

污染土壤钝化修复风险分级管控与修复质量验收评价

黄志红 彭德阳 胡士泉
云南圣清环境检测科技有限公司
DOI:10.32629/eep.v9i5.3219

[摘要] 污染土壤钝化修复在环境治理中至关重要,其前后的风险分级管控与修复质量验收评价是确保修复效果的关键。通过科学的分级管控,能精准识别土壤污染程度的风险,并采取针对性修复措施。同时,科学的修复质量验收评价可保障修复工作达到预期目标,为土壤的生态恢复和可持续利用提供有力支撑。

[关键词] 污染土壤;钝化修复;风险分级管控;修复质量验收评价

中图分类号: Q938.1+3 **文献标识码:** A

Risk classification management for the remediation of contaminated soil, as well as evaluation of remediation quality acceptance

Zhihong Huang Deyang Peng Shiquan Hu

Yunnan Shengqing Environmental Testing Technology Co., Ltd.

[Abstract] Contaminated soil passivation and remediation play a crucial role in environmental governance, where risk classification management before and after the process, along with quality acceptance evaluation of remediation outcomes, are essential for ensuring effective results. Scientific risk assessment enables precise identification of soil contamination levels and facilitates the implementation of targeted remediation measures. Furthermore, rigorous quality evaluation ensures that remediation efforts achieve intended objectives, providing robust support for soil ecological restoration and sustainable utilization.

[Key words] Contaminated soil; passivation remediation; risk-based classification and control; remediation quality acceptance evaluation

引言

随着工业发展加快、城镇化进程的推进,土壤被污染的情况越来越严重,这不仅打破了生态系统的平衡,同时也对人类的健康和安全造成一定的威胁。土壤污染的应对手段之一就是钝化修复技术,该技术得到了学术界和土壤污染修复治理领域的认可。目前的研究和实际应用表明,创建起科学的风险分级管控体系、严谨的修复验收评价标准,成了一个急需解决的问题。建立合理风险分级体系既可以提高资源分配效率,也可以使整个修复的效果得到明显提高;严格的修复质量检测又是评价治理成效的标准。开展污染场地钝化修复,前后风险管控机制和定量评价方法研究,对于完善土壤污染防治体系、提高治理成效有十分重要的理论价值和现实意义。

1 污染土壤钝化修复与风险分级管控理论基础

1.1 土壤污染风险评估方法

土壤污染风险评价,是土壤环境分类监管的方式之一,在生态环境保护中有相应的研究应用。在实际工作中,以评价区范围内的污染土壤状况为基础,按照土地利用类型、功能要求来分析

污染物对周边生态系统造成的影响方式,从土壤介质里物质迁移转化的特点以及这种迁移对周边生态系统的影响出发,进行综合考量。整个评估过程严格按照行业标准的技术规范开展,通过对污染源、迁移途径、污染程度的系统排查,全面评价土壤污染对生态环境、人体健康的影响。所用的风险评价模型科学合理,能真实体现场地污染风险程度,给风险等级划分赋予可信的依据,也给之后的钝化修复方案设计与推行给予精确支持。如图1所示:

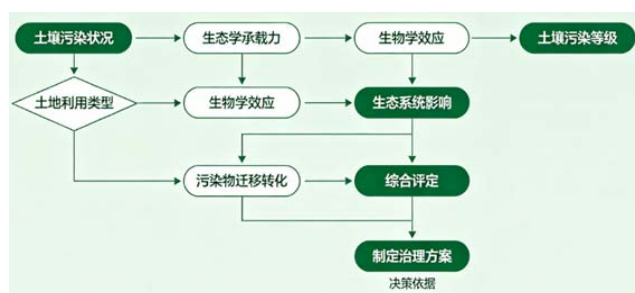


图1 土壤污染风险评价架构流程图

1.2 钝化修复技术作用与适用条件

钝化修复是污染土壤治理中使用较多的一种原位或者异位治理技术, 主要用钝化材料向土壤中投加, 以改变重金属污染物的赋存状态, 减少重金属的迁移性和生物有效性。该技术主要采用吸附、络合、沉淀、离子交换等物理化学作用, 能迅速把不稳定态重金属转变成稳定态, 削减污染物向地下水、农作物和生态系统扩散。钝化修复技术具有施工简便、成本低、对土壤结构影响小、治理周期短等特点, 适合重金属单一或复合污染场地的农田、工业遗留地块等大面积土壤治理工程。同时该技术可以和固化、阻隔、监测管控等措施一起使用, 在保证土壤基本理化性质和生态功能的基础上, 达到污染风险长期控制的目的, 为后续土地安全利用提供稳定的、可靠的工程技术支撑。

1.3 风险分级指标体系

建立污染土壤钝化修复风险分级管控体系, 是一个非常复杂的系统工程, 需要把多方面数据结合起来, 并且要将环境监测、生态效应研究、土地利用规划等各个方面的信息综合在一起, 才能构成一个比较全面的风险评价体系。风险分级指标体系以污染防控和安全利用为主要方向, 根据农业用地、建设用地等不同的土地利用类型选择污染物种类、污染浓度、迁移扩散能力、生态影响程度等重要的指标来进行分类分级。按照国家土壤环境质量标准来确定分级阈值, 从而判断各个土地单元的风险等级。体系有明确的逻辑结构和数据联系, 可以全方位地体现土壤污染的空间分布状况, 还可以对污染的变化趋势做出预估, 给风险控制和修复决定赋予量化的、可信的指标支撑。另外, 在引入标准风险评价准则的基础上减小由人为因素引起的误差, 可以使分级的标准更加贴近于实际, 进而提高分类体系的可信度以及适用性。

1.4 分级管控的意义与目标

创建污染土壤钝化修复风险分级管控体系, 改变传统治理模式下“一刀切”的粗放式管理方式, 达到精准施策、高效管控的目的。根据土壤污染风险等级的不同, 科学地分配人力、财力、物力等治理资源, 对高风险区域实行重点防控和优先治理, 对中、低风险区域进行常态化的监测和长效的管理。精准识别风险、差异化控制可以大大提高土壤污染治理效率, 减少修复成本, 防止资源浪费。分级管控从根源上减少污染的扩散以及生态危害, 保证土地安全利用, 为钝化修复工程有序推进、后期风险长期可控提供目标指引和制度保障。

2 修复风险分级管控要点的分析

2.1 污染土壤调查与数据收集

污染土壤现场调查及数据采集属于风险分级管控的前期准备工作, 必须依照国家土壤环境监测技术规范来开展。采用分区布点加随机布点的方式, 对修复场地进行全方位土壤采样工作, 确定土壤理化性质、污染物种类、含量以及空间分布情况。同步搜集场地土地利用历史、周边产业分布、水文地质情况、地下水埋深及流向等基本资料, 创建完备的调查数据库。所有的采样、检测、记录过程都必须有标准的控制, 保证数据真实、准确、

可追溯, 给后续的风险等级评定、修复方案的设计和管控措施的制定提供可靠的依据。

2.2 不同风险等级管控策略

根据风险等级实行分区控制, 高风险区设置物理围挡、禁止耕种和人员活动, 先做钝化修复工程; 中风险区建立动态监测预警机制, 定时取样检测并加以辅助管控; 低风险区侧重于保护维持, 持续进行常态化的巡查工作, 严格控制新增污染。实行分级管理达到精准控制的目的, 提高治理效率, 减少安全隐患。如表1

表1 不同风险等级管控

风险等级	管控区域	核心管控措施
一级(高风险)	重污染集中区	封闭隔离、禁止人员进入, 立即开展应急修复
二级(中风险)	中度污染区	设置警示标识, 加密监测频次, 实施靶向修复
三级(低风险)	轻污染区	常规监测、生态保护, 防止外界污染输入

2.3 管控措施的实施与监督

管控措施落实、全过程监督属于保证风险控制效果的重要组成部分。项目开工前确定建设单位、施工单位、监理单位、运维单位的责任和工作程序, 建立责任清单。按照风险管控方案推进隔离防护、分区标识、监测布点、修复施工等措施的落实, 实施工序化管理、节点化验收。监理单位对实施过程实行全程旁站和跟踪检查, 主要对高风险区的管控情况进行监督。创建闭环监督体系, 实时记载实施数据, 定时产生监督报告, 对于不符合项立刻进行整改, 保证风险控制手段有效落实, 始终维持场地环境的安全状况。

3 修复过程质量控制

3.1 钝化修复材料选择与应用

钝化修复材料选型要根据场地污染类型、土壤理化性质和风险等级来确定, 坚持高效稳定、环境友好、无二次污染的技术准则, 优先选用作用机理清楚、性能指标符合规范要求的环境友好型钝化剂。材料进场时要严格核对产品合格证、性能检测报告, 根据污染物含量、土壤pH值、含水率来确定最佳投加量和配比, 用机械搅拌使钝化剂和土壤充分混合。全过程建立材料溯源台账, 保证钝化反应稳定高效, 给修复质量提供基础保障。

3.2 修复工艺参数优化

按照场地土壤状况、污染分布状况和修复目的, 对钝化修复工艺参数展开系统改良。通过现场试验确定拌和深度、拌和均匀性、养护时间、施工顺序等关键参数, 形成标准化施工工艺。根据复杂的地质情况来调整拌和方式和药剂的施加方法, 规范材料拌和、场地平整、后期养护等主要工序。经过改进的工艺可以提高污染物的钝化效率, 防止出现修复不足或者过度处理的情况, 使施工过程可控, 修复效果稳定, 符合场地的安全利用标准。

3.3 施工过程质量监督

施工阶段建立全过程质量监督体系,由专业技术人员和监理单位共同管理,保证施工符合设计和规范的要求,监督要点如下:

(1)原材料质量监督:检查钝化剂合格证和检测报告,不得使用不合格的材料。(2)配比计量监督:对药剂投加的准确性、配比进行监督,控制好计量误差。(3)拌和施工监督:保证拌和深度、均匀性,防止漏拌、欠拌。(4)养护条件的监督:控制养护时间、温湿度等条件,使钝化反应完全进行。(5)工序交接监督:实行工序验收制,上道工序合格后才能进入下道工序。

3.4 质量控制中的问题与解决

施工过程中容易出现材料、工艺、环境等引起的质量问题,需要采取相应的措施进行及时处理,对应关系如下:

(1)钝化剂的配比不准→使用自动计量设备进行配制,并定期对仪器进行校准,专人复核。(2)土壤和药剂搅拌不均匀→会造成施工路线的调整,搅拌次数增多,分区抽检验收。(3)后期养护条件不符合要求的,编制专项养护方案,使用覆盖保湿的方式,严格控制养护时间。(4)由于施工进度落后→导致优化工序衔接不及时,合理安排人、机的使用,及时调整施工计划。(5)修复效果不均匀→不合格处重新拌和并补投药剂。

4 修复后质量验收评价

4.1 验收评价指标体系构建

土壤钝化修复工程竣工后要建立规范化的、量化的验收评价指标体系,来判定场地是否达到安全利用的标准。如表2

表2 土壤钝化修复验收评价指标

序号	指标分类	具体评价指标	备注
1	污染物稳定化指标	有效态重金属含量、浸出浓度达标率	用于判定重金属稳定固化效果
2	土壤理化指标	pH 值、含水率、有机质、阳离子交换量	表征修复后土壤基础理化性状
3	施工质量指标	钝化剂投加均匀性、拌和深度、养护完整性	管控现场施工工艺落实质量
4	环境安全指标	地下水影响程度、生态毒性、二次污染风险	评价工程周边环境潜在污染风险
5	长效稳定性指标	修复效果保持性、污染物再活化风险	考核修复效果长期存续能力

4.2 评价方法与流程

验收评价采用现场采样、实验室检测、综合评分的标准化方法。按照规范设置监测点位,采集修复后的土壤样品,按照国家土壤环境标准进行理化和污染物的检测。用单因子评价法加综合指数法相配合的方式来对污染物的稳定化效果和风险控制水平加以评价。评价过程全过程留痕、数据可以复核,保证方法科学、过程规范、结论可信,为验收是否通过提供客观依据。

5 结束语

本文对污染土壤钝化修复全过程进行了系统的论述,创建起风险分级管控、过程质量控制、修复验收评价三者相结合的技术体系,对风险评价、等级评定、工艺改进、质量监督、长期监测等做了详细的说明。根据研究结果可知,科学的风险分级可以达到精准管控、资源高效配置的目的,严格的全过程质量控制才能保证钝化效果,完善的验收和监测体系才是保证修复长效性的基础。能够有效地提高污染土壤治理的规范性、针对性、稳定性,对完善土壤污染防治技术标准、提高场地安全利用水平有十分重要的理论和实践意义。未来要继续加强修复机理研究,改进控制评价方法,给土壤生态环境保护和绿色可持续发展提供更好的技术支撑。

【参考文献】

- [1]高闻哲.不同修复方式对镉污染土壤有机碳转化及稳定性的影响[D].浙江大学,2025.
- [2]王靖雯.化学淋洗联合钝化技术修复放射性-重金属复合污染土壤研究[D].东华理工大学,2024.
- [3]张素欣.重金属污染农田土壤钝化修复效果评价模型的构建及应用[D].山东师范大学,2023.
- [4]程新惠.改性生物炭对六价铬污染土壤的钝化修复研究[D].华北水利水电大学,2023.
- [5]李治梅.不同功能化蒙脱土对镉污染土壤的钝化修复及稳定性研究[D].贵州师范大学,2023.

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。