

ICS 07.060  
CCS Z 06

DB34

安徽 省 地 方 标 准

DB34/T 4756.1—2024

矿山生态修复规程 第1部分：设计与施工

Code of practice for ecological restoration of mine—Part 1: Design and construction

2024-04-15 发布

2024-05-15 实施

安徽省市场监督管理局 发布

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 基本要求 .....	2
4.1 设计 .....	2
4.2 施工 .....	3
5 地貌重塑 .....	3
5.1 一般要求 .....	3
5.2 削坡工程 .....	3
5.3 护坡工程 .....	4
5.4 支挡工程 .....	7
5.5 充填工程 .....	10
5.6 水域工程 .....	11
5.7 水源工程 .....	12
5.8 整理工程 .....	13
5.9 排水工程 .....	13
5.10 节水灌溉工程 .....	15
5.11 道路工程 .....	16
5.12 安全防护工程 .....	17
6 土壤重构 .....	18
6.1 一般要求 .....	18
6.2 污染修复 .....	18
6.3 覆土再造 .....	19
6.4 土壤改良 .....	19
7 植被重建 .....	20
7.1 一般要求 .....	20
7.2 栽植 .....	21
7.3 播种 .....	21
7.4 自然恢复 .....	22
8 生物多样性保护 .....	22
8.1 设计 .....	23
8.2 施工 .....	23
9 生态监测 .....	23
9.1 设计 .....	23

9.2 监测 .....	23
10 适应性管理 .....	24
附录 A (规范性) 矿山生态修复模式和技术确定依据 .....	25
附录 B (资料性) 修复绩效目标推荐 .....	26
附录 C (规范性) 挡墙适用条件与设计要求 .....	27
附录 D (资料性) 常用土壤改良材料推荐 .....	28
附录 E (资料性) 常见适生植物推荐 .....	29
附录 F (规范性) 植被重建设计及施工要求 .....	31
附录 G (规范性) 生态监测 .....	34
参考文献 .....	35

## 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。

本文件是 DB34/T 4756《矿山生态修复规程》的第1部分。DB34/T 4756 已经发布了以下部分：

- 第1部分：设计与施工；
- 第2部分：质量检验与评定；
- 第3部分：工程验收。

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。

本文件由安徽省自然资源厅提出并归口。

本文件起草单位：安徽省公益性地质调查管理中心（安徽省地质调查与环境监测中心）、安徽省地勘局第一水文工程地质勘查院、安徽省地质矿产勘查局三一二地质队、安徽省自然资源厅国土空间生态修复处。

本文件主要起草人：吴泊人、崔伟、郑立博、赵国红、王旭东、敬海霞、陈雪梅、张刘柱、倪明芳、夏登云、陈东风、王晓明、潘茜、笪久林、潘国林、傅海洋、陈戈、项力、刘海、黄健敏、宋阳、李迎春、管政亭、张人安、梅小元。

## 引　　言

为提升矿山生态修复工程质量，规范矿山生态修复工作行为，制定了 DB34/T 4756《矿山生态修复规程》。

矿山生态修复主要针对矿产资源开采活动结束后的矿山，涵盖设计、施工、检验、验收的全过程。DB34/T 4756 旨在确立普遍适用于矿山生态修复工作的行为规范，由以下三个部分组成。

——第1部分：设计与施工。目的在于确立适用于矿山生态修复设计与施工需要遵守的总体原则、工作思路、技术流程、工作方法和相关规则等；

——第2部分：质量检验与评定。目的在于确立适用于矿山生态修复质量检验与评定总体原则、相关规则和可操作、可追溯、可证实的程序等；

——第3部分：工程验收。目的在于确立适用于矿山生态修复工程验收各相关方广泛参与的层次结构、组织管理和运行要求等。

# 矿山生态修复规程 第1部分：设计与施工

## 1 范围

本文件确立了矿山生态修复工程设计与施工的基本要求，并规定了地貌重塑、土壤重构、植被重建、生物多样性保护、生态监测、适应性管理。

本文件适用于矿产资源开采活动结束后的矿山生态修复工程设计与施工，矿产资源开采过程中的矿山生态修复工程设计与施工可参照执行。

## 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/T 1040 塑料拉伸性能试验方法
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB 3838-2002 地表水环境质量标准
- GB 5084 农田灌溉水质标准
- GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
- GB 6722 爆破安全规程
- GB 11607 渔业水质标准
- GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB/T 15063 复合肥料
- GB/T 15163 封山（沙）育林技术规程
- GB 15618 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）
- GB/T 16422 塑料实验室光源暴露试验方法
- GB/T 20065 预应力混凝土用螺纹钢筋
- GB/T 20203 管道输水灌溉工程技术规范
- GB/T 30600 高标准农田建设通则
- GB/T 33891 绿化用有机基质
- 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 38360 裸露坡面植被恢复技术规范
- GB 50026 工程测量标准
- GB/T 50085 喷灌工程技术规范
- GB 50288 灌溉与排水工程设计标准
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB/T 50363 节水灌溉工程技术标准
- GB/T 50485 微灌工程技术标准
- GB/T 50600 渠道防渗衬砌工程技术标准
- GB 51180 煤矿采空区建（构）筑物地基处理技术规范
- GB 51192 公园设计规范

CJ/T 340 绿化种植土壤  
CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范  
CJJ/T 292 边坡喷播绿化工程技术标准  
HJ 555 化肥使用环境安全技术导则  
JGJ 79 建筑地基处理技术规范  
JGJ/T 408 建筑施工测量标准  
JT/T 516 公路工程土工合成材料土工格室  
JTG/T 3610 公路路基施工技术规范  
NY/T 525 有机肥料  
NY/T 1237 草原围栏建设技术规程  
NY/T 5361 无公害农产品淡水养殖产地环境条件  
TD/T 1012 土地整治项目规划设计规范  
TD/T 1036 土地复垦质量控制标准  
TD/T 1070.1 矿山生态修复技术规范 第1部分：通则  
DB34/T 1267 造林技术规程

### 3 术语和定义

TD/T 1070.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### **矿山生态修复 mine ecological restoration**

对因矿业活动导致生态系统受损、退化、服务功能下降的矿山实施地貌重塑、土壤重构、植被重建等措施，以消除生态胁迫、改善生态结构、提升生态功能、优化生态景观的系统性和综合性治理过程和活动。

[来源：TD/T 1070.1-2022，3.1，有修改]

#### 3.2

##### **地貌重塑 landform reshaping**

采取有效的工程技术措施对受损的地貌进行塑造，使之与周边环境相协调。

[来源：TD/T 1070.1-2022，3.5，有修改]

### 4 基本要求

#### 4.1 设计

4.1.1 矿山生态修复工程设计应在矿山生境条件调查、生态问题识别和诊断的基础上，按照整体保护、系统修复、综合治理的要求进行编制，并充分借鉴已有生态保护修复工程经验。

4.1.2 应遵循生态系统演替规律和内在机理，按照自然恢复为主、人工修复为辅原则，最大限度发挥自然修复能力，避免过度治理。

4.1.3 应尊重自然风貌，突出规划引领，依据国土空间和功能结构规划布局，确定矿山生态修复方向。宜林则林、宜耕则耕、宜水则水、宜建则建、宜荒则荒；以水定绿、以壤定植，以用定制。

4.1.4 应在矿山生态修复方向确定基础上，依据矿山生态修复难易程度，择优选择自然恢复、辅助再生、生态重建修复模式。

4.1.5 应综合考虑矿山受损生态系统生境条件、生态问题复杂程度、生态系统稳定性、经济技术可行

性等因素，科学选择地貌重塑、土壤重构、植被重建修复技术。矿山生态修复模式和技术选择按照附录A执行。

4.1.6 采用自然恢复模式时，应减少场地扰动、排除外界干扰、消除影响植被自然恢复的胁迫因子；采用辅助再生、生态重建模式时，应优先消除场地地质安全隐患。

4.1.7 存在水土污染时，应先行治理或协同治理，达到相关标准和要求后，再实施生态修复。

4.1.8 工程设计应达到施工图设计深度，设计包括地貌重塑、土壤重构、植被重建、生物多样性保护、生态监测、适应性管理等。

4.1.9 工程设计时应设定绩效目标。矿山生态修复工程（项目）绩效目标参照附录B提出。

## 4.2 施工

4.2.1 施工前应领会设计意图，熟悉设计要求；了解场地条件及工程施工的重点、难点及风险；编制施工组织设计、施工方案；开展安全教育培训和技术交底等。

4.2.2 工程施工需严格执行设计（方案）、合同及相关要求，按照批准的施工组织设计、施工方案等开展工作，在规定工期内保质保量完成修复任务，绩效目标应达到预定要求。

4.2.3 测量放线应符合 GB 50026 和 JGJ/T 408 的有关要求。临时设施设置应满足生物多样性保护要求，满足安全、环保和正常施工活动开展的需要。

4.2.4 配备的施工机械、设备、仪器应满足工程需要，仪器设备使用前需检验标定。施工所需的材料、构配件进场后应进行检验，分类存储与标识。

4.2.5 采用的施工方法应工艺成熟，经济合理，技术可行，安全有效。鼓励采用经验证的新技术、新材料、新工艺。

4.2.6 开展施工全过程生态监测，及时发现生态问题及潜在生态风险，并按照适应性管理要求，优化和改进设计（方案），调整或完善修复技术措施。

## 5 地貌重塑

### 5.1 一般要求

5.1.1 在消除地质安全隐患基础上，综合考虑矿山周边地貌景观特点、受损区域地形破坏程度，塑造一个与周边环境相协调的地貌。

5.1.2 地貌重塑工程措施包括但不限于削坡工程、护坡工程、支挡工程、充填工程、水域工程、水源工程、整理工程、排水工程、节水灌溉工程、道路工程、安全防护工程。

5.1.3 应按照科学合理、经济有效的原则选择地貌重塑工程，重塑后的地貌宜满足设计地类坡率限定标准的要求。产生的渣石（土）优先用于场地内的其他工程，剩余的尽可能资源化利用。

### 5.2 削坡工程

#### 5.2.1 设计

5.2.1.1 削坡工程措施包括危岩清除、浅表层变形体清除、削方减载、分台阶放坡，应结合排水、护坡、支挡、植被重建等措施进行设计。地质条件简单，具备放坡条件且不会对周边生态产生较大影响的边坡，宜优先采用削坡工程措施。

5.2.1.2 边坡存在下列情形的，削坡工程措施应与护坡、支挡等工程措施配合使用：

- a) 地下水发育的边坡；
- b) 存在外倾软弱结构面、软弱夹层、深层滑动面的边坡；
- c) 软弱土质边坡；

- d) 单独采用坡率法不能有效改善整体稳定性的边坡;
- e) 削坡减载对相邻近建(构)筑物有不利影响的边坡;
- f) 工程地质条件复杂的其他边坡。

5.2.1.3 削坡工程坡率允许值应根据工程经验，并结合已有稳定边坡的坡率值类比确定。无经验时，按照 GB 50330 有关要求确定。恢复植被的坡面，还须满足不同植被重建工程边坡坡率限定的要求。

5.2.1.4 土质边坡高度大于 8 m、岩质边坡高度大于 15 m 时，宜分台阶放坡。台阶级数、台阶高度、台阶宽度依据边坡整体稳定性和分级稳定性验算确定。单台阶高度：土质边坡不高于 8 m，岩质边坡不高于 15 m；台阶宽度：土质边坡不低于 3 m，岩质边坡不低于 2 m；台阶微内倾。设置多级台阶时，中间应留设宽台阶，土质边坡宽度不宜低于 6 m，岩质边坡宽度不宜低于 4 m。

## 5.2.2 施工

5.2.2.1 施工宜采用机械与人工开挖相结合的方式。涉及爆破作业的，应进行专项爆破设计，制订专项施工方案、安全方案及应急预案，符合 GB 6722 的有关规定。

5.2.2.2 施工应分区、分段进行，严禁超挖、欠挖、同一坡面上下同时开挖。不得先掏挖坡脚，不得扰动设计坡面之下的岩土体，不得影响周边及待开挖区域坡体的稳定性。

5.2.2.3 施工中发现影响坡体稳定性和施工安全的垮塌、变形等，应及时采取安全防护措施。施工产生的弃土、弃渣等应合理、有序堆放。

5.2.2.4 施工不宜雨天进行。开挖的新鲜面应及时防护，不宜长期暴露。雨季施工应做好开挖面的临时防水工作。

5.2.2.5 施工后的坡面应稳定、平顺，边线顺直，表面无松土、松石、险石，无倒坡。

## 5.3 护坡工程

### 5.3.1 设计

5.3.1.1 边坡整体稳定且坡面存在易风化、剥落、坍塌、掉块、冲蚀、干裂等岩土体时，应进行护坡。边坡整体欠稳定或存在不良地质因素时，应在治理后进行护坡。

5.3.1.2 护坡工程应综合考虑气候、水文、地形、地质条件，材料来源、场地条件等进行设计，优先采用工程与植被防护相结合的措施，条件许可时也可采用单一植被护坡措施。地表水和地下水较丰富边坡的护坡工程应结合截排水措施进行设计。

5.3.1.3 护坡工程包括砌体护坡、格构护坡、喷浆护坡、柔性防护网护坡、注浆护坡。

5.3.1.4 砌体护坡按下列要求进行：

- a) 砌体护坡适用于坡率缓于 1:1 的土质边坡和易风化岩质边坡；
- b) 砌筑材料可采用浆砌条石、块石、片石或混凝土预制块等。石料强度等级不应低于 MU30，预制块混凝土强度等级不应低于 C20，砌筑砂浆强度等级不应低于 M5.0；
- c) 浆砌块石、片石护坡厚度不宜小于 250 mm，混凝土预制块厚度不宜小于 150 mm，铺砌层下的碎石或砂砾垫层厚度不宜小于 100 mm；
- d) 砌体护坡应设置伸缩缝和泄水孔，在地基性状和护坡高度变化处应设置沉降缝，拐角处应采取加强构造；
- e) 采用空心混凝土预制块时，还需根据需要设置格构，空心预制块内填土植草。

5.3.1.5 格构护坡按下列要求进行：

- a) 浆砌片石或混凝土格构护坡适用于边坡坡率缓于 1:0.75 的土质边坡和全风化岩质边坡，以及坡率缓于 1:1 的潮湿或水土流失严重边坡。锚杆钢筋混凝土格构护坡适用于土质边坡和无不良结构面、风化破碎的岩质边坡；

- b) 浆砌片石或混凝土格构形式应根据降雨强度、边坡坡率、岩土体工程地质条件、材料来源、场地情况等确定。雨强较大地区的格构宜做成截水槽型，水槽断面尺寸根据降雨强度计算确定；
- c) 锚杆钢筋混凝土格构尺寸应根据边坡高度、岩土体工程地质条件等确定。多雨地区的格构上应设置截水槽，水槽断面尺寸根据降雨强度计算确定。格构混凝土强度不应低于 C25；
- d) 格构形式应与周围景观相协调，格构内宜植草复绿。

#### 5.3.1.6 喷浆护坡按下列要求进行：

- a) 喷浆护坡适用于坡率缓于 1:0.5 中等～未风化程度的易风化岩质边坡，不宜用于景观要求高的边坡；
- b) 采用砂浆喷护时，防护厚度不宜低于 50 mm；采用水泥混凝土喷护时，防护厚度不宜低于 80 mm。坡面应设置泄水孔和伸缩缝；
- c) 当边坡整体稳定，坡率满足允许值要求，坡面岩体破碎时，可采用锚喷护坡；
- d) I、II类岩质边坡可采用混凝土锚喷护坡，III类岩质边坡宜采用钢筋混凝土锚喷护坡，IV类岩质边坡应采用钢筋混凝土锚喷护坡。岩质边坡分类按照 GB 50330 执行；
- e) 锚喷护坡采用全粘结锚杆，锚固深度 1 m～2 m，锚杆采用行列式或菱形排列，倾角宜 15°～25°，且不应大于 45° 和小于 10°。可采用单层钢筋网，锚杆间距 150 mm～200 mm。喷射混凝土强度等级不应低于 C25，混凝土喷层厚度不低于 80 mm，钢筋保护层厚度不应低于 20 mm。

#### 5.3.1.7 柔性防护网护坡按下列要求进行：

- a) 柔性防护网护坡适用于整体稳定坡体上危岩的加固，落石的拦截、运动轨迹和停积范围的引导或控制。柔性防护网分为主动防护网、被动防护网和引导防护网；
- b) 柔性防护网类型选择及其工程设计应在危岩落石勘查与评价基础上，综合考虑防护对象重要性、柔性防护网的结构与功能特性、技术经济条件等因素；
- c) 条件复杂的斜坡，应根据危岩落石分布特点、地形起伏特征，分区、分高程段进行柔性防护网类型选择和相应设计，或与其他防护措施配套设计；
- d) 选用的材料或构件应满足防护网系统承载力及工程设计使用年限防腐蚀要求。当主网网孔尺寸不能兜住尺寸较小危岩时，应增加较小网孔尺寸的格栅网；
- e) 采用全长粘结锚杆或混凝土基础埋置锚杆，与钢丝绳类构件端部相连接的锚杆宜采用锚头有连接环套的柔性锚杆；主动防护网、引导防护网用锚杆和被动防护网用柔性锚杆的锚固段长度不应小于 1.5 m，被动防护网钢柱基座锚固锚杆的锚固段长度不应小于 0.6 m；水泥砂浆或水泥浆注浆强度等级不应低于 M20，混凝土基础强度等级不应低于 C20；
- f) 主动防护网宜用于坡面条件简单，坡度不大于 75° 的斜坡，设计宜采用工程类比法。采用梅花形和矩阵式锚固网型时，网域覆盖范围应超出危岩落石分布区域的上缘和两侧 2 m 以上，坡脚 1 m 高度范围内不布置；锚杆轴向宜垂直于坡面，轴向拉力设计值 50 kN～80 kN，长度宜为 2 m～3 m；
- g) 被动防护网的防护能级、高度、位置、范围和数量应依据落石轨迹和运动参数的计算结果进行设计；危岩落石威胁区域边界宜采用三维危岩落石数值分析方法确定；
- h) 被动防护网应布置在落石冲击动能、弹跳高度和生态破坏较小处；单道被动防护网宜沿同一高程布设，防护网两侧各自延伸长度应超出危岩落石散布宽度 5 m 以上，长度较大时支撑绳应分段设置；当防护网不能沿同一高程布设时，宜分高程分段设置，相邻防护网顺坡投影重叠长度应超过 5 m。柔性锚杆轴向宜沿其所受拉力方向设置，钢柱基座的法向锚杆轴向与钢柱间夹角不宜超过 15°；

- i) 引导防护网用于坡面条件简单且坡长小于 100 m 的斜坡时，宜采用工程类比法进行设计；用于坡面条件复杂或坡长超过 100 m 的斜坡时，可依据覆盖部分防护网构件荷载估算、承载能力检算，以及拦截部分落石冲击动能、弹跳高度、防护网防护能级标准值计算结果进行设计；
- j) 引导防护网拦截部分可设置在危岩落石弹跳高度相对较低处，两侧延伸长度应超过所在位置处落石散落宽度 5 m 以上。覆盖式引导防护网覆盖范围，宜超过潜在危岩落石区上缘 3 m 以上，两侧 2 m 以上，坡脚 0.5 m 高度范围内不布置。

#### 5.3.1.8 注浆护坡按下列要求进行：

- a) 注浆护坡适用于稳定岩质边坡上局部裂缝（含洞穴）的充填、灌注和封闭，软弱层带的注浆加固，以及松散堆积体的灌浆固结；
- b) 注浆护坡的注浆质量指标、注浆范围等应在现场调查基础上，根据边坡工程特点和加固目的，以及地质条件、施工条件、注浆对边坡稳定性的影响等确定；
- c) 注浆护坡设计参数、工程施工方法及设备检验宜通过室内浆液配比试验和现场注浆试验确定，也可根据工程经验类比确定。

### 5.3.2 施工

#### 5.3.2.1 砌体护坡按下列要求进行：

- a) 应按坡面平整度及密实度设计要求整平坡面，存在坑洞的应预先填补，无明显外凸内凹现象后方可进行砌体护坡；
- b) 条石、块石、片石砌筑材料应采取座浆法施工，预制块应错缝砌筑；砌筑的护坡面应平顺，并与相邻坡面顺接；
- c) 砌筑砂浆初凝后立即进行养护，终凝前砌块应覆盖保护；
- d) 砌体护坡施工具体按照 GB 50330 执行。

#### 5.3.2.2 格构护坡按下列要求进行：

- a) 格构施工前应修整坡面，填补坑洞、空腔等；
- b) 采用浆砌石或混凝土格构护坡时，应从坡脚由下而上进行施工；骨架应嵌入坡面，与坡面紧贴，相邻骨架间平顺衔接；
- c) 采用锚杆钢筋混凝土格构护坡时，格构可嵌置于边坡中或上覆在边坡上；钢筋应无污染和锈蚀，可现场制作与安装；锚杆孔用凿岩机或轻型钻机造孔，锚杆入孔前应洗孔，除锈、除油；压力注浆应加止浆环，砂浆强度不低于 M25，注浆后拔出注浆管；
- d) 混凝土现场浇注时，应架设模板，按设计要求留置施工缝；混凝土浇筑完成后应及时养护，养护时间不少于 14 天；
- e) 格构内按设计要求覆土和种植植物；植草皮的，草皮下宜铺设 50 mm~100 mm 厚的种植土，草皮应与坡面和骨架密贴。

#### 5.3.2.3 喷浆护坡按下列要求进行：

- a) 施工前应整形坡面，清除坡面浮石、浮渣和浮土，处理后的坡面宜平缓、顺直、密实；
- b) 采用砂浆喷护时，应自下而上进行；施工结束后，及时封闭喷浆层顶部；
- c) 采用水泥混凝土喷护时，应通过试喷选择合适的水灰比和喷射压力，分层自下而上喷射混凝土；厚度大于 100 mm 的混凝土宜分两次喷射，并在混凝土面层长度方向上每隔 30 m 设 10 mm~20 mm 宽的伸缩缝；
- d) 采用混凝土锚喷护坡时，锚杆应嵌入稳固基岩内，锚杆孔深应超过锚杆长度 200 mm；固定锚杆的砂浆应捣鼓密实；钢筋网应与锚杆牢固连接，与岩面间隙 30 mm~50 mm；混凝土宜分层喷射，钢筋网铺设前喷射一层，铺设后再喷射至设计厚度；混凝土厚度应均匀，钢筋及锚杆不得外露；

e) 砂浆、混凝土初凝后应立即养护，养护期不少于 7 天。

#### 5.3.2.4 柔性防护网护坡按下列要求进行：

- a) 施工前，应清除阻碍工程施工、威胁施工作业安全的局部突起体、孤危石等；
- b) 主动防护网系统应按造锚杆孔、安装锚杆、安装纵横向支撑绳、挂网、缝合的工序施工。坡面局部凹陷处应增设锚杆；纵横向支撑绳应与锚杆外露环套逐个连接固定；挂网自上而下进行，挂两层网时，先挂小孔径网，后挂大孔径网；缝合从上向下进行，缝合绳应与网绳固定联结，缝合牢固，网绳与坡面间紧密贴合；
- c) 被动防护网系统应按施工基座锚杆、安设钢柱和锚杆、安设支撑绳及附件、挂网的工序进行。支撑绳安装完成后应用绳卡等固定，侧拉索应在上拉绳安装好后进行，柔性网应用缝合线固定。上支撑绳的下垂度不应大于柱间距的 3%，下支撑绳、柔性网底边应与地面紧贴；
- d) 覆盖式引导防护网和张口式引导防护网覆盖部分参照主动防护网系统施工，张口式引导防护网拦截部分参照被动防护网系统施工；当柔性网能借助自重附着于坡面且与上缘支撑绳间采用缝合方式连接时，宜按施工锚杆、安装上缘支撑绳、铺挂格栅网片（有时）、安装柔性网的工序进行；当柔性网与上缘支撑绳间采用穿挂方式连接时，上边缘排柔性网应与上缘支撑绳同时安装。

#### 5.3.2.5 注浆护坡按下列要求进行：

- a) 裂缝（含洞穴）充填注浆宜采用无压充填方式分序次进行，从较低端开始灌注水泥砂浆或高流态混凝土，浆体初凝后，再从低到高依次推进，单次填充高度不宜超过 2.0 m；
- b) 软弱层（带）压力注浆宜自上而下分段进行，可采用以水泥为主剂的浆液，注浆压力以不掀动岩体为原则；
- c) 松散堆积体固结灌浆可采用以水泥为主剂的浆液，先疏后密，逐渐加密的方式进行；注浆压力不应超过注浆点位置处覆盖层自重压力与外加荷载压力之和；
- d) 注浆施工前应通过注浆试验优化注浆参数，注浆区域较大或地质条件复杂时，注浆试验不少于 3 处；采用梅花形布孔，孔距宜 1.0 m~3.0 m，渗透性差的孔距适当缩小；注浆所用水泥强度等级不应低于 42.5；以提高软弱层（带）抗剪强度为目的时，注浆深度应穿过软弱层（带）底板以下 3.0 m；注浆结束后，应检查注浆效果。

### 5.4 支挡工程

#### 5.4.1 设计

5.4.1.1 支挡工程适用于存在外倾软弱结构面、软弱夹层、深层滑动面的边坡，以及放坡后整体欠稳定或不稳定的边坡。主要包括挡墙、抗滑桩、预应力锚杆（索）。

5.4.1.2 支挡工程设计应在查明区域地质构造、工程地质条件、防护对象重要性及施工环境等基础上进行。

5.4.1.3 支挡结构设计应能满足在各种设计荷载组合下的支挡结构稳定、坚固和持久的要求；类型选择应确保支挡工程安全、经济、施工方便。

5.4.1.4 支挡工程可与削坡、护坡、排水等工程措施综合设计、配合使用，应与周围生态景观相协调。

#### 5.4.1.5 挡墙按下列要求进行：

- a) 挡墙包括重力式挡墙、悬臂式挡墙、扶壁式挡墙和桩板式挡墙。挡墙类型选择应综合考虑工程地质条件、荷载作用情况、场地环境、施工条件等因素确定；
- b) 重力式挡墙应进行稳定性验算和截面设计；悬臂式和扶壁式挡墙应进行混凝土裂缝宽度验算、稳定性验算和构件的结构设计；桩板式挡墙桩间距、桩长和截面尺寸应根据岩土侧压力大小和锚固段地基承载力等因素确定，桩身按弯构件设计；

c) 不同类型挡墙适用条件及其设计要求应按照附录 C 执行。

#### 5.4.1.6 抗滑桩按下列要求进行:

- a) 抗滑桩适用于不稳定边坡、滑坡的支挡加固，宜设置于滑体厚度较薄、推力较小、嵌固段岩（土）体强度较高有利于抗滑的地段。桩体平面位置、桩间距、桩长和截面尺寸等应综合确定，不得出现滑坡体越过桩顶、从桩间滑动或产生新的深层滑动；
- b) 抗滑桩应采取动态设计和信息化施工。设计荷载包括滑坡体自重、孔隙水压力、渗透压力、地震力等；所受推力应综合考虑滑坡工程地质条件和变形活动特征，根据滑动面类型选用相应的推力公式进行计算；滑面以上的桩身内力应根据滑坡推力和阻力计算，滑面以下的桩身变位和内力应根据滑面处的弯矩、剪力和地基的弹性抗力进行计算；嵌固段长度应满足桩侧最大压应力不大于地基横向容许承载力的要求；
- c) 桩截面尺寸应根据滑坡推力大小、桩间距、嵌固段岩土体强度等确定，横截面宜为矩形，最小边宽度不宜小于 1.25 m，桩间距宜为 5 m~8 m。桩长宜小于 35 m，嵌固段应嵌入滑床中，约为桩长的 1/3~2/5；
- d) 桩身混凝土强度等级不应低于 C25，地下水位以下的混凝土强度等级不应低于 C30。纵向受拉钢筋直径不应小于 16 mm，净距不宜小于 120 mm，保护层厚度不宜小于 70 mm。箍筋宜采用封闭式，直径不宜小于 14 mm，间距不应大于 400 mm。桩的两侧和受压边，应配置纵向构造钢筋，其间距不应大于 300 mm，直径不宜小于 12 mm。桩的受压边两侧，应配置架立钢筋，直径不宜小于 16 mm。

#### 5.4.1.7 预应力锚杆（索）按下列要求进行:

- a) 预应力锚杆（索）适用于坡面较陡变形边坡的加固及滑坡体的主动抗滑，当遇全风化岩质边坡、土质边坡时，预应力锚杆（索）应与钢筋混凝土梁、格构或抗滑桩组合使用；
- b) 预应力锚杆（索）锚固段应置于稳定岩（土）体内一定深度，材料可根据锚固工程性质、锚固部位、工程规模进行选择，采用预应力钢筋或高强度低松弛的钢绞线，选型应综合考虑锚固段岩（土）体工程特性、锚固力大小、锚固长度及其施工工艺等因素；
- c) 预应力锚杆（索）设计时应进行锚固力、锚杆体截面积计算和抗拉稳定性、抗拔稳定性、锚固长度验算。锚固段长度、砂浆配合比、拉拔时间和造孔机具、钻具等应根据理论计算和工程类比以及拉拔试验等综合确定或选定。锚杆（索）间距应根据设计锚固力及锚固段的锚固能力确定。锁定锚固力根据坡体结构和变形状况确定，为设计锚固力的 30%~100%，条件良好的取高值；
- d) 锚固段间距宜为 3 m~6 m，不应小于 1.5 m。内锚段长度不宜大于 10 m。锚杆（索）倾角主要由施工条件确定。相邻锚杆（索）不宜等长设计。钢筋应符合 GB/T 20065 的要求，锚索钢绞线应符合 GB/T 5224 的要求，锚具应符合 GB/T 14370 的要求。

### 5.4.2 施工

#### 5.4.2.1 重力式挡墙按下列要求进行:

- a) 基坑宜分段开挖，严格控制基底高程，及时检验；
- b) 块石、条石挡墙应采用座浆法施工，尽可能选用表面干净较平整的石料，厚度不小于 150 mm；墙体应分层错缝砌筑，饱满填塞砂浆，外露面用 M7.5 砂浆勾缝。混凝土挡墙应分层连续浇筑，分层厚度不应大于 300 mm。施工完毕后及时养护；
- c) 砌体或混凝土强度达到设计强度的 75% 以上后进行墙后填土，填土宜采用透水性好、抗剪强度高的材料；当采用粘性土填料时，应在墙背设置厚度不小于 300 mm 的透水性材料反滤层，反滤层顶部应采用厚度不小于 500 mm 的粘性土层封闭；墙后填土应分层夯实，密实度应满足设计要求。当墙后地面横坡陡于 1:6 时，应在地面粗糙处理后再行填土；

- d) 伸缩缝、沉降缝、泄水孔应在砌筑过程中按设计施工，伸缩缝与沉降缝内两侧壁应竖直、平齐，无搭叠；泄水孔应排水通畅。

**5.4.2.2 悬臂式和扶壁式挡墙按下列要求进行：**

- a) 基坑应自上而下分层分段开挖，凸榫部分开挖与其同步进行；凸榫混凝土应与墙底板（墙趾板、墙踵板）同时浇筑，并在底板宽度方向上一次浇筑完成；
- b) 每段挡墙的墙趾板、墙踵板、悬臂板或立壁板和扶壁的钢筋应一次绑扎、安装成型，混凝土宜一次浇筑完成。悬臂式挡墙的悬臂板在高度方向上不宜间断，否则接缝处应按施工缝处理；
- c) 悬臂板或立壁板混凝土强度达到设计强度的 70% 后，方可进行墙后填筑，并应符合本文件 5.4.2.1 条 c) 款的规定；
- d) 墙趾板、墙踵板钢筋混凝土保护层厚度不应小于设计要求；混凝土浇筑完毕后应及时养护。

**5.4.2.3 桩板式挡墙按下列要求进行：**

- a) 应先施工桩，再施工挡土板。桩身混凝土应一次性连续浇筑，桩纵向钢筋接头不应设在土石分界、软弱夹层和滑动面位置处；
- b) 桩身混凝土强度达到设计强度后方可施工挡土板。滑坡地段桩间土应间隔开挖，挡土板应间隔施工；当采用预制挡土板时，预制挡土板应待其混凝土强度达到设计强度的 75% 以上方可进行吊装和运输；
- c) 施工挡土板时，应按设计要求同时施作防排水设施；挡土板后填土应符合本文件 5.4.2.1 条 c) 款的规定；
- d) 墙后填土若采用大型碾压机械填筑时，碾压机械距桩板后的距离应大于 2 m；桩板式挡墙设计有锚杆（索）时，不得碾压锚杆（索）。挡土板、桩身混凝土保护层厚度应符合设计要求；混凝土浇筑完毕后应及时养护。

**5.4.2.4 抗滑桩按下列要求进行：**

- a) 施工前，应平整孔口地面，设置好地表截（排）水及防渗设施，并根据滑坡变形、施工条件、桩体类型等合理安排施工工序，制定滑坡变形监测方案；
- b) 尽量避免雨季施工；桩孔开挖应从上至下、由浅及深分节进行，一次最大开挖深度宜为 0.5 m～1.0 m，垮塌严重地段宜先注浆后开挖；下一节桩孔开挖应在上一节护壁混凝土撤模后进行；桩群开挖应从两端向滑坡主轴方向隔桩进行，桩体混凝土浇筑 1 天后方可开挖邻桩；
- c) 桩孔开挖时应做好桩孔地质编录；开展滑坡变形、孔内地下水和有害气体，以及施工安全监测；发现问题应及时处理；
- d) 混凝土浇筑前，应检查桩孔基底及断面尺寸，凿毛混凝土护壁；钢筋笼宜预先绑扎成型，搭接接头不应设在土石分界、软弱夹层和滑动面位置处；混凝土应连续浇筑，地下水发育地段应按水下混凝土灌注法施工；钢筋保护层厚度应满足设计要求；
- e) 抗滑桩施工具体按照 JTG/T 3610 的规定执行。

**5.4.2.5 预应力锚杆（索）按下列要求进行：**

- a) 预应力锚杆（索）施工前应选择相同的地层进行拉拔锚固试验，试验根数为设计锚杆（索）数量的 3%，且不少于 3 根；锚杆（索）钻孔宜采用干钻施工，施工时应记录地层变化情况，核实设计的地层分界面、滑动面位置及锚杆（索）长度，发现问题及时调整设计。钻孔施工完成后，应吹净孔内粉尘，并覆盖孔口备用；
- b) 锚杆（索）宜现场制作，锚固段应清污、除锈；自由段、张拉段应防腐处理。锚杆、锚索束应顺直安放在钻孔中心，并保证锚固段长度；
- c) 注浆采用孔底注浆法，锚固段和自由段一次注满，自由段应外套塑料管。注浆材料宜采用普通硅酸盐水泥；当地层具腐蚀性或地下水具侵蚀性时，应采用抗侵蚀性水泥。注浆压力宜为 0.6 MPa～0.8 MPa，二次补浆宜在初凝前进行；

- d) 施工的混凝土垫墩应坚固、结实，墩孔轴线与钻孔轴线重合，顶面平整且与钻孔轴线垂直；垫墩旁预留补浆孔和排气孔；
- e) 锚杆（索）张拉应在锚固段砂浆强度达到设计强度 70% 后分两次进行，第一次张拉值为总张拉力的 70%，两次张拉间隔时间不宜少于 4 天；锚杆（索）张拉完成 7 天后，锚杆（索）张拉力和外观复查合格，方可切除多余的锚杆（索），锚固锁定；
- f) 封孔注浆采用纯水泥浆时，水灰比宜为 0.3~0.4；采用水泥砂浆时，水灰比宜为 0.5。张拉段注浆应在补偿张拉完成后立即进行，锚垫板及锚头各部分空隙也应用水泥浆灌满。封孔注浆完成后，锚头应涂防腐剂，并按设计要求进行封闭。预应力锚固性能试验和观测应按设计要求执行。

## 5.5 充填工程

### 5.5.1 设计

5.5.1.1 充填工程适用于采空塌陷、岩溶塌陷及其隐患区的治理，其设计应在地表稳定性评价基础上进行，综合考虑地下空区特点、岩土体工程地质条件、地表变形特征、施工条件、经济等因素。充填方法包括灌浆充填法、剥挖回填法。

#### 5.5.1.2 灌浆充填按下列要求进行：

- a) 灌浆充填法适用于地下空区的填充治理。灌浆充填设计参数、施工工艺、设备选用等宜通过室内浆液配比试验和现场灌浆试验确定，灌浆试验应位于代表性区段，试验孔数宜为设计总孔数的 4% 左右；
- b) 灌浆孔宜采用三角形布设，其间距应根据现场试验确定，有经验的地区也可根据经验类比确定，最大间距不宜大于 30 m；充填范围及深度根据地下空区松动边界确定；
- c) 灌浆材料宜以水泥、粉煤灰、粘性土等为主，条件允许时也可掺入砂、石屑、砾石、矿渣等粗骨料；灌浆材料的配合比应通过现场试验确定，浆液水固比宜取 1:1.0~1:1.3，水泥应占固相的 15%~35%，空区积水时水固比取小值；
- d) 灌浆孔终孔直径不宜小于 89 mm，需投入骨料的不应小于 110 mm。止浆位置应选择在孔壁围岩稳定、无纵向裂隙的地段；
- e) 灌浆压力以现场试验时不出现地表隆起为控制标准；灌浆终孔压力宜为灌浆压力的 1.5~2 倍。当达到灌浆终孔压力时，单位灌注量小于 50 L/min 且稳定 15 min 以上后灌注方可结束。

#### 5.5.1.3 剥挖回填按下列要求进行：

- a) 剥挖回填法适用于埋深小于 5 m 的岩溶塌陷、无重复开采采空塌陷及其隐患区治理。其设计应在调查基础上，依据空区特征，回填后的场地用途及其荷载特点、变形要求，以及施工条件、材料来源等综合确定。治理后的场地用于工程建设的，应在岩土工程勘察基础上进行专项设计；
- b) 岩溶塌陷及其隐患区处理范围不应小于空区及其平面影响范围之和，处理深度不应小于空区底板埋深；采空塌陷及其隐患区处理范围、处理深度依据 GB 51180 有关要求确定。对有顶板的空区，可在揭顶后再进行剥挖回填法施工，坡率允许值依据 GB 50330 有关要求确定；
- c) 回填材料应优先利用场地内的废土、废石、废渣，亦可选用块石、砂砾、碎石、粘性土、灰土、粉煤灰及其他工业废渣等。地下水位以下不宜采用素土、灰土等材料；有防渗要求时，不宜采用砂砾、碎石等材料。材料质量等级需严格控制，且应满足环保要求；
- d) 回填材料宜分层铺填、分层压实；分层铺填厚度宜为 200 mm~300 mm，分层压实标准依据 JGJ 79 提出。

### 5.5.2 施工

### 5.5.2.1 灌浆充填按下列要求进行：

- a) 灌浆充填可采用全孔一次性注浆、下行式注浆、分段上行式注浆方式进行。充填方式可依据空区层数、地质条件、联通情况、充填效果等合理选择。条件简单的单层空区可选用全孔一次性注浆方式充填。当空区范围较大或有裂隙与四周连通时，应先封堵再注浆；
- b) 注浆孔宜分 2 个~3 个次序间隔施工，钻进时应对孔内漏风、吸风、掉钻、塌孔、埋钻、水位变化等详细记录；钻至设计深度后冲洗钻孔，遇水软化、漏浆严重时不宜冲洗，应及时下入注浆管及止浆装置；
- c) 注浆应连续进行，灌注过程中应对注浆泵压、孔口压力、灌注量、浆液浓度等进行全程监控，发现问题应及时调整施工参数；
- d) 止浆装置达到设计要求后的注浆孔应及时注浆，并控制好与正在施工注浆孔的间距，防止孔间串浆；注浆结束后用水泥浆对孔口进行补灌，浆液达到孔口后方可封孔结束。

### 5.5.2.2 剥挖回填按下列要求进行：

- a) 剥挖施工前应明确设计的空区位置、开挖范围、开挖深度及放坡位置，制定严格的施工安全防范措施，设置临时截排水系统等；
- b) 开挖应在确保安全的条件下进行，应自上而下分层分段施工，逐级向侧翼扩展。采用基坑支护工程措施时，应做好支护措施的保护，严禁超挖。开挖过程中应超前探水，发现潜水或接近潜水位时，应先完成标高最低处的挖方；发现承压水时，应先抽水降压，待水位降至安全深度再继续开挖。发现与设计不符可能产生边坡失稳的岩土体时，应及时采取措施进行处理；
- c) 基坑周边严禁堆放弃土，开挖的弃土应堆放在距离基坑坡顶边缘大于 1.5 倍设计开挖深度的位置，斜坡地带不得位于基坑上坡向一侧。弃土宜按土方、石方分类堆放，留足回填需用的土（石），其余尽可能资源化利用；
- d) 剥挖回填前，应清除基底表面或基底洞穴内的杂物和巷道内的淤泥、废渣等，堵塞与外界联通的通道，排干地下水，并通过隐蔽工程验收。施工应按细-粗韵律间隔搭配回填，压实施工参数应根据材料类型、施工机械设备种类及设计要求等通过现场试验确定；不具备试验条件的，参照 JGJ 79 的有关要求选用。回填料压实度应满足设计要求；
- e) 在周边环境条件允许情况下，剥挖回填法也可采用爆破采空顶板并配合高能量强夯法施工，爆破安全执行 GB 6722 的有关要求。

## 5.6 水域工程

### 5.6.1 设计

5.6.1.1 水域工程适用于常年积水深度不低于 1.5 m 露天采坑、塌陷地的治理。水域工程设计应综合考虑气象水文、地形地貌、水源水质、工程地质和人文条件，以及矿山土地损毁特征、恢复地类等因素，且应与当地生态景观相协调。水域工程包括坑塘水面工程和水库水面工程。

5.6.1.2 水域面积小于 10 hm<sup>2</sup> 的可以作为坑塘水面予以利用，水域面积大于等于 10 hm<sup>2</sup> 的可作为水库水面予以利用。应尽可能保持水域的原真性、完整性与水文联通性；水质应符合 GB 3838-2002 中 IV 类及以上标准的要求；排水、防洪标准满足当地要求；水域周边设置树、草种植区。

5.6.1.3 坑塘水面用于成鱼养殖时，面积宜大于 0.33 hm<sup>2</sup>，水质应符合 GB 11607 的规定。水库水面用于增养殖时，水库环境应符合 NY/T 5361 的规定，水质应符合 GB 11607 的规定。

5.6.1.4 岸坡不稳定时，应进行专项防护工程设计或清除不稳定的岩土体，并设置安全防护设施。

### 5.6.2 施工

5.6.2.1 施工前应整治水域及其周边环境，确保生态安全、水质满足设计要求。用于鱼类增养殖的水库，按 NY/T 5361 要求整治环境。

5.6.2.2 实施削坡、护岸、岸周整理、水系联通、道路建设、景观整治等工程，其质量应满足设计要求。用于渔业养殖的坑塘，应按水产养殖池塘建设标准要求进行塘底修整、塘埂建设等。

5.6.2.3 水域周边种植的植物种类、品种名称及规格应符合设计要求，树木栽植成活率不低于 85%，地被覆盖度不应低于 95%。安全标志牌应直观醒目、直立不倾斜，防护栏整体应垂直、平顺、牢固无松动。质量应符合相关产品标准的规定。

## 5.7 水源工程

### 5.7.1 设计

5.7.1.1 水源工程主要适用于灌溉水源缺乏场地的地表水蓄积或地下水抽取，包括塘堰、蓄水池、水井及其组合。水源工程形式应根据水资源条件、灌溉规模及综合利用要求等比选确定。

5.7.1.2 水源工程规模应根据灌溉设计保证率、水资源可利用条件、灌溉用水量等计算，经技术经济比较后确定。灌溉水质应符合 GB 5084 的要求。

5.7.1.3 塘堰可利用常年或季节性流水的沟谷筑坝蓄水构建，容积宜在 10 万  $m^3$  以下，坝高不宜高于 10 m。

5.7.1.4 蓄水池宜选址于地质条件良好，地基具有较高承载和防渗能力的区域，渗透性较高地基应作防渗处理。蓄水池容积宜为  $50 m^3 \sim 1000 m^3$ ，其面积和池深需根据蓄水容积、地形地质条件确定；其类型、形态应根据使用要求、建筑材料选择，宜为地下矩形开敞式，有安全要求的可设计为封闭式。

5.7.1.5 塘堰坝、蓄水池须进行防渗处理。采用浆砌石时水泥砂浆强度不宜低于 M10；采用混凝土现浇时，素混凝土强度不宜低于 C15，钢筋混凝土强度不宜低于 C20。塘堰、蓄水池需有完善的进、排水系统。

5.7.1.6 水井井型应根据含水层特征、凿井机具、施工条件等合理选用，包括管井、大口径井、辐射井。水井水泵应根据地下水位埋深和设计出水量合理选用，类型可采用潜水泵、离心泵等。

### 5.7.2 施工

5.7.2.1 塘堰、蓄水池施工前应清除地基表面杂物，按设计要求做好软基、透水地基、多层地基或岩石地基的处理。

5.7.2.2 塘堰、蓄水池可采用浆砌石砌筑、素混凝土或钢筋混凝土浇筑。采用浆砌石砌筑时，应采用座浆法施工，上下错缝，砌缝用砂浆密实充填。采用混凝土浇筑时，模板及支撑应牢固、稳定，混凝土浇筑应连续，振捣应密实，抹面应平整、光滑；安装的钢筋牌号、规格、数量应符合设计要求。施工完成后应及时养护，时间不少于 7 天。

5.7.2.3 防渗可采用粘土、土工膜、沥青混凝土或混凝土材料，施工质量、防渗效果、最大渗漏量应满足工程要求；塘堰、开敞式蓄水池周边防护栏应稳固、高度不低于 1.2 m，封闭式水池检修孔应满足清淤、检修要求。排水设施应具有充分的排水能力，进水设施应满足设计蓄水要求。

5.7.2.4 管井可采用回转式、冲击式、冲抓式、潜孔锤钻机钻进，及时做好地层采样、井管安装、填砾、止水和洗井等工作。大口径井可采用大开槽法、沉井法施工，按设计要求施工反滤层、布设井壁进水孔。辐射井的集水井可采用沉井法施工或冲抓锥、回转钻进成孔，辐射孔（管）可采用水平钻进、水平钻套管钻进、顶进法、锤击法施工，辐射管应向集水井内倾斜。

5.7.2.5 管井、大口径井、辐射井施工时，应注意施工安全，做好地质编录；抽水试验一般只做一次大降深，水位稳定延续时间不应低于 8 h，水文地质条件差时，水位稳定延续时间应适当延长；抽水试

验完成前应采取水样进行水质分析；施工后的井深、井径、井斜、出水量、含沙量、水质等应满足设计要求。

## 5.8 整理工程

### 5.8.1 设计

5.8.1.1 整理工程适用于工业场地（工业广场）、露采场底盘、塌陷地、排土场、废石堆场、尾矿库等的挖方、填方、平整和归整，包括整平工程和筑坡工程。

5.8.1.2 场地整理工程设计应综合考虑地形地貌、土地利用现状、生态修复方向、生态景观特点、施工条件及技术经济等因素，并与周围环境相协调。

5.8.1.3 整平工程地面高程应综合考虑挖填平衡、物料来源、弃土堆放、地形地貌、水文条件等进行设计，宜高于区域最高洪水位。设计的地形坡度应满足 TD/T 1036 的要求；修复为建设用地的，坡度应根据当地经验类比确定。

5.8.1.4 筑坡工程适用于边坡后缘削坡受限或削坡工程量大，且坡脚前缘空间允许的场地。填筑边坡设计参数宜根据当地经验类比确定，且应进行坡体稳定性验算。一般条件下，筑坡宽度视场地条件确定，筑坡高度不宜高于 8 m、终了坡率不宜高于 1:1.75，台阶数量一般不多于 3 级；坡脚设置高度不高于 2 m 挡墙。

### 5.8.2 施工

5.8.2.1 场地整理工程施工前应清除场地内的废物、杂物，封堵废弃井口、硐口等，剥离保存可利用的表土。整平工程需核实工程量，进行挖、填方平衡计算，做好土石方平衡调配。筑坡工程应疏干积水、处理地基等。

5.8.2.2 整平工程可采取削高填低、挖低垫高、物料回填和推平的方式进行，选用机械或人工与机械结合的方式施工。整平坡度应满足设计要求。

5.8.2.3 挖方应自上而下分层分段进行，保护好临近已有建（构）筑物及设施等，不得产生新的地质安全隐患或出现影响生态系统安全的行为。

5.8.2.4 填方应由低到高分层填筑、分层密实碾压，单次填筑厚度不宜高于 500 mm。填料应符合设计要求，大块料填筑在底部，不应集中分布；透水性较小的填料填筑在上层；分段填筑时每层接缝处应作坡形处理，碾迹重迭 0.5 m~1.0 m，上下层错缝间距不应低于 1 m。

5.8.2.5 筑坡工程应按照先低后高、逐层填筑、分层压实的方式施工；大块填料放置在底部，缝隙用小块石、碎石、砂等填充。材料的质量、粒度、级配、分层厚度、密实度等应严格控制。分台阶筑坡时，台阶宜内倾，单台阶宽度、高度、坡率及整体筑坡宽度、高度、终了坡率应满足设计要求。

## 5.9 排水工程

### 5.9.1 设计

5.9.1.1 排水工程适用于坡面地表水的截排、减渗和地下水的引排、疏干，以及坡下恢复地的防洪、排涝。分为地表排水工程和地下排水工程。地表排水工程包括截水沟、排水沟，地下排水工程包括渗水盲沟、仰斜式排水孔。

5.9.1.2 地表排水工程按下列要求进行：

- 地表排水工程应综合考虑排水目的、地形条件、地质因素、降雨强度、汇水面积、防洪标准、排涝要求、天然水系等，并与蓄水、灌溉、防护工程等协同设计。排水工程应按照高水高排、低水低排、就近排泄、自流的原则选择线路；

- b) 截水天沟应设置于挖方边坡后缘坡体的稳定地段，距离不小于 5 m。多台阶削坡的，宜每隔 2 级~3 级台阶设置一道截水内沟；填方边坡截水沟应设置在距坡脚 2 m 以外的位置。截水沟宜沿等高线布设，纵向比降为 1%~2%；
- c) 排水沟宜垂直于等高线布置，排出的地表水经沉沙池引入蓄水设施，多余径流排入周边天然沟道。高差较大时，应设置急流槽或跌水，以及消力、消能设施等；
- d) 截、排水沟一般采用梯形断面；坡度较大时，宜采用矩形断面；断面面积采用过水能力满足 10 年一遇洪峰流量的方式进行计算，安全超高 0.2 m~0.4 m；排水沟宜按明渠流设计，比降宜与沟沿线地面坡度相近；断面底宽和深度不宜小于 0.4 m；流速应同时满足不冲不淤的要求，明沟最小允许流速宜为 0.4 m/s，暗沟最小允许流速宜为 0.75 m/s。

#### 5.9.1.3 地下排水工程按下列要求进行：

- a) 地下排水工程应综合考虑地下水类型、含水层埋深、地层渗透性、地下水对环境的影响等因素进行选型，并与地表排水系统相协调；
- b) 当坡面存在积水洼地、泉水露头、浅层地下水或季节性含水层时，宜采用渗水盲沟截排地下水；当坡后存在深层地下水或坡内有常年性水流时，宜采用仰斜式排水孔引排、疏干地下水或降低地下水位；
- c) 设计渗流量宜在水文地质调查或勘察基础上确定。断面尺寸应依据设计渗流量、水力坡度、沟管粗糙率等，通过水力计算确定；
- d) 渗水盲沟宜为矩形，宽度宜为 1.2 m~1.5 m；沟身应垂直嵌入坡体，基底宜呈阶梯状，最小纵坡不宜小于 1%；沟内应用洁净的卵石、碎石、砾石、粗砂等透水性材料填实，两侧及顶部应设置反滤层；可按条带形、分岔形或拱形布设于坡体，间距宜为 6 m~10 m；
- e) 仰斜式排水孔应伸至地下水富水部位，孔位宜根据边坡渗水情况，可单排、多排或不规则布设；仰角不宜小于 6°，孔径宜为 75 mm~150 mm；孔内应设置耐腐蚀、抗老化的渗水管，管径宜为 50 mm~100 mm，管外应包网处理；
- f) 排水设施出口水流应处于无压状态，出水口底面应高出地表排水沟最高水位 20 cm 以上。

#### 5.9.1.4 以防洪、排涝为目的排水工程排涝标准为 10 年一遇，具体执行 GB 50288 和 TD/T 1012 的有关规定。

### 5.9.2 施工

5.9.2.1 排水工程类型、结构、形态、尺寸、位置、高程及使用材料等应符合设计要求。排水工程完工前，应做好临时排水工作。

5.9.2.2 截、排水沟的沟线应顺适、沟底应平整、排水应通畅，沟与沟之间的连接应平顺。截水沟内侧沟壁不宜高出原地面，沟顶与原地面应顺接，加固时需全断面进行。施工完毕后应及时养护。

5.9.2.3 截、排水沟采用块石、片石及混凝土预制块等修砌时，应采用座浆法施工，分层、分段、上下层错缝砌筑；砌缝砂浆应饱满，砌体对接应紧密，勾缝应平顺无脱落。

5.9.2.4 截、排水沟采用混凝土现浇时，应一次性连续浇筑，间歇不应超过混凝土初凝时间，浇筑后的混凝土应均匀、密实，无蜂窝、麻面、孔洞等。

#### 5.9.2.5 渗水盲沟按下列要求进行：

- a) 宜自下而上分段间隔开挖，并应及时支撑、迅速回填；
- b) 渗水材料顶面不应低于坡面原地下水位；
- c) 沟底应铺砌于稳定地层上，宜嵌入最下层的隔水层中，宜采用浆砌石封底，台阶连接处应砌筑密贴；
- d) 反滤层自近土侧，由外向内回填粒度应依次增大、层级分明；
- e) 土工布反滤层采用缝合法施工时，应紧贴保护层，搭接宽度应大于 100 mm；

- f) 填充材料含泥量不应大于 2%，粒度较大的宜填充在沟底；
- g) 出口与沟外排水设施或挡土构筑物的衔接应密贴牢固，做到排水通畅。

#### 5.9.2.6 仰斜式排水孔按下列要求进行：

- a) 应采取跟管护壁掏芯成孔工艺，可采用锚杆钻机、机械岩芯钻机施工；
- b) 钻机安装应平稳、牢固，护壁掏芯应勤跟勤掏；
- c) 采用硬质合金跟管钻进多级成孔时，跟管宜为 2 级～3 级，长度遵循大短小长原则；
- d) 采用潜孔锤偏心钻进一次成孔时，跟管过程中应注意套管上、下、左、右位移变化，发现位移超差应及时纠偏；
- e) 掏芯钻进超前量宜在 500 mm 以内。钻至设计深度后，应掏尽管内泥砂、钻屑，立即安装透水管，随即拔出护壁套管；
- f) 透水管底部应封闭，孔口 800 mm～1000 mm 为实管；
- g) 管井环隙宜采用水泥砂浆封填，深度 200 mm，砂浆强度等级不低于 M10。

### 5.10 节水灌溉工程

#### 5.10.1 设计

5.10.1.1 节水灌溉工程适用于田间植被高效利用降水和灌溉水的输水浇灌，包括渠道防渗输水灌溉工程、管道输水灌溉工程、喷灌工程、微灌工程。设计时应充分利用已有水利工程设施，考虑修复区及周边河流、水库、坑塘、井、泉、塘堰、蓄水池等自然或人工水源。

5.10.1.2 节水灌溉方式应综合气象、水源、水质、地形、土壤、种植结构、输水效率等进行选择。地表水资源丰富且能自然引流的地区，宜采用防渗渠道输水的方式地面灌溉；有自压条件和采用提水、地下水灌溉的地区，应采用管道输水的方式地面灌溉；难以实现地面灌溉的地区，宜采用喷灌、微灌；集蓄雨水作为灌溉水源的地区，宜采用微灌。

5.10.1.3 节水灌溉工程及其配套设施，包括水源工程、首部枢纽、输配水渠（管）网、田间工程及各类辅助工程，应遵循节水、节地、节能、节材、增效原则，按 GB 50288、GB/T 50363 和 TD/T 1012 的有关要求进行设计，并符合以下要求：

- a) 设计水平年供水量应在水量平衡分析基础上进行，取水量不应超过灌溉的可利用水量；
- b) 灌溉用水量应结合水资源条件，宜按水分生产率高的灌溉制度确定；水资源紧缺地区的灌溉用水量，宜采用灌关键水、非充分灌溉等方式确定；
- c) 渠道纵横断面设计应在水力计算基础上进行；
- d) 管道输水灌溉、喷灌、微灌设计时，应明确灌水器（给水栓）参数、灌溉制度和工作制度，提出水力计算成果、首部枢纽和田间管网布置方案；
- e) 渠道防渗输水和管道输水灌溉工程的田间工程应采用改进地面灌溉技术；
- f) 灌溉制度应依据节水灌溉技术类型及设计的灌溉保证率，结合灌溉试验资料确定；
- g) 灌溉水质应符合 GB 5084 的规定，微灌水质还应符合 GB/T 50485 的规定。

#### 5.10.2 施工

5.10.2.1 渠道尽可能设置在地势较高、地质条件良好的地段，地下水位较高处的渠基应设置排水设施；可采用浆砌石、预制混凝土块砌筑或混凝土浇筑，渠线宜短而平顺，满足自流灌溉要求；刚性材料防渗渠道，宜采用弧形坡脚梯形、弧形底梯形或 U 形断面，防渗衬砌应符合 GB/T 50600 有关要求。

5.10.2.2 管线应短而直、水头损失小、地质条件稳定，并与地形坡度相适应；田间固定管道长度宜为 90 m/hm<sup>2</sup>～180 m/hm<sup>2</sup>，支管间距宜为 50 m～100 m，给水栓间距宜为 40 m～100 m；采用移动式软管灌

溉时，软管长度不宜大于 200 m；地下管道施工时应防止地基浸水，管道安装间断期间应及时封闭敞开的管口；给水栓应牢固耐用、密封性好、运转灵活；具体施工执行 GB/T 20203 的规定。

5.10.2.3 喷、微灌工程的地表水源泵站取水口应布置于水质较干净处，地下水源泵站应布置在井上或井旁。喷灌干管应沿主坡方向布置，宜通过地块中央，支管宜沿等高线布设，并与干管垂直；微灌工程的输配水管道宜布置于地势较高位置，支管宜垂直于植物种植行，毛管宜顺行布设。

5.10.2.4 轻型和小型移动式喷灌机组按  $0.677 \text{ hm}^2/\text{kw}$  配置灌溉面积，喷灌强度不应大于土壤允许喷灌强度。喷灌均匀系数：定喷式喷灌系统不低于 0.75，行喷式喷灌系统不低于 0.85。运行时间宜为 12 h~18 h。其它应符合 GB/T 50085 的规定。

5.10.2.5 微灌系统首部应配置施肥、施药装置，首部过滤器下游的管道应采用塑料管材，铺设在地表的管材不应透光；安装的过滤器、灌水器应满足设计的灌水均匀度要求。其它应符合 GB/T 50485 的规定。

## 5.11 道路工程

### 5.11.1 设计

5.11.1.1 道路工程适用于修复区植被的生产、保护、巡护、防火，以及物资运输和公众的生态游憩等。包括田间道路、巡护步道和景观道路。应以改造现有道路为主，并做到与场外道路相衔接。

5.11.1.2 田间道路包括田间路、生产路，其布置应与田、林、渠、沟等布局相协调；应有利生产，方便管理，通达完善，形成网络，符合以下要求：

- a) 田间路路面宽度宜为 3 m~6 m；路肩宽度宜为 0.3 m~0.6 m，路基厚度宜为 0.3 m~0.5 m，路面厚度宜为 0.15 m~0.25 m；路堤边坡坡率宜为 1:1~1:1.5，最大纵坡不宜超过 10%，最小纵坡宜取 0.2%~0.4%；
- b) 生产路路面宽度宜为 1 m~3 m；最大坡度不宜超过 11%；路基厚度宜为 0.25 m~0.35 m；路面厚度宜为 0.10 m~0.15 m；
- c) 田间道路通达度应达到 90% 以上；路面可采用混凝土、沥青、砂砾石、碎石等材质，硬化路面弯拉强度不低于 3.5 MPa，砂石路面弯沉值不小于 3 mm；路基应夯实处理，地质条件不良时还应换填处理。其它应符合 TD/T 1012 的有关要求。

5.11.1.3 巡护步道应考虑植被保护、巡护及防火等需要，依地势、顺自然而建，起伏较大的可设置成阶梯式；宽度宜为 0.5 m~1.5 m，路面可采用砂石、碎石或砂土材料，台阶可用片石、块石、预制块等铺设。

5.11.1.4 景观道路应根据矿山公园、矿山修复后的休闲游憩场地面积进行设计，确定路网及其等级，路的宽度、平面和纵断面线形及其结构；设计的道路应满足内部交通、游览和安全防护的需要，做到与公园风格或使用功能相协调。具体设计执行 GB 51192 的规定。

### 5.11.2 施工

5.11.2.1 做好施工准备，布设道路中线控制桩、边线桩及高程控制桩等。

5.11.2.2 按照设计要求做好清表清淤、路基、管线、基层及路面等的施工工作，施工要求执行 CJJ 1 的规定。

5.11.2.3 临时道路应满足施工机械调运和行车安全要求；敷设于道路下的新管线等构筑物应按先深后浅的原则与道路配合施工。

5.11.2.4 路肩应与路基、基层、面层各层同步施工，路基应高出两侧积水高度 0.3 m~0.5 m，施工后的路肩应平整、结实、肩线顺畅。

5.11.2.5 道路修筑宜就地取材,不宜破坏已有的建设工程;遇特殊土路基应加固处理,荷载标准应符合设计要求。

## 5.12 安全防护工程

### 5.12.1 设计

5.12.1.1 安全防护工程适用于矿山生态修复场地特定安全信息表达和隔离保护,包括安全标志牌和防护栏。

5.12.1.2 安全标志牌包括禁止、警告、指令和提示标志牌,适用于矿山生态修复场地或地段特定安全信息的表达。符合以下规定:

- a) 标志牌应采用坚固耐用的材料制作,宜为矩形或圆形;尺寸宜根据场地条件确定,但应保证标志比例和显示效果符合 GB 2894 的要求;数量宜根据修复区情况确定,但应保证安全信息准确表达;
- b) 安全标志应优先从国家标准中选取;当国家标准中没有规定时,宜优先使用通用安全标志和文字辅助标志形成组合标志。组合标志应易于理解,颜色参照 GB 2893 的有关规定,辅助文字应充分表达矿山生态修复所需的安全信息;标志中的文字均采用黑体;
- c) 标志牌可采用附着式、悬挂式和柱式方式固定,应设置在与安全有关的醒目位置,高度宜与人眼视线高度一致。

5.12.1.3 防护栏包括防护栏杆和防护栅栏,适用于修复区内对人身安全的隔离保护,以及矿山自然修复和已修复场地的封闭围护。符合以下规定:

- a) 宜设置于地质危险体周边或其威胁路径方向上稳定的地段,以及被保护对象的周边或其受威胁的方向上;
- b) 防护栏杆宜用于水池、水塘、塘堰、水库等深度超过 1.5 m 临空边缘的安全防护,离临空边缘距离宜大于 0.5 m,高度宜为 1.2 m~1.5 m;由横杆、立杆及立柱组成,下横杆离地高度和立杆间距不宜大于 0.11 m,立柱间距不宜大于 2 m;栏杆宜采用钢材焊接,应确保横杆、立杆的任何位置均能承受 1 kN 任何方向的外力作用;
- c) 防护栅栏宜用于地质危险体、自然修复场地的隔离和已修复场地的保护,宜设置于场地内,但应确保被保护对象的安全;高度宜为 1.8 m、2.2 m,由金属网片、立柱等构成。立柱可采用钢筋混凝土预制、钢管加工或镀锌板材卷压加工制成,间距宜为 2 m~3 m;网片由低碳钢丝焊接而成,涂层颜色宜为草绿色;栅栏下端距地面不宜高于 0.11 m。用于自然修复场地隔离的防护栅栏执行 NY/T 1237 的有关规定。

### 5.12.2 施工

#### 5.12.2.1 标志牌施工符合以下要求:

- a) 可采用铝合金板、薄钢板、合成树脂类板材等制作,不宜使用易变形、变质或易燃的材料,有触电危险的场所应使用绝缘材料;支撑件可选用槽钢、角钢、工字钢、钢管等强度、刚度好的材料;
- b) 成型的标志牌表面应平整、无毛刺、无孔洞,边缘应圆滑、无尖角,图形、文字显示清楚;
- c) 标志牌安装应竖直、稳固、不歪斜,底板、支撑件、基础等连接可靠,尺寸、颜色、数量等符合设计要求。

#### 5.12.2.2 防护栏施工符合以下要求:

- a) 防护栏杆应焊接牢固、防腐涂装,表面应光滑,无毛刺、无凹凸和裂纹等;安装后无歪斜、扭曲、变形及其它缺陷;

- b) 防护栅栏安装应无缺口、不凌乱，顶端与下端纵向过渡应平滑整齐，基础应牢固稳定，不松动、不下沉；
- c) 安装后的防护栏杆、栅栏应具有一定安全度和景观效果，材料品种、规格、色泽和性能等应符合设计要求。

## 6 土壤重构

### 6.1 一般要求

6.1.1 土壤重构适用于矿山受损土壤的恢复或重建，采用的工程措施包括污染修复、覆土再造和土壤改良等。

6.1.2 土壤重构应依据矿山原生土壤（或参照生态系统土壤）特征、恢复或重建的地类、受损土壤特点、场地生境、修复条件等科学进行，不能对周边生态产生二次破坏、对周边环境造成二次污染。

6.1.3 土壤重构过程中产生的废弃物应按国家规定、地方环境保护标准和要求达标处置。恢复为耕地的，其土壤投入品中重金属含量不应超过 GB 15618 规定的风险筛选值，或修复区域中土壤对应元素背景值含量。恢复为原地类的，其土壤肥力、生产力不应低于矿山开发利用前的水平。

### 6.2 污染修复

#### 6.2.1 设计

6.2.1.1 污染修复适用于矿山重金属污染地块的物理或植物修复，修复方法包括客土、换土、深翻、隔离防渗、植物提取或其组合。修复后的土壤中目标污染物含量不应大于其区域背景值或 GB 15618、GB 36600 中规定的风险筛选值。

6.2.1.2 污染修复设计应在土壤污染状况调查基础上进行，修复方法应综合考虑污染物类型、污染来源、污染程度、污染深度、污染范围、土壤条件等，依据实验室小试、现场中试或应用案例类比分析，经技术经济比选后确定。

6.2.1.3 客土适用于小面积中度污染土壤的修复，客土土源宜与场地内未污染土壤性质相一致；用于种植的，客土厚度应根据种植植物根系情况确定，一般不大于 1 m。换土适用于小面积重度污染土壤的修复，换土厚度应根据土壤污染深度、土地利用类型等确定。客土、换土土源应运输经济、量质保证，施工方便。

6.2.1.4 深翻适用于厚层土壤中浅表层小面积轻度污染土壤的修复，深翻深度应依据土壤类型、污染厚度、修复效果等通过现场中试确定。

6.2.1.5 隔离防渗适用于底部存在厚度不低于 0.75 m 隔水层，难以治理的小面积重度污染土壤的原位修复。隔水层、隔离防渗层的渗透系数不应高于  $1 \times 10^{-7}$  cm/s，垂直隔离防渗层底部宜嵌入隔水层 1/3 以上，厚度不小于 1.5 m 等效黏土防渗层厚度。顶部覆盖粘土的，其水平隔离防渗层压实厚度不应低于 0.30 m。

6.2.1.6 植物提取适用于小面积浅表层轻度、中度污染土壤的修复。可选用富集面广、生物量大、根系吸收能力强、抗逆性强的超富集（高富集）植物吸收积累土壤中的重金属，如砷超富集植物蜈蚣草、锌和镉超富集植物东南景天、镉超富集植物龙葵等；也可在种植超富集植物的同时添加如乙二胺四乙酸、乙二胺二琥珀酸、柠檬酸、草酸、酒石酸等可以活化土壤重金属的物质，提高植物萃取重金属的效率。

#### 6.2.2 施工

6.2.2.1 宜采用机械或机械与人工结合的方式施工。客土应覆盖全面、上下均匀、厚度一致，换土须挖除全部需置换的土壤；土源应干净未污染无杂物；修复后的土壤理化性质应稳定；污染土壤异地转移时应防止污染物扩散和二次污染。

6.2.2.2 深翻应做到污染场地全覆盖，上部污染土壤与下部干净土壤互换或混匀。

6.2.2.3 隔离防渗使用的阻隔材料应无毒无害，抗腐蚀、抗老化、寿命长；垂直阻隔系统需连续、均匀、无渗漏；顶部覆盖的粘土防渗隔离层机械压实后的渗透系数不应高于  $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ；施工结束后应定期对污染阻隔区域进行监测。

6.2.2.4 植物提取时，宜选择易于提高植物生物量的栽培技术；宜选择易于自然降解的活化剂，并严格控制其施用时间和施用量；严格做好植物收获后的处理，避免二次污染。

### 6.3 覆土再造

#### 6.3.1 设计

6.3.1.1 覆土再造适用于受损区域拟种植场地土壤缺失或厚度不足的修复。覆土再造工程应依据拟修复区域受损状态和水文、地形、地质条件，结合土地利用类型及其质量要求进行设计，质量应符合 TD/T 1036 的有关规定，排水设施、防洪标准符合当地要求。

6.3.1.2 应充分利用矿山剥离的表土覆盖于表层；表土不够时宜客壤土覆盖；无适宜的表土时，可采用经论证无毒无害的细粒采矿废弃物或风化剥离物覆盖表层。当覆土量较大时，下部可采用废土、废石、废渣等充填，分层压实（压实系数不低于 0.90）后再覆盖表土。

6.3.1.3 再造土壤的有效土层厚度应满足 TD/T 1036 的要求。用于效果提升的，最小种植土层厚度应大于植物主要根系分布深度，其中草本植物最小种植土层厚度为 35 cm，攀缘植物为 40 cm，灌木为 60 cm，乔木为 100 cm。

#### 6.3.2 施工

6.3.2.1 土壤宜在场地整理、整平后覆盖，富含养分的应覆盖在表层。覆盖后的土壤应有一定的疏松度，无明显结块，不应有垃圾和大石块。土壤表面应平整，无低洼和积水。当地形坡度无设计要求时，自然排水坡度宜为 0.3%~0.5%。

6.3.2.2 科学安排施工工艺、施工顺序，合理分配土源，尽量减少客土、弃土，尽可能增加有效种植面积。不宜在雨季、雨天施工，不破坏生态和污染环境。

6.3.2.3 恢复后的地面坡度、土壤质量、生产力水平等应符合当地要求或 TD/T 1036 的规定；恢复为高标准农田的，还应符合 GB/T 30600 的要求。

### 6.4 土壤改良

#### 6.4.1 设计

6.4.1.1 土壤改良适用于种植土壤存在性状不良或其他障碍因素的修复。土壤改良设计应在土壤种植性状调查、障碍因子诊断基础上明确材料、用量、施用方法等。采取的措施包括物理、化学、生物措施。

6.4.1.2 当土壤中杂物较多、物性低劣时，可采用客土置换种植层土壤；当土壤结构不良时，可采用清除杂质、清除不透水层，改良质地、改良紧实性等方式改善结构。

6.4.1.3 当土壤养分不足时，可采用施肥方式增加肥力；当土壤酸、碱性过强时，可采用中和方式调节土壤酸碱度。

6.4.1.4 土壤肥力可通过种植抗逆性强，具有根瘤菌、固氮菌的乡土先锋植物方式增加；土壤活力可通过添加微生物菌剂、微生物肥料、生物有机肥、土壤调理剂等改善。

6.4.1.5 使用的有机质应符合 GB/T 33891 的要求, 有机肥应符合 NY/T 525 的要求。常用土壤改良材料可参照附录 D 选用。

6.4.1.6 改良后的土壤 pH 值应控制在 5.0~8.3 之间, 全盐含量应小于 0.1%, 容重应为  $1.0 \text{ g/cm}^3 \sim 1.35 \text{ g/cm}^3$ , 有机质含量应为 1.2%~8%, 障碍因子控制指标应满足 CJ/T 340 的要求。

## 6.4.2 施工

6.4.2.1 改良的土源应理化性质良好、无污染。客土置换时, 底部应分层压实, 表层土壤应疏松多孔。

6.4.2.2 当土壤中存在废渣、废石、石砾等杂质时, 可通过挑拣、过筛等方式剔除; 当种植层下存在面状构筑物隔断层时, 可采用机械、人工等方式铲除。

6.4.2.3 砂质土壤可采用添加污泥堆肥、动物性堆肥等改良质地, 粘质土壤可采用添加粉碎树枝堆肥、细砂、泥炭等改善结构, 施工时应做到改良剂与土壤充分混合。质地紧实的土壤可通过深翻松土、添加改良剂、打孔等措施疏松。

6.4.2.4 液态菌剂可通过拌种、浸种、喷施、蘸根、灌根等方式施入; 固体菌剂可通过拌种、蘸根、混播、混施等方式施入。不宜在高温强光下喷施或撒施于土表。

6.4.2.5 土壤养分改良应以有机肥料为主, 有机与无机肥料配施方式增强, 鼓励采用控释、缓释、液体等高养分利用率肥料和新型施肥技术。

6.4.2.6 酸性土壤可通过增施中性或偏碱性有机改良剂缓解酸害; 采用石灰调酸时, 宜分 2 年~3 年施入。碱性土壤可通过施用酸性有机肥、泥炭等材料, 并单施或配施石膏、磷石膏、硫磺、硫酸亚铁等降低 pH 值, 具体用量、配方和施工工艺应依据土壤碱性程度按地方经验和现场检验确定。

## 7 植被重建

### 7.1 一般要求

7.1.1 植被重建应依据原有或参照生态系统生物种群特点、地形和土壤条件, 在地貌重塑和土壤重构基础上, 合理配置植物种群和群落结构, 构建与周边景观相协调的植被自维持系统。建植措施包括栽植、播种、自然恢复。

7.1.2 应选择抗逆性强、根系发达、生长速度快、固氮能力优的适生植物和先锋物种; 优先选择乡土物种, 不得使用未经引种试验或经引种试验有生态风险的外来物种。

7.1.3 植物选择和配置应依据其生物特性, 场地坡度、坡向、坡高, 以及土壤质地、肥力、pH 值和土层厚度条件等进行, 建植类型分为乔灌草型、乔草型、灌草型、草本型。优先选择乔灌草或乔草型。不同区域适生植物物种选择可参照附录 E。

7.1.4 场地分为土质、土石质和岩质场地, 场地类型划分见表 1。场地边坡分为缓坡、中坡、陡坡和陡崖, 边坡类型划分见表 2。

7.1.5 土质、土石质场地: 缓坡宜乔灌草型或乔草型, 中坡宜灌草型, 陡坡和陡崖下位置宜栽植攀援植物。浅积水区宜建植挺水、沉水植物。

7.1.6 岩质场地: 缓坡宜乔灌草型或乔草型, 应整体、沟槽或宕穴覆土; 中坡宜灌草型, 应与植生、喷播等配合; 陡坡宜草本型, 应与喷播等配合; 陡崖具有科学、美学、历史文化价值的, 宜作为地质遗迹保留, 存在微凹地形的, 可筑成槽、穴栽植灌草、藤蔓, 其余可在坡脚、坡顶种植藤蔓植物上爬下挂。

表1 场地类型划分一览表

场地类型	代表性岩石（土）
土质场地	黏土、粉质黏土、粉土、砂土。
土石质场地	碎石土（含废石、矿渣）、各类半成岩、各类全风化岩； 强风化～未风化：泥岩、泥质页岩、绿泥石片岩、绢云母片岩等。
岩质场地	强风化～未风化：辉长岩、闪长岩、正长岩、花岗岩、辉绿岩、玢岩、斑岩、玄武岩、安山岩、流纹岩、凝灰岩，砾岩、砂岩、砂质泥岩、砂质页岩、白云岩、灰岩、硅质岩，板岩、千枚岩、片麻岩、变粒岩、石英岩、大理岩等。

表2 边坡类型划分一览表

边坡类型	缓坡	中坡	陡坡	陡崖
划分依据	坡度 $<25^\circ$	$25^\circ \leqslant \text{坡度} < 45^\circ$	$45^\circ \leqslant \text{坡度} < 65^\circ$	坡度 $\geqslant 65^\circ$

7.1.7 应依据植被恢复目标、区域气候、场地条件等选择建植措施和管养技术，并应与排水、灌溉工程整体设计、协同施工，做到建、管、养、防并重。植被养护执行 GB/T 38360 的要求。

## 7.2 栽植

### 7.2.1 设计

7.2.1.1 栽植适用于气候、土壤条件等适宜目标种植物栽植体生长发育场地的植被重建。建植方法包括植苗、分殖（插条、插杆、分根、地下茎）。

7.2.1.2 建植方法应依据栽植体的不同合理选择，初植密度应依据立地条件、植物恢复目标与种类的不同科学确定。栽植体规格、整地方式、建植方法、初植密度等应满足 DB34/T 1267 或相应地方标准的要求。栽植点位置依据场地形态确定，可见缝配置。

7.2.1.3 挺水植物宜种植在水深 0 m~0.6 m 区域，沉水植物宜种植在水深 0.5 m~2.0 m 区域，可选择一种或多种植物作为优势种搭配栽种；种植密度可按单位面积水体养分含量测算确定，并按植物生长特性等进行设计。

7.2.1.4 藤（攀援植物）类应根据植被恢复目标、立地条件、攀援能力等进行选择；单株种植或数株丛植应根据植物生长速度和生长空间条件决定；种植间距宜为 30 cm~60 cm。

### 7.2.2 施工

7.2.2.1 建植植被栽植体质量应符合 DB34/T 1267 的要求。宜选用同一种子区的栽植体，优先采用优良种质材料或其培育的优质壮苗。裸根苗栽植前，可采用修剪、浸泡、蘸泥浆、蘸药剂、蘸生根材料、喷药剂或抗蒸腾剂、假植、冷藏等措施处理苗木。容器苗宜采用可降解容器、修剪外露根系、脱袋等方式对其进行处理。

7.2.2.2 整地可采用全面整地、带状整地、鱼鳞坑整地和坡面整理形式。坡度小于 10° 的可全面整地，坡度 10° ~25° 的可带状整地，坡度大于 25° 的可鱼鳞坑整地或局部整地。整地深度一般应大于 30 cm。整地时，应保持水土，保护已有植被，不破坏自然生态。

7.2.2.3 栽植采用穴植或槽植方式，栽植方式及施工要点按照附录 F.1 执行。

## 7.3 播种

### 7.3.1 设计

7.3.1.1 播种包括穴播、撒播、植生、喷播。穴播适用于土质、土石质场地内乔灌草种子的宕穴（鱼鳞坑）种植。撒播适用于各类土质、土石质场地内草本型种子的播撒绿化。植生适用于缓坡、中坡上土质、土石质边坡的乔灌草建植绿化。喷播宜用于除陡崖外的边坡灌草植物建植覆盖。

7.3.1.2 穴播密度、穴点配置要求依据 7.2.1.2 的规定，密度可选规定范围的较大值；植入穴内的种子数量，依据植物种类的不同每穴内数粒至数十粒不等；播种深度一般为种子横径的 2 倍~4 倍。

7.3.1.3 撒播用的草种宜生长迅速、保水保土能力强。种子纯净度不应低于 95%，发芽率不应低于 70%。播种量参照 GB/T 38360 计算。

7.3.1.4 植生包括植生毯、植生袋、生态灌浆、土工格室、三维网。植生方法及适用条件宜符合附录 F.2 的规定。植生毯、植生袋制作材料质量应符合 GB/T 1040 及 GB/T 16422 的规定。设计要点按照附录 F.3 执行。

7.3.1.5 喷播方法分团粒喷播、植被混凝土喷播、客土喷播、有机质喷播、液力喷播。喷播方法及适用条件应符合附录 F.4 的规定。喷播基质厚度、植物选择、铺网要求、播种量等依据 CJJ/T 292 设计。

## 7.3.2 施工

7.3.2.1 穴播应先在穴中均匀地播入种子，再覆土镇压；覆土厚度为种子横径的 2 倍~4 倍。

7.3.2.2 草籽撒播应尽可能把种子均匀地撒在土壤表面，撒满整个场地，覆土后镇压提墒；小粒种子宜浅、大粒种子宜深，沙性土壤宜深、粘性土壤宜浅，干旱宜深、多水宜浅；多年生和越年生种子宜秋播。

7.3.2.3 植生时应做好场地整理，注意施工安全，植生方法及施工要点按照附录 F.3 执行。

7.3.2.4 喷播应将混合物拌和均匀形成混合浆，材料宜选择易降解、无污染的环保材料；坡度大于等于 35° 或表面光滑且坡度大于 25° 的边坡应铺网，铺网材料可采用镀锌金属网、树脂网、塑料网或格栅网等，网孔直径宜为 30 mm~60 mm；其主要环节施工要点按照附录 F.5 执行。

7.3.2.5 不易发芽的种子应进行催芽处理；病虫害较重地区的种子播种前，宜用药剂拌种或用药液浸种、闷种；厚皮种子、小粒种子、休眠期长的种子宜浸种处理。肥料理化指标应符合 GB/T 15063 的规定。施工结束后应及时对植物进行浇水、松土、补植、施肥、病虫害防治等管护，管护期 2 年~3 年。

## 7.4 自然恢复

### 7.4.1 设计

7.4.1.1 自然恢复适用于土壤、地形、水分等条件宜于周边植物种子自然侵入和定居的场地。可采用人工干预措施进行恢复，如封禁、封育、土壤种子库。

7.4.1.2 采用封禁、封育措施时，应按 GB/T 15163 中有关规定进行设计。

7.4.1.3 采用含有种子的表土回用或有机物料铺盖时，宜与水土保护毯、穴植、挂网措施组合设计。

7.4.1.4 采用水土保护毯组合措施时，材料应环保、耐腐蚀、抗老化，表面摩擦系数大、抗侵蚀能力强，且易被植物分蘖芽穿透。采用穴植组合措施时，宜采用单位面积多个小植穴栽植的方式。采用挂网组合措施时，宜喷播含有乡土种子的原生土壤。

### 7.4.2 施工

7.4.2.1 封禁、封育期间，应设置安全标志牌和防护栅栏，明确四至界线，禁止一切不利于植物生长繁育的人畜干扰活动，期限 3 年~5 年。

7.4.2.2 表土、有机物料应提前收集，回填应在场地清理、整理及配套设施完工后进行，覆盖应均匀。

## 8 生物多样性保护

## 8.1 设计

- 8.1.1 应依据区域生态系统保护规划，从生态系统完整性、自然地理单元连续性的角度，科学构建物种、基因和生态系统多样性保护理念。
- 8.1.2 应将生物多样性保护理念融入矿山生态修复全过程进行设计，遵循自然生态系统演替规律，充分发挥生态系统自我修复能力，全面提升矿山生态系统的稳定性和复原力。
- 8.1.3 应着眼于提升生态系统服务功能，聚焦矿山生态修复中生物多样性保护的重点区域和关键问题，按照就地保护原则，提出生态空间格局优化、野生动植物保护、外来物种控制、有害生物防控、生物多样性监测等保护措施，但应避免对生态系统的过度干预。
- 8.1.4 修复矿山的植物丰富度宜大于原生态系统或参照生态系统的 80%。

## 8.2 施工

- 8.2.1 除消除地质安全隐患外，尽可能保留原生植被，限制陡坡地段清林。
- 8.2.2 保留国家、地方重点保护和列入珍稀濒危植物名录的树种和植物种类；注重保留树冠上有鸟巢的林木。
- 8.2.3 加强重点保护野生动物生活和迁移廊道的保护，严格限制妨碍其生息繁衍的活动，并应根据其生活习性合理安排修复活动和时间。
- 8.2.4 严格控制有害生物传播；宜采取生物、物理措施防控有害生物，减少化学农药使用。

## 9 生态监测

### 9.1 设计

- 9.1.1 生态监测包括本底监测、施工监测和终期监测。本底监测宜在设计阶段进行，施工监测宜在施工中期进行；终期监测宜在工程结束后连续 3 年进行。
- 9.1.2 监测范围应包括生态修复区域及其外延 100 m 范围的原生态系统或参照生态系统区域。监测方法、监测内容、监测对象、监测周期和监测频率应依据动态监测目标、生态问题、生境条件等综合确定。
- 9.1.3 监测一级指标宜包括：生态系统格局与质量、植被覆盖、土壤侵蚀、生物多样性、水环境、土壤环境、地质安全、碳汇等，具体可根据修复区特点增减。
- 9.1.4 监测点应布设在代表性、典型的地段，应能反映特定时段、特定区域的重要指标，可根据需要动态优化，具体的监测点布设要求如下：

- 土壤侵蚀监测点布设参照 SL 277 的有关规定；
- 土壤、地表水、地下水环境监测点布设参照 HJ 25.2 的有关规定；
- 生物多样性监测样地应涵盖监测范围内的所有生境，每块样地宜设置 3 个样方，样方规格依据场地条件、植物生活型确定，宜为 1 m×1 m~20 m×20 m 不等；
- 景观格局、植被覆盖和碳汇监测不需布置专门的监测点；
- 地质安全监测应覆盖所有的地质安全隐患点。

### 9.2 监测

- 9.2.1 监测可采用遥感解译、野外调查、取样测试、测量等方法进行。遥感解译宜采用多源遥感影像数据，空间分辨率 1 m~10 m；碳汇遥感监测的结果宜通过取样测试验证。
- 9.2.2 监测二级指标、监测方法、监测点密度、监测频率最低要求按照附录 G 执行；汛期或者监测要素出现异常变化时，可提高监测频率或增加监测点密度。
- 9.2.3 监测指标评价参照 GB 3838、GB 15618、GB 36600、GB/T 14848、GB/T 41280、HJ 623、HJ 1171、

HJ 1172、SL 190 的有关规定；地质安全隐患评价采用对比分析法，重点评价地质安全隐患消除程度及其危害；碳汇评价参照有关规定执行。

9.2.4 监测评价可采用单因素或综合评价方法。单因素评价方法包括单因子指数法、对比分析法等，综合评价方法包括层次分析法、综合指数法、信息叠加法等。

9.2.5 采用定性分析法、时间序列分析法、因果关系法等预测矿山生态问题发展趋势，并及时反馈到适应性管理过程中。

## 10 适应性管理

10.1 适应性管理宜在生态监测信息反馈基础上进行，贯穿于矿山生态修复的各个环节，应采取最适应的策略或方案。

10.2 对风险可控、技术成熟、效果较好的设计或施工方案应及时实施；对可能导致生态修复目标偏离、新的生态问题产生或生态修复效果难以达到的设计或施工方案，应在风险可控的条件下，及时调整和完善；对存在生态风险或难以预测后效的设计或施工方案应暂停实施。

**附录 A**  
**(规范性)**  
**矿山生态修复模式和技术确定依据**

A.1 矿山生态修复模式和技术确定依据见表 A.1。

**表A.1 矿山生态修复模式和技术确定依据**

选择依据		修复模式	修复技术
生态修复方向	修复难易程度		
农田	困难 - 中等	生态重建	地貌重塑、土壤重构、植被重建
	简单	辅助再生	土壤重构、植被重建
森林、灌丛、草地、湿地	困难	生态重建	地貌重塑、土壤重构、植被重建
	中等	辅助再生	土壤重构、植被重建
	简单	自然恢复	植被重建
城镇	困难 - 中等	生态重建	地貌重塑、土壤重构、植被重建
	简单	辅助再生	土壤重构、植被重建
居住地、工矿交通	-	生态重建	地貌重塑

注：“-”考虑场地工程地质条件。

A.2 矿山生态系统恢复难易程度分级见表 A.2。

**表A.2 矿山生态系统恢复难易程度分级表**

恢复难易程度	判别标准
困难	1. 地质安全隐患2种类型以上或中等规模及以上; 2. 地形起伏大, 坡度一般大于 $45^{\circ}$ ; 3. 岩质、土石质场地占比超过 60% ; 4. 需大面积客土、换土或改良土壤; 5. 灌溉水源紧缺, 供需不平衡。
中等	1. 地质安全隐患1~2种类型或为小型规模; 2. 地形起伏较大, 坡度一般 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ; 3. 岩质场地、土石质场地占比 30%~60% ; 4. 需部分客土、换土或改良土壤; 5. 灌溉水源较紧缺, 需季节性补水。
简单	1. 无地质安全隐患, 或仅局部存在危岩、落石等; 2. 地形起伏小, 坡度一般小于 $25^{\circ}$ ; 3. 主要为土质场地; 4. 少量客土、换土或改良土壤; 5. 灌溉水源充沛, 供需平衡。

注：采取就上原则，只要有一条满足某一级别，应定为该级别。

**附录 B**  
**(资料性)**  
**修复绩效目标推荐**

矿山生态修复工程(项目)绩效目标推荐指标确定可参考表B.1。

**表B.1 修复绩效目标推荐表**

工程(项目)名称				
投入资金(万元)				
总体目标	从消除地质安全隐患、生态胁迫影响,提升生态系统质量、生态系统服务功能等方面提出。			
绩效指标	一级指标	二级指标	三级指标 <sup>a</sup> (单位)	目标值
	产出指标	数量指标		
			...	...
		质量指标		
			...	...
	效益指标	时效指标		
			...	...
		成本指标		
			...	...
	满意度指标	经济效益指标		
			...	...
		社会效益指标		
			...	...
		生态效益指标		
			...	...
		可持续影响指标		
			...	...
<sup>a</sup> 三级指标及其目标值在设计时根据修复工程项目的不同具体设定。				

## 附录 C (规范性)

挡墙适用条件与设计要求见表C. 1。

表C.1 挡墙适用条件与设计要求表

挡墙类型	适用条件	设计要求
重力式挡墙	土质边坡，坡高不高于 10 m；岩质边坡，坡高不高于 12 m。 不宜用于变形要求严格、开挖可能失稳的边坡；不应用于开挖危及周边安全的边坡。	采用块石、条石材料时，强度等级不应低于 MU30，砂浆强度等级不应低于 M5.0；采用混凝土材料时，强度等级不应低于 C15。基础最小埋置深度不宜低于 1.00 m，墙顶宽度不宜低于 400 mm，必要位置处应设置沉降缝、伸缩缝，缝宽宜为 20 mm~30 mm。墙体应设置泄水孔，墙后回填透水性较强的材料。
悬臂式挡墙	地基承载力较低的填方边坡。 不宜用于工程地质条件不良的地段。	墙高不宜高于 6 m，钢筋混凝土结构，受力钢筋直径不应低于 12 mm，混凝土强度等级不应低于 C20，保护层厚度不低于 40 mm，基础最小埋置深度不宜低于 1.00 m。截面尺寸根据强度和变形计算确定，立板顶宽和底板厚度不应低于 200 mm；墙高大于 4.00 m 时，宜加根部翼。必要位置处应设置沉降缝、伸缩缝，伸缩缝间距宜为 10 m~15 m。墙体应设置泄水孔，墙后回填透水性较强的材料。
扶壁式挡墙		墙高不宜高于 10 m，钢筋混凝土结构，受力钢筋直径不应低于 12 mm，混凝土强度等级不应低于 C20，保护层厚度不应低于 40 mm，基础最小埋置深度不宜低于 1.00 m。挡墙尺寸应根据强度和变形计算确定，扶壁间距宜为 1/3~1/2 墙高，扶壁厚度不宜低于 300 mm，立板顶宽和底板厚度不应低于 200 mm，扶壁处立板的外伸长度约为扶壁净距的 0.35 倍。必要位置处应设置沉降缝、伸缩缝，伸缩缝间距宜为 10 m~15 m。墙体应设置泄水孔，墙后回填透水性较强的材料。
桩板式挡墙	各类边坡	分为悬臂式和锚拉式两种结构形式。 悬臂式墙高不宜高于 10 m，桩的嵌固深度不宜低于 1/3 桩长，墙顶位移应小于 1/100 悬臂段长度，不宜大于 100 mm。锚拉式墙高不宜高于 25 m，锚孔距桩顶距离不宜低于 1500 mm，锚杆(索)孔灌注的水泥砂浆强度等级不低于 M30。 板为现浇或预制钢筋混凝土板，桩间距不宜小于 2 倍桩径和桩截面短边尺寸；桩板混凝土强度等级不应低于 C25；桩受力主筋混凝土保护层厚度不应低于 50 mm；板受力主筋混凝土保护层挡土一侧不应低于 25 mm，临空一侧不应低于 20 mm。桩两侧配置的纵向构造钢筋直径不宜低于 12 mm，间距不宜大于 400 mm；桩受压边配置的纵向构造钢筋直径不宜低于 14 mm，间距不宜大于 200 mm。地面处桩水平位移不宜大于 10 mm。伸缩缝缝宽不宜大于 25 mm。墙体应设置泄水孔，墙后回填透水性较强的材料。

**附录 D**  
**(资料性)**  
**常用土壤改良材料推荐**

常用土壤改良材料推荐见表D.1。

**表D.1 常用土壤改良材料推荐表**

土壤状况	改良材料	施用要求	
		添加量	施用方式
紧实土壤 (容重>1.35 g/cm <sup>3</sup> )	有机肥	300 kg/667m <sup>2</sup> ~500 kg/667m <sup>2</sup> , 添加量随土壤紧实程度增加。	均匀撒施后翻耕, 条施、穴施、环状施后覆土。
	生物炭 <sup>a</sup>		均匀撒施, 深翻不低于 20 cm。
酸性土壤	生石灰	每提高 1 个单位土壤 pH 值用量: 50 kg/667m <sup>2</sup> ~70 kg/667m <sup>2</sup> 。	均匀撒施, 深翻不低于 20 cm。
	熟石灰	每提高 1 个单位土壤 pH 值用量: 70 kg/667m <sup>2</sup> ~85 kg/667m <sup>2</sup> 。	
盐碱土壤	石膏粉	20 kg/667m <sup>2</sup> ~50 kg/667m <sup>2</sup> , 应配合灌溉排水措施。	均匀撒施, 深翻不低于 20 cm, 应与灌排措施结合。
	硫磺	每降低 1 个单位土壤 pH 值用量: 30 kg/667m <sup>2</sup> ~60 kg/667m <sup>2</sup> 。	均匀撒施, 深翻不低于 20 cm。
粘质土壤	河砂(粒径 0.1 mm~0.5 mm)、砂土	10000 kg/667m <sup>2</sup> ~15000 kg/667m <sup>2</sup> 。	均匀撒施, 深翻不低于 20 cm。
	沸石或珍珠岩(粒径 0.5 mm~1 mm); 硅藻土(粒径 0.25 mm~1 mm)	3000 kg/667m <sup>2</sup> ~4000 kg/667m <sup>2</sup> 。	
	河泥、泥炭、腐熟农家肥	3000 kg/667m <sup>2</sup> ~4000 kg/667m <sup>2</sup> 。	
砂质土壤	粘土、粘壤土、塘泥	10000 kg/667m <sup>2</sup> ~15000 kg/667m <sup>2</sup> 。	
贫瘠土壤	腐熟堆肥、厩肥	1000 kg/667m <sup>2</sup> ~2000 kg/667m <sup>2</sup> , 配施尿素 5 kg/667m <sup>2</sup> ~10 kg/667m <sup>2</sup> 。	均匀撒施, 表层 0 cm~20 cm 翻混均匀。
	商品有机肥	300 kg/667m <sup>2</sup> ~400 kg/667m <sup>2</sup> , 配施尿素 5 kg/667m <sup>2</sup> ~10 kg/667m <sup>2</sup> 。	
	农作物秸秆	300 kg/667m <sup>2</sup> ~400 kg/667m <sup>2</sup> (以干秆计), 配施尿素 5 kg/667m <sup>2</sup> ~10 kg/667m <sup>2</sup> 。有效磷缺乏时, 还应增施钙镁磷肥; 速效钾、缓效钾缺乏时, 还应增施氯化钾或硫酸钾。	

<sup>a</sup>生物炭为植物基/畜禽粪便基生物炭。

**附录 E**  
**(资料性)**  
**常见适生植物推荐**

常见适生植物见表E.1。

**表E.1 常见适生植物表**

地貌分区	地貌类型	常见适生植物				
		乔木	灌木	藤本	草本	水(湿)
淮北平原	北部故黄河泛滥平原	刺槐、臭椿、榆树、苦楝、白蜡、泡桐、楸树、杨树、白榆、侧柏、水杉、核桃、枣树、柿树、旱柳、构树	石榴、紫穗槐、铺地柏、杞柳、紫薇、小叶女贞	野蔷薇、葛藤、金银花、凌霄、葡萄、爬山虎	剪股颖、结缕草、狗牙根、黑麦草、麦冬草、高羊茅、白花三叶草、紫花苜蓿	香蒲、芦苇、水葱、荷花、睡莲、菹草、苦草、千屈菜
	东北部低山丘陵	侧柏、油桐、构树、刺槐、苦楝、合欢、黄连木、青檀、枣树、杏树、柿树、板栗、泡桐、旱柳	石榴、紫穗槐、杞柳、木槿、胡颓子、连翘	野蔷薇、葛藤、金银花、凌霄、美国地锦、爬山虎	剪股颖、结缕草、狗牙根、高羊茅、紫花苜蓿	
	南部河谷及河间平原	水杉、杨树、臭椿、楸树、枣树、泡桐、刺槐、白榆、柿树、旱柳	石榴、紫穗槐、铺地柏、杞柳、紫薇、小叶女贞	野蔷薇、葛藤、金银花、凌霄、葡萄、爬山虎	结缕草、狗牙根、黑麦草、麦冬草、高羊茅、白花三叶草、紫花苜蓿	
江淮波状平原	北部丘陵波状平原	马尾松、侧柏、铅笔柏、构树、麻栎、泡桐、枣树	石榴、紫穗槐、胡颓子、杞柳、木槿、黄杨、小叶女贞	凌霄、葛藤、金银花、常春藤、爬山虎	剪股颖、紫花苜蓿、狗牙根、冬茅草、高羊茅	香蒲、芦苇、水葱、荷花、睡莲、菹草、苦草
	中部波状平原	马尾松、侧柏、刺槐、麻栎、栓皮栎、板栗、黄连木、泡桐、油茶、枣树、旱柳、构树	石榴、紫穗槐、杞柳、黄杨、小龙柏、铺地柏、小叶女贞	凌霄、葛藤、常春藤、爬山虎	剪股颖、结缕草、狗牙根、冬茅草、高羊茅、紫花苜蓿	
	南部丘陵浅丘状平原	马尾松、侧柏、刺槐、板栗、黄连木、泡桐、苦楝、杉木、油茶、枣树、枫香	石榴、紫穗槐、木槿、胡颓子、夹竹桃	凌霄、葛藤、金银花、常春藤、爬山虎	紫花苜蓿、狗牙根、冬茅草、高羊茅	

表 E.1 常见适生植物表（续）

地貌分区	地貌类型	常见适生植物				
		乔木	灌木	藤本	草本	水（湿）
沿江丘陵平原	江北丘陵波状平原	马尾松、麻栎、黄连木、青檀、杉木、泡桐、板栗、枫香、构树	石榴、紫穗槐、黄杨、胡枝子、胡颓子、红叶石楠	凌霄、葛藤、常春藤、爬山虎	剪股颖、狗牙根、高羊茅、香根草、冬茅草、白花三叶草、紫花苜蓿	菖蒲、香蒲、芦苇、水葱、荷花、菱角、睡莲、菹草、苦草、千屈菜
	沿江平原	杨树、泡桐、黄连木、水杉、池杉、香椿、枫杨、枫香	黄杨、胡枝子、胡颓子、茶树、圆竹、红叶石楠	凌霄、葛藤、常春藤、爬山虎	狗牙根、高羊茅、香根草、冬茅草、白花三叶草、紫花苜蓿	荷花、菱角、睡莲、菹草、苦草、千屈菜
	江南丘陵浅丘状平原	马尾松、麻栎、侧柏、刺槐、杉木、板栗、油茶、油桐、臭椿、黄连木、青檀、枫香	黄杨、胡枝子、胡颓子、茶树、圆竹、红叶石楠	凌霄、葛藤、常春藤、爬山虎、	狗牙根、高羊茅、香根草、蒲苇草	苦草、千屈菜
皖西山地	北部低山丘陵	马尾松、栓皮栎、麻栎、板栗、山核桃、漆树、杉木、黄连木、青檀、构树	胡颓子、杞柳、夹竹桃、红叶石楠、黄杨、小叶女贞、圆竹、茶树	凌霄、葛藤、常春藤、油麻藤、爬山虎、地枇杷	剪股颖、百喜草、狗牙根、高羊茅、蒲苇草、香根草	菖蒲、芦苇、水葱、荷花、睡莲、菱角、菹草、苦草、千屈菜
	南部中低山	杉木、马尾松、黄山松、金钱松、麻栎、栓皮栎、漆树、檫树、黄连木、青冈栎、板栗、山核桃、油茶、油桐、楸树、枫香	胡颓子、杞柳、夹竹桃、红叶石楠、黄杨、火棘、山胡椒	凌霄、葛藤、油麻藤、常春藤、爬山虎、扶芳藤	剪股颖、百喜草、结缕草、狗牙根、高羊茅、香根草	睡莲、菱角、菹草、苦草、千屈菜
皖南山地	九华山中低山	马尾松、枫香、木荷、杉木、檫树、毛竹、油茶、青冈栎	胡颓子、杞柳、夹竹桃、红叶石楠、茶树、南天竹、火棘	凌霄、葛藤、油麻藤、常春藤、爬山虎、扶芳藤	剪股颖、百喜草、结缕草、狗牙根、高羊茅、香根草	
	黄山中低山	马尾松、金钱松、木荷、油茶、油桐、毛竹、枇杷、南酸枣、山核桃	胡颓子、杞柳、夹竹桃、红叶石楠、黄杨、火棘、南天竹、茶树	凌霄、葛藤、油麻藤、常春藤、爬山虎、扶芳藤	剪股颖、百喜草、结缕草、狗牙根、高羊茅、香根草	菖蒲、芦苇、水葱、荷花、芡实、睡莲、
	屯溪 - 祁门丘陵平原	马尾松、杉木、南酸枣、枫香、檫树、毛竹、油茶、青檀、麻栎、黄连木、枇杷	夹竹桃、紫荆、红叶石楠、茶叶、火棘	凌霄、葛藤、油麻藤、常春藤、爬山虎、扶芳藤	剪股颖、百喜草、结缕草、狗牙根、高羊茅、香根草	菱角、菹草、苦草、千屈菜
	白际山 - 天目山中低山	黄山松、马尾松、毛竹、油茶、油桐、青冈栎、山核桃、檫树	胡颓子、杞柳、夹竹桃、红叶石楠、黄杨、火棘	凌霄、葛藤、油麻藤、常春藤、爬山虎、扶芳藤	剪股颖、百喜草、结缕草、狗牙根、高羊茅、香根草	

**附录 F**  
**(规范性)**  
**植被重建设计及施工要求**

F.1 栽植施工要点见表 F.1。

**表 F.1 栽植施工要点表**

栽植方式		施工要点
植苗	裸根苗	垂直挖穴，穴尺寸略大于土球或苗根系展幅。遇土壤干燥时应先灌水浸穴；遇穴底土壤密实、粘重或不透水时，应采取扩穴、松土或排水措施。栽植时应先施肥后填土，分层踏实。栽植后的苗干应正，根系应舒展，深浅应适当。
	容器苗	植穴应略大于容器规格，不易降解的容器栽植时应去除。
分殖	插条	采蕙圃、苗圃培育的插条，条长 20 cm~50 cm，直径 1 cm~2 cm。插穗下端削成马耳形，随采随插，插植深度为穗长的 1/2 以上。
	插干	1 年~3 年生，干长 1 m~5 m，直径 2 cm~5 cm。下端削成楔形或马耳形，每穴直插一株。插植深度一般在 30 cm 以上。
	分根	根穗长 15 cm~20 cm，下端削成马耳形埋入土中，上端微露出地面，用土堆覆盖。
	地下茎	主要适用于竹子。移栽应选择 1 年~2 年生母竹，来鞭长 30 cm~40 cm，去鞭长 40 cm~50 cm；栽植后的鞭根应舒展。移鞭可在移植前一个月挖出，多带宿土，截成约 100 cm 平埋在槽内，沉实土厚约 10 cm。分蔸应将挖出的母竹竹竿地表以上 20 cm~30 cm 处截断，制成竹篼放入穴中栽植，填土压实。

F.2 植生方法及适用条件见表 F.2。

**表 F.2 植生方法及适用条件表**

植生方法	边坡类型	坡度 (坡率)	坡长 (m)	建植类型
植生毯	土质、土石质	≤35°(1:1.43)	-	乔灌草型、灌草型
植生袋	土质、土石质、岩质	≤45°(1:1.00)	≤10	乔灌草型、灌草型
生态灌浆	土石质(废渣)	≤35°(1:1.43)	-	灌草型
土工格室	土石质、岩质	≤45°(1:1.00)	≤10	灌草型
三维网	土质、土石质	≤45°(1:1.00)	≤10	乔灌草型

注：“-”不做要求，坡长超过 10 m 应分级处理。

F.3 植生方法设计及施工要点见表 F.3。

表 F.3 植生方法设计及施工要点表

植生方法	设计要点	施工要点
植生毯	工程分散、立地条件差异较大时，选择三层结构植生毯；工程相对集中、立地条件相似时，选择五层结构植生毯；植物品种选配、建植类型和单位面积播种量根据气候、土壤条件及周边植物情况等确定。	清除杂物，压实、整平坡面；自上而下铺设，用铁钉或木桩固定（1个/ $m^2$ ），顶端部应牢牢固定，毯与坡面紧贴，使有种子的一面展开；毯间搭接宽度 10 cm；施工后立即喷水，保持坡面湿润直至种子发芽。
植生袋	码放方式及码放高度根据坡体稳定程度、坡度、坡长确定，坡度陡时宜与护坡措施结合使用；植物品种选配、建植类型根据立地条件确定。	清理基底，平整边坡；轻拿轻放、错茬码放，袋与袋、袋与坡面间用土填实；坡度越大，上下袋叠压部分越大，垂直或接近垂直叠压时，应在坡面上打固定桩；坡底设置排水沟，袋间间隔放置排水管；施工后及时喷水，保持坡面湿润直至种子发芽；未出苗的及时打孔补播。
生态灌浆	植物品种及其搭配应根据立地条件和恢复目标确定；有机质、肥料、保水剂、粘合剂、壤土、水配合比根据灌浆目的层土壤特性确定；灌浆深度根据植被恢复目标确定，一般 30 cm~50 cm。	整理、平整坡面，保持边坡稳定；坡脚设置围堰拦挡泥浆溢流下渗；灌浆、振动、捣实，充盈、填实空隙；表层 2 cm~3 cm 灌浆时，混合料中加入植物种子；完工后用无纺布或植被毯覆盖。
土工格室	格室规格根据立地条件选择，单组格室展开尺寸不应小于 4 m×5 m，高度一般 5 cm~30 cm；材料应符合 JT/T 516 的规定；需做好与截排水系统的衔接。	修整坡面，清除浮石、杂草、树根等；自上而下铺设、固定格室；格室内填土，振动板振实后高出格室 1 cm~2 cm；格室内植苗或穴播种子；完工后覆盖无纺布、稻草等。
三维网	单位面积质量不应低于 350 g/ $m^2$ ，厚度不应低于 14 mm，最大抗拉强度（纵横）不低于 2.0 kN/m；坡顶及坡底沟槽宽约 30 cm，深大于 20 cm，顶沟距坡面 20 cm~30 cm；裁剪长度应比坡面长 130 cm，固定钉长 20 cm~45 cm，钉间距一般为 90 cm~150 cm（含搭接处），沟槽内钉距约 75 cm。植物品种选配、建植类型根据气候、立地条件确定。	整平坡面，清除浮石、浮渣及障碍物等；顺坡自上而下铺网，网上向外延 50 cm 以上，并埋入截水沟或坡顶平台中；相邻网间搭接宽度 10 cm；网面平整、不悬空、不褶皱、与坡面紧贴；固网锚钉间距 100 cm，坡顶及坡面不平处加密；在上部网包层内分层、多次客土回填，并洒水浸润，至网包层不外露止；网上播种、喷播或铺草皮；完工后覆盖无纺布、稻草等。

F.4 喷播方法及适用条件见表 F.4。

表 F.4 喷播方法及适用条件表

喷播方法	边坡类型	坡度	坡率	基质厚度 (mm)	基质离析度 (%)	建植类型
团粒喷播	土质、土石质、岩质	$\leq 65^\circ$	1:0.47	30~80	5~30	乔灌草型、灌草型、草本型
植被混凝土喷播				30~100	5~30	灌草型、草本型
客土喷播		$\leq 55^\circ$	1:0.70	50~120	40~60	乔灌草型、灌草型、草本型
有机质喷播		$\leq 45^\circ$	1:1.00	80~150	30~60	
液力喷播	土质	$\leq 35^\circ$	1:1.43	不考虑		草本型

注：岩质边坡团粒喷播坡长宜小于 30 m；坡度大于 45°、年降雨量不低于 800 mm 或日降雨量不低于 25 mm 地区，喷播基质离析度应小于 20%；液力喷播宜用于年降雨量小于 800 mm 的地区。

F.5 喷播主要环节施工要点见表 F.5。

表 F.5 喷播主要环节施工要点表

主要环节	施工要点
边坡修整	自上而下分段施工；清除杂物、平整坡面、压实坡面或增加坡面粗糙度等；已有木本植物宜保留。
截排水施工	截水天沟、截水内沟、排水沟应在边坡修正后施工。植被混凝土喷播的坡面上 8 m~10 m 应设置一条纵向排水沟。
铺网作业	自上而下铺网，上向外延长度应大于 1.5 m，土质边坡应大于 3 m，沟槽内埋深应大于 0.4 m；网面与坡面间距离为设计喷播厚度的 2/3；相邻网片间搭接宽度 100 mm~150 mm；锚钉垂直坡面或与坡面夹角大于 15°，间距 1000 mm，坡顶、坡面不平处加密；灌浆网钉应在浆体终凝 24 小时后施工。
喷播作业	喷播应先上后下、先易后难、厚度均匀；按设计厚度分层喷播，基底层先喷，种子层后喷，种子层喷播厚度宜为 5 mm~30 mm；不得漏喷，不应流失基质。种子层喷播应保证植物发芽和安全越冬。
养护管理	保证种子萌发和幼苗期间水分供应，养护水质应符合 GB 5084 规定；根据植物生长状况施肥，肥料使用应符合 HJ 555 的规定；促进植物均衡生长。

## 附录 G

(规范性)

## 生态监测

生态监测推荐指标、方法、密度、频率要求见表G.1。

表 G.1 生态监测推荐指标、方法、密度、频率表

一级指标	二级指标	单位	监测方法	监测点密度	监测频率
生态系统格局与质量	生态系统结构类型构成比例	%	遥感解译	/	1次/年
	生态系统类型面积变化率	%	遥感解译	/	1次/年
	森林和灌丛生态系统质量	等级	遥感解译	/	1次/年
	草地生态系统质量	等级	遥感解译	/	1次/年
植被覆盖	植被覆盖度	%	遥感解译	/	1次/年
水土环境	地表水质监测点位达标率	%	取样测试	1点/类型	2次/年
	土壤监测点位达标率	%	取样测试	1点/样地	1次/年
	地下水水质监测点位达标率	%	取样测试	1点/类型	1次/年
地质安全	地质安全隐患	处	目测/测量	3点/处	1次/季度
土壤侵蚀	土壤侵蚀模数	(t/km <sup>2</sup> ·a)	遥感解译	1点/矿山	1次/年
生物多样性	物种丰富度	个	样方调查	1点/样地	1次/年
	本地物种数目	个	样方调查	1点/样地	1次/年
	重要物种变化	/	样方调查	1点/样地	1次/年
	有害物种变化	/	样方调查	1点/样地	1次/年
碳汇	植被碳密度	tC/hm <sup>2</sup>	遥感解译	/	1次/年
	土壤有机碳	kgC/m <sup>2</sup>	遥感解译	/	1次/年

## 参 考 文 献

- [1] GB 2893 安全色
  - [2] GB/T 14848 地下水质量标准
  - [3] GB/T 41280 卫星遥感影像植被覆盖度产品规范
  - [4] HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
  - [5] HJ 623 区域生物多样性评价标准
  - [6] HJ 1171 全国生态状况调查评估技术规范- 生态系统格局评估
  - [7] HJ 1172 全国生态状况调查评估技术规范- 生态系统质量评估
  - [8] SL 190 土壤侵蚀分类分级标准
  - [9] SL 277 水土保持监测技术规程
-