评估并提出土壤修复治理方案, 阐述重金属污染现状及危害, 详细介绍污染地块风险评估的流程、方法与关键指标, 包括污染源识别、污染扩散模拟、风险等级划分等。基于评估结果, 针对性提出物理修复、化学修复、生物修复等多种土壤修复技术方案, 并结合实际案例进行分析, 旨在为重金属污染地块的科学治理提供全面、可行的技术指导, 助力改善土壤环境质量, 保障生态安全与人体健康。

关键词: 重金属污染; 地块风险评估; 土壤修复; 治理方案; 生态安全

Risk Assessment and Soil Remediation Plan of Heavy Metal Contaminated Land

Jiangfei Deng Xueting Li*

Xinjiang Lanxihe Environmental Protection Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: This paper focuses on contaminated sites with heavy metal pollution, systematically conducting risk assessments and proposing soil remediation plans. It elucidates the current status and hazards of heavy metal pollution, detailing the procedures, methods, and key indicators for risk assessment of contaminated sites, including source identification, pollution spread simulation, and risk classification. Based on the assessment results, various soil remediation techniques such as physical, chemical, and biological restoration are proposed in a targeted manner. The paper also analyzes practical cases to provide comprehensive and feasible technical guidance for the scientific management of heavy metal-polluted sites, aiming to improve soil environmental quality and ensure ecological safety and human health.

Keywords: heavy metal pollution; site risk assessment; soil remediation; treatment plan; ecological safety

0 前言

随着工业化和城市化的快速发展, 重金属污染问题日益严峻。重金属具有毒性高、难降解、易富集等特点, 一旦进入土壤环境, 会在土壤中长期残留并不断累积, 通过食物链传递, 对生态系统和人体健康造成严重威胁。准确评估重金属污染地块的风险, 并制定科学有效的土壤修复治理方案, 是解决重金属污染问题、保障土壤资源可持续利用的关键。

1 重金属污染地块现状与危害

1.1 污染现状

中国重金属污染地块分布广泛, 涉及矿山开采区、冶炼厂周边、化工园区、废弃工业场地等区域。根据 2024 年环境保护部和国土资源部联合发布《全国土壤污染状况调查公报》。调查结果显示, 全国土壤环境状况总体不容乐观, 部分地区土壤污染较重, 耕地土壤环境质量堪忧, 工矿业废弃地土壤环境问题突出。全国土壤总的点位超标率为 16.1%, 其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为 11.2%、2.3%、1.5% 和 1.1%。南方土壤污染重于北方, 长三角、珠三角、东北老工业基地等部分区域土壤污染问题较为突出, 西南、中南地区土壤重金属超标范围较大^[1]。

1.2 主要危害

1.2.1 对土壤生态系统的危害

重金属污染会破坏土壤微生物群落结构和功能, 抑制土壤微生物的生长和代谢活动。土壤微生物在土壤养分转化、有机质分解等过程中发挥着重要作用, 微生物群落的破坏会导致土壤肥力下降, 土壤生态系统失衡。此外, 重金属还会影响土壤酶活性, 如脲酶、磷酸酶等, 降低土壤的生物化学活性, 进一步影响土壤的正常功能。

1.2.2 对植物生长的危害

重金属会抑制植物根系的生长和发育, 影响植物对水分和养分的吸收。植物吸收过量的重金属后, 会出现生长缓慢、叶片发黄、枯萎等症状, 严重时甚至导致植物死亡。同时, 重金属会在植物体内积累, 降低农产品的质量和产量, 通过食物链传递, 对人体健康造成潜在威胁^[2]。

1.2.3 对人体健康的危害

人体通过摄入受污染的农产品、饮用水以及呼吸含重金属的空气等途径接触重金属。重金属在人体内具有蓄积性, 长期接触会导致慢性中毒, 引发多种疾病。例如, 汞会损害人体神经系统和肾脏; 砷是一种致癌物, 长期接触会增加患皮肤癌、肺癌等癌症的风险。

2 重金属污染地块风险评估

2.1 评估流程

重金属污染地块风险评估主要包括信息收集、现场采样分析、风险识别与分析、风险表征等环节。首先,收集污染地块的历史资料、土地利用规划、周边环境敏感点等信息,初步了解地块的污染情况。其次,进行现场采样,采集土壤、地下水、地表水等样品,分析样品中重金属的种类、含量和分布特征。再次,根据采样分析结果,识别污染源和污染途径,评估污染物对人体健康和生态环境的潜在风险。最后,对风险进行表征,确定风险等级,为土壤修复治理提供依据^[3]。

2.2 评估方法

2.2.1 现场采样与分析方法

采用科学合理的采样布点方法,如网格布点法、随机布点法等,确保采样的代表性。对于土壤样品,采集不同深度的土壤,一般分为表层(0~20cm)、中层(20~50cm)和深层(50~100cm)。运用原子吸收光谱(AAS)、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)等先进的分析仪器,准确测定土壤中重金属的含量。同时,对地下水和地表水样品进行采样分析,了解重金属在水体中的迁移转化情况。

2.2.2 风险识别与分析方法

运用暴露评估模型,评估人体通过不同途径(如经口摄入、皮肤接触、呼吸吸入)接触重金属的暴露剂量。结合重金属的毒性参数,如参考剂量(RfD)、致癌斜率因子(CSF)等,计算人体健康风险。对于生态风险评估,采用物种敏感性分布(SSD)方法,评估重金属对土壤生物、水生生物等生态受体的风险。通过建立污染扩散模型,如有限元模型、有限差分模型等,模拟重金属在土壤和水体中的迁移扩散规律,预测污染范围和程度^[4]。

2.2.3 风险等级划分方法

根据风险评估结果,将重金属污染地块的风险等级划分为高风险、中风险和低风险。高风险地块指污染物含量高、对人体健康和生态环境存在严重威胁的地块,需要立即采取修复治理措施;中风险地块指存在一定风险,需要进一步观察和评估的地块;低风险地块指风险较低,可采取监测和管理措施的地块。风险等级划分可参考国家相关标准和指南,如《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》等。

2.3 关键评估指标

2.3.1 重金属含量指标

土壤中重金属的含量是评估污染程度的重要指标,将土壤中重金属含量与国家土壤环境质量标准进行对比,判断土壤是否超标以及超标程度。同时,分析重金属在土壤中的形态分布,如可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机结合态和残渣态等,不同形态的重金属其生物有效性和毒性不同,对风险评估具有重要意义。

2.3.2 暴露参数指标

包括人体暴露时间、暴露频率、接触面积等参数。这些参数影响人体接触重金属的暴露剂量,准确获取暴露参数是进行人体健康风险评估的关键。例如,对于居住在污染地块周边的居民,其暴露时间和频率相对较高,需要重点考虑。

2.3.3 毒性参数指标

重金属的毒性参数如参考剂量、致癌斜率因子等,用于计算人体健康风险。这些参数由相关机构通过大量的毒理学研究确定,是风险评估的重要依据。不同重金属的毒性参数不同,在风险评估中需要根据具体的重金属种类选择合适的参数。

3 重金属污染地块土壤修复治理方案

3.1 物理修复技术

3.1.1 客土法与换土法

客土法是在污染土壤上覆盖未受污染的土壤,稀释污染物浓度;换土法是将污染土壤挖出,换上未受污染的土壤。这两种方法适用于污染面积较小、污染深度较浅的地块。例如,在某小型重金属污染场地,采用换土法将表层20cm的污染土壤挖出,换上新土,有效降低了土壤中重金属的含量。但客土法和换土法需要大量的未污染土壤,成本较高,且可能会对周边环境造成二次污染。

3.1.2 固化/稳定化法

通过向污染土壤中添加固化剂或稳定剂,将重金属固定在土壤中,降低其生物有效性和迁移性。常用的固化剂和稳定剂包括水泥、石灰、磷酸盐等。例如,在处理镉污染土壤时,添加磷酸盐可使镉转化为难溶性的磷酸镉沉淀,减少镉的迁移。固化/稳定化法操作简单,成本相对较低,但固化后的土壤可能会影响植物生长,且存在重金属再次释放的风险(见图1)。

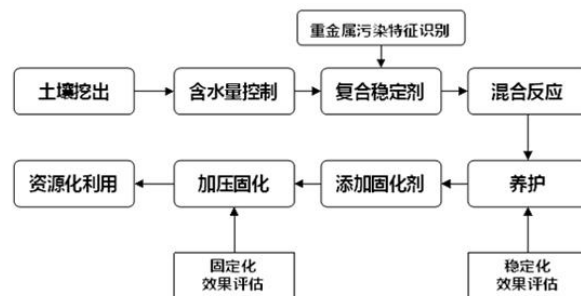


图1 固化/稳定化法

3.2 化学修复技术

3.2.1 淋洗法

利用淋洗剂与土壤中的重金属发生化学反应,将重金属从土壤中溶解出来,然后通过淋洗、过滤等方法将重金属从土壤中分离。常用的淋洗剂包括无机酸、有机酸、螯合剂等。例如,EDTA(乙二胺四乙酸)是一种常用的螯合剂,

