

ICS
CCS

团体标准

T/CNIA XXXX-2021

有色金属冶炼场地修复过程 污染综合防控技术指南

Guideline on Technology for synthesize prevention and control in
Contaminated Sites Remediating of Nonferrous Metals Smelting Industry

（征求意见稿）

2021-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中国有色金属工业协会
中国有色金属学会

发布

目 录

前言.....	III
引言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语及定义.....	1
4 场地类别及修复过程污染产生.....	3
4.1 有色金属冶炼场地类型.....	3
4.2 典型修复工艺过程污染产生.....	4
5 修复过程污染防控.....	8
5.1 土壤预处理过程污染预防.....	8
5.2 稳定化过程污染预防.....	8
5.3 淋洗分离修复过程污染预防.....	9
5.4 场地阻隔过程污染预防.....	10
6 污染治理可行技术.....	12
6.1 粉尘污染治理技术.....	12
6.2 废气和恶臭治理技术.....	12
6.3 修复过程废水处理技术.....	13
6.4 场地污染阻隔与监控技术.....	14
6.5 固体废物处置.....	14
6.5 噪声控制.....	15
7 修复过程污染监测和综合管控.....	16
7.1 污染监测.....	16
7.2 修复过程管理.....	16
7.3 修复过程应急措施.....	16
附录A.....	17
附录B.....	19
附录C.....	21
C.1 覆盖阻隔技术.....	21
C.2 垂直阻隔墙技术.....	22
C.3 防污染扩散监控技术.....	22

C. 4 全阻隔防扩散技术	22
附录D.....	23

前言

为贯彻执行《中华人民共和国土壤污染防治法》，防治土壤环境污染，完善有色金属冶炼污染场地稳定化等修复过程污染防控技术体系，打好净土保卫战，制定本指南。

本文件按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第I部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件以有色金属冶炼污染场地土壤修复过程的次生污染风险防控，主要对目前应用广泛的原位或异位稳定化和淋洗分离、阻隔等修复过程产生的粉尘、废气、异味（恶臭）、废水、固体废物、噪声污染防控技术实践进行总结并形成技术指南，作为有色金属冶炼场地治理修复污染综合防控的指导性文件。

本文件不包含热脱附、水泥窑协同处置和玻璃化处置利用等过程的污染防控相关内容。

本文件的部分内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由有色金属工业协会提出并归口。

本文件起草单位：中国瑞林工程技术股份有限公司，矿冶科技集团有限公司、永清环保股份有限公司等。

参加起草：等。

引言

有色金属冶炼场地以酸碱和重金属污染为主要特征，目前国外同类污染地块以化学稳定化、淋洗方法修复为主，国内以稳定化、隔离封闭修复为主。因此，原位或异位稳定化和淋洗分离修复及污染扩散阻隔技术是有色金属冶炼污染场地的常用修复技术。

本文件针对有色金属冶炼场地原位或异位稳定化、淋洗和污染扩散阻隔等过程产生的粉尘、废气、异味（恶臭）、废水、固体废物、噪声污染的防控技术，包括修复中的污染预防、治理、监测。

场地修复过程，包括进场、施工、退场。

污染预防，从工艺、设备和药剂的合理选择、使用，减少污染物产生和排放。

污染治理，是解决修复过程次生污染物对环境产生新的污染。

有色金属冶炼场地修复过程 污染综合防控技术指南

1 范围

本文件适用于有色金属冶炼污染场地的原位或异位土壤稳定化、淋洗修复过程的污染综合防控，包括典型修复过程污染产排特征、修复过程污染预防措施、治理技术、污染监测和环境管理要求等。

本文件不适用于有色金属冶炼场地污染修复过程辐射污染综合预防和控制，也不适用于热脱附等其他协同技术修复过程的污染综合防控。

2 规范性引用文件

本文件引用了下列文件中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本文件。

- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 5085.1~7 危险废物鉴别标准
- GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）
- GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- GB 18598 危险废物填埋污染控制标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- GB 34330 固体废物鉴别标准 通则
- GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
- GB/T 14848 地下水质量标准
- 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 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则
- 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 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则
- HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境
- HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

3 术语和定义

3.1

有色金属冶炼场地 sites of Nonferrous Metals Smelting Industry

除黑色金属、黄金、放射性金属以外的所有金属，从矿物提炼为金属的生产场地，包括

原料、产品和废物堆放场地。

3.2

原位修复 in-situ remediation

不移动受污染的土壤和地下水，直接在场地发生污染的位置内对土壤和地下水中污染物进行治理、修复的模式。

3.3

异位修复 ex-situ remediation

将受污染的土壤或地下水从场地发生污染的原来位置挖掘或抽提转移到场所或装置内对其中的污染物进行治理，同时对原场地按修复目标进行环境重建的模式。

3.4

修复过程污染综合防控 synthesize prevention and control in Remediation

在场地修复过程中对包括废气、粉尘、废水、固体废物、噪声等次生污染的预防和控制，包括防污染扩散阻隔措施。

3.5

修复模式 remediation strategy

对地块进行修复的总体思路，包括原位修复、异位修复、污染阻隔和管控等，又称修复方式。

3.6

稳定化 stabilization

通过添加稳定剂，将土壤中的有毒有害物质转化成化学性质不活泼的形态，阻止其在环境中的迁移、扩散等过程，从而降低污染物毒害程度的修复技术。

3.7

淋洗分离 washing elution

用清水对污染土壤进行洗涤，将附着在土壤颗粒表面的有机和无机污染物转移至水溶液中，从而达到洗涤和清洁污染土壤的目的。

3.8

阻隔技术 diaphragming engineering technology

采用阻隔、堵截、覆盖等工程措施，控制污染物迁移或阻断污染物暴露途径，使污染介质与周围环境隔离，避免污染物与人体接触和随降水或地下水迁移进而对人体和周围环境造成危害，降低和消除地块污染物对人体健康和环境的风险的技术。

3.9

土壤预处理 soil pretreatment

采用破碎、筛分、脱水等方法，作为土壤稳定化、淋洗修复的预先处理措施。

4 场地类别及修复过程污染产生

4.1 有色金属冶炼场地类型

4.1.1 有色金属冶炼场地类型宜按照金属类别划分，主要划分类别可参见附录A。污染特征和程度一般应依据场地调查和风险评估报告确定。

4.1.2 应根据审批的场地修复方案所确定的修复目标和污染控制要求选择修复技术，可参考附录B。

4.1.3 场地修复过程中污染产生节点

4.1.3.1 场地异位修复过程的污染节点

场地异位修复过程中的污染风险参见表1。

表1 场地异位修复过程污染产生节点

序号	修复工序		产排节点	主要污染物
1	进场	三通一平	场地平整、道路施工	扬尘、噪声、固体废物
2		材料、设备进场	场区道路、卸料处	扬尘、噪声
3		临建设施施工、设备安装	施工点	扬尘、噪声、固体废物
4	污染土开挖及转运	开挖、堆放	基坑、预处理区或卸料处	扬尘、噪声、废水
5		转运	装车、运输途中、预处理区或卸料处	扬尘、固体废物、噪声
6	污染土预处理	破碎	预处理区	粉尘、噪声、废气
7		筛分	预处理区	粉尘、噪声、废气
8		含水率、pH调节	预处理区	粉尘、废水
9	污染土稳定化（异位）	药剂现场制备	存药处、加料口、搅拌机	粉尘
10		施洒药剂或投料	施药处、加料口	粉尘
11		搅拌	料口、机身	粉尘、噪声、废水、废气
12		出料	出料口	粉尘、噪声
13		养护及回填	养护反应和待检堆体、场地	粉尘、废水、噪声
14	污染土淋洗	进料	进料口	粉尘、噪声、废气
15		淋洗反应分离	洗涤器端口	粉尘、淋洗废水
16		压滤、脱水	压滤机出水口	压滤废水、污泥
17		干化场	导排口	废水
18	退场与维护	临建设施、设备拆除	拆除点	扬尘、噪声、固体废物
19		设备、材料等运输出场	装车处、场区道路	扬尘、噪声
20		监测、整理	修复地块	扬尘、噪声、废水、固体废物

4.1.3.2 场地原位修复过程污染产生节点

场地原位修复过程中的污染产生节点参见表2。

表2 场地原位修复过程污染产生节点

序号	修复工序		产排节点	主要污染物
1	进场	三通一平	场地平整、道路施工	扬尘、噪声、固体废物
2		材料、设备进场	场区道路、卸料处	扬尘、噪声
3		临建设施施工、设备安装	施工点	扬尘、噪声、固体废物
4	污染土稳定化（原位）	引孔、调试	钻孔点位	扬尘、噪声、泥浆
5		药剂制备	存药处、加料口、搅拌机	挥发性酸性气体、有机气体，粉尘、清洗污水、噪声
6		旋喷作业	钻杆、喷嘴、加料口	挥发性酸性气体、有机气体、粉尘、雨污水、噪声
7	阻隔及管控	表面覆盖阻隔层	作业区	粉尘、挥发性气体、边角料、杂物
8		垂直阻隔墙修筑	开挖、墙体施工处	粉尘、废水（地下水）、泥浆
9		场地隔离室修筑	建筑物修筑	粉尘、挥发性气体、废水、固体废物
10		上游、下游及侧面地下水管控	场地及周边地下水监测井	含污染物废水
11	退场、维护	临建设施、设备拆除	拆除点	扬尘、噪声、固体废物
12		设备、材料等运出场	装车处、场区道路	扬尘、噪声
13		监测、整理	修复地块	扬尘、噪声、废水、固体废物

4.2 典型修复工艺过程污染产生

场地修复过程包括场地平整、土壤预处理、药剂投加和反应、污染监测等。

4.2.1 修复过程场地清理

场地污染土壤和附着物清理过程产生粉尘、气体。

4.2.2 场地原位修复

4.2.2.1 原位稳定化

原位稳定化典型工艺流程及污染节点可参考图1。

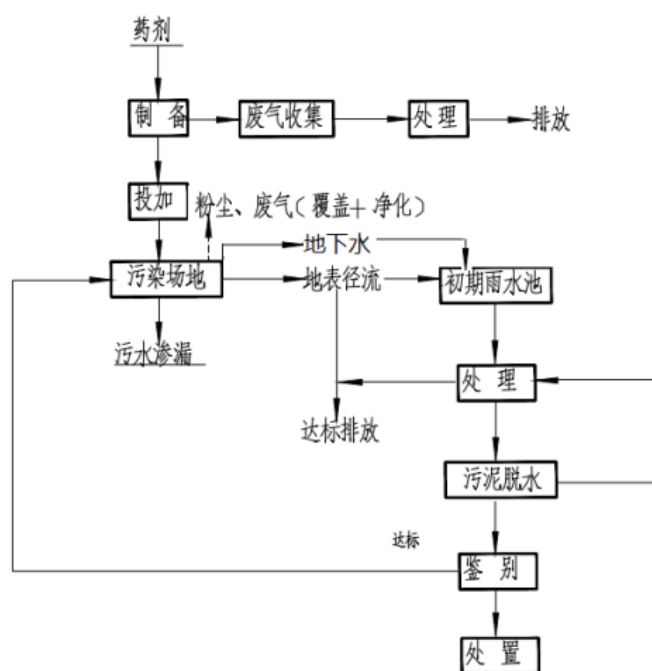


图1 原位稳定化产排污控制节点

4.2.2.2 淋洗修复

原位淋洗修复典型工艺流程及污染节点可参考图2。

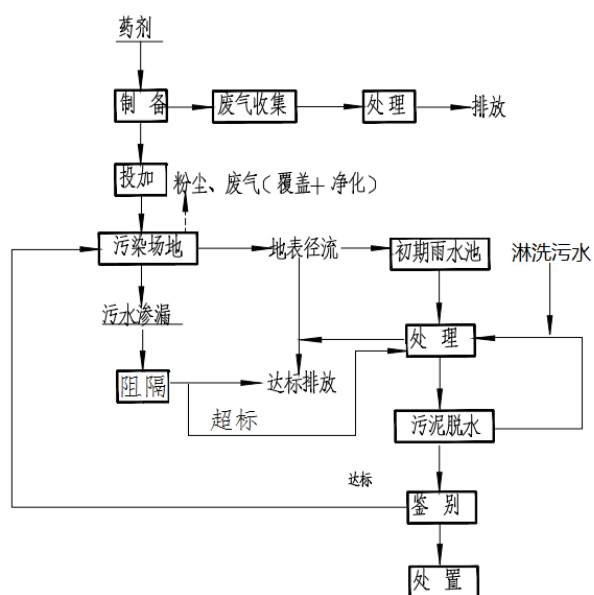


图2 原位淋洗分离排污控制节点

4.2.2.3 阻隔及植被修复

阻隔及植被修复典型工艺流程及污染节点可参考图3。

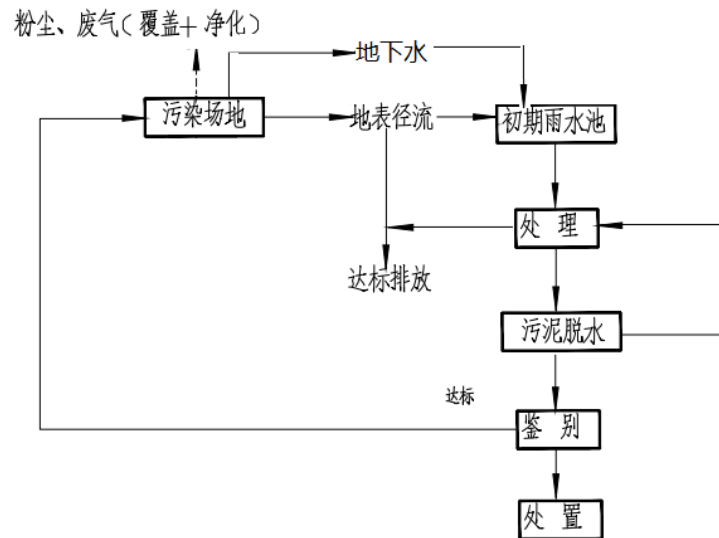


图3 阻隔和管控修复、地下水修复排污控制节点图

4.2.3 异位修复

4.2.3.1 土壤预处理

典型工艺流程及污染节点可参考图4。

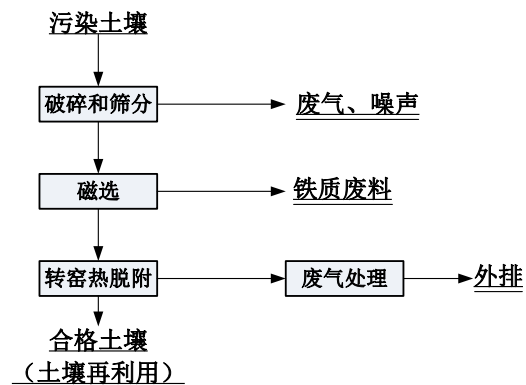


图4 土壤预处理典型工艺流程及污染节点

4.2.3.2 稳定化修复

典型土壤稳定化修复工艺流程及污染节点可参考图5。

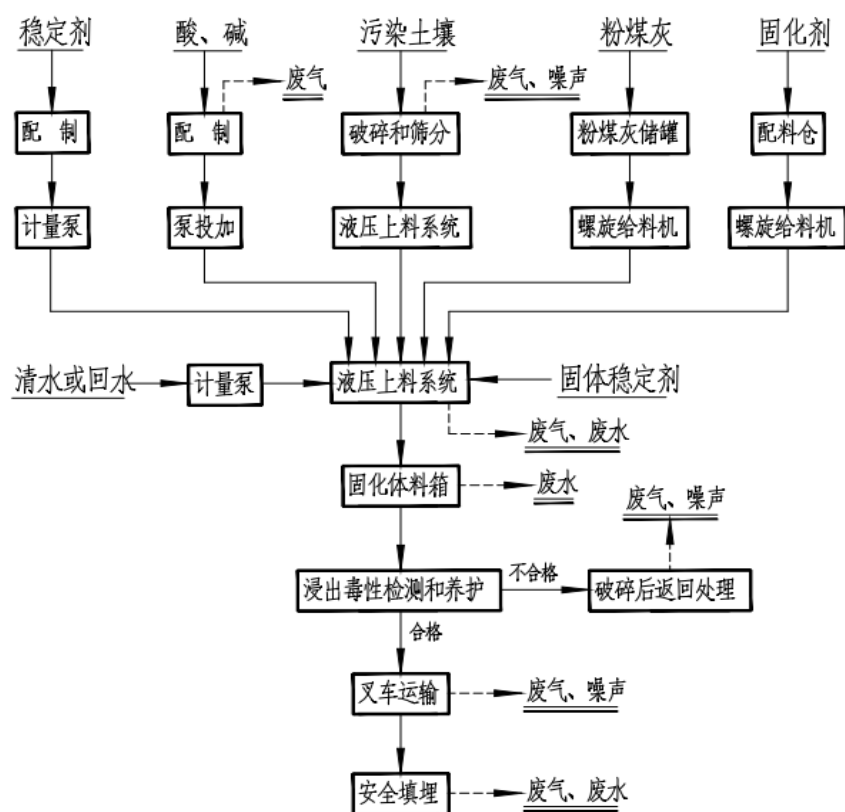


图5 异位稳定化产排污控制节点图

4.2.3.3 淋洗修复

异位修复淋洗分离排污控制节点可参考图6。

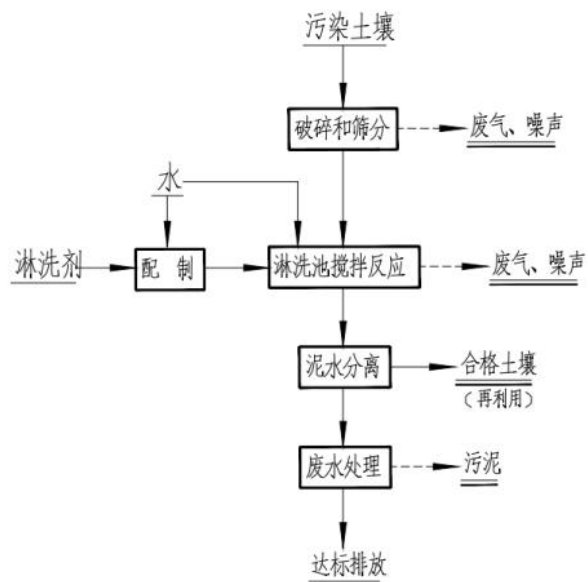


图6 异位淋洗分离修复过程排污控制节点

5 修复过程污染防控

5.1 进场及修复准备过程污染预防

5.1.1 三通一平、材料及设备进场等过程应采取下列污染控制措施：

- a) 进场挖机和运输车辆应保养状况良好，排气和噪声达标；
- b) 场地平整、道路施工前对场地、运输道路进行洒水，减少场地扬尘；
- c) 材料、设备进场规范堆放，采取防风、防雨、防渗漏措施。

5.1.2 临建设施施工、设备安装产生的粉尘应采取喷雾洒水降尘；固体废物分类收集利用、处置；废水应收集处理达标；采取措施控制施工噪声排放。

5.2 污染土壤开挖、转运及预处理过程污染预防

5.2.1 污染土壤开挖、装卸、运输、堆存等过程应采取下列污染控制措施：

- a) 挖机和运输车辆应保养状况良好，排气和噪声达标；
- b) 开挖前对土壤、运输道路进行洒水，开挖时在作业面需喷雾；
- c) 车辆、机械离场应清洗；
- d) 车辆运输途中应加盖篷布，防治扬尘及渣土散落；
- e) 基坑、堆场应设置防雨、截/排水设施，并采取水土保持措施。

5.2.2 污染土壤破碎、筛分、输送等过程，应采取以下控制措施：

- a) 稳定化破碎粒度不宜大于30mm，其破碎、筛分宜一体化组合密闭，减少粉尘产生及噪声排放；装料设备和吸风机的噪声应符合相关产品标准；
- b) 作业场地应采取防雨措施；
- c) 设备和场地清洗废水应收集处理。

表4 污染土壤预处理过程污染预防控制

序号	修复工艺技术 及工序	产排节点	主要污染物	预防措施
1	开挖、堆放	卸料处	颗粒物（扬尘）、噪声	喷雾、洒水；场地清扫、水土保持；设备排气消声、控制作业时间
2	破碎	进、出料口	颗粒物（粉尘）、噪声	密闭、吸风除尘；喷雾；设备减振、隔声
3	筛分	进、出料口	颗粒物（粉尘）、噪声	密闭、吸风除尘；喷雾；设备减振、隔声
4	转运	卸料处	颗粒物（扬尘）、噪声	喷雾、洒水；设备排气消声、控制作业时间

5.3 稳定化过程污染预防

5.3.1 稳定化修复工艺过程原位稳定化修复过程包括注入稳定剂、化学反应与养护和检验等工序；异位稳定化包括投加物料、搅拌反应、出料养护、检验等工序，污染预防应符合以下要求：

- a) 土壤稳定化质量控制标准应执行修复用地类别相关质量要求。
- b) 稳定化处理宜经过养护过程。

5.3.2 试剂制备过程宜采取下列污染控制措施：

- a) 容器、设备宜密闭，产生的气体（酸雾、异味、恶臭）应收集净化；
- b) 清洗废水应收集处理。

5.3.3 稳定化反应过程污染预防

药剂投加反应过程挥发性有害气体、气溶胶、颗粒及稳定化后土壤堆放过程释放挥发性有害气体应收集、净化。

表5 场地土壤稳定化处理过程污染预防控制

序号	修复工艺技术 及工序	产排节点	主要污染物	预防措施
1	施药药剂或投料	施药处、加料口	挥发性酸性气体、有机气体，粉尘	遮挡、吸风净化
2	搅拌反应	料口、机身	粉尘、气体、噪声、振动、清洗废水	吸风净化；阻尼；减振；废水收集利用
3	出料养护	转运处	粉尘、噪声	喷雾、洒水、清扫；采用低噪声设备、加强维护
4	药剂制备	存药处、加料口、搅拌机	挥发性酸性气体、有机气体，粉尘	密闭罩、遮挡、吸风净化
5	养护堆场	堆体	粉尘、渗滤液	防风、防雨、防渗三方措施；渗滤液收集回用；堆体周边设排水沟

5.4 淋洗分离修复过程污染预防

5.4.1 淋洗分离修复工艺过程宜包括开沟或挖坑、实施阻隔设施、施药、抽取淋洗液处理回用、土壤及地下水监测；异位土壤淋洗工艺宜包括土壤装注和布设喷淋系统、淋洗反应、淋洗液处理与循环、土壤和地下水取样监测、异位修复土壤建库堆存及密闭运送等工序，污染预防宜满足下列要求：

- a) 淋洗质量控制标准应执行修复用地类别相关质量要求。
- b) 淋洗分离宜配备淋洗液收集处理和循环利用。

5.4.2 淋洗过程污染控制宜按照下列要求预防：

- a) 现场淋洗应配置淋洗液收集和处理系统。
- b) 淋洗过程宜密闭或防雨淋溶，释放的挥发性有害气体应收集处理。
- c) 淋洗过程采用的药剂不能产生二次污染。
- d) 异地淋洗土壤应配置脱水设施。
- e) 装料设备和吸风机应采取低噪声或隔声、隔振等噪声和振动防治措施。

5.4.3 脱水、干燥、脱附过程污染控制应符合下列要求：

- a) 土壤脱水、干燥、脱附过程释放气体、粉尘应收集处理。

- b) 设备应配置消除或隔离噪声的措施。
- c) 土壤堆放过程释放挥发性有害气体应收集处理。
- d) 设备清洗废水应收集处理。

5.4.4 地面清洗水和场地初期雨水等应收集处理。

表6 场地土壤淋洗过程污染预防控制

序号	修复工艺及工序	产排节点	主要污染物	预防措施
1	实施淋洗装置：包括原位开沟、槽、坑，布设喷淋装置；异位装淋洗床（柱）	场地内或淋洗装置喷淋处	挥发性酸性气体、有机气体，颗粒粉尘	遮挡、吸风净化
2	淋洗反应分离	场地内或淋洗装置	挥发性酸性气体、有机气体；淋洗液	遮挡、吸风净化；淋洗液收集处理回用
3	土壤和地下水监测	场地内、分析室	挥发性酸性气体、有机气体；化验废水	吸风净化；化验废水收集与淋洗液一并处理回用

5.5 污染阻隔过程污染预防

5.5.1 阻隔修复过程包括：场地周边挖槽浇注或帷幕注浆建立垂直防渗墙、表面覆盖防水层和植被恢复或地面硬化、场地内靠下游侧和侧面打井抽水、土壤和地下水取样监测，污染预防控制应符合下列要求：

- a) 场地阻隔过程控制标准应执行修复方案确定的修复用地类别土壤和地下水环境质量要求。
- b) 宜配备场地地下水抽取处理设施。

5.5.2 施工过程中污水、场地内超标的地下水、初期雨水应收集处理，污水处理药剂配制气体宜收集净化。

5.5.3 覆盖过程的粉尘应采用洒水净化。

5.5.4 植被修复过程应采取水土保持措施，防止肥料施用过量或流失污染。

5.5.5 施工机械、抽水泵应选用噪声达标的产品。

表7 场地阻隔和管控过程污染风险预防控制

序号	修复工艺技术	产排节点	主要污染物	预防措施
1	表面覆盖阻隔层	作业区	粉尘、挥发性气体、边角料	喷雾、洒水、边角料等固体废物送集中处置
2	垂直阻隔墙修筑	开挖、墙体施工	粉尘、污水、泥浆	喷雾、洒水；污水收集处理；泥浆等送集中处置
3	场地隔离室修筑	建筑物修筑	粉尘、挥发性气体、污水、建筑垃圾	喷雾、洒水，吸风净化；污水收集处理；建筑垃圾等送集中处置
4	上游、下游及侧面地下水管控	场地及周边地下水监测井	含污染物地下水	监测超标时抽提处理

5.6 退场污染预防

5.6.1 临建设施、设备拆除等过程应采取下列污染控制措施：

- a) 临建设施、设备拆除应设置临时围挡，并禁止在大风天气拆除施工；

b) 建筑垃圾运至环保部门指定地点堆存。

5.6.2 设备、材料等运出场过程应采取下列污染控制措施：

a) 材料装运前进行洒水，减少扬尘；

b) 车辆、机械离场应清洗；

c) 设备、材料运输途中应加盖篷布，防止扬尘及物料散落。

5.6.3 退场后维护过程应采取下列污染控制措施：

a) 喷雾降尘；

b) 局部修复工程措施应围挡施工，材料和液体应防止泄漏，维护完成后应把杂物有效清理。

6 污染治理可行技术

6.1 粉尘污染治理技术

6.1.1 袋式除尘技术

含尘气体宜采用袋式除尘技术净化。应针对不同工段与不同废气性质选择不同的滤料，一般通风除尘系统宜选用涤纶针刺毡。

该技术除尘效率为 99.80%~99.99%，颗粒物排放浓度可控制在 30mg/m³以下，运行费用主要源于滤袋更换和引风机电耗。

表5 布袋除尘器性能

种类	效率 %	有效去除颗粒 直径 μ m	单位气体需水 量 L/m ³	适应浓度 mg/m ³	影响因素		工作温度 ℃
					压力损失 Pa	流速 m/s	
布袋除尘器	95~99	0.4/0.25	0	50000	1200~1800	0.5~0.8	100~250

6.1.1.2洒水降尘

为防止污染物在挖掘、装载、运输等施工过程中的扬尘污染，应喷（洒）水抑尘。污染严重时可采用强雾化水汽喷射装置进行快速降尘处理。

6.2 废气和恶臭治理技术

6.2.1 修复过程恶臭治理技术

6.2.1.1 化学洗涤除臭技术

化学洗涤除臭设备一般为立式填料塔，化学吸收液从塔顶往下喷淋，废气向上流，臭气与吸收液充分接触、反应而被去除。

主要工艺参数：吸收液与废气流量比例（液/气比）一般为1~3L/m³，填料高度一般为2~5m，气流空塔流速一般为0.5~1.5m/s。操作良好的填充塔，除臭效果可达到90%以上。

常用的化学吸收剂包括以下几种：

（1）碱性溶液：常用含有1~30%氢氧化钠的溶液，对消除硫化氢、甲硫醇、硫化甲基、二硫化甲基、低级脂肪酸等效果较佳。

（2）酸性溶液：酸液洗涤主要用于消除由氨、三甲胺等碱性气体所致臭味，一般多用硫酸（0.5%~5%溶液）为洗涤液。

（3）次氯酸钠溶液：一般与酸碱性吸收液一起使用，处理高浓度臭气时，溶液浓度（有效氯浓度）约为500~2000ppm；而处理较低浓度臭气时，溶液浓度可50~500ppm。

6.2.1.2 植物液除臭法技术

主要有植物液喷淋除臭技术、植物液洗涤除臭技术和植物液汽化除臭技术。

将配制的植物除臭液通过雾化喷嘴喷洒在臭气源的上方，液滴直径≤40μ m，与臭气分子接触反应，去除臭气。使用参数：原液稀释约30倍后直接喷洒在臭源物上或作业地面上，用量参考：1kg

原液可处理约200m³臭源气体。

6.2.1.3 活性炭吸附除臭技术

利用活性炭等多孔固体吸附剂将废气中的一种或多种污染物积聚或凝结在吸附剂的表面而达到分离的过程。

活性炭吸附塔气流速度宜为0.2~0.4m/s，主要技术参数如表6。

表6 活性炭吸附塔主要技术参数表

项目	比表面积 (m ² /g)	平均孔径 (Å)	微孔容积 (mL/g)	松密度 (g/cm ³)	厚度 (mm)	阻力 Pa	碘吸附量 (mg/g)
参数	1100~1500	17~26	0.25~0.7	100~450	250~1000	800~2000	900~1300

6.3 修复过程废水处理技术

6.3.1 酸性含重金属废水治理宜采用下列技术：

- a) 含重金属的废水（包括初期雨水）应分类收集、考虑有价金属回收，并优先考虑回用。
- b) 含重金属的废水处理一方面要进行酸碱中和，另一方面要将废水中的有机物去除掉，然后再将含重金属浓度高的废液进行蒸发处理。具体处理技术如下：

（1）酸碱中和及 fenton 氧化：利用废酸碱互相调节 pH 值至 2~3，加入双氧水与硫酸亚铁进行 fenton 氧化、絮凝去除污染物。

（2）絮凝沉淀：利用废碱液将氧化后废液的 pH 值回调至 8~9，然后投加重金属捕捉剂 DTCR、絮凝剂 PAC 及助凝剂 PAM 进行絮凝沉淀反应，进一步去除重金属及悬浮物等。

处理污泥压滤：将絮凝沉淀后的混合物输送入压滤机进行压滤，压滤液返回废水收集池再处理，压滤污泥经过鉴别后按照相关标准进一步处置。

表 7 废水物化处理效果

单位：%

项目	COD _{cr}	BOD ₅	SS	总镉	六价铬	总锌	总铅
去除率	80	85	70~80	95	95	90	90

6.3.2 有机及含油废水治理宜采用下列技术：

土壤修复过程产生的或含油废水单独收集先隔油再与有机废水经废水调节池提升泵提升送物化反应处理装置，加入所需药剂经过多级反应完成后与生活污水一并进入综合调节池，采用物理、化学预处理去除无机杂质、垃圾等，调整pH值满足生物处理要求后，进入膜生物法即MBR系统、出水消毒处理，去除COD、氨氮等污染物。

6.3.3 超低排放控制条件的深度处理技术

超低排放时深度处理一般增加采用活性炭吸附过滤处理，也可以采用反渗透（RO）系统进行处理，浓缩液送前端预处理系统。

表 10 生化处理效果（污染物去除率%）

项目	COD _{cr}	BOD ₅	SS	总镉	六价铬	总砷	总铅
----	-------------------	------------------	----	----	-----	----	----

单元								
MBR系统及消毒	去除率	90	95	90	20	20	20	20
曝气生物滤池	去除率	80	85	50	10	10	10	10
活性炭吸附	去除率	30	30	50	90	90	90	90

6.4 场地污染阻隔与监控技术

6.4.1 场地污染扩散阻隔技术

场地污染阻隔技术包括：场地覆盖阻隔、地下水下游设置垂直阻隔，并在地下水截获墙内侧采用自动抽水井控制内侧水位，可利用水力条件防止污染物扩散，并监测控制污染物，一旦发现超标，抽入废水处理系统。污染场地修复地下水阻隔、截控技术可参见附录B。主要设施包括但不限于：

- a) 在现场设置垂直防渗墙（如塑性混凝土墙、土-膨润土墙、垂直铺膜防渗墙等）。
- b) 上部水平覆盖防渗系统。
- c) 配合自动抽水井、取样监测仪及超标处理系统。

6.4.2 地下水垂直阻隔宜根据阻隔的地下水性质，针对性采用不同的垂直阻隔，于污染地块地下水上游补给区可采取水泥土搅拌防渗墙、喷射灌浆防渗墙等一般防渗性能的阻隔墙断开补给路径；于地下水出口应高性能防渗墙阻隔，可采用土-膨润土+HDPE膜复合防渗墙、塑性混凝土防渗墙、土-膨润土防渗墙、水泥-膨润土防渗墙、土-水泥-膨润土防渗墙等进行严密阻隔，实现截流。

土—膨润土+HDPE膜复合防渗墙宜采用HDPE膜防渗墙作为主要防渗体，同时考虑到HDPE膜需开槽（约60cm宽）及回填，设计在HDPE膜外侧回填土-膨润土泥浆墙，形成复合防渗墙。

土—膨润土+HDPE膜复合防渗墙主要控制技术指标宜为：总厚度<3m，深度<40m，渗透系数 $<1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 。

6.4.3 地下水监控技术

在复合防渗墙内侧设置多点式自动抽水井，控制场地内侧的地下水位，在线监测pH值、电导率、特征污染物等。土—膨润土+HDPE膜复合防渗墙与自动抽水井形成一套完整的系统，控制场内地下水位低于外侧，阻隔污染物扩散。在复合防渗墙内侧水位低于外侧水位2.0m。

6.5 固体废物处置

6.5.1 地块内余土、废渣、附着物和场地修复过程产生的弃渣、污泥、废液等，应按照GB5085和GB34330的要求进行性质鉴别，根据其性质分别按照相关法规和标准规定，进行管理和处置。

6.5.2 危险废物应密闭包装，悬挂标牌并标注主要成分、数量、性质符号，执行GB18597、GB18598、GB18484等相关要求，可利用或委托有相应资质的单位处置。

6.5.3 固体废物应集中存放并配备防飞扬、防流失措施；场地需要防渗漏。

固体废物填埋场污染控制及地下水污染监控技术，应分别执行GB18598或GB18599和HJ25.2的相关要求。

6.4.4 生活垃圾单独收集，由当地环卫机构统一收运和处置。

6.5 噪声控制

噪声污染主要从声源、传播途径和受体防护三个方面进行防治。宜选用低噪声设备，采用消声、隔振、减振等措施从声源上控制噪声；也可采用隔声、吸声、绿化等措施在传播途径上降噪，以及加强个体防护措施。

7 修复过程污染监测和综合管控

7.1 污染监测

7.1.1 场地内的土壤、空气、地表径流和地下水应按照修复方案布置取样监测点，按照相关规范进行污染物的监测，形成开工前、修复中和修复后完整的记录，建立监测台账。

7.1.2 应检测污染物残留或新污染物产生是否符合修复方案确定的目标。

7.1.3 修复场地空气质量监测宜在上风向、场地中心、下风向边界、最近敏感目标处布置监测点，一般不少于一次，每次不少于3天。

7.1.4 修复场地地下水宜在边界上游、侧面、下游设置监测井。

7.1.5 场地土壤和生物宜按照修复方案确定。

7.1.6 场地环境噪声可仅在修复过程中进行等效声压级监测，一般在场区和最近保护目标处监测。

7.2 修复过程管理

7.2.1 修复过程排放的污染物必须达到规定的排放标准和相关要求，对修复设施进行定期维护并更换相关材料；被替换的材料应按照其鉴别性质进行集中有效处置。

7.2.2 对于修复过程富集污染物的植物、淋洗水溶液、修复后泥渣、土壤，应进行利用，或有效处理。

7.2.3 修复场地地下水监测井需要检查其结构完好，定期抽水更新水质防止集聚污染。

7.2.4 进出现场的人员和车辆需要进行严格管理，防止污染土壤被带出场外。

7.3 修复过程应急措施

7.3.1 采用原位或异位修复时，所采取防止事故泄漏污染的应急措施应符合环境风险评估和控制的要求。

7.3.2 修复过程应实施下列风险防控措施：

a) 对修复区危险废物、废弃化学品等应先采取防护和隔离措施，防止清理、处置时泄漏。

b) 实施修复的场地应设置围栏、围挡，以及液体药剂事故泄漏收集和回收处理设施。

c) 应对堆放、装运、破碎、搅拌、淋洗、脱水等过程散发的粉尘、重金属、恶臭场所设置空气有害物检测、通风机、吸风罩，配备净化设施、淋洗和个体防护装备。

d) 对工艺控制仪表、机械、电气设备进行定期安全检测、维护，操作人员应经过培训后持证上岗。污染场地修复实施过程中，对现场操作人员宜采取适当的保护措施，配备便携式有毒气体检测仪，操作前先佩戴防护面具和穿戴防护服。

7.3.3 土壤修复效果评估应执行HJ 25.5的相关规定，场地地下水修复评估应执行HJ 25.6相关规定，满足项目环境影响报告及其批文的相关要求。

附录A

(资料性)

有色金属冶炼污染场地分类

表A.1 列出了有色金属冶炼污染场地及其污染特征分类。

表A.1 有色金属冶炼污染场地及其污染特征分类

类别	金属冶炼类别	主要污染区域	主要污染物
有色金属 轻金属	氧化铝	碱浸分离场地，赤泥库及相关区域	pH
	电解铝	氟化盐使用场地、碳素生产场地	氟化物、石油类、苯并芘
	镁钛冶炼	原料和冶炼生产场地	pH、铬（六价）
重有色金属	铜冶炼	原料堆场、熔炼车间、吹炼车间、渣选矿车间、精炼车间、电解车间、制酸车间、综合回收车间、废水处理站、酸罐区、烟囱区、废水收集池、渣堆场	pH、铜、铅、镉、砷、汞、镍
	铅冶炼	原料堆场、熔炼车间、还原车间、烟化车间、火法精炼车间、电解车间、制酸车间、综合回收车间、废水处理站、酸罐区、烟囱区、废水收集池、渣堆场	pH、铅、砷、镉、汞、铊、铜、锑
	锌冶炼	湿法工艺：原料堆场、焙烧车间、浸出车间、净化车间、电解车间、制酸车间、综合回收车间、渣处理车间、废水处理站、酸罐区、烟囱区、废水收集池、渣堆场；火法工艺：原料堆场、焙烧车间、电炉车间、竖罐车间、精炼车间、制酸车间、综合回收车间、渣处理车间、废水处理站、酸罐区、烟囱区、废水收集池、渣堆场	pH、铅、镉、铜、砷、汞、铊、镍、钴
	镍冶炼	原料堆场、熔炼车间、吹炼车间、渣处理车间、浸出车间、净化车间、电解车间、制酸车间、综合回收车间、废水处理站、酸罐区、烟囱区、废水收集池、渣堆场	pH、镍、铜、铅、镉、砷、汞、钴
	钴冶炼	原料堆场、浸出车间、萃取净化车间、电解车间、综合回收车间、废水处理站、酸罐区、废水收集池、渣堆场	pH、钴、镍、铜、铅、镉、砷、汞
	锡冶炼	原料堆场、熔炼车间、还原车间、渣处理车间、制酸车间、精炼车间、综合回收车间、废水处理站、酸罐区、烟囱区、废水收集池、渣堆场	pH、锡、铅、镉、砷、汞、锑、铜、
	锑冶炼	原料堆场、熔炼车间、还原车间、渣处理车间、制酸车间、精炼车间、综合回收车间、废水处理站、酸罐区、烟囱区、废水收集池、渣堆场	pH、锑、铅、镉、砷、汞、锡、铜
	汞冶炼	原料堆场、蒸馏车间、冷凝车间、废水处理站、烟囱区、废水收集池、渣堆场	汞、砷、铅、镉、锑、铜
	钨钼冶炼	原料和冶炼生产场地、渣场	pH、石油类、铜、铅、镉、砷、铬
稀有金属、稀土金属	钽铌冶炼	原料和冶炼生产场地、渣场	pH、石油类、铍、钍、铀
	锆铪冶炼	原料和冶炼生产场地、渣场	pH、石油类、铍、镉、砷、钍、铀
	锂冶炼	原料和冶炼生产场地、渣场	pH、石油类、铜、铅、镉、砷
	稀土金属	原料和冶炼生产场地、渣场	pH、石油类、铈、

	冶炼		镉、砷、钼、铀
	贵金属冶炼	原料和冶炼生产场地、渣场	pH、石油类、铅、砷

附录B

(资料性)

有色金属冶炼污染场地适用修复技术

针对主要有色金属冶炼场地污染特征，列出了适用的修复技术的原理、技术特点及使用条件，作为选用时参考。

表B.1 列举了适用的修复技术名称、原理、相关技术要求、适用范围。

表B.1 有色金属冶炼场地适用修复技术

序号	修复技术	技术原理	技术要求	适用范围
01	稳定化			
01.1	化学稳定化	将污染土壤与化学药剂（一般为碱性物质、有机物）反应形成氢氧化物或硫化物沉淀、螯合物等难溶物质，达到降低污染物溶于水而迁移或被植物吸收活性。	以土壤污染物溶出浓度来评价，一般不能超过现行GB8978一级指标。原位修复时场地地下水水质不超过GB/T14848 IV水质指标。	不适合含挥发性污染物土壤的处理
01.2	氧化还原稳定化	通过氧化/还原反应将有害污染物转化为更稳定、活性较低和/或惰性的无害或毒性较低的化合物	对于高浓度的污染物，本处理方法不够经济有效，因为需要大量氧化剂。	可用于汞、砷、铬、氰、非卤代挥发性、半挥发性有机物及燃油类碳氢化合物的处理
01.3	电动力学稳定化	利用电极在污染土壤两端加上低压直流电场，使水溶的或吸附在土壤颗粒表层的污染物根据所带电荷的不同向正负电极移动，达到富集或被回收，从而达到清洁土壤的目的	土壤含水量（大于10%）、污染物的溶解性和脱附能力对处理效果有较大影响，因此使用过程中需要导电性的孔隙流体来活化污染物	可高效处理小范围重金属污染（包括铬、汞、镉、铅、锌、锰、铜、镍等）及有机物、石油类污染物），去除率90%
01.4	化学萃取	利用溶剂将污染物从被污染的土壤中萃取后去除的技术。该溶剂需要进行再生处理后回用。	要求浸提溶剂能够很好地溶解污染物	要求土壤的粘土含量低于15%、湿度低于20%。
01.5	固化稳定化及填埋技术	将污染土壤与黏结剂混合形成凝固体或发生化学反应形成固体沉淀物；填埋法是将污染土壤进行掩埋覆盖，采用防渗、封顶等配套设施防止污染物扩散的处理方法。	固化体无侧限抗压强度要求大于0.35MPa，而固化后用于建筑材料的无侧限抗压强度至少要求达到30MPa。渗透系数一般要求不大于 1×10^{-6} cm/s。	稳定化一般针对易溶出重金属土壤固化填埋修复的预处理
02.2	淋洗分离	通过将溶剂与污染土壤混合，然后再把含有污染物的液体从土壤中提取出来，进行分离处理的技术。	细粒一般是指粒径小于63-75 μ m的粉/粘粒；一般水土比为3:1至20:1；时间20分钟（min）到2小时（h）	一般土壤中粘土含量达到25%~30%时，不宜采用该技术。
03.1	抽出处理技术	抽取已污染的地下水至地表，然后用地表污水处理技术进行处理的方法	需要构筑抽水井（必要时构筑注水井）和相应的地表污水处理系统。抽水井一般位于污染羽状体中（水力坡度小时）或羽状体下游（水力坡度大时），利用抽水井抽出地表，采用地表处理系统，可物化-生物处理的联合，或不同物化技术的联合。	抽出处理技术对于低渗透性的黏性土层和低溶解度、高吸附性的污染物效果不理想
03.2	渗透性反	在污染源的下开挖沟槽，安置连续	按照反应性质，可分为化学	漏斗-门式 PRB适用

	应墙技术	或非连续的渗透性反应墙，在其中充填反应介质，与流经的地下水发生物理、化学和生物化学反应，使地下水中的污染物得以阻截、固定或降解	沉淀反应墙，吸附反应墙，氧化-还原反应墙，生物降解反应墙等，墙体中的材料需要定期更换	于埋深浅、污染面积大的潜水含水层；连续透水的 PRB 适用于埋深浅、污染羽流规模较小的潜水含水层。
03.3	隔离技术	通过惰性材料隔离污染土和地下水，防止场地污染物扩散。	覆盖防止雨淋和挥发；水平和垂直防渗设施，阻隔地下水扩散；或建库堆存、填埋	渣场等场地修复
04	监控式自然衰减修复，包括混合/稀释、微生物、植物修复	利用天然过程来分解和改变土壤和地下水中的污染物的技术	对污染物的降解速率和迁移途径进行模拟，同时对下降梯度观测点的污染物浓度进行预测，特别是污染羽扩散。目的是为了确定自然衰减的过程，使污染物的浓度降至标准以下或在可接受风险范围内。	适用于某些重金属污染程度较轻，通过管理保证降解速率与修复目标一致
04.1	制度管控	调整用地功能用途或设置使用限制条件，使之变为有限可接受风险场地	设立告示牌、边界围栏、隔离设施等。告示牌应明确场地污染范围、主要污染因素、存在具体的污染风险、推荐防范措施及其注意事项、责任人联系电话等。	历史遗留场地、临时管控
04.2	混合/稀释	用清洁土壤与污染土壤混合，或覆盖在土壤表层，使污染物浓度降低到临界危害浓度以下。	需根据土壤污染物浓度、范围和修复目标值，计算混合的土壤的量。宜垂直方向混合。	不超过场地土壤质量管制值或者修复目标值的 1 倍
04.3	微生物稳定化	利用原有或接种微生物降解有机污染物或氧化、还原某物质（如氧化硫、铁等形成酸、铁氧化物与有机酸形成稳定的络合物或者缺氧还原为金属硫化物）使土壤中重金属离子稳定化的过程。	气候、土壤酸碱度、有机质、水分满足微生物生长需要。	特定微生物只降解特定污染物。低渗透土壤可能不适用。
04.4	植物修复	植物对污染物的直接吸收及对污染物的超累积作用；植物根部分泌的酶来降解有机污染物；根际与微生物的联合代谢作用，从而吸收、转化和降解污染物。	气候条件，土壤酸碱度、含水量及肥力因素，植物对重金属吸收率，污染深度不能超过植物根之所及	一般需 3~8 年，对铅、镉效果一般。

附录C

(资料性)

有色金属冶炼污染场地污染扩散阻隔技术

C.1 覆盖阻隔技术

C.1.1 临时覆盖技术

临时覆盖宜覆盖，可参照表C.1选择覆盖形式：

表C.1 有色金属冶炼污染场地覆盖形式表

覆盖形式	重度污染场地	中度污染场地	轻污染场地	备注
防渗薄膜覆盖	优先	宜	可选	
压实黏土覆盖	可选择	宜	宜	
农膜覆盖	不宜	可选择	宜	
其他材料	不宜	不宜	可选择	渣土等

C.1.2 I类一般固体废物堆场覆盖阻隔技术

C.1.2.1 应采用以下覆盖技术：

- a) 按照其性质对照相关土壤质量标准，宜分别作为农用地或建设用地开发利用。
- b) 暂时不开发利用时，宜覆土40cm自然土进行绿化覆盖。

C.1.2.2 应设置排水系统，降水频率宜为10年一遇。

C.1.2.3 应设置拦挡、护坡、道路等设施。

C.1.2.4 应按照相关规定设置标识牌。

C.1.3 II类一般固体废物堆场覆盖阻隔技术

C.1.3.1 应采用以下覆盖技术：

- a) 按照其性质对照相关环评要求进行封场覆盖。
- b) 宜在其表面设置20~45cm黏土层并压实，再覆土40cm以上的自然土进行绿化覆盖。

C.1.3.2 应设置排水系统，降水频率宜为20年一遇。

C.1.3.3 应设置拦挡、护坡、道路等设施。

C.1.3.4 应按相关规定设置界线和标识牌。

C.1.4 危险固体废物堆场覆盖阻隔技术

C.1.4.1 应设置导气层，其材料透水系数应大于0.01cm/s，厚度不小于30cm。

C.1.4.2 应设置防渗层，厚度不小于30cm，渗透系数小于 1×10^{-7} cm/s的压实粘土。或厚度不小于1.5mm，渗透系数小于 1×10^{-10} cm/s的高密度糙面或线性低密度聚乙烯膜。

C.1.4.3 应设置排水层，其材料透水系数应大于0.1cm/s，厚度不小于0.5cm，使用寿命不少于50年，其应与四周排水沟连接，并应高于排水沟最高水位。

C.1.4.4 宜设置植被覆盖层，厚度不宜少于60 cm，其中15cm营养土。

C.1.4.5 应按相关规定设置界线和标识牌。

C.2 垂直阻隔墙技术

C.2.1 污染场地垂直阻隔墙技术

C.2.1.1 垂直阻隔墙可参照下列指标。

表C.2 防渗体相关技术参数指标表

防渗技术	经济深度 (m)	渗透系数 (cm/s)	适用地层
混凝土防渗墙	40	小于 10^{-7}	一般地层均可, 包括岩石地层等
水泥搅拌桩防渗墙	18	小于 10^{-6}	壤土、砂土、粘土等
高压喷射灌浆防渗墙	25	小于 10^{-6}	砂类土、粘性土、黄土和与淤泥等
振动沉模防渗墙	20	小于 10^{-7}	壤土、砂土、含小卵石的砂卵石层
垂直铺膜防渗体	30	小于 10^{-11}	壤土、砂土、粘土等

C.2.1.2 采用混凝土防渗墙, 其设计、施工要求应符合GB50108的相关规定。

C.2.2 II类一般固体废物堆场可采用混凝土防渗墙垂直阻隔墙防控技术, 渗透系数小于 10^{-7} cm/s, 应采用防腐水泥, 厚度为0.22~1.0m。

C.2.3 危险废物堆场可采用混凝土复合防渗墙垂直阻隔墙防控技术, 渗透系数小于 10^{-7} cm/s, 应采用防腐水泥和防渗膜或防渗涂料, 墙体厚度为0.5~1.5m, 膜或涂料厚度不小于1.5mm。

C.3 防污染扩散监控技术

C.3.1 工业场地污染扩散监控技术

C.3.1.1 污染场地空气应设置颗粒物、SO₂、HCl、酸雾、Hg等污染监测、洒水和喷雾(水雾或碱雾)设施。

C.3.1.2 水污染扩散监控, 宜包括场区地表排水沟水质监测和地下水水位与水质监测井、集水池、抽水和处理系统。

C.3.2 除设置C.3.1相关系统外, 增加场地上游、侧面、下游边界, 渗滤液收集池下游地下水监测井和抽水系统。

C.3.3 除设置C.3.1相关系统外, 增加场地、渗滤液收集池外上游、侧面、下游地下水监测井和抽水系统。

C.4 全阻隔防扩散技术

C.4.1原位全阻隔系统, 包括覆盖系统、垂直防渗墙系统、场地内水位监测控制和废气、污水净化处理系统。

C.4.2异位全阻隔系统, 包括覆盖系统、水平防渗和垂直防渗墙系统、场地内外水位监测、控制和废气、污水净化处理系统。

附录D
(资料性)
有色金属冶炼污染场地稳定化、淋洗修复防控系统

