

ICS 13.020.01

CCS Z 06

DB34

安徽省地方标准

DB34/T 4541—2023

# 废弃露天采坑一般工业固废处置与生态修复技术规范

Specifications for the non-hazardous industrial solid waste disposal in the abandoned mining pits and ecological restoration technology

2023 - 07 - 31 发布

2023 - 08 - 31 实施

安徽省市场监督管理局 发布



# 目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 选址	3
4.1 一般规定	3
4.2 其他规定	3
5 勘察	4
5.1 一般规定	4
5.2 水文地质勘察	4
5.3 工程地质勘察	5
5.4 可行性分析与评价	6
6 设计	7
6.1 设计原则	7
6.2 总体设计	7
6.3 露采坑场地处理	8
6.4 防渗及导排水	9
6.5 拦挡坝	11
6.6 场区道路设计	12
7 堆填	12
7.1 施工准备与过程控制	12
7.2 堆填作业要求	12
7.3 堆填污染控制要求	13
8 生态修复	13
8.1 封场	13
8.2 生态修复模式与技术要求	13
8.3 建设用地修复模式技术要求	14
9 安全与环境监测	15
9.1 主体工程安全监测	15
9.2 地下水监测要求	15
9.3 地表水监测要求	16
9.4 大气监测要求	16
9.5 土壤监测要求	16
9.6 生态修复效果监测与管护	16
10 竣工验收	16
10.1 竣工验收程序	17

10.2	验收内容 .....	17
10.3	验收标准 .....	17
附录 A (资料性)	水文地质参数测定方法 .....	18
附录 B (资料性)	边坡地质结构分类 .....	19
附录 C (资料性)	边坡岩体结构面测量要点 .....	21
附录 D (资料性)	边坡破坏模式分类 .....	22
附录 E (资料性)	入场一般工业固体废物分类要求 .....	23
附录 F (资料性)	截排水工程设计计算方法 .....	24



## 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。

本文件由安徽省地质矿产勘查局提出并归口。

本文件起草单位：安徽港好江南生态环境科技有限公司、安徽省地质矿产勘查局321地质队、安徽省一般工业固废处置与资源化利用工程研究中心、中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司、国家金属矿山固体废物处理与处置工程技术研究中心、合肥工业大学、安徽理工大学、安徽省环境科学研究院、铜陵市标准化研究中心。

本文件主要起草人：罗传华、刘章平、丁丹、詹慧宗、华绍广、查甫生、许光泉、李香梅、夏冰、单士锋、李同鹏、康博、李书钦、汪陆一、余敏、徐彩平、赵建、刘昆、胡凌、邓广柱、陈佳、舒敏。



# 废弃露天采坑一般工业固废处置与生态修复技术规范

## 1 范围

本文件规定了利用一般工业固体废物回填废弃露天采坑与生态修复工程的选址、勘察、设计、堆填、生态修复、安全及环境监测、竣工验收。

本文件适用于利用一般工业固体废物回填废弃露天采坑与生态修复工程等技术工作，现有一般工业固体废物回填场地的生态修复工程可参照执行。

## 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 5085（所有部分） 危险废物鉴别标准
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB 16889 生活垃圾填埋场污染控制标准
- GB/T 17643 土工合成材料 聚乙烯土工膜
- GB 18599-2020 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- 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 38509 滑坡防治设计规范
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50021-2001 岩土工程勘察规范（2009版）
- GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收规范
- GB 50203 砌体结构工程施工质量验收规范
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50296 管井技术规范
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB 50869 生活垃圾卫生填埋处理技术规范（附条文说明）
- GB 51018 水土保持工程设计规范（附条文说明）
- GB 55017 工程勘察通用规范（附起草说明）
- GBJ 22 厂矿道路设计规范
- DL/T 5259 土石坝安全监测技术规范
- DL/T 5395 碾压式土石坝设计规范
- HJ 2.3 环境影响评价技术导则 地表水环境
- HJ 19 环境影响评价技术导则 生态影响
- HJ/T 164 地下水环境监测技术规范
- HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法
- HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境

HJ 761 固体废物 有机质测定 灼烧减量法  
HJ 964 环境影响评价技术导则 土壤环境  
JGJ 79 建筑地基处理技术规范  
NY/T 1121.16 土壤检测 第16部分：土壤水溶性盐总量的测定  
TD/T 1036 土地复垦质量控制标准  
TD/T 1070（所有部分） 矿山生态修复技术规范

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**废弃露天采坑** abandoned mining pits

矿山开采活动结束后形成的凹陷废弃地。

#### 3.2

**一般工业固体废物填埋场** non-hazardous industrial solid waste landfill

对废弃露天采坑进行场地整理后最终用于处置一般工业固体废物的填埋设施。

#### 3.3

**I类场** class I non-hazardous industrial solid waste landfill facility

可接受GB 18599-2020第6.1条规定的一般工业固体废物并符合其相关污染控制技术要求的一般工业固体废物填埋场。

#### 3.4

**II类场** class II non-hazardous industrial solid waste landfill facility

可接受GB 18599-2020第6.2条、6.3条规定的一般工业固体废物并符合其相关污染控制技术要求的一般工业固体废物填埋场。

#### 3.5

**地貌重塑** landform reshaping

结合原有地貌的特点，为稳定边坡和防治水土流失，对废弃露天采坑迹地采取有序回填和场地整形等技术措施，形成稳定边坡并与周边地貌景观相协调的新地貌。

#### 3.6

**相容性** miscibility

将两种或两种以上性质不同的一般工业固体废物混合放置，不会产生爆炸、燃烧，释放有毒有害液（气）体等不良物理化学反应的性质。

#### 3.7

**拦挡坝** block dam

用于支撑超出原状地面标高一般工业固废堆填体的坝。

#### 3.8

**回填** backfilling

在复垦、景观恢复、用地平整和稳定露采边坡等工程中，以生态修复为目的，利用一般工业固体废物替代砂、土、石料等生产材料填充废弃露天采坑等遗留废弃迹地的活动。

#### 3.9

**人工防渗衬层** artificial liner

人工构筑、设置在填埋场底部或边坡上，由天然材料和（或）人工合成材料组成的防止渗漏的衬层。



## 3.10

## 堆填作业 landfill operations

填埋场中对一般工业固体废物进行堆填的过程。

## 3.11

## 封场 closure

当露天采坑停止回填，不再接受一般工业固体废物时，采取的防渗、覆土、生态绿化等一系列处理措施。

## 3.12

## 生态修复 ecological restoration

对回填后的场地采取各类生态修复措施，使其生态系统健康、安全、稳定，并与周边生态环境相协调的过程。

## 3.13

## 生态重建 ecological reconstruction

通过生物、物理、化学、生态等工程技术方法，围绕废弃露天采坑受损生态功能的修复生境、恢复植被和生物多样性重组等过程，重构生态环境并使其进入良性循环。

## 4 选址

## 4.1 一般规定

4.1.1 填埋场地应符合环境保护法律法规及相关法定规划要求，应与所在地国土空间规划协调一致，应与当地的生态环境与水土资源保护要求相一致。

4.1.2 拟用于一般工业固体废物回填废弃露天采坑和生态恢复工程，应充分收集填埋场及其周边既有水文地质、工程地质、环境地质和矿山开采资料，通过现状调查、固体废物污染特征调查，经综合研究诊断出影响工程建设的问题与潜在风险，重点进行不稳定斜坡、渗透、地球化学异常等地质灾害危险性评估工作，以确定填埋场地的适宜性。

4.1.3 对拟定场址应经过勘察和填埋工艺方案设计，完成可行性研究报告，并应进行相应的环境影响评价，通过相关管理部门审查，确保利用一般工业固体废物回填废弃露天采坑和生态修复的环境风险可以接受。

## 4.2 其他规定

4.2.1 用于一般工业固体废物回填和生态恢复的露天采坑选址不应位于以下地区：

- 地下水集中供水水源地及补给区、水源保护区；
- 江河、湖泊、运河、渠道、水库最高水位线以下的滩地和岸坡，以及国家和地方长远规划中的水库等人工蓄水设施的淹没区和保护区之内；
- 活动断层、岩溶强发育区、地质灾害发育区以及天然湿地等区域；
- 国务院和国务院有关主管部门及地方人民政府划定的生态保护红线区域、永久基本农田和其他需要特别保护的区域内；
- 在长江干流岸线三公里范围内和重要支流岸线一公里区域范围内；
- 上述选址规定不适用于以提升安全、生态环境保护水平为目的的改建工程。

4.2.2 所选露天采坑地质条件应满足回填后的地基承载力与变形要求，避免防渗工程、管道工程、构筑物的功能破坏。

## 5 勘察

### 5.1 一般规定

#### 5.1.1 勘察目的

废弃露天采坑一般工业固体废物回填与生态修复工程应进行工程勘察，须查明露天采坑场地的水文地质条件、工程地质条件，评价边坡稳定性和生态环境影响，并提出场地水土污染防治、边坡工程防治建议。

#### 5.1.2 勘察范围

5.1.2.1 应根据回填露采坑及其影响区域的水文地质单元、地表径流和流域、地下水流场等因素综合确定。

5.1.2.2 废弃露天采坑一般工业固废处置场地工程勘察除应满足本章条款要求外，还应符合 GB 55017 的规定。

#### 5.1.3 勘察工作任务

在充分收集原矿山开采情况和回填的废弃物物理化学性质及渗滤液化学成分等资料基础上，以水文、工程地质测绘、物探、钻探、原位测试与室内试验等综合方法，获取工程设计所需参数，对地质结构稳定性和环境风险进行评价，提出设计施工和监测工作建议，重点做好下列工作：

- 查明场地水文地质条件及地下水动态特征，划分含水层（带），预测露采坑渗水量和污染渗漏有关水文地质问题；
- 查明场地岩土体结构、不良地质作用、特殊性岩土等工程地质条件，提供岩土体物理力学参数，评价露采场岩体质量和边坡稳定性，预测可能发生的工程地质问题；
- 调查有价值的自然景观、文物、采空区分布情况，查明水土环境本底数据，评价场地生态环境质量；预测场地整理等建设过程中可能引起的主要地质环境问题，预测一般工业固体废物填埋过程对周边水体和岩土体的影响，并提出防治建议。

### 5.2 水文地质勘察

#### 5.2.1 勘察内容

5.2.1.1 确定场地所处水文地质单元中的位置，查明场地地下水的补给、径流、排泄条件，重点调查周围地表水体对矿坑水补径排关系，查明充水水源、补给通道及含水层的渗透性。

5.2.1.2 查明研究区的含隔水层的水文地质特征，包括岩性、厚度、分布范围、埋藏条件等；查明不同含水层之间水力联系，地下水水位、水质等动态变化，地下水流场特征，确定矿坑水文地质边界，分析填埋场对隔水层的影响。

5.2.1.3 查明矿坑充水影响较大的构造破碎带，主要包括位置、规模、性质、产状、充填与胶结程度、风化、溶蚀特征、储水性、导水性、隔水性以及与其它含水层和地表水联系，分析构造破碎带可能存在突涌水段、渗滤液渗漏地段，并提出防治建议。

5.2.1.4 对可溶岩分布区，应重点查明岩溶发育条件，溶洞、土洞、塌陷分布范围，岩溶发育通道及地下水流向，结合区域地质条件预测岩溶发育规律，分析岩溶对防渗、构筑物稳定性的影响，评估抽排矿坑积水诱发地面塌陷的可能性及危险性，预测生态修复前后一般工业固体废物渗滤液可能污染的范围和危害程度。

5.2.1.5 查明硫化型残留矿（化）体等地质体中可能成为污染源的物质赋存状态、含量、分布规律以及迁移特征。

5.2.1.6 查明对矿坑有影响的地表水、淋溶水的汇水面积、分布范围、水质及其变化特征，分析论证其对水土环境的影响，并提出地表水防治建议。

5.2.1.7 环境水文地质参数应进行现场试验，依据 GB 50021-2001 中 7.2 和附录 A 规定的测定地层渗透系数、给水度等水文地质参数。

5.2.1.8 分析判断地下水对建筑材料的腐蚀性。

## 5.2.2 水文地质测绘与调查

5.2.2.1 水文地质测绘分为区域和场区，其中：区域范围一般为一个相对完整的水文地质单元，以查明区域地下水补、径、排条件为重点；场区范围应包括矿坑疏干排水区域、补给边界和污染物随地下水渗流发生迁移、扩散可能影响的范围。区域比例尺一般采用 1:25000~1:5000，场区比例尺一般采用 1:5000~1:2000。

5.2.2.2 调查、收集与采坑相关的地表水、地下水、土壤环境本底值或对照值。

5.2.2.3 地表水污染调查包括：污染源位置、污染物的浓度、排放量、排放途径，废水、废渣处理和综合利用情况。

5.2.2.4 矿坑水污染调查，重点调查硫化型矿床矿山边坡含矿性及面流渗出液水化学特征，矿坑排水及废弃的尾矿和废石堆在降水淋滤作用下对水体的污染程度，调查矿坑排放的高悬浮物和高矿化水的排放浓度、分布范围及其对环境的危害程度。

5.2.2.5 水文地质钻孔设计和施工，应尽量布置在勘探线上，并控制地下水天然流场的补给、径流、排泄各个地段及矿坑排水后流场变化。

5.2.2.6 勘探线宜垂直地层走向、构造破碎带、边坡残留矿（化）体布置。

5.2.2.7 物探应与水文地质、工程地质测绘和钻探相互配合，所采用方法可根据探测对象的物性、工程分辨率要求和地形地质条件等因素确定。

5.2.2.8 水文地质剖面数量 2 条~4 条，每条剖面钻孔数量不宜少于 3 个。

## 5.3 工程地质勘察

### 5.3.1 勘察内容

5.3.1.1 查明岩体的分布，研究岩体的工程性质，并应划分工程地质岩组，区分软弱岩层和风化破碎带。

5.3.1.2 查明场地的构造特征，查明断层、褶皱、密集节理带、岩脉的空间分布状况、组合规律及其工程地质特征，对其中直接影响边坡稳定的软弱结构面应重点研究；查明各组节理和其他成组不连续面的发育程度，确定其优势产状及表征其性质的统计参数。

5.3.1.3 确定可能被滑动面切穿的岩体的抗剪强度和可能构成滑动面的不连续面的抗剪强度。

5.3.1.4 查明崩塌、滑坡、采空区地表变形等不良地质作用的分布、成因、发展趋势，判定其对边坡稳定性的影响程度。

5.3.1.5 提供区域性地质构造、地震地质资料，分析场地地震效应，提供抗震设计有关参数。

5.3.1.6 在工程地质分区的基础上进行边坡分区，对各边坡分区进行破坏模式和边坡稳定性计算分析。

5.3.1.7 对稳定性不满足规范要求的边坡提出治理措施建议。

### 5.3.2 工程地质测绘与调查

5.3.2.1 工程地质测绘比例尺宜采用 1:2000~1:1000, 测绘成图范围应包括露采坑境界线以外宽 1/2~2/3 边坡高度地带。对边坡有重大影响的地质单元体, 崩塌、滑坡工程地质测绘比例尺宜采用 1:500~1:200。

5.3.2.2 调查台阶边坡的变形与破坏情况及影响因素。

5.3.2.3 各工程地质分区应布设不少于 1 条勘探线, 分区面积较大时, 不少于 2 条勘探线。勘探线宜垂直于边坡走向或平行于沿潜在滑坡方向布设。每条勘探线不少于 3 个钻孔。钻孔应穿过不连续面或预计的最低可能滑动面, 并深入其下不小于 10 m。

5.3.2.4 测定岩层产状, 判定褶皱类型和褶皱要素, 并调查断层性质; 对节理裂隙进行详细测量; 分析地质构造对地形、水文地质条件及滑坡等不良地质作用的影响。

5.3.2.5 边坡岩体结构类型见表 B.1, 岩体完整程度见表 B.2。

5.3.2.6 对滑坡地段的测绘与调查应单独进行, 测绘范围应包括滑体周界外侧滑体高度 1 倍~3 倍的距离。滑坡调查及分析应符合下列规定:

- 确定滑动前的地质条件和原有的台阶或地表形态;
- 调查和测定滑体周界、滑动面位置及其他滑坡要素、地表水和地下水的作用情况、滑动带的组成、结构面的产状、切割关系和力学属性;
- 分析滑坡成因、变形规律, 预测滑坡的发展趋势, 并提出滑坡治理的建议。

5.3.2.7 对崩塌地段的测绘与调查应单独进行, 测绘范围包括崩塌区周界外侧崩塌高度 1 倍~2 倍的距离。调查及分析应符合下列规定:

- 调查构成崩塌或危岩体的边坡形态和地形条件、坡体变形开裂情况、崩塌历史、地层岩性、坡体结构、结构面组合特征、可能的自然与人为影响因素;
- 判断边坡发生崩塌或转化为滑坡的危险性及可能的影响范围。

5.3.2.8 调查成组不连续面的详细测线每条长 20 m~30 m, 应记述的内容包括: 不连续面类型、产状、粗糙度、起伏度、间距、长度、开度、搭接关系、充填状况、流水情况、岩石硬度等。

5.3.2.9 详细测线测量的结果应及时整理, 将不连续面按类型和产状分组; 根据各组的发育程度、贯通情况及对边坡稳定性的影响, 划分等级次序, 确定出优势组、软弱组和产状不利组; 边坡岩体结构面测量与统计见规范附录 C。

## 5.4 可行性分析与评价

### 5.4.1 评价原则

利用废弃露天采坑填埋一般工业固体废弃物与生态修复工程勘察评价应以生态环境保护为中心, 将自然地理、地质、水文地质、工程地质、生态环境等作为一个整体, 综合运用多种手段进行分析与综合研究, 针对地质环境问题进行现状评价、预测评价和风险评估。

### 5.4.2 水土环境影响评价

5.4.2.1 场地地表水、地下水环境、土壤环境、生态本底与预测评价应照 HJ 2.3、HJ 610、HJ 964、HJ 19 规定执行。

5.4.2.2 根据场地区域生态环境管理要求, 以本底值和环境保护目标为评价目标, 依据勘察成果建立适宜的预测模型, 重点对地表水环境、地下水环境、土壤环境、生态影响等开展环境影响预测分析, 明确一般工业固体废物用于露天采坑回填与生态修复时对环境保护目标的影响范围, 以及特征污染物在环境中的迁移转化和生态环境影响途径。

5.4.2.3 根据生态修复模式确定土地利用性质和环境质量控制目标，开展环境风险评估，判别一般工业固体废物回填与生态修复的适宜性，并给出环境风险管控目标、防控措施、监测计划等建议，并作为设计的重要依据，确保环境风险可以接受。

#### 5.4.3 边坡稳定性评价

5.4.3.1 边坡稳定性评价应在定性分析的基础上定量计算，进行综合评价。

5.4.3.2 地质结构和破坏模式见附录 D，并按破坏模式选择相应的计算方法，确定计算参数，进行边坡稳定性计算；应对影响边坡稳定的主要因素进行敏感性分析。

5.4.3.3 边坡稳定性计算以极限平衡法为主，分别按自重+附加荷载+地下水压力（Ⅰ）、自重+附加荷载+地下水压力+采坑水位下降（Ⅱ）二个荷载组合进行，设计安全系数满足荷载组合Ⅰ 1.20~1.10、荷载组合Ⅱ 1.15~1.05 的要求，潜在破坏面上存在固体废物反压状况时取低值，否则取高值。

5.4.3.4 边坡稳定性应按边坡分区分别选择代表性剖面进行二维分析与计算。

5.4.3.5 对存在多种破坏模式或多个滑动面的边坡，应分别对各种可能的破坏模式或滑动面进行稳定性计算，并以最小安全系数作为边坡安全系数。

5.4.3.6 岩质边坡中不同性质结构面抗剪强度取值应符合下列规定：

- 硬性结构面抗剪强度应取峰值强度最小值的平均值；
- 软弱夹层及软弱结构面抗剪强度应取屈服强度；
- 泥化夹层抗剪强度应取残余强度。

5.4.3.7 岩体及其结构面的抗剪强度指标宜采用室内试验、原位实验等方法确定；无条件进行实验时，可采用反演分析、经验类比的方法综合分析确定。

### 6 设计

#### 6.1 设计原则

6.1.1 废弃露天采坑一般工业固体废物填埋与生态修复工程应根据国土空间规划确定的生态空间、农业空间、城镇空间布局，结合地形、水文地质条件，充分利用废弃露天采坑空间进行一般工业固体废物无害化处置，选择合理的修复模式，因地制宜实现土地资源可持续利用，与周边自然环境、景观相协调，区域整体生态功能得到保护与恢复。

6.1.2 废弃露天采坑一般工业固体废物填埋与生态修复工程应确保工程安全，控制污染环境，突出生态功能，尊重自然风貌。

6.1.3 废弃露天采坑一般工业固体废物填埋与生态修复工程应遵循生态效益、社会效益、经济效益相统一的原则，根据水文地质、工程地质、环境地质条件，合理确定填埋场库容、分区和治理方法、防渗工艺、生态修复模式。

6.1.4 入场填埋的一般工业固体废物应满足附录 E 的要求。

6.1.5 根据填埋一般工业固体废物类别和污染控制技术要求，填埋场分为Ⅰ类场和Ⅱ类场。不相容的一般工业固体废物应分区、分类建设；相容的一般工业固体废物宜分区、分类建设，并对应不同的技术要求，混有Ⅱ类一般工业固体废物区域按Ⅱ类场建设。

6.1.6 堆体的堆置高度、分层碾压厚度、放坡坡率、平台宽度、台阶高度应根据一般工业固体废物的物理力学性质、地形、水文地质及工程地质条件等确定。多台阶堆填的总体坡度应满足整体稳定性要求。

#### 6.2 总体设计

##### 6.2.1 一般规定



6.2.1.1 废弃露天采坑一般工业固体废物回填与生态修复工程总体设计应优先采用成熟的技术和设备，做到技术可靠、节约用地、设施安全、作业方便、经济合理。

6.2.1.2 主体工程设计内容可包括场地整理、拦挡坝、防洪及雨污分流系统、防渗系统、地下水导排系统、渗滤液收集和处理系统、生态修复及监测系统。可根据露天采坑实际情况、固废属性以及环境风险情况最终确定所需系统。

6.2.1.3 辅助工程设计内容应配备保证工程周期内良好运行的辅助工程，包含场区临时道路、堆放及分选场、供配电、给排水设施、生活和办公管理设施、设备维修、消防和安全设施、环境保护设施、通信监控设施等。

6.2.1.4 应尽可能地利用场地整理过程中产生的土方、石方资源，用于截排水沟、拦挡坝、封场、植被重建等工程设施建设。

6.2.1.5 应尽可能地利用填埋的一般工业固体废物作为原材料，采用合理的工艺和有效的处理方法，用于填埋场区域内施工道路、分区隔离带填筑和水平防渗体等工程设施建设。

## 6.2.2 总平面布置

6.2.2.1 在总体规划的基础上，根据库容、堆填施工流程、交通运输、环境保护，并兼顾防火、安全、卫生、节能、施工、维护等要求进行合理布置，主要功能区包括露天采坑回填作业区、安全隔离区、管理区、进出场道路等。

6.2.2.2 应根据场地水文地质条件、边坡稳定性和作业条件等实际情况分区实施，分区设置应有利于物料运输、回填等作业，并与各车辆进出场道路合理衔接。便于堆填作业，提高堆填作业效率，减少机械倒运和推平距离，达到提高效率和节约成本的目的。

6.2.2.3 工程人流和物流的出入口设置应符合区域交通有关要求，宜采用人流和物流分离，方便废物运输车进出，尽量减少中间运输环节。工程应布置车辆清洗设施，宜设在外运通道出口附近，以便于及时清洗卸料后的车辆。

6.2.2.4 回填作业区周围应设置围墙或防护栅栏等隔离设施，并应在回填作业区边界周围设置防尘设施、安全防护设施及防火隔离带。

## 6.2.3 竖向设计

6.2.3.1 填埋场竖向设计应结合地形，做到有利于雨污分流、地下水自然导排以及渗滤液处置与导排。

6.2.3.2 填埋场垂直分区标高宜结合露天采坑边坡防渗膜锚固平台高程和拟修复的生态功能分区确定，生态修复所采取的安全、环保措施应满足堆体稳定性与污染控制要求。

6.2.3.3 露天采坑底部地下水、渗滤液导排系统纵向坡度不宜小于 2%。截、排水沟走向应充分利用既有地形，坡度应使雨水导排顺畅且避免过度冲刷。

6.2.3.4 地下水溢流、渗滤液等调节池宜设置在地势较低处，以利于自然排水。

6.2.3.5 应对填埋场的堆填体、封场覆盖系统等边坡，采用简化毕肖普法进行稳定性验算，并满足下列要求：

- 堆填体边坡抗滑最小安全系数，正常工况不小于 1.30，暴雨工况不小于 1.15；
- 堆填体抗剪强度指标可采用现场试验、室内直剪试验、室内三轴试验、工程类比或反演分析等方法综合确定；
- 土工材料界面抗剪强度宜取最小峰值强度指标；
- 每填高 20 m 和封场时，应验算的破坏模式包括通过堆填体内部的滑动破坏、通过填埋体与拦挡坝基底的滑动破坏、拦挡坝坝顶以上标高堆填体沿土工材料界面的滑动破坏。

## 6.3 露天采坑场地处理

### 6.3.1 边坡处理

- 6.3.1.1 位于堆填高度以下的边坡应进行分台阶修整，以保证边坡平整度满足边坡防渗施工的要求。
- 6.3.1.2 欠稳定边坡处理宜尽量采用坡率法，并分台阶施工，以便于边坡排水、防渗膜锚固、植被生态恢复工程施工。
- 6.3.1.3 对影响堆场施工与安全运行的崩塌、滑坡地质灾害，可按 GB/T 38509 的有关规定采取削坡减载、锚喷、支挡、锚固等结构形式治理。
- 6.3.1.4 碎裂、裂隙发育边坡宜采用喷射混凝土、土工复合物等作为保护层。
- 6.3.1.5 高出堆填体的裸露边坡应尽早进行植被重建。
- 6.3.1.6 产生酸性水渗流的边坡，应采取可行的物理阻隔或微生物屏障等方法进行处理。

### 6.3.2 地基处理

- 6.3.2.1 对于非岩石类地基，应进行地基承载力和变形验算，对于不能满足承载力、沉降控制及稳定性等工程建设要求的地基应进行相应的处理，以防止地基沉降、局部差异沉降造成防渗衬层材料和渗滤液收集管道的拉伸破坏。
- 6.3.2.2 填埋场地基及其配套建（构）筑物地基的设计及处理应按国家现行标准 GB 50007、JGJ 79 的规定执行。

### 6.3.3 宕底处理

- 6.3.3.1 应对宕底进行清基修整，保持宕底基岩平整或缓变型，不应留设台阶，以保证堆填后不产生过大的沉降差。
- 6.3.3.2 基层应密实，密实度不小于 0.93，材料以级配良好的细粒土为主，最大粒径应不大于 5 mm。
- 6.3.3.3 详细排查宕底的溶沟、溶槽、破碎带、断层、落水洞并作处理好。宕底修整过程中，对揭露的浅埋溶洞、裂隙发育密集带，应进行必要的清理、回填或注浆处理，并进行针对性勘察和防渗专题论证。
- 6.3.3.4 对竖井状溶洞或落水洞的回填处理，应利于地下水的排泄，其下部应回填块石料后，上部采用梁板跨越。
- 6.3.3.5 应尽量留存满足防渗要求的自然隔水层。

### 6.3.4 采坑积水处理

- 6.3.4.1 露天采坑积水不满足地表水排放要求时，应进行处理以达标排放。
- 6.3.4.2 酸性水处理方法应根据污染强度和接纳水体要求进行专题论证，可采用沉淀法、碱性材料中和法、微生物法等方法处理。
- 6.3.4.3 轻度污染水尽可能采用具有生态修复功能的石灰岩沟、人工湿地等被动处理技术进行水质提升。

## 6.4 防渗及导排水

### 6.4.1 地下水导排

- 6.4.1.1 当场区地下水位较高或变幅较大，且地下水位的变化可能对防渗膜产生顶托破坏作用时，应设置地下水导排系统、泄压排水井；场区防渗系统覆盖范围内已有的泉水点应纳入地下水集排系统，不应直接堵埋在防渗膜下。
- 6.4.1.2 应根据水文地质条件计算地下水相关参数，选择地下盲沟、碎石导流层、土工复合排水网导流层等不同类型导排水系统，并满足以下设计要求：

- 地下盲沟：应根据渗流计算确定盲沟尺寸、间距、埋深和坡度；
- 碎石导流层：碎石层上、下宜铺设反滤层，以防止淤堵；碎石层厚度应不小于 400 mm，碎石粒径应控制在 20 mm~40 mm；地下水为酸性水时，所采用的碎石材料碳酸盐岩含量不大于 5%，且厚度不小于 450 mm；
- 土工复合排水网导流层：应根据地下水的渗流量，选择具有相应抗拉强度和抗压强度的土工复合排水网。

6.4.1.3 地下水（泄压）排水井（群）布置、结构设计应满足 GB 50296 相关要求，管材可采用混凝土、PVC-U 塑料管或钢管，同时应根据地下水 Ph 值选取管材或采取防腐蚀措施。

6.4.1.4 地下水导排应充分利用地形条件自然外排，当无法自然外排时可设置地下水收集系统，采用沟渠、排水廊道、暗管等方式进行导排，地下水收集管管径应满足地下水水量的要求。

6.4.1.5 地下水水质不满足受纳水体排放标准时，应经过收集处理，处理方法见 6.3.4。

#### 6.4.2 地表水截排水系统

6.4.2.1 填埋场应建立完善的地表水截、排水系统，拦截来自上游汇水区和堆填区之外的降水，以实现防洪、雨污分流，有效阻止降水进入堆填体，减小渗滤液收集处理压力。

6.4.2.2 地表水截、排水系统设计应满足 GB 51018 的规定，计算方法见附录 F。

6.4.2.3 封场后堆填体上排水沟宜采用柔性生态排水沟，以具有适应堆填体不均匀变形的能力。

#### 6.4.3 I 类场防渗要求

6.4.3.1 当天然基础层饱和渗透系数小于  $1.0 \times 10^{-5}$  cm/s，且厚度不小于 0.75 m 时，可以采用天然基础层作为防渗衬层。

6.4.3.2 当天然基础层不能满足 6.4.3.1 防渗要求时，可采用改性压实粘土类衬层或具有同等以上隔水效力人工复合原料制备防渗阻隔材料，替代天然基础层，露天采坑地基、边坡防渗衬层的防渗性能应至少相当于渗透系数为  $1.0 \times 10^{-5}$  cm/s，且厚度为 0.75 m 的天然基础层。

6.4.3.3 防渗阻隔层应采用合理的结构，避免材料的变形导致防渗失效。复合材料选择普通高密度聚乙烯土工膜（GH-1）时，厚度不应小于 1.5 mm，土工膜连接宜采用双焊缝搭接焊接方式，搭接宽度不小于 20 mm，其上下设置保护层，保护层宜采用非织造土工布，规格不小于 400 g/m<sup>2</sup>；采用（喷射）混凝土或其它胶凝材料阻隔层时，厚度不小于 150 mm，应根据埋置深度选择合理的配合比，以满足相应的抗渗等级，无压工况下，抗渗等级不低于 P8，伸缩缝处理宜采用沥青填缝。

6.4.3.4 在岩质边坡铺设防渗膜时，应采取嵌入和锚固的方法将土工膜牢固固定，并在土工膜与岩石间设置柔性止水，锚固后采用混凝土压住形成的防渗体。

#### 6.4.4 II 类场防渗要求

6.4.4.1 应采用单人工复合衬层作为防渗衬层。人工合成材料应采用高密度聚乙烯膜，厚度不小于 1.5mm，并满足 GB/T 17643 规定的技术指标要求。采用其他人工合成材料的，其防渗性能至少相当于 1.5 mm 高密度聚乙烯膜的防渗性能。粘土衬层厚度应不小于 0.75 m，且经压实、人工改性等措施处理后的饱和渗透系数不应大于  $1.0 \times 10^{-7}$  cm/s。使用其他粘土类防渗衬层材料时，应具有同等以上隔水效力。

6.4.4.2 对于岩溶与构造发育的露天采坑，底部、边坡防渗衬层宜采用双衬层结构，边坡喷射结构层可兼做一层刚性防渗衬层；防渗阻隔层做法详见 6.4.3.3 条款，也可采用土工膜嵌入喷射结构层连接，长度不小于 0.8 m。

6.4.4.3 岩质边坡防渗材料铺设应进行锚固，详见 6.4.3.4 条款。



6.4.4.4 应设置渗漏监测系统，监测防渗衬层的完整性。渗漏监测系统的构成包括但不限于防渗衬层渗漏监测设备、地下水监测井。

6.4.4.5 人工合成材料防渗衬层、渗滤液收集和导排系统的施工不应対粘土衬层造成破坏。

#### 6.4.5 渗滤液收集处理

6.4.5.1 填埋场内应实行雨水与污水分流，减少运行过程中的淋溶水、渗滤液产生量。

6.4.5.2 填埋库区应铺设渗滤液收集系统，并宜设置疏通设施。

6.4.5.3 渗滤液产生量和处理量应按填埋场类型、填埋库区划分和雨污水分流系统情况、填埋物性质及气象条件等因素确定。渗滤液产生量计算方法可参照 GB 50869 进行。

6.4.5.4 渗滤液收集及处理系统应包括导流层、盲（管）沟、调节池和渗滤液处理设施等；导流层材料须考虑渗滤液的化学性质，不应出现溶蚀、堵塞等影响排水功能的化学反应；采用碎石时，厚度应不小于 450 mm；盲（管）沟宜随填埋高度分层设置，竖向间距 10 m~15 m，横向间距 50 m~60 m。

6.4.5.5 渗滤液通过露天采坑回填区底部铺设的导排系统收集至收集池，调节池及渗滤液流经或停留的其他设施均应采取防渗措施，收集池渗透系数小于  $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 。调节池容积应与填埋工艺、停留时间、渗滤液产生量及配套的渗滤液处理设施规模等相匹配。当具有自然排水条件时，应首先考虑自然排水，主管收集渗滤液排入污水收集池；当不具有自然排水条件时，应采用抽水系统从集水井抽水排入水收集池。

6.4.5.6 渗滤液处理方法见 6.3.4，处理后水质满足受纳水体标准时，方可排放。

#### 6.5 拦挡坝

##### 6.5.1 拦挡坝类型

可根据生态修复地形重塑需求设置拦挡坝，根据坝体材料不同，坝型可分为碾压式土石坝、浆砌石坝、混凝土坝。

##### 6.5.2 坝高及筑坝材料的选择

6.5.2.1 坝体应与周边地形相衔接，坝高不宜超过 10 m，超出 10 m 时应进行安全专项论证。

6.5.2.2 筑坝材料的选择应符合下列规定：

- 下游存在集中居住区、重要水域，可能造成重大生命财产损失，应选择混凝土坝、浆砌石坝；
- 下游不存在集中居住区，或为裸地、林地、农田等，不会造成重大生命财产损失，可选择混凝土坝、浆砌石坝、碾压式土石坝。

##### 6.5.3 坝基处理及结构设计

6.5.3.1 坝基处理应满足渗流控制、静力和动力稳定、化学稳定、允许总沉降量和不均匀沉降量等方面要求，保证拦挡坝的安全运行。

6.5.3.2 坝体与坝基连接面不应发生水力劈裂和邻近接触面岩石大量漏水；不得形成影响坝体稳定的软弱层面；不得由于边坡形状或坡度不当引起不均匀沉降而导致坝体裂缝。

6.5.3.3 拦挡坝坝基开挖揭露的溶洞应进行清理、回填处理。

6.5.3.4 坝体与坝基应进行防渗设计，应能保证防渗体或防渗层在服役期内对污染物进行有效阻隔，渗透系数应满足一般工业固体废物 I、II 类对应的污染控制要求。

6.5.3.5 浆砌石坝和混凝土坝结构设计可按重力式挡墙进行设计，并应符合 GB 50330 的规定；碾压式土石坝结构设计应符合 DL/T 5395 的规定。对有特殊要求，或受力复杂以及采用新型结构的挡土坝设计，应进行专项研究。

6.5.3.6 拦挡坝设计应进行坝体、坝体与堆体共同作用的稳定性分析计算。浆砌石坝和混凝土坝的稳定性计算方法可参照 GB 50330；碾压式土石坝的稳定性计算方法可参照现行行业标准 DL/T 5395。

## 6.6 场区道路设计

### 6.6.1 原则

6.6.1.1 场内道路设计应根据填埋场的总图设计，结合地形、地质条件、堆填推进方向，各堆填台阶标高以及卸废点位置，合理布设路线；道路设计应结合堆填作业分区进行设计，堆填区道路可作为分区单元隔断使用。

6.6.1.2 场内道路设计应为道路建成后的经常性维修、养护和绿化创造有利条件。

6.6.1.3 场内道路应满足施工机械和运输车辆、固废转运交通要求，设置交通标识和采取安全防护措施。

### 6.6.2 设计要求

道路设计应符合 GBJ 22 四级以上道路设计规定。

## 7 堆填

### 7.1 施工准备与过程控制

7.1.1 应根据工程设计文件、技术文件进行施工，施工前应根据设计文件编制施工组织设计，各项工程施工均应符合国家现行相关标准要求。

7.1.2 施工方案中应包括施工质量控制方法和保证措施，明确环保条款和责任，作为项目竣工环境保护验收的依据和建设环境监理的主要内容。

7.1.3 施工质量过程控制应符合下列规定：

- 涉及安全、功能性的原材料、半成品应进行进场验收，按相关规定进行复验；
- 各工序按施工工艺要求进行质量控制，实行工序检验；
- 隐蔽工程在封闭前按相关规范规程进行验收。

7.1.4 入场固体废物根据设计分类、分区填埋，并符合 GB 18599-2020 中 6.1、6.2、6.3 要求。

### 7.2 堆填作业要求

7.2.1 应根据设计制定分区、分单元堆填作业计划，作业分区应采取有利于雨污分流的措施。堆填作业分区的工程设施、其他主体工程、配套工程及辅助设施应按设计要求施工。

7.2.2 堆填作业应根据分区堆置高度、分层碾压厚度、放坡坡率、平台宽度、台阶高度、堆体顶部标高等设置堆填单元进行堆填。

7.2.3 堆填单元应根据固废物理力学性质选择有效的堆存工艺及施工顺序，应采取自下而上分层堆存工艺，每层固体废物应进行压实处理后方可进行上层堆填作业。

7.2.4 单层固体废物摊铺厚度应根据堆填作业设备的压实性能、压实次数及固体废物的可压缩性确定，每一单元的单次压实堆填高度宜为 2 m~4 m，压实度不小于 0.8，最高不得超 6 m，单元的坡度不宜大于 1:4。

7.2.5 堆填单元作业时应控制堆填作业面面积，作业宽度按堆填作业设备的宽度及高峰期同时进行作业的车辆数确定，最小宽度不宜小于 6 m。

7.2.6 堆填中应避免从高处直接向防渗膜上倾倒，以免造成防渗膜受力过大破坏；机械设备不应直接从防渗膜上通过，以免防渗膜受到损伤。

7.2.7 堆填中严禁机械设备碰撞导排水井、渗滤液收集井，通过管道时应采取保护措施。

### 7.3 堆填污染控制要求

7.3.1 利用一般工业固体废物回填露天采坑之前，应制订运行计划、环境污染管控措施和突发环境事件应急预案。突发环境事件应急预案应说明各种可能发生的突发环境事件情景及应急处置措施。

7.3.2 一般工业固体废物进入填埋场应进行检查和计量，记录固体废物类型、填埋部位及其数量。

7.3.3 运输车辆离开堆填场前应冲洗轮胎和底盘，防止将固体废物遗弃在填埋场外。

7.3.4 堆填单元作业工序应为卸车、分层摊铺、压实，达到规定高度后应进行覆盖、再压实；尚未进行压实处理的区域应采取覆盖措施，防止扬尘污染。

7.3.5 每一作业区完成阶段性高度后，暂时不在其上继续堆填时，可采用聚乙烯膜进行覆盖，膜的厚度不宜小于 0.75 mm。

7.3.6 堆填应避免雨天作业，做好防雨应急措施。

7.3.7 施工现场应设置收集设施，其渗透系数小于  $1.0 \times 10^{-7}$  cm/s，收集填埋过程中受雨水淋溶产生的渗滤液、排水或抽提水，以及场区内冲洗水、初期雨水等。收集水可用于填埋区扬尘治理、提高固体废物压实度；需排放时，应进行处理并符合 GB 8978 的要求。

7.3.8 当露天采坑不再进行一般工业固体废物回填时，应及时封场。

## 8 生态修复

### 8.1 封场

8.1.1 封场设计应考虑固废堆体整形、边坡处理、环境保护及封场后生态修复、土地利用的要求，选择封场覆盖技术形式、结构类型、材料及辅助工程。

8.1.2 封场工程应包含以下内容：

- 对堆体进行整形与处理，应根据堆体性状对堆体整体稳定性进行评价，控制堆体整体坡度；边坡大于 10% 时应采用台阶式收坡，台高 5 m~8 m，台阶间坡度不宜大于 1:3，台阶宽度不小于 2.0 m；
- 堆体顶部和各级平台应建立完整的封场覆盖系统，I 类场可直接覆盖土层，II 类场封场覆盖系统自下而上应依次包括阻隔层、雨水导排层、覆盖土层。如果存在排放气体，应在阻隔层以下设置排气层；
- 阻隔层可采用改性压实粘土类材料或具有同等以上隔水效力的其他材料，其防渗性能应至少相当于渗透系数为  $1.0 \times 10^{-7}$  cm/s 且厚度为 0.40 m 的压实粘土层。最终覆盖土层的厚度视拟种植物种类及其对阻隔层可能产生的损坏确定；
- 封场后，仍需对覆盖层进行维护管理，防止覆盖层不均匀沉降、开裂。

8.1.3 应建立地表水导排系统，确保覆盖区外的地表水不进入覆盖区，减少渗滤液产生量。

8.1.4 封场后应设置标志物，注明封场时间及使用该土地时的注意事项。

### 8.2 生态修复模式与技术要求

#### 8.2.1 修复模式

应根据国土空间功能属性选择修复模式。位于生态空间区域的 I、II 类场地和农业空间、城镇空间的 II 类场地，修复模式应复垦为林草地；位于农业空间区域的 I 类场地，修复模式宜优先考虑农业生产功能，“宜耕则耕、宜园则园”；位于城镇空间区域的 I 类场地，修复模式可复垦为建设用地。

## 8.2.2 质量控制标准

土地复垦质量控制标准应满足 TD/T 1036 的规定。

### 8.2.3 林草地修复模式技术要求

8.2.3.1 应按照不同立地类型分别采取相应的措施，重建土壤-有机质系统，以构建稳定的植物群落。填埋场地覆盖土层厚度应视拟种植物种类及其对阻隔层可能产生的损坏确定。

8.2.3.2 局部未修整的大于  $45^\circ$  的岩质陡坡，可采取人工成穴（孔）、植生槽组合植生袋（棒）技术，植物群落类型宜为藤灌型，选用常绿、固氮能力好的豆科类物种。生长基质中有机质含量宜大于 20%。

8.2.3.3 坡度  $30^\circ \sim 45^\circ$  的岩质边坡，宜采取喷播技术，植物群落类型宜为乔灌型，选用落叶量较大、固氮能力较好的物种。生长基质中有机质含量宜为 8%~16%。

8.2.3.4 填埋场区域，可采取穴栽或喷播技术，I 类场植物群落类型宜为乔灌型，II 类场植物群落类型宜为灌草型。植物选择应遵循因地制宜、乡土适生、碳汇能力强、构建近自然植物群落的原则，并符合下列规定：

- 抗旱、抗瘠薄、抗病虫害能力强，适应在恶劣环境中生长；
- 根系发达，萌芽能力强，能够有效固定土壤、防止水土流失；
- 对填埋固废有一定的耐受性和修复能力；
- 成活率高，繁殖能力强；
- 城镇空间区域应考虑景观效果。

### 8.2.4 农用地修复模式技术要求

8.2.4.1 I 类场固体废物重金属和有机物含量满足 GB 15618 的农用地土壤污染风险筛选值时，可直接进行土壤重构；满足 GB 15618 的农用地土壤污染风险筛选值和管控值之间时，应先采用封场阻隔层后再进行土壤重构，厚度不小于 0.6 m。

8.2.4.2 重构土壤应满足 GB 15618 的农用地土壤污染风险筛选值要求。

8.2.4.3 农用地修复设计应包括耕作田块和高程布置的土地平整设计以及灌溉与排水、田间道路等辅助工程设计，农作物产量三年后应达到周边农地同等水平。

8.2.4.4 修复的农用地应进行土壤环境监测和农产品协同监测，存在食用农产品质量不符合食品安全质量标准、土壤污染风险时，应禁止种植食用农产品、退耕还林等管控措施。

### 8.2.5 人工湿地修复模式技术要求

I 类场固体废物未回填充分，存在凹陷时，可修复为人工湿地，并满足如下技术要求：

- 应对补给量（降雨量、汇水量）与蒸发量、渗漏量进行盈亏分析，论证其可行性；
- 应根据水文地质条件和填埋固废特征，进行湿地水质污染评价，必要时采取隔离、防渗、水质处理等措施，确保对周边水土不产生污染；
- 防洪设计标准宜满足 20 年一遇工况，且在流速较大区域采取覆盖、防冲蚀处理措施，避免引起固体废物随水流溢出场地；
- 采用组合式生态功能湿地系统，合理布置集水、布水系统；根据进水水质，优选功能性填料；填料孔隙率不低于 35%；
- 选择适宜于当地气候条件的水生、湿生植物，根据水深合理配置挺水植物、浮水植物和沉水植物，禁止外来物种。

## 8.3 建设用地修复模式技术要求



I 类场地地形较平坦，可修复为建设场地，应采用阻隔、固体废物胶凝固化充填、地基处理等措施，以满足污染管控、地基和下卧层承载力要求；施工过程中的渣土应按照一般工业固体废物处置要求满足污染控制标准。

## 9 安全与环境监测

### 9.1 主体工程安全监测

#### 9.1.1 监测内容

应包含坝体位移、坝体沉降、坝体倾斜及固废堆体内部水位监测。碾压式土石坝的监测应符合 DL/T 5395、DL/T 5259 的规定。

#### 9.1.2 回填期间监测

9.1.2.1 回填作业施工期间，露采坑边坡和堆填体应巡视检查，宜每天 1 次，遇暴雨等特殊情况时加密巡视。

9.1.2.2 分层堆填作业期间，施工单位自行对堆填体变形、坡度、密实度进行观测和检测，满足设计要求时方可进行上层回填；当回填至拦挡坝设计高度的 80% 时，坝体变形监测频率每月不宜少于 2 次，遇暴雨、有感地震等情况时，应加大监测频率。

9.1.2.3 回填至设计高程、沉降相对稳定后，方可进行封场和土地复垦。

#### 9.1.3 封场后监测

封场后应对拦挡坝稳定、堆体变形进行长期监测，监测时间不宜少于 5 年。前 2 年期间监测频率每 2 个月不宜少于 1 次，第三年后监测频率每年不宜少于 2 次，直至稳定；发现异常情况，应加密监测频率、延长监测年限。

### 9.2 地下水监测要求

#### 9.2.1 监测井布置

9.2.1.1 应根据场地水文地质条件，以及时反映地下水水质变化为原则，布设地下水监测系统。至少应设置地下水监测井（点）如下：

- 对照井 1 眼，布设在回填场外地下水流向的上游 30 m~50 m 处；
- 排水井 1 眼，布设在地下水导排系统集中出水口处（针对设置有地下水导排系统的）；
- 污染扩散井 2 眼，分别布设在垂直于地下水走向的两侧各 30 m~50 m 处；
- 污染监视井 2 眼，分别布设在回填场地下水流向下游 30 m~50 m 处，以及下游最有可能影响区域；
- 岩溶地区，应加大下游监测井布设密度，监测井的位置、深度应根据岩溶发育特征进行针对性布置；并对填埋场地下岩溶系统下游所有出露的泉水作为监测点。

9.2.1.2 在填埋场投入使用前应测量地下水环境质量本底值。

#### 9.2.2 监测内容

地下水常规水质监测因子按 HJ/T 164 的规定，并应根据入场固废的特点增加相应特征污染因子。填埋场运行期及封场后以特征污染因子监测为主。

#### 9.2.3 监测频率

9.2.3.1 回填过程期间，监测频率每月 1 次；当监测数据能够说明填埋场防渗效果良好且运行稳定时，采样频率每 2 个月 1 次；

9.2.3.2 填埋场封场后每年按枯、平、丰水期各监测 1 次，直到地下水水质连续 2 年不超出地下水本底水平。

### 9.3 地表水监测要求

#### 9.3.1 监测断面布置

应根据填埋场地下水系统与周边地表水的水力联系情况设置地表水监测断面，数量不得少于 2 个，并监测地表水本底值：

- 在填埋场上游一定范围内布置监测背景断面；
- 在填埋场下游一定范围内布置污染监控断面；
- 如果填埋场区域水文地质条件复杂，地下水通道较多、流向复杂时，应根据区域水文地质调查结果，增加下游影响河段的监测断面数量。

#### 9.3.2 监测内容

地表水常规水质监测因子应至少包括pH、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷等常规因子，并应根据一般工业固体废物特点增加相应特征污染因子。

#### 9.3.3 监测频率

地表水监测频率每年不应少于 2 次，遇暴雨、水质异常等情况时，应加大监测频率。

#### 9.3.4 监测机构

建设单位应委托有资质的监测机构，按环境监测计划定期开展地下水和地表水监测。

### 9.4 大气监测要求

9.4.1 无组织气体排放的监测因子由企业根据处置废物的特性提出，必须具有代表性且能表征固体废物特性。采样点布设、采样及监测方法按 GB 16297 的规定执行，污染源下风方向应为主要监测范围。

9.4.2 运行期间，企业自行监测频次至少每季度 1 次。如监测结果出现异常，应及时进行重新监测，间隔时间不得超过 1 周。

### 9.5 土壤监测要求

9.5.1 在主导风向下风向及露天采坑下游周边雨水易于汇流和积聚的区域布设土壤监测点，点位不应少于 4 个。

9.5.2 土壤监测因子根据填埋废物的特性提出，必须具有代表性且能表征固体废物特性。土壤监测因子的分析方法按 GB 36600 的规定执行。

9.5.3 回填期间，土壤监测点的自行监测频率不少于每年 2 次；生态修复后每年监测 1 次，直到土壤监测因子趋于稳定。

### 9.6 生态修复效果监测与管护

生态修复效果与管护依据 TD/T 1070（所有部分）的规定执行。

## 10 竣工验收

## 10.1 竣工验收程序

10.1.1 竣工验收委员会设主任委员 1 名，副主任委员以及委员若干名。主任委员由验收主持单位代表担任，委员会由验收主持单位、有关地方人民政府和部门、有关行政主管部门、投资方和邀请的专家组成。

10.1.2 专家组成员不少于 5 名，一般 5 名~7 名，由相关专业技术和经济或管理专家组成，专家组成员应具备副高级以上专业技术职称，专业技术专家人数比例不少于 2/3。

10.1.3 项目法人、勘察、设计、监理、监测、施工等单位应派代表参加竣工验收，现场解答竣工验收委员会提出的问题。

10.1.4 竣工验收会议程序包括：现场查看工程建设情况和查阅有关资料，听取各参建方管理工作与施工质量等报告以及竣工验收委员会确定的其它报告。验收委员会质询后，专家组提出竣工验收意见并讨论通过。

## 10.2 验收内容

应建立档案管理制度，并按照国家档案管理等法律法规进行整理与归档，永久保存。档案资料主要包括但不限于以下内容：

- 项目选址的可行性研究报告及其地市级生态环境主管部门批复文件；
- 勘察、施工图设计（含变更设计）、施工报告、监理报告、竣工图等文件；
- 施工、监理等工程质量过程控制与验收资料；
- 一般工业固体废物的来源、种类、污染特性、入场台账和回填位置等资料；
- 各种污染防治设施运行台账及检查维护资料；
- 渗滤液、收集水总量以及渗滤液、收集水处理设备工艺参数及处理效果记录资料；
- 生态恢复及后期环境监测、应急处置等管理资料。

## 10.3 验收标准

10.3.1 地基与基础验收应符合 GB 50202 的规定。

10.3.2 拦挡坝验收根据坝型应符合 GB 50203、GB 50204 的规定。

10.3.3 防渗工程与地下水导排、渗沥液收集与处理应符合 6.4 的要求。

10.3.4 生态修复验收除满足本规范第 8 章的要求外，尚应满足 DT/T 1306 的规定。

10.3.5 地质灾害治理工程、场内道路与配套工程验收应符合现行国家、行业和安徽省有关标准的规定。

10.3.6 安全及环境监测除应符合第 9 章的要求外，尚应符合现行国家、行业和安徽省有关标准的规定。

附 录 A  
(资料性)  
水文地质参数测定方法

水文地质参数的测定方法选择见表A. 1。

表A. 1 水文地质参数的测定方法

参数	测定方法
水位	钻孔、探井或测压管观测
渗透系数、导水系数	抽水试验、注水试验、压水试验、室内渗透试验
给水度、释水系数	单孔抽水试验、非稳定流抽水试验、地下水位长期观测、室内试验
越流系数、越流因数	多孔抽水试验（稳定流或非稳定流）
单位吸水率	注水试验、压水试验
毛细水上升高度	试坑观测、室内试验



附 录 B  
(资料性)  
边坡地质结构分类

B.1 边坡岩体结构类型划分见表 B.1。

表B.1 边坡岩体结构类型划分

边坡岩体结构类型	岩体地质类型	结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特性	边坡工程问题
整体状结构	巨块状岩浆岩、巨厚层沉积岩、正变质岩	巨块状	以原生结构节理为主，多呈闭合型，裂隙结构面间距大于 1.5 m，一般不超过 1 组~2 组，无危险结构面组成的落石掉块。整体性强度高，岩体稳定，可视为均质弹性各向同性体。	整体性强度较高，结构面相互牵制，岩体基本稳定，接近弹性各向同性体。	不稳定结构体的局部滑动
块状结构	厚层状沉积岩、正变质岩、块状岩浆岩、副变质岩	块状柱状	只具有少量贯穿性较好的节理裂隙，裂隙结构面间距 0.7 m~15 m，一般为 2 组~3 组。	整体性强度较高，结构面相互牵制，岩体基本稳定，接近弹性各向同性体。	
层状结构	多韵律的薄层及中厚层状沉积岩、副变质岩	层状板状	有层理、片理、节理，常有层间错动。	接近均一的各向异性体，其变形及强度特征，受层面及岩层组合控制，可视为弹塑性体，稳定性较差。	可能产生滑塌，岩层弯张破坏及软弱岩层的塑性变形。
碎裂状结构	构造影响严重的破碎岩层	碎块状	断层、断层破碎带、片理、层理及层间结构面较发育，裂隙结构面间距 0.25 m~0.5 m，一般在 3 组以上。	完整性破坏较大，整体强度很低，并受断裂等软弱面控制，多呈弹塑性介质。	易引起规模较大的岩体失稳，地下水加剧岩体失稳
散体状结构	构造影响剧烈的断层破碎带，强风化带，全风化带	碎屑状、颗粒状	断层破碎带交叉，构造及风化裂隙密集，结构面及组合错综复杂，并多充填黏性土，形成环，岩体属性接近松散介质。	完整性遭到极大破坏，岩体属性接近松散介质。	

注：由火成岩遭受变质作用形成的变质岩称为“正变质岩”，由沉积岩遭受变质作用形成的变质岩称为“副变质岩”。

B.2 边坡岩体完整程度划分见表 B.2。

表B.2 边坡岩体完整程度划分

完整程度	定性划分					定量划分	
	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型	完整性指数 $K_v$	岩体体积结构面数 $J_v$ (条/ $m^3$ )
	组数	平均间距					
完整	1~2	>1.0	结合好或结合一般	节理、裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构	>0.75	<3
较完整	1~2	>1.0	结合差	节理、裂隙、层面	块状或厚层状结构	0.75~0.55	3~10
	2~3	1.0~0.4	结合好或结合一般		块状结构		
较破碎	2~3	1.0~0.4	结合差	节理、裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构	0.55~0.35	10~20
	$\geq 3$	0.4~0.2	结合好		镶嵌块状结构		
			结合一般		中、薄层状结构		
破碎	$\geq 3$	0.4~0.2	结合差	各种类型结构面	裂隙块状结构	0.35~0.15	20~35
		$\leq 0.2$	结合一般或结合差		碎裂状结构		
极破碎	无序		结合很差		散体状结构	<0.15	>35
<p>注：</p> <p>(1) 平均间距指主要结构面之间间距的平均值。</p> <p>(2) 岩体完整性指数<math>K_v=(V_R/V_p)^2</math>，<math>V_R</math>为弹性纵波在岩体中的传播速度，<math>V_p</math>为弹性纵波在岩块中的传播速度。</p> <p>(3) 岩体体积结构面数<math>J_v</math>，指岩体单位体积内的结构面数目(条/<math>m^3</math>)。</p> <p>(4) 定量指标<math>K_I</math>的测试与结构面结合程度的划分应符合现行国家标准(工程岩体分级标准)GB50218的有关规定。</p>							

附录 C

(资料性)

边坡岩体结构面测量要点

- C.1 测量人员应根据边坡中岩体结构的变化按分区逐条详细测线或按定向岩芯钻孔逐定向段进行结构面测量。
- C.2 地表详细测量应符合下列规定：
- a) 应选择无覆盖基岩露头进行结构面测量，临近最终边坡宜按不同方向均匀布置测线，在具有三度空间易于观测的部位布置测站，消除测量盲区，每一结构变化分区应至少有 3 条测线；
  - b) 测线长度应大于 20 m，露头面宽度应大于 4 m，每条测线所测节理数宜为 50 条~70 条；
  - c) 详细测线测量内容应包括：岩石类型、结构面类型、粗糙度、开合性、迹线长、结构面和测线交点到测线端点的距离，充填物类型和厚度，地下水状态，岩石硬度，并记录每条测线的坐标、方位、倾伏角等，所测内容均以数字和代码表示。
- C.3 定向岩心段测量应符合下列规定：
- a) 钻孔定向岩心结构面测量应自地表由浅入深地进行测量统计，然后将深度按岩性构造等基本相同的条件划分若干个区段，按区段进行岩心结构面的统计分析。
  - b) 在进行岩心结构面测量的同时，应进行钻孔岩心编录，主要内容应包括：岩心定名，岩心矿物成分、结构、构造、硬度、蚀变状况、风化程度、破碎状况，岩心结构面特征、孔口坐标、孔口至所描述定向岩心段的深度、钻孔的方位角和倾角等、测量岩心结构面的构造角  $\alpha$  和方位角  $\beta$  及通过钻孔测斜所获相应测量区段轴线的倾向和倾角。

附 录 D  
(资料性)  
边坡破坏模式分类

D.1 边坡破坏模式分类见表 D.1。

表D.1 边坡破坏模式分类

边坡地质结构类型		特征描述	边坡破坏模式
块状岩体边坡		岩体基本均一， $D_{50}/L_c \geq 0.02$	平面型 楔体型 倾倒型
层状岩体边坡	同倾边坡	$\alpha \leq 30^\circ$ ，层面摩擦角 $< \beta \leq$ 边坡角	平面型 折线型
	同倾斜向边坡	$30^\circ < \alpha \leq 75^\circ$ ，层面摩擦角 $<$ 组合滑面交线倾角 $\leq$ 边坡角	楔体型
	其他结构边坡	结构面组合不能直接控制边坡破坏	圆弧形 复合型
碎裂岩体边坡		层状或碎块状岩体， $D_{50}/L_c < 0.02$	圆弧形 复合型
散体介质边坡		强烈破碎、强风化岩体、软弱蚀变岩体、各类土体	圆弧形 复合型
<p>注：（1）<math>\alpha</math>—层面与坡面的倾向夹角（°）；<math>\beta</math>—层面倾角（°）；<math>D_{50}</math>—坡面50%块体块径（m）；<math>L_c</math>—可能发生变形破坏边坡的特征高度（m）。</p> <p>（2）变质岩片理面、板理面、对边坡稳定性具有控制性作用的断层面（带）、其他软弱面（带）按层面考虑。</p> <p>（3）较大规模和地质条件变化较大的边坡，应根据具体边坡地质结构变化情况分段划分类型，建立分析模型。</p>			

## 附录 E

(资料性)

## 入场一般工业固体废物分类要求

## E.1 准许入场类别包括：

- a) 钢铁冶炼等过程产生的冶炼废渣；
- b) 工业燃煤锅炉生产过程产生的粉煤灰、炉渣、脱硫石膏；
- c) 煤矸石；
- d) 尾矿；
- e) 废石；
- f) 其它满足相应要求的一般工业固体废物。

## E.2 基本技术要求应符合：

- a) 有机质含量小于 5%（煤矸石除外），测定方法按照 HJ 761 进行；
- b) 水溶性盐总量小于 5%，测定方法按照 NY/T 1121.16 进行。

## E.3 禁止入场类别包括：

- a) 列入《国家危险废物名录》的固体废物种类；
- b) 经 GB 5085（所有部分）、HJ 557 判定具有危险性的工业固体废物种类。
- c) 生活垃圾及 GB 16889 认定需要进入生活垃圾填埋场处理的固体废物种类；
- d) 经检测具有放射性的工业固体废物种类。

## 附录 F

(资料性)

## 截排水工程设计计算方法

## F.1 永久排水工程设计流量

## F.1.1 永久截(排)水沟设计排水流量应按下列式计算:

$$Q_m = 16.67 \phi q F \quad (\text{F. 1})$$

式中:

 $q$ ——设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度(mm/min); $\phi$ ——径流系数; $F$ ——汇水面积(km<sup>2</sup>)。

F.1.2 径流系数 $\phi$ 按表F.1的要求确定。当汇水面积内有两种或两种以上不同地表种类时,应按不同地表种类面积加权求得平均径流系数。

表F.1 径流系数 $\phi$ 参考值

地表种类	径流系数	地表种类	径流系数
沥青混凝土路面	0.95	起伏的山地	0.60~0.80
水泥混凝土路面	0.90	细粒土坡面	0.40~0.65
粒料路面	0.40~0.60	平原草地	0.40~0.65
粗粒土坡面	0.10~0.30	一般耕地	0.40~0.60
陡峻的山地	0.75~0.90	落叶林地	0.35~0.60
硬质岩石坡面	0.70~0.85	针叶林地	0.25~0.50
软质岩石坡面	0.50~0.75	粗砂土坡面	0.10~0.30
水稻田、水塘	0.70~0.80	卵石、块石坡地	0.08~0.15

F.1.3 当工程场址及其邻近地区有10年以上自记雨量计资料时,应利用实测资料整理分析得到设计重现期的降雨强度。当缺乏自记雨量计资料时,可利用标准降雨强度等值线图及有关转换系数,按下式计算降雨强度:

$$q = C_p C_t q_{5,10} \quad (\text{F. 2})$$

式中:

$q_{5,10}$ ——5年重现期和10min降雨历时的标准降雨强度(mm/min),可按工程所在地区,查中国5年一遇10min降雨强度 $q_{5,10}$ 等值线图确定;

$C_p$ ——重现期转换系数,为设计重现期降雨强度 $q_p$ 同标准重现期降雨强度 $q_5$ 的比值( $q_p/q_5$ ),安徽省重现期3、5、10、15(年)分别为0.86、1.00、1.17、1.27;

$C_t$ ——降雨历时转换系数,为降雨历时 $t$ 的降雨强度 $q_t$ 同10min降雨历时的降雨强度 $q_{10}$ 的比值( $q_t/q_{10}$ ),按工程所在地区的查中国60min转换系数( $C_{60}$ )等值线图,由表F.2查取。

表F.2 降雨历时转换系数(Ct)表

C60	降雨历时t (min)										
	3	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120
0.30	1.40	1.25	1.00	0.77	0.64	0.50	0.40	0.34	0.30	0.22	0.18
0.35	1.40	1.25	1.00	0.80	0.68	0.55	0.45	0.39	0.35	0.26	0.21
0.40	1.40	1.25	1.00	0.82	0.72	0.59	0.50	0.44	0.40	0.30	0.25
0.45	1.40	1.25	1.00	0.84	0.76	0.63	0.55	0.50	0.45	0.34	0.29
0.50	1.40	1.25	1.00	0.87	0.80	0.68	0.60	0.55	0.50	0.39	0.33

## F.2 久截(排)水沟设计排水流量

F.2.1 降雨历时应取设计控制点的汇流时间,其值为汇水区最远点到排水设施处的坡面汇流历时 $t_1$ 与在沟(管)内的沟(管)汇流历时 $t_2$ 之和。当路面有表面排水要求时,可不计沟(管)内的汇流历时 $t_2$ 。

F.2.2 坡面汇流历时可按式计算:

$$t_1 = 1.445 \left( \frac{m_1 L_s}{\sqrt{i_s}} \right)^{0.467} \quad \text{..... (F.3)}$$

式中:

$t_1$ ——坡面汇流历时(min);

$L_s$ ——坡面流的长度(m);

$i_s$ ——坡面流的坡降,以小数计;

$m_1$ ——地面粗度系数,可按地表情况查表F.3确定。

表F.3 地面粗度系数 $m_1$ 参考值

地表状况	粗度系数	地表状况	粗度系数
光滑的不透水地面	0.02	牧草地、草地	0.40
光滑的压实地面	0.10	落叶林地	0.60
稀疏草地、耕地	0.20	针叶林地	0.80

F.2.3 计算沟(管)内汇流历时 $t_2$ 时,先在断面尺寸、坡度变化点或者有支沟(支管)汇入处分段,应分别计算各段的汇流历时后再叠加而得,并应按下式计算:

$$t_2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{l_i}{60v_i} \right) \quad \text{..... (F.4)}$$

式中:

$t_2$ ——沟(管)内汇流历时(min);

$n$ 、 $i$ ——分段数和分段序号;

$l_i$ ——第 $i$ 段的长度(m);

$v_i$ ——第 $i$ 段的平均流速(m/s)。

F.2.4 沟(管)平均流速 $v$ 按下列公式计算:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad \text{..... (F.5)}$$

$$R = A/X \quad \text{..... (F.6)}$$

式中:

$n$ ——沟壁(管壁)的粗糙系数,按表F.4确定;

$R$ ——水力半径(m);



$\chi$ ——过水断面湿周(m);  
 $I$ ——水力坡度,可取沟(管)的底坡,以小数计。

表F.4 排水沟(管)壁的粗糙系数(n值)

排水沟(管)类别	粗糙系数	排水沟(管)类别	粗糙系数
塑料管	0.010	植草皮明沟 ( $V=1.8\text{m/s}$ )	0.050~0.090
石棉水泥管	0.012	浆砌石明沟	0.025
铸铁管	0.015	浆砌片石明沟	0.032
波纹管	0.027	水泥混凝土明沟(抹面)	0.015
岩石质明沟	0.035	水泥混凝土明沟(预制)	0.012
植草皮明沟 ( $V=0.6\text{m/s}$ )	0.035~0.050	/	/

F.2.5 沟(管)平均流速 $v$ 也可采用下式估算:

$$V = 20i_g^{0.6} \dots\dots\dots (\text{F.7})$$

式中:  
 $i_g$ ——该段排水沟(管)的平均坡度。

F.3 具备超渗产流条件的梯田工程

坡面截排水沟设计流量计算可按式计算:

$$Q = \frac{F}{6}(I_r - I_p) \dots\dots\dots (\text{F.8})$$

式中:  
 $Q$ ——设计最大流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );  
 $I_r$ ——设计频率短历时暴雨( $\text{mm}/\text{min}$ );  
 $I_p$ ——相应时段土壤平均入渗强度( $\text{mm}/\text{min}$ );  
 $F$ ——坡面汇水面积( $\text{hm}^2$ )。