

原位钝化技术在重金属污染土壤治理中的应用效能评价

黄志红 崔丹 刘小雨

云南圣清环境检测科技有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i5.3218

[摘要] 本文主要针对原位钝化技术在重金属污染土壤治理方面的应用效果,进行系统的探究,着重剖析该技术抑制重金属有效态、削减迁移扩散危险的机理,论述土壤理化性质改变的规律同植物根系吸收的联系,综合评判其工程应用成果。根据研究结果可以发现,原位钝化技术可以有效地降低重金属的生物有效性以及迁移性,改善污染场地土壤环境质量,提高生态安全性。研究成果可以给重金属污染土壤的治理和生态修复,提供理论基础和实际的技术支持。

[关键词] 原位钝化技术; 重金属污染土壤; 治理; 应用效能评价

中图分类号: Q938.1+3 文献标识码: A

Evaluation of the efficacy of in-situ passivation technology in the remediation of soils contaminated with heavy metals

Zhihong Huang Dan Cui Xiaoyu Liu

Yunnan Shengqing Environmental Testing Technology Co., Ltd.

[Abstract] This paper systematically investigates the application efficacy of in-situ passivation technology in the remediation of heavy metal-contaminated soils, focusing on elucidating its mechanisms for suppressing the bioavailability and reducing the risk of migration and diffusion of heavy metals. It examines the relationship between changes in soil physicochemical properties and plant root absorption, and provides a comprehensive evaluation of its engineering application outcomes. The research findings demonstrate that in-situ passivation technology effectively reduces the bioavailability and mobility of heavy metals, improves soil environmental quality at contaminated sites, and enhances ecological safety. These results provide both theoretical foundations and practical technical support for the remediation and ecological restoration of heavy metal-contaminated soils.

[Key words] In-situ passivation technology; Heavy metal-contaminated soil; Remediation; Application efficacy evaluation

引言

随着工业化快速推进和城镇化不断加快,土壤被重金属污染的问题越来越突出,这给生态系统的稳定性、人类健康造成严重威胁。原位钝化技术由于其实用性、经济性的特点,越来越得到学术界、产业界的关注。该技术是向受污染的土壤中加入某些钝化剂,将重金属转化为低迁移性、低生物可利用性稳定的形态,以减少它的环境风险。详细研究该技术在场地重金属污染防治中的应用,对实现土壤保护目标具有重大的现实意义。目前,对于原位钝化技术应用性能评价的研究,还存在着体系构建不完善等问题。

1 原位钝化技术原理

1.1 钝化剂作用机制

原位修复技术在重金属钝化的过程中,利用某些材料的微观结构及特有的物理化学性质来达到与土壤体系和重金属之间

发生复杂的相互作用的目的。此类材料主要是依靠物理吸附、化学沉淀和络合等作用,把土壤中的游离态重金属捕捉住,再用离子交换的方法改变重金属的赋存形态。内部形成的多孔结构既给重金属离子留下储存的空间,又大幅度提高了物理阻隔的能力,而且钝化材料里的功能成分还能通过络合作用来减缓重金属迁移的速度。上述各个因素互相影响、相互促进,从而提高污染物的稳定性,为土壤环境修复打下了良好基础,达到初步治理的效果。

1.2 重金属形态转化过程

污染土壤中的重金属在自然环境中具有多相态存在、动态转化的特点,其赋存形式被外界环境因素影响而产生复杂的相变。高活性金属形态,因其具有生态风险而被人们所重视。原位钝化技术利用钝化剂改善土壤微生态,促使高迁移性重金属变成低溶出、低迁移的稳定性金属化合物。该过程有诸多化学反

应参与, 首先高活性重金属被吸附、沉淀到土壤颗粒表面或者矿物晶格里; 然后在生物地球化学循环的影响下, 它们逐渐变成更加紧密的复合体结构, 从而明显减少它们的溶解度和空间移动能力。随着修复时间的持续进行, 土壤修复效果会逐渐提高并趋于稳定, 可以有效地控制大部分高危污染物, 大幅度减少土壤中可提取态重金属的含量, 大幅降低重金属污染物对生态环境的影响和危害。如图1所示:

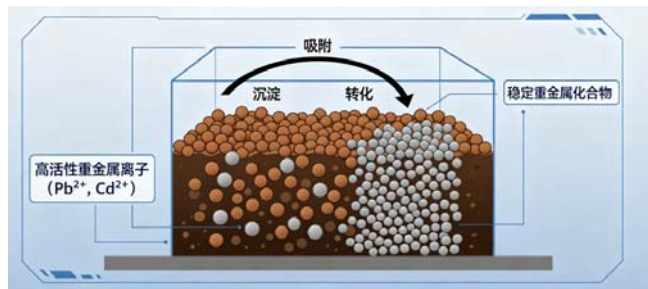


图1 土壤重金属原位钝化修复技术原理图

1. 3影响钝化效果的因素

在土壤原位钝化治理的过程中, 很多内、外部因素都会对反应过程和效果造成很大影响。土壤初始状态属于重要因素, 它所具有的物理性质以及内部结构特点, 直接决定着各种化学反应产生的过程和效果, 也会影响到最终达到的治理效果。钝化剂种类的选择及投加剂量, 是决定污染物固化效果、修复效率的重要参数。外部环境条件, 尤其是气候因子(温度和湿度变化), 长时间地对土壤系统内部生物、化学耦合过程进行持续干扰, 造成土壤生化反应体系运行稳定性遭到严重破坏。

1. 4技术优势与局限性

原位钝化技术属于污染场地土壤修复的技术之一, 它的基本原理就是维持土壤原有的结构来达成治理目的。该技术最大的优点就是不需要将受污染土壤进行外部转移, 从而降低操作难度和施工复杂性, 并且大幅度减少修复治理成本的支出, 适合大面积或者分布式环境整治的场地。此技术具有较强的兼容性, 能解决各种土地污染问题。研究显示, 用该技术可以有效减缓重金属在土壤中移动的速度, 还能迅速缓解因土壤污染引起的一系列生态和健康风险。

2 应用效能评价指标

2. 1土壤重金属含量变化

评价原位钝化技术实际的应用效能时, 土壤重金属总量的改变就是衡量治理效果的主要指标。使用该技术之后, 在表层土壤及周围环境存在较高迁移速率的重金属活性随之下降, 自由态污染物含量随着时间推移慢慢减小。随着治理进程不断推进, 在各个土层中重金属的生物可利用性以及其空间分布模式都有了明显好转, 整体稳定情况也得到了加强。根据长期获得的监测数据可知, 采用原位钝化方法可以有效地减缓重金属的迁移速度, 也可以减缓重金属的空间扩散速度, 从而提高了该技术改善场地生态条件、减少重金属污染的效果。

2. 2土壤理化性质改变

采用原位钝化技术应用时, 外源钝化剂进入场地土壤体系当中, 会对土壤的基础理化性质造成改变, 并且促使土壤朝着更优的方向发展。改变土壤颗粒的结构和内部分布的孔隙结构, 从而改善污染物迁移转化的空间环境条件, 使土壤pH接近生态环境适宜范围。社会经济稳步发展的进程中, 生态环境管护工作也迎来新的挑战。土壤重金属污染逐渐成为生态保护领域的重点关注方向, 这类污染具备隐蔽潜伏、显现缓慢、修复难度大且治理周期较长的特征, 也正因如此, 相关防控与治理工作更需要提前规划、科学推进。

2. 3植物对重金属的吸收

污染土壤经原位钝化治理之后, 重金属在土壤中的迁移转化活动性明显降低。因此该地区自然植被、人工栽培作物根系吸收、累积重金属元素的数量也大幅度降低。植株体内重金属含量逐渐降低, 重金属引起的生理胁迫也慢慢减轻, 植株生长趋于稳定。区域植被生态功能得到持续改善, 物种多样性恢复到正常水平, 印证了原位钝化技术具有较好的生态修复价值和实用性。

2. 4生态毒性的降低

重金属污染场地土壤生态系统被长时间的、累积性的毒性所影响, 给微生物的生命活动、种群结构和小生物的栖息地造成了明显的抑制作用。原位钝化修复技术可以减缓土壤重金属生物可用性增长速率, 明显改善微生物生存环境, 增强微生物的生理代谢能力。由于该项技术不断推行, 场地土壤生态风险得到改善, 污染物向水体、大气的扩散速度变慢, 区域生态环境由不良趋向良性的转变越来越快, 土壤生态系统受损的程度也逐渐减轻。

3 应用案例分析

3. 1不同类型场地的应用情况

工业遗弃地、农田退化区、城市闲置地块是土壤重金属污染的三个典型区域, 由于土地利用类型不同, 污染特征也有所不同, 具有成因机制的独特性、空间分布多样性和理化性质的差异性。原位钝化技术的主要应用领域之一就是该方法, 在以上场景中表现出很强的普适性。工业遗存场地以抑制深层土壤重金属迁移扩散风险为主, 在农用地修复中则更注重提高土壤生产力和作物生长安全性, 城市更新项目主要是改善场地环境质量以达到再开发标准。

3. 2钝化剂的选择与配比

在土壤重金属钝化治理之前, 必须做好目标区的前期勘察工作, 准确调查清楚土壤中主要污染物种类、分布特点和污染状况等相关情况, 根据土地功能规划挑选合适的钝化修复材料。根据场地污染类型、重金属的赋存形态和土壤理化性质来选择钝化剂, 并准确确定投加剂量, 在保证重金属稳定固化的基础上, 防止过量投加导致土壤结构破坏和次生环境风险的发生。修复方案要依照实地监测数据动态调整, 提高工程实施的准确性、经济性, 保证治理全过程的安全稳定、长效可靠。

3. 3处理时间与效果关系

原位钝化技术在土壤修复中得到广泛的应用,说明重金属迁移、转化和固化的过程不是短暂的、全部被抑制的过程。修复治理开始时由于快速反应机制,污染物浓度明显下降,短时间内能取得较好的场地修复效果;中期阶段高活性重金属主要形态转变已基本完成,后面化学反应速度减慢,污染控制呈缓慢但持久过程;后期核心化学动力学趋于稳定,整体治理效率趋向稳定,延长治理时间对于改善效果提升作用不大。

3.4 长期稳定性评估

土壤原位钝化治理虽然可以在短时间内显著改善污染状况,但是它在自然环境长时间的扰动下,生态稳定性和长效固持的效果还需要做系统的监测和深入的研究。研究结果表明,土壤中的重金属在开始时是以固态形式存在并保持稳定,没有发生迁移和活化的情况。由于自然环境因素(降水冲刷、温度变化、生物干扰等)的影响,一些结合力不大的重金属固体会逐渐变松。为了全面评价该治理技术的长期可行性,要创建起系统的监测评价体系,主要观测土壤里重金属的赋存形式发生怎样改变的规律,还要探究外界干扰给固化系统带来的具体影响途径,进而评判现阶段所采取的技术体系是否有效,并具备何种适用条件。研究成果不仅可以给本地区可持续修复计划制定提供技术支持,还可以给全国同类型重金属污染场地规范化管理提供经验借鉴。如图2所示:

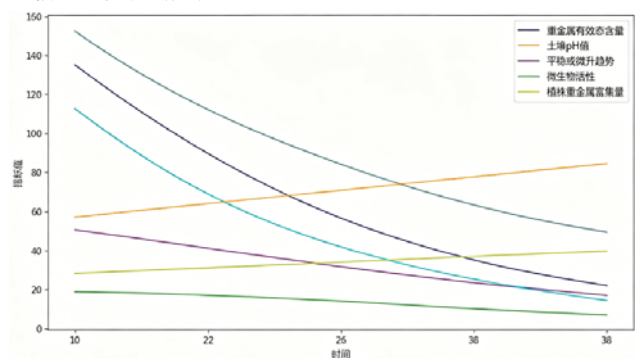


图2 原位钝化技术长期稳定性评估

4 技术优化与展望

4.1 新型钝化剂的研发

为了解决传统钝化材料稳定性差、应用范围小的问题,需要加快开发环境友好型、高效广谱的新型钝化剂来提高原位钝化技术的长期固持能力和工程适用性。新型钝化剂应该具有吸附、沉淀、离子交换和络合稳定等多种作用,可以同时对付多种重金属复合污染,适合于各种土壤质地、pH值和场地类型。降低材料制备成本,简化工艺流程,使材料得到大规模工程应用。另外提高钝化产物的结构强度和抗干扰性,降低自然环境扰动下解吸、

活化的几率。依靠材料革新和性能改善,促使原位钝化技术朝着高效、低碳、可持续的方向前进,给重金属污染场地长久修复赋予关键支撑。

4.2 与其他修复技术的联合应用

单一原位钝化技术很难完全解决重度、复杂的重金属污染场地治理难题,创建多技术协同修复体系,成了提高治理效果的重要途径。实际工程中根据污染程度、空间分布、场地功能等可以采用分区分阶段治理模式,把钝化技术和固化稳定化、淋洗、植物修复、微生物修复等技术结合起来使用。前期使用高效快速修复技术降低重金属浓度,后期用原位钝化实现残余重金属长期稳定控制,兼顾治理效率与长效安全性。依靠技术互补和流程改善,创建起“预处理-稳定化-长期控制”的闭环修复模式,明显加强了综合治理的效果,给不同种类的污染场地供应经济可行且科学高效的解决办法。

5 结束语

原位钝化技术在重金属污染土壤修复领域,展现出特有的技术优势。经过研究可知,向重金属污染土壤中加入合适的钝化剂,可以大大降低重金属的生物有效性以及迁移扩散的能力,改善土壤理化性质,减少环境污染,降低重金属对人体及生态的危害。目前该技术还存在着一定的局限性,如稳定性差、对复杂组分污染物响应机理缺乏认识等问题。今后的研究应该重点发展高效、低毒且具备环境友好性质的新型钝化材料,研究它们与其它修复方法的协同作用,从而改善原位钝化技术的应用效果和综合性能。

[参考文献]

- [1]李金燕,穆震,姜智东.赣南地区农田重金属镉污染土壤原位钝化修复技术研究[J].能源与环境,2024,(06):14-19+54.
- [2]张翠玲.土壤重金属污染的原位钝化修复技术及材料研究.甘肃省,甘肃瀚兴环保科技有限公司,2024-09-01.
- [3]王小雨.重金属复合污染土壤原位钝化技术研究[D].沈阳大学,2021.
- [4]黄康,谭中欣.生物炭原位钝化修复重金属污染农田的技术集成与示范[C]//中国环境科学学会,同济大学,清华大学,湖南农业大学.2020年全国有机固废处理与资源化利用高峰论坛论文集.华中农业大学资源与环境学院,2020:189-197.
- [5]熊轩.重金属污染土壤治理技术解析[J].江西化工,2019,(06):14-16.

作者简介:

黄志红(1982--),男,汉族,湖南省岳阳县人,硕士,高级工程师,研究方向:生态环境保护。