

T/IMAEP1

内蒙古自治区环境保护产业协会团体标准

T/IMAEP1 001—2025

煤矿尾矿区土壤养分增效与植被恢复技术 指南

Technical guidelines for soil nutrient synergism and vegetation restoration in coal
mine tailings areas

2025-09-30 发布

2025-09-30 实施

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 养分增效技术 1

 4.1 土壤养分调查及肥力评估 1

 4.2 土壤养分增效技术 2

5 植被恢复技术 3

 5.1 原生植被调查 3

 5.2 适生及经济性植物物种筛选 4

 5.3 经济型乔灌木/灌木植被群构建及恢复 4

 5.4 植被快速营建及高效保育 5

参 考 文 献 6

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专利的责任。

本文件由内蒙古自治区环境保护产业协会提出并归口。

本文件起草单位：内蒙古东源环保科技股份有限公司、中国科学院过程工程研究所、内蒙古农业大学、鄂尔多斯东胜区环保管理有限公司、中国科学院赣江创新研究院、北京如益生态环境科技有限公司、中国稀土集团有限公司。

本文件主要起草人：李庭刚、白文龙、于淑玉、任小龙、江晓亮、陈乐、滕泽栋、赵红艳、付春平、许强、胡哲、马星宇、王有霖、陈国梁、潘伟、郭慧媛、苏靖元、林浩、张惠、田永胜、张伟、张彩清、张瑞芳、乔乐、张增宝。

煤矿尾矿区土壤养分增效与植被恢复技术指南

1 范围

本文件给出了露天煤矿尾矿区土壤养分增效和植被恢复的技术指导和建议。
本文件适用于露天煤矿尾矿区土壤荒漠化、土壤养分贫乏、植被退化的生态脆弱区生态恢复。

2 规范性引用文件

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

GB/T 8321 农药合理使用准则
GB 6000 主要造林树种苗木质量分级
GB/T 36197 土壤质量 土壤采样技术指南
GB/T 36199 土壤质量 土壤采样程序设计指南
GB/T 42363 土壤质量 土壤理化分析样品的预处理
DB15/T 1235 鱼鳞坑开沟犁整地技术规程
DB15/T 2378 草原区露天矿山废弃地生态修复技术规范
LY/T 2770 南方有色金属矿区废弃地植被生态修复技术规程
NY/T 1121 土壤检测

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

煤矿尾矿区 coal mine tailings area

煤矿开采或选矿完成所遗留的煤矿采场、排土场等场地。

3.2

养分增效 nutrient synergism

通过添加物理、化学或生物材料提升土壤养分。

3.3

新生态菌群 novel ecological microbial community

针对煤矿尾矿区筛选出的高效解磷、解钾、固氮菌群辅以耐盐碱、耐干旱或耐低温等功能菌定殖的辅助菌种而形成的生态菌群。

3.4

适生性物种 habitat-suitable plant species

在特定环境条件下能够良好生长的植物物种。

3.5

经济性物种 economically valuable plant species

在单位面积或单位时间内能产生一定经济效益的植物物种。

4 养分增效技术

4.1 土壤养分调查及肥力评估

4.1.1 土壤养分调查

4.1.1.1 样品采集要求如下：

- a) 分别于不同季节在煤矿尾矿区采集土壤样品,利用 5 点法进行土壤样品采集,采样深度 10 cm~20 cm, 采集样品应按照 GB/T 36199 中的规定进行;
- b) 在每个采样点周边收集多个样品, 去除大颗粒石块及根系后过 20 目筛, 混合成一个混合样, 操作按照 GB/T 36197 规定进行;
- c) 样本预处理按照 GB/T 42363 规定进行。

4.1.1.2 土壤养分指标测定按照 NY/T 1121 执行。

4.1.2 煤矿尾矿区土壤肥力评估

依据第4.1.1.2条的测定结果, 对照表1中的土壤养分分级指标, 评估煤矿尾矿区土壤的养分等级。

表 1 土壤养分分级

指标	I	II	III	IV	V	VI
	极丰富	丰富	较丰富	适量	贫乏	极贫乏
有机质 (g/kg)	>40	30~40	20~30	10~20	6~10	<6
全氮 (g/kg)	>2	1.5~2	1~1.5	0.75~1	0.5~0.75	<0.5
全磷 (g/kg)	>1	0.8~1	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2
全钾 (g/kg)	>25	20~25	15~20	10~15	5~10	<5
碱解氮 (mg/kg)	>150	120~150	90~120	60~90	30~60	<30
有效磷 (mg/kg)	>40	20~40	10~20	5~10	3~5	<3
速效钾 (mg/kg)	>200	150~200	100~150	50~100	30~50	<30

4.2 土壤养分增效技术

4.2.1 基本原则

根据煤矿尾矿区土壤修复与功能再生的总体目标, 土壤养分的修复等级需依据地块规划用途、生态恢复要求及技术经济可行性综合确定。通常, 土壤养分应至少恢复至适量等级 (基础水平); 若矿区后续用于高生态价值或农业生产用途, 则需根据特定要求, 将土壤养分提升至“较丰富”、“丰富”或“极丰富”等级。

4.2.2 养分量测算

对于土壤养分分级被判定为“贫乏”或“极贫乏”的煤矿尾矿区土壤, 应实施养分增效措施, 使其各项指标提升至“适量”等级。养分增效过程中所需土壤改良剂的添加量, 应依据下列公式计算确定。

$$m = (C_0 - C_1) \times s \times h \times \rho \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- m — 需施入的养分量, 单位为千克 (kg);
- C_1 — 养分增效目标值, 单位为克/千克 (g/kg);
- C_0 — 土壤本底养分含量, 单位为克/千克 (g/kg);
- S — 待修复区域的面积, 单位为平方米 (m²);
- h — 土壤改良深度, 单位为米 (m);
- ρ — 土壤容重, 单位为克/立方厘米 (g/cm³)。

$$m_1 = m / \omega \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- m_1 — 需施入的土壤改良剂的质量 (kg);
- m — 需施入的目标养分量 (kg);

ω — 所用土壤改良剂中目标养分的质量百分比(%)。

4.2.3 有机质养分增效

对于煤矿尾矿区有机质含量处于“贫乏”或“极贫乏”等级的土壤，为使其有机质含量提升至“适量”养分等级标准，需施用有机堆肥。经公式(1)与(2)计算确定，有机堆肥的最低施用量应不低于 $1200 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 。

4.2.4 全氮养分增效

对于煤矿尾矿区全氮含量处于“贫乏”或“极贫乏”等级的土壤，为使其全氮含量提升至“适量”养分等级标准，需施加有机堆肥或鸟粪石等。经公式(1)与(2)计算确定，有机堆肥或鸟粪石的最低施用量应不低于 $2000 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 或 $150 \text{ kg}/667\text{m}^2$ ；

4.2.5 全磷养分增效

对于煤矿尾矿区全磷含量处于“贫乏”或“极贫乏”等级的土壤，为使其全磷含量提升至“适量”养分等级标准，经公式(1)与(2)计算确定，磷灰石或鸟粪石的最低施用量应不低于 $90 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 或 $70 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 。

4.2.6 全钾养分增效

对于煤矿尾矿区全钾含量处于“贫乏”或“极贫乏”等级的土壤，为使其全钾含量提升至“适量”养分等级标准，经公式(1)与(2)计算确定，云母粉或钾长石粉的最低施用量应不低于 $4000 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 。

4.2.7 碱解氮养分增效

4.2.7.1 对于碱解氮“贫乏”或“极贫乏”煤矿尾矿区，土壤碱解氮至适量养分等级标准，根据公式(1)、(2)计算，有机堆肥最低施用量 $250 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 或尿素 $6 \text{ kg}/667\text{m}^2$ ，同时添加适量的固氮新生态菌群。

4.2.7.2 对于碱解氮含量处于“贫乏”或“极贫乏”等级的煤矿尾矿区土壤，为使其碱解氮指标提升至“适量”等级，经公式(1)与(2)计算确定，碱解氮补充量可通过施用有机堆肥（最低推荐量： $250 \text{ kg}/667\text{m}^2$ ）或尿素（最低推荐量： $6 \text{ kg}/667\text{m}^2$ ）实现，同时配合添加适量的固氮新生态菌群。

4.2.8 有效磷养分增效

对于有效磷含量处于“贫乏”或“极贫乏”等级的煤矿尾矿区土壤，为使其有效磷指标提升至“适量”等级，经公式(1)与(2)计算确定，应施用 $0.36 \text{ kg}/667\text{m}^2 \sim 1.73 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 的磷肥，如鸟粪石、磷灰石或钙镁磷肥、复合肥等，同时施用适量的解磷新生态菌群。

4.2.9 速效钾养分增效

对于速效钾含量处于“贫乏”或“极贫乏”等级的煤矿尾矿区土壤，为使其速效钾指标提升至“适量”等级，经公式(1)与(2)计算确定，应施用 $3 \text{ kg}/667\text{m}^2 \sim 30 \text{ kg}/667\text{m}^2$ 的磷肥，如钾肥、复合肥、草木灰等，同时施用适量的云母粉或钾长石粉和解钾新生态菌群。

4.2.10 材料施加

所有物理、化学或生物材料，按照比例进行充分混合后均匀播撒于土壤表面。

5 植被恢复技术

5.1 原生植被调查

5.1.1 样方设置

5.1.1.1 根据尾矿区植被类型分布情况，合理设置样方大小、数量和布局。

5.1.1.2 草本群落：使用 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的样方。

5.1.1.3 灌木群落：使用 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的样方。

5.1.1.4 乔木群落：使用 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的样方。

5.1.1.5 在地形复杂的区域，可增加样方数量或改变样方布局以获得更准确的数据。

5.1.2 物种记录统计

5.1.2.1 根据样方设置，调查样方内植物物种，记录每种物种的学名和科属，以及其在尾矿区的空间分布特征，如不同高度、坡面位置（阴坡、阳坡等）。

5.1.2.2 统计物种丰富度和多样性指数。

5.1.2.3 记录优势物种、伴生物种。

5.1.2.4 备注各物种的经济性。

5.1.2.5 观察物种的生长情况，评估其对尾矿区的适应性。

5.2 适生及经济性植物物种筛选

5.2.1 通过相关文献调研，获取植物的分布、生长特性及经济价值等信息。结合尾矿区植被调研、当地经济植物调查初步筛选出具有经济价值的适生性植物。

5.2.2 利用种子萌发实验观察模拟在尾矿区环境的萌发率和萌发势、尾矿土培植进一步确认筛选具经济价值的适生性物种。

5.2.3 通过小规模种植和培育，记录备选植物物种，记录投入成本和产品（如生物量、挂果量等）产出数据，评估经济效益。

5.2.4 长期检测植物对生态系统的影响，包括对土壤微生物群落、土壤生物多样性、土壤养分等的影响，评估其可持续性。

5.2.5 通过以上流程确定最终的具经济价值的适生性物种。

5.3 经济型乔灌木/灌木植被群构建及恢复

5.3.1 苗木质量

5.3.1.1 所选苗木必须发育健全、长势旺盛、顶芽饱满、组织充实、根茎粗壮、根须多、无病虫害和机械损伤的一级苗。

5.3.1.2 苗木规格执行 GB 6000 中 I 级苗的标准。

5.3.2 坡地植被群构建

5.3.2.1 对于坡地，尤其是坡度大于 25° 的尾矿区坡地，水土流失严重，土壤养分和水分难以保持，选种适应性强、抗性强的矮小灌木与草本植物配置模式。

5.3.2.2 植被种植方式采取按等高线开挖定植沟（穴）或鱼鳞坑，鱼鳞坑规格按照 DB15/T 1235 规定执行。

5.3.2.3 对土壤养分贫乏或极贫乏环境，穴规格可加大为 $80\text{ cm} \times 80\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ ，每亩灌木密度 50 株~100 株，每穴施用 5 kg 有机肥和 1 kg 鸟粪石，或钙镁磷肥及解磷新生态菌群。

5.3.2.4 植物的栽植应做到根系舒展，不窝不露，栽正踩实，培土厚度应超出地面 3 cm ~ 5 cm，提倡带营养杯栽植。

5.3.3 平缓地植被群构建

5.3.3.1 对于平缓地，水土流失较轻，土壤养分和水分相对易保持，选用适生、经济价值高的植物物种。

5.3.3.2 以水平方式对尾矿去进行整地，并于土表层施以土壤改良基质与新生态菌群提升土壤生态功能。

5.3.3.3 种植适生、具有重要经济价值的乔木和灌木，种植密度 50 株/ 667 m^2 ~100 株/ 667 m^2 。

5.3.3.4 土壤按照第 4.2 条的养分增效技术施用有机堆肥或其他肥料。

5.3.3.5 林下种植具有经济价值的一年或多年生草本植物，搭配深根、浅根物种，构建近自然的物种多样性恢复模式。

5.3.4 特殊地形植被群构建

植被群构建和恢复按标准 LY/T 2770 技术规程执行。

5.4 植被快速营建及高效保育

5.4.1 栽后管理

5.4.1.1 对于乔木，依种类和质量对苗木进行定干，要求如下：

- a) 定干高大于 70 cm，距地面 60 cm 以下不留芽；
- b) 苗木定干后，涂抹发枝素或抽枝宝等，促发分枝；
- c) 灌木不进行定干管理。

5.4.1.2 宜对乔木和灌木进行追肥。根据第 4.1.2 条煤矿尾矿区土壤肥力评估结果，合理制定施肥方案，主要包括施用量、施用频次、施用时间、施用方式、施用流程等关键要素。所制定的施肥方案应具备经济、技术可行性和环境影响可接受性等条件。施肥要求如下：

- a) 基肥标准参照第 4.2 条规定；
- b) 追肥标准为 45% 复合肥 0.2 kg/穴/次；
- c) 距苗木基部 35cm~40 cm 两边开沟，沟深 20cm~25 cm；
- d) 将肥料均匀施入沟底，再回填盖满土。

5.4.1.3 需对苗木松土，松土的要求如下：

- a) 松土范围为以幼树为中心周边 1 m 见圆，深度为 8cm~10 cm，培土高度为 10 cm；
- b) 松土时须做到“三不伤、二尽、一培土”及“三深三浅”。“三不伤”即不伤根、不伤皮、不伤梢；“二尽”即根周杂草除尽、石块捡尽。
- c) “三深三浅”即树冠外围深，树兜附近浅；树大要深，树小要浅；粘土要深，沙土要浅。

5.4.1.4 苗木补种：栽后及时检查成活率，乔灌木成活率低于 75% 时，应在翌年进行补植。草本应及时补播草种。

5.4.2 水分管理

5.4.2.1 对于有一定灌溉条件的地区，如周边有水塘、河流或蓄水池等，可采用滴灌方式精准供给。在植被定植期，每周一次浇透，持续 2~3 次，提高植被成活率。在冬季土壤冻结前，浇灌一次封冻水。

5.4.2.2 无灌溉条件时，应选择雨季进行植被恢复，同时在种植穴中混入高分子保水剂，并用农作物秸秆等覆盖地表，以达到蓄水保墒效果。

5.4.3 病虫害防治

5.4.3.1 做好防范工作，禁止从疫区带入苗木。

5.4.3.2 贯彻“预防为主，综合治理”的植保方针，尽可能采用生物防治为主，化学防治科学、安全。

5.4.3.3 化学农药的选择与安全使用应符合 GB/T 8321 等相关要求。

5.4.3.4 按照栽植树种相关生产规程的病虫害防治方法进行。

参 考 文 献

[1] 国家质量技术监督局. 主要造林树种苗木质量分级: GB 6000-1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
