

沼渣协同硫酸亚铁还原铬污染土壤技术应用研究

金灿¹ 王赛荣² 张利益³

- (1. 浙江连微环境有限公司, 浙江 杭州 310000;
2. 杭州云珅检测科技有限公司, 浙江 杭州 310000;
3. 杭州华标检测技术有限公司, 浙江 杭州 310000)

【摘要】在沼渣协同硫酸亚铁还原铬污染土壤技术应用领域, 探索有效降低重金属铬在土壤中的浓度, 改善土壤环境质量, 已成为迫切需求。但是, 当前沼渣与硫酸亚铁还原技术在铬污染土壤修复中的应用仍面临修复效果不一、操作成本及环境可持续性评价不足等问题。为此, 研究围绕异位修复与原位修复两大策略展开, 从修复思路、具体方法、效果分析及经济生态效益等方面进行综合考量。通过对比异位修复与原位修复技术应用案例, 揭示沼渣与硫酸亚铁在不同修复场景下的作用机理和效果, 旨在通过优化修复方案设计、提升修复过程的监控与管理、强化经济与生态效益评估, 实现铬污染土壤的高效、低成本和环境友好修复。

【关键词】沼渣; 硫酸亚铁; 还原铬污染土壤技术

引言

现阶段, 重金属污染土壤修复技术的发展, 针对铬(Cr)的污染问题, 对环境保护与土地资源的可持续利用具有一定影响。铬污染主要来源于工业活动, 如电镀、皮革制造及金属加工等, 其对生态系统和人体健康构成严重威胁^[1-3]。因此, 探索和发展高效、经济、环保的土壤修复技术成为该领域的重要任务。沼渣和硫酸亚铁作为修复剂, 还原铬污染土壤中展现出显著的应用潜力, 其成本较低且在铬的化学形态转化中发挥重要作用, 促使六价铬向三价铬转化。沼渣与硫酸亚铁协同作用的机制及其对土壤理化性质和生物活性的长期影响, 还需深入研究。

因此, 本文旨在通过对异位修复与原位修复两种策略的应用案例分析, 深入探讨沼渣和硫酸亚铁在还原铬污染土壤中的协同作用机理, 以及修复过程的经济与生态效益, 强调综合治理策略在实现可持续环境管理方面的重要价值。

一、技术介绍

(一) 异位修复

关键步骤如下, ①将受污染的土壤与硫酸亚铁及适量的水在搅拌机中进行充分混合, 以确保污染物与还原剂之间的有效接触; ②对于经过混合后的土壤, 存在两种不同的处理去向。一是土壤可以被运往普通废物填埋场进行安全填埋。此方案主要适

用于那些土地资源相对充裕的地区, 需满足《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》的基本要求; 二是采用原地异位修复的方法, 即将处理后的土壤回填至原有位置, 适合土地资源紧张的地区, 由于土壤没有离开过原始场地, 因此, 根据场地未来的用途规划, 六价铬的修复目标会有所不同, 例如, 如果计划将土地用作住宅用地, 则修复目标应达到第一类用地筛选值; 若计划用作工业用地, 则目标可调整至第二类用地筛选值。

(二) 原位修复

针对铬污染土壤的修复, 介绍两种修复技术的优劣及一项创新技术的应用, 一是异位修复技术, 在操作过程中需占用大面积土地用于建造必要的设施不仅增加整个修复过程的成本, 同时因管理和监管上的疏忽导致二次污染的风险, 表明异位修复在应用中面临的经济和环境双重挑战。二是原位修复方法, 与异位修复相比, 展现其独有的技术优点, 主要避免对土壤的开挖和移位, 直接在受污染的土壤中注入修复药剂进行混合处理。然而其面临的挑战包括药剂分布的不均匀性和可能的过量添加, 有可能导致药剂与土壤结合不充分, 甚至可能触发二次污染, 限制原位修复技术在实际工程项目中的广泛应用。

二、异位修复应用案例

(一) 场地基本情况

检测项目	上层 (0 ~ 0.6m)	中层 (0.6 ~ 1.2m)	下层 (1.2 ~ 2m)
pH	7.3±0.1	7.6±0.1	7.5±0.1
含水率 (%)	14.8±0.2	17.2±0.3	19.1±0.2
Cr (VI) (mg/kg)	1150.7±20.4	1025.6±15.2	820.8±10.5
有机质 (%)	3.8±0.3	2.7±0.2	3.0±0.1

表 1 土壤理化性质分析

深度层级	Cr (VI) (mg/kg)	土方量 (m³)	FeSO4·7H2O 投加量 (占土质量比 %)	沼渣添加量 (65% 含水率 沼渣占土质量比 %)
0 ~ 0.6m	1180.0	35.0	2.2%	16%
0.6 ~ 1.2m	1050.0	35.0	1.8%	16%
1.2 ~ 2m	820.0	45.0	2.0%	16%

表 2 物料投加一览

养护 时间	上层 (0 ~ 0.6m) Cr (VI) 浓度 (mg/kg)	中层 (0.6 ~ 1.2m) Cr (VI) 浓度 (mg/kg)	下层 (1.2 ~ 2m) Cr (VI) 浓度 (mg/kg)
1d	40.5±2.1	38.7±2.0	36.9±2.5
5d	16.4±1.0	15.1±1.2	14.0±1.7
10d	10.2±0.8	9.5±0.8	8.7±1.2
20d	5.4±0.3	5.8±0.2	6.0±0.6
60d	2.9±0.2	3.3±0.3	3.4±0.4

表 3 异位处置中试实验六价铬检测结果

试验地块位于北方一城市的试验地块，曾是一家铬盐工厂的历史遗留铬渣堆存地，根据《土壤污染管控标准》的要求，六价铬浓度不得超过 5.7mg/kg，而本地块的实际情况（见表 1）远超此标准，显示出较高的修复需求。具体来看，地块的铬污染主要集中在表层土壤，由于铬渣长期堆积所致。土壤中六价铬的浓度随着土壤深度的增加而减少，整体上铬污染的严重性依旧显著。

（二）修复方法

本研究所采纳的土壤修复策略借鉴于异位修复法，应用硫酸亚铁对铬污染土壤的处理过程。见表 2。

表 2 展示不同深度层级的土壤中六价铬（Cr（VI））的浓度，相应的土方量，硫酸亚铁七水合物（FeSO4·7H2O）的添加比例，以及沼渣的添加量。

（三）修复过程及结果

经过药剂添加和搅拌处理的土壤，实施养护措施，涉及三个不同深度位置的土壤样本。样本位于各自对应的临时堆放场，有利于进行养护期间的监测。在监测过程中，采取从每个养护堆场的不同深度和位置精选出三个代表性样本的策略，确保测试结果的全面性和代表性。目的是通过定期对这些土样进行取样，并对取样点周围至少 20cm 深的表层土壤进行去除，以获取内部土壤样本进行六价铬（Cr

（VI））含量的测定，评估养护过程中六价铬的修复效果。见表 3。

数据表明，在异位处置的中试实验中，六价铬（Cr（VI））的浓度随着养护时间的延长而逐渐减少，在所有深度层级中均呈现此趋势

（四）经济生态效益分析

通过设置 Fe（II）与 Cr（VI）的摩尔比为 3：1，此技术成功达到铬污染修复的标准要求，证明其在污染治理方面的有效性。与传统的单一硫酸亚铁还原法相比，此方法降低硫酸亚铁的投加量。在常规方法中，为达到铬污染的修复标准，需 Fe（II）/Cr（VI）的摩尔比高达 8：1 或以上，由于硫酸盐的大量加入，对地下水资源构成潜在的威胁。通过降低化学添加剂的用量，减少修复成本，降低对周围环境的潜在危害，表明此方法在环境友好性和经济效益上的双重优势。此创新的治理技术为重金属污染的环境修复提供一种新的视角，强调在保护水资源安全和促进土壤健康方面的重要性。

三、原位修复应用案例

（一）场地概况

试验地块，选择北方某企业的镀铬电镀车间，其电镀废水池的防渗系统因年久失修而老化，导致富含铬的电镀废水透过防护层渗透至地下。造成场

污染指标	修复前	修复后 60 天	修复后一年
土壤中六价铬含量 (mg/kg)	294 ~ 1009	5.3 ~ 35	2.5 ~ 4.7
地下水中六价铬含量 (mg/L)	32 ~ 153	1.3 ~ 3.5	0.5 ~ 2.2

表 4 原位处置中试实验地下水和土壤六价铬浓度变化

地土壤 Cr (VI) 污染, 场地特定的地质结构包括在大约 8m 深处的黏土层, 以及约 5m 深的浅层地下水带, 主要位于沙土层之中。黏土层厚度超过 5m, 能够有效地防止地下水的污染。

(二) 修复方法

个修复场地均匀设置六个注入井, 主要向受污染的土壤中注入一种由硫酸亚铁和沼渣混合而成的液体。考虑该场地不仅土壤污染严重, 而且地下水亦受到影响, 且地下水位大约位于 5m 深处。为最小化沼渣对地下水的潜在负面影响, 特别设计了注射井的最大深度不超过 3m。整个修复工作涉及大约 1000m² 的污染土壤, 其中共投入大约 15t 硫酸亚铁、150t 沼渣及 30t 葡萄糖。

(三) 修复过程及结果

施工后及两个月修复期后, 并根据《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ25.2-2019) 的规定, 进行场地土壤的系统布点和钻孔采样, 结果见 4。

(四) 技术效果分析

在短期内 (如 10 天内), 尽管该技术未能完全达到理想的修复效果, 仍存在一些位置的六价铬浓度超出修复目标值。沼渣的加入优化修复过程, 使其能够在较长的时间内 (例如 1 年) 持续还原土壤中的六价铬。此种沼渣和硫酸亚铁的协同作用使得污染场地在一年后达到修复目标, 实现六价铬的稳定且持续的达标还原, 证明其在环境修复领域的应用潜力和长期效益。

结语

基于探讨沼渣协同硫酸亚铁在铬污染土壤和地下水原位及异位修复技术内容与相关案例, 提供针对重金属污染场地有效治理的新策略。通过精细设计的实验, 展示沼渣和硫酸亚铁复合使用在降低六价铬浓度方面的显著效果, 验证修复方法在短期内显著降低污染水平的能力, 通过长期监测数据证实其持久的修复效果, 为铬污染场地的环境恢复提供

了重要的实践指导和理论依据。此外, 该研究通过优化修复方案, 成功实现了修复过程中的资源化利用和环境友好性,

参考文献:

[1] 高莹. 六价铬污染土壤沼渣协同硫酸亚铁修复技术研究 [D]. 青岛理工大学, 2021.

[2] 高莹, 孙英杰, 王华伟, 等. 液固比对沼渣协同硫酸亚铁修复 Cr (VI) 污染土壤的影响 [J]. 济南大学学报 (自然科学版), 2023, 37 (02): 156-162+171.

[3] 韩伟, 赵瑞锋, 石一辰, 等. 铬污染场地原位修复技术应用现状与展望 [J]. 环境工程技术学报, 2023, 13 (04): 1486-1496.

[4] 刘国, 余雯雯, 陈春梅, 何娟, 赖学明. 铬污染土壤的固化稳定化及药剂还原的修复研究 [J]. 工业安全与环保, 2018, 44 (3): 68-72.

[5] 安茂国, 赵庆令, 谭现锋, 王永刚, 李清彩. 化学还原-稳定化联合修复铬污染场地土壤的效果研究 [J]. 岩矿测试, 2019, 38 (2): 204-211.

[6] 陈熙. 腐植酸修复铬污染土壤转化效率超 99.92% 济南杰兴环保铬污染土壤高效修复技术获评“国际领先” [J]. 中国农资, 2016, 0 (27): 18-18.

[7] 邵乐, 刘晓月, 史学峰, 刘卫国, 李顺峰. 原位还原稳定化—高压旋喷注射技术修复铬污染场地中试研究 [J]. 环境科学导刊, 2018, 37 (4): 54-57.

作者简介:

1. 金灿 (1991.12-), 男, 汉族, 浙江龙游人, 本科, 中级, 研究方向: 环境监测, 环境工程, 环境咨询。

2. 王赛荣 (1988.11-), 男, 汉族, 浙江杭州人, 研究生, 中级, 研究方向: 环境保护。

3. 张利益 (1983.4-) 女, 汉族, 浙江杭州人, 本科, 中级, 研究方向: 环境监测。