
ICS 13.030.10

CCS Z71

团 体 标 准

T/CSER-014-2023

金属矿山固体废物堆场污染控制工程技术导则

Technical Guide for Pollution Control Engineering of Metal Mine Solid Waste

Storage Yard

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中关村众信土壤修复产业技术创新联盟发布

目 录

前 言..... II
引 言..... III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 总体原则 3
5 废石场/酸性废石场污染控制工程技术 4
6 尾矿库污染控制工程技术 9
7 堆浸场污染控制工程技术 13
8 监测要求 15

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。

本文件由矿冶科技集团有限公司提出。

本文件由中关村众信土壤修复产业技术创新联盟（土盟）归口。

本文件起草单位：矿冶科技集团有限公司、北京高能时代环境技术股份有限公司、天津中联格林科技发展有限公司、山西大地民基生态环境股份有限公司、芷兰生态环境建设有限公司、深圳市五大湖新概念环保科技有限公司、优土禾盛（北京）科技有限公司、中国水电基础局有限公司、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、上海宝发环技术有限公司、中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司、四川正升环保科技有限公司。

本文件主要起草人：杨越晴、王琼、潘瀚林、吴欣雨、霍成立、罗彬、郭智、谢世平、张健、何顺辉、王继宇、刘捷、郭劲君、祁有祥、向华浩、王志强、刘锦、叶贤升、林泽宇、王健、王清晏、邓华、杨振甲、孙亮、王玉晶、邢绍文、高梦雯、李云、刘胜、张燕春、刘珍宏、傅芝兰。

引 言

我国金属矿山产生的各类固体废物是重金属排放的主要途径之一。为规范废石场、尾矿库、堆浸场等金属矿山固体废物堆场的污染控制措施，指导不同类型金属矿山固体废物堆场污染控制工程设计、施工、验收等工作，促进行业同类矿区固体废弃物堆场污染控制工程建设标准化，编制本标准。

金属矿山固体废物堆场污染控制工程技术导则

1 范围

本文件规定了金属矿山固体废物堆场分类、废石场/尾矿库/堆浸场污染控制与工程设计等技术要求。适用于金属矿山采选过程形成的废石场、尾矿库、堆浸场等固体废物堆场污染防治工程，不适用于放射性金属矿固体废物堆场。

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 18599-2020 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》

GB 51411-2020 《金属矿山土地复垦工程设计标准》

GB/T51404-2019 《有色金属堆浸场浸出液收集系统技术标准》

HJ 651-2013 《矿山生态环境保护与恢复治理技术规范》

HJ652-2013 《矿山生态环境保护与恢复治理方案（规划）编制规范（试行）》

HJ 740-2015 《尾矿库环境风险评估技术导则（试行）》

HJ1282-2023 《污染土壤修复工程技术规范 固化稳定化》

3 术语和定义

3.1 金属矿山 metal mine

黑色金属、有色金属、稀有及分散金属、贵金属等矿山的统称。（原文引用需要注明来源，注明引用有修改）

3.2 金属矿山固体废物堆场 metal mine solid waste landfills

在金属矿山采矿、选矿过程中产生的废石、尾矿等固体废物堆积而成的场地，一般分为废石场、尾矿库、堆浸场等。

3.3 废石场 waste rock landfills

指矿山采矿排弃物集中排放的场所，又称排土场、排岩场或弃渣场。

3.4 酸性废石场 acid waste rock landfills

由含硫化物矿床采出的含硫化物的排弃物堆积场地，由于硫化物在自然堆积状态下发生氧化反应，遇降雨或水淋滤会产生酸性水（ $\text{pH}<4$ ）的废石场。

3.5 尾矿库 tailing pond

指筑坝拦截谷口或围地构成的，用以堆存金属矿石选别后排出尾矿废物或其他工业废渣的场所。

3.6 堆浸场 heap leaching landfills

采用堆浸工艺选矿的金属矿山，堆浸生产后尾矿堆积的场所。

3.7 天然基础层 native foundation

位于防渗衬层下部，未经扰动的岩土层。

[来源：GB 18599-2020，3.12]

3.8 人工防渗衬层 artificial impermeable liner

人工构筑的防止渗滤液进入土壤及地下水的隔水层。

[来源：GB 18599-2020，3.13]

3.9 单人工复合衬层 single composite liner

由一层人工合成材料衬层和黏土类衬层构成的防渗衬层。

[来源：GB 18599-2020，3.14]

3.10 隔离层 isolation layer

固体废物堆场表面阻截酸性物质和污染物溶出的结构层。

3.11 覆盖阻隔技术 cover barrier technology

在污染区域顶部覆盖隔离层，将污染区域四周及顶部与周围隔离的阻隔技术。

3.12 垂直阻隔技术 vertical barrier technology

阻隔层采用竖向布置形式，阻断污染物向周边环境迁移扩散的阻隔技术。

3.13 水平阻隔技术 horizontal barrier technology

阻隔层布设于地下，采用水平敷设布置形式，阻断污染物向周边环境迁移扩散的阻隔技术。

3.14 矿山生态修复 mine ecological restoration

指对矿产资源勘探和采选过程中的各类生态破坏和环境污染，采取人工构建、促进或恢复措施，结合生态系统的自然恢复能力，逐步恢复和重建其生态功能。

4 总体原则

4.1坚持“预防为主、防治结合、过程控制”的原则，将污染控制贯穿在堆场选址、实施堆存、污染控制、生态修复的全过程中，达到与周边自然景观相协调，努力实现土地可持续利用。

4.2污染控制工程技术方案应具备技术可行性和经济性。

4.3污染控制工程实施过程中不得产生二次污染，且其防止污染措施应长期可持续地作用。

4.4实施阻隔工程应遵循科学设计、安全稳定、保护生态的原则。

4.5对潜在重金属污染堆场及周边土壤进行生态修复时，所选重建植被品种不得引起食物链污染，优先选取乡土品种，不得引入外来入侵植物物种。宜林则林，宜草则草，宜荒则荒，以水定绿，生态修复应有利于地区生态环境改善。

4.6污染控制工程的实施不得产生次生地质环境灾害，应包含有效防止水土流失的措施，有符合设计规范的截排洪水设施，满足洪水设计标准。

4.7工作流程

金属矿山固体废物堆场污染控制工程实施一般包括基础调查与问题识别、方案制定、方案实施、监测与管护、成效评估五个阶段，工作流程详见图1。

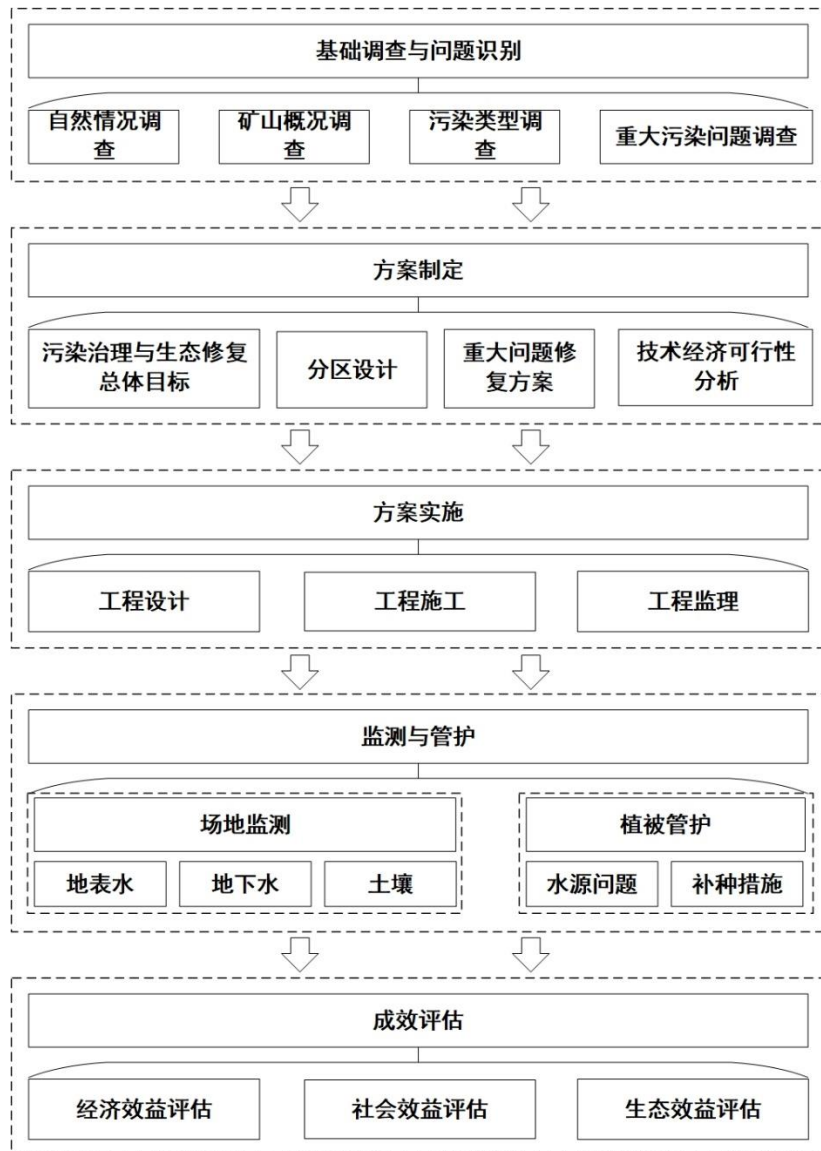


图1 金属矿山固体废物堆场污染控制工程实施流程图

5 废石场/酸性废石场污染控制工程技术

5.1 抑氧控酸措施

5.1.1 抑氧控酸材料选择与施加

5.1.1.1 根据废石样品的 pH、酸中和能力（Acid neutralizing capacity, ABA）和净产酸量（Net acid generation, NAG）测定结果，判断废石的氧化产酸状态与产酸潜力，应优先选择具有缓释放性能的抑氧控酸材料。

5.1.1.2 宜选取矿山符合要求的工业废料、废渣、弃泥等，或选择具备酸中和能力的

天然矿物材料、具备钝化性能的化学材料、具备抑氧控酸功能的微生物材料等，取用材料不得引入二次污染。

5.1.1.3 材料的施加应采取因地制宜的方法，依据现场情况与材料性质选取人工施加、机械施加等方式，实施深度小于 5m 时一般采用搅拌混合或表面覆盖的方式，实施深度大于 5m 时采用原位药剂注入的方式。

5.1.1.4 依据施加抑氧控酸材料后的控酸作用效果，决定 5.2.2 覆盖阻隔材料是否选用兼具抑氧控酸功能的覆盖阻隔材料。

5.1.2 控酸效率的跟踪监测

5.1.2.1 抑氧控酸材料施加后，合理跟踪监测材料作用的控酸效果，直至实施效果达到工程要求并实现控酸作用稳定。

5.1.2.2 根据矿物种类，合理选取 pH、氧化还原电位、电导率、硫酸根离子浓度、总铁离子浓度、以及其他实施修复区域的典型重金属离子浓度等指标跟踪评价材料控酸效率。

5.2 重金属污染防治措施

5.2.1 构建固化/稳定化层

5.2.1.1 固化/稳定化层材料的选择。宜选用天然材料、矿区废弃物、化学药剂、微生物菌剂等重金属固化/稳定化功能材料作为堆场重金属固化/稳定化层核心，有效抑制堆场重金属溶出与迁移转化。

5.2.1.2 固化胶凝材料主要包括：水泥、粉煤灰、高炉渣、钢渣、石灰等；稳定化药剂主要包括：以氧化钙、氢氧化钙和氧化镁等为主的碱性材料，以零价铁、铁盐、铁氧化物为主的含铁材料，以磷酸盐、骨碳、磷矿石和羟基磷灰石等为主的含磷材料，以氧化铝和氧化锰为主的氧化物，以黏土、沸石、活性炭、生物炭等为主的吸附剂。

5.2.1.3 原位固化/稳定化处理施工工艺。原位固化/稳定化工艺的药剂通过原位螺旋搅拌、转筒搅拌和高压注入等方式加入固废堆场中，不涉及污染场地开挖，工序包括场地清理、药剂配置、搅拌/注入和养护等。宜根据修复深度选择合适的原位固化/稳定化施工设备，对于小于 5m 的浅层污染场地，宜采用挖掘机、旋耕机和转筒搅拌等设备组合应用，药剂应呈浆状或粉末状，将之与土壤混合，混合搅拌与药剂添加同步进行。对

于大于 5m 的深层污染，原位固化/稳定化一般采用高压注入和螺旋搅拌方式把药剂与地层中污染土壤混合，深层搅拌大多采用液体或浆状药剂进行注入。

5.2.1.4 异位固化/稳定化处理施工工艺。异位固化/稳定化适用于固化/稳定化质量控制要求高的地块，或污染区域需要开发利用或施工的地块，用于浅层（≤5m）污染土壤的处理。异位固化/稳定化工艺包括场地挖掘、转运和暂存、预处理、搅拌混合、养护和处置利用等工序。金属矿山固体废物堆场体量大，一般选取原位处理施工工艺进行重金属固化稳定化处理。

5.2.1.5 固化/稳定化处理后的养护。在完成污染土壤的固化/稳定化处理后，应进行恰当时长的养护处理，以确保最佳实施效果。

固化处理后，在 8 小时内，可采用机械夯实、振动压实等方法压实表层；然后将块体用油毡、薄膜、草席等覆盖，保持表面潮湿，养护时间一般不少于 14 天，具体根据胶凝材料和环境湿度确定，并达到规定的强度要求；当昼夜平均气温小于 5℃或最低气温小于-3℃，可采用蒸汽等养护方式。

稳定化处理后，保持水分养护，养护时间一般为 7 天，确保药剂有足够时间与污染物接触和反应。

5.2.2 覆盖阻隔

5.2.2.1 金属矿山固体废物堆场覆盖阻隔指在堆场区域顶部覆盖隔离层，有效防止氧气和水进入堆场、将污染区域四周及顶部与周围隔离的阻隔技术。

5.2.2.2 覆盖阻隔材料优先选择矿山自有底泥、尾砂、不同粒径废石等固体废弃物，根据覆盖阻隔原理与设计不同，也可选择天然矿物材料及其加工物（包括土工织物、膨润土防水毯）等。

5.2.2.3 覆盖阻隔技术选型宜参考 CJJ 113、GB18598、GB 18599、GB 16889、GB 50869、GB/T 50934 和 GB51220 相关技术规定要求。根据阻隔材料渗透系数和厚度，计算得到的污染物运移击穿阻隔屏障所需要的时间。

5.2.3 垂直阻隔

5.2.3.1 垂直阻隔技术包括土-膨润土隔离墙、水泥-膨润土隔离墙、高密度聚乙烯（HDPE）土工膜隔离墙、水泥帷幕灌（注）浆墙、高压喷射灌浆墙、水泥搅拌桩墙、膨

润土防水毯（GCL）复合垂直防渗屏障、可渗透反应墙等。

5.2.3.2 应根据现场勘察结果进行垂直阻隔工程的可行性和适用性分析，考虑因素主要包括与地块潜在污染物的化学相容性、地块中隔水层特性（如是否存在不透水层、不透水层的位置深度、渗透性、连续性和硬度）及拟建垂直阻隔工程的结构及尺寸、造价、工期等，选取适宜堆场实际情况的垂直阻隔技术。

5.2.3.3 垂直阻隔尺寸。阻隔屏障厚度设计主要考虑防污有效性、水力梯度和施工机械尺寸等因素。垂直阻隔屏障应嵌入渗透系数不大于 10^{-6}cm/s 的隔水层中，嵌入深度不小于 2m 且保证阻隔结构连续嵌入隔水层。当隔水层埋深过大而采用悬挂式阻隔时，应通过污染物渗流-扩散分析确定阻隔屏障临界嵌入深度，即污染物从阻隔屏障顶部位置竖向运移到达底部所需时间等于污染物水平扩散击穿浅部阻隔屏障时间时所对应的深度。选用实施可渗透反应墙垂直阻隔时，根据地下水污染羽大小和工程成本核算结果，分别选用隔水漏斗导水门式 PRB 或连续墙式 PRB。

5.2.3.4 垂直阻隔上下游水头控制。污染地块阻隔工程应控制上下游水头差以减小地下水的渗流量、控制通过阻隔屏障的污染物浓度和量，确保将污染物有效控制在阻隔屏障之内。

5.2.3.5 垂直阻隔服役寿命。当污染物运移使阻隔屏障外侧达到国家土壤或地下水质量评价标准规定的浓度阈值时，即认为阻隔屏障被污染物击穿。阻隔工程的服役寿命即为污染物运移击穿阻隔屏障所需的时间，应大于地块特征污染物的稳定化时间。可通过降低阻隔材料渗透系数、增大阻隔材料阻滞因子、采取渗流调控措施控制水头差等措施提高阻隔工程服役寿命。选用实施可渗透反应墙垂直阻隔时，应合理选择方便更换、周期较长、成本低廉的填料。

5.2.4 水平阻隔

5.2.4.1 水平阻隔技术包括混凝土水平阻隔、黏土水平阻隔、柔性水平阻隔技术等。

5.2.4.2 水平阻隔技术选材主要有混凝土、天然矿物材料及人工合成材料等。

5.2.4.3 水平阻隔技术选型、初步设计宜参考 CJJ 113、GB18598、GB 18599、GB 16889、GB 50869、GB/T 50934 和 GB51220 相关技术规定要求。根据阻隔材料渗透系数和厚度，计算得到的污染物运移击穿阻隔屏障所需要的时间。

5.3 废石场/酸性废石场生态修复与再利用

5.3.1 废石场/酸性废石场生态修复总体要求

5.3.1.1 生态修复基质层构建。采取去除、固化等方法降低基质层中潜在重金属污染物，宜选取农林固体废弃物、有机肥料、无机肥料、保水剂、菌剂、天然矿物材料作为基质层原料，依据堆场污染情况适当调节原料配比，形成稳定适宜的植被生长基质层。

5.3.1.2 生态修复植被构建。边坡选择护坡作用为主的适生灌、草品种，顶部平台选择适生乔、灌、草均衡配置的植被方式，优先选取耐酸、耐贫瘠、耐重金属的乡土品种。播种方式可混合喷播、撒播、条播、点播，也可喷播草本植物后适当移栽灌木与乔木。

5.3.1.3 植被层监测。播种后，跟踪观察边坡、顶部平台植被，各品种发芽率、生长势、覆盖度等生长指标，发芽率不低于 85%，覆盖度不低于 80%。

5.3.1.4 植被层抚育和管护。废石场实施生态修复工程后，建设植被养护系统，雨水充足地区，抚育管护期一般 1-2 年，干旱/半干旱地区，养护时间根据气候条件适当延长；工程实施后，对出苗不全、覆盖度低的品种，及时采取补种等补救措施；工程实施次年，根据植被返青情况再次补种。

5.3.1.5 酸性废石场周边修建截排水沟系统。

5.3.2 废石场/酸性废石场再利用

5.3.2.1 废石场/酸性废石场用于农地

- 1) 废石场基质中污染物含量符合相应农用地土壤环境质量标准；
- 2) 土层沉实后厚度在 500mm 以上，土源丰富时，可增加覆土厚度；
- 3) 场地平整，旱地坡度在 5°以下；
- 4) 覆土土壤层 pH 一般在 5.5-8.5，含盐量不大于 0.3%；
- 5) 截排水设施满足洪水设计标准；
- 6) 种植作物宜选择耐旱、耐酸类型。

5.3.2.2 废石场/酸性废石场复垦用于林地

- 1) 废石场基质中无潜在污染物，无有毒有害重金属；
- 2) 土层沉实后厚度在 500mm 以上，土源丰富时，覆土厚度在 1000-2000mm 之间；
- 3) 场地平整，旱地坡度在 5°以下；

-
- 4) 覆土土壤层 pH 一般在 5.5-8.5, 含盐量不大于 0.3%;
 - 5) 截排水设施满足洪水设计标准;
 - 6) 种植树种宜选择耐旱、耐酸类型;
 - 7) 不应种植通过果实等可食用部分引起食物链污染的树种;
 - 8) 宜选择种植经济树种或固土树种。

5.3.2.3 废石场/酸性废石场复垦用于牧业场地

- 1) 废石场基质中无潜在污染物, 无有毒有害重金属;
- 2) 土层沉实后厚度在 500mm 以上;
- 3) 覆土土壤层 pH 一般在 5.5-8.5, 含盐量不大于 0.3%;
- 4) 截排水设施满足洪水设计标准;
- 5) 种植牧草宜选择耐旱、耐贫、耐酸、覆盖度高种类;
- 6) 覆土后种植牧草不得引起食物链污染。

5.3.2.4 废石场地其他利用

- 1) 条件允许时, 复垦后的废石场顶部平台可用于仓库、货场等工业用地;
- 2) 经过论证, 也可用于蓝/排球场、旱冰场等文娱、体育用地。

5.3.3 废石场边坡利用

5.3.3.1 废石场边坡应复垦为护坡为主的灌、草地;

5.3.3.2 种植牧草宜选择耐旱、耐贫、覆盖度高、生物量大的品种;

5.3.3.3 废石场边坡不得复垦为农、林等其他用地。

6 尾矿库污染控制工程技术

6.1 尾矿库风险评估

尾矿库运营、管理单位在环境监测等活动中发现尾矿库周边土壤和地下水存在污染物渗漏或者含量升高等污染迹象的, 应当及时查明原因, 采取措施及时阻止污染物泄漏, 并按照国家有关规定开展环境调查与风险评估, 从尾矿库的环境危害性 (H)、周边环境敏感性 (S)、控制机制可靠性 (R) 三方面进行评分, 采用环境风险等级划分模型, 将重点环境监管尾矿库环境风险划分为重大、较大、一般三个等级, 并按规则进行环境风

险等级表征。根据调查与风险评估结果，提出环境风险防控和环境安全隐患排查治理对策、建议，采取风险管控或者治理修复等措施。

6.2 尾矿库污染控制

6.2.1 尾砂改良及覆土措施

6.2.1.1 依据尾矿堆积设计生产时序堆填尾矿，当按计划上升至阶段标高后，形成新的后期坝体，提供阶段复垦时机。

6.2.1.2 针对边坡，按生产时序产生的阶段后期坝体，及时对后期坝体外坡实施覆盖土层，形成种植基质，达到沉实后土层不低于 300mm；伴随后期坝体升高，形成各级后期坝坡，逐级形成后，依次实施复垦工程。

6.2.1.3 针对沉积滩，按生产时序尾矿库顶部形成大面积沉积滩，及时对其表面实施覆盖土层；富含潜在重金属等永久污染污染物的尾矿沉积滩，覆土前设置厚度不低于 150mm 碎石等材料隔离层，然后再覆土，形成种植基质，实施复垦工程；尾矿库顶部沉积滩覆土厚度，沉实后土层不低于 500mm。

6.2.1.4 针对无土覆盖的尾矿库，宜对边坡和沉积滩进行基质改良，添加适宜植物品种需要的肥料，促熟化材料等，达到尾矿砂基质适宜植物生长条件，也可实施绿肥熟化土壤。

6.2.2 阻隔防渗工程

新建、改建、扩建尾矿库的，应当根据国家有关规定和尾矿库实际情况，配套建设防渗、渗滤液收集、废水处理、环境监测、环境应急等污染防治设施。实施闭库的尾矿库，应根据闭库验收要求实施阻隔防渗工程，具体工程技术选取见 5.2。

6.2.3 尾矿库抑尘工程

6.2.3.1 抑尘剂选取原则

尾矿库运营、管理单位在实施生态修复前，应对沉积滩表面和边坡进行抑尘处理，防止扬尘污染，美化环境。宜选用无二次污染、环境友好的聚合物、表面活性剂、粘合剂、纤维材料、天然矿物材料等制备抑尘剂，提高尾矿库沉积滩表层抗风蚀、抗水蚀、抗冻融性能。

6.2.3.2 抑尘剂性能要求

抑尘剂技术指标应符合表 1 规定。

表 1 抑尘剂技术指标

项目	指标	试验方法
黏度 (25℃) (mPa·s)	>3	GB/T 10247
pH 值	6~8	GB/T 14518
固形物 (%)	≥1	GB/T 2793
总汞 (mg/L)	≤0.05	GB/T 7468
总镉 (mg/L)	≤0.1	GB/T 7475
总铅 (mg/L)	≤1.0	GB/T 7475
总铬 (mg/L)	≤1.5	GB/T 7466
总砷 (mg/L)	≤0.5	GB/T 7485
甲醛 (mg/L)	≤5	GB/T 13197
风蚀率 (%)	<1	按 6.2.3.3 中方法测定
固化层厚度 mm	>10	按 6.2.3.3 中方法测定

6.2.3.3 抑尘效果的评定

1) 风蚀率的测定

取适量尾砂样品，置于烘箱中 50℃条件下烘 300min，去除水分。将样品置于三个相同的托盘中，样品层表面与托盘平齐，分别进行称重，尾砂质量计为 W_1 。将三个托盘中按比例分别喷洒抑尘剂，在烘箱中 50℃条件下烘 120min，放入风洞中，风速 30m/s 条件下吹蚀 5min，然后分别称重，剩余尾砂质量 W_2 。按下列公式计算风蚀率：

$$E = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

式中：

E——样品风蚀率；

W_1 ——吹蚀前尾砂质量；

W_2 ——吹蚀后尾砂质量。

得到 3 个样品的风蚀率分别为 E_1 、 E_2 、 E_3 ，取其平均值。

2) 抑尘剂固化层厚度测定

在抑尘剂形成的固化层取 5 处点位，用刻度尺测其厚度，取平均值。

6.2.4 水土流失防治

6.2.4.1 有土覆盖的尾矿库，应建设相应的水保工程措施，边坡和沉积滩植被区水土

流失总治理度达到生产类项目水土流失防治标准中生产运行期一级标准>90%；或生产运行期一级标准土壤流失控制比 1.5。

6.2.4.2 无土覆盖的尾矿库，应建设相应的水保工程措施，边坡植被区水土流失量应小于 10%；沉积滩植被区水土流失总治理度达到生产类项目水土流防治标准中生产运行期二级标准>85%；或生产运行期二级标准土壤流失控制比 2.0。

6.3 尾矿库生态修复与再利用

6.3.1 尾矿库生态修复总体要求

6.3.1.1 植物品种选择：应通过盆栽、现场小区试验筛选适生品种，优先选择耐贫瘠、耐干旱、耐污染、适应本土环境的物种，后期坝坡宜选择种植灌木、草类，不应种植乔木。

6.3.1.2 植被层监测与养护：跟踪观察边坡植被，各品种发芽率、生长势、覆盖度等生长指标，发芽率不低于 85%，覆盖度不低于 80%；跟踪观察沉积滩植被，各品种发芽率、生长势、覆盖度等生长指标，发芽率不低于 85%，覆盖度不低于 75%；边坡、沉积滩植被实施全程抚育和管护，根据环境条件可后延抚育管护期，对出苗不全、覆盖度低的品种，及时采取补种等补救措施。

6.3.1.3 尾矿库应建设满足设计洪水标准的截排水设施。

6.3.2 尾矿库再利用

6.3.2.1 沉积滩复垦用于农地

- 1) 尾矿基质中污染物含量符合相应农用地土壤环境质量标准；
- 2) 土层沉实后厚度在 500mm 以上，土源丰富时，覆土应在 1000 mm 以上；
- 3) 场地平整，旱地坡度在 5°以下；
- 4) 用作水田时，保水良好，坡度不超过 2°-3°；
- 5) 覆土土壤层 pH 一般在 5.5-8.5，含盐量不大于 0.3%；
- 6) 截排水设施满足洪水设计标准；
- 7) 用作旱田时，种植作物选择宜耐旱、耐贫类型。

6.3.2.2 沉积滩复垦用于林地

- 1) 尾矿中无潜在污染物，无有毒有害重金属；

-
- 2) 土层沉实后厚度在 500mm 以上, 土源丰富时, 覆土应在 1000-2000mm;
 - 3) 场地平整, 旱地坡度在 5°以下;
 - 4) 覆土土壤层 pH 一般在 5.5-8.5, 含盐量不大于 0.3%;
 - 5) 截排水设施满足洪水设计标准;
 - 6) 种植树种宜选择耐旱、耐贫类型;
 - 7) 不得种植通过果实等可食用部分引起食物链污染的树种;
 - 8) 应选择种植经济树种, 或固沙树种。

6.3.2.3 沉积滩复垦用于牧业场地

- 1) 尾矿中无潜在污染物, 无有毒有害重金属;
- 2) 土层沉实后厚度在 500mm 以上, 土源丰富时, 可增加覆土厚度;
- 3) 场地平整, 旱地坡度在 5°以下;
- 4) 覆土土壤层 pH 一般在 5.5-8.5, 含盐量不大于 0.3%;
- 5) 截排水设施满足洪水设计标准;
- 6) 种植牧草宜选择耐旱、耐贫、覆盖度高类型。

7 堆浸场污染控制工程技术

7.1 堆浸场污染控制

7.1.1 堆浸场污染防渗系统的选择与设计

7.1.1.1 堆浸场防渗系统的选择

1) 防渗系统结构应根据场地条件、上载负荷、堆浸矿石性质、浸出液性质及水压等综合确定。

2) 新建堆浸场防渗系统应选择水平防渗系统。

3) 已建有色金属堆浸场改扩建, 经论证后可采用垂直防渗系统, 垂直防渗系统设计同 5.2.3。

4) 堆浸场应根据水文地质条件设置膜下地下水收集导排系统。当经论证认定对地下水不会造成危害时, 可不设地下水收集导排系统。

7.1.1.2 堆浸场防渗系统的设计

1) 堆浸场场底及库区内周边应形成防渗屏障;

- 2) 防渗材料应适应堆载后地基的变形；
- 3) 防渗材料的抗化学腐蚀、抗老化能力应与堆进场使用年限相适应；
- 4) 应设置基础层和隔离保护层。

7.1.2 堆浸场的防渗结构

7.1.2.1 天然黏土防渗结构

1) 天然黏土防渗结构层从上至下依次应为浸出液收集导排系统、隔离保护层、天然黏土防渗层、地下水收集导排系统和基础层；

2) 天然黏土防渗层之上应设置隔离保护层，隔离保护层应采用土工复合排水网或土工席垫。

7.1.2.2 单层人工材料防渗结构

1) 单层人工材料防渗结构层从上至下依次应为：浸出液收集导排系统、隔离保护层、高密度聚乙烯（HDPE）土工膜、隔离保护层、地下水收集导排系统、基础层；

2) 材料选用条件：高密度聚乙烯（HDPE）土工膜上宜采用土工复合排水网作为隔离保护层；高密度聚乙烯（HDPE）土工膜的厚度不应小于 2.0mm；隔离保护层当采用土工布时，规格不宜小于 600g/m²，也可采用土工复合排水网。

7.1.2.3 复合人工防渗结构

1) 复合人工材料防渗结构层从上至下依次应为浸出液收集导排系统、隔离保护层、高密度聚乙烯（HDPE）土工膜、压实土层（或钠基膨润土防水毯）、隔离保护层、地下水收集导排系统、基础层；

2) 材料选用条件：高密度聚乙烯（HDPE）土工膜上宜采用土工复合排水网或土工席垫作为保护层；高密度聚乙烯（HDPE）土工膜的厚度不应小于 2.0mm；压实土保护层，厚度不得小于 0.75m，压实土层的渗透系数不大于 5×10^{-5} cm/s；钠基膨润土防水毯渗透系数不得大于 5×10^{-9} cm/s，规格不得低于 4800g/m²。

7.1.2.4 双层人工材料防渗结构

1) 双层人工材料防渗结构层从上至下依次应为浸出液收集导排系统、隔离保护层、高密度聚乙烯（HDPE）土工膜（主防渗层）、渗漏检测层、高密度聚乙烯（HDPE）土工膜（次防渗层）、压实土层、隔离保护层、地下水收集导排系统、基础层；

2) 材料选用条件：主防渗层高密度聚乙烯（HDPE）土工膜厚度不应小于 2.0mm，次防渗层高密度聚乙烯（HDPE）土工膜厚度不应小于 1.5mm；主防渗层高密度聚乙烯（HDPE）土工膜上宜采用土工复合排水网作为保护层；次防渗层高密度聚乙烯（HDPE）土工膜下宜采用压实土作为保护层，压实土的厚度不宜小于 0.5m，当现场无满足要求的土料时，也可采用钠基膨润土防水毯+压实砂砾土作为保护层；主防渗层和次防渗层之间应设置渗漏检测层，宜采用土工复合排水网。

7.1.2.5 垂直防渗墙结构

1) 当采用 HDPE 膜-泥浆墙时，宜采用高密度聚乙烯（HDPE）膜，厚度不应小于 3.0mm；当采用垂直防渗墙时，渗透系数应小于 $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ，厚度不应小于 80cm；

2) 垂直防渗墙应深入相对隔水层不少于 2.0m；

3) 垂直防渗墙应置于阻断地下水流向的出口处；

4) 宜在垂直防渗墙内侧设置抽水井，应确保垂直防渗墙前的水位低于墙后的稳定地下水水位。

7.2 堆浸场生态修复

7.2.1 土壤改良

7.2.1.1 堆浸场宜采用建立挡土墙的方法对边坡进行固定；

7.2.1.2 对于土壤有机质严重流失、硫化严重、污染严重的堆浸场，宜采用客土、覆土法对土壤进行修复，覆土厚度不应小于 30cm；

7.2.1.3 对于土壤污染严重的堆浸场，宜采用物理法、化学法进行土壤修复。物理法可采用粉煤灰、水泥等单一或复合材料作为固化剂，对土壤污染物进行固化；化学法可采用石灰、磷灰石、钙镁磷肥、石灰石粉、羟基磷灰石、重金属螯合剂、表面活性剂等化学改良剂等进行土壤改良。

7.2.2 生态修复措施

同 5.3.1 节。

8 监测要求

8.1 地表水

金属矿山固体废物堆场污染控制工程验收，应对堆场产生的淋滤水进行取样监测，

按规定方法进行 pH、特征重金属污染物浓度分析，水质达到《地表水环境质量标准（GB3838-2002）》中地表Ⅲ类水标准即可通过验收，具体指标限值如下：

表 2 淋滤水 pH 及特征重金属污染物限值 单位 mg/L

序号	项目	标准值
1	pH 值(无量纳)	6~9
2	铜 \leq	1.0
3	锌 \leq	1.0
4	硒 \leq	0.01
5	砷 \leq	0.05
6	汞 \leq	0.0001
7	镉 \leq	0.005
8	铬（六价） \leq	0.05
9	铅 \leq	0.05

8.2 地下水

金属矿山固体废物堆场污染控制工程验收，应对堆场周边的地下水进行取样监测，按规定方法进行 pH、特征重金属污染物浓度分析，水质达到《地下水质量标准（GBT14848-2017）》中地下水Ⅲ类水标准即可通过验收，具体指标限值如下：

表 3 地下水 pH 及特征重金属污染物限值 单位 mg/L

序号	项目	标准值
1	pH	6.5~8.5
2	铁 \leq	0.3
3	锰 \leq	0.10
4	铜 \leq	1.00
5	锌 \leq	1.00
6	钼 \leq	0.20
7	汞 \leq	0.001

序号	项目	标准值
8	砷 \leq	0.01
9	硒 \leq	0.01
10	镉 \leq	0.005
11	铬（六价） \leq	0.05
12	铅 \leq	0.01

8.3 土壤

金属矿山固体废物堆场污染控制工程验收，应对堆场周边的土壤进行取样监测，按规定方法进行特征重金属污染物浓度分析，重金属含量达到《建设用地土壤污染风险管控标准（GB36600-2018）》中第二类用地管制值标准即可通过验收，具体指标限值如下：

表 4 土壤特征重金属污染物限值 单位 mg/kg

序号	项目	标准值
1	砷 \leq	140
2	镉 \leq	172
3	铬（六价） \leq	78
4	铜 \leq	36000
5	铅 \leq	2500
6	汞 \leq	82
7	镍 \leq	2000
8	锑 \leq	360
9	铍 \leq	290
10	钴 \leq	350
11	甲基汞 \leq	120
12	钒 \leq	1500