

ISC13.020

B11

GRM

中关村绿色矿山产业联盟

T/GRMP-2023-02

有色金属矿区场地固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复技术指南

Technical Guidelines for Collaborative Solidification and Stabilization
Remediation of Solid Waste and Microorganisms in Nonferrous Metal
Mining Sites

2023-08 - 30 发布

2023-09 - xx 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发布

目录

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语及定义	1
4 适用性评价及实施流程	2
4.1 修复场地类型	2
4.2 适用性评价步骤	3
4.3 实施流程	3
5 固体废弃物选择及组合	4
5.1 固体废弃物选择	4
5.2 固体废弃物组合	4
6 微生物筛选及驯化	5
6.1 微生物筛选	5
6.2 微生物驯化	5
7 操作条件的验证和规定	5
8 可行性验证	5
9 工程参数的确定	6
10 工程措施	6
10.1 一般要求	6
10.2 工程施工	7
11 监测与分析	7
11.1 环境监测	7
11.2 样品保存和运输	7
11.3 监测项目与分析	7
12 验收要求	8

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟标准工作委员会归口。

本文件起草单位：中国地质大学（北京）、中钢集团马鞍山矿山研究院有限公司、昆明理工大学、西南科技大学、北京矿冶科技集团有限公司、中铝集团四川省会理县鹏程废渣利用有限公司、罗平锌电上市公司贵州省安顺市普定县向荣矿业有限责任公司、广西博世科环保科技股份有限公司。

本文件主要起草人：姚俊，李浩，李淼淼，华绍广，刘兴宇，董鹏，谌书，李泽海，刘建丽，闵宁，朱红祥，姜顺，李若飞，唐垂云，李克新，刘厚权，苏建。

1 范围

本文件规定了有色金属矿区场地固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复的术语和定义、适用性评价、技术路线、工作程序、固体废弃物选择及组合、微生物筛选及驯化、操作条件的验证和规定、可行性验证、工程参数的确定、工程措施、监测与分析、验收要求等。

本文件适用于我国有色金属矿区场地固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复工程方案设计、施工及验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12801 生产过程安全卫生要求总则

GB/T 14848 地下水质量标准

GB/T 32722 土壤质量 土壤样品长期和短期保存指南

GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准

HG/T 20719 微生物法修复化工污染土壤技术规范

HJ 25.4 建设用地土壤修复技术导则

HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则

HJ 493 水质 样品的保存和管理技术规定

HJ 1272 生态保护修复成效评估技术指南

HJ/T 415 环保用微生物菌剂环境安全评价导则

HJ 557 固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法

GB 32328-2015 工业固体废物综合利用产品环境与质量安全评价技术导则

GB/T 39198-2020 一般固体废物分类与代码

3 术语及定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 有色金属矿区场地 nonferrous metal mining site

因有色金属开采、选矿、冶炼等生产运输过程，导致对生态环境和人体健康产生危害或具有潜在风险的场地。

3.2 固体废弃物修复 in situ remediation of multiple solid waste

指利用场地周边的农林-钢铁-煤电等行业所产生的固体废弃物直接在场地发生污染的位置对其进行重金属固化及稳定化的技术。

3.3 微生物修复 in-situ bioremediation

指利用微生物的生长代谢作用长期有效地固化环境中重金属的过程。

3.4 重金属固化及稳定化材料 heavy metal solidification materials

指运用物理或化学的方法固定及稳定化重金属，或者将重金属转化成化学性质不活泼的形态，阻止其在环境中迁移、扩散等过程，从而降低重金属的毒害程度的材料。

3.5 重金属固化微生物 heavy metal solidification microorganism

指能够在微生物自身或酶的作用下促进重金属由迁移态转变为稳定态，固化环境中重金属的微生物。

3.6 重金属固化及稳定化率 Heavy metal solidification/stabilization rate

指固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复后污染场地样品中重金属浸出毒性浓度变化与初始浓度的比值，按如下公式计算，重金属固化及稳定化率=（初始浓度-修复后浓度）/初始浓度×100%。

4 适用性评价及实施流程

4.1 修复场地类型

固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复适用于深度较浅或不宜深度开挖的或大面积污染场地修复。

4.2 适用性评价步骤

固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复技术适用性评价可参照以下步骤进行：

（1）有色金属矿区场地状况调查。包括场地地理位置、污染物种类、微生物群落结构，明确修复目标。确认污染场地概况的技术流程和技术方法按 HJ 25.4 执行。确认的主要内容包括但不限于：污染物种类及理化性质、污染物浓度及分布范围、污染区域、场地使用情况、周边敏感受体及相对位置、场地规划类型等。

（2）根据污染场地概况、土地再利用规划和功能属性等综合制定修复策略，确认现场是否适合采用固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复技术等。

（3）固体废弃物使用的安全性评价。确定固体废弃物原料安全性，且需要对固体废弃物反应过程、以及固体废弃物与微生物反应过程中间产物和最终产物的环境安全性进行评价，具体要求参照 GB 32328-2015。

（3）根据修复策略比选并确认修复技术，应结合污染分布范围与深度、修复过程污染物的排放、修复时间要求、运输条件和限制因素，以及修复成本、效益等各种因素，判断固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复技术的可行性。

4.3 实施流程

固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复按以下技术流程图执行。

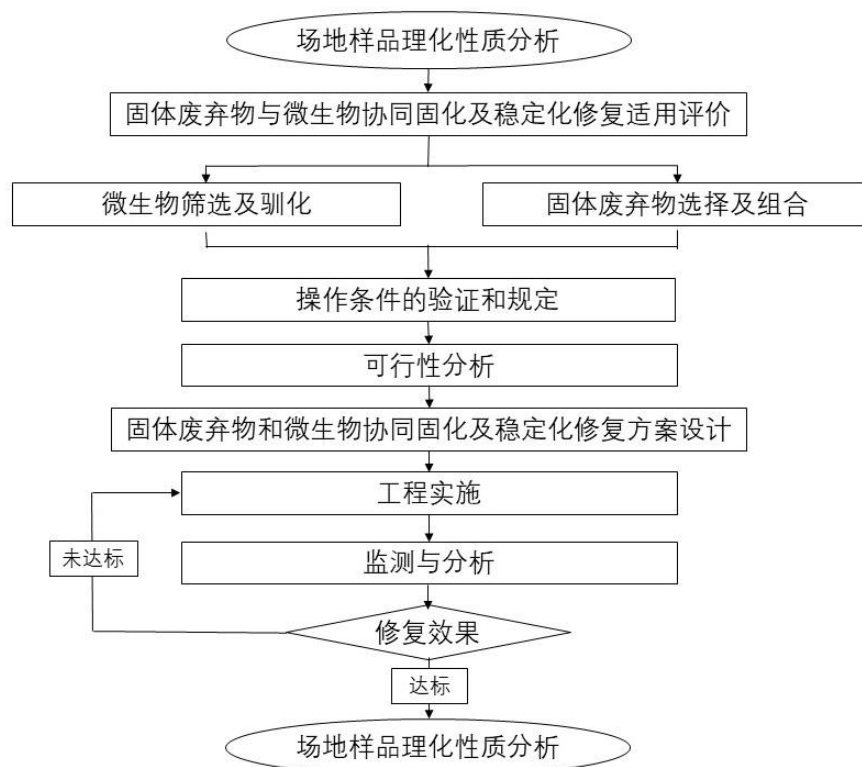


图 1 固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复技术实施流程图

5 固体废弃物选择及组合

5.1 固体废弃物选择

5.1.1 根据场地重金属污染特征及其地质环境背景特点，对场地周边农林、钢铁、煤电等固体废弃物进行采样。参照 GB/T 39198-2020 进行分类，记录采样的时间、地点、环境条件、含水率等。将样品进行干燥后密封保存。

5.1.2 将前述采集的样品进行粉磨并进行矿物相分析、粒径分析、微观形貌分析等，并参照 HJ 557 测定所采样品的浸出毒性，保证使用的农林、钢铁、煤电等固体废弃物安全、有效。选取具有活性的固体废弃物或对样品进行物理或化学处理后增强固体废弃物的活性。

5.2 固体废弃物组合

5.2.1 以前述筛选的本土农林-钢铁-煤电业固体废弃物为主要原料、辅以当地非金属矿物等材料，在原料组成、性能研究基础上，开展多种固体废弃物材料复配试验，通过物理化学手段优化粒径分布与反应物粒度集配，确定固体废弃物组合种类。

5.2.2 将多种固体废弃物原材料与取回的试样按不同配方比例混匀，置于实验容器中，模拟当地湿度和温度进行重金属固化及稳定化研究，采用重金属浸出检测等方法分析，考察重金属有效态含量、浸出毒性，优化多固废协同修复配方，优化技术参数，构建因地制宜的有色金属矿区场地重金属污染高效、靶向多固废组合。

6 微生物筛选及驯化

6.1 微生物筛选

6.1.1 强还原微生物包括工程微生物和筛选的土著微生物，主要是硫酸盐还原菌、铁还原菌等。

6.1.2 微生物筛选步骤应包括样品采集与储存、菌悬液的制备、富集培养筛选、效果检测、菌种保存等，具体要求参照 HG/T 20719。

6.1.3 按照 HJ/T 415 进行安全性评价分析和评价强还原微生物菌剂及其使用过程中各类代谢产物对人畜健康及生态环境可能产生的有害影响和潜在危害，保证使用的强还原微生物菌剂安全、有效。

6.2 微生物驯化

6.2.1 重金属固化微生物驯化体系中，根据场地总金属有效态浓度，将重金属浓度设置一系列浓度梯度，由低到高进行菌株的驯化，驯化过程定期转接。

7 操作条件的验证和规定

(1) 将多种固体废弃物组合与强还原微生物菌液分别于 3:1、1:1、1:3 的固液比例混合，30℃下放置 5 天制成固体废弃物与微生物协同固化及稳定化固体培养物。

(2) 上述不同的固体培养物与污染样品充分混合，测定重金属的生物有效性，验证固体废弃物与微生物协同固化及稳定化修复污染样品的最佳固液比例。

8 可行性验证

可行性验证研究按下列步骤进行：

(1) 选取效果最佳的多种固体废弃物组合和处于对数生长期的强还原微生物菌液为研究对象，并按照一定的固液体积充分混合，30℃下放置 5 天制成固体废弃

物与微生物协同固化及稳定化固体培养物。

(2) 修复组中分别添加 200 g 一定固液比例的固体培养物到 1000 g 污染样品，充分混合均匀，对照组中包含等量的尾矿样品，每组三个重复，置于自然条件下培养。

(3) 分别于 0、7、15、30、60、90、180 天取 50 g 污染样品，用于重金属生物有效性的监测，以确定固体废弃物与微生物协同固化及稳定化的修复效果。若短时间内有修复效果，则可应用于工程试验。

9 工程参数的确定

工程参数按下列因素确定：

(1) 温度。根据当地气温条件，设置不同的温度梯度进行重金属效果试验，确定最佳的温度范围，结合当地气温条件确定适宜实施修复的季节。

(2) pH。根据当地降雨的 pH，设置不同的 pH 梯度进行重金属有效性降低效果试验，确定最佳的培养基 pH。

(3) 多种固体废弃物比例。分别设置不同比例的多种固体废弃物对污染重金属有效性的降低效果试验，确定修复过程中添加多种固体废弃物的最佳比例。

(4) 菌剂比例。分别设置不同微生物菌剂的比例对降低尾矿中重金属有效性的效果试验，确定修复过程中添加微生物菌剂的最佳比例。

(5) 固液比例。分别设置不同多种固体废弃物与微生物菌液的比例的固体培养基对降低尾矿中重金属有效性的效果试验，确定修复过程中添加固体培养基的最佳固液比例。

10 工程措施

10.1 一般要求

10.1.1 微生物的放大培养。放大培养的微生物作用效果应达到可行性验证的基本要求，将微生物放大培养至每毫升不低于 10^5 个，具体要求参照 HG/T 20719。

10.1.2 有色金属矿区场地微生物修复在设计、施工过程中，应遵守安全技术规程和相关设备安全性要求的规定，应符合 GB/T 12801 的要求。

10.1.3 固体废弃物与微生物协同固化及稳定化的固体培养基。固体培养基达到可行

性验证的基本要求，具体要求参照 GB 32328-2015。

10.2 工程施工

10.2.1 采用土地平整和机械翻耕等工程措施对场地进行预处理，保证土壤平整和松散，原则翻耕土壤深度一般不超过 30 cm。

10.2.2 将上述培养的微生物菌液按照最适的固液体积比喷洒在粉碎后的农林废弃物中（农林废弃物粉碎至 1-20 mm），30℃下放置 5 天制成固体培养物，并与多固体废弃物等按照比例充分混合，从而获得固体废弃物与微生物协同固化及稳定化固体培养基。

10.2.3 将混合均匀的固体废弃物与微生物协同固化及稳定化固体培养基均匀掺入在待修复的污染场地表面。

11 监测与分析

11.1 环境监测

11.1.1 环境监测采样方式包括监测井采样法、人工钻井采样法、机械钻孔采样法。

11.1.2 主要监测内容包括：

- （1）修复前采用调查评估数据；
- （2）修复过程中修复效果的基础监测；
- （3）为判断是否可以终止监测而进行的监测。

11.1.3 环境监测的对象应包括场地渗滤液、场地土壤样品、地下水样品，监测指标应包括但不限于 pH、氧化还原电位、重金属总量、重金属浸出毒性，出具相应的监测报告。

11.2 样品保存和运输

- （1）采集的样品检测前应低温保存和运输。
- （2）对污染物检出限有特殊要求，应采用满足低检出限分析方法对样品前处理要求的保存方法。

11.3 监测项目与分析

若场地存在污染，参照 GB 36600、GB 15618 和 GB/T 14848 中污染物分析方法

进行检测，检测指标根据修复或风险管控目标确定。

12 验收要求

验收要求应以场地调查评估、修复方案中确定的修复目标值为主对项目修复效果进行评估和验收。存在污染的场地，以场地调查评估、修复方案或实施方案中确定的修复目标值为主对项目修复效果进行评估和验收，可参照 GB 36600、GB 15618 和 HJ 25.5、HJ 1272 、HJ 5