

# 团 体 标 准

T/ACEF ×××—××××

## 锰渣污染地块原位阻控与生态修复技术指南

Technical guidelines for in situ control and ecological remediation of  
manganese residue contaminated sites

(征求意见稿)

××××-×-×发布

××××-×-×实施

中华环保联合会 发布



# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总体要求 .....	2
5 实施流程 .....	2
6 原位阻控 .....	3
7 生态修复 .....	5
8 监测与评估 .....	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。

本文件由有研资源环境技术研究院（北京）有限公司提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件起草单位：有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、广西博世科环保科技股份有限公司、中国地质大学（北京）。



# 锰渣污染地块原位阻控与生态修复技术指南

## 1 范围

本文件规定了锰渣污染地块原位阻控与生态修复技术的总体要求、实施流程、原位阻控、生态修复、监测与评估等技术内容。

本文件适用于锰渣污染地块的原位阻控与生态修复。

## 2 规范性引用文件

下列文件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 3838	地表水环境质量标准
GB 36600	土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准
GB 18599	一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
GB/T 32326	工业固体废物综合利用技术评价导则
HG/T 20719	微生物法修复化工污染土壤技术规范
HJ 25.1	建设用地土壤污染状况调查技术导则
HJ 25.2	建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
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/T 415	环保用微生物菌剂环境安全评价导则
HJ 1241	锰渣污染控制技术规范
HJ 1272	生态保护修复成效评估技术指南

## 3 术语和定义

HJ 1241 界定的以及以下术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**锰渣污染地块** manganese residue contaminated site

由于锰渣贮存等导致土壤、水体等锰及其他污染物含量超出国家相关管控标准的地块。

### 3.2

#### 原位阻隔 in-situ barrier and control

在污染地块的原有位置上，通过生物修复、化学修复、阻隔等技术措施，对地块进行处理以实现

对污染物的阻隔。

### 3.3

#### 生态修复 ecological remediation

通过植物修复、微生物修复、施加调理剂等技术和措施，使受污染或退化的自然环境恢复到更接近其原始、健康和可持续的状态。

## 4 总体要求

4.1 锰渣污染地块的治理宜遵循“源头防控、风险控制、生态恢复、长效持续、经济适用”原则，实现污染物稳定化、生态系统功能重建及环境风险长期可控。

4.2 应识别锰渣污染地块的污染源，并采取防控措施。锰渣产生、收集、运输、贮存、利用与处置等环节的污染控制应符合 GB 18599 和 HJ 1241 的规定。

4.3 修复开始前，应获取地块污染调查结果，必要时应依据 HJ 25.1 补充污染调查。根据地块特征、修复目标等制定修复方案，修复方案应包括材料选择、工艺设计、工程实施、监测与评估等内容。

4.4 材料的选择、配比、投加量、投加方式、技术选择和施工不对地块及周边环境造成二次污染。

4.5 宜根据污染地块水文地质条件、土壤、水体使用功能、污染程度和范围以及对人体健康和生态受体造成的危害，合理选择原位阻隔和生态修复技术，因地制宜进行原位阻隔和生态修复工艺设计，使地块原位阻隔和生态修复工程切实可行。

4.6 锰渣污染地块原位阻隔和生态修复工程设计与施工，应符合安全生产、职业健康、交通运输、消防安全等法规及标准规定，防止对施工人员、周边人群健康和生态受体产生危害。

## 5 实施流程

5.1 锰渣污染地块原位阻隔与生态修复技术的实施流程见图 1。

5.2 锰渣污染地块原位阻隔与生态修复技术的实施流程宜符合以下规定：

a) 应根据复合污染情况、污染程度、用途规划进行原位阻隔，包括阻隔材料的选择和原位阻隔工艺设计，原位阻隔工艺设计划分为土壤原位阻隔和水体（主要包括指地表水、地下水汇入地表形成的地表水）原位阻隔；

b) 原位阻隔后，宜根据生态服务目标进行生态修复以实现植被等恢复，生态修复包括生态修复材料的选择和生态修复工艺设计，生态修复工艺设计划分为土壤生态修复和水体生态修复；

c) 宜根据监测结果，评估土壤和水体修复效果是否达到要求。若未达到修复效果，则需对局部区域重点开展原位阻隔或/和生态修复。

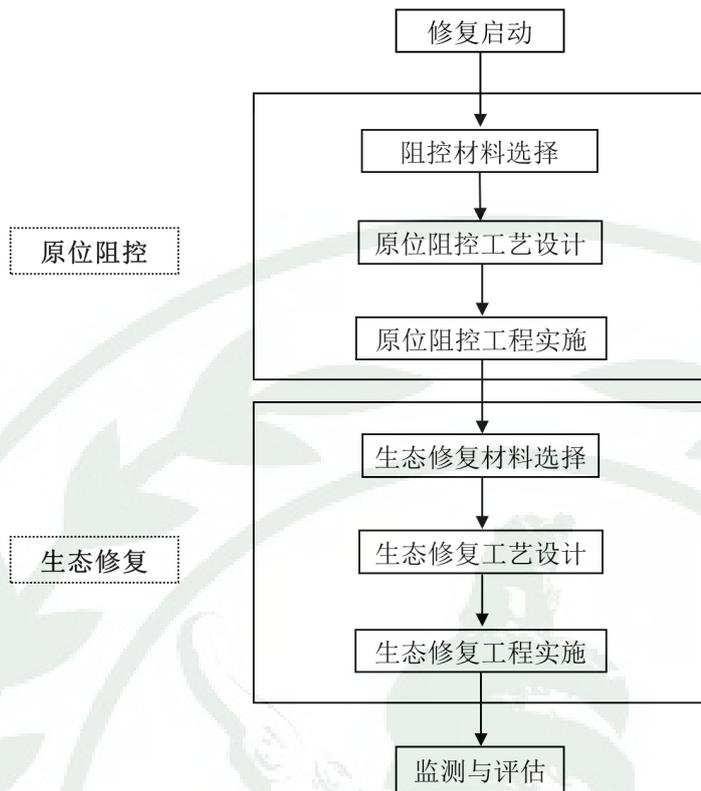


图1 锰渣污染地块原位阻控与生态修复的实施流程图

## 6 原位阻控

### 6.1 一般规定

6.1.1 修复目标宜根据污染物的污染程度和风险评估设定，宜包括锰等污染物含量的降低目标和生态风险的控制标准。

6.1.2 原位阻控工艺设计包括但不限于：阻控材料的选择、配比、施用和养护等。

6.1.3 施工设备应能够满足原位阻控技术对深度、精度和混合均匀性等要求。

6.1.4 宜制订施用方案，包括施用过程质量控制措施、效果监测等内容。

6.1.5 实施过程中应采取措施减少对土壤结构、水体和生态系统的负面影响。

### 6.2 阻控材料的选择

6.2.1 阻控材料宜对锰等其他污染物具有高效固定或稳定作用，包括但不限于：微生物阻控材料、化学阻控材料、固废基阻控材料（有机固废基阻控材料和无机固废基阻控材料）。

6.2.2 宜根据土壤、水体的污染状况，选择不同组合的阻控材料：

——针对锰渣污染土壤，宜优先选用微生物阻控材料或与其他材料协同（包括微生物阻控材料、微生物与化学联合阻控材料、微生物与固废基联合阻控材料）；对于土壤渗透性低于  $6.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  的土壤，可选用化学阻控材料或固废基阻控材料或其组合材料。

——针对污染程度较低的水体，宜优先选用微生物阻控材料、微生物与有机固废基联合阻控材

料；对于污染程度较高的水体，宜首先选用化学阻控材料、固废基阻控材料等进行原位阻控，待污染物浓度降低至微生物可耐受范围后选用微生物阻控材料，加速污染物的降解。

#### 6.2.3 微生物阻控材料的选择宜符合以下规定：

- a) 针对锰污染物宜选育驯化能调控锰离子价态的功能菌（如锰氧化菌、锰还原菌等）；
- b) 针对氨氮污染物宜选用具有氨氮去除功能的微生物（如硝化菌、反硝化菌、氨氧化菌等）；
- c) 微生物之间宜不存在拮抗作用；
- d) 微生物菌剂宜适应土壤或水体的环境特点，且经济、高效、环保，不造成二次生物污染，微生物阻控材料的安全性评价应符合 HJ/T 415 的要求；

#### 6.2.4 化学阻控材料的选择宜符合以下规定：

- a) 化学阻控材料宜具有固化锰或去除氨氮等污染物的功能，包括但不限于：碱性材料、磷酸盐材料和硫化材料等；
- b) 碱性材料包括但不限于：氧化钙、氢氧化钙、氧化镁等；
- c) 磷酸盐材料包括但不限于：磷酸盐、骨炭、磷矿石等；
- d) 硫化材料包括但不限于：硫化钙、硫化铁、磁黄铁矿等；

#### 6.2.5 固废基阻控材料的选择宜符合以下规定：

- a) 固废基阻控材料的原料宜满足 GB/T 32326 的要求；
- b) 针对锰渣污染土壤，可利用无机固废（赤泥、高炉矿渣、磷石膏）作为原料，协同污染土壤制备成固废基胶凝材料，固化土壤锰并去除氨氮等污染物；
- c) 针对锰渣污染水体，可利用有机固废（如玉米秸秆、甘蔗渣、木屑、玉米芯等）作为原料，协同微生物阻控材料，固化土壤锰并去除氨氮等污染物；

### 6.3 原位阻控技术工艺设计

#### 6.3.1 阻控材料的工艺设计

##### 6.3.1.1 微生物阻控材料的工艺设计应考虑以下因素：

- a) 微生物阻控材料的筛选、驯化、培养、接种宜参考 HG/T 20719 的规定。
- b) 微生物阻控材料宜设计长期维护方案，确保在修复区域形成有效的生物种群。

##### 6.3.1.2 化学阻控材料的工艺设计应考虑以下因素：

- a) 化学阻控材料与微生物阻控材料联合使用时，应不对微生物产生危害。
- b) 化学阻控材料的施加参数宜重点考虑施加方式、施加量、施加周期。

##### 6.3.1.3 固废基阻控材料的工艺设计应考虑以下因素：

- a) 当固废基阻控材料协同微生物阻控材料时，固废基阻控材料需具有增强微生物功效的功能。
- b) 宜控制固废基阻控材料的投加量，使土壤的质量满足 GB 36600 的规定。

#### 6.3.2 土壤的原位阻控工艺设计

6.3.2.1 宜根据土壤的理化性质和水文地质条件，确定阻隔材料的施加顺序和施用方法，保证化学阻隔材料、无机固废基阻隔材料稳定发挥作用以及微生物阻隔材料的高效定殖。

6.3.2.2 宜综合考虑锰及其他污染物的阻隔性能及形成产物的稳定性，设计阻隔材料阻隔污染物的最佳工艺参数。在修复目标包括土壤调理情况下，可根据土壤 pH、Eh、有机质、微生物种群结构等参数，调整最佳工艺参数。

6.3.2.3 必要时可运用模拟软件对阻隔工程进行三维建模，预测污染物迁移路径和阻隔效果，优化设计方案。

### 6.3.3 水体原位阻隔工艺设计

6.3.3.1 宜根据水体的理化性质和水文地质条件，确定阻隔材料的施加顺序和施用方法，保证化学阻隔材料、有机固废基阻隔材料稳定发挥作用以及微生物阻隔材料的高效定殖。

6.3.3.2 水体原位阻隔工艺参数应根据实验室模拟结果确定，包括但不限于：阻隔材料的投加比、投加方式、投加顺序和浓度等。

6.3.3.3 阻隔材料的添加不应在水体环境造成二次污染，定期评估阻隔效果，确保污染物得到有效控制。

## 6.4 原位阻隔施工过程

### 6.4.1 土壤的原位阻隔施工过程

6.4.1.1 微生物阻隔材料的筛选、驯化、培养、接种宜根据 HG/T 20719 执行。

6.4.1.2 定期喷洒或注入微生物阻隔材料，监测微生物阻隔材料及其联合其他材料的施用效果，并根据实际情况调整施用量和频率。

6.4.1.3 结合土壤中污染物的浸出浓度和污染深度，工艺设计中需采用化学阻隔材料和固废阻隔材料的情形，需将表层污染土壤与修复材料按比例原位混匀，混匀土壤深度建议不超过 50 cm，深层污染土壤与微生物阻隔材料协同阻隔。

### 6.4.2 水体的原位阻隔施工过程

6.4.2.1 宜分别采用直接投加和深层注入的方式施加微生物阻隔材料实现对水体的阻隔，可依据水文地质条件动态调整注入速率、注入压力等技术参数。

6.4.2.2 当微生物阻隔材料需在深水发挥作用时，可采用载体（例如仿生人工水草等）固定微生物，以稳定发挥作用。

6.4.2.3 结合水体污染程度，需采用化学阻隔材料和固废阻隔材料的情形应防止二次污染。

6.4.2.4 应避免过分搅动产生内源污染释放，保证基底厚度不低于 10cm~15cm，如流速增加应适当增加基底厚度。

6.4.2.5 工程运行期间需对水体水质、注入药剂特征指标等进行监测，包括药剂浓度以及因药剂注入导致水质变化的参数，如 pH、温度、电导率、总硬度、氧化还原电位、溶解氧等。

6.4.2.6 当水体修复过程可能对污染羽造成扰动时，应监测水位、水质，掌握污染羽变化情况。

## 7 生态修复

## 7.1 一般规定

7.1.1 受污染的地块经原位阻控后，宜开展生态修复以实现植被恢复。

7.1.2 生态修复前需详细调查污染地块的土壤质地、pH、有机质含量、营养水平、锰及其他潜在污染物的浓度、形态和生物有效性，评估需进行生态修复地块的生态本底值情况。

7.1.3 宜基于环境风险和生态服务目标，明确污染物的削减目标和生态功能的恢复指标。

7.1.4 宜基于土壤、水体的理化性质和水文地质条件，确定生态修复材料的种类、用量和施用方法。

7.1.5 宜建立质量控制标准，对生态修复材料的施用过程和修复效果进行监测。

7.1.6 宜根据场地生态特性和污染物特性，定制生态修复技术方案。

## 7.2 生态修复材料的选择

7.2.1 生态修复材料包括但不限于：植物生态修复材料、调理剂（化学调理剂、有机质调理剂、矿物质）、微生物生态修复材料。

7.2.2 生态修复材料宜根据土壤、地表水的污染状况，选择不同组合的生态修复材料：

——针对锰渣污染土壤，宜优先选用植物组合材料（包括植物生态修复材料、调理剂与植物生态修复材料、植物与微生物联合生态修复材料），减少生态恢复施工措施；对于植物生长困难的土壤，可选用调理剂、微生物生态修复材料及其组合材料，调理土壤至适宜生态恢复。

——针对锰渣污染地表水，宜选用植物生态修复材料、微生物生态修复材料及其组合材料（包括微生物生态修复材料、有机质调理剂与微生物联合生态修复材料、矿物质联合微生物生态修复材料）。

7.2.3 植物生态修复材料的选择宜符合以下规定：

a) 综合考虑气候条件（温度、降水量、光照等）、土壤理化性质（pH、有机质含量、盐分含量等）、地表水营养状况（pH、营养源），筛选能够适应锰渣污染土壤或水体特性、对锰等污染物具有吸收、积累或转化能力的植物，并评估其适宜性和生态兼容性。

b) 评估不同植物的修复效率，选择修复效率高的植物种类。

c) 宜选择成活率高、耐污能力强、根系发达、茎叶茂密、输氧能力强、水质净化效果好的湿生植物，如美人蕉、水葱、灯芯草、再力花、水芹、黄菖蒲、水沙草等。

7.2.4 调理剂生态修复材料的选择宜符合以下规定：

a) 宜选择能够改善土壤结构和提高生物活性的调理剂，综合考虑对土壤通气性、保水性、肥力、微生物活性、植物营养源、污染物固定的调理。

b) 确保所使用的调理剂对环境安全，不会引起二次污染。

7.2.4 微生物生态修复材料的选择宜符合以下规定：

a) 宜选育具有调控土壤 pH、有机质等肥力指标或调控水体营养状况且对水体污染物具有去除能力的微生物，兼顾微生物对土壤或水体 pH 值、温度、湿度等环境因素的适应性。

b) 微生物菌株的生物安全评估需满足 HJ/T 415 的要求，对人类健康和自然环境无负面影响。

## 7.3 生态修复工艺设计

### 7.3.1 生态修复材料的工艺设计

#### 7.3.1.1 植物生态修复材料的工艺设计应考虑以下因素：

- a) 评估土壤肥力，必要时进行土壤改良或表层覆土，以提高土壤的营养供应能力。
- b) 宜考虑植物的生长周期和生长速度，以确定生态修复的时间框架。
- c) 宜考虑植物的后期维护和管理，包括灌溉、施肥、病虫害防治等。
- d) 评估植物修复过程中可能产生的环境风险，如锰通过食物链传递的风险。
- e) 必要时可考虑采用技术措施（土壤耕翻、水肥管理、种子包衣技术等）提高植物修复效率。

#### 7.3.1.2 调理剂生态修复材料的工艺设计应考虑以下因素：

- a) 重点考虑调理剂对土壤 pH 值的影响，保证适应植物的生态恢复。
- b) 评估调理剂长期使用对土壤生态系统的影响，确保修复效果的持续性。
- c) 确定调理剂的最佳施用方法和剂量，以达到最佳的修复效果。制定土壤修复过程中的监测计划，根据监测结果及时调整调理剂的使用策略。

#### 7.3.1.3 微生物生态修复材料的工艺设计应考虑以下因素：

- a) 微生物生态修复材料的工艺设计宜满足 HG/T 20719 的规定。
- b) 宜考虑土壤或水体性质是否满足微生物生长需要，非必要不添加营养物质，以避免二次污染。

### 7.3.2 土壤的生态修复工艺设计

7.3.2.1 宜根据土壤的理化性质和应根据生态本底值情况，选择合适的土壤调理剂，确定生态修复材料的施加顺序和施用方法，常用施加顺序为：调理剂、微生物、植物。

7.3.2.2 当多种生态修复材料联合使用时，综合考虑组合材料对土壤 pH、Eh、有机质、微生物种群结构、污染物等参数的交互作用，调整最佳工艺参数。

7.3.2.3 宜制定合理的灌溉周期和施肥计划，管理水分和养分，确保植物和微生物的健康生长；宜设计必要的工程措施（如排水沟、微地形调整和植被固定设施等）以支持生态修复过程。

7.3.2.4 宜制定施工技术规范文件，确保生态修复工程的质量和效果。

### 7.3.3 水体的生态修复工艺设计

7.3.3.1 施工前应详细查阅当地的水文地质相关资料，结合具体情况确定生态修复材料的施加顺序。

7.3.3.2 当多种修复材料联合使用时，应充分考虑不同材料之间产生的影响，根据室内试验结果与实际情况调整确定最佳工艺参数。

7.3.3.3 应根据岸坡稳定、生长环境和自然景观要求等因素进行水体生态修复的植物配置。

7.3.3.4 应优先选用本区域水体中的土著型微生物群落，避免破坏原有生态平衡。

7.3.3.5 水体的 pH 宜控制在 6.5~8.5。

## 7.4 生态修复施工过程

### 7.4.1 土壤的生态修复施工过程

7.4.1.1 土壤调理剂的施用方法包括但不限于：撒施、穴施、基肥和追肥。

7.4.1.2 微生物生态修复材料的筛选、驯化、培养、接种宜根据 6.4.1.1 执行，必要时可与 6.4.1.1 同步执行。

7.4.1.3 植物生态修复材料的种植需按照一定的密度和排列方式，种植选址应考虑植物的生长需求（阳光、水分等）。

7.4.1.4 定期对植物生态修复材料进行养护管理，包括但不限于：浇水、施肥和防治病虫害。

#### 7.4.2 水体的生态修复施工过程

7.4.2.1 水体中微生物生态修复材料的施加可依据 6.4.1.1 和 6.4.1.2 执行，必要时可与 6.4.2.1 和 6.4.1.2 同步执行。

7.4.2.2 水体中的植物生态修复材料可通过多种方式种植，包括但不限于：直接插秧、抛秧、使用营养钵等。在水深较浅的区域，可以采用人工直接种植；在水深较深的区域，可乘坐船只利用工具进行种植。

7.4.2.3 定期对植物生态修复材料进行养护管理，包括但不限于：监测植物生长状况、补充种植缺失的植物等。

### 8 监测与评估

8.1 锰渣污染地块修复过程监测与评估宜满足 HJ 25.2、HJ 25.5、HJ1272 的规定。

8.2 环境监测指标包括但不限于：锰等主要污染物（如氨氮）、生态系统恢复相关指标。土壤污染物的指标可以浸出毒性、赋存形态量化制定，水体主要污染物的指标可参照 GB3838 标准。生态系统恢复可通过调查和分析物种组成、种群数量、生物栖息地等指标，反映生态修复前后生态系统结构的修复情况。如有必要，可另外通过观察和测量生态系统中能量、物质和信息的流动和循环过程，评估生态修复对生态系统功能的影响。

8.3 采用微生物修复的情况，宜建立系统的环境监测计划，定期监测系统的微生物活性和修复进展。

8.4 针对锰渣地区污染物成分复杂或水文地质条件复杂的地块，重点观测各污染物的浓度变化。

8.5 建立锰渣污染地块的污水处理系统，对锰渣地块修复施工过程中产生的废水进行集中处理，确保废水中的有害物质达到排放标准后再排放。

8.6 针对原位阻控与生态修复效果，在易发生二次污染的环节建立应急响应机制与处理措施，以保证生态环境修复的质量与效果。

8.7 宜建立锰矿区污染土壤梯度环境管理台账，按照规定公开环境污染治理的相关信息。

8.8 通过对修复效果监测结果的分析，评估污染物水平现状，与预先设置的参数指标比较。未达要求的，应采用局部重点加强的方式继续开展修复，直至全部地块达到预先设置要求。