

重金属污染土壤异位修复技术综述

张 驰

(上海格林曼环境技术有限公司, 上海 200001)

摘要 随着我国城市化和工业化进程的不断加速,土壤重金属污染现已成为我国亟须解决的一项严峻挑战。土壤中的重金属污染物可经由食物链等途径进入人类和其他生物体内,对人类身体健康和生态环境造成危害。本文主要综述了我国土壤修复领域现有的重金属污染异位修复技术,总结了各项修复技术的原理和优缺点,旨在为实际土壤修复工作中的技术选择提供参考。

关键词 土壤 重金属污染 异位修复

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:1007-0745(2022)12-0051-03

土壤为人类提供了栖息的环境,是人类赖以生存的重要基础。然而,土壤污染现已成为我国面临的一项严峻挑战,尤其是土壤重金属污染,不但威胁到了人类的身体健康,更对自然环境带来严重破坏。为解决土壤重金属污染问题,我国近年来大力发展了多项土壤重金属污染修复技术。本文系统地介绍了近年来土壤领域的重金属污染异位修复技术,为实际土壤修复项目中的技术选择提供参考。

1 土壤重金属污染现状及危害

1.1 土壤重金属污染现状

影响土壤重金属含量超标的主要污染因素有两种,一种是自然因素,包括物理因素(如土质的风化及风力、水力)和化学因素(如火山喷发和泥石流等自然地质运动)。^[1]另一种就是人为干扰因素,也是影响土壤重金属污染重要来源之一。例如各类工矿企业的生产活动、重金属农药的不合理使用和机动车辆的尾气排放等^[2]。

据最新调查显示,我国国土在不同程度上遭受了重金属的污染,其污染率高达16.1%。^[3]其中耕地土壤点位超标率高达19.4%,耕地污染总面积逐渐扩大,主要污染物有镉、镍、铜、砷、汞和铅等重金属。^[4]原环境保护部的调查研究表明,土壤重金属污染主要分布于长三角、珠三角、成渝平原和东北老工业基地等区域^[5]。

1.2 土壤重金属污染危害

土壤重金属污染存在隐蔽性、表聚性、长期性、不可逆性和富集性等特点。土壤重金属污染物可经由水环境毒害植物,在植物中不断富集并通过食物链进入人类和其他生物体内,对人类身体健康和生态环境造成危害。重金属污染物在人体内聚集并超过一定浓

度时,会导致重金属中毒并对人体健康产生威胁。例如,镉中毒会导致胸闷和呕吐等症状,铜中毒会导致人体生殖系统破坏,汞中毒会引起精神失常、胎儿发育畸形等。

为此,政府高度重视土壤污染的防治工作,并出台了相关政策,提出相关部门应充分认识到土壤污染的严重性,开展土壤重金属污染的治理工作既是为人体健康提供重要保障,又与我国社会经济的发展息息相关,采用有效措施进行防治两手抓的治理工作,为全面建成小康社会做出贡献。

2 污染土壤异位修复技术

我国当前所采用的污染土壤异位修复技术主要从原位和异位角度出发。原位修复是指直接在场地发生污染的位置对污染土壤进修复,异位修复是指将污染土壤从场地原位置挖掘出来并转移至其他场所进行修复。相比原位修复,异位修复可以更为集中地处理污染土壤,且在修复技术的选择上更加灵活,在修复的时间选择上更具有弹性^[6]。本文针对我国现有的土壤重金属污染异位修复技术进行了系统介绍。

2.1 物理修复技术

土壤重金属污染异位修复的物理修复技术主要包括异位电动修复法和异位玻璃化技术等。

异位电动修复法就是在重金属污染土壤中插入电极从而形成电场,以其为媒介使土壤中重金属离子在电场的作用下,以电迁移或电渗流等形式移动至电极室并进行集中收集和处理。电动修复法适合低渗透性土壤,例如黏土类土壤的重金属污染物去除等^[7]。电动修复法的修复时间一般较短,且可以回收利用土壤中

的重金属污染物，修复成本较低。然而，电动修复法的处理效率受土壤含水率的影响较明显。根据相关研究，当污染土壤的含水率在10%以下时，电动修复法对重金属污染物的去除效率受到极大降低，当含水率在40%~70%时，含水率则不会对电动修复法的处理效率造成明显限制^[8-9]。

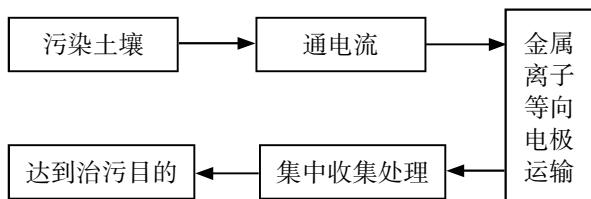


图1 土壤电动修复技术流程

异位玻璃化技术是指在已确定的污染区范围内将污染土壤挖出并运输至特定的玻璃化设备进行治理修复。该技术利用特定的热源，在1600℃~2000℃高温情况下，熔化土壤及其污染物。熔化的污染土壤在冷却后形成惰性的坚硬玻璃体，并使土壤中的重金属离子固化。异位玻璃化技术具有重金属污染物去除效率高的优点，且在处理重金属污染物的同时，通过热解和高温蒸发的形式有效去除了土壤中的无机污染物。然而，运行和维护移动玻璃化设备需要较高的成本，耗电量大，一般在高重金属污染的土壤修复项目中应用。

2.2 应用化学原理修复技术

土壤重金属污染异位修复中应用化学原理修复技术主要包括异位土壤淋洗法与稳定化修复等。

异位土壤淋洗法即在污染土壤中加入化学淋洗剂，以络合、溶解等形式使附着在土壤表面的重金属污染物转移至淋出液中，最终达到将土壤中重金属污染物有效除去的目的。常用的淋洗剂包括EDTA（乙二胺四乙酸二钠）和CA（柠檬酸）等，这些淋洗剂具有去除效率高、成本较低等显著特点。张亚宁等采用EDTA/CA联合修复重金属污染土壤，结果显示对Cu、Pb、Cd等三种重金属污染物的去除效率非常显著^[10]。和异位电动修复法相比，异位土壤淋洗法对如砂质土壤等高渗透性的污染土壤的重金属污染物去除效果明显，在黏土类等低渗透性土壤中的重金属去除效率则大打折扣。

异位稳定化修复是指在挖掘的污染土壤中注入一种或多种稳定化药剂，通过络合等化学作用将土壤中的重金属污染物包被起来形成稳定化产物，以限制重金属污染物的迁移和释放。异位稳定化修复技术具有操作工艺简单且成本低廉，其化学产物更具长期稳定性，

是我国土壤重金属污染修复技术领域中的主导力量。

然而，该技术的弊端在于不能做到将重金属污染物从根本上除去，修复完成后仍需观察长期监测修复土壤的环境质量。

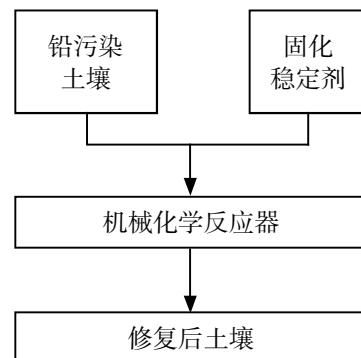


图2 异位稳定化修复技术流程

2.3 生物修复技术

土壤重金属污染异位修复中应用生物修复技术主要包括植物修复技术、异位动物/微生物修复技术等。

植物修复技术即通过植物本身的吸收、挥发、根虑、降解、稳定等作用达到将污染物转移、容纳或转化的目的，从而降低重金属污染物对环境的危害。按照其修复过程可以将植物修复分为以下几类：第一类植物提取修复技术，即利用植物的根系将重金属污染物聚集在土壤表层，通过对土壤表层污染物的处理达到修复的目的。该技术对植物的要求较高，所应用的植物应具备生长速度快、生存能力强、富集能力高等生物特点。因此，该方法的应用关键在于寻找和诱导出特殊的植物体。第二类植物挥发修复技术，即将植物蒸发出的具有挥发性的化学物质或者是其新陈代谢产物与土壤中的污染物质发生化学反应，并将其化学产物转化为无毒性的存储在植物器官中的技术。第三类植物的固定修复技术，即利用植物根系稳定的作用，一方面将土壤中的污染物质积累、沉淀在土壤中固定位置，使其不能继续扩散。另一方面保护土壤不受污染物的侵蚀，减少土壤渗漏导致的污染物淋移。然而该技术并不能从根本上将污染物质从土壤中去除，重金属污染土壤的问题并没有得到解决，因此该技术并不是常用的植物修复技术。第四类植物降解修复技术即利用植物的新陈代谢和酶的作用来吸收和分解外界的污染物的技术。第五类植物辅助修复技术即通过植物的吸收将污染物质转化成可挥发的产物，从而达到改善土壤重金属污染的目的。

异位动物/微生物修复技术即利用特定的动物和微

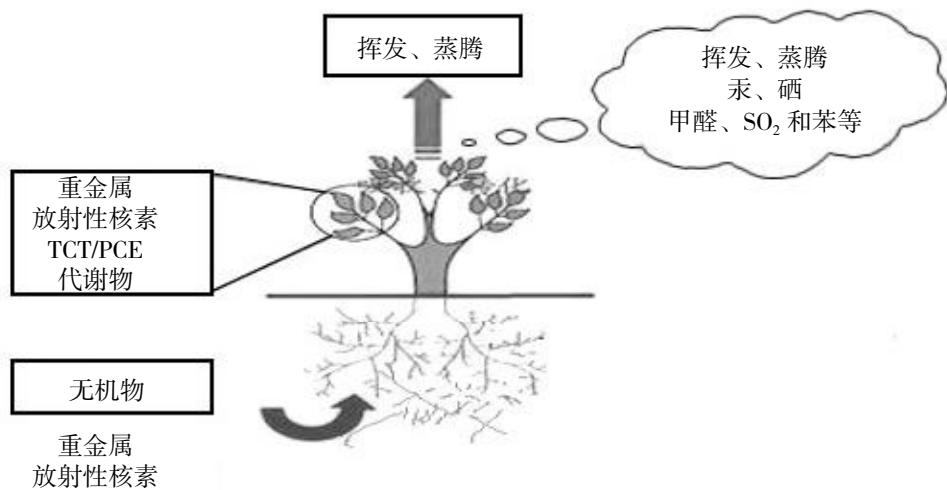


图3 植物挥发修复技术机制

生物将土壤中的污染物吞噬、吸收、生物降解，从而达到去除污染土壤中的重金属污染物的目的。相关研究表明，动物、微生物和植物可具有协同效应，共同促进土壤重金属污染物的去除。^[11]

2.4 工程修复技术

在污染土壤异位修复技术中，工程修复技术因其效果稳定等优势应用较为普遍，工程修复技术主要采用的方法包括：其一，客土法修复方法。客土修复方法就是把已被重金属污染的土壤和未被重金属污染的土壤进行混合添加，从而达到降低上层土壤中重金属污染物的比例，进而实现减少植物根系对土壤中重金属的吸收的目的，从而间接地降低了土壤重金属污染通过植物的吸收对人类的健康产生危害。其二，换土修复方法。换土修复方法顾名思义就是把已被重金属污染的土壤挖掘出来并进行妥善处理，然后在原被挖掘的土壤空地处填上干净、未被污染的土壤。其三，深耕翻土修复方法。深耕翻土修复方法就是在被重金属污染的地方进行土壤深度翻新的过程。通过土壤的深入翻新，可以使浅层土壤中重金属污染物分散到土壤深处，最终土壤污染物被稀释。综上，工程修复技术虽有良好的应用优势，但其带来的修复工程量较大、工程资金投入高、破坏土壤结构，换出被污染土壤的处理等问题仍需加以关注。

3 结语

目前，我国土壤修复领域已使用多种重金属污染异位修复技术，每种技术都有其优点和局限性。在实际的土壤重金属污染修复工作中，应当根据修复场地的具体情况，选择合适的修复技术。在某些特定情况下，

亦可根据修复场地土壤污染的实际情况，联合运用多种修复技术，以达到技术可行、经济有效的目的。

参考文献：

- [1] 王慧芳, 李辕成, 杨雪, 等. 土壤重金属污染修复现状及修复技术研究 [J]. 种子科技, 2021, 30(20):81–82.
- [2] 王冠华, 施培俊, 曹传新. 土壤重金属修复技术探讨 [J]. 科技资讯, 2014(19):130–131.
- [3] 环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报 [J]. 中国环保产业, 2014(05):10–11.
- [4] 吉敏. 我国城市工业污染场地土壤修复综述 [J]. 上海环境科学, 2014(03):132–135.
- [5] 同[1].
- [6] 梁欣. 旧厂房改造土壤重金属污染的原位与异位修复技术进展 [J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(05):85–87.
- [7] 陆志家, 耿秀华. 土壤重金属污染修复技术及应用分析 [J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(11):110–112.
- [8] 周启星, 宋玉芳著. 污染土壤修复原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 陈锋, 王业耀, 孟凡生, 等. 铬(VI)污染高岭土电动修复影响因素研究 [J]. 环境保护科学, 2007, 33(04):110–124.
- [10] 张亚宁, 徐明, 董颖, 等. EDTA与柠檬酸复配淋洗对土壤中重金属去除效果研究 [J]. 当代化工, 2018, 47(08):1617–1621.
- [11] 祖艳群, 卢鑫, 湛方栋, 等. 丛枝菌根真菌在土壤重金属污染植物修复中的作用及机理研究进展 [J]. 植物生理学报, 2015, 51(10):1538–1548.