

矿区土壤重金属污染治理及固化稳定化修复技术应用

周 翔

(上海合然环保科技有限公司 上海 200082)

摘要:针对早年长期的不正规采金、选金活动造成的土壤重金属和氰化物污染开展修复活动,考虑到矿区还涉及农业用地,受影响区域分散且范围广,且涉及到饮用水水源地等问题,因此采取异位固化/稳定化技术处理氰化池废渣和受污染土壤,处理后的土壤运输至附近污染土壤封存库填埋处置,并对原场地进行客土回填,使原场地可以从事农业生产。

关键词:金矿重金属污染;固化/稳定化技术;土壤修复;修复施工

【DOI】10.12293/j.issn.1671-2226.2022.19.009

引言

金矿开采增加了土壤重金属迁移污染的可能性,造成极严重的土壤污染并影响周围的生态环境,对人体健康产生不可接受的风险^[1-2]。基于此,固化/稳定化技术应运而生,该修复技术具备操作灵活、成本易控制、时效性强、经济效益高等特点,广泛用于处理土壤重金属污染^[3]。中国修复市场在2017-2018年间固化/稳定化的采用率高达48.5%,且同样成为美国超级基金计划(CERLA)中的首位土壤补救措施^[4-6]。

1. 矿区土壤修复综合治理与修复技术概述

1.1 矿区土壤环境系统分析

1.1.1 场地污染情况

某金矿长期的不正规采金、选金活动对当地环境造成了严重的影响,矿区范围至今仍遗留有大量的采矿井、自建小型氰化池等采选设施,由于未采取有效的环保措施,对周边环境造成了持续的负面影响。污染主要集中在村庄、河流下端和毗邻的农业基地附近,主要污染物为重金属Zn、Cd、Pb、As、Hg和氰化物。其中河流区域是该区域重要的水源地分布区,环境遭到破坏将对水源地产生一定影响,并会影响居民的饮水安全^[7]。

1.1.2 治理修复范围及工程量

根据调查结果及测绘结果,总计约2601m³的地表

废渣和总计226m³的废氰化池拆除废物(含池内物)需要治理修复,需要进行治理修复的污染土壤总方量为13378m³。

1.1.3 场地修复目标

根据《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3-2019)计算的污染物限值、《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)和《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB16889-2008)中要求限值进行对标,其中取最低值作为修复值,详见表1和表2。

1.2 固化稳定化修复技术

固化稳定化技术分为异位和原位^[8]。异位固化/稳定化技术是向污染土壤中添加固化剂/稳定化剂,经充分混合,使其与污染介质、污染物发生物理、化学作用,将污染土壤固封为结构完整的具有低渗透系数的固化体,或将污染物转化成化学性质不活泼形态,降低污染物在环境中的迁移和扩散^[9-10]。而原位固化/稳定化技术则是通过一定的机械力在原位向污染介质中添加固化剂/稳定化剂^[11]。

2 固化稳定化修复小试

表2 固化/稳定化土壤污染物浸出标准限值

污染物	As	Hg	Zn	Cd	Pb
标准限制 mg/L	0.3	0.05	100	0.15	0.25

表1 地土壤污染修复目标值确定

污染物	修复目标计算结果 (mg · kg ⁻¹)	土壤环境质量标准Ⅲ类 (GB15618-1995)	农用地土壤风险管制值 (GB15618-2018)	修复目标值 (mg · kg ⁻¹)
砷 (As)	23.84	30	150	23.84
镉 (Cd)	28.80	1.5	2.0	1.5
铅 (Pb)	595	500	500	500
汞 (Hg)	47.5	1.5	2.5	1.5
锌 (Zn)	49587	500	—	500
氰化物 (CN ⁻)	95.76	—	—	95.76

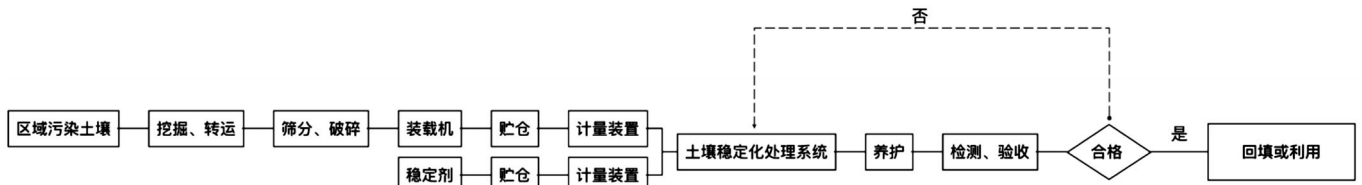


图1 固化/稳定化工艺流程图

表3 稳定化/固化施工技术参数

施工工段	施工方法	技术参数
预处理工段	Allu 铲斗筛分	筛下料粒径<4cm; 整套前处理设计能力为 750t/d;
	装载机	装备斗容为 2.1m ³ 铲斗; 控制物料粒径<4cm;
固化/稳定化工段	调节土壤含水率	25%—30%;
	添加药剂	并充分搅拌, 处置后静置 0.5~1h;
	堆存待检	500m ³ 一堆的待检堆; 每 4-7d 对待检堆进行抽样自检和验收;

表4 异位封存工艺参数

施工区域	方法	技术参数
回填区底部	0.5m 厚压实粘土	渗透系数≤1.0E-07cm/s
	双层 HDPE 膜	HDPE 膜的厚度≥2mm
防渗墙	静力注射泥浆防渗墙	深度 3 米内到基岩界面, 垂直防渗墙平均厚度 0.8m
回填区及周边	防渗墙顶部外侧构排水沟	排水沟高程和底部坡度按回填区地形确定, 坡度最小应≥3%;
回填区顶部	覆盖层	厚度 0.4m; 本地粉砂土 90% (体积比); 木质生物炭 10% (体积比)

2.1 试验材料

本次试验将使用原位废渣和污染土壤作为反应介质, 固化胶凝材料主要由16%的CaSO₄、42%的CaO、24%的Al₂O₃、13%的SiO₂和12%的Fe₂O₃组成, 氧化镁作为辅助稳定化药剂。

2.2 试验方法

本试验目的为探究固化胶凝材料和稳定化药剂的最佳添加比例及处理粒径的要求^[12]。本试验选用不同配比的污染物/固化胶凝材料混合, 成分变化为100:0、90:10、80:20、70:30、60:40、50:50、40:60、30:70、20:80和10:90。同时所有固化/稳定化试剂样品中, 水/稳定化药剂(0.5)和稳定化药剂/固化凝胶材料(1/3)的比率保持不变。将废渣和污染土壤筛分出两种粒径, 不大于4cm和不大于5cm, 并将配置好的药剂与污染物样品混合^[13]。

均质浆成型成直径为25毫米的圆柱形模具。样品在室温下用塑料袋固化5天、7天和10天后, 再对其固体浸出液进行检测分析, 并对正交试验结果进行直观法分析, 判断污染物浓度不同的情况下处理效果最优的配比和反应时间, 并分析各因素对固化/稳定化效果的影响, 确定该方法防治废渣和污染土壤的可行性。

2.3 测试方法

土壤浸出测试选用《固体废物浸出方法-硫酸硝酸法》(HJT299-2007)。采用修复后的土壤浸出液中重金属浓度大小来判断修复效果, 根据《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3-2019) 计算风险控制值: 砷: 23.84mg/kg; 镉: 1.5mg/kg; 铅: 500mg/kg; 汞 1.5mg/kg; 锌: 500mg/kg; 总氰化物: 95.76mg/kg; 修复后的土壤浸出浓度限值为: 按照《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB16889-2008), 砷<0.3mg/L; 铅<0.25mg/L; 镉<0.15mg/L。

2.4 结果与讨论

通过对某金矿污染土壤和废渣进行稳定化和固化小试, 采用固化稳定化专门药剂, 小试结果表明:

(1) 在低于25%投加量情况下, 单独的固化和单独的稳定化都不能使Pb达标;

(2) 在≥15%稳定化药剂投加后, 再投入≥10%的固定化药剂, 养护7天后, 使目标污染物达到相应浸出标准;

(3) 采用稳定化/固化对废渣和污染土壤进行处置, 药品投加顺序为: 首先将稳定化药剂与水配制成溶液, 再与污染土壤和废渣混合搅拌, 搅拌均匀后再投加固化剂, 搅拌均匀后养护7天。

3 总体施工

3.1 工艺流程

3.1.1 固化/稳定化修复的工艺流程

将污染土壤及废氰化渣分别开挖收集到作业场地处置进行预处理，再由装载机转运至物理通风区进行修复处理。验收合格后的土壤运至合格区堆存并对堆存土壤使用防雨布覆盖，周边设置围堰。固化/稳定化的工艺流程见图1。

3.1.2 异位封存工艺

对稳定化/固化后的废渣进行异位封存，主要是通过控制外部雨水渗入和地表径流冲刷，隔绝废渣和外界之间的联系，进而控制废渣对环境的潜在影响。主要的控制措施包括：1) 回填区防渗；2) 回填区表层覆盖；3) 回填区表层排水；4) 植被恢复。

3.2 技术参数及设备

3.2.1 稳定化/固化工艺参数

固化稳定化阶段需要先针对开挖废渣和土壤开展预处理，然后开展固化稳定化工段，具体参数见表3。

3.2.2 异位封存工艺参数

异位封存主要涉及三块内容，主要是回填区底部防渗、防渗墙、排水沟构筑及回填去覆盖，施工技术参数见表4。

3.3 污染土壤固化稳定化

3.3.1 土壤预处理实施

将开挖至集中处置区域的土壤利用筛分设备进行筛分，筛下土壤运至固化/稳定化工段进行处置。预处理主要内容包括：

- ① 去除土壤中大块非土壤物质，如石块、建筑垃圾等；
- ② 确保土壤粒径相对均一，增强污染物整体去除效果；
- ③ 可调节土壤的含水率。

为保证后续修复所需的土方量要求，在修复施工开始之前，将预处理后的污染土堆存在预处理车间内，由装载机转运至修复区进行稳定化/固化处理。

3.3.2 固化/稳定化实施

固化/稳定化实施流程如下：

- (1) 根据工艺需要调节土壤含水率，并充分搅拌；
- (2) 添加药剂，并充分搅拌；
- (3) 处置后静置0.5~1h，待反应充分，将处理后的土壤运至贮存区域堆放。
- (4) 通过覆盖防雨布、保湿等条件进行养护，使固化/稳定化反应充分进行。

(5) 处置后的待检土壤堆置成每500m³一堆的待检堆，并定期对待检堆进行抽样自检和验收。

(6) 验收合格后的土壤运至合格区堆存，并对堆存土壤使用防雨布覆盖，周边设置围堰。

(7) 对筛选出的大块杂物冲洗再处理，冲洗出的泥浆按污染土壤进行稳定化/固化处置。

3.4 污染土壤异位封存

3.4.1 回填区防渗

废渣和污染土壤深度集中在3米以内，采用开挖后再铺设底部防渗，处置后的废渣回填后，再进行垂直防渗，以水泥灌浆方式施工实施。

3.4.2 回填区表层覆盖

由于废渣稳定化后还要经过固化处理，固化体本身已经能够隔绝外部雨水的入渗，综合考虑，本工程采用土质覆盖方式。参考同类项目的表层覆盖层，建议采用本地粉砂土90%（体积比），木质生物炭10%（体积比），厚度0.4m，动态隔除雨水渗入。

3.4.3 回填区表层排水

为阻隔地表径流对回填区的冲刷，每个回填区内建设导排沟，用于将地表径流疏导至临近地表水体。

3.4.5 植被恢复

工程建设完成后，对整个修复范围进行植被恢复。考虑到对场地残留重金属的抗性当地的气候条件，狗牙根类牧草和夹竹桃混播。其中，狗牙根草采用种籽直播，夹竹桃采用扦插方式。狗牙根草满播，夹竹桃扦插间距1.5-2.0m。

4 修复效果评估

4.1 污染土壤修复验收

4.1.1 采样节点

污染土壤清理后遗留的基坑底部与侧壁，在基坑清理之后，在回填之前进行采样。修复后的土壤堆体在堆体拆除之前进行采样。预处理和处置区、土壤待检区、运输车辆临时道路应在开发之前进行采样，可根据

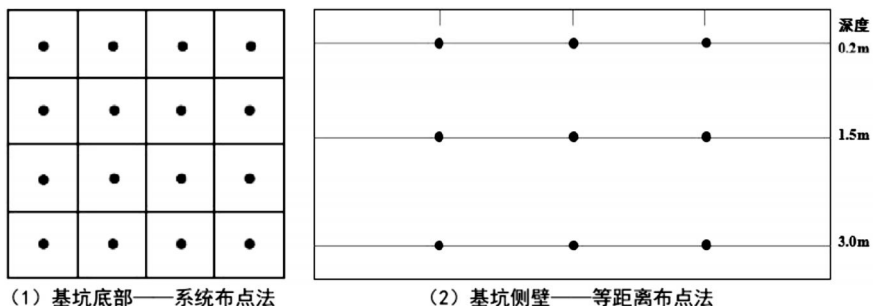


图2 基坑底部与侧壁布点示意图

