

土壤重金属污染现状及修复技术研究

余雅萍 邵喆羽 何超峰 宋家欢

绍兴市环保科技服务中心, 中国·浙江 绍兴 312000

摘要: 随着工业化、城市化进程的加速, 土壤重金属污染问题日益严峻, 对生态环境安全和人类健康构成了严重威胁。论文综述了土壤重金属污染的来源、现状、危害, 详细介绍了物理修复、化学修复、生物修复等主要修复技术的原理、特点, 旨在为土壤重金属污染治理提供理论参考和技术支持。

关键词: 土壤; 重金属污染; 现状; 修复技术

Research on the Status Quo of Soil Heavy Metal Pollution and Its Remediation Technology

Yaping Yu Zheyu Shao Chaofeng He Jiahuan Song

Shaoxing Environmental Protection Science and Technology Service Center, Shaoxing, Zhejiang, 312000, China

Abstract: With the acceleration of industrialization and urbanization, the problem of heavy metal pollution in soil is increasingly serious, which poses a serious threat to the ecological environment safety and human health. This paper summarizes the source, current situation and harm of soil heavy metal pollution, and introduces the principles and characteristics of major remediation technologies such as physical remediation, chemical remediation and biological remediation in detail, aiming to provide theoretical reference and technical support for the treatment of soil heavy metal pollution.

Keywords: soil; heavy metal pollution; current status; remediation technology

0 前言

土壤是生态系统的重要组成部分, 是农业生产的基础。然而, 近年来, 土壤重金属污染问题在全球范围内引起了广泛关注。重金属在土壤中具有难降解、易积累等特点, 可通过食物链传递进入人体, 引发各种疾病, 如癌症、神经系统疾病等。因此, 深入研究土壤重金属污染现状及修复技术具有重要的现实意义。

1 土壤重金属污染的现状

在中华大地广阔的土地上, 土壤中重金属污染的问题已经变得尤为紧迫, 亟须得到妥善处理。近年来, 一系列科学严谨的研究工作不断揭示了这一问题的严重性。通过对大量农田土壤的分析发现, 镉、汞、铅、铬等有害元素超标的情况屡见不鲜, 这对农业生态系统的安全以及农产品的质量构成了严重的威胁^[1]。

在一些特定的有色金属矿区周边, 这些地方长期承受着矿业开采、矿物处理以及金属提炼等活动带来的环境压力。由于缺乏有效的污染控制机制, 含有镉等重金属的废弃物和废水被大量排放至自然环境中, 导致当地土壤遭受了严重的重金属污染。根据专业的检测结果表明, 该地区土壤中镉含量显著超标, 其数值往往达到了国家标准的好几倍甚至几十倍。在这种环境下生长的农作物极易吸收并积累过量的重金属, 从而对居住于当地的民众健康造成了潜在的巨大风险。

在经济迅速发展的长三角、珠三角等工业密集区域,

尽管取得了国际公认的经济成就, 但土壤中重金属污染的问题也日益凸显。众多工业企业生产过程中产生的大量废弃物, 其中含有各种重金属污染物, 通过大气沉积、废水排放以及固体废物堆放等方式进入土壤环境。电子制造业、电镀业和化工业的快速增长, 在促进经济发展的同时, 也导致了土壤内重金属浓度的持续上升。

2 土壤重金属污染修复技术

2.1 物理修复技术

2.1.1 客土法

作为一种相对直接的处理土壤重金属污染的方法, 客土法的核心在于移除受到严重重金属污染的土壤, 并替换未受污染的新鲜土壤。这种方法特别适用于那些污染极其严重但受影响面积较小的情况, 在这样的场景下, 它能够迅速减少土壤中的重金属浓度, 有效中断从土壤到植物再到食物链这一生态循环中重金属物质的传播途径, 从而为环境初步恢复奠定基础。

2.1.2 热脱附技术

热脱附技术作为一种基于热力学原理的土壤净化手段, 其核心机制在于通过外部加热源对受污染的土壤进行处理。随着温度上升, 存在于土壤中的挥发性及半挥发性的重金属污染物由于获得了足够的能量而从土壤颗粒表面逸散出来。接着, 利用专门设计的气体捕集系统高效地收集这些处于气态的污染物, 并进一步通过一系列净化程序处理至符合环境保护排放标准, 以此达成土壤修复的目的。

该技术的核心优势体现在其高效的处理能力上,能够在较短的时间内处理大量的受污染土壤,并迅速减少其中的重金属含量。然而,热脱附技术的大规模应用还存在一些重要的限制因素。第一,就能源消耗而言,为了保持土壤处于高温状态所需的大量能量会导致运营成本显著上升,这对能源供给及成本管理提出了较高要求。第二,从设施投资的角度看,为达到精准控温、有效收集与净化废气的目的,需要安装一系列复杂且价格不菲的专业设备,如加热系统、通风装置以及尾气处理设施等,这不仅加大了初期投入,也提高了后续维护工作的难度^[2]。

2.1.3 电动修复技术

电力修复技术是一种利用电场效应来促使土壤内重金属离子迁移的创新性治理手段。此方法通过在受污染土壤两侧安置电极并施加直流电压,使得土壤中的重金属粒子受到电场力的影响而朝向电极方向移动,直至最终在电极附近积累。这样处理后,可以方便地对富集起来的重金属进行集中回收与处置,从而有效实现从土壤中清除重金属的目标。

该技术以其简便的操作流程而著称,与那些需要复杂化学反应试剂和微生物培养过程的化学或生物修复方法相比,它仅需建立一个简单的电极系统并连接电源即可启动。此外,在经济性方面也表现出色,特别是对于小规模污染场地的处理或是对成本控制有严格要求的项目而言,电动修复技术在设备采购及运营上的开销相对较低,从而展现出较高的性价比优势。

2.2 化学修复技术

2.2.1 化学沉淀法

通过向受污染土壤添加特定化学物质,化学沉淀技术能够有效地固定住重金属离子。这种方法基于一个原理:即利用这些化学物质与土壤中的重金属离子相互作用,形成难以溶解的化合物。这样做可以显著减少重金属在土壤环境中的流动性和生物可利用性,从而降低了它们被植物根部吸收的可能性及进入食物链的风险。

在众多用于处理重金属污染的化学试剂中,石灰与硫化物因其高效性而被广泛采用。以镉污染土壤修复为例,当石灰被施加到受镉污染的土地上时,其主要成分——钙离子(Ca^{2+}),能够与存在于土壤溶液中的镉离子(Cd^{2+})发生置换反应,形成难溶于水的氢氧化镉($\text{Cd}(\text{OH})_2$)沉淀物。此过程中,环境治理专家将依据土壤的具体污染程度及其物理化学特性,精密计算所需石灰的数量,并通过均匀分布、机械搅拌等手段确保石灰与受污染土壤的有效混合,从而促进化学反应达到最佳效果^[3],见图1。

2.2.2 氧化还原法

采用氧化还原反应作为化学修复手段,旨在通过引入适当的氧化剂或还原剂来调整重金属离子的价态。该方法的核心在于通过改变重金属的氧化还原状态,促使其转变为具有较低毒性或更易于被固定化处理(如沉淀、吸附等)的形式,以此减少其对环境造成的潜在威胁。

以高锰酸钾(KMnO_4)处理土壤中二价锰(Mn^{2+})污染为例,在这一过程中,通过向受污染的土壤加入适量的高锰酸钾溶液,利用其强大的氧化性能将二价锰转变为四价状态(Mn^{4+})。转化后的四价锰不仅表现出较强的氧化性,还具有良好的水解特性,能够促使它与存在于土壤内的某些重金属离子(如镉、铅等)共同沉淀,生成结构复杂的金属氧化物或氢氧化物沉积物。这种机制有效地减少了这些有害元素在环境中的活性及其迁移潜力^[4]。

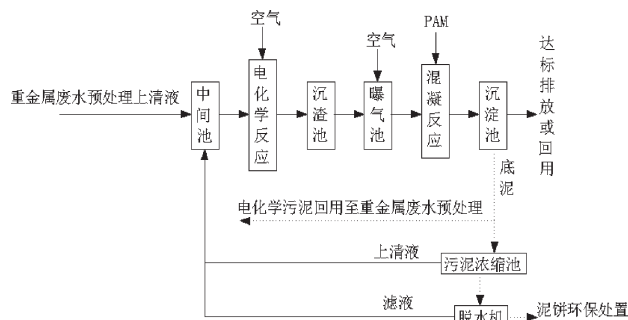


图1 化学沉淀法实践程序

2.2.3 离子交换法

离子交换技术是一种化学修复手段,它通过使用具有特定化学结构及功能基团的离子交换材料(如离子交换树脂)来实现对土壤中重金属污染的有效治理。该方法基于材料与重金属离子之间的交换反应,能够针对性地捕捉并固定这些有害金属离子于材料表面,与此同时,会向周围环境释放出等量但相对无害的其他离子(如氢离子或钠离子),以此保持整个体系内的电荷平衡状态,见图2。

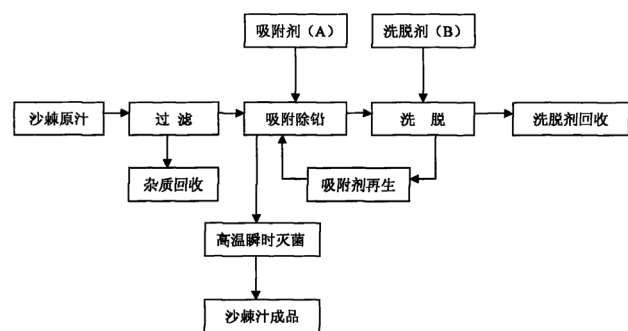


图2 离子交换法操作流程

此方法展现了诸多优势,尤其是在高效去除重金属离子方面表现突出,能够在相对较短的时间内显著降低土壤中的重金属含量。此外,由于其具备较强的选择性,即使是在成分复杂的土壤环境中也能针对特定类型的重金属离子进行精确处理,从而最大限度地减少了对土壤中其他有益元素的不利影响。例如,在若干实验室研究案例中,当面对铜、锌等重金属污染时,采用了含有特定功能基团的离子交换树脂来进行治理。实验结果表明,经过一段时间的处理后,土壤中铜、锌离子的浓度得到了明显下降,而钙、镁等重要微量元素则基本未受到影响。

2.3 生物修复技术

2.3.1 植物修复技术

植物修复技术依托于植物自身的生长代谢过程,是一种环境友好型的土壤净化手段。该技术的核心在于利用植物吸收、转移及富集土壤中重金属的能力,或是通过植物体内的特定酶催化作用将这些有害金属转化为无害状态,以此来实现对受污染土壤的有效治理。

在植物修复技术领域,超富集植物发挥着不可替代的作用。例如,东南景天这一物种对于镉、锌等重金属元素具有极高的吸收能力。其根部能够有效地从土壤环境中摄取镉和锌离子,并通过植物体内的木质部与韧皮部将其转移至地上部分进行储存。在多个镉污染土地治理案例中,通过连续几个生长周期内广泛种植东南景天,观察到土壤内镉含量显著减少,证明了这种方法的有效性。

植物修复技术以其众多显著的优势而著称,其中较低的成本尤为突出。与传统的物理及化学修复手段相比,此技术无需进行大规模的土地工程或投资昂贵的设备,而是主要依赖于植物自身的生长过程来达成修复目的,从而极大地减少了经济负担。此外,该方法还具有良好的环保特性,在实施过程中不会引发额外的环境污染问题,有利于保持土壤生态系统的稳定性和促进生物多样性保护。

2.3.2 微生物修复技术

生物修复技术中的一种重要方法是利用微生物的代谢活动来减轻土壤内重金属的危害或促使这些元素沉淀固定。在自然界的土壤环境里,存在多种具备独特代谢能力的微生物群体,它们能够通过自身的生化反应与重金属物质产生相互作用,从而达到治理污染的目的。

例如,一些特定的微生物拥有将六价铬(Cr^{6+})转变为三价铬(Cr^{3+})的能力。当这些微生物存在于受六价铬污染的土地时,它们能够利用自身的酶系统,在适当的条件下把具有高度毒性的六价铬转化成毒性较低的形式——三价铬。这种形式的铬元素在土壤中表现出更高的化学稳定性,更易于与土壤颗粒结合或形成沉淀物,从而有效减少了其在环境中的移动性和对生物体的有效作用力,进而降低了对植被和土著微生物群落潜在危害的风险。

2.3.3 动物修复技术

土壤生物修复技术主要是通过利用土壤动物的自然生命活动来改善土壤结构,促进其中重金属元素的迁移与转化过程,进而减少这些重金属对生物体的有效毒性。在这类技术中,蚯蚓作为一种研究相对广泛且效果显著的土壤生物被广泛应用。

通过在土壤中的持续活动,如穿梭、觅食及排泄,蚯蚓能够显著提升土壤的透气性与水分渗透能力,并优化其团聚体结构。这种行为促进了土壤微生物群体的增长与繁衍,进而对土壤内重金属元素的迁移与转化产生间接影响。此外,蚯蚓体内存在特定种类的酶,比如金属硫蛋白,这类物质可以与重金属离子形成特异性结合,生成较为稳定的化合物,从而降低了这些重金属在环境中的生物可利用度,减少了它们被农作物吸收的可能性。

3 结语

土壤重金属污染是一个全球性的环境问题,严重威胁着生态环境安全和人类健康。目前已经存在多种土壤重金属污染修复技术,各有其优缺点和适用范围。在实际应用中,需要根据污染土壤的具体情况选择合适的修复技术或联合修复技术。未来,随着科学技术的不断发展,土壤重金属污染修复技术将不断创新和完善,有望实现更高效、更环保、更经济的土壤污染治理目标,保障土壤生态系统的健康和可持续发展。

参考文献:

- [1] 王慧芳,李轶成,杨雪,等.土壤重金属污染现状及修复技术研究[J].种子科技,2021,39(20):81-82.
- [2] 肖文魁.土壤重金属污染现状及修复技术的应用[J].现代农业科技,2021(18):182-184.
- [3] 李坤琚,梁普兴,郝东川,等.浅谈珠三角地区农田土壤重金属污染现状、来源及污染修复技术[J].农家参谋,2021(16):187-188.
- [4] 王鹤亭.土壤重金属污染现状与修复技术应用[J].南方农机,2021,52(13):64-66.

作者简介: 余雅萍(1993-),女,中国浙江绍兴人,本科,助理工程师,从事土壤、固体废物污染防治研究。