

ICS 13.020.01

CCS Z 06

CSF 团体标准

T/CSF ×××-2024

锑矿区生态恢复技术规程

Technical regulations for ecological restoration in antimony mines sites

(公示稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国林学会 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	2
4 总体要求	2
6 基础调查与问题识别	3
7 土地整治	6
8 植被营建	8
9 植被管护	10
10 监测与成效评价	11
11 档案管理	13
附录 A（资料性）我国典型铈矿所处气候地理分区	14
附录 B（资料性）铈矿区生态恢复工程措施	15
附录 C（资料性）铈矿生态受损区土壤基质改良方法	16
附录 D（资料性）铈矿区生态受损区修复用物种推荐名录	17
附录 E（资料性）铈矿区生态恢复植被配置推荐表	19
参考文献	20

前 言

本文件按照GB/T 1.1《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。

本文件的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担专利识别的法律责任。

本文件由中国林学会提出并归口。

本文件起草单位：中国林业科学研究院亚热带林业研究所、中国环境科学研究院、佛山大学、四川省农业科学院农业资源与环境研究所、浙江农林大学、浙江大学、浙江省浙南综合工程勘察测绘院有限公司、浙江实创环境建设有限公司、呼和浩特市水资源与河湖保护中心、桐庐县规划和自然资源局。

本文件主要起草人：陈光才、肖江、薛亮、龚兴宇、黄鑫、盖旭、魏源、上官宇先、关潇、胡学军、米屹东、温雅琴、李雪芹、陈文斌、侯红、王海龙、徐礼根。

锑矿区生态恢复技术规程

1 范围

本文件规定了锑矿生态受损区基础调查与问题识别、土地整治与植被营建、植被管护与监测、成效评价与档案管理等环节的技术要求。

本文件适用于锑矿区的生态恢复。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中规范引用而构成本文件必不可少的条款。其中，标注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不标注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 6141 豆科草种子质量分级
- GB 6142 禾本科草种子质量分级
- GB 7908 林木种子质量分级
- GB/T 15776 造林技术规程
- GB 18598 危险废物填埋污染控制标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB/T 18894 电子文件归档与电子档案管理规范
- 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/T 43681 生态系统评估 区域生态系统调查方法
- GB/T 43933 金属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
- GB/T 50434 生产建设项目水土流失防治标准
- GB/T 50596 雨水集蓄利用工程技术规范
- GB/T 51040 地下水监测工程技术标准
- GB/T 51018 水土保持工程设计规范
- CJJ/T 292 边坡喷播绿化工程技术标准
- DZ/T 0287 矿山地质环境监测技术规程
- DZ/T 0438 地质灾害风险调查评价规范（1:50000）
- HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
- NY/T 395 农田土壤环境质量监测技术规范
- NY/T 3034 土壤调理剂 通用要求
- SL 277 水土保持监测技术规程
- TD/T 1036 土地复垦质量控制标准
- TD/T 1070.3 矿山生态修复技术规范 第3部分：金属矿山

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锑矿生态受损区 ecological damaged area of antimony mine

在锑矿开采、分选、冶炼过程中形成的挖损区、压占地、尾矿库、塌陷区，以及工业场地在作业过程中通过风蚀、水蚀和受重金属污染等作用造成生态损害的区域。

3.2

生态恢复参照系统 reference system for ecological restoration

一个能够作为锑矿区生态恢复目标或基准的生态系统。

注:本文件特指锑矿开采前的生态系统、未受扰动的锑矿周边生态系统或基于目标值预测可实现的生态系统，GB/T 43935。

3.3

锑污染耐性植物 plant with tolerance to antimony

对较高浓度的锑具有较强耐性的植物，多指锑矿污染区能够正常生长的植物。

3.4

土壤基质改良 soil matrix amelioration

通过施用土壤改良材料，改善土壤的基础物理、化学和生物学特性，增加土壤的保水保肥能力，降低土壤锑迁移和毒性，改善土壤质量，提高植物存活率的技术。

3.5

生态恢复 ecological restoration

在生态学原理指导下，采用各种物理、化学、生物以及工程措施，重建矿区植被、优化植被配置，使受损植被能够快速、经济地恢复并能够正向演替，从而恢复锑矿区生态系统的过程和活动。

4 总体要求

锑矿区生态恢复的总体要求包括以下内容：

- a) 生态安全。消除地质、污染和水土流失隐患，构建近自然植物群落，恢复生态系统功能。
- b) 因地制宜。根据所处气候带、地域和立地条件，以自然恢复为主，结合必要的人工措施，制订适宜的恢复方案，宜林则林、宜草则草。
- c) 节约有效。采用投资少、易操作、见效快、效果好的生态修复措施。
- d) 可持续。以乡土先锋植物为主，合理构建植物群落，保持群落自我维持、正向演替能力。

5 工作流程

主要包括基础调查与问题识别、土地整治与植被营建、管护与监测、成效评价与档案管理等环节，其工作流程详见图1。

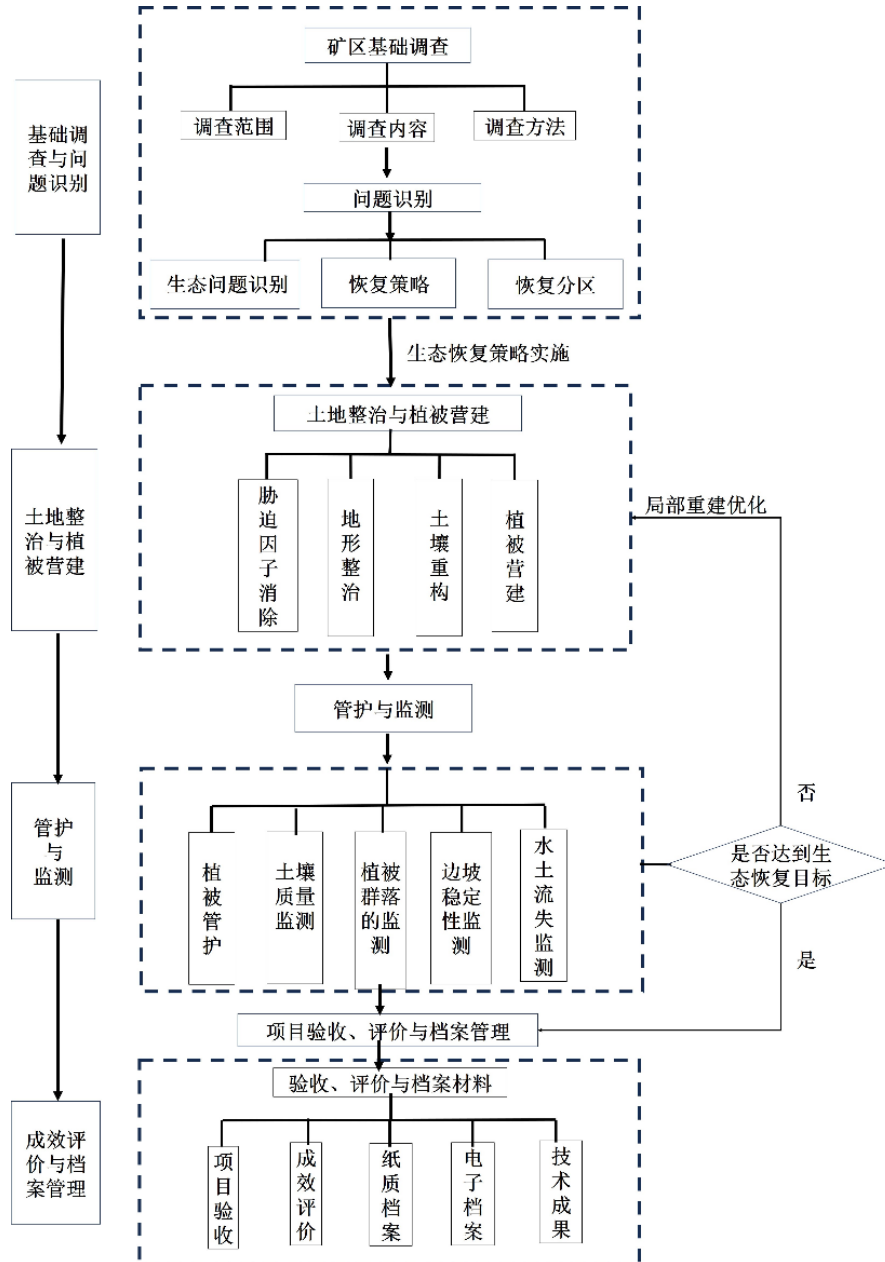


图1 锡矿区生态恢复技术流程

6 基础调查与问题识别

6.1 矿区基础调查

6.1.1 调查范围

调查范围应满足锡矿区生态恢复需求，主要包括露天采场、井工开采区、排土场、堆渣场、工业场地等各类矿山场地及矿区附近生态受损区与参照生态系统。

6.1.2 调查内容

6.1.2.1 资料收集

主要收集以下两方面资料：

- a) 矿山概况。包括所在区位、矿区面积、开发历史、分布情况；开采矿种、采区范围、开采方式、生产工艺及规模、土地利用现状及规划等信息，我国主要锑矿分布见附录 A。
- b) 矿区社会及自然生态概况。包括人口、社会经济、地质、地形地貌、气候、水文、土壤、植被等，生态系统类型、结构、功能等，以及自然保护地、生态保护红线、重要生态敏感区、水源地保护区等信息。

6.1.2.2 野外调查

主要包括以下 4 方面调查内容：

- a) 矿山地质问题调查。矿山地质安全隐患调查参照 GB/T 32864 和 DZ/T 0438 执行。
- b) 矿山生态问题调查。矿山生态问题调查按照 TD/T 1070.3 执行。
- c) 施工条件调查。如交通、电力、通信水源等情况，分析表土资源、砂石料资源和植物等资源的可利用性。
- d) 专项调查。涉及地下采空区、地面塌陷、露天矿坑边坡、含水层破坏、水土污染等对矿山生态系统产生重大影响时，需开展专项调查，参照 GB/T 51040、GB/T 32864、TD/T 1070.3。

6.1.3 调查方法

6.1.3.1 植被调查

对锑矿生态受损区和对照区植物种类、覆盖度及生长状况进行调查和采样，参照 GB/T 43681 执行。

6.1.3.2 土壤调查

土壤调查主要包括土壤的采样与分析，内容如下：

- a) 土壤采样。对锑矿开采、分选及冶炼区域以及周边生态受损区，随机选取代表性地段采集土样，具体参照 HJ/T 166 和 NY/T 395 执行。
- b) 土壤分析。土壤类型、质地、土层厚度、砾石含量、pH 值、有机质测试参照 NY/T 395；锑、砷、铅、镉、铜、锌、汞、镍含量测定方法参照 GB 36600。

6.1.4 土壤污染评价

根据土地规划用途选择评价标准，建设、工业用地参照 GB 36600 执行，生态景观用地，参照 HJ/T 166 执行。采用内梅罗综合污染指数法评价，计算方法如下：

$$P_{综} = \sqrt{\frac{(\bar{p}) + P_{i\max}^2}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{S_i}}{n} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$P_{综}$ ——n 个样点的综合污染指数；

$P_{i\max}$ ——n 个样点中最大污染指数；

- \bar{P} ——平均单项污染指数；
 C_i ——为第 i 种污染因子的实测浓度；
 S_i ——为第 i 种污染因子的标准值或背景值。
 综合污染指数分级标准见表 1。

表 1 镉矿生态受损区土壤重金属污染分级标准

土壤综合污染等级	土壤综合污染指数	污染程度	污染水平
1	$P_{综} \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P_{综} \leq 1.0$	警戒线	尚清洁
3	$1.0 < P_{综} \leq 2.0$	轻污染	污染物超过起初污染值，植物开始受害
4	$2.0 < P_{综} \leq 3.0$	中污染	土壤污染明显，植物受害较明显
5	$P_{综} \geq 3.0$	重污染	土壤污染严重，多数植物不能存活

6.2 问题识别

6.2.1 生态问题

6.2.1.1 依据矿区地质安全、环境污染风险、土地损毁、生态退化、水资源破坏等情况，分析生态系统受损程度，筛选出严重级别的生态问题，参照 GB/T 43933 执行。

6.2.1.2 结合地质安全情况和生态受损程度，将矿山生态问题划分为 I（严重）、II（中等）、III（轻微）三个级别，可参照 TD/T 1070.3 执行。

6.2.2 恢复策略

6.2.2.1 根据矿区所在区域生态功能分类，结合国土空间、社会经济发展和生态保护等规划，选择开采前或周边未受损区域作为参照生态系统，确定生态恢复目标。

6.2.2.2 根据矿山生态问题严重程度，结合当地国土空间规划和公众参与意见及社会经济因素，本着因地制宜的原则，制定恢复策略。

6.2.2.3 根据生态问题识别结果，轻微受损区域以自然恢复为主；生态受损中等级别可采取人工辅助方式进行；对生态受损严重区域宜采取生态重建，开展专项论述，制定恢复方案。

6.2.3 恢复分区

按镉矿开采、分选和冶炼中生态受损区的位置将恢复区位划分为顶面、水平梯带、开挖边坡、堆积边坡；露天采场、井工开采区和工业场地宜划分为边坡、平台和坑底；排土场、尾矿库和堆渣场等宜划分为边坡、平台和顶面，参照 GB/T 38360 边坡划分标准，各修复区位划分见表 2，不同的分区的生态恢复工程措施见附录 B。

表 2 镉矿区生态恢复区位划分表

修复区域	坡度	土壤质地	划分描述
矿山顶面	$\sim 0^\circ$	土质 土石质 岩质	在山地山脊线鞍部、中间高四周低、等高线闭合的山体凸起（山包）部分进行采矿形成的平面区域。
水平梯带 （平台和坑底）	$\sim 0^\circ$	土质 土石质 岩质	在平地或山体上沿等高线分级整地形成的阶梯式水平带状区域和挖损或塌陷地整平后的区域。
开挖边坡（上边坡）	$\leq 25^\circ$	土质 土石质 岩质	矿山开挖形成的坡度 $\leq 25^\circ$ 的上边坡坡面。
	$25^\circ \sim 55^\circ$		矿山开挖形成的坡度 $25^\circ \sim 55^\circ$ 的上边坡坡面。
	$> 55^\circ$		矿山开挖形成的坡度 $> 55^\circ$ 的上边坡坡面。

表2 锑矿区生态恢复区位划分表(续)

修复区域	坡度	土壤质地	划分描述
堆积边坡(下边坡)	≤25°	土质 土石质 岩质	矿区开采堆积土石方或尾矿库尾砂等形成的填方边坡(下边坡)≤25°坡面。
	25°~55°		矿区开采堆积土石方或尾矿库尾砂等形成的填方边坡(下边坡)25°~55°坡面。
	>55°		矿区开采堆积土石方形成的填方边坡(下边坡)>55°坡面。

7 土地整治

7.1 胁迫因子消除

7.1.1 地质安全因子

开展生态恢复前应对地质环境破坏进行治理,并加强监测及预警工作,要求如下:

- 露天采场边坡崩塌稳定性治理。宜采用削坡、支撑、锚固、安装防护网、设置落石平台、挡石墙、混凝土网格护坡、混凝土封闭注浆、截排水工程等进行治理。
- 露天采场、排土场、堆渣场、尾矿库等场地滑坡防治。宜优先采取排水措施,并结合减荷、压脚阻滑、锚固支挡、注浆加固等措施,参照 GB/T 38509 执行。
- 地下开采。根据采矿方法采取相应的地表岩移防治措施,参照 GB/T 43933 执行。

7.1.2 污染因子控制

依据环境影响评价文件中废石、尾矿和堆渣的固体废物属性,控制排土场、尾矿库和堆浸场潜在污染,要求如下:

- 排土场、尾矿库和堆渣场。根据场地类别做好防渗措施,减少渗滤液进入地下水,其中危险废物填埋防渗按照 GB 18598 执行,一般工业固体废物贮存和填埋防渗按照 GB 18599 执行。
- 场地堆存固废为危险废物。生态恢复前应采取污染阻隔措施,参照 GB 18598 执行。
- 场地堆存固废为第 II 类一般工业固废。生态恢复前应采取污染阻隔措施,参照 GB 18599 执行。

7.1.3 水土流失控制

按照矿山水土保持方案落实水保措施,指标应达到 GB/T 50434 的要求。

7.2 地形整治

7.2.1 露天采场、排土场、堆渣场、尾矿库等场地,地貌重塑宜在矿山生产形成的地形地貌基础上进行。

7.2.2 露天采场、排土场、堆渣场、尾矿库等地貌重塑,应结合地质环境治理工程、污染风险控制工程进行整形、平整,满足 TD/T 1036 要求。

7.2.3 排土场、堆渣场台阶边坡高度大于 10 m,宜采取削坡开级等降坡措施。

7.2.4 矿区原地管线等土地损毁程度较轻区域,应保持原地貌。

7.3 土壤重构

7.3.1 结构与功能重构

根据生态恢复区位，通过土层置换、表土覆盖、土层翻转、化学改良、培肥改良、生物修复等措施，重构土壤剖面结构与土壤肥力条件，土壤重构措施参见附录 B。

7.3.2 土壤剖面重构

7.3.2.1 平地

依据矿区不同区域的土壤受损特征，进行土壤剖面重构，要求如下：

- a) 地面塌陷区。充分利用剥离、堆存的表土和矿区废弃物作为改良物料；将剥离的表土用于地面塌陷区表土覆盖，整平松耙。依据土地利用规划及属性（如林地、草地、园林、耕地和建筑用地等），有效土层厚度参照 TD/T 1036 执行。
- b) 堆渣场、露天采场、工业场地等。依据矿区场地及条件，采取土壤熟化、整地、客土、覆土，或掺细砂黏土。依据土地利用规划及属性（如林地、草地、园林、耕地和建筑用地等），有效土层厚度可参照 TD/T 1036 执行。
- c) 场地堆存危废废物或第 II 类一般工业固体废物。应全面覆土，覆土厚度应按种植物种类及其对阻隔层可能产生的损坏确定。
- d) 尾矿库坝体。覆盖土层的厚度应按种植物种类及其对坝体安全可能产生的影响确定。

7.3.2.2 缓坡（ $\leq 25^\circ$ ）

露天采场、堆渣场和排土场的平缓坡面，可采取毡垫技术、阶台、枕袋技术、格室等护坡，土壤基质改良、客土回填、鱼鳞坑等方式进行坡面土壤重构，可参照 GB/T 38360 执行。

7.3.2.3 陡坡（ $25^\circ \sim 55^\circ$ ）

露天采场、堆渣场和排土场的高陡坡面，根据坡质的不同，可采取生态袋、生态格构、平面网与立体网护坡，采用客土回填、施复合肥与喷播土壤基质等方式进行坡面土壤重构，可参照 GB/T 38360 执行。

7.3.2.4 崖坡（ $> 55^\circ$ ）

露天采场、堆渣场和排土场的高陡坡面，根据坡质的不同，可采取穴槽、隔挡、生态棒等技术并结合挂网护坡，采用团粒喷播、植被混凝土喷播、厚层基材喷播等方式进行坡面土壤重构，可参照 GB/T 38360 执行。

7.3.3 土壤改良

7.3.3.1 土壤基质改良

依据镉矿区土壤污染特性，施用生物炭基肥、有机肥、绿肥、微生物菌剂培肥、复合肥、磷酸盐及无机黏土材料如绿泥石、凹凸棒土、膨润土等，改善土壤结构和提升土壤保水能力和有机质含量，降低镉及其它重金属的迁移能力，见附录 C。

7.3.3.2 土壤 pH 值

对矿区土壤 pH 值进行调节，添加熟石灰改良酸性土壤，添加硫磺粉、腐殖酸类及抑盐剂等改良碱性土壤，并结合有机肥使用，调整土壤 pH 及肥力至植物适生状态，参照 NY/T 3034 执行。

7.4 集排水技术

7.4.1 截排水

7.4.1.1 边坡宜设截水沟与排水沟，截水沟与排水沟设计宜参照 GB 51018 执行。

7.4.1.2 水平梯带内侧及矿山顶面中间应开设主排水沟，规格及密度根据修复区的宽度确定。

7.4.1.3 排水沟应结合地表径流布设，出水口引伸到坡面范围以外自然排水。

7.4.1.4 整地起垄时应设置排水沟，并与主排水沟连接。

7.4.2 集蓄水

根据植被生长需水要求及场地实际情况，宜在地形低洼处和种植穴之间设置蓄水坑等集蓄水措施，参照 GB/T 50596 执行。

8 植被营建

8.1 植物材料

镉矿区生态恢复用耐性植物材料，见附录 D。

8.2 植被配置

8.2.1 植被配置要求

8.2.1.1 适宜性原则。根据气候、立地和承载力，确定适宜植被恢复目标。

8.2.1.2 生态位互补。优化植物配置，避免种间的直接竞争。

8.2.1.3 多样性原则。采用多种植物，建立近自然群落结构，如乔灌草复层的结构。

8.2.1.4 乡土性原则。以乡土植物为主，合理搭配目标植物及先锋植物材料。

8.2.2 植被配置模式

8.2.2.1 平地或缓坡（坡度 $\leq 25^\circ$ ）

乔灌或乔草复层配置的植被。

8.2.2.2 陡坡（ $25^\circ \sim 55^\circ$ ）

以灌草为主的复层植被。

8.2.2.3 崖坡（ $>55^\circ$ ）

以草、藤为主的植被。

8.2.2.4 植被配置

不同气候带镉矿区植被配置推荐，见附录 E。

8.3 植被密度

8.3.1 平地

亚热带区域内乔木初植密度为 1 667 株/hm²~3 333 株/hm²，灌木初植密度一般 $\geq 5 000$ 株/hm²；干旱或极干旱区、温带区和青藏高寒区等区域内乔木初植密度为 1 250 株/hm²~2 500 株/hm²，灌木初植密度一般 $\geq 3 333$ 株/hm²。

8.3.2 缓坡（坡度 $\leq 25^\circ$ ）

亚热带区域内乔木初植密度一般为 2 500 株/hm²~5 000 株/hm²，灌木初植密度一般≥6 675 株/hm²，乔灌木结合时乔木一般为 1 995 株/hm²~4 000 株/hm²，灌木一般≥5 000 株/hm²；干旱或极干旱区、温带区和青藏高寒区等区域内乔木初植密度一般为 1 667 株/hm²~3 333 株/hm²，灌木初植密度一般≥5 000 株/hm²，边坡乔灌木结合时乔木一般为 1 334 株/hm²~2 667 株/hm²，灌木一般≥3 335 株/hm²。

8.3.3 陡坡和崖坡（坡度>25°）

喷播和人工播种的用种量应综合考虑种子千粒重、发芽率、期望植株密度，发芽势和苗木生长速度等因素，并根据不同区域的坡质、坡面类型确定，播种量计算参照 GB/T 38360 执行。

8.4 植被营建时间

8.4.1 春季

除春季高温、少雨、低湿的川滇等部分地区外，全国其他地区可在春季结合降雨营建植被。

8.4.2 冬季

在亚热带地区，选择适宜的植物材料和采取适当的保温措施，可以开展冬季营造植被。

8.4.3 全年

容器苗和带土坨苗木可在土壤结冻期外的各季节营建植被。

8.5 植被营建技术

8.5.1 平地或缓坡（坡度≤25°）

8.5.1.1 栽植

苗木的栽种应符合下列要求：

- a) 植物材料种类和规格应符合设计要求，栽植前应拆除土球扎绳或营养杯，拆除不能分解的外包装材料。
- b) 栽植前应按设计图纸要求放线定点，位置应准确，标记明显。
- c) 栽植穴、槽的直径应大于土球或裸根苗根系展幅 40 cm~60 cm，穴深宜为穴径的 3/4~4/5。穴、槽应垂直下挖，上口下底应相等。容器苗种植穴的规格宜为 30 cm×30 cm×25 cm；裸根苗种植穴的规格宜为 40 cm×40 cm×30 cm；一年生针叶树种苗木宜采用缝植法种植，可参照 GBT 15776 执行。
- d) 苗木栽植前，应根据栽植季节和树种的特性进行适当修剪。
- e) 明穴种植时应扶正树干，回填时宜先回表土，再回新土和底土，分层夯实。
- f) 栽植时苗木应做到随起、随运、随栽，当天不能栽植的应及时进行假植。

8.5.1.2 播种

播种应符合下列要求：

- a) 播种前对种子进行催芽处理，以提高发芽率、缩短出苗期。草本的播种量可参照 GB/T 38360 执行。
- b) 整地前应对土壤进行处理，防治地下害虫。
- c) 播种时应先浇水浸地，保持土壤湿润。播种后应及时喷水，种子萌发前，干旱地区应每天喷水 1 次~2 次，保持土表湿润，出苗后可减少喷水次数，土壤宜见湿见干。

8.5.2 陡坡（25°～55°）

8.5.2.1 基质配制

基质配置应符合下列要求：

- a) 严格按照材料配比投放材料，并混合均匀。
- b) 配制好的基质应尽快使用，如遇降雨、大风等情况应及时覆盖。
- c) 喷附基质层厚度应达到设计要求，一般不低于 3 cm。

8.5.2.2 种子喷播

种子喷播应符合下列要求：

- a) 种子喷播前应做发芽试验，确定合理的播种量，可参考 GB/T 38360 执行。对种子进行催芽处理，以促进种子发芽，提高发芽率，缩短出苗期。
- b) 根据设计喷播厚度分层喷播，先喷播基底层，后喷播植物种子层，种子层厚度宜为 1 cm～3 cm。豆科草、禾本科草、林木种子质量应分别符合 GB 6141、GB 6142 和 GB 7908 的规定。
- c) 喷播顺序应先上后下，先难后易，喷播厚度应均匀，不应漏喷，可参照 CJJ/T 292 执行。
- d) 雨季施工应根据天气情况合理组织喷播作业或采取必要的措施，避免新喷播基质出现雨水冲刷情况。
- e) 根据不同地区气候特点，喷播结束后对种子层进行保墒、保温和防侵蚀防护，根据土壤墒情及时浇水。

8.5.3 崖坡（>55°）

8.5.3.1 基质配制

基质配置除满足 8.5.2.1 之外，还应符合下列要求：

- a) 采用团粒喷播时，将有机质、黏土、稳定剂、肥料、植物种子和适量的水等按一定的顺序和配比添加到专用喷播机，搅拌后形成泥浆状混合物。
- b) 采用植被混凝土喷播时，将水泥、有机质、土壤、肥料、pH 值调节剂、植物种子等按一定的配比添加到混凝土喷射机。
- c) 采用厚植基材喷播时，将有机基材、土壤、肥料、粘结剂、保水剂、植物种子等按一定的配比添加到混凝土喷射机。

8.5.3.2 种子喷播

种子喷播除满足 8.5.2.2 之外，还应符合下列要求：

- a) 喷播种子层的厚度宜为 2 cm～3 cm；
- b) 种子喷播以禾本科草和豆科草为主，质量分别符合 GB 6142 和 GB 6141 的规定。

8.5.3.3 藤本种植

露天采场、堆渣场和排土场崖坡，可采取坡脚栽植藤本植物、坡面挂篮等措施辅助建立植被。

9 植被管护

9.1 管护时间

根据区域自然条件、场地污染程度及植被类型等确定管护时间。污染风险较低的场地管护期一般宜为3年~5年，潜在污染风险较高场地及生态受损较重区后续管护期宜为6年~10年。

9.2 管护措施

9.2.1 幼龄林。主要包括抚育、补植、补种、防治病虫害、浇水、清除杂草等，参照 GB/T 15776 执行。

9.2.2 草本。主要包括定期修剪、补播、浇水、清除杂草等。

9.3 施肥

9.3.1 根据植物长势和土壤肥力进行施肥。一般阔叶树种每穴的有机肥用量 5.0 kg；针叶树种每穴有机肥施肥量控制在 1.0 kg；缝植法种植的可不施肥。

9.3.2 以有机肥料为主，无机肥料为辅。

9.3.3 根据植物种类，每年施肥 1 次~2 次，春秋两季是重点施肥时期。

9.4 基础设施管护

对道路、灌溉、集排水、电力及建筑物等基础设施进行定期维护和检修。

10 监测与成效评价

10.1 监测

10.1.1 土壤监测

10.1.1.1 监测指标包括地表状况、土壤物理、化学和肥力指标，其中土壤镉、砷等潜在有毒元素含量的测试参照 GB 36600 执行；矿质元素含量、有机质含量、阳离子交换量、pH 值等指标参照 NY/T 395 执行。

10.1.1.2 监测点位布设、样品采集、样品保存按照 HJ/T 166、DZ/T 0287 执行。

10.1.2 植被监测

植被监测采用遥感及实地调查结合的方式，对植物种类、数量、优势种、覆盖度、生长量进行监测和调查。

10.1.3 边坡监测

对开挖边坡和堆积边坡进行监测，主要包括边坡稳定性、地面塌陷、地裂缝等，按 DZ/T 0287 执行。

10.1.4 水土保持监测

对水土保持效益进行长期的调查、观测和分析，参照 SL277 执行。

10.2 项目验收

10.2.1 验收主体

镉矿区生态恢复项目由业主单位根据合同组织项目验收。

10.2.2 验收节点

项目验收包括年度验收和竣工验收两个环节。年度验收在施工完成 1 年或 1 个生长季后进行，竣工验收在项目全面完成（含管护）后进行。

10.2.3 验收内容

年度验收包括造林成活率和草木覆盖度，竣工验收项目为植被恢复的造林保存率，造林保存率的计算见公式（3）。

$$P = \frac{S_1}{S_2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P—造林保存率，%；

S₁—合格面积（为造林成活率质量验收合格的面积），m²；

S₂—造林总面积，m²。

10.2.4 验收标准

10.2.4.1 年度验收标准见表 3。

表 3 锑矿区废弃地生态恢复年度验收标准

验收项目	计算公式	区域	验收指标		
			合格	需补植	不合格
造林成活率/%	造林成活率=成活株树/设计株树	干旱区、极干旱区、青藏高寒区等生态环境脆弱地带	≥70	70~41	≤40
		中温带区、暖温带区、亚热带区	≥85	84~41	≤40
草本覆盖度/%	本覆盖度=合格样方/抽查样方总数	干旱区、极干旱区、青藏高寒区等生态环境脆弱地带	≥50	49~31	≤30
		中温带区、暖温带区、亚热带区	≥80	79~41	≤40

注：露白面积<30%的样方为合格样方。

10.2.4.2 竣工验收合格的标准为造林保存率≥80%，干旱区、极干旱区、青藏高寒区等生态环境脆弱地带，造林株数保存率在≥65%。

10.3 成效评价

10.3.1 植被恢复成效

评估矿山生态恢复后的生态系统与参照生态系统的差距，统计植被恢复后成活率、保存率、植物种类及植被盖度，结合目标值，判定是否达到生态恢复设定的目标值。

10.3.2 环境质量成效

地表水环境质量评价按照 GB 3838 执行，建设用地污染风险管控按照 GB 36600 执行，水土保持成效参照 GB/T 50434 执行。

10.3.3 总体成效评估

对生态恢复的地貌、土壤、植被、景观、生物多样性，以及公众参与满意度等进行评估，参照 GB/T 43935 执行。

11 档案管理

11.1 专人管理，分类整理立卷，及时归档。纸质档案的保存年限应符合相关档案管理要求，电子档案按照 GB/T 18894 执行。

11.2 归档内容包括勘察调查资料、招标资料、设计资料、施工资料、监理资料、验收资料和资金支付单据。原始资料数据包括作业设计图，施工工作底图、调查、评估、监测和验收等环节的数据、照片、音频及视频等资料，工程施工、质量监督及可行性研究报告、实施方案、验收报告等管理和技术等文件、成果及数据库。

附录 A

(资料性)

我国典型锑矿所处气候地理分区

表 A.1 列出了我国典型锑矿所处气候地理分区。

表 A.1 我国典型锑矿所处气候地理分区

气候地理区	省(市、自治区)	典型锑矿	所处气候带
东部季风区	贵州省	晴隆锑矿、独山锑矿、三都-榕江锑矿等	亚热带区
	云南省	大庄锑矿、者龙锑矿、蝙蝠洞锑矿、木利锑矿等	亚热带区
	四川省	日绒措铜钼锑矿	亚热带区
	重庆市	贵贤溪锑矿等	亚热带区
	湖南省	锡矿山锑矿、桃江板溪锑矿、新邵龙山锑矿、桃源沃溪锑矿、渣滓溪锑矿、龙山金锑矿等	亚热带区
	湖北省	桃花尖锑矿、徐家山锑矿、郧西西部地区金锑矿	亚热带区
	广东省	廷福锑矿、赤老顶锑矿、乐家湾锑矿、潮镜锑矿、嵩溪银(锑)矿等	亚热带区
	广西壮族自治区	茶山锑矿、河池五圩箭猪坡铅锌锑矿、坡平锑锌多金属矿、坡岩锑矿、广西东桥锑、罗富锑矿、同贡一塘先金锑矿、都结锑矿、马雄锑矿、五圩锑矿和金谷锑-方解石矿等	亚热带区
	江西省	华源锑矿、宝山锑金矿等	亚热带区
	安徽省	张村锑矿、皖南花山锑(金)矿、金家冲锑(金)矿、里广山锑矿、查山锑矿等	亚热带区
	浙江省	梓桐锑矿	亚热带区
	甘肃省	崖湾-大桥金锑矿、铨水锑矿、肖家山锑矿、银硐梁锑矿、瓦石沟辉锑矿	亚热带区
	陕西省	旬阳汞锑矿、安沟金锑矿等	亚热带区
	西藏自治区	拉诺玛铅锌锑多金属矿	亚热带区
	西北旱区	河南省	卢氏南峪沟锑矿、王庄锑矿、卢氏南阳山锑矿、大河沟锑矿、卢氏官坡—五里川锑矿、卢氏上川锑矿等
陕西省		马金汞锑矿	暖温带区
吉林省		矿山屯锑、青沟子锑矿、西林河锑矿等	中温带区
青藏高寒区	内蒙古自治区	半岛山金锑矿、北山鹿咀子锑矿、北山阿德格色格格东锑矿、阿木乌素锑矿	极干旱区
	新疆维吾尔自治区	硝尔库勒矿区锑矿、盼水河锑矿、黄羊岭锑矿、卧龙岗锑矿等	极干旱区
	新疆维吾尔自治区	哈勒哈特铜锑矿床、浩然达坂铜矿	干旱区
青藏高寒区	甘肃省	大寺坡锑矿、张旗锑矿、临潭冰场湾地区锑多金属矿	高寒区
	青海省	石藏寺锑金矿床、东大滩锑金矿床、沙丘沟金锑矿、浪琴—得龙地区金锑矿、尕那根钨锑矿床、考尼曲地区钨锑矿、夺尔贡玛锑矿、寺沟锑矿等	高寒区
	西藏自治区	沙拉岗锑矿、阿杂陇巴锑矿、车穷卓布锑矿、马扎拉金锑矿、扎西康式锑矿、扎西康铅锌锑、拆离带沙拉岗锑矿、拉木由塔锑、藏北锑矿带等	高寒区

附录 B

(资料性)

锑矿区生态恢复工程措施

表B.1列出了锑矿区生态恢复工程措施。

表 B.1 锑矿区生态恢复工程措施

矿区立地条件与土壤质地		地形整治	土壤重构	植被营建
平台 (~0°)	土质	平整、排蓄水	提前整地、熟化土壤、种植绿肥微生物培肥、施有机肥	培育乔灌木混交林, 地表草本覆盖
	土石质	平整、客土、整地、排水	覆土、施肥、基质改良	客土、种植耐旱、耐贫瘠灌草
	岩质	筑坝护坡、平整压实、覆土、排水	覆土、整地、种植绿肥, 土壤基质改良	客土造林、种草
缓坡 (≤25°)	土质	平整、排蓄水	提前整地、熟化土壤、微生物培肥、施有机肥	培育乔灌木混交林, 地表草本覆盖
	土石质	客土、鱼鳞坑、喷播绿化、排蓄水	覆土、施有机肥、复合肥、土壤基质改良	培育乔灌木混交林, 乔灌草种子喷播
	岩质	客土、植生袋、植生网、植生毯垫、喷播绿化	覆土, 或掺细砂黏土、施有机肥、土壤基质改良	培育乔灌木混交林, 地表草本覆盖
陡坡 (25° ~55°)	土质	削坡、草袋或预制格子护坡、挂网、排水	种植绿肥、微生物培肥、土壤基质改良	乡土树种、乔木和草本, 培育乔灌木混交林
	土石质	削坡、格子梁护坡、挂网、植生袋、液压喷播、排水	覆土、施有机肥、复合肥、土壤基质改良	乔灌草种子喷播; 藤本上爬或下挂
	岩质	削坡、修筑挡墙、挂网、液压喷播护坡、覆土、排水、厚层基材喷播	覆土, 或掺细砂黏土、有机肥、土壤基质改良	乔灌草种子喷播, 深根系灌木为主, 藤本上爬或下挂
崖坡 (>55°)	土质	挂网、穴槽、隔档、生态棒、液压喷播、团粒喷播、厚层基材喷播	掺细、砂黏土、有机肥、土壤基质改良	灌草或草本种子喷播, 藤本上爬或下挂
	土石质	挂网、穴槽、隔档、生态棒、团粒喷播、植被混凝土喷播、厚层基材喷播	掺细砂、水泥、黏土、有机肥、土壤基质改良	草本种子喷播, 藤本上爬或下挂
	岩质	挂网、穴槽、隔档、生态棒、团粒喷播、植被混凝土喷播、厚层基材喷播	掺细砂、水泥、黏土、有机肥、土壤基质改良	草本种子喷播, 藤本上爬或下挂

附录 C

(资料性)

锑矿生态受损区土壤基质改良方法

表 C.1 列出了锑矿生态受损区土壤基质改良方法。

表 C.1 锑矿生态受损区土壤基质改良方法

锑矿土壤污染种类	推荐/可选土壤基质改良材料	修复效果
单锑矿：Sb、As 污染为主	绿泥石、水滑石、埃洛石、轻质颗粒（珍珠岩、陶粒、蛭石类）、有机纤维、腐殖肥等	提升土壤的保水性和保肥能力，具备一定的缓解土壤中锑及其他重金属对植物的毒害作用，增强植物存活能力。
	AM 真菌、固氮菌菌剂、芽孢杆菌、根瘤菌菌剂、解磷菌类菌剂、解钾菌类菌剂等	提升植物的水分和营养的吸收能力，如扩大根系吸收养分（例如磷、氮、钾）的空间范围，从而提高植物对土壤养分和水分的利用率，提升植物光合作用，增强植物抗逆抗病能力，提升植物存活率。
	有机肥、秸秆粉、生物炭、磷酸盐、磷灰石等	提升土壤有机质含量和肥力，改善土壤结构和质量，增强土壤保水和保肥能力，促进植物存活。
锑矿—多金属复合矿：Sb、As、Pb、Cd、Cr、Ni、Zn、Hg、W 等	沸石、赤泥、绿泥石、水滑石、膨润土、海泡石、硅藻土、埃洛石等粘土矿物、轻质颗粒（珍珠岩、陶粒、蛭石类）、腐殖肥等	提升土壤的保水性和保肥能力，具备一定的缓解土壤中锑及其他重金属对植物的毒害作用，增强植物存活能力。
	AM 真菌、固氮菌菌剂、芽孢杆菌、根瘤菌菌剂、解磷菌类菌剂、解钾菌类菌剂等	提升植物的水分和营养的吸收能力，如扩大根系吸收养分（例如磷、氮、钾）的空间范围，从而提高植物对土壤养分和水分的利用率，提升植物光合作用，增强植物抗逆抗病能力，提升植物存活率。
	有机肥、秸秆粉、生物炭、磷酸盐、磷灰石等	提升土壤有机质含量和改善土壤质量，提升土壤营养矿物质元素含量，改善植物生长的根际环境，提升植物的存活率。

附录 D

(资料性)

锑矿区生态受损区修复用物种推荐名录

表 D.1 列出了锑矿区生态受损区修复用物种推荐名录。

表 D.1 锑矿区生态受损区修复用物种推荐名录

分类	植物名称	科	拉丁学名	抗性强度	气候带
乔木	构树	桑科	<i>Broussonetia papyrifera</i>	极强	亚热带
	刺槐	豆科	<i>Robinia pseudoacacia</i>	极强	暖温带
	亮叶桦	桦木科	<i>Betula luminifera</i>	极强	亚热带
	臭椿	苦木科	<i>Ailanthus altissima</i>	极强	亚热带、暖温带
	大叶女贞	木犀科	<i>Ligustrum lucidum</i>	极强	亚热带、暖温带
	香樟	樟科	<i>Cinnamomum camphora</i>	极强	亚热带、暖温带
	盐肤木	漆树科	<i>Rhus chinensis</i>	极强	亚热带、暖温带
	楸树	紫葳科	<i>Catalpa bungei</i>	极强	亚热带、暖温带
	泡桐	泡桐科	<i>Paulownia fortune</i>	极强	亚热带、暖温带
	冬青	冬青科	<i>Ilex chinensis</i>	强	亚热带
	朴树	大麻科	<i>Celtis sinensis</i>	强	亚热带
	任豆	豆科	<i>Zenia insignis</i>	强	亚热带
	枫香	金缕梅科	<i>Liquidambar formosana</i>	强	亚热带
	合欢	豆科	<i>Albizia julibrissin</i>	强	亚热带
	皂荚	豆科	<i>Gleditsia sinensis</i>	强	亚热带、暖温带
	山苍子	樟亚科	<i>Litsea cubeba</i>	强	亚热带
	青冈栎	壳斗科	<i>Cyclobalanopsis glauca</i>	强	亚热带
	栓皮栎	壳斗科	<i>Quercus variabilis</i>	强	亚热带、暖温带
	沙柳	杨柳科	<i>Salix psammophylla</i>	强	暖温带
	麻栎	壳斗科	<i>Quercus acutissima</i>	强	亚热带
	黄连木	漆树科	<i>Pistacia chinensis</i>	强	亚热带、暖温带
	栾树	无患子科	<i>Koelreuteria paniculata</i>	强	亚热带、暖温带
	马尾松	松科	<i>Pinus massoniana</i>	强	亚热带
	圆柏	柏科	<i>Juniperus chinensis</i>	强	亚热带、暖温带
梓树	紫葳科	<i>Catalpa ovata</i>	强	亚热带、暖温带	
乌桕	大戟科	<i>Sapium sebiferum</i>	中等	亚热带、暖温带	
木荷	山茶科	<i>Schima superba</i>	中等	亚热带	
灌木	醉鱼草	玄参科	<i>Buddleja lindleyana</i>	极强	亚热带
	苎麻	荨麻科	<i>Boehmeria nivea</i>	极强	亚热带、暖温带
	紫穗槐	豆科	<i>Amorpha fruticosa</i>	极强	亚热带、暖温带
	胡枝子	豆科	<i>Lespedeza bicolor</i>	极强	亚热带、暖温带
	夹竹桃	夹竹桃科	<i>Nerrium indicum</i>	极强	亚热带
	大叶黄杨	黄杨科	<i>Buxus megistophylla</i>	极强	亚热带
	接骨木	五福花科	<i>Sambucus williamsii</i>	极强	亚热带、暖温带
	马桑	马桑科	<i>Coriaria nepalensis</i>	极强	亚热带、暖温带

表 D.1 铈矿区生态受损区修复用物种推荐名录（续）

分类	植物名称	科	拉丁学名	抗性强度	气候带
灌木	小果蔷薇	蔷薇科	<i>Rosa cymosa</i>	强	亚热带
	杜茎山	报春花科	<i>Maesa japonica</i>	强	亚热带
	白背叶	大戟科	<i>Mallotus apelta</i>	强	亚热带
	多枝怪柳	怪柳科	<i>Tamarix ramosissima</i>	强	暖温带
	红叶石楠	蔷薇科	<i>Photinia serrulata</i>	强	亚热带
	柠条	豆科	<i>Caragana korshinskii</i>	强	暖温带、中温带
	火棘	蔷薇科	<i>Pyracantha fortuneana</i>	强	亚热带
	杜鹃花	杜鹃花科	<i>Rhododendron simsii</i>	强	亚热带
	黄杨	黄杨科	<i>Buxus sinica</i>	中等	亚热带、暖温带
	檵木	金缕梅科	<i>Loropetalum chinense</i>	中等	亚热带
草本	芒草	禾本科	<i>Miscanthus</i>	极强	亚热带
	艾草	菊科	<i>Artemisia argyi</i>	极强	亚热带
	白三叶	豆科	<i>Trifolium repens</i>	极强	亚热带、暖温带、中温带
	百喜草	禾本科	<i>Paspalum notatum</i>	极强	亚热带
	狗芽根	禾本科	<i>Cynodon dactylon</i>	极强	亚热带
	马尼拉草	禾本科	<i>Zoysia matrella</i>	极强	亚热带
	白茅	禾本科	<i>Imperata cylindrica</i>	极强	暖温带
	草木犀	豆科	<i>Melilotus officinalis</i>	极强	亚热带、中温带
	荩草	禾本科	<i>Arthraxon hispidus</i>	极强	亚热带、暖温带、中温带
	粽叶芦	禾本科	<i>Thysanolaena maxima</i>	极强	亚热带
	狗尾草	禾本科	<i>Setaria viridis</i>	极强	亚热带
	败酱草	败酱科	<i>Patrinia villosa</i>	极强	亚热带
	蜈蚣草	凤尾蕨科	<i>Pteris vittata</i>	极强	亚热带、暖温带
	五节芒	禾本科	<i>Miscanth floridulus</i>	极强	亚热带
	商陆	商陆科	<i>Phytolacca acinosa</i>	极强	亚热带
	紫花苜蓿	豆科	<i>Medicago sativa</i>	强	亚热带、暖温带
	东南景天	景天科	<i>Sedum alfredii</i>	强	亚热带
	车前草	车前科	<i>Plantago depressa</i>	强	亚热带、暖温带
	香根草	禾本科	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	强	亚热带
	青蒿	菊科	<i>Artemisia carvifolia</i>	强	亚热带、中温带
	龙葵	茄科	<i>Solanum nigrum</i>	强	亚热带
	马兰	菊科	<i>Kalimeris indica</i>	强	亚热带
	野菊花	菊科	<i>Chrysanthemum indicum</i>	强	暖温带、中温带
	紫苏	唇形科	<i>Perillafrutescens</i>	强	亚热带、暖温带
牛筋草	禾本科	<i>Eleusine indica</i>	中等	亚热带、暖温带、中温带	
黑麦草	禾本科	<i>Lolium perenne</i>	中等	亚热带	
藤本	爬山虎	葡萄科	<i>Parthenocissus tricuspidate</i>	极强	亚热带、中温带
	扶芳藤	卫矛科	<i>Euonymus fortunei</i>	极强	亚热带、暖温带
	地果	桑科	<i>Ficus tikoua</i>	强	亚热带、暖温带
	油麻藤	豆科	<i>Mucuna sempervirens</i>	强	亚热带、暖温带
	紫藤	豆科	<i>Wisteria sinensis</i>	强	亚热带、暖温带
	何首乌	蓼科	<i>Fallopia multiflora</i>	强	亚热带、暖温带

附录 E

(资料性)

锑矿区生态恢复植被配置推荐表

表 E.1 列出了锑矿区生态恢复植被配置的推荐植物。

表 E.1 锑矿区生态恢复植被配置推荐表

气候地理区	气候带	乔木	灌木	草本	藤本
东部季风区	亚热带	构树、刺槐、亮叶桦、任豆、盐肤木、马尾松、木荷、青冈栎、枫香、合欢、栓皮栎、麻栎、黄连木、棕榈、喜树、山苍子、栎树、无患子、乌桕	马桑、苕麻、紫穗槐、大叶黄杨、火棘、胡枝子、醉鱼草、马棘、夹竹桃、红叶石楠、海桐、木槿	香根草、蜈蚣草、紫花苜蓿、狗牙根、白三叶、芒草、粽叶芦、败酱草、黑麦草、艾草、马尼拉草、高羊茅、百喜草、车前草、草木犀	爬山虎、扶芳藤、油麻藤、地果
	暖温带	盐肤木、楸树、泡桐、侧柏、栓皮栎、麻栎、白榆、黄连木、乌桕	紫穗槐、胡枝子、苕麻、沙棘、柠条、锦鸡儿、小叶等锦鸡儿、马棘	白三叶、草木犀、荩草、青蒿、牛筋草、高羊茅、黑麦草、狗牙根	爬山虎、扶芳藤、山葡萄
	中温带	红松、长白落叶松、樟子松、云杉、白桦、东北槭、无患子、刺榆	紫丁香、金银忍冬、长白忍冬、松江柳、东北连翘、紫穗槐、胡枝子	草地早熟禾、紫苜蓿、紫羊茅、高羊茅、针茅、无芒雀麦、白草、冰草、草木犀、白三叶	爬山虎、山葡萄、常春藤、紫藤
西北旱区	干旱区	旱柳、圆柏、新疆杨、胡杨、刺槐、榆树	多枝怪柳、柠条、紫穗槐、驼绒藜、花棒、胡枝子、沙棘、白刺、小叶锦鸡儿、柠条锦鸡儿	无芒雀麦、披碱草、白茅、紫花苜蓿、沙生冰草、白三叶、鸡眼草、沙打旺、针茅	爬山虎
	极干旱区	刺槐、胡杨、梭梭等	多枝怪柳、柠条、紫穗槐、驼绒藜、花棒	沙打旺、沙蒿、草木犀、紫花苜蓿、针茅	爬山虎
青藏高寒区	高寒区	樟子松、侧柏、云杉、冷杉、刺榆、圆柏、沙柳、怪柳	紫穗槐、沙棘、柠条、驼绒藜、杜鹃、金银忍冬	冰草、高羊茅、狗牙根、黑麦草、中华羊茅、高原薹草、草地早熟禾、披碱草、冷地早熟禾	爬山虎、南蛇藤

参 考 文 献

- [1] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
 - [2] 徐正浩, 徐建民, 朱有为. 重金属污染土壤的植物修复资源[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
 - [3] 国务院办公厅关于科学绿化的指导意见, 国办发(2021)19号, https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-06/02/content_5614922.htm.
 - [4] 雷相东. 森林立地质量定量评价: 理论 方法 应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2020.
 - [5] 王海洋, 韩玲, 谢丹妮, 等. 矿区周边农田土壤重金属分布特征及污染评价[J]. 环境科学, 2022, 43(04):2104-2114.
 - [6] 植物科学数据中心—植被样方调查数据规范, <https://www.plantplus.cn/cn/standards/10>.
-