

# 团体标准

T/EERT XXXX—2025

## 露天矿山生态修复技术规范

Technical specifications for ecological restoration of the open mines

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

浙江省生态与环境修复技术协会 发布

目次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 建设目标和基本要求 ..... 2

5 调查 ..... 2

6 设计 ..... 2

7 施工 ..... 3

8 监理 ..... 4

9 养护 ..... 4

10 验收 ..... 4

11 建档 ..... 5

附录 A（资料性） 不同区域植物选择表 ..... 6

附录 B（资料性） 特殊边坡植物选择表 ..... 7

附录 C（资料性） 植物中名与学名对照表 ..... 8

附录 D（资料性） 边坡植被修复及绿化造林技术 ..... 11

附录 E（规范性） 交工验收评价表 ..... 26

附录 F（规范性） 竣工验收工程质量评价方法 ..... 27

## 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。

**本文件中的某些内容可能涉及专利，文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。**

本文件由浙江省生态与环境修复技术协会提出。

本文件由浙江省生态与环境修复技术协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：XXX、XXX、XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX。

本文件为首次发布。

# 露天矿山生态修复技术规范

## 1 范围

本文件规定了露天矿山生态修复技术的总体目标和基本要求，以及调查、设计、施工、监理、养护、验收、建档的技术流程。

本文件适用于浙江省域范围内露天开采矿山边坡植被恢复和林地复垦的工程建设。

## 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 6000—1999 主要造林树种苗木质量分级
- GB 6141—2008 豆科草种子质量分级
- GB 6142—2008 禾本科草种子质量分级
- GB 7908—1999 林木种子质量分级
- GB/T 11822 科学技术档案案卷构成的一般要求
- GB/T 15776 造林技术规程
- GB/T 38360—2019 裸露坡面植被恢复技术规范
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB 51018 水土保持工程设计规范
- LY/T 1000 容器育苗技术
- LY/T 1607 造林作业设计规程
- TD/T 1036 土地复垦质量控制标准
- JGJ 130 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**喷播** spray seeding

用种子拌和基质通过机械设备喷附在作业面上的机械播种方式。

### 3.2

**基质** growing substrate

由人工配制具有一定物理和化学性质代替土壤的植物生长基质。

### 3.3

**鱼鳞坑** scaly pits

在边坡上挖掘类似鱼鳞状的半圆型或月牙型的种植坑。

### 3.4

**植生袋** the bags for growing plants

采用塑料编织或土工织物材料制作并装满基质的土袋。

### 3.5

**定植穴** identify the holes where the plants are grown

确定苗木种植位置并挖穴待种植的坑穴。

## 3.6

外来物种 plants from abroad

通称从国外引进的生物或植物物种。

## 3.7

关键种 key species

影响生态系统结构与功能的物种。

## 3.8

包衣种子 coated seeds

用具有成膜特性药物制剂包裹的种子。

## 3.9

阶梯式导流沟 stepped diversion ditch

又称竹节式导流沟,是一种让水流沿着纵向的导流沟呈阶梯式逐级向下径流以减小水流动能导水沟。

## 3.10

消能池 the pools that consume energy

纵向导流沟下游用于消耗水流能量以减缓水流速度的小型池坑构筑物,一般为长宽深各1 m。

## 4 建设目标和基本要求

## 4.1 建设目标

4.1.1 边坡无崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害隐患,矿山地质环境稳定。

4.1.2 水体和土体环境污染得到有效治理。

4.1.3 边坡植被得到有效恢复,物种多样性丰富,交工验收两年后的木本植物盖度达 20 %以上,矿山植被恢复区的绿化覆盖率在 90 %以上。

4.1.4 林地幼林乔木树种密度在每亩 110 株以上,交工验收两年后的乔木树种郁闭度在 0.3 以上,林下植被覆盖度在 80 %以上。

## 4.2 基本要求

4.2.1 植被恢复工程应建立在地质环境安全稳定基础上,并且经济适用。

4.2.2 景观再造应根据建设区地形地貌、文化传承和城市规划等进行专项设计。

4.2.3 边坡植被恢复工程应贯穿调查、设计、施工、监理、养护、验收、建档基本流程。

4.2.4 复垦造林工程应按 LY/T 1607 的规定执行。

## 5 调查

5.1 边坡植被恢复工程建设,在设计前应有关专业技术人员进行实地调查和勘查,调查气象水文、地形地貌、地质环境、工程地质、水文地质、土壤和植被及施工条件等,充分认识建设区的背景。

5.2 应对建设区进行地裂缝、崩塌、滑坡等地质灾害及其隐患种类、分布、规模、成因、危险性大小和危害程度的调查分析,并对稳定性作出评价。

5.3 应对建设区水体、土体、大气环境污染情况和含水层破坏情况的调查,分析污染程度和对含水层破坏情况的评价。

5.4 应对建设区进行实地测量,比例尺不应小于 1:10000,有重大影响的矿山地质环境问题,比例尺不应小于 1:1000。

## 6 设计

6.1 设计应明确建设区的坐标界定范围与面积;设计应具备地质、生态、林业或绿化等相关专业的技术人员。

6.2 设计应结合调查，明确建设区矿山生态修复工程建设的指导思想、总体目标和基本原则，列示有关法律法规、规范性文件和资料等设计依据。

6.3 设计应明确削坡减载等稳定性治理、截排水系统、挡墙工程、植被工程、复垦工程、养护系统等分部工程，并按照分部工程展开分项工程的设计，列表显示各分部分项工程的内容。具体要求如下：

- a) 稳定性治理应按照建设区用地要求，结合建设区稳定性分析，采取削坡减载、清坡排险、锚杆加固、柔性网支护、格构梁护坡、被动网防护、隔离避让等技术措施。底盘用作建筑用地的，稳定性应符合 GB 50330 的规定。
- b) 截排水系统应根据建设区降雨情况和汇水情况分析设计截水沟和排水沟及消能池的设置与规格尺寸，并符合 GB 51018 的规定，根据实际情况采用砼浇筑、块石砌筑等方式进行有效构筑，纵向导流沟的设计宜采用阶梯式导流沟，以利于消能也便于上下养护时人行作业。
- c) 挡墙工程应根据挡土功能设计重力式挡墙、护坡挡墙和一般挡墙。坡脚挡墙在界定底盘界线的同时，便于种植绿化构建绿色屏障，挡墙离坡脚线的距离要根据坡高设计，一般不小于 4 m，挡墙配套泄水孔、伸缩缝、克顶、勾缝等工艺，以及内侧反滤层结构。
- d) 边坡植被恢复和复垦林地应结合浙江省区域特点选择适生植物（附录 A），并根据水泥用灰岩矿等碱性矿山、硫铁矿等酸性矿山、铅锌矿等污染矿山，优选耐酸、碱、耐污染的植物（附录 B），为克服植物中文名称一种多名的弊端，规程给出了植物中名与学名的对照（附录 C）。
- e) 边坡植被恢复设计应根据建设区功能要求，结合立地条件或创造立地条件，从物种多样性、绿化覆盖率和群落稳定性三方面，采用机械喷播和人工种植技术进行受损山体边坡的植被修复（附录 D）。
- f) 复垦乔木林地要求土层厚度在 60 cm 以上，其中有效土层厚度在 30 cm 以上；复垦灌木林地要求土层厚度在 40 cm 以上，其中有效土层厚度在 20 cm 以上。
- g) 林地种植后，必须在树种间撒播或点播胡枝子、马棘、狗牙根、高羊茅等灌木和草本植物种子，做到林地绿化全覆盖。
- h) 地处自然保护地的建设区，应严格禁止外来物种的种植或入侵，应严格选择保护区内的植物种类。
- i) 养护系统应根据建设区面积和旱季情况进行设计，明确水源的有效供给，养护用水应保证对植物生长无影响的水质，以及配套的蓄水池、高压泵、管网布设、喷头设置等养护系统，做到养护浇水全覆盖，不留死角。

6.4 设计应明确各分项工程内容的质量要求，明确养护期，明确各分部分项工程内容的工程量、计划进度和经费概算。明确质量、进度、技术、资金等保障措施；分析社会、经济和生态效益；对生态修复工程建设进行风险评价。

6.5 设计应包含调查成果和设计成果两大部分成果，调查成果要明确稳定性和生态问题等评价结论，设计成果应与调查评价结论相呼应，明确具体的生态修复技术方法，要求针对性强、精准、细致、经济、有效，不应使用“可”、“或”等模棱两可的设计字样。设计应具备施工图件。

6.6 设计应由建设单位组织地质、林业或绿化、生态等有关专业的专家进行评审，评审通过后将评审意见和专家名单及专家提出的修改意见对照单附在设计中，修改意见对照单由专家组长签字确认修改到位，作为矿山工程建设的技术依据备案。

## 7 施工

7.1 施工应具备并明确项目经理和技术负责人，以及明确安全员、资料员、材料员五大员，满足相关职业要求，持证上岗。配备足够的上岗作业人员和机械设备，以满足工程建设质量和时间进度要求。

7.2 施工前应进行技术交底，应编写施工组织设计方案，明确项目建设内容和建设目标及工程质量要求与质量控制等，项目部、生活区、作业区布局明确，并且合理，由监理确认同意后方可进场施工。必要时可组织专家论证施工组织设计方案，通过后再施工。

7.3 施工应按设计及其图件施工，施工单位不能擅自改变设计，如果在施工中确实有问题需要变更的，应具有监理、设计和业主或建设单位三方确认的联系单，如果变更内容较大或主体工程变化较大，应重新组织专家进行变更设计的论证或评审。

7.4 施工时应严格把好质量关,按设计要求,做好钢筋、水泥、石块、基质、苗木、网片等进场材料和数量及规格的报验,锚钉、基槽、锚杆等隐蔽工程应预先检验合格后方可进入下一道工序的施工;在施工过程中,应进行有关水泥砂浆砼试块测验、锚杆拉拔试验、植物种子发芽率测试和场部发芽率测验等,以保证施工质量。

7.5 施工应文明施工、安全施工、环保施工、规范施工,建立相关安全、环保、水土保持和文明施工等制度并恪守制度,设立进度告示标牌、安全警示标牌和文明施工宣传标牌。施工结束后及时清场,保证建设场地整洁。

## 8 监理

8.1 边坡植被修复和复垦造林工程建设应具备工程监理,工程监理由建设单位或业主委托有资质的监理单位,监理单位应委派监理能力强、公正公平、熟悉业务的监理工程师驻工程现场进行监理。

8.2 监理应服从服务性、科学性、独立性和公平性原则,用心、尽责代表建设单位或业主履行质量、安全和进度等的控制。

8.3 监理工程师应根据法律法规、工程建设标准、设计文件及合同,在施工阶段对建设工程质量、进度等进行控制,对合同、信息进行管理,对工程建设相关方的关系进行协调。

8.4 工程监理参与技术交底,应对开工报告、施工组织设计、人员和进场材料数量与质量及隐蔽工程等都要求检验,严格施工单位按设计要求施工,并按有关建设工程质量管理要求进行质量管理。

8.5 工程完工和竣工时,监理单位应出具监理总结报告,并对工程的完工情况和质量要求是否达到设计的工程量和设计的预期目标应有明确的表达。

## 9 养护

9.1 养护包括浇水、施肥、病虫害防治和对死亡缺株苗木的补植等,以及有关水泥砼等构建物的保养,以巩固建设成果。植被和造林养护期为交工验收后两个水文年。

9.2 浇水养护应保证用水来源,采用喷灌、微灌、滴灌等方式,保证绿化区域浇水全覆盖。不应用重金属污染和酸、碱性较强、盐分较高的水质浇水。干旱季节宜保证每天每万平方米 15 t 水的用水量。

9.3 施肥应根据植物生长进行追肥,遵循“少量多次”原则,提倡测土施肥,春季以施 N、P 肥为主,秋季以施 N、K 肥为主,提倡使用商品有机肥,保障基质中的有机质含量在 4%~5%之间,水解 N、有效 P、速效 K 分别在 150 mg/kg、1.5 mg/kg、80 mg/kg 以上。

9.4 病虫害防治应随时观察病虫害危害情况。发现萎蔫、萎缩、黄化、畸形等病害情况应及时喷散多菌灵等杀菌剂兑水喷雾防治;发现枯黄、发白、食虫危害等蝗虫、飞虱、蚜虫等虫害宜采用溴氰菊酯等杀虫剂兑水喷雾灭杀。

9.5 苗木补植。对种植胸径 $\geq 4$  cm 的树种应采用竹杆或木棍等对苗木进行支护,防止风吹摇曳甚至倒伏影响成活;经常巡查观察,对未支护而倾倒的苗木及时扶正;对于死亡缺株的种植苗木应及时做好补植工作。

9.6 对有碍目的树种生长的葛藤等,应采取挖除等方式以保障目的树种正常生长;对有碍目标群落生长的种群,如草本太旺盛而抑制木本植物正常生长时,宜采取刈割草丛、增补木本植物措施,以保障木本植物数量并且能够良好生长。

9.7 为防止边坡植被恢复和复垦造林建设工程的牲畜和人为破坏,要有专人巡查,并在醒目处设立警示牌等措施。

## 10 验收

10.1 交工验收。工程完工后,由施工单位提出申请交工验收报告单,并经监理、设计、建设单位同意后,由建设单位邀请有关地质、林业或绿化、生态等方面专家组织交工验收。交工验收应分别察看现场、审查验收资料、听取施工、监理和设计单位汇报。

10.2 交工验收专家应针对崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害稳定性治理和喷播、种植的边坡植被和复垦造林及挡墙、截排水工程、养护系统和水土体污染治理的完好有效性等现场质量及其报验材料的系统性、完整性、真实性进行验收，填写交工验收评价表（附录 E），明确是否满足设计要求和是否通过交工验收，并给出交工验收意见及其整改意见。

10.3 交工验收材料依次包括交工验收申报表、交工验收总结报告、合同书、技术交底材料、有关会议纪要、施工组织设计、开工报告、分部分项工程及其检验批次、工程联系单和变更联系单、进场材料报验、隐蔽工程检验、有关测试测验、经费报告、实测竣工图件等。

10.4 交工验收总结报告内容依次为项目建设背景、工程主要内容、工程建设过程（包括分部分项执行过程及其质量和时间节点控制）、执行结果并列示设计与实际工程内容及其工程量对照表、变更联系情况、建设效果自我评价、存在问题与下步打算、附有关施工图件。

10.5 竣工验收。交工验收通过后经两个水文年的养护期和对交工验收时提出的意见进行及时整改落实并到位、有效后，由施工单位提出申请竣工验收报告单，并经监理、设计、建设单位同意后，由建设单位邀请有关地质、林业或绿化、生态等方面专家组织竣工验收。

10.6 施工单位应提供竣工验收材料。竣工验收材料应包含竣工验收申报表和竣工验收总结报告。竣工验收总结报告依次为项目背景、主要工程内容、工程建设过程、交工验收意见、整改落实情况、养护情况、预期建设目标评价、经验体会、相关附件（包括交工验收意见和交工验收专家名单，有关监测材料，以及有关照片和文件等）。

10.7 竣工验收确定交工验收时专家提出的意见或建议是否整改到位，是否达到设计目标，并根据评分表，评定优、良、合格、不合格矿山生态修复工程质量（附录 F）。

## 11 建档

11.1 工程的各种资料应建档备案，做到一个工程一份档案。

11.2 应建立基本情况档案和生产过程档案。

11.3 经专家评审的设计并附有专家评审意见和专家名单、经专家验收的交工验收材料并附专家交工验收意见和专家名单、经专家验收的竣工验收材料并附专家竣工验收意见和专家名单的三份材料应存档。

11.4 建档管理应符合 GB/T 11822 和相关行业标准要求。



附 录 A  
(资料性)  
不同区域植物选择表

不同功能区植物选择表见表A.1。

表 A. 1 不同区域植物选择表

| 功能区            | 植物类型                                        |                                           |                                     |                          |
|----------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
|                | 乔木                                          | 灌木                                        | 草本                                  | 藤本                       |
| 浙北平原区          | 香樟、湿地松、女贞、构树、臭椿、榔榆、苦楝、乌桕、榉树、臭椿、泡桐、加杨、刺槐、石楠等 | 小叶蚊母树、胡枝子、马棘、盐肤木、野桐、伞房决明、小蜡、小叶女贞、黄馨、珊瑚树等  | 狗牙根、高羊茅、多年生黑麦草、紫花苜、野菊花、田菁、香根草、野古草等  | 爬山虎、络石、凌霄、薜荔、香花崖豆藤、扶芳藤等  |
| 浙西北山地丘陵区       | 木荷、青冈、苦槠、石栎、马尾松、湿地松、朴树、枫香、女贞、冬青、铁冬青、乌冈栎等    | 榿木、石斑木、美丽胡枝子、马棘、盐肤木、杜鹃、小叶女贞、山苍子、火棘、珊瑚树等   | 类芦、狗牙根、高羊茅、多年生黑麦草、野菊花、相仿苔草、香根草、野古草等 | 爬山虎、络石、凌霄、常春油麻藤、薜荔、扶芳藤等  |
| 浙东低山丘陵区        | 木荷、青冈、湿地松、枫香、女贞、冬青、铁冬青、秃瓣杜英、合欢、赤皮青冈、云山青冈等   | 榿木、石斑木、美丽胡枝子、马棘、盐肤木、杜鹃、小蜡、黄馨、火棘、山苍子、岗松等   | 类芦、狗牙根、高羊茅、多年生黑麦草、野菊花、相仿苔草、香根草、野古草等 | 爬山虎、络石、凌霄、常春油麻藤、薜荔、扶芳藤等  |
| 浙中丘陵盆地区        | 木荷、苦槠、枫香、秃瓣杜英、山杜英、乐昌含笑、乌桕、榔榆、湿地松、女贞、黄连木等    | 榿木、石斑木、美丽胡枝子、马棘、盐肤木、杜鹃、小叶女贞、黄馨、火棘、山苍子等    | 类芦、狗牙根、高羊茅、多年生黑麦草、野菊花、相仿苔草、香根草、野古草等 | 爬山虎、络石、凌霄、常春油麻藤、薜荔、扶芳藤等  |
| 浙西南中山山地区       | 木荷、甜槠、罗浮栲、栲树、青冈、小叶青冈、铁冬青、华东楠、山乌桕、闽楠、光皮桦等    | 榿木、石斑木、美丽胡枝子、马棘、盐肤木、杜鹃、小叶女贞、黄馨、火棘、珊瑚树等    | 类芦、狗牙根、高羊茅、多年生黑麦草、野菊花、相仿苔草、香根草、野古草等 | 爬山虎、络石、凌霄、常春油麻藤、薜荔、扶芳藤等  |
| 浙东南低山丘陵区       | 木荷、青冈、米槠、华东楠、秃瓣杜英、榉树、无柄小叶榕、黄连木、乌桕、木麻黄、赤桉等   | 榿木、石斑木、美丽胡枝子、马棘、盐肤木、杜鹃、小叶女贞、黄馨、火棘、珊瑚树等    | 类芦、狗牙根、高羊茅、多年生黑麦草、野菊花、野青茅、香根草、野古草等  | 爬山虎、络石、凌霄、常春油麻藤、薜荔、扶芳藤等  |
| 以舟山为典型的浙东海岛丘陵区 | 普陀樟、舟山新木姜子、木荷、红楠、全缘冬青、乌桕、黄连木、红山茶、海岛桑、鸡桑等    | 海桐、桧木、滨桧、冬青卫矛、海滨木槿、台湾蚊母树、厚叶石斑木、盐肤木、珊瑚树等   | 类芦、狗牙根、高羊茅、多年生黑麦草、野菊花、野青茅、双穗雀稗、野古草等 | 爬山虎、络石、凌霄、薜荔、扶芳藤、风藤、过山枫等 |
| 以洞头为浙南海岛丘陵区    | 无柄小叶榕、山杜英、乌桕、黄连木、邓恩桉、赤桉、木麻黄、银荆、台湾相思、海岛桑等    | 海桐、桧木、滨松、冬青卫矛、木豆、台湾蚊母树、厚叶石斑木、盐肤木、夹竹桃、珊瑚树等 | 类芦、狗牙根、高羊茅、多年生黑麦草、野菊花、野青茅、双穗雀稗、野古草等 | 爬山虎、络石、凌霄、薜荔、扶芳藤、风藤、过山枫等 |

附 录 B  
(资料性)  
特殊边坡植物选择表

特殊矿山植物选择表见表B.1。

表 B. 1 特殊边坡植物选择表

| 特殊边坡              | 优选植物                 |
|-------------------|----------------------|
| 碱性边坡（如水泥用灰岩矿等矿山）  | 乌桕、黄连木、朴树、女贞、火棘等     |
| 酸性边坡（如硫铁矿等矿山）     | 马尾松、杜鹃、岗松、美丽胡枝子、狗牙根等 |
| 污染矿山（如铅锌矿、铜铁矿等矿山） | 臭椿、女贞、构树、类芦、芒等       |

附 录 C  
(资料性)  
植物中名与学名对照表

植物中名与学名对照见表C.1。

表 C.1 植物中名与学名对照表

| 植物中名与学名                                               | 生长习性                 | 隶属科名              |
|-------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|
| 乔木                                                    |                      |                   |
| 木荷 <i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.             | 常绿乔木，高25 m           | 山茶科Theaceae       |
| 枫香 <i>Liquidambar formosana</i> Hance                 | 落叶乔木，高达30 m          | 蕁树科Altingiaceae   |
| 青冈 <i>Quercus glauca</i> Thunb.                       | 常绿乔木，高15 m~20 m      | 壳斗科Fagaceae       |
| 小叶青冈 <i>Quercus myrsinifolia</i> Blume                | 常绿乔木，高20 m，胸径达1 m    | 壳斗科Fagaceae       |
| 赤皮青冈 <i>Quercus gilva</i> Blume                       | 常绿乔木，高达30 m，胸径1 m    | 壳斗科Fagaceae       |
| 云山青冈 <i>Quercus sessilifolia</i> Blume                | 常绿乔木，高达25 m          | 壳斗科Fagaceae       |
| 乌冈栎 <i>Quercus phillyreoides</i> A. Gray              | 常绿小乔木或灌木状高达10 m      | 壳斗科Fagaceae       |
| 甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (Champ. ex Benth.) Tutch. | 常绿乔木，高达20 m          | 壳斗科Fagaceae       |
| 苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i> (Lindl.) Schottky  | 常绿乔木，高5 m~10 m，稀15 m | 壳斗科Fagaceae       |
| 米槠 <i>Castanopsis carlesii</i> (Hemsl.) Hayata.       | 常绿乔木，高达20 m          | 壳斗科Fagaceae       |
| 栲树 <i>Castanopsis fargesii</i> Franch.                | 常绿乔木，高达30 m          | 壳斗科Fagaceae       |
| 罗浮栲 <i>Castanopsis faberi</i> Hance                   | 常绿乔木，高达20 m，胸径45 cm  | 壳斗科Fagaceae       |
| 石栎 <i>Lithocarpus glaber</i> (Thunb.) Nakai           | 常绿乔木，高达15 m          | 壳斗科Fagaceae       |
| 香樟 <i>Cinnamomum camphora</i> (L.) Presl              | 常绿大乔木，高可达30 m        | 樟科Lauraceae       |
| 红楠 <i>Machilus thunbergii</i> Sieb. et Zucc.          | 常绿乔木，高达20 m          | 樟科Lauraceae       |
| 普陀樟 <i>Cinnamomum japonicum</i> Sieb.                 | 常绿乔木，高达15 m          | 樟科Lauraceae       |
| 舟山新木姜子 <i>Neolitsea sericea</i> (Bl.) Koidz.          | 常绿乔木，高达10 m          | 樟科Lauraceae       |
| 华东楠 <i>Machilus leptophylla</i> Hand.-Mazz.           | 常绿乔木，高达28 m          | 樟科Lauraceae       |
| 闽楠 <i>Phoebe bournei</i> (Hemsl.) Yang                | 常绿乔木，高达20 m          | 樟科Lauraceae       |
| 乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i> Dandy                  | 常绿乔木，原产湖南等，高达30 m    | 木兰科Magnoliaceae   |
| 秃瓣杜英 <i>Elaeocarpus glabripetalus</i> Merr.           | 常绿乔木，高12 m           | 杜英科Elaeocarpaceae |
| 山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i> (Lour.) Poir.       | 常绿小乔木，高达10 m         | 杜英科Elaeocarpaceae |
| 冬青 <i>Ilex chinensis</i> Sims                         | 常绿乔木，高达13 m          | 冬青科Aquifoliaceae  |
| 铁冬青 <i>Ilex rotunda</i> Thunb.                        | 常绿小乔木至乔木，高可达20 m     | 冬青科Aquifoliaceae  |
| 全缘冬青 <i>Ilex integra</i> Thunb.                       | 常绿小乔木，高5.5 m         | 冬青科Aquifoliaceae  |
| 女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> Ait.                      | 常绿小乔木至乔木，高可达25 m     | 木樨科Oleaceae       |
| 石楠 <i>Photinia serratifolia</i> (Desf.) Kalkman       | 常绿小乔木，高达6 m (~12) m  | 蔷薇科Rosaceae       |
| 红山茶 <i>Camellia japonica</i> L.                       | 常绿乔木或小乔木，高达13 m      | 山茶科Theaceae       |
| 无柄小叶榕 <i>Ficus concinna</i> Miq.                      | 常绿乔木，高达20 m          | 桑科Moraceae        |
| 鸡桑 <i>Morus australis</i> Poir.                       | 落叶小乔木，高达5 m          | 桑科Moraceae        |
| 榉树 <i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino             | 落叶乔木，高达30 m，胸径1 m    | 榆科Ulmaceae        |
| 朴树 <i>Celtis sinensis</i> Pers.                       | 落叶乔木，高达20 m          | 榆科Ulmaceae        |
| 榔榆 <i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.                      | 落叶乔木，高达25 m，胸径1 m    | 榆科Ulmaceae        |
| 光皮桦 <i>Betula luminifera</i> H. Winkl.                | 落叶乔木，高达25 m          | 桦木科Betulaceae     |
| 黄连木 <i>Pistacia chinensis</i> Bunge                   | 落叶乔木，高达25 m，胸径1 m    | 漆树科Anacardiaceae  |
| 乌柏 <i>Triadica sebifera</i> (Linnaeus) Small          | 落叶乔木，高可达15 m         | 大戟科Euphorbiaceae  |
| 山乌柏 <i>Triadica cochinchinensis</i> Loureiro          | 落叶乔木或小乔木，高3 m~12 m   | 大戟科Euphorbiaceae  |
| 构树 <i>Broussonetia papyrifera</i> (L.) L'Heritier     | 落叶小乔木至乔木，高达16 m      | 桑科Moraceae        |
| 臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle         | 落叶乔木，高达20余m          | 苦木科Simaroubaceae  |
| 苦楝 <i>Melia azedarach</i> L.                          | 落叶乔木，高达30 m，胸径1 m    | 楝科Meliaceae       |
| 泡桐 <i>Paulownia fortunei</i> (Seem.) Hemsl.           | 落叶乔木，高达30 m          | 泡桐科Paulowniaceae  |
| 加杨 <i>Populus × canadensis</i> Moench                 | 落叶大乔木，高达30余m         | 杨柳科Salicaceae     |

| 植物中名与学名                                                                                      | 生长习性                               | 隶属科名                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 合欢 <i>Albizia julibrissin</i> Durazz.                                                        | 落叶乔木，高达16 m                        | 豆科Fabaceae           |
| 刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L.                                                            | 落叶乔木，原产北美，高10 m~25 m               | 豆科Fabaceae           |
| 马尾松 <i>Pinus massoniana</i> Lamb.                                                            | 常绿针叶乔木，高达40 m                      | 松科Pinaceae           |
| 湿地松 <i>Pinus elliottii</i> Engelman                                                          | 常绿针叶乔木，原产美国东南部，高达40 m              | 松科Pinaceae           |
| 木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i> L.                                                        | 常绿针叶乔木，原产澳大利亚和太平洋岛屿，高达40 m，胸径70 cm | 木麻黄科Casuarinaceae    |
| 赤桉 <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.                                                    | 常绿乔木，原产澳大利亚，高达25 m                 | 桃金娘科Myrtaceae        |
| 邓恩桉 <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden                                                          | 常绿乔木，原产澳大利亚，高达25 m                 | 桃金娘科Myrtaceae        |
| 银荆 <i>Acacia dealbata</i> Link                                                               | 常绿乔木或小乔木，原产澳大利亚，高达15 m             | 豆科Fabaceae           |
| 台湾相思 <i>Acacia confusa</i> Merr.                                                             | 常绿乔木，原产台湾、福建等，高达15 m               | 豆科Fabaceae           |
| 灌木                                                                                           |                                    |                      |
| 美丽胡枝子 <i>Lespedeza thunbergii</i> subsp. <i>formosa</i> (Vogel) H. Ohashi                    | 落叶灌木，高1 m~2 m                      | 豆科Fabaceae           |
| 胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.                                                          | 落叶灌木，高1 m~3 m                      | 豆科Fabaceae           |
| 马棘 <i>Indigofera bungeana</i> Walp.                                                          | 落叶灌木，高0.4 m~1 m                    | 豆科Fabaceae           |
| 伞房决明 <i>Senna corymbosa</i> (Lam.)H. S. Irwin                                                | 常绿或半常绿灌木，原产南美高达2 m                 | 豆科Fabaceae           |
| 小蜡 <i>Ligustrum sinense</i> Lour.                                                            | 落叶灌木或小乔木，高可达5 m                    | 木樨科Oleaceae          |
| 小叶女贞 <i>Ligustrum quihoui</i> Carr.                                                          | 半常绿灌木，高可达3 m                       | 木樨科Oleaceae          |
| 小叶蚊母树 <i>Distylium buxifolium</i> (Hance) Merr.                                              | 常绿灌木，高1 m~2 m                      | 金缕梅科Hamamelidaceae   |
| 台湾蚊母树 <i>Distylium gracile</i> Nakai                                                         | 常绿灌木至小乔木，高可达10 m                   | 金缕梅科Hamamelidaceae   |
| 黄馨 <i>Jasminum mesnyi</i> Hance                                                              | 常绿蔓性灌木，原产四川等，高0.5 m~5 m            | 木樨科Oleaceae          |
| 珊瑚树 <i>Viburnum odoratissimum</i> Ker.-Gawl.                                                 | 常绿灌木或小乔木，普陀有产                      | 五福花科Adoxaceae        |
| 盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> Mill.                                                              | 落叶灌木或小乔木                           | 漆树科Anacardiaceae     |
| 野桐 <i>Mallotus tenuifolius</i> Pax                                                           | 落叶灌木或小乔木                           | 大戟科Euphorbiaceae     |
| 欏木 <i>Loropetalum chinense</i> (R. Br.) Oliver                                               | 常绿灌木稀为小乔木高1 m~8 m                  | 金缕梅科Hamamelidaceae   |
| 石斑木 <i>Rhaphiolepis indica</i> (Linnaeus) Lindley                                            | 常绿灌木，稀小乔木高1.5 m~4 m                | 蔷薇科Rosaceae          |
| 厚叶石斑木 <i>Rhaphiolepis umbellata</i> (Thunberg) Makino                                        | 常绿灌木或小乔木，高2 m~4 m                  | 蔷薇科Rosaceae          |
| 火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> (Maxim.) Li                                                  | 常绿灌木，高达3 m                         | 蔷薇科Rosaceae          |
| 杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i> Planch.                                                        | 落叶灌木，高达2 m                         | 杜鹃花科Ericaceae        |
| 山苍子 <i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Pers.                                                       | 落叶灌木至小乔木，高达10 m                    | 樟科Lauraceae          |
| 岗松 <i>Baekkea frutescens</i> L.                                                              | 常绿灌木，高0.6 m~1.8 m                  | 桃金娘科Myrtaceae        |
| 海桐 <i>Pittosporum tobira</i> (Thunb.) Ait.                                                   | 常绿灌木至小乔木                           | 海桐科Pittosporaceae    |
| 柃木 <i>Eurya japonica</i> Thunb.                                                              | 常绿灌木至小乔木，高2 m~7 m                  | 五列木科Pentaphylacaceae |
| 滨柃 <i>Eurya emarginata</i> (Thunb.) Makino                                                   | 常绿灌木至小乔木，高1 m~5 m                  | 五列木科Pentaphylacaceae |
| 冬青卫矛 <i>Euonymus japonicus</i> Thunb.                                                        | 常绿灌木，高达3 m                         | 卫矛科Celastraceae      |
| 海滨木槿 <i>Hibiscus hamabo</i> Sieb. & Zucc.                                                    | 落叶灌木至小乔木，高1 m~3 m，                 | 锦葵科Malvaceae         |
| 木豆 <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.                                                         | 灌木，原产印度，高1 m~3 m                   | 豆科Fabaceae           |
| 夹竹桃 <i>Nerium oleander</i> L.                                                                | 常绿大灌木，原产印度等，高达6 m                  | 夹竹桃科Apocynaceae      |
| 草本                                                                                           |                                    |                      |
| 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.                                                       | 多年生低矮草本，高10 cm~30cm                | 禾本科Poaceae           |
| 高羊茅 <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.                                                       | 多年生草原本产欧洲至新疆高0.8 cm~1cm            | 禾本科Poaceae           |
| 黑麦草 <i>Lolium perenne</i> L.                                                                 | 多年生草本，原产欧洲，高40 cm~50 cm            | 禾本科Poaceae           |
| 紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.                                                               | 多年生草本，原产欧洲，高0.3 m~1 m              | 豆科Fabaceae           |
| 野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> Linnaeus                                                    | 多年生草本，高可达1 m                       | 菊科Asteraceae         |
| 田菁 <i>Sesbania cannabina</i> (Retz.) Poir.                                                   | 一年生亚灌木状草本，高2 m~3.5 m               | 豆科Fabaceae           |
| 香根草 <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Linnaeus) Roberty                                        | 多年生草本，原产印度，高1 m~2.5 m              | 禾本科Poaceae           |
| 类芦 <i>Neyraudia reynaudiana</i> (kunth.) Keng                                                | 多年生草本，高2 m~3 m                     | 禾本科Poaceae           |
| 野古草 <i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Tanaka                                                 | 多年生草本，高0.9 m~1.5 m                 | 禾本科Poaceae           |
| 野青茅 <i>Deyeuxia arundinacea</i> (Linn.)Beauv. <i>var.laxiflora</i> (Rendle)P.C.Kuo et S.L.Lu | 多年生草本，高60 cm~100 cm                | 禾本科Poaceae           |

| 植物中名与学名                                                              | 生长习性               | 隶属科名            |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|
| 双穗雀稗 <i>Paspalum distichum</i> Linnaeus                              | 多年生草本，高20 cm~50 cm | 禾本科Poaceae      |
| 相仿苔草 <i>Carex simulans</i> C. B. Clarke                              | 多年生草本，高30 cm~70 cm | 莎草科Cyperaceae   |
| 藤本                                                                   |                    |                 |
| 爬山虎 <i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.     | 落叶木质藤本             | 葡萄科Vitaceae     |
| 络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i> (Lindl.) Lem.                  | 常绿木质藤本             | 夹竹桃科Apocynaceae |
| 凌霄 <i>Campsis grandiflora</i> (Thunb.) Schum.                        | 落叶木质藤本             | 紫葳科Bignoniaceae |
| 香花崖豆藤 <i>Callerya dielsiana</i> (Harms) P. K. Loc ex Z. Wei & Pedley | 常绿木质藤本             | 豆科Fabaceae      |
| 薜荔 <i>Ficus pumila</i> L.                                            | 常绿木质藤本             | 桑科Moraceae      |
| 扶芳藤 <i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz.                    | 常绿木质藤本             | 卫矛科Celastraceae |
| 常春油麻藤 <i>Mucuna sempervirens</i> Hemsl.                              | 常绿木质藤本             | 豆科Fabaceae      |
| 风藤 <i>Piper kadsura</i> (Choisy) Ohwi                                | 常绿木质藤本             | 胡椒科Piperaceae   |
| 过山枫 <i>Celastrus aculeatus</i> Merr.                                 | 半常绿木质藤本            | 卫矛科Celastraceae |

附录 D  
(资料性)  
边坡植被修复及绿化造林技术

D.1 机械喷播技术

D.1.1 厚层基材喷播技术

D.1.1.1 一般技术工艺

D.1.1.1.1 适用范围

厚层基材喷播技术又称干法喷播技术，简称干喷，适用岩质边坡并且坡度在45°以上的边坡，主要技术工艺包括清坡顺坡、挂网钉网、喷附植物生长基质层、喷播植物种子层、覆盖遮荫。

D.1.1.1.2 清坡顺坡

清除坡面浮石；在某些凹陷处用埋放塑料编织植生袋找平，使边坡平顺，植生袋顺坡示意图见图D.1。

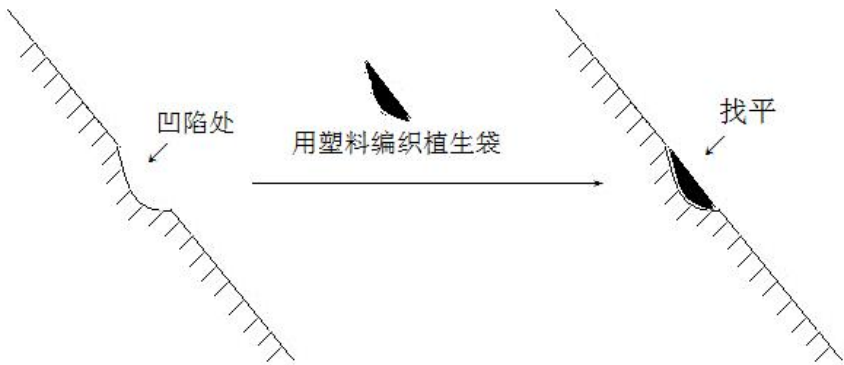


图 D.1 植生袋顺坡示意图

D.1.1.1.3 挂网钉网

采用铁丝或包塑铁丝平面网、三维网材料，网孔直径4 cm×4 cm~5 cm×5 cm，自上而下铺挂在岩面上，上端用长60 cm、Φ8 mm、顶端具弯钩的长螺纹钢钉以40cm间距固定。网片与网片之间搭接10 cm，网片间搭接示意图见图D.2。网片用长30 cm、Φ6 mm、顶端具弯钩的钢筋锚钉（锚钉示意图见图D.3）将网片固定在岩面上，局部碎石岩面，由于碎石厚度超过30 cm要增加锚钉长度，锚钉每平方米一般不少于5个，必要时应增加锚钉，以保证网片离岩面距离在4 cm左右。

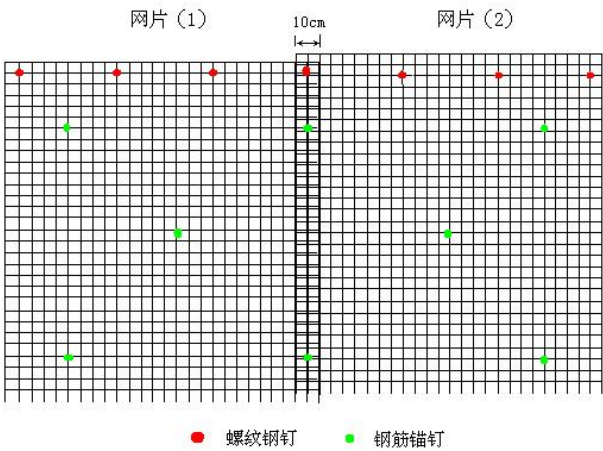


图 D.2 网片间搭接示意图

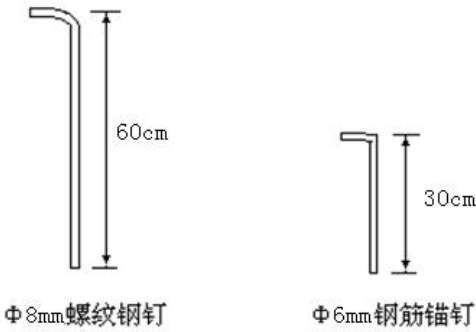


图 D.3 锚钉示意图

D. 1. 1. 1. 4 喷附植物生长基质层

将配制好的泥炭、种植土、草纤维、复合肥、粘结剂和保水剂等植物生长基质（表1），经搅拌机充分拌合，通过专用播附机械喷附在挂有网片的岩面上（如图4所示）。喷附植物生长基质层厚度8cm以上。植生基质配比可参考表D.1，厚层基质喷播示意图见图D.4。

表 D. 1 植生基质配比表

| 序号 | 基质材料 | 配比    | 备注                                  |
|----|------|-------|-------------------------------------|
| 1  | 泥炭   | 16 kg | 有机质含量在50 %以上                        |
| 2  | 种植土  | 80 kg | 过筛，筛除粒径 $\geq 2\text{ cm}$ 以上的土粒和石砾 |
| 3  | 草纤维  | 4 kg  | 稻麦等秸秆纤维或木质纤维                        |
| 5  | 复合肥  | 60 g  | 氮(N)磷(P)钾(K)三元15:15:15复合肥           |
| 6  | 粘结剂  | 8 g   | 聚乙烯类粘合剂                             |
| 7  | 保水剂  | 12 g  | 吸水倍率 $> 400\text{g水/g}$             |

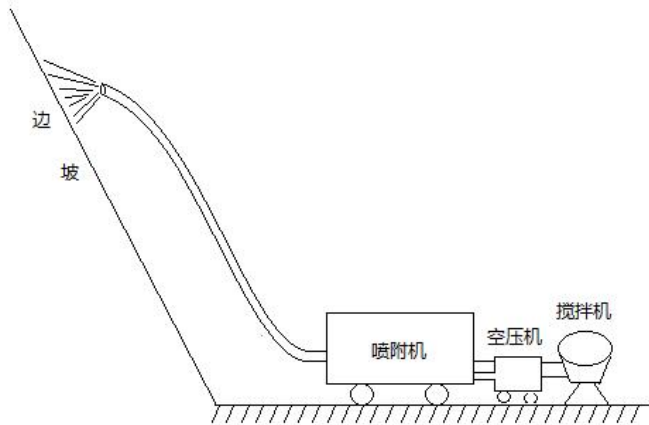


图 D.4 厚层基质喷播示意图

D. 1. 1. 1. 5 喷播植物种子层

将配制好的美丽胡枝子、马棘、狗牙根、高羊茅和类芦等木本和草本植物种子，经充分混合、连同植物生长基质，通过专用喷附机械一并喷播到植物生长基质层上。喷播植物种子层厚度2 cm以上。建议在每百斤混合基质中添加1 kg的周边山体林下腐殖的自然种子库表层土，以掺合自然植被的种子。植物种子配比表可参考表D.2。

表 D. 2 植物种子配比表

| 习性                                                    | 植物名称 |       | 配比 (g/m <sup>2</sup> ) | 小计 (g/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------------------------|------|-------|------------------------|------------------------|
| 木本植物                                                  | 1    | 美丽胡枝子 | 7                      | 13                     |
|                                                       | 2    | 马棘    | 6                      |                        |
| 草本植物                                                  | 3    | 狗牙根   | 2                      | 7.5                    |
|                                                       | 4    | 高羊茅   | 5                      |                        |
|                                                       | 5    | 类芦    | 0.5                    |                        |
| 合计                                                    |      |       | 20.5                   |                        |
| 注：表中植物种子配比供参考使用，并可参考GB/T 38360—2019中亚热带区域的物种及其用种计算方法。 |      |       |                        |                        |

D. 1. 1. 1. 6 种子质量要求

植物种类应优先选择乡土植物；选择根系发达且抗旱性强、易购买的植物含品种。美丽胡枝子和马棘等豆科植物种子质量，应符合GB 6141—2008的三级以上要求；狗牙根和高羊茅等禾本科植物种子质量，应符合GB 6142—2008的三级以上要求；其他林木种子质量，应符合GB 7908—1999的Ⅲ级以上要求。提倡采用包衣种子。不应用加拿大一枝黄花等有害的外来物种。

D. 1. 1. 1. 7 覆盖遮荫

喷播后，及时覆盖遮阳网以遮荫，并浇水养护，促进种子发芽。当喷播种子萌发并生长到3 cm~4 cm高时，约20天左右，应及时揭除遮阳网进行炼苗以适应自然环境，并进入养护管理。建议采用草帘覆盖遮荫，有利于保湿保墒，腐烂后可提高基质的有机质含量。提倡在养护过程中增植小叶女贞*Ligustrum quihoui*等木本植物的容器小苗。

D. 1. 1. 2 加糙技术工艺

D. 1. 1. 2. 1 适用范围

对于坡度在60°以上并且节理裂隙较少、岩面较光滑的岩质边坡，在采用一般厚层基材喷播的基础上，应采取加糙等技术措施以提高基质在岩面上的固着或滞留能力。

D. 1. 1. 2. 2 钉方木条加糙措施



在清坡顺坡工艺基础上，可选用4 cm见方、长1 m的木条，两端用长30 cm、直径6 mm的钢筋固定在岩面上。密度1根/m<sup>2</sup>，上下交叉钉设。坡面钉方木条加糙措施示意图见图D.5。

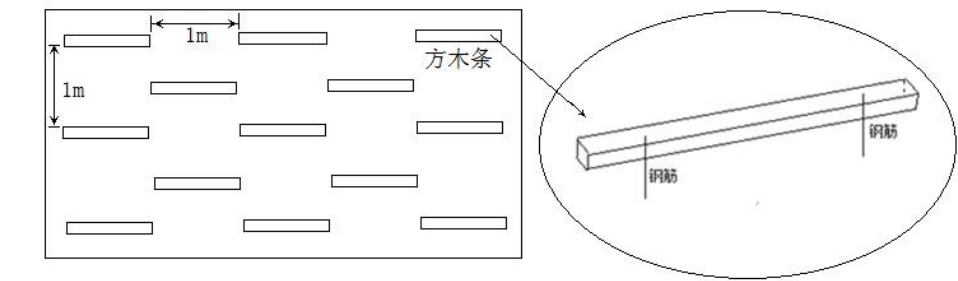


图 D.5 坡面钉方木条加糙措施示意图

D. 1. 1. 2. 3 钉管状植生袋措施

在清坡顺坡工艺基础上，可采用由土工织物制作的直径6 cm~8 cm左右并在袋内按3:7体积比充填泥炭和种植土的管状植生袋，每米用长30 cm、直径6 mm的钢筋固定在岩面上，管状植生袋在岩面上的上下间距为1 m。坡面钉管状植生袋措施示意图见图D.6。

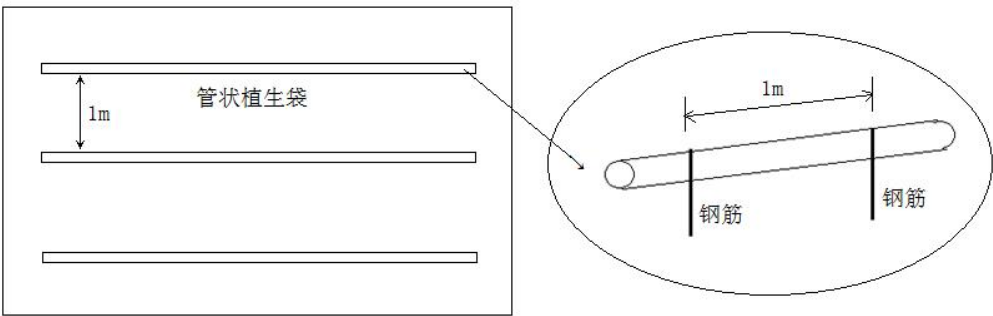


图 D.6 坡面钉管状植生袋措施示意图

D. 1. 1. 2. 4 挡土翼措施

在清坡顺坡工艺基础上，采用长60 cm、宽12 cm、厚0.6 mm的镀锌铁皮并在两端焊有便于插入岩体的长30 cm、直径6 mm的钢筋制成挡土翼，将挡土翼垂直于岩面并固定在岩面上，在岩面上交叉布置，上下间距1 m。坡面挡土翼加糙措施示意图见图D.7。

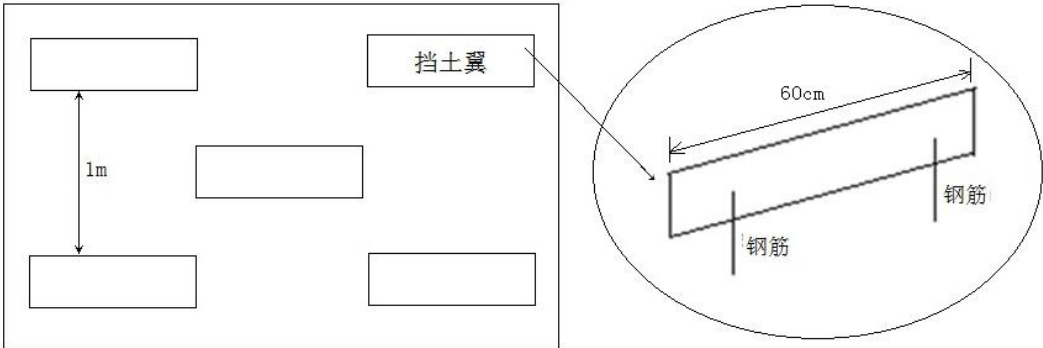


图 D.7 坡面挡土翼加糙措施示意图

D. 1. 1. 2. 5 挡土工布带措施

在清坡顺坡工艺基础上，在岩面上并垂直于岩面锚入 $\Phi 8$  mm经防锈处理的锚钉，锚入岩面深20 cm、外露12 cm、间距30 cm，上覆一层厚2 mm~3 mm、宽12 cm的土工布构成挡土工布带。挡土工布带在岩面上的上下间距1.5 m。坡面挡土工布带加糙措施示意图见图D.8。

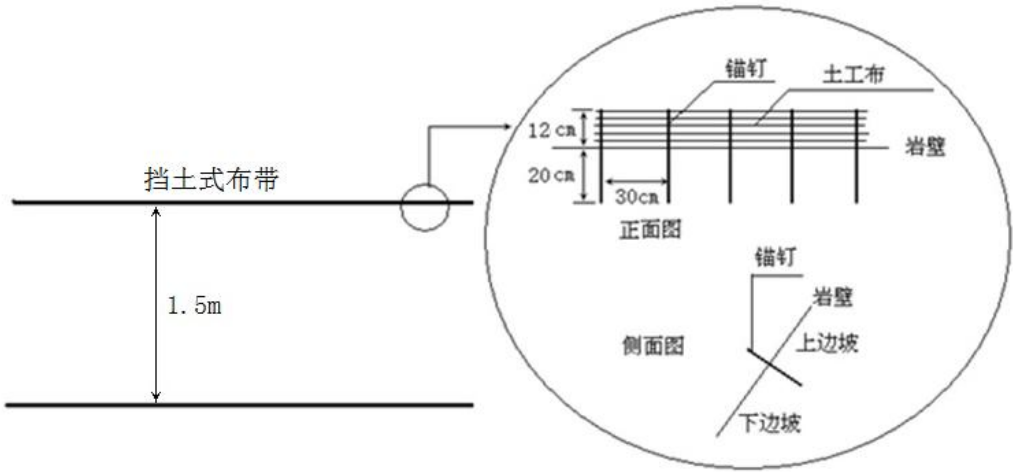


图 D.8 坡面挡土工布带加糙措施示意图

D. 1. 1. 2. 6 凿植生孔措施

在清坡顺坡工艺基础上，在坡面上并垂直于岩面按1 m×1 m密度用凿孔机开凿直径10 cm、深40 cm的植生孔，交叉开凿，并在植生孔内充填泥炭和种植土按3:7体积比的混合基质。凿植生孔应搭脚手架，脚手架搭设应符合JGJ 130的安全要求。坡面凿植生孔措施示意图见图D.9。

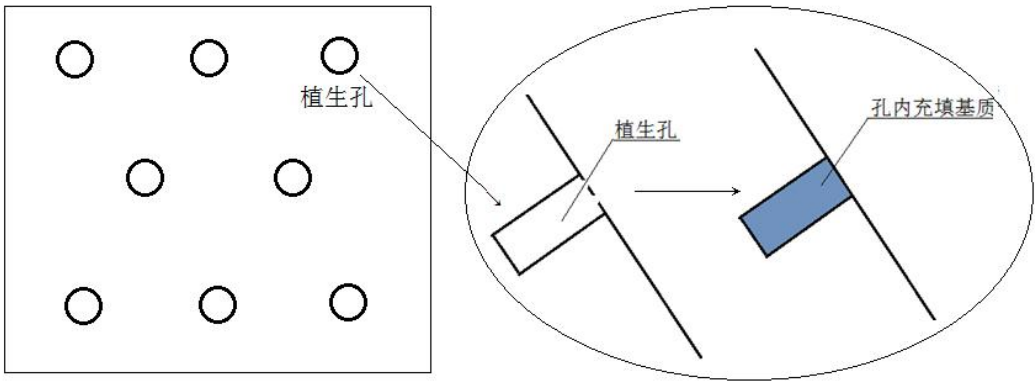


图 D.9 坡面凿植生孔措施示意图

D. 1. 1. 2. 7 增加柔性网措施

采用铁丝或包塑铁丝平面网、三维网材料的挂网钉网工艺基础上，再铺钉增加柔性钢丝网，可称为双网厚层基材喷播技术。坡面增加柔性网措施示意图见图D.10。选用孔为33 cm×33 cm的 $\Phi 6$  mm镀锌柔性钢丝网，或选用网孔25 cm×25 cm的单层TECCO柔性防护网。柔性网用长1.5 m、 $\Phi 12$  mm并具锚头的短锚杆固定，锚杆间距2 m×2 m，锚孔直径10 cm，成孔深度1.6 m，锚孔用M20水泥砂浆灌注。柔性网与底层网片用铁丝固扎，确保柔性网紧贴在包塑网上。锚孔锚杆设置应搭脚手架，脚手架搭设应符合JGJ 130的安全要求。

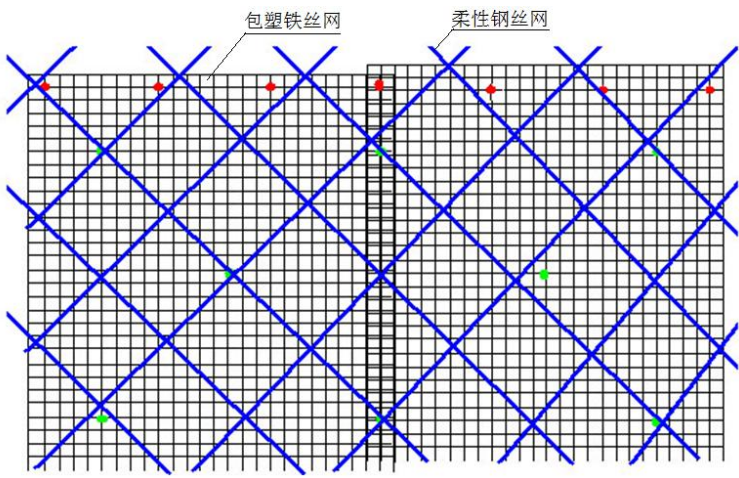


图 D.10 坡面增加柔性网措施示意图

D. 1. 1. 3 森林化恢复技术

森林化恢复工艺技术可称为开凿小平台植生袋围堰种植穴厚层基材喷播植树技术。在削坡的同时，开凿坑式小平台，小平台宽80 cm、长120 cm。削坡、凿坑、植生袋围堰和回填基质工序图见图D.11。小平台在边坡面上的间距约当于4 m×4 m，左右按水平距计，上下按斜坡距计。或者利用边坡上的自然小平台。在小平台外缘叠置塑料编织植生袋并围堰营造种植坑。坑内顺坡充填泥炭和种植土按3:7比例配制的植物生长基质，然后插上竹杆等作为标记，便于厚层基材喷播后准确定位种植高度为1.6 m～1.8 m的枫香、女贞、青冈、木荷等乔木树种，形成乔灌草复合的森林化植被恢复外貌景观。边坡植生袋围堰造穴种植乔木树种示意图见图D.12。

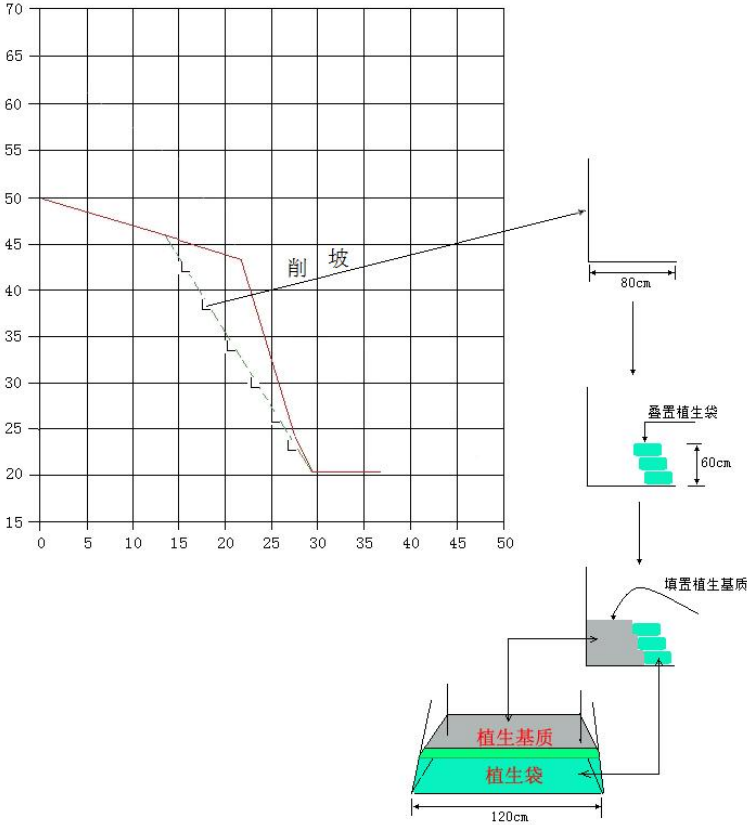


图 D.11 削坡、凿坑、植生袋围堰和回填基质工序图



图 D.12 边坡植生袋围堰造穴种植乔木树种示意图

D. 1. 2 液力喷播技术

D. 1. 2. 1 技术内容

液力喷播技术又称为湿法喷播技术，或简称湿喷，适用于坡度较缓的土质边坡和节理较发育、较破碎的岩质边坡，是利用喷播设备将植物种子、草纤维、泥炭、粘合剂、保水剂、肥料等加水搅拌混合后，通过专用喷播机械喷附到边坡作业面上的一种边坡绿化技术。液力喷播又分挂网喷播和不挂网喷播两种。

D. 1. 2. 2 挂网液力喷播

D. 1. 2. 2. 1 适用范围及工艺流程

挂网液力喷播，较适用于坡度在 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 间的边坡。其工艺流程如图D.13所示，主要技术工艺包括：清坡顺坡、挂网钉网、液力喷播、覆盖遮荫。

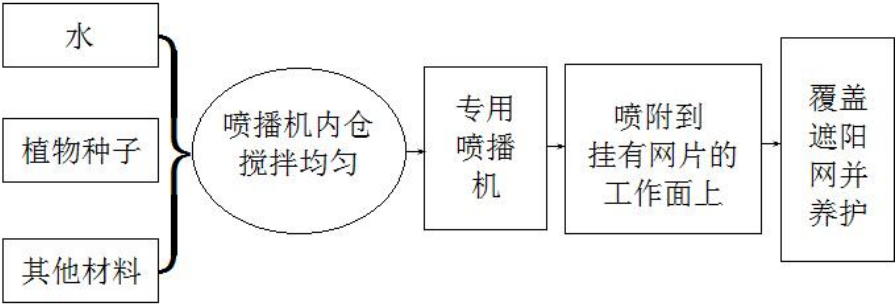


图 D.13 挂网液力喷播技术工艺流程

D. 1. 2. 2. 2 清坡顺坡

清除坡面浮石；在某些凹陷处用埋放塑料编织植生袋找平，使边坡平顺。

D. 1. 2. 2. 3 挂网钉网

采用铁丝或包塑铁丝平面网、三维网材料自上而下铺挂在边坡面上，并用锚钉给予固定。

D. 1. 2. 2. 4 液力喷播

将配制好的美丽胡枝子、马棘、狗牙根、高羊茅和类芦等木本和草本植物种子连同泥炭、草纤维、粘合剂、保水剂、复合肥等加水搅拌混合后，用专用喷播机械一并喷附到挂有网片的边坡工作面上。连续喷附3次~4次，每次间隔时间20 min左右，保证最后喷附总厚度达5 cm以上，以及每平方米的用种量。液力喷播植物种子和基质材料配比可参考表D.3。

表 D. 3 液力喷播植物种子和基质材料配比

| 植物种子和基质材料                                                  |      |       | 配比（g/m <sup>2</sup> ） |
|------------------------------------------------------------|------|-------|-----------------------|
| 植物种子                                                       | 木本植物 | 美丽胡枝子 | 7                     |
|                                                            |      | 马棘    | 6                     |
|                                                            | 草本植物 | 狗牙根   | 2                     |
|                                                            |      | 高羊茅   | 5                     |
|                                                            |      | 类芦    | 0.5                   |
| 基质材料                                                       |      | 泥炭    | 150                   |
|                                                            |      | 草纤维   | 100                   |
|                                                            |      | 粘合剂   | 3                     |
|                                                            |      | 保水剂   | 6                     |
|                                                            |      | 复合肥   | 10                    |
| 水                                                          |      |       | 7500                  |
| 注：表中植物种子和基质材料配比供参考使用，并可参考GB/T 38360—2019中亚热带区域的物种及其用种计算方法。 |      |       |                       |

D. 1. 2. 2. 5 基质和喷播植物种子材料要求

泥炭要求有机质含量在50%以上；草纤维为稻麦等秸秆纤维或木质纤维；复合肥为氮(N)磷(P)钾(K)三元15:15:15复合肥；粘结剂为聚乙烯类粘合剂；保水剂要求吸水倍率>400mL/g。植物种类应优先选择乡土植物并选择根系发达且抗旱性强、易购买的植物含品种；胡枝子和马棘等豆科植物种子质量应符合GB 6141—2008的三级以上要求；狗牙根和高羊茅等禾本科植物种子质量应符合GB 6142—2008的三级以上要求；其他林木种子质量应符合GB 7908—1999的Ⅲ级以上标准。提倡采用包衣种子。不应用有害的外来物种。

D. 1. 2. 2. 6 覆盖遮荫

喷附后，及时覆盖遮阳网以遮荫，并浇水养护。当喷播种子萌发并生长到3 cm~4 cm高时，应及时揭除遮阳网。建议采用草帘覆盖遮荫。

D. 1. 2. 3 不挂网液力喷播

D. 1. 2. 3. 1 不挂网液力喷播，较适用于坡度在 25°~35°间的边坡。主要技术工艺包括清坡顺坡、液力喷播、覆盖遮荫。

D. 1. 2. 3. 2 清坡顺坡、液力喷播、基质和喷播植物种子材料要求、覆盖遮荫应参照 D.1.2.2 执行。

D. 2 人工种植技术

D. 2. 1 技术内容

人工种植技术主要适用于坡度在35°以下的泥质边坡，以及通过覆土改良等措施的台阶平台、坡脚挡墙、采场底盘和废石堆场、尾矿库，甚至在岩面上通过浇筑种植槽方式进行种植绿化的技术。

D. 2. 2 泥质边坡种植

D. 2. 2. 1 适用范围

泥质边坡包括可用人工挖掘种植穴的风化层泥质砾石边坡及矿区损毁的泥质平地，均可采用人工开挖定植穴的方法进行种植绿化。

D. 2. 2. 2 树种选择

参考GB/T 15776中关于亚热带区的树种，如木荷、青冈、枫香等。

D. 2. 2. 3 密度控制

密度按株行距3 m×3 m~4 m×4 m的种植密度控制。1年~2年生苗的种植密度控制为株行距3 m×3 m，3~4年生苗的种植密度控制为株行距4 m×4 m，并满足LY/T 1607的密度要求。

D. 2. 2. 4 苗木规格

按GB 6000的相关要求，选用I级苗种植，如火力楠I级苗1年生地径>0.7 cm、苗高>70 cm。建议采用合格容器苗种植，按LY/T 1000的相关要求选用合格容器苗，如火力楠1年生合格容器苗地径≥0.4 cm、苗高>25 cm。对≥2年生的苗木应采用容器大苗或带土球苗种植。

D. 2. 2. 5 种植技术

先挖定植穴、再种植，定植穴规格根据苗木大小确定，保证根系舒展不窝根，种植时踩紧踏实，保证苗木正直。在种植穴底部施入约4 kg~5 kg的有机肥作基肥，植后浇足定根水。种植时适当修剪，减少水分损耗，提高种植成活率，不应断头种植。泥质边坡挖定植穴种植示意图见图D.14。

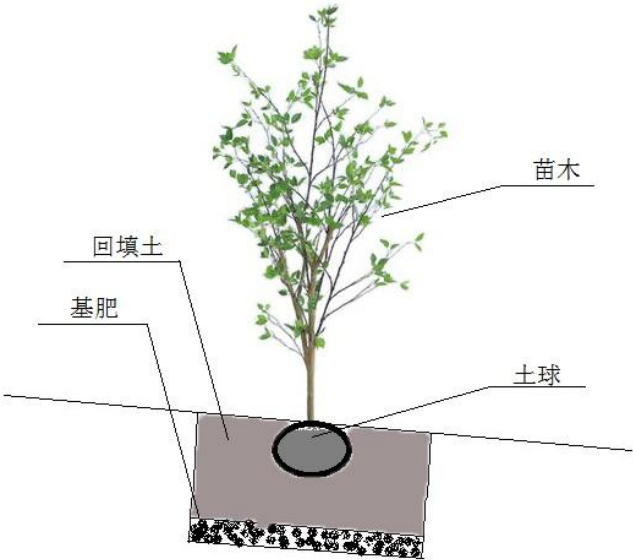


图 D.14 泥质边坡挖定植穴种植示意图

D. 2. 2. 6 林下配套种植

林下配套种植或点播豆科灌木，有利于改良土壤，提高土壤的自肥能力。如点播美丽胡枝子，间距1 m×1 m，每穴放置6~8粒种子，拌合50 g钙镁磷肥，播后及时覆盖薄层表土。

D. 2. 3 台阶平台、坡脚挡墙和底盘种植

D. 2. 3. 1 台阶平台种植

D. 2. 3. 1. 1 围挡

在平台离外沿20 cm处进行围挡，围挡高度40 cm。可采用砼浇筑、块石或砖体砌筑、植生袋围堰等。宜采用土工织物植生袋品字型堆叠围挡形成围堰，围堰高度40 cm。台阶平台植生袋围堰挡墙复土种植示意图见图D.15。



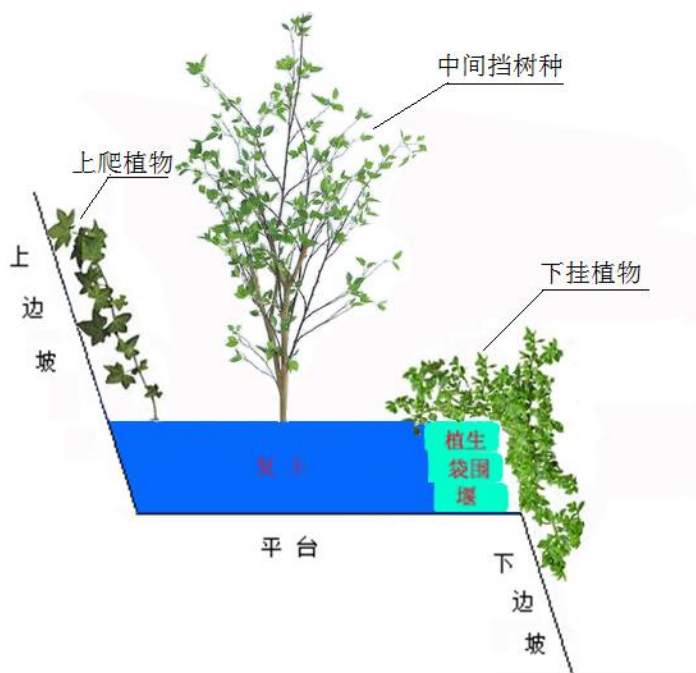


图 D.15 台阶平台植生袋围堰挡墙复土种植示意图

D. 2. 3. 1. 2 复土

在植生袋围堰内侧复土，复土厚度40 cm，与围堰齐平。复土可采用矿山剥离时存放排土场中的表土，并掺入10 %的商品有机肥或腐熟的畜禽粪肥，确保复土的有机质含量在3.5 %~4.0 %之间。不应用淤泥质土。

D. 2. 3. 1. 3 种植

采用上爬下挂中间挡的种植模式。如果上边坡为裸露岩面，则在平台内侧种植爬山虎*Parthenocissus tricuspidata*等爬藤植物，按株间距50 cm种植；外侧围堰处种植黄馨*Jasminum mesnyi*等下挂植物，按株间距50 cm种植；中间按株行距1.5 m×1.5 m~2 m×2 m种植地径为2 cm~3 cm、2~3年生的木荷或女贞等小乔木树种。

D. 2. 3. 2 坡脚挡墙种植

D. 2. 3. 2. 1 复土

复土厚度应保证在60 cm以上，并复至与挡墙齐平。复土可采用矿山剥离时存放在排土场的表土，并掺入10%的商品有机肥或腐熟的畜禽粪肥，确保复土的有机质含量在3.5 %~4.0 %之间。不应用淤泥质土。

D. 2. 3. 2. 2 种植

如果边坡为裸露岩面，则在平台内侧种植爬山虎*Parthenocissus tricuspidata*等爬藤植物，按株间距50 cm种植；挡墙内侧种植黄馨*Jasminum mesnyi*、藤本月季*Rosa chinensis*等下挂植物，按株间距50 cm种植；中间按株间距3 m种植胸径6 cm~8 cm的香樟、枫香等高大乔木树种，并在与下挂植物间种植1~2排高度为1m左右的株行距为50 cm×50 cm的珊瑚树*Viburnum odoratissimum*等小乔木或高灌树种以构成浓密的绿色屏障。坡脚挡墙内侧种植配置示意图见图D.16。

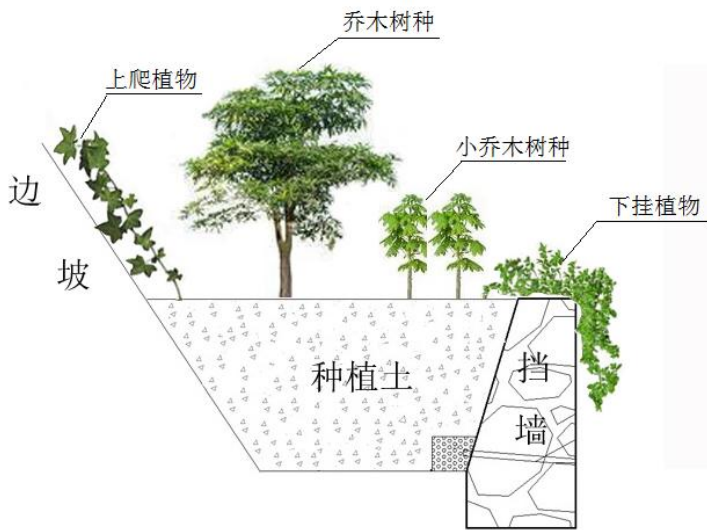


图 D.16 坡脚挡墙内侧种植配置示意图

D. 2. 3. 3 底盘种植

D. 2. 3. 3. 1 场地平整

如果边坡下部的底盘应复垦林地，则应按照TD/T 1036的林地要求复垦为有林地。在复垦林地前，应采用高挖低填、削方回填等措施，对复垦场地进行平整，并宜配套设置林道等设施。

D. 2. 3. 3. 2 复土

在平整好的场地上按有林地的要求进行复土，复土厚度 $\geq 60\text{cm}$ ，其中能保证树种较好生长的有效土层厚度应 $\geq 30\text{cm}$ ，并掺入一定数量的商品有机肥或熟腐的畜禽粪肥，保证土壤有机质含量 $\geq 2\%$ ，不应用建筑垃圾和淤泥。

D. 2. 3. 3. 3 种植

树种选择参考GB/T 15776中关于亚热带区的树种，如红椎*Castanopsis hystrix*等；密度按株行距 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 定植并符合LY/T 1607的规定；苗木规格按GB 6000—1999中1年~2年生I级苗种植或选用LY/T 1000中的合格容器苗种植，建议采用容器苗种植年。林下可按间距 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 配套种植或点播美丽胡枝子*Lespedeza thunbergii subsp. formosa*豆科灌木，以改良土壤并加快提高林地绿化覆盖率，确保三年林分郁闭度达0.3以上。底盘种植配置示意图见图D.17。

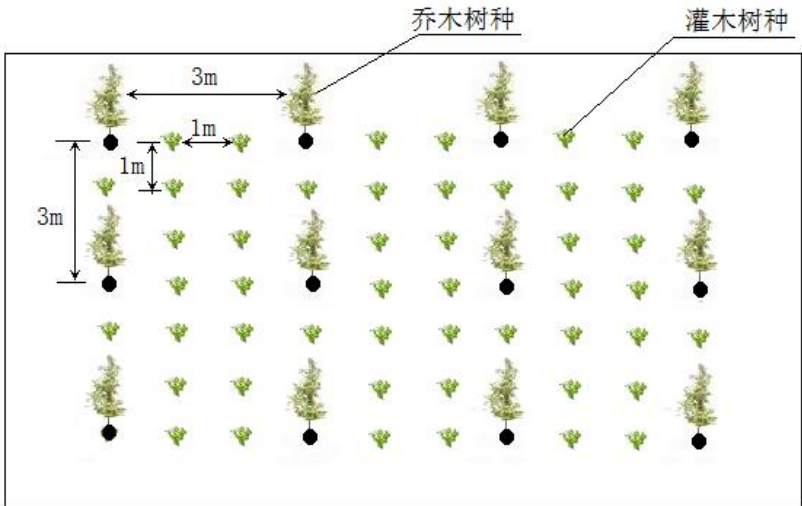




图 D.17 底盘种植配置示意图

D. 2. 4 废渣堆场、尾矿库种植

D. 2. 4. 1 废渣堆场种植

D. 2. 4. 1. 1 堆渣整理

对堆渣场地进行平整，便于统一复土；对堆渣边坡进行压实顺坡整理，必要时可开设马道或平台。

D. 2. 4. 1. 2 开设截排水沟

周边开设截排水沟，保证上边坡及周边雨水不流入堆渣场，避免雨水流入堆渣场地渗出污染物引起对下游水土体的二次污染。

D. 2. 4. 1. 3 复土隔离

D. 2. 4. 1. 3. 1 在平整场地上和堆渣坡面上，覆盖种植土。在平面上复种植土厚 $\geq 60\text{cm}$ ，在边坡上复种植土厚 $\geq 40\text{cm}$ ，以隔离或避让植物根系直接接触污染的堆渣而引起生长不良。

D. 2. 4. 1. 3. 2 在堆渣边坡上如果不能复土，则可在堆渣边坡上采用厚层基材加厚喷播绿化的方法，即在厚层基材喷播技术的基础上让基材层喷附至  $15\text{cm}$  以上的喷播绿化方法。但边坡上的平台或马道一定要复土至  $40\text{cm}$  厚，利于种植。

D. 2. 4. 1. 3. 3 为提高堆渣边坡森林化生态恢复质量，可采用森林化恢复技术工艺，即在堆渣边坡上开挖鱼鳞坑式小平台，用塑料编织植生袋营造种植坑，坑内回填由种植土、泥炭、商品有机肥按  $70\%:20\%:10\%$  比例配制的混合客土，然后挂网厚层基材加厚喷播并在种植穴上种植女贞、构树、臭椿等耐污染树种。不应废石填渣回填种植穴。

D. 2. 4. 1. 4 种植

树种选择应参考GB/T 15776中关于亚热带区树种，重点选择火力楠、枫香等耐污染树种，以及女贞、构树、臭椿等耐污染树种，密度按株行距  $3\text{m}\times 3\text{m}$  定植并符合LY/T 1607的规定；苗木规格按GB 6000—1999中1年~2年生I级苗种植或选用LY/T 1000中的合格容器苗种植，或选择 $\geq 3$ 年生的带土球大苗种植。林下可按间距  $1\text{m}\times 1\text{m}$  配套种植或点播美丽胡枝子豆科灌木。废渣堆场平地种植示意图可参考图D.17，废石堆场边坡森林化绿化造林技术的喷播种植技术工艺示意图见图D.18。

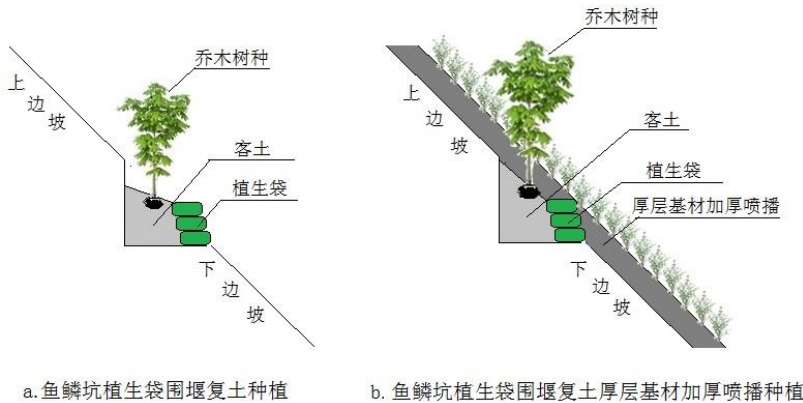


图 D.18 废石堆渣边坡种植示意图

D. 2. 4. 2 尾矿库种植

D. 2. 4. 2. 1 原地改良种植

采取微生物、植物废弃物、有机肥料、地质聚合物、林化产品、酸碱中和物质等材料对尾矿库  $40\text{cm}$  表层的植物生长有效种植层厚度进行原地改良。种植的植物以类芦、芒等草本为主，密度为株行距  $1\text{m}\times 1$

m，着力提高土壤有机质，并按3 m×3 m的株行距配植女贞、构树、臭椿等耐污染树种。苗木规格为1～2年生的I级苗和2年生的合格容器苗，3年生以上的树种应带土球种植。尾矿库原地改良种植示意图见图D.19。

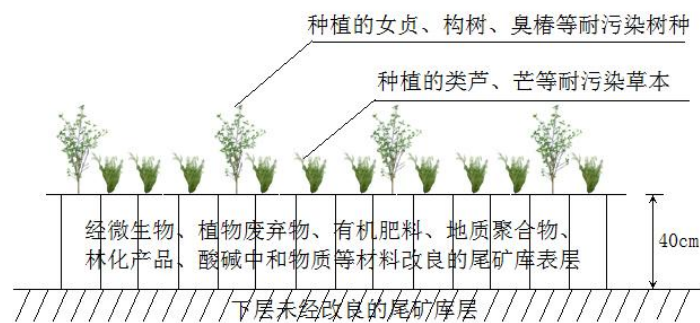


图 D.19 尾矿库原地改良种植示意图

D. 2. 4. 2. 2 表层复土种植

在尾矿库表面覆盖厚度为40 cm～60 cm的种植客土，客土具有比周边林地自然土壤肥力要高的种植土，宜掺入约10 %的商品有机肥或熟腐的畜禽粪肥。复土后挖定植穴种植女贞、臭椿等1～2年生I级苗和2年生合格容器苗，按株行距3 m×3 m种植，3年生以上树种应带土球种植。林下按1 m×1 m的株行距种植或点播美丽胡枝子等豆科灌木或灌木状草本，地表人工撒播狗牙根、类芦等草本。尾矿库表层复土种植示意图见图D.20。

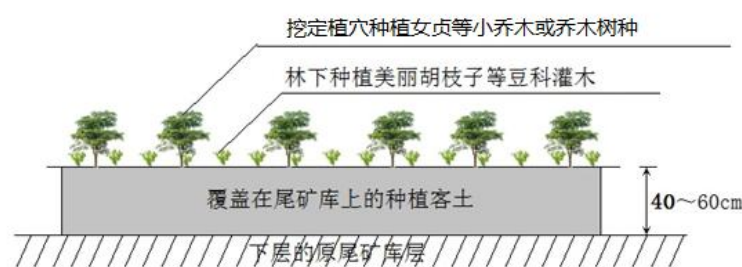


图 D.20 尾矿库表层复土种植示意图

D. 2. 4. 2. 3 容器隔离种植

在尾矿库原地，按株行距3 m×3 m～4 m×4 m密度，开挖长1 m、宽1 m、深80 cm的种植穴，穴内埋放相同体积的篾编容器，容器内填置种植土、泥炭、商品有机肥、蛭石按65%:20%:10%、5%比例配制的混合基质，种植女贞、木荷、臭椿等1年～2年生I级苗和2年生合格容器苗，或将目标树种苗种植在装有混合客土的篾编容器中再埋放在开挖好的种植穴中，使幼树根系与尾矿隔离，并逐渐适应尾矿环境。尾矿库原地容器隔离种植示意图见图D.21。

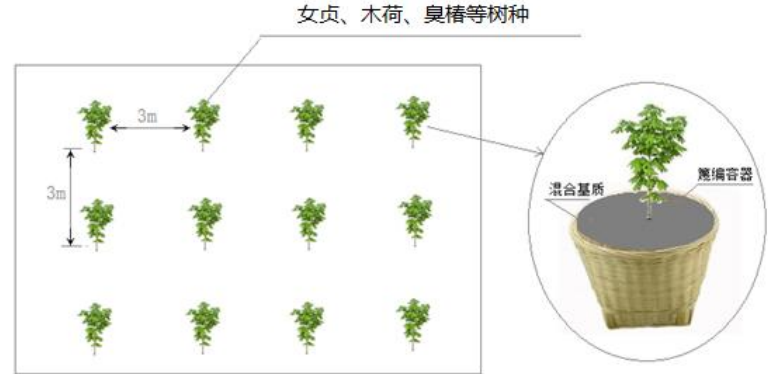


图 D.21 尾矿库原地容器隔离种植示意图

D. 2. 5 边坡浇筑植生槽种植

D. 2. 5. 1 适用范围

对于单轴饱和抗压强度大于30 MPa、完整性指数大于0.65、坡度大于60°的硬质岩石陡坡，可采用浇筑种植槽的方法进行种植绿化。其主要技术工艺包括浇筑种植槽、槽内填放基质、植物配置与种植。

D. 2. 5. 2 浇筑种植槽

采用混凝土立模浇筑种植槽。槽板与岩壁夹角45°，槽板配置主筋、构造筋和分布筋（如图22所示），主筋和构造筋锚固在岩壁上，相间0.5 m左右，用1:2水泥砂浆灌注固定；主筋选用Φ16-25Ⅱ级钢锚入岩体0.6 m，构造筋选用Φ12-18Ⅱ级钢锚入岩体40 cm，分布筋选用Φ6.5Ⅰ级钢横向按20 cm间距布置；浇筑强度不小于C20，厚度8 cm~10 cm，斜伸高度60 cm~80 cm。种植槽下方按1.5 m间距设置直径1.5 cm~2 cm的泄水孔。种植槽板配筋图见图D.22。

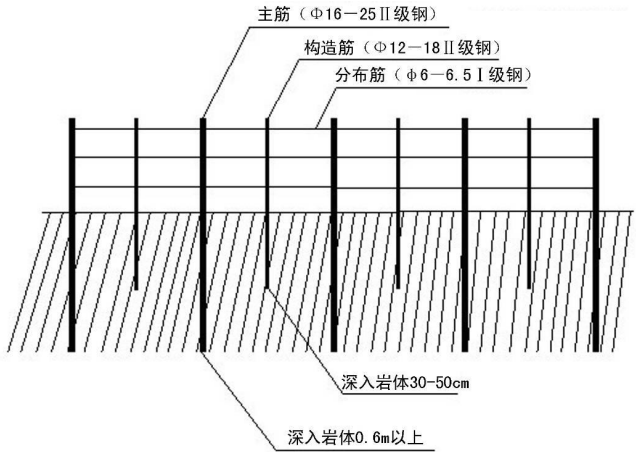


图 D.22 种植槽板配筋图

D. 2. 5. 3 槽内填放基质

在种植槽内填放人工配制好的植物生长基质。以有机质肥和山地土壤两种材料为主，其中泥炭和山地土壤重量百分比分别为15 %和85 %；以保水剂和复合肥及生物菌肥为种植槽内基质的配套材料，每100 kg基质配制50 g保水剂、0.5 kg复合肥、5 gEM生物菌肥。种植槽基质肥力满足有机质含量在3.5 %~4.0 %之间、全N≥0.65 %、有效P≥11 mg/kg、速效K≥1 mg/kg、容重<1.2 g/cm<sup>3</sup>、有效持水量≥26 %、pH5.6~7.4的基本理化性质要求。填放的基质高度与槽板齐平。

D. 2. 5. 4 植物配置与种植

种植槽内绿化植物配置的基本模式为上爬下挂中间挡模式，即中间种植乔木或小乔木与高灌木的中间挡植物、内侧种植上爬植物、外侧种植下挂植物。上爬植物建议选择2年生爬山虎*Parthenocissus tricuspidata*和凌霄*Campsis grandiflora*、下挂植物建议选择2年生黄馨*Jasminum mesnyi*和藤本月季*Rosa chinensis*、中间挡植物可选择地径2.5cm左右的夹竹桃*Nerium oleander*、女贞*Ligustrum lucidum*和蓬径20 cm~25 cm的小叶女贞*Ligustrum quihoui*及2年生的美丽胡枝子*Lespedeza thunbergii subsp. formosa*。上爬下挂植物种植的间距为0.5m、中间挡植物种植的间距1m，相间种植。种植槽绿化植物上爬下挂中间挡配置基本模式见图D.23。

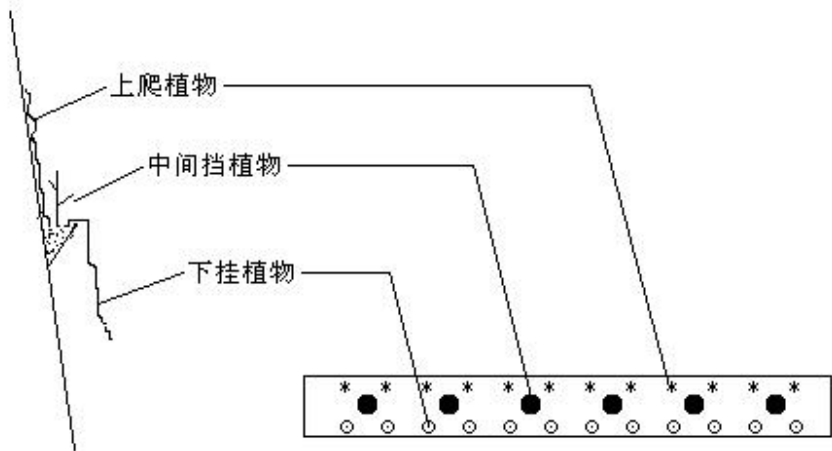


图 D.23 种植槽绿化植物上爬下挂中间挡配置基本模式

附 录 E  
(规范性)  
交工验收评价表

交工验收评价表见表E.1。

表 E.1 交工验收评价表

| 评价内容                    |      |           | 评价结论     |   |   |    |
|-------------------------|------|-----------|----------|---|---|----|
|                         |      |           | 评价*      | 是 | 否 | 基本 |
| 1、工程内容和工程数量             | 工程内容 | 是否全面      |          |   |   |    |
|                         | 工程数量 | 是否满足      |          |   |   |    |
| 2、地质灾害稳定性治理             |      | 是否有效      |          |   |   |    |
| 3、植被恢复                  | 喷播绿化 | 喷附基质厚度    | 是否到位     |   |   |    |
|                         |      | 基质流失情况    | 是否严重     |   |   |    |
|                         |      | 喷播区绿化覆盖率  | (%)      |   |   |    |
|                         |      | 喷播区木本植物数量 | 平均（株/m2） |   |   |    |
|                         | 种植绿化 | 种植树种      | 是否满足     |   |   |    |
|                         |      | 种植数量      | 是否满足     |   |   |    |
|                         |      | 种植规格      | 是否满足     |   |   |    |
|                         |      | 总体种植成活率   | (%)      |   |   |    |
| 4、挡墙工程建设                |      | 是否完好有效    |          |   |   |    |
| 5、截排水系统工程建设             |      | 是否完好有效    |          |   |   |    |
| 6、养护系统工程安装设置            |      | 是否系统有效    |          |   |   |    |
| 7、水土体污染治理               |      | 是否有效      |          |   |   |    |
| 8、提交的交工验收资料             | 系统性  | 是否系统      |          |   |   |    |
|                         | 完整性  | 是否完整      |          |   |   |    |
|                         | 真实性  | 是否真实      |          |   |   |    |
| 交工验收结论：                 |      | 通过：       | 不通过：     |   |   |    |
| *在是、否、基本相应项中打√或填%、株/m²。 |      |           |          |   |   |    |
| 验收专家（签名）：年 月 日          |      |           |          |   |   |    |

附录 F  
(规范性)  
竣工验收工程质量评价方法

F.1 评价区域和内容

F.1.1 矿山生态恢复的目标是消除各类崩塌、滑坡、崩落、泥石流、塌陷等地质灾害隐患，治理好各类重金属和酸碱性水土体污染及含水层改善，同时恢复矿山地形地貌和自然植被景观，具有明显的安全稳定、污染治理和植被恢复三大主体目标，即安全、环保、植被三要素，其中安全或环保不符合要求将直接评定为不合格。在安全和环保符合要求基础上或前提下，对植被要素进行矿山生态恢复工程的质量评价。

F.1.2 矿山植被的生态恢复主要包括宕底及因采矿活动损毁的各类土地植被的生态恢复。从植物群落及其生态学角度出发，除了宕底复垦有林地、边坡平台和挡墙内侧种植乔灌木树种外，受损山体斜面边坡的植被恢复是生态恢复的关键。因此，本评价将针对斜面边坡植被的生态恢复。评价的目的不仅是对工程质量的认定，更有利于设计、施工向优秀质量迈进，以全面提升广东省矿山生态恢复工程建设的质量。

F.1.3 考虑到现场验收的可判断性，选取物种多样性、绿化覆盖率和群落稳定性三个准则的12个指标，对矿山生态恢复的工程建设质量进行数量化评价。

F.2 评价方法

F.2.1 采用百分制评价方法。物种多样性、绿化覆盖率和群落稳定性三个准则的权重分别为30分、35分和35分，根据现场察看并按指标内容及其分值判断得分值。矿山生态恢复工程质量评价表见表F.1。

表 F.1 矿山生态恢复工程质量评价表

| 准则（A）          | 指标                  | 分值     | 得分 |
|----------------|---------------------|--------|----|
| 物种多样性<br>（30分） | 5种以下                | 45~59  |    |
|                | 6~10种               | 60~74  |    |
|                | 11~15种              | 75~89  |    |
|                | 16种以上               | 90~100 |    |
| 绿化覆盖率<br>（35分） | 60%以下               | 45~59  |    |
|                | 60~74%              | 60~74  |    |
|                | 75~89%              | 75~89  |    |
|                | 90%以上               | 90~100 |    |
| 群落稳定性<br>（35分） | 草本植被（木本植物盖度占10%以下）  | 45~59  |    |
|                | 草灌植被（木本植物盖度占30%左右）  | 60~74  |    |
|                | 灌木植被（木本植物盖度占70%左右）  | 75~89  |    |
|                | 乔灌草植被（乔木树种盖度占30%以上） | 90~100 |    |
| 评价分值：          |                     | 评价结论：  |    |

F.2.2 计算公式见式（1）：

$$Y = \sum_{i=1}^3 \left( \frac{A_i}{100} B_i \right) \dots\dots\dots (F.1)$$

式中：  
Y—评价分值；  
Ai—准则权重分值；  
Bi—指标权重。

F.2.3 按评价分值给予不合格、合格、良好、优秀的评价结论。矿山生态恢复工程质量评价分值与评价结论对照表见表F.2。

表 F.2 矿山生态恢复工程质量评价分值与评价结论对照表

|      |      |        |        |      |
|------|------|--------|--------|------|
| 评价分值 | <60分 | 60～74分 | 75～89分 | ≥90分 |
| 评价结论 | 不合格  | 合格     | 良好     | 优秀   |

\_\_\_\_\_