

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

# 团 体 标 准

T/CSOTE XXXX—202X

---

## 露天矿山高陡岩质边坡生态修复技术规程

Technical regulations for ecological restoration of high  
steep rocky slopes in open pit mines

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

---

中国国土经济学会 发布



## 目 次

1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本规定 .....	2
4.1 生态修复的基本原则 .....	2
4.2 规划与设计的要求 .....	2
5 前期调查 .....	2
5.1 气象资料收集 .....	2
5.3 地形测量 .....	3
5.4 植被与土壤调查 .....	3
6 方案设计 .....	3
6.1 总体设计目标 .....	3
6.2 边坡隐患治理 .....	3
6.3 工程加固设计 .....	4
6.4 土壤改良设计 .....	4
6.5 植被恢复设计 .....	4
6.6 排水系统设计 .....	4
7 施工技术 .....	4
7.1 工程加固施工 .....	5
7.2 土壤改良施工 .....	5
7.3 植被恢复施工 .....	5
7.4 排水系统施工 .....	5
8 质量控制 .....	6
8.1 工程加固质量控制 .....	6
8.2 土壤改良质量控制 .....	6
8.3 植被恢复质量控制 .....	6
8.4 排水系统质量控制 .....	6
9 监测与养护 .....	6
9.1 监测内容与方法 .....	6
9.2 养护措施 .....	7
10 验收 .....	7

10.1	验收条件 .....	7
10.2	验收内容与标准 .....	7
10.3	验收程序 .....	8

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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

本文件由中国安全生产科学研究院提出。

本文件由中国国土经济学会归口管理。

本文件起草单位：中国安全生产科学研究院、鞍钢矿业集团有限公司、

本文件起草人：周福宝、丛峰武、付士根、刘殿军、张国军、

## 引言

露天矿山开采在为经济发展提供矿产资源的同时，也造成了亟待解决的生态环境问题，其中高陡岩质边坡问题尤为突出。这类边坡坡度陡峭（常超过 $45^{\circ}$ ）、高度显著（通常达20米以上），其裸露状态不仅破坏了原有生态景观，更引发了一系列连锁性生态危害。

从生态角度看，高陡岩质边坡因其特殊的地质结构和立地条件，导致原生植被基本消失、土壤层薄弱甚至缺失、生物栖息空间严重萎缩。其结果是区域生物多样性急剧下降，生态系统的连续性和稳定性受到严重破坏，水源涵养、水土保持、气候调节等生态功能显著退化。

在环境安全方面，不稳定的高陡岩质边坡犹如潜在隐患。在降雨冲刷、风化侵蚀等因素作用下，极易发生滑坡、崩塌等地质灾害，不仅威胁周边居民的生命财产安全，还可能损毁农田、道路和水利设施，影响区域经济社会可持续发展。

从资源利用角度考量，受损的高陡岩质边坡长期处于闲置状态，土地资源难以有效利用，造成严重的资源浪费。因此，开展高陡岩质边坡生态修复工作已刻不容缓。

然而，当前高陡岩质边坡生态修复技术虽种类繁多，却缺乏统一规范和明确指导，导致修复质量参差不齐。为规范修复工作、提升修复成效、实现边坡生态系统科学重建，特制定本《露天矿山高陡岩质边坡生态修复技术规程》。本规程融合了多学科前沿理论、工程实践经验和行业共识，旨在为高陡岩质边坡生态修复提供系统性、可操作的技术规范，推动该领域向科学化、标准化方向迈进。

## 露天矿山高陡岩质边坡生态修复技术规程

### 1 范围

本规程规定了露天矿山高陡岩质边坡生态修复的基本原则、前期调查、方案设计、施工技术、质量控制、监测养护及验收等技术要求，适用于露天开采形成的坡度大于 $5^{\circ}$ 且坡高超过20米的岩质边坡生态修复工程。

### 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 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB 51016 非煤露天矿边坡工程技术规范
- GB 51018 水土保持工程设计规范
- GB/T 15776 造林技术规程
- GB/T 18337.3 生态公益林建设技术规程
- GB/T 38360 裸露坡面植被恢复技术规范
- GB/T 43933 金属矿土地复垦与生态修复技术规范
- GB/T 43934 煤矿土地复垦与生态修复技术规范
- GB/T 43935 矿山土地复垦与生态修复监测评价技术规范
- HJ 623 区域生物多样性评价标准
- SL 773 生产建设项目土壤流失测算导则
- TD/T 1031 土地复垦方案编制规程
- TD/T 1073.3 矿山生态修复技术规范第3部分:金属矿山
- KA/T 2063 金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范
- LY/T 2575 边坡绿化种子质量要求

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### **高陡岩质边坡 high and steep rocky slope**

露天矿山开采后形成的，坡面岩石裸露，露天采场总边坡角大于等于 $42^{\circ}$ ，且台阶高度超过20米或总高度超过100米的边坡。

[来源：KA/T2063—2018，4.2 有修改]

#### 3.2

##### **生态修复 ecological restoration**

是指对露天矿山高陡岩质边坡受损的生态系统，通过工程、生物等技术手段进行恢复和修复，使其达到或接近原有生态功能和景观效果的过程。

### 3.3

#### **客土喷播 passenger soil spraying**

将种子、肥料、土壤改良剂、保水剂、纤维材料等与客土按一定比例混合后，通过专用设备喷射到边坡表面的一种植被种植技术。

### 3.4

#### **格构加固 lattice reinforcement**

在边坡坡面设置钢筋混凝土格构梁或浆砌石格构，增强边坡的稳定性，并为植被恢复提供条件的一种工程措施。

## 4 基本规定

### 4.1 生态修复的基本原则

#### 4.1.1 安全性原则

强调在修复过程中确保边坡稳定，防止因修复活动引发地质灾害。

#### 4.1.2 生态适应性原则

要求选用的植物、材料和技术手段与当地气候、土壤、地形等条件相适应。

#### 4.1.3 系统性原则

阐述生态修复各环节（如工程措施、植被恢复、养护管理等）之间的相互关联与协同作用，形成完整的生态修复体系。

#### 4.1.4 可持续性原则

关注修复效果的长期稳定性和生态系统的自我维持与发展能力。

### 4.2 规划与设计要求

#### 4.2.1 资料收集与分析

规定需收集的矿山地质、地形、水文、气象、植被等基础资料，以及对这些资料进行分析评估的方法与要点，为修复方案制定提供依据。

#### 4.2.2 修复目标确定

明确短期、中期和长期的生态修复目标设定方法，如：植被覆盖率目标应参考 TD/T 1031 相关要求，水土流失控制目标应参考 SL 773 相关要求、生物多样性提升目标应参考 HJ 623 相关要求等，且目标应具有可量化性和可考核性。

#### 4.2.3 方案编制内容

修复方案应包含但不限于的工程概况、实施原因、预期效果、技术方案选择、施工进度安排、概（预）算编制、监测与评估计划等主要内容，确保方案的完整性和科学性。

## 5 前期调查

### 5.1 气象资料收集

收集当地的降水、气温、风速、日照等气象数据，分析其对生态修复的影响。

## 5.2 地质勘查

### 5.2.1 露天矿山高陡岩质边坡地质环境破坏的调查

查明边坡的地层岩性、地质构造、岩石力学性质、岩土体结构特征、节理裂隙发育、地面塌陷及变形、地裂缝的类型、规模、位置、影响范围、可能致灾的范围和威胁对象；调查露天边坡潜在的地质灾害类型（如岩质滑坡、崩塌）、在当前、暴雨、地震等工况下的稳定性及其危害范围。

### 5.2.2 露天矿山高陡岩质边坡治理区域水资源破坏的调查

评估地表水和地下水受影响范围、影响程度、水位、水质、水量及其对边坡稳定性和植被生长的影响，以及含水层破坏类型、层位、范围、规模、程度；矿坑水去向与再利用量等进行调查。

### 5.2.3 露天矿山高陡岩质边坡因采矿活动对坡面土地损毁的调查

调查土地占用、挖损、破坏、变形、塌陷、积水、环境质量下降等情况；以及采矿活动对主要交通干线、水利工程、破坏与占用土地类型、面积而造成的影响。

### 5.2.4 露天矿山高陡岩质边坡生态退化的调查

估算遭受破坏的土壤基质层、地表植被的空间分布、面积、退化程度，以及由此造成的生态系统多样性降低、功能受损、动物栖息地破坏、景观破坏等情况的经济损失。

## 5.3 地形测量

5.3.1 测量边坡的坡度、坡高、坡面形态等地形参数，绘制详细的地形地貌图。

5.3.2 分析地形对光照、降水径流、风蚀等生态因子的影响。

## 5.4 植被与土壤调查

5.4.1 调查边坡及周边区域的先锋植物、原生植被、土壤微生物群落的类型、分布、群落结构等，采集植物标本进行鉴定。

5.4.2 测定边坡岩石表面及浅层土壤的物理性质（如质地、容重、孔隙度）和化学性质（如酸碱度、养分含量、重金属含量）、有机质、阳离子交换量等。

## 6 方案设计

### 6.1 总体设计目标

确定生态修复工程的总体目标，如提高植被覆盖率、减少水土流失、改善生态景观等，并制定相应的量化指标。

### 6.2 边坡隐患治理

#### 6.2.1 不稳定高危边坡隐患治理

以主动避让为先，无法避让的且危及矿山设施及人员安全的不稳定边坡，需因地制宜，采取单

一或多种措施综合治理，并设置监测措施。

- a) 对不稳定高危边坡中的危岩体，可采取爆破卸载、主被动网防护或实施支挡、锚固、灌浆、排水等工程措施消除安全隐患。
- b) 对不稳定高危边坡中的其他边坡，可采取坡体锚固、削坡放坡、垫脚堆坡、坡脚拦挡、疏导排水等工程措施消除安全隐患。

#### 6.2.2 不稳定低危边坡隐患治理

该类边坡危险性较小，暂不需要治理，只需对不稳定斜坡的变形情况进行监测，监测技术规定执行，并设置围栏和警示牌。

### 6.3 工程加固设计

6.3.1 根据地质勘察结果和边坡稳定性分析，对不稳定或潜在不稳定的边坡进行工程加固设计。

6.3.2 可选用的工程加固措施包括锚杆（索）支护、格构加固、挡土墙等，设计其规格、间距、锚固深度等参数。

### 6.4 土壤改良设计

6.4.1 针对岩质边坡土壤贫瘠、保水保肥能力差的特点，设计土壤改良方案。

6.4.2 可采用客土喷播技术，确定客土的来源、成分、厚度；或添加有机肥料、土壤改良剂、保水剂等，计算其施用量和施用方法。

### 6.5 植被恢复设计

#### 6.5.1 植物选择

根据边坡的立地条件和生态功能需求，选择耐旱、耐瘠薄、抗逆性强的植物种类，优先选用乡土植物种，合理搭配乔、灌、草。

#### 6.5.2 植被配置模式

设计乔、灌、草的种植比例、空间分布和种植方式，如条播、穴播、撒播、植生袋种植等。

6.5.3 确定植物种植密度，根据植物种类和生长特性，合理确定种植数量。

### 6.6 排水系统设计

6.6.1 设计边坡的地表排水和储水系统，包括截水沟、排水沟、急流槽、灌蓄水、储水设施等，明确其位置、尺寸、坡度等参数，确保地表水能够及时排出边坡范围。

a) 若遇到酸性或重酸性边坡治理工程，应考虑到重金属遇雨遇水析出、迁移情况，需从源头处控制，进行雨污分流设计；排水管设计时考虑不同水质下的管道材质和防腐功能；

b) 设计边坡分级缓坡、开挖截排水沟时应考虑当地近年来最大降雨量、排水沟最大排水情况。

6.6.2 对于地下水丰富的边坡，设计地下水排水措施，如排水孔、排水廊道等，降低地下水水位，减轻其对边坡稳定性和植被生长的不利影响。

## 7 施工技术

## 7.1 工程加固施工

### 7.1.1 锚杆（索）支护施工

按照设计要求进行钻孔、清孔、安装锚杆（索）、注浆等工序，确保锚杆（索）的锚固力达到设计标准；对于不稳定的坡面应采用“锚杆（索）+金属网/塑料网/塑钢网”支护。

### 7.1.2 格构加固施工

先进行格构梁的基础施工，然后绑扎钢筋、支模板、浇筑混凝土或砌筑浆砌石格构，确保格构的尺寸、强度符合设计要求。

### 7.1.3 挡土墙施工

根据设计类型（如重力式、悬臂式等）进行基础开挖、墙体砌筑或混凝土浇筑，确保挡土墙的稳定性和抗滑、抗倾覆能力。

## 7.2 土壤改良施工

### 7.2.1 客土喷播施工

将客土材料、种子、肥料、土壤改良剂、保水剂等按一定比例混合均匀，通过喷播机喷射到边坡表面，喷射厚度应符合 GB/T 38360 要求，喷射后及时覆盖无纺布或遮阳网，防止种子被雨水冲刷和烈日暴晒。

### 7.2.2 土壤改良剂施用

将改良剂均匀撒施在边坡表面，然后进行浅翻耕或人工搅拌，使改良剂与表层土壤充分混合。

## 7.3 植被恢复施工

### 7.3.1 播种施工

按照设计的播种方式和种植密度进行播种。条播时，应先在边坡上开沟，将种子均匀撒入沟内，然后覆土；穴播时，应先在边坡上挖穴，放入种子后覆土并适当压实；撒播时，应将种子均匀撒在边坡表面，然后用工具轻轻耙动，使种子与土壤接触。

### 7.3.2 苗木移栽

宜选择生长健壮、根系发达的苗木，在适宜的季节进行移栽；移栽时，应先挖好种植穴，将苗木放入穴中，扶正并填土，然后浇足定根水，确保苗木成活。

## 7.4 排水系统施工

### 7.4.1 地表排水系统施工

- a) 按照设计要求进行截水沟、排水沟、急流槽的开挖和砌筑，排水设施的砌筑应保证质量，灰缝饱满，排水顺畅；
- b) 截水沟应设置在边坡顶部，拦截地表水；排水沟应沿边坡坡面或坡脚设置，将地表水引出边坡；急流槽应设置在坡面坡度较大处，使水流快速排泄；
- c) 排水系统施工时应满足当地最大降雨量的防洪防涝要求，保障边坡坡面汇水能够及时有效地排出矿区。

### 7.4.2 地下水排水系统施工

根据设计的排水孔或排水廊道位置进行钻孔或开挖，安装排水管道或设置排水通道，确保地下

水能够有效排出。

## 8 质量控制

### 8.1 工程加固质量控制

#### 8.1.1 工程加固材料进行检验

应对锚杆（索）的材质、规格，锚固剂材质、格构梁的混凝土原材料强度、钢筋材质等工程加固材料进行检验，确保其质量符合设计和相关标准要求。

#### 8.1.2 工程加固施工过程进行质量检查

质量检查应包括钻孔的位置、深度、角度，锚杆（索）的安装质量，锚固剂的灌注质量，挡土墙和格构梁的尺寸、强度等。宜采用无损检测、抽样试验等方法进行质量检测，如对锚杆（索）进行拉拔试验，检验其锚固力是否达到设计要求。

### 8.2 土壤改良质量控制

#### 8.2.1 客土喷播质量控制

应检查客土的来源是否合法合规，客土的成分、质地是否符合设计要求；喷播物料的混合比例和喷播厚度应符合 GB/T 38360 要求；种子的发芽率和幼苗的生长情况应符合 TD/T 1073 要求，确保植被能够正常生长。

#### 8.2.2 土壤改良剂质量控制

应对土壤改良剂的成分、含量进行检测，确保其符合产品标准和设计要求；应观察改良剂施用后土壤的物理、化学性质变化，如土壤结构是否改善，养分含量是否提高等。

### 8.3 植被恢复质量控制

#### 8.3.1 植物材料质量控制

应对植物种子和苗木进行检验，确保其品种纯正、质量合格；种子的发芽率和活力应符合 LY/T 2575 要求，苗木应无病虫害、生长健壮。

#### 8.3.2 植被种植质量控制

应检查植物的种植密度、种植位置是否符合设计要求；应观察植物的成活率和生长状况，定期进行统计和记录；植被成活率在第一个生长季结束后应达到 70% 以上，第二个生长季结束后应达到 85% 以上；喷播后 30 天覆绿率  $\geq 30\%$ ，60 天覆绿率  $\geq 60\%$ （灌木  $\geq 20\%$ ），1 年覆绿率  $\geq 85\%$ （草本+灌木综合）。

### 8.4 排水系统质量控制

应检查排水系统的结构完整性和排水功能。地表排水设施应无裂缝、渗漏，排水顺畅，无积水现象；地下水排水系统应能有效降低地下水位，排水管道无堵塞，无毁损。

## 9 监测与养护

### 9.1 监测内容与方法

#### 9.1.1 边坡稳定性监测

宜采用无人机、边坡雷达、GNSS、InSAR、位移传感器等仪器设备，定期监测边坡的位移、沉降、裂缝开展等情况，监测频率根据边坡的稳定性状况确定，一般在施工期、汛期、强降雨、地震后、养护期应增加监测密度。

#### 9.1.2 植被生长监测

应定期观测植被的覆盖率、植物高度、生物量、植物种类多样性等指标，采用样方法、样线法等进行实地调查和测量，监测频率为每季度一次或根据植物生长周期确定。

#### 9.1.3 土壤质量监测

应检测土壤的物理性质（如容重、孔隙度）、化学性质（如酸碱度、养分含量、重金属含量）的变化，采用土壤采样和实验室分析的方法，监测频率为每年一次或根据需要确定。

#### 9.1.4 排水系统监测

应检查排水系统的排水流量、水位变化、设施完好情况等，采用流量监测设备、水位计等进行监测，监测频率为每月一次或根据雨季、旱季等情况调整。

### 9.2 养护措施

#### 9.2.1 浇水

宜根据天气情况和植物生长需要，季节气候条件和植物生长需要对植被进行浇水，保证植物生长所需的水分。

在干旱季节，宜增加浇水次数，确保植被的成活率和生长质量；宜采用滴灌、喷灌等节水灌溉方式，避免水资源浪费和水土流失。

#### 9.2.2 施肥

应按照植物的生长阶段和营养需求，适时进行施肥。

宜在春季和秋季可施有机肥或复合肥，促进植物生长和发育；施肥量应根据植物种类、生长状况和土壤肥力确定，避免施肥过量造成环境污染。

#### 9.2.3 病虫害防治

应加强对植被的病虫害监测，建立病虫害预警机制。

发现病虫害，应优先选用生物防治和物理防治方法，如利用天敌防治害虫，采用诱捕器捕杀害虫等；在必要时，应选用低毒、高效、低残留的化学农药进行防治，并严格按照农药使用规范操作，确保生态环境安全。

#### 9.2.4 修剪与补植

应定期对植被进行修剪，保持植被的整齐美观，促进植物的分枝和生长。

对于生长不良、死亡或缺失的植物，应及时进行补植，确保植被覆盖率和生态修复效果。

## 10 验收

### 10.1 验收条件

生态修复工程按照设计要求完成全部施工内容，经过规定的养护期（ $\geq 1$ 年）后，植被生长稳定，各项生态修复指标应达到或超过设计目标值。

### 10.2 验收内容与标准

#### 10.2.1 工程加固验收

检查工程加固结构的稳定性、完整性，各项工程参数（如锚杆（索）的锚固力、挡土墙的强度等）应符合设计要求。

#### 10.2.2 土壤改良验收

检测土壤的物理、化学性质应达到设计改良目标，如土壤肥力是否提高，保水保肥能力是否增强等。

#### 10.2.3 植被恢复验收

检查植被的种类、数量、覆盖率应符合设计要求，植物生长状况是否良好，植被群落结构是否合理，生物多样性是否得到恢复和提高。植被覆盖率应达到 85%以上，植物种类多样性指数达到一定水平（根据当地生态环境确定）。

#### 10.2.4 排水系统验收

排水系统的排水功能正常，排水设施应完好，无坍塌、无堵塞、渗漏等现象。

### 10.3 验收程序

10.3.1 施工单位自检合格后，应向建设单位提交验收申请报告，并提供相关的施工资料、质量检测报告、养护记录等。

10.3.2 建设单位应组织设计单位、监理单位、施工单位以及相关专家组成验收小组，对生态修复工程进行现场检查和资料审查。

10.3.3 验收小组根据立项批复、审批的施工方案的招议标资料、施工合同、施工设计图、相关工程资料进行综合评价，形成验收意见。验收合格的，出具验收合格报告；验收不合格的，责令施工单位限期整改，整改完成后重新组织验收。