

中华人民共和国土地管理行业标准

TD/T 1070.4—2022

矿山生态修复技术规范 第4部分：建材矿山

Technical specifications for ecological restoration of mines—
Part 4: Building materials mine

2022-07-20 发布

2022-11-01 实施

中华人民共和国自然资源部 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 基本原则、总体要求与工作流程 2

 4.1 基本原则 2

 4.2 总体要求 2

 4.3 工作流程 3

5 基础调查、问题识别与成果资料 3

 5.1 基础调查 3

 5.2 问题识别 4

 5.3 成果资料 4

6 生态修复方案编制 4

 6.1 基本要求 4

 6.2 矿山基本情况 4

 6.3 总体定位与目标 5

 6.4 主要任务与工作部署 5

 6.5 跟踪监测 5

 6.6 经费估算 5

 6.7 保障措施 5

7 生态修复方案实施 5

 7.1 工程实施 5

 7.2 技术措施 6

8 生态修复监测与管护 14

 8.1 跟踪监测 14

 8.2 后期管护 14

9 生态修复成效评估 15

 9.1 评估时间 15

 9.2 评估内容 15

10 生态修复信息管理 15

 10.1 主要内容 15

 10.2 管理要求 16

附录 A (资料性) 矿山生态修复主要技术措施 17

附录 B (资料性) 边坡分类及主要修复技术方法 19

附录 C (资料性) 排渣(土)场分类及主要修复技术方法	20
附录 D (资料性) 土壤 pH 值范围与植被重建适宜植物	21
附录 E (资料性) 植被重建常用固氮植物	22
附录 F (资料性) 边坡常用植被重建方法	23
附录 G (资料性) 边坡植被重建覆盖率及养护年限	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。

本文件是 TD/T 1070《矿山生态修复技术规范》的第4部分。TD/T 1070 已经发布了以下部分：

- 第1部分：通则；
- 第2部分：煤炭矿山；
- 第4部分：建材矿山；
- 第5部分：化工矿山；
- 第6部分：稀土矿山；
- 第7部分：油气矿山。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本文件起草单位：中国自然资源经济研究院、山东钰锺地质资源勘查开发有限责任公司、陕西工程勘察研究院有限公司、中国煤炭地质总局航测遥感局、陕西绿润环境工程研究院、中国地质环境监测院、山东省公共资源交易中心、泰安市自然资源和规划局、中国地质灾害防治工程行业协会、承德承钢正桥矿业开发有限公司、宁波梅山岛开发投资有限公司。

本文件主要起草人：孙贵尚、王祥永、张斌、刘小琼、康江、张超宇、李稳哲、强建华、谢婉丽、白雪华、余勤飞、余振国、冯春涛、赵宏生、李文孟、张家起、李胜、赵赫、王森、王峰、张进德、郝净、尹承亮、彭超、刘向敏、侯冰、赵国君、王子中、叶长权、杨守东、孟锦、石永建、陈春晖。

引 言

为加快推进国土空间生态保护与修复工作,规范矿山生态修复工作流程、技术方法和要求,制定了TD/T 1070《矿山生态修复技术规范》。

矿山生态修复涉及煤炭、金属、建材、化工、稀土、油气等不同矿种的矿山,涵盖调查、设计、施工、监测、评估的全过程,为满足矿山生态修复技术的通用性并突出不同矿种的特点,TD/T 1070 拟由七个部分构成:

- 第1部分:通则;
- 第2部分:煤炭矿山;
- 第3部分:金属矿山;
- 第4部分:建材矿山;
- 第5部分:化工矿山;
- 第6部分:稀土矿山;
- 第7部分:油气矿山。

第1部分规范了矿山生态修复工作的技术流程、总体思路、工作方法等通用内容,其他六个部分是第1部分的延伸和细化,重点强调了不同矿种的矿山生态修复技术措施。

矿山生态修复技术规范

第4部分：建材矿山

1 范围

本文件规定了建材矿山生态修复的基本原则、总体要求与工作流程,基础调查、问题识别与成果资料,以及生态修复方案编制、方案实施、监测与管护、成效评估和信息管理等内容。

本文件主要适用于建材矿山开采活动结束后的矿山生态修复等技术工作,开采过程中开展矿山生态修复工作可参照执行。

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 2894 安全标志及其使用导则
- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 5084 农田灌溉水质标准
- GB 11607 渔业水质标准
- GB/T 13306 标牌
- 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 15776 造林技术规程
- GB/T 16453.4 水土保持综合治理 技术规范 小型蓄排引水工程
- GB/T 32864 滑坡防治工程勘查规范
- 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/T 38509 滑坡防治设计规范
- GB 50003 砌体结构设计规范
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB/T 50085 喷灌工程技术规范
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- 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 50485 微灌工程技术规范
- GB/T 50625 机井技术规范
- CJ/T 24 园林绿化木本苗
- CJ/T 340 绿化种植土壤
- DZ/T 0220 泥石流灾害防治工程勘查规范
- DZ/T 0266 矿产资源开发遥感监测技术规范
- DZ/T 0284 地质灾害排查规范

DZ/T 0287 矿山地质环境监测技术规程
JGJ 79 建筑地基处理技术规范
JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
JTG/T D33 公路排水设计规范
JT/T 1328 边坡柔性防护网系统
NY/T 1342 人工草地建设技术规程
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

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

建材矿山 building materials mine

指开采建筑石料用灰岩、白云岩、花岗岩、安山岩、闪长岩、玄武岩,以及建筑材料用水泥灰岩、饰面石材、砂岩、石英岩、页岩、建筑用砂、黏土类等矿山。

3.2

采场边坡 mine slope

指露天采场的倾斜坡面,是由一个或多个采掘台阶、坡面组成的总斜坡。

3.3

植被养护 vegetation conservation

指为促使矿山生态修复植被成活和生长良好,防止植被群落退化所采取的管护措施。包括抚育、灌溉、施肥、调配、病虫害防治、有害植物清除等。

4 基本原则、总体要求与工作流程

4.1 基本原则

4.1.1 建材矿山生态修复原则除符合 TD/T 1070.1 中 4.1 外,还应符合本文件 4.1.2 至 4.1.4。

4.1.2 安全稳定,兼顾景观。消除矿山地质环境破坏问题后,各类场地须安全、稳定,对人居、生命、财产、水土、动植物等不造成威胁。在此基础上开展矿山生态修复工作,构建修复实施区域与周边环境相融合的生态景观。

4.1.3 因地制宜,统筹协调。因地制宜,因矿施策,宜绿则绿,宜白则白。统筹地貌重塑、土壤重构、植被重建、配套工程等综合修复措施的应用。

4.1.4 经济合理,技术可行。选择适宜的矿山生态修复模式,修复技术方法应科学先进,降低修复成本。辅助再生、生态重建尽量缩短修复和管护时间,后期以自然恢复为主。

4.2 总体要求

4.2.1 建材矿山生态修复要求除应符合 TD/T 1070.1 中 4.2 外,还应符合本文件 4.2.2 和 4.2.3。

4.2.2 以边坡、采场底盘、工业场地、矿山道路、排渣(土)场等场地为重点,合理选择修复措施,实现最优

化修复。植被重建应优先选择乡土植物物种,积极推进乔、灌、草、攀缘植物立体种植,防止生态群落退化,增强生态系统稳定性。不应使用对当地生物多样性造成威胁的外来入侵物种。

4.2.3 矿山生态修复后,将因矿产资源开采活动而破坏的生态系统恢复到或接近于采矿前的自然生态系统,或重建成符合人们特定用途的生态空间。

4.3 工作流程

符合 TD/T 1070.1 的要求。

5 基础调查、问题识别与成果资料

5.1 基础调查

5.1.1 调查范围

统筹考虑矿山范围及其所处的地理单元与生态功能空间,以矿产资源开采活动影响到的范围为主,适当扩展到周边区域。

5.1.2 调查内容

5.1.2.1 自然生态状况调查。符合 TD/T 1070.1 中 5.1.2.1 的要求。

5.1.2.2 矿山概况调查。包括矿山名称、地理位置、矿山面积、建矿时间、闭坑或废弃时间、开采矿种、采区范围、开采深度、开采层位、开采方式、开采规模以及矿山周边已实施的修复工程情况等。

5.1.2.3 矿山生态问题调查。重点调查以下矿山生态问题。

- a) 矿山地质环境破坏调查。重点调查矿山各类场地地质环境破坏的类型、位置、规模、影响范围、威胁对象、处置情况等。
- b) 地形地貌破坏调查。包括矿业活动(采场、工业场地、办公生活区、建设工程、排渣场、矿山道路等)影响破坏的空间分布、面积、方式等。重点调查采场边坡位置、长度、宽度、顶底高差、坡向、坡度、坡面台阶、坡面危岩体,采场底盘面积、长度、宽度、深度、积水情况,残山的分布、体积、顶底高差等情况。
- c) 土地损毁调查。包括矿业活动损毁的土地资源类型、位置、范围、面积、破坏方式(挖损、压占)、土地权属等。
- d) 固体废弃物调查。包括矿业活动排放的固体废弃物类型、排放位置、占地面积、排放量、危害对象、影响范围、利用情况等。
- e) 植被破坏调查。包括矿业活动破坏的植被类型、分布、面积等。

5.1.2.4 其他调查。还应调查以下问题。

- a) 土源调查。调查矿山及周边适用于矿山生态修复需要的土源分布、储量、运输条件、相关权利人意愿以及取用后对土源地生态系统影响等,结合收集资料和实验室分析,查明土壤质地、容重、有机质、易溶盐、pH 值等指标。
- b) 其他条件调查。调查矿山生态修复可利用的水源(井、泉、河流、水库等)、灌排设施、电力设施以及矿山内外道路,修复工程所需材料市场供应和价格、当地用工状况和劳务信息等。

5.1.3 调查方法

5.1.3.1 收集资料

收集矿山自然生态状况(包括矿山所在生态单元的区域自然生态条件、矿山地质环境条件、矿山生态

状况)、社会经济、概况、有关规划及设计、方案等。引用资料须现场校验。

5.1.3.2 现场调查

矿山地质环境破坏调查中涉及崩塌调查内容、方法符合 DZ/T 0284 的要求,滑坡、不稳定斜坡调查内容、方法符合 GB/T 32864 的要求,泥石流调查内容、方法符合 DZ/T 0220 的要求。矿山地形地貌破坏、土地损毁、植被破坏等调查,应在收集资料基础上现场核实其准确性。

5.1.3.3 专家和公众咨询

专家和公众咨询是对现场调查的补充。咨询专家、公众和相关部门对修复工作的意见,补充现场调查遗漏的矿山生态问题。

5.1.3.4 遥感调查

采用遥感方法调查矿山生态状况和生态问题,其工作流程、信息提取、实地调查、综合研究、成果编制等符合 DZ/T 0266 的要求。

5.2 问题识别

5.2.1 建立建材矿山生态修复参照生态系统

对比分析历史资料,综合调查矿山周围同类型地区,建立建材矿山生态修复参照生态系统。一般用胁迫因素、物质条件、物种组成、结构多样性、生态系统功能和外部交换 6 个生态系统属性描述参照生态系统。

5.2.2 矿山生态问题划分为三个等级

I 级:场地存在严重矿山地质环境破坏问题,地质条件不稳定,或场地存在严重地形地貌破坏、土地损毁,地表植被生境受到严重影响,生态退化严重。

II 级:场地存在一定的矿山地质环境破坏问题,地质条件稳定性较差,或场地存在一定程度地形地貌破坏、土地损毁,局部植被盖度与质量受到影响,物种生境条件较为稳定,生态系统结构与功能较为完好。

III 级:场地不存在矿山地质环境破坏问题,地质条件稳定性良好,地形地貌破坏轻微,地表仅存在少量土地损毁,仅局部植被盖度与质量受到影响,物种生境条件稳定,生态系统结构与功能完好。

5.3 成果资料

主要包括调查数据表、测试分析数据、照片、音频视频、实际材料图、生态问题图等。

6 生态修复方案编制

6.1 基本要求

矿山生态修复方案应在完成基础调查与问题识别的基础上编制,并与相关规划衔接。编制内容、大纲符合 TD/T 1070.1 中附录 A 的要求。

6.2 矿山基本情况

6.2.1 区域自然生态状况。阐述矿山所在地的区域自然生态条件、矿山地质环境条件和矿山生态状况,并附有关插图、照片。

6.2.2 矿山概况。阐述矿山位置、范围、交通状况、建矿时间、闭坑时间、矿山规模、开采矿种、开采层位、开采标高、采矿方法、责任主体等。

6.2.3 矿山生态问题。阐述矿业活动引发及已治理的矿山地质环境破坏、地形地貌破坏、土地损毁、植被破坏、生态系统破坏或功能退化等问题的分布、规模、特征,分析矿山生态问题的严重程度和危害,划分矿山场地生态问题严重程度等级,并附有关插图、照片。

6.3 总体定位与目标

6.3.1 矿山生态修复总体定位。根据国土空间规划对矿区农业空间、城镇空间、生态空间的功能定位,合理确定生态修复方向。矿山生态修复定位与修复方向符合 TD/T 1070.1 中附录 B 的要求。

6.3.2 矿山生态修复总体目标。主要从矿山地质环境破坏治理、地貌重塑、土壤重构、损毁土地利用、植被重建等方面,达到的生态修复预期目标。

6.4 主要任务与工作部署

6.4.1 依据矿山生态修复总体定位与目标和《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南(试行)》,结合修复场地地质安全、地形地貌等场地条件,合理确定采场、工业广场、排渣(土)场、矿山道路等矿山场地的修复用途,提出矿山生态修复主要任务。

6.4.2 根据确定的矿山各场地的修复用途和主要任务,统筹考虑现状矿山生态问题的严重程度、现有技术经济条件等,确定采用自然恢复、辅助再生、生态重建修复方式。矿山生态修复方式符合 TD/T 1070.1 中附录 C 的要求。

6.4.3 根据确定的矿山场地生态修复方式,结合场地条件提出采场边坡、底盘、工业场地、排渣(土)场、矿山道路等场地适宜的修复措施。附有关修复工程专门图件、附表,对修复方法、注意事项等做出详细说明。

6.4.4 根据矿山地质环境破坏治理、地貌重塑、土壤重构、植被重建、配套工程等任务,提出工程总体部署和实施计划,测算工程量。

6.4.5 综合考虑当地经济发展水平和修复技术、周期、资金、社会可接受性等因素,分析生态修复技术经济可行性。

6.5 跟踪监测

明确监测目的、范围、内容、方法,以及监测期限和周期。重点监测生态修复后采场、排渣(土)场边坡稳定性,土壤肥力、理化性质,植被重建后植物种类、分布、面积、成活率、覆盖度,回归的动物种类、数量、分布等。

6.6 经费估算

根据矿山生态修复技术措施和部署的工程量,测算所需经费,明确经费筹措渠道。包括估算依据、估算方法、估算过程、估算结果等。

6.7 保障措施

制定矿山生态修复工作实施的组织管理、技术、资金、后期管护等保障措施。

7 生态修复方案实施

7.1 工程实施

工程设计、工程施工、施工准备、施工组织、施工监理等,分别符合 TD/T 1070.1 中 7.1.1 至 7.1.5 的要求。

7.2 技术措施

7.2.1 自然恢复措施

7.2.1.1 采取封闭修复场地、拆除废弃设施等措施,消除影响生态修复的生态胁迫因子。

7.2.1.2 不允许在修复场地内翻土、取土取石、搬运、垦殖等人类活动,排除外界干扰,减少对场地的扰动。

7.2.1.3 依靠修复场地和周边生态系统的自我愈合能力,促进植被再生和生物种群恢复,逐渐修复矿山生态系统。

7.2.2 辅助再生措施

7.2.2.1 采取坡面危岩清理、采坑回填、渣石清理等措施,消除场地的不稳定因素。

7.2.2.2 采取坡面修整、土壤改良或覆土、截排水等措施进行场地平整,为植被恢复提供条件。

7.2.2.3 采取补植、补播、抚育、清除杂灌草等措施,加快生态系统结构和功能的修复。

7.2.3 生态重建措施

7.2.3.1 一般要求

参考参照生态系统,采取工程措施重建生态系统。各修复技术措施应统筹考虑、相互衔接、配合使用。矿山生态修复主要技术措施参见附录 A。

7.2.3.2 矿山地质环境破坏治理

7.2.3.2.1 危岩体清除

清除危岩体,主要采取以下措施。

- a) 综合考虑现场条件、安全、技术经济可行性等因素,选择适宜的危岩体清除方法,可采取人工、机械、解离、静态爆破、控制爆破等措施。慎用常规爆破,防止产生新的危岩体,必须采用时应编制专项爆破设计,制定爆破方法、流程、施工、安全方案及应急预案等。
- b) 清除危岩体前须对防护对象做好安全防护,受威胁对象撤至影响范围之外,必要时设置防护设施。
- c) 清除危岩体须采取自上而下顺序、分区跳段方式并将坡面一次成型,每段施工长度不大于 15 m。
- d) 清除危岩体后的边坡应至稳定岩面,不引发新的危岩体。
- e) 清除危岩体后应修整坡面转角处及坡顶棱角,使坡面平整顺滑,无较大的凸起和凹陷,清除危岩体处坡面应与周围坡面连接平滑、协调。

7.2.3.2.2 危岩体加固

加固危岩体,主要采取以下措施。

- a) 根据边坡岩性、坡度、危岩体稳定程度,采取适宜的加固措施。加固工程应弱化人工痕迹并与周边环境相协调。加固措施符合 GB 50086 的要求。
- b) 对不稳定边坡,可选用锚固、支撑、嵌补、抗滑桩、注浆、排水等措施。锚固措施符合 GB 50330 的要求,支撑、嵌补措施符合 GB 50003 的要求,排水工程、抗滑桩措施符合 GB/T 38509 的要求,注浆措施符合 JGJ 79 的要求。

7.2.3.2.3 边坡护坡

边坡护坡,主要采取以下措施。

- a) 软质岩石、表层风化严重的不稳定边坡,可采用锚固、锚喷、挂网、注浆固结、抗滑桩、圪工、格构或其他措施护坡,坡脚处可采用堆坡反压、拦挡等措施稳定。圪工护坡符合 GB 50003 的要求,格构护坡符合 GB/T 38509 的要求。
- b) 坡面破碎、裂隙发育浅的边坡,可采用挂网、锚喷、圪工、格构或其他护坡措施。挂网措施符合 JT/T 1328 的要求。

7.2.3.3 地貌重塑

7.2.3.3.1 修整工程

7.2.3.3.1.1 削坡卸荷

削坡卸荷,主要采取以下措施。

- a) 边坡条件允许时优先削坡卸荷,降低边坡坡度、高度。削坡卸荷应统筹边坡台阶再造、边坡护坡、截排水、坡脚蓄坡和填筑台阶等工程。
- b) 土质和软质岩石边坡角大于 60° 且坡高大于 8 m,硬质岩石边坡角大于 75° 且坡高大于 15 m 时,应分级放坡,保证边坡的稳定性。
- c) 削坡卸荷后边坡应满足稳定的坡高和休止角。土质边坡高度在 5 m 以下且坡度不大于 35° ,高度为 5 m~10 m 且坡度不大于 30° ;软质岩石边坡高度在 8 m 以下且坡度不大于 45° ,高度为 8 m~15 m 且坡度不大于 35° ;硬质岩石边坡高度在 8 m 以下且坡度不大于 60° ,高度为 8 m~15 m 且坡度不大于 50° 。
- d) 岩质边坡采用爆破法削坡时,坡面应预留一定厚度岩层采用人工或机械修整,以防止坡面产生新的危岩体,保证坡面稳定顺滑。
- e) 削坡坡高、坡形根据岩土条件确定,可采用直线形、阶梯形削坡。
 - 1) 高度小于 8 m 的土质边坡及小于 15 m 的岩质边坡可采用直线形削坡。
 - 2) 高度超过 8 m 的土质边坡及超过 15 m 的岩质边坡,宜采用阶梯形削坡。阶梯台阶宽度、高差根据边坡岩土条件确定,土质边坡台阶宽度不小于 3 m 且岩质边坡不小于 2 m,台阶宜微内倾,防止后续覆土流失;大于三级的多级台阶中间应留设一级宽台阶,土质边坡宽台阶的宽度不小于 6 m 且岩质边坡宽台阶的宽度不小于 4 m,土质边坡台阶高差不大于 8 m 且岩质边坡台阶高差不大于 15 m。
- f) 削坡区坡顶、侧边界应与周边稳定的坡体自然衔接,不应形成陡坎。

7.2.3.3.1.2 台阶再造

台阶再造,主要采取以下措施。

- a) 结合边坡削坡按一定宽度、高度沿坡面等高线再造若干级台阶平台,形成植被重建的立地条件。
- b) 沿台阶平台外边缘修筑挡土墙、叠石等挡土构件并保持其稳定,构件体合理设置泄水孔、伸缩变形缝,其高度视植被重建物种、覆土厚度确定。挡土构件参数、材质、结构形式符合 GB 50003 的要求。

7.2.3.3.1.3 坡脚蓄坡、填筑台阶

坡脚蓄坡、填筑台阶,主要采取以下措施。

- a) 当边坡后缘削坡受限或削坡工程量大,坡脚或采场底盘场地充足,可在坡脚处回填渣(石)土蓄坡、填筑台阶。蓄坡宽度、高度视场地条件和回填材料确定。
- b) 蓄坡体应满足稳定的坡高和休止角。蓄坡体高度在 8 m 以下时坡度小于 30° ,15 m 以下时坡度小于 25° 。
- c) 填筑台阶数量一般不多于三级。回填材料为黏性土时,单层台阶高度不大于 8 m,宽度 4 m~6 m,边坡坡度小于 30° ;回填材料为渣石时,单层台阶高度不大于 12 m,宽度 4 m~6 m,边坡坡度 $30^\circ\sim45^\circ$ 。

- d) 回填蓄坡应考虑其稳定性,按照先低后高的顺序逐层回填并分层压实,不应顺坡倾倒。回填时将大块度块石堆置在底层稳定基底,利用小块度块石、碎渣石填隙。
- e) 为稳定蓄坡体和防止后续坡面覆土流失,可在蓄坡体坡脚处修建拦挡工程并保证其稳定,其高度一般不高于 2 m,弱化人工工程痕迹。

7.2.3.3.1.4 坡面整形

整形坡面,主要采取以下措施。

- a) 应对破损边坡坡面进行整形,对采矿遗留的残山进行表面整形或将其整体清除,为后续植被重建创造条件。
- b) 排渣(土)场长期堆放时,堆坡应满足稳定的坡高和休止角。堆高大于 10 m 时应削坡开级再造台阶,每级台阶高度不超过 8 m,台阶宽度不低于 3 m,坡度不大于 30°。

7.2.3.3.1.5 积水区整形

积水区整形,主要采取以下措施。

- a) 对积水采场底盘或其他积水区进行水域整形,合理构建积水区形态。
- b) 统筹地形地貌、截排水工程,合理布局集水、导水、蓄水系统。

7.2.3.3.2 集排水工程

7.2.3.3.2.1 截排水

截排水工程,主要采取以下措施。

- a) 截排水沟设计符合 GB/T 16453.4 的要求。
- b) 坡面截排水。
 - 1) 根据当地降水、边坡现场条件,合理布置坡顶、坡面、坡脚及水平台阶截排水工程,将水流引离边坡。边坡、台阶高差较大时,坡面上宜设置纵向排水沟、急流槽,防止水流改变,并设置跌水或陡坡,下游采取消能和防冲措施。
 - 2) 截排水沟规格、纵坡降应能顺利排出拦截的当地最大降水时形成的坡面径流。
 - 3) 截排水沟、急流槽宜采用自流露天排水方式,进出口采用喇叭口或“八”字形导流翼墙,并与区外排水系统相连。
 - 4) 截排水沟宜采用圬工结构,迎水面宜设置泄水孔,陡坡、缓坡段沟底及边墙设置伸缩变形缝。坡体松软段宜采用混凝土结构。
- c) 平整区截排水。
 - 1) 排水沟宜布置在低洼地带,尽量利用天然河沟和原有排水沟,同时避免填方地段。
 - 2) 排水沟与边坡截水沟结合布置。跨路、沟布置排水涵洞或涵管,且满足排水需要。
 - 3) 排水沟宜采用明沟自排水方式,排水路线短且直。

7.2.3.3.2.2 集蓄水

集蓄水工程,主要采取以下措施。

- a) 视当地降水、场地条件,利用采场底盘低洼区进一步挖深修建蓄水池、坑塘或于坡顶建设高位水池,满足植被重建及养护或其他用水需求。集蓄水工程设计、施工符合 GB/T 16453.4 的要求。
- b) 蓄水池建设地点应避开地质环境破坏和填方地段,宜修建于采场低洼区或出口处,并与采场内截排水工程相连,进水口前设置拦污栅、沉砂池,同时修建泄洪道或梯步,周边安装防护设施、警示标志等。根据地层岩性及风化程度、裂隙发育程度做好防渗。沉砂池设计、施工符合 GB/T 16453.4 的要求。
- c) 蓄水池大小应根据矿山开采境界或所在局部地形分水岭(线)集水面积、降水条件,计算流向集水区的地表径流量和考虑修复后需水量综合确定。
- d) 采场内已形成的较深或已有积水区,为减少修复工程大量填方,宜将其改造成蓄水坑塘,充分利

用水资源。

- e) 干旱、半干旱、半湿润地区,应尽可能将采场底盘凹坑、低洼区进一步挖深,修建为蓄水池、坑塘,充分利用降水。
- f) 高位水池一般修建于坡顶或适当的高地上,水源可来自修建的蓄水池、坑塘或修复区外的井、泉、河流、水库等。

7.2.3.3.3 边坡修复

边坡修复包括如下内容。

- a) 根据矿山所处区域生态功能、边坡高度及坡度等情况,选择适宜的修复方法。边坡分类及主要修复技术方法参见附录 B。
- b) 优先选择对地形条件、土壤质量、配套设施、防洪排涝标准要求相对较低,投入相对经济的林草地修复模式。
- c) 高陡岩坡修复。根据矿山所处区域生态功能、修复标准、现有技术经济条件,高陡岩坡可选择以下修复思路。
 - 1) 为尽量减少边坡裸露岩面、缓冲边坡落石,视采场底盘空间条件,于坡脚回填渣(石)土蓄坡或填筑台阶,填筑台阶数一般不超过三级。
 - 2) 边坡中、上部可采用削坡开级再造台阶,台阶数一般不超过五级,台阶外缘设置挡土墙、叠石等挡土构件。

7.2.3.3.4 采场底盘修复

7.2.3.3.4.1 不积水采场底盘修复

不积水采场底盘修复,主要采取以下措施。

- a) 修复为耕地的采场底盘。
 - 1) 修复为水田、水浇地时须有灌溉水源保障。
 - 2) 场地截排水工程,应科学布置且排水去向合理。
 - 3) 修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求。
- b) 修复为园地、林草地的采场底盘。
 - 1) 采场底盘高于附近局部侵蚀基准面,积水可自然排出或通过开挖排水工程自然排出时,可选择园地、林草地修复方向。
 - 2) 场地截排水工程,应科学布置且排水去向合理。
 - 3) 修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求。
- c) 修复为建设用地的采场底盘。
 - 1) 应查明场地工程地质条件,在符合当地国土空间规划前提下,合理确定建设用地的具体用途。
 - 2) 修复场地须满足相关安全标准。边坡稳定性符合 GB 50330 的要求,地基承载力符合 GB 50007 的要求。
 - 3) 场地地形平整、无有毒有害污染物,满足环境功能要求,土壤质量符合 GB 36600 的要求。
 - 4) 排水管网设置合理,地基标高满足防洪排涝要求。

7.2.3.3.4.2 积水采场底盘修复

积水采场底盘修复,主要采取以下措施。

- a) 修复为蓄水池、坑塘时,须满足以下条件并采取相应的修复方法。
 - 1) 蓄水条件下周边山体、边坡稳定。
 - 2) 开采境界或所在局部地形分水岭(线)大气降水径流,可自然汇入蓄水池、坑塘,汇入量大于蒸发量和渗漏量之和。

- 3) 蓄水池、坑塘最高水位线设置溢洪道,防洪排涝满足 10 年一遇 24 h 暴雨量。
- 4) 蓄水池、坑塘周边设置防护设施、警示标志。
- 5) 对渗漏点(带)进行防渗处理。
- 6) 水质满足用途要求,符合 GB 3838 的 V 类水以上标准。用于灌溉用水时水质符合 GB 5084 的要求。
- b) 修复为渔业(含养殖业)用地时,须满足以下条件并采取相应的修复方法。
 - 1) 塘(池)面积为 $0.5 \text{ hm}^2 \sim 1.0 \text{ hm}^2$,深度为 2 m~3 m。
 - 2) 对塘(池)整形,周边设置防护设施、警示标志。
 - 3) 塘(池)最高水位线设置溢洪道,防洪排涝满足 10 年一遇 24 小时暴雨量。
 - 4) 水质符合 GB 11607 的要求。
 - 5) 水产品质量满足食品卫生要求。
- c) 修复为人工湖、湿地、水体公园、水域观赏区时,须满足以下条件并采取相应的修复方法。
 - 1) 面积大于 2 hm^2 。
 - 2) 与区域自然环境相协调,具有景观完整性和多样性。
 - 3) 对水域整形、周边布置树草种植区,控制水土流失。必要时设置防护设施、警示标志。
 - 4) 水域最高水位线设置溢洪道,排水、防洪设施满足当地标准。
 - 5) 水质达到 GB 3838 的 V 类水以上标准。

7.2.3.3.5 取土(砂)场修复

取土(砂)场修复,主要采取以下措施。

- a) 根据取土(砂)场所处区域生态功能、挖损面积、深度、土层厚度、表土资源、积水情况等,合理确定修复方向。
- b) 条件允许时优先修复为耕地,不具备修复为耕地条件时可选择其他修复方向。
- c) 修复为耕地、园地、林地时,修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求。
- d) 修复为蓄水池、坑塘时,修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求,水质达到 GB 3838 的 V 类水以上标准,用于灌溉用水时水质满足 GB 5084 的要求。
- e) 修复为渔业(含养殖业)时,修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求,水质达到 GB 11607 的要求。
- f) 修复为人工湖、湿地、水体公园、水域观赏区时,修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求,水质达到 GB 3838 的 V 类水以上标准。

7.2.3.3.6 工业场地修复

7.2.3.3.6.1 工业场地包括办公生活区、工业广场、仓库、临时建筑及其他场地,宜选择原地类修复方向。

7.2.3.3.6.2 符合当地国土空间规划、建设标准的工业场地及其建(构)筑物可以保留,维持建设用地的用途。对破损、污渍、老化的建(构)筑物采取维修、加固、粉刷措施,维持其利用功能。

7.2.3.3.6.3 不留用的建(构)筑物、硬化地面予以拆除,清理施工残留物运出场地,对危废、污水、污物妥善处置。优先将清理出场地的施工残留物资源化再利用。

7.2.3.3.6.4 修复为耕地时,修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求。

7.2.3.3.6.5 修复为园地、林草地时,修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求。

7.2.3.3.7 矿山道路修复

7.2.3.3.7.1 应在其他修复工程完成后再开展矿山道路修复工作,为其他场地修复施工提供交通条件。

7.2.3.3.7.2 留用的矿山道路,应维护其平整度以满足通行要求,补植补播道路两侧缺损绿植。

7.2.3.3.7.3 不留用的硬化路面予以拆除,清理施工残留物运出场地,并优先将其资源化再利用,将清理后的道路场地整平。

7.2.3.3.7.4 修复为耕地、园地、林地时,修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求。

7.2.3.3.8 排渣(土)场修复

7.2.3.3.8.1 根据排渣(土)场周围自然环境、占地面积、堆存量,合理确定修复方向。排渣(土)场分类及主要修复技术方法参见附录 C。

7.2.3.3.8.2 清空的排渣(土)场,宜选择原地类修复方向,修复质量控制标准符合 TD/T 1036 的要求。

7.2.3.4 土壤重构

7.2.3.4.1 场地清理

场地清理,主要采取以下措施。

- a) 优先将各修复场地内的渣石(土)资源化再利用,可用于回填采坑、坡脚蓄坡、筑路、制作建筑材料等。
- b) 排渣(土)场禁止设置于沟坡和沟谷内,防止发生滑坡及成为泥石流物源。已设置的优先将其资源化再利用清理或采取整形、固化、拦挡、土壤重构、植被重建等措施进行综合治理。

7.2.3.4.2 场地平整

场地平整,主要采取以下措施。

- a) 根据各修复场地地形起伏、坡度、高差等要素,可采取整体或分阶梯方式平整场地。按照确定的修复方向选择适宜的平整方法,采用削高填低、挖低垫高、物料回填、推平等措施。
- b) 平整场地应充分利用场地内的弃渣(石)土,回填后坑平渣尽。

7.2.3.4.3 覆土工程

7.2.3.4.3.1 剥土回覆、客土覆土

剥土回覆与客土覆土,主要采取以下措施。

- a) 充分利用采矿过程中留存的剥土、岩缝土,就近覆盖于各修复场地,为后续植被重建创造条件。
- b) 选用矿山周边富含腐殖质、理化性能良好的客土,覆盖于各修复场地。修复为农用地的,土壤质量符合 GB 15618 的要求;修复为园地、林草地的,土壤质量符合 CJ/T 340 的要求。

7.2.3.4.3.2 边坡台阶再造台面,覆盖种植土厚度宜不低于 1.0 m,高度低于挡土构件 0.10 m~0.20 m。覆土后台面起伏高差宜不超过 0.50 m。

7.2.3.4.3.3 坡脚蓄坡体坡面、填筑台阶台面,覆盖种植土厚度宜不低于 1.0 m。

7.2.3.4.3.4 不积水采场底盘修复为耕地、园地,土壤质量达到 GB 15618 的Ⅱ类标准。覆盖种植土以壤土、砂质黏土为佳,保障土壤涵养水肥能力。有效土层厚度、田面地形坡度、平整度以及其他配套设施,符合 TD/T 1036 的要求。

7.2.3.4.3.5 不积水采场底盘修复为林草地,土壤质量达到 GB 15618 的Ⅲ类标准。有效土层厚度、地形坡度以及其他配套设施,符合 TD/T 1036 的要求。

7.2.3.4.3.6 岩质工业场地覆盖种植土有效土层厚度宜不低于 0.80 m。土质场地覆盖种植土有效土层厚度宜不低于 0.50 m;也可采取松土措施且深度不低于 0.50 m,砾石含量不高于 TD/T 1036 的要求。

7.2.3.4.3.7 不留用的岩质矿山道路覆盖种植土有效土层厚度宜不低于 0.80 m。不留用的泥结路面覆盖种植土有效土层厚度宜不低于 0.50 m;也可采取松土措施且深度不低于 0.50 m,砾石含量不高于 TD/T 1036 的要求。

7.2.3.4.3.8 排渣(土)场长期堆放时,应整形坡面,覆盖种植土有效土层厚度宜不低于 1.0 m,坡脚修建拦挡工程,防止水土流失。

7.2.3.4.3.9 为满足各修复场地植被重建需要,可采用壤土、砂、腐殖质、保水剂、黏合剂,以及土壤调节剂、施肥、改土等措施改良土壤。

7.2.3.5 植被重建

7.2.3.5.1 在地貌重塑、土壤重构基础上,依据参照生态系统,考虑植被适宜性,结构布局合理性,物种多样性,开展植被重建。

7.2.3.5.2 筛选适应当地气候、立地条件、土壤条件、抗逆性强、耐贫瘠、易成活、易养护、根系发达、种源丰富、水土保持功能强、管理粗放的乡土植物,综合考虑乔、灌、草、攀缘植物、固氮与非固氮、深根性与浅根性、经济林与生态林相结合。木本苗的选择符合 CJ/T 24 的要求。植被重建适地植物物种见 TD/T 1070.1 中附录 D;土壤 pH 值范围与植被重建适宜植物参见附录 D;植被重建常用固氮植物参见附录 E。

7.2.3.5.3 植被重建后,植物应安全长效、适于自然生长、生态稳定性强、能自我繁衍,并与周边环境相协调。

7.2.3.5.4 边坡植被重建,应根据立地条件、坡向(向阳、背阴)、坡度、岩性及风化程度、植物习性等,采取适宜的植被重建方法及养护措施。边坡常用植被重建方法参见附录 F。

7.2.3.5.5 边坡再造台阶植被重建,宜采用乔、灌、草、攀缘植物立体种植,平台内、外侧各栽植一至二排攀缘植物,向上攀爬或向下垂吊复绿坡面,可适当栽植观赏植物物种。

7.2.3.5.6 坡脚蓄坡体坡面、填筑台阶台面覆盖种植土后,宜采用乔、灌、草、攀缘植物立体种植进行植被重建,可适当栽植观赏植物物种。

7.2.3.5.7 不积水采场底盘、工业场地、矿山道路、排渣(土)场修复为园地、林地时,植物栽植密度、栽植技术和栽培方法符合 GB/T 15776 的要求;修复为草地时,播种量、种子处理、播种方法符合 NY/T 1342 的要求。

7.2.3.5.8 边坡植物配置、栽植技术和栽培方法符合 GB/T 38360 的要求。

7.2.3.5.9 乔、灌、攀缘植物可采用苗木、营养体种植,采用丛植、列植、面植等方式;草本植物可采用喷播、人工播种,也可根据当地降水、现场条件采用适宜的种植方法。鼓励采用新技术、新方法进行植被重建。

7.2.3.5.10 乔木种植穴大小、间距(行距、株距),视其生长习性、当地气候条件、岩石风化和裂隙发育程度、种植土性状、土球直径综合确定,规格大小不低于表 1 规定,容器苗、裸根苗可参照执行。

表 1 植被重建乔木种植穴规格要求

类型	树高 m	胸径 cm	土球直径 m	种植穴深度 m	种植穴直径 m
常绿乔木类	1.5	—	0.4~0.5	0.5~0.6	0.8~0.9
	1.5~2.5	—	0.7~0.9	0.8~0.9	1.0~1.1
	2.5~4.0	—	0.8~1.0	0.9~1.0	1.2~1.3
落叶乔木类	—	2~3	—	0.3~0.4	0.4~0.6
	—	3~4	—	0.4~0.5	0.6~0.7
	—	4~5	—	0.5~0.6	0.7~0.8
	—	5~6	—	0.6~0.7	0.8~0.9
	—	6~8	—	0.7~0.8	0.9~1.0
	—	8~10	—	0.8~0.9	1.0~1.1

注 1:胸径指乔木主干离地面 1.30 m 高处的直径。

注 2:“—”表示因植被物种差异不进行规格推荐。

7.2.3.6 配套工程

7.2.3.6.1 灌溉工程

7.2.3.6.1.1 灌溉水源可引自矿山及其附近机(民)井、泉、河流、水库、修建蓄水池、坑塘等。

7.2.3.6.1.2 机井工程,主要采取以下措施。

- a) 根据矿山及周边一定范围内水文地质条件、需水量、水质,科学确定机井位置和数量。
- b) 机井深度根据拟开采含水层(组、段)的埋深、厚度、富水性及出水能力、水质确定;井孔技术参数符合 GB/T 50625 的要求。

7.2.3.6.1.3 输配水工程,主要采取以下措施。

- a) 灌溉渠道。
 - 1) 统筹输配水与集排水工程,渠线短且直,避免深挖、高填,有利于植被重建及养护、耕作用水需求,施工、运用和维护方便;
 - 2) 渠道保证水流安全、畅通,漏失量、占地和工程量小。
- b) 输水管道。
 - 1) 管道短且直、水头损失小,固定管道、易损管材埋在地下,埋深不小于 0.60m,且在冻土层之下;
 - 2) 管道技术参数符合 GB 50288 的要求。

7.2.3.6.1.4 喷灌与微灌工程,主要采取以下措施。

- a) 水源紧缺修复场地,根据矿山地形地貌、土壤、植物习性等条件以及修复标准,合理选择喷灌、微灌或其组合系统。
- b) 喷灌系统设计、施工符合 GB/T 50085 的要求,微灌系统设计、施工符合 GB/T 50485 的要求。

7.2.3.6.2 道路工程

道路工程,主要采取以下措施。

- a) 视矿山面积、植被养护、耕作、景观需要,新建或整修已有道路,包括田间道、生产路、森林防火道、景观路及其他道路。
- b) 道路工程综合考虑地形地貌条件、总体规划合理布局,并为建成后的经常性维修、养护和使用创造便利条件。
- c) 道路等级根据受纳场规模、道路性质、使用要求等综合确定,路面类型可采用硬化、泥结碎石、级配碎石、素土或其他路面等。道路路基设计与施工符合 JTG/T 3610 的要求,道路排水设计与施工符合 JTG/T D33 的要求。
- d) 路面宽度视需要确定,路基一般高出地面 0.30 m~0.50 m。田间道路路面宽度宜为 3.0 m~4.0 m,路网密度不超过 3.0 km/km²;生产路路面宽度宜为 3.0 m 以下,路网密度不超过 8.0 km/km²。
- e) 路面具有足够强度和稳定性,表面平整、密实,粗糙度适当,满足车辆、运输、人员通行需求。

7.2.3.6.3 警示工程

警示工程,主要采取以下措施。

- a) 矿山生态修复工程完成后,宜在边坡、排渣(土)场坡顶或坡脚以及蓄水池、坑塘等场地的显著位置,设置警示标志(牌、碑)。
- b) 警示标志的设置符合 GB 2894 的要求。警示牌的规格、形状、颜色符合 GB/T 13306 的要求。

8 生态修复监测与管护

8.1 跟踪监测

8.1.1 监测目的

掌握矿山生态修复实施效果,为后期管护和成效评估提供依据。

8.1.2 监测范围

以矿山生态修复实施区域为主,适当扩展到矿产资源开采活动影响到的周边区域或地貌单元。

8.1.3 监测内容

主要监测以下内容。

- a) 地质安全监测。重点监测采场、排渣(土)场、蓄坡与填筑台阶,以及保留的建(构)筑物、矿山道路等边坡的稳定性。
- b) 地形地貌监测。重点监测修复实施区域消除视觉污染、与周边环境的协调性等。
- c) 土壤监测。主要监测土壤类型、分布、面积、肥力和理化性质等。
- d) 植被群落监测。主要监测植被种类、分布、面积、成活率、覆盖度等。
- e) 动物种群监测。主要监测回归的动物类型、数量和分布等。

8.1.4 监测方法

主要有以下监测方法。

- a) 地质安全监测方法主要有土压力测量法、现场测试法、振弦测量法、光纤测量法、降雨量测量法、合成孔径雷达监测法(SAR)等。
- b) 地形地貌监测方法主要有现场调查法、摄影与摄像法、遥感监测法(包括遥感影像、无人机航空摄影)等。
- c) 土壤环境监测方法主要有现场测量法、采样送检测试法,土壤肥力监测方法主要有综合判断法。
- d) 植被群落监测方法主要有遥感监测法(包括遥感影像、无人机航空摄影)、现场调查法等。
- e) 动物种群监测方法主要有自动监测法、鸣声监测法、直观监测法、踪迹监测法等。

8.1.5 监测周期

地质安全监测周期可参照 DZ/T 0287 的规定。地形地貌、土壤环境、植被群落和动物种群监测周期为 1 次/年。监测期限可根据后期管护要求确定。

8.1.6 监测点布设

重点布设在已修复的采场(包括采场边坡、底盘)、排渣(土)场、工业场地、矿山道路、植被重建等区域。

8.2 后期管护

8.2.1 工程管护

主要对危岩体加固、边坡护坡、台阶再造、坡脚蓄坡与填筑台阶、截排水工程、土壤重构、配套工程等

进行管护,按照工程设计和运行要求进行定期检查和维修,发现工程设施运行不正常或损毁,及时修复或替换。

8.2.2 植被养护

8.2.2.1 植被养护期包括成活期和生长期两个阶段。主要采取以下措施。

- a) 成活期养护内容包括苗木绑扎、培土、扶正,草帘、无纺布、遮阳网、农膜遮盖等。
- b) 生长期养护内容包括松土、除草、灌溉、施肥、修剪、补植、补播、病虫害防治、有害或入侵植物清除等。

8.2.2.2 宜采用喷灌、滴灌、微灌等灌溉方式,水源充沛可采用沟灌。

8.2.3 管护时间

管护时间根据矿山所处的自然生态条件和修复成效确定,一般管护时间为2年~3年,生态脆弱区管护时间为3年~5年。边坡植被养护年限参见附录G。

9 生态修复成效评估

9.1 评估时间

矿山生态修复工作完成后,应根据监测结果,对矿山生态修复成效进行评估。评估时间一般在竣工验收结束后进行,具体时间可根据实际情况确定。

9.2 评估内容

9.2.1 生态效益评估指标,主要包括以下五个方面。

- a) 矿山地质安全评估。重点针对矿山地质环境治理后的危岩体加固、边坡护坡、台阶再造、坡脚蓄坡与填筑台阶稳定情况等进行分析评估。
- b) 地形地貌评估。重点针对修复后消除视觉污染、美化环境等变化情况进行分析评估。
- c) 土壤评估。重点针对修复后的土壤质量改善情况进行分析评估。
- d) 植物群落评估。重点针对修复后的植被类型、分布、成活率、覆盖度等变化情况进行分析评估。
- e) 动物种群评估。重点针对修复后回归的动物类型、数量等变化情况进行分析评估。

9.2.2 社会效益评估。主要包括矿山生态修复后人居环境改善、防灾减灾能力提升、群众满意度上升,以及依托矿山生态修复后带来的就业渠道拓宽、环保意识提高等方面。

9.2.3 经济效益评估。主要包括矿山生态修复工程投入产出比,以及矿山生态修复后带来的其他方面的增益,如土地增值、居民收入增长、旅游收入增长等方面。

10 生态修复信息管理

10.1 主要内容

10.1.1 原始资料数据。包括工作底图,调查、监测、评估、测试、过程分析等数据,以及照片、影像等资料。

10.1.2 成果资料数据。包括可行性研究报告、调查报告、实施方案及图件、工程施工阶段资料、监理资料、验收阶段资料、成效评估报告等。

10.2 管理要求

10.2.1 矿山生态修复参与单位按照相关法律法规、标准规范要求,对数据资料进行分级分类建库和管理,对本单位产生的数据质量负责,数据的传输、共享和应用符合国家安全保密规定。

10.2.2 对各阶段工作产生的各类数据及时分类整理、编目、存档。除保存原始纸介质资料外,建立信息系统与数据库,进行数据资料管理。

10.2.3 信息系统建设符合国家相关网络安全设计要求。

10.2.4 数据库涵盖矿山生态修复各阶段数据内容,数据质量符合相关要求。

附录 A
(资料性)
矿山生态修复主要技术措施

表 A.1 给出了矿山生态修复主要技术措施。

表 A.1 矿山生态修复主要技术措施

分类	分部	分项	常用技术措施
矿山地质环境破坏治理	清除工程	危岩体清除	人工、机械、解离、静态爆破、控制爆破(慎用常规爆破)
	加固工程	危岩体加固	锚固、支撑(墙、柱)、嵌补、抗滑桩、注浆、排水
	防护工程	边坡护坡	锚固、锚喷、挂网、注浆固结、抗滑桩、圪工、格构或其他措施护坡,坡脚堆坡反压、拦挡
地貌重塑	修整工程	削坡卸荷	降低边坡坡度、坡高
		台阶再造	边坡台阶再造
		坡脚蓄坡、填筑台阶	坡脚处回填渣(石)土蓄坡、填筑台阶
		坡面整形	边坡坡面整形、残山整形或清除
		积水区整形	水域整形
	集排水工程	截排水	开挖截水沟,预制、现浇截水沟
			开挖排水沟,预制、现浇排水沟,急流槽、排水涵洞/管
		集蓄水	天然集水、人工集水
			蓄水池、坑塘及防渗
	边坡修复		台阶再造、坡脚蓄坡或填筑台阶、鱼鳞坑、文化造景
	采场底盘修复		场地清理、平整,集排水
	取土(砂)场修复		场地清理、平整,集排水
	工业场地修复		建(构)筑物维修、加固、粉刷、拆除,场地清理
	矿山道路修复		路面维修、拆除,场地清理
	排渣(土)场修复		台阶再造,格构或其他措施护坡,截排水、拦挡工程、鱼鳞坑
土壤重构	清理工程	场地清理	回填采坑、坡脚蓄坡、筑路、制作建筑材料,整形、固化、拦挡、土壤重构、植被重建
	平整工程	场地平整	削高填低、挖低垫高、物料回填、推平
	覆土工程	剥土回覆	剥土回用
		客土覆土	客土覆盖
	土壤改良	结构改良	壤土、砂、腐殖质、保水剂、黏合剂
		肥力改良	农家肥、复合肥
		活力改良	酵母、微生物肥料、生物有机肥、土壤调节剂
		土壤培肥	施肥、种植绿肥、改土

表 A.1 矿山生态修复主要技术措施(续)

分类	分部	分项	常用技术措施
植被重建	栽植	苗木栽植	土球苗栽植、容器苗栽植、裸根苗栽植
		营养体栽植	分株、埋条、扦插,自然草皮、人工草皮
	播种	喷播	机械喷播
		人工播种	撒播、条播、点(穴)播
配套工程	灌溉工程	水源及输配水	井、泉、河流、水库、蓄水池,输水渠道、管道,喷灌、微灌及输配电
	道路工程	田间道路、生产路、景观路	硬化路、渣石路、泥结路等路面
	警示工程		警示牌、碑
植被养护	光热调控	抚育	绑扎、培土、扶正,草帘、无纺布、遮阳网、农膜
	水肥调控	灌溉、施肥	松土、除草,喷灌、滴灌、微灌,撒施、条施、穴施
	种群调控	调配	修剪、补植、补播
	植物保护	病虫害防治	物理防治、化学防治、生物防治、综合防治
		有害植物清除	物理铲除、化学防治、综合防治

附 录 B
(资料性)
边坡分类及主要修复技术方法

表 B.1 给出了边坡分类及主要修复技术方法。

表 B.1 边坡分类及主要修复技术方法

边坡要素		主要修复技术方法
$H > 60 \text{ m}$	$\alpha > 65^\circ$	削坡开级再造台阶覆土绿化、坡脚蓄坡或填筑台阶覆土绿化、微台阶和微地形植生槽绿化
	$35^\circ < \alpha \leq 65^\circ$	削坡开级再造台阶覆土绿化、坡脚蓄坡或填筑台阶覆土绿化、微台阶绿化、植生盆绿化、栽植穴绿化、植生袋绿化、高性能植物垫绿化、类壤土喷播绿化、喷混植生绿化(含挂网喷播、不挂网喷播)、高次团粒喷播绿化
	$\alpha \leq 35^\circ$	坡面修整覆土绿化、鱼鳞坑绿化、格构护坡绿化、植生袋绿化、植生网和植生毯垫绿化、客土喷播绿化、液力喷播绿化
$30 \text{ m} < H \leq 60 \text{ m}$	$\alpha > 65^\circ$	削坡开级再造台阶覆土绿化、坡脚蓄坡或填筑台阶覆土绿化、微台阶和微地形植生槽绿化
	$35^\circ < \alpha \leq 65^\circ$	削坡开级再造台阶覆土绿化、坡脚蓄坡或填筑台阶覆土绿化、微台阶绿化、植生盆绿化、栽植穴绿化、植生袋绿化、高性能植物垫绿化、类壤土喷播绿化、喷混植生绿化(含挂网喷播、不挂网喷播)、高次团粒喷播绿化
	$\alpha \leq 35^\circ$	坡面修整覆土绿化、鱼鳞坑绿化、格构护坡绿化、植生袋绿化、植生网和植生毯垫绿化、客土喷播绿化、液力喷播绿化
$H \leq 30 \text{ m}$	$\alpha > 65^\circ$	削坡开级再造台阶覆土绿化、坡脚蓄坡或填筑台阶覆土绿化、微台阶和微地形植生槽绿化
	$35^\circ < \alpha \leq 65^\circ$	削坡开级再造台阶覆土绿化、坡脚蓄坡或填筑台阶覆土绿化、微台阶绿化、植生盆绿化、栽植穴绿化、植生袋绿化、高性能植物垫绿化、类壤土喷播绿化、喷混植生绿化(含挂网喷播、不挂网喷播)、高次团粒喷播绿化
	$\alpha \leq 35^\circ$	坡面修整覆土绿化、鱼鳞坑绿化、格构护坡绿化、植生袋绿化、植生网和植生毯垫绿化、客土喷播绿化、液力喷播绿化
注: H 为坡高, α 为坡度。		

附 录 C
(资料性)
排渣(土)场分类及主要修复技术方法

表 C.1 给出了排渣(土)场分类及主要修复技术方法。

表 C.1 排渣(土)场分类及主要修复技术方法

堆坡类型		主要修复技术方法
高度 m	坡度 (°)	
>10	>自然休止角	削坡开级再造台阶覆土绿化,格构或其他措施护坡绿化,截排水工程、拦挡工程
	≤自然休止角	坡面整形,覆土绿化、鱼鳞坑绿化、植生袋绿化、植生毯垫绿化,截排水工程、拦挡工程
≤10	>自然休止角	坡面整形,覆土绿化、格构或其他措施护坡绿化、鱼鳞坑绿化、植生袋绿化、植生毯垫绿化,截排水工程、拦挡工程
	≤自然休止角	坡面整形,覆土绿化、鱼鳞坑绿化、植生毯垫绿化,截排水工程、拦挡工程

附 录 D
(资料性)
土壤 pH 值范围与植被重建适宜植物

表 D.1 给出了土壤 pH 值范围与植被重建适宜植物。

表 D.1 土壤 pH 值范围与植被重建适宜植物

pH 值	适宜植物种类
4.0~4.5	欧石楠、凤梨科植物、八仙花
4.0~5.0	紫鸭趾草、兰科植物
4.5~5.5	蕨类植物、锦紫苏、杜鹃花、山杨、臭冷杉、茶、柑橘
4.5~6.5	山茶花、马尾松
4.4~8.0	杉木
4.5~7.5	结缕草属植物
4.5~8.0	白三叶
5.0~6.0	丝柏类、山月桂、广玉兰、钱线莲、藿香蓟、仙人掌科、百合、冷杉
5.0~6.5	云杉属植物、松属植物、棕榈科植物、椰子类、大岩桐、海棠、西府海棠
5.0~7.0	毛竹、金钱树
5.0~7.8	早熟禾
5.0~8.0	乌柏、落羽松、水杉、黑松、香樟
5.2~7.5	羊茅、紫羊茅
5.5~6.5	樱花、蓬莱蕉、喜林芋、安祖花、仙客来、吊钟海棠、菊花、蒲包花、倒挂金钟、美人蕉
5.5~7.0	朱顶红、桂香竹、雏菊、印度橡皮树
5.4~7.5	紫罗兰、贴梗海棠
6.0~6.5	兴安落叶松、樟子松、红松、沙冷杉、蒙古栎、日本黑松
6.0~7.0	花柏类、一品红、秋海棠、灯芯草、文竹
6.0~7.5	郁金香、风信子、水仙、非洲紫菀、牵牛花、三色堇、瓜叶菊、金鱼草、紫藤
6.0~8.0	火棘、栒子木、泡桐、榆树、杨树、大丽花、花毛茛、唐菖蒲、芍药、庭芥
6.5~7.0	四季报春、洋水仙
6.5~7.5	香豌豆、金盏花、勿忘草、紫菀
7.0~7.5	油松、杜松、辽东栎
7.0~8.0	西洋樱草、仙人掌类、石竹、香堇
7.5~8.5	毛白杨、白皮松
8.0~8.7	侧柏、刺松、白榆、刺槐、国槐、苦楝、臭椿、紫穗槐、皂荚、柏木、朴树、乌柏、红树、胡杨、沙枣、沙棘、甘草、怪柳、秋茄树、茄藤

附 录 E
(资料性)
植被重建常用固氮植物

表 E.1 给出了植被重建常用固氮植物。

表 E.1 植被重建常用固氮植物

植物科类	植物属类
豆科	紫穗槐属、锦鸡儿属、金莲花属、刺槐属、鱼鳔槐属、鹰爪豆属、金雀花属
非豆科	桉木属、木麻黄属、美洲茶属、水牛角属、角果木属、沙棘属、仙人掌属、杨梅属、南洋杉属、马桑属、 仙女木属、胡颓子属、苏铁、银杏

附 录 F
(资料性)
边坡常用植被重建方法

表 F.1 给出了坡度小于 35° 边坡常用植被重建方法。表 F.2 给出了坡度为 35°~65° 边坡常用植被重建方法。表 F.3 给出了坡度大于 65° 边坡常用植被重建方法。

表 F.1 坡度小于 35° 边坡常用植被重建方法

植被重建方法		边坡位置	适用条件		施工方法	修复目标	适宜施工季节
			适宜边坡类型	适宜坡高 m			
栽植 修复	直接种植	露采场、道路边坡	土质边坡	不限	在有一定厚度土层坡面,栽植乔、灌、草、攀缘植物	乔灌型、灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、夏、秋
	坑穴(鱼鳞坑)栽植	露采场、道路边坡	土质、土石质边坡	<50	结合工程措施沿边坡等高线开挖、混凝土浇筑或块石砌垒修建种植穴,回填种植土后栽植乔、灌、草、攀缘植物。坑穴多为外高内低的近半月形鱼鳞坑,长径沿等高线展开,长 0.5 m~1 m,短径略小于长径,深度不小于 0.5 m	乔灌型、灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、夏、秋
	植生网和植生毯垫	露采场、道路边坡	土质、土石质边坡	<30	平整坡面后利用稻草、麦秸、无纺布等为原料加工复合的防护毯,在载体层中间添加选好的植物种子、保水剂、营养土,将其铺设并固定在边坡上。铺毯后进入养护管理阶段	灌草型、草本型、草花型	春、秋
	格构栽植	露采场、道路边坡	各类边坡	<10	采用浆砌石、预应力或现浇钢筋混凝土、卵石(砾)石材料制作成方形、菱形、弧形、拱形、人字形、鱼刺形等形式框格,结合锚杆或锚索固定,格内回填种植土后栽植乔、灌、草、攀缘植物或叠放植生袋,之后进入养护管理阶段	乔灌型、藤本型、灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、夏、秋
喷播 修复	液力喷播	露采场、道路边坡	土质、土石质边坡	不限	将配制好的适生灌木和草本种子、肥料、木质纤维、胶液或合成树脂乳液黏合混合物、土壤稳定剂等与水充分混合后,用高压喷枪均匀地喷射到边坡面,形成小于或等于 3 cm 的膜状结构。喷播后进入养护管理阶段	草本型、草花型	春、秋
	客土喷播	露采场、道路边坡	土石质边坡	不限	将过筛细土为主的基材和草炭、纤维材料、肥料、保水剂、合成树脂及先锋乔、灌、草种子配制成混合浆,用泵或液压喷播机均匀地喷附于坡面,形成 5 cm~12 cm 的膜状结构。喷播后进入养护管理阶段	乔灌型、灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、秋

表 F.2 坡度为 35°~65°边坡常用植被重建方法

植被重建方法		边坡位置	适用条件		施工方法	修复目标	适宜施工季节
			适宜边坡类型	适宜坡高 m			
栽植修复	植生袋栽植	露采场、建筑物边坡	各类边坡	<10	通过工厂生产线将选好的植物种子均匀地播撒在可降解的两层布质或纸质无纺布中间,施工时袋内装填种植土封口,将其呈“品”字形交错分层叠放于修整好的边坡上并放置 PVC 泄水管,植生袋与边坡间填土密实,袋间通过连接板连接,再在坡面打入一定网度且长度不小于 1 m 的锚杆,外敷柔性防护网固定于锚杆上。叠袋后进入养护管理阶段	灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、秋
	栽植穴栽植	露采场、道路边坡	岩质边坡	<15	按设计密度或不规则栽植方式,利用岩石自然节理、裂隙在边坡上开凿栽植穴,穴内回填种植土、肥料、保水剂,栽植灌、草、攀缘植物或插入其钉钵苗,之后进入养护管理阶段	灌木型、藤本型、灌草型	春、夏、秋
	植生盆栽栽植	露采场	岩质边坡	不限	利用边坡凹处构建植生盆(微凹处构建时应在凹口外侧人工开拓平台并块石砌筑),盆内回填 3/4 体积的种植土后栽植乔、灌、草,之后进入养护管理阶段。植生盆密度宜 10 个/100 m ² ~30 个/100 m ² ,规格为 0.50 m×0.50 m	乔灌型、灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、夏、秋
	台阶平台栽植	露采场、道路边坡	各类边坡	不限	按一定高度、宽度整理成若干级边坡台阶平台,平台外边缘修建挡土墙、叠石挡土构件(宜可在平台上开挖种植槽),台面回填种植土后种植乔、灌、草、攀缘植物,之后进入养护管理阶段。台阶高差、边坡坡度根据地形条件和边坡岩质确定	乔灌型、藤本型、灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、夏、秋
	蓄坡栽植	露采场、道路边坡	各类边坡	<30	在边坡坡脚回填渣土再造蓄坡体,坡面覆土后植被重建	乔灌型、藤本型、灌木型、灌草型、草本型	春、夏、秋
	高性能植物垫	露采场、道路边坡	岩质边坡	<15	将植物种子和土壤基质等按一定比例铺设在高性能植物垫中间,形成一种特制柔性生长基质,覆于需复绿的坡面,是一种立体生态护坡和污染控制的护坡技术	乔灌型、灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、秋

表 F.2 坡度为 35°~65°边坡常用植被重建方法(续)

植被重建方法		边坡位置	适用条件		施工方法	修复目标	适宜施工季节
			适宜边坡类型	适宜坡高 m			
喷播修复	高次团粒喷播	露采场、道路边坡	岩质边坡	<15	将配制好的富含有机质壤土、复合纤维、植物纤维、肥料、土壤稳定剂、保水剂、团粒剂、植物种子的喷播材料,用喷播设备均匀地喷附于坡面,形成 5 cm~10 cm 的膜状结构,喷播材料可瞬间发生团粒反应形成与自然界表土具有相同团粒结构的土壤培养基盘吸附于坡面。喷播后进入养护管理阶段	乔灌木型、灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、秋
	喷混植生	露采场、道路边坡	岩质边坡	<15	将配制好的富含有机质壤土、植物纤维、肥料、土壤稳定剂、保水剂、专用添加剂(AB 菌)、P42.5 普通硅酸盐水泥(5%~10%)、植物种子的喷播材料,用喷播设备均匀地喷附于敷设网材骨架的预处理坡面上,一般喷附基层厚度 4 cm~8 cm,面层厚度 2 cm。喷播后进入养护管理阶段。 挂网喷播:绿化覆盖率要求高(>90%),边坡快速植被重建。 不挂网喷播:绿化覆盖率要求不高(>60%),边坡植被重建	灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、秋

表 F.3 坡度大于 65°边坡常用植被重建方法

植被重建方法		边坡位置	适用条件		施工方法	修复目标	适宜施工季节
			适宜边坡类型	适宜坡高 m			
栽植修复	植生槽(盆)栽植	露采场边坡	岩质边坡	不限	又称飘台种植槽法。在稳定岩石边坡上利用微凹地形、小平台,或直接在坡面上呈一定夹角打入锚杆后搭设排栅架,在钢筋骨架下安装模板,现浇种植槽(盆)使之与坡面呈“V”字形或“U”字形,种植槽(盆)与岩面密封,回填种植土后种植灌、草、攀缘植物或小乔木植物,之后进入养护管理阶段	灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、夏、秋
	植生孔栽植	露采场边坡	岩质边坡	不限	在边坡坡面上钻植生孔,钻孔轴线与坡面夹角一般为 10°~45°,孔内装填种植土放入植物种子或放入与植生孔内径契合的灌、草或攀缘植物的实体苗,之后进入养护管理阶段。 大孔栽植:孔径 20 cm,深 0.50 m,适用于硬土质、风化程度高的石质边坡。 小孔栽植:孔径 10 cm~15 cm,深 0.50 m,适用于石质边坡	灌木型、藤本型、灌草型、草本型、草花型	春、夏、秋

表 F.3 坡度大于 65°边坡常用植被重建方法(续)

植被重建方法		边坡位置	适用条件		施工方法	修复目标	适宜施工季节
			适宜边坡类型	适宜坡高 m			
栽植修复	攀缘植物栽植	露采场、道路边坡	各类边坡	<30	在边坡坡脚栽植攀缘植物,利用其攀爬、匍匐、垂吊的特性,实现对边坡坡面的绿化覆盖。选择攀缘植物须注意植物性状、攀爬方式、可能的攀爬高度	藤本型	春、夏、秋
	钉钵苗栽植	露采场、道路边坡	各类边坡	不限	结合边坡微地形、岩石节理裂隙开凿栽植穴,穴内插入钉钵体,依靠体重固牢钉钵体,栽植灌、草、攀缘植物。栽植形式为不规则式	灌木型、灌草型、草本型	春、秋
	植生混凝土	露采场、道路边坡	各类边坡	<80	将配制好的富含种植壤土、P42.5 普通硅酸盐水泥、植生混凝土生态改良剂、有机物料、有机肥、复合肥、植物种子的喷射材料,用混凝土喷射机均匀地喷射在坡面上,喷射前需进行坡面预处理和坡面加筋系统施工。坡面加筋系统由锚固件、挂网、植生棒(板)组成。喷射采用干喷工艺,分基层和面层喷射,基层 5 cm~10 cm,面层厚度 2 cm。喷射后进入养护管理阶段	乔灌木型、灌木型、灌草型、草本型、草花型	春、夏、秋
	高大乔木遮挡	露采场、道路边坡	各类边坡	<15	在边坡坡脚地带,栽植乡土高大乔木或移栽大树。利用树体浓荫遮挡坡面	乔木型	春、秋

附 录 G
(资料性)
边坡植被重建覆盖率及养护年限

表 G.1 给出了边坡植被重建覆盖率及养护年限。

表 G.1 边坡植被重建覆盖率及养护年限

年降水量(p) mm	边坡类型	边坡坡度 α	一年后植被覆盖率 %	两年后植被覆盖率 %	推荐养护年限 年
$p>800$	特陡坡	$\alpha>65^{\circ}$	40	60	2
	陡坡	$35^{\circ}<\alpha\leqslant65^{\circ}$	50	70	
	斜坡	$\alpha\leqslant35^{\circ}$	70	90	
$600<p\leqslant800$	特陡坡	$\alpha>65^{\circ}$	30	50	2
	陡坡	$35^{\circ}<\alpha\leqslant65^{\circ}$	40	60	
	斜坡	$\alpha\leqslant35^{\circ}$	60	80	
$400<p\leqslant600$	特陡坡	$\alpha>65^{\circ}$	20	40	3
	陡坡	$35^{\circ}<\alpha\leqslant65^{\circ}$	40	60	
	斜坡	$\alpha\leqslant35^{\circ}$	50	70	
$200<p\leqslant400$	特陡坡	$\alpha>65^{\circ}$	—	—	4
	陡坡	$35^{\circ}<\alpha\leqslant65^{\circ}$	30	40	
	斜坡	$\alpha\leqslant35^{\circ}$	40	60	
$p\leqslant200$	特陡坡	$\alpha>65^{\circ}$	—	—	5
	陡坡	$35^{\circ}<\alpha\leqslant65^{\circ}$	—	—	
	斜坡	$\alpha\leqslant35^{\circ}$	30	40	
注 1:年降水量统计年限不少于 30 年。 注 2:“—”表示不推荐植被覆盖率。 注 3:植被养护年限宜不小于表中推荐数值。					