

ICS 01.040.65

CCS B10/14

团体标准

T/CSER 00X-2026

煤基固废人造土壤基质用于 矿山生态修复技术规范

Technical specifications for coal-based solid waste artificial soil matrix in
mine ecological restoration

(征求意见稿)

2026-XX-XX发布

2026-XX-XX实施

中关村众信土壤修复产业技术创新联盟发布

目次

| | |
|---------------------------------|----|
| 目次..... | I |
| 前言..... | II |
| 1. 范围..... | 1 |
| 2. 规范性引用文件..... | 1 |
| 3. 术语和定义..... | 2 |
| 4 煤基固废人造土壤基质制备方法..... | 5 |
| 5. 煤基固废人造土壤基质产品质量要求及检测方法..... | 6 |
| 6. 煤基固废人造土壤基质用于矿山生态修复的应用技术..... | 6 |
| 7. 环境风险评价..... | 12 |

前 言

本文件按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》规定起草。

本文件由中关村众信土壤修复产业技术创新联盟提出并归口管理。

本文件起草单位：山西大同大学、中铁二十局集团雄安建设有限公司、阿拉善盟博源银根环保科技有限公司、内蒙古旭特新能源有限公司、中铁科学研究院集团有限公司、山西赛清循环再生科技有限公司、陕西慧清源固废环保再生科技有限公司、山西交通设计院、大同兴华联合选煤有限公司、西安煊尧新材科技有限公司、河南川萍环保科技有限公司、内蒙古美旭亚铭建设工程有限公司、内蒙古依科云电子科技有限公司、福建奥邦环保科技有限公司、山西赛比克新能源有限公司、航天凯天环保科技股份有限公司、内蒙古坤能新能源科技有限公司、鸡西市融盛环保科技有限公司、宁夏新大地环保科技工程有限公司、山西赛新资源再生利用科技有限公司、内蒙古中能生态科技有限公司、金达科创（北京）能源有限公司、安徽理工大学、海南慧清源生物环保科技有限公司、山西鸿宇固废资源化利用科技有限公司、太原市鹏森技术服务部、内蒙古农业大学、内蒙古化工职业学院、内蒙古科学技术研究院、鄂尔多斯市农牧业产业化龙头企业协会、山西师范大学、北京师范大学、西南科技大学、贵州省煤田地质局、浙江大学、新疆大学、西安交通大学。

本文件主要起草人：赵海东、畅吉庆、卢珍、李霖杰、王建伟、苏有财、任慧、胡晋川、等。

煤基固废人造土壤基质用于矿山生态修复技术规范

1. 范围

本文件规定了用于矿山生态修复的煤基固废人造土壤基质制备要求、应用技术和效果评价等内容。

本文件适用于不同种类矿山（煤炭矿山、金属矿山、建材矿山、化工矿山、稀土矿山、油气矿山等）生态修复工程中利用煤基固废人造土壤基质进行表层种植土壤重构和生态覆绿的项目。

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，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。

- GB15618-2018 土壤环境质量标准-农用地土壤污染风险管控标准
- NY/T 3036-2016 肥料和土壤调理剂水分含量、粒度、细度的测定
- NY/T 1121.2-2006 土壤检测 第2部分：土壤 pH 的测定
- NY/T 1121.16-2006 土壤检测 第16部分：土壤水溶性盐总量的测定
- NYT 1121.6-2006 土壤检测 第6部分：土壤有机质的测定
- NY/T 1121.4-2006 土壤检测 第4部分：土壤容重的测定
- ASTM D7263-21 实验室测定土壤试样密度和单位重量的标准试验方法
- HJ332-2006 食用农产品产地环境质量评价标准
- GB/T 33891-2017 绿化用有机基质
- CJ/T 340-2016 绿化种植土壤
- NY861-2004 粮食（含谷物、豆类、薯类）及制品中铅、铬、镉、汞、硒、砷、铜、锌等八种元素限量
- GB2762-2022 食品安全国家标准食品中污染物限量
- GB/T 14848-2017 地下水质量标准

- GB 5086.1 固体废物 浸出毒性浸出方法 翻转法
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB 20426 煤炭工业污染物排放标准
- TD/T 1070.1-2022 矿山生态修复技术规范 第1部分：通则
- TD/T 1070.2-2022 矿山生态修复技术规范 第2部分：煤炭矿山
- TD/T 1070.3-2022 矿山生态修复技术规范 第3部分：金属矿山
- TD/T 1070.4-2022 矿山生态修复技术规范 第4部分：建材矿山
- TD/T 1070.5-2022 矿山生态修复技术规范 第5部分：化工矿山
- TD/T 1070.6-2022 矿山生态修复技术规范 第6部分：稀土矿山
- TD/T 1070.7-2022 矿山生态修复技术规范 第7部分：油气矿山
- TD/T 1036-2013 土地复垦质量控制标准
- GB/T 43933-2024 金属矿土地复垦与生态修复技术规范
- GB/T 43934-2024 煤矿土地复垦与生态修复技术规范
- GB/T 43935-2024 矿土土地复垦与生态修复监测评价技术规范
- GB/T 43936-2024 石油天然气项目土地复垦与生态修复技术规范

3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

煤基固废 Coal Based Solid Waste

由煤炭开采、洗选、加工、利用过程中产生的固体废弃物，包括煤矸石、煤泥、粉煤灰、炉渣、煤气化渣、脱硫石膏等。

3.2

煤基固废人造土壤基质 Coal-based Solid Waste Artificial Soil Matrix

以煤基固废为主要原料，配以多种原材料如有机物料、微生物菌剂及功能性

助剂等，通过人工工艺制备而成的，用于替代土壤、增加土壤肥力或修复受损土地的材料。

3.3

土壤基质功能性助剂 Functional Additives for Soil Matrix

用于激活煤基固废原料中的养分元素，调节人造土 pH 值，钝化重金属离子，改善土壤结构的材料，提高土壤有机质含量和养分水平。主要成分为有机酸类调节剂，重金属钝化剂，无机-有机粘结剂、保水剂、微生物菌剂等。

3.4

矿山生态修复 Mine ecological restoration

指依靠自然力量或通过人工措施干预，对因矿产资源开采活动造成的地质环境破坏，土地损毁和植被破坏等矿山生态问题进行修复（措施包括：地貌重塑、表层种植土壤重构、生态覆绿等），使矿山地质环境达到稳定，损毁土地得到复垦利用，生态系统功能得到恢复和改善。

3.5

地貌重塑 Landform reshaping

根据矿山地形地貌破坏方式与损毁程度，结合消除原有地形地貌的特点，保证消除地质环境问题和水土流失隐患，通过塌陷区治理、矿坑填埋、固废堆场土地复垦、填沟造地等土地整形措施，形成与周边地貌景观相协调的新地貌。

3.6

塌陷区治理 Treatment of Subsidence Areas

针对矿山开采活动引发的地表塌陷区域，采用煤基固废人造土壤基质进行填充、铺垫及土壤重构的修复作业。其核心目的为消除塌陷隐患、恢复区域地形稳定性，并为后续生态恢复或土地再利用创造基础条件。

3.7

矿坑填埋 Mine Pit Filling

利用煤基固废中粗颗粒（不含或少含有机碳）部分作为主要材料对矿山开采形成的露天矿坑（含浅部矿坑）进行填埋、压实，然后采用较细粒且富含有机碳部分加工而成的煤基固废人造土壤基质进行表层处理的修复工程。

3.8

固废堆场土地复垦 Land Reclamation of Solid Waste Storage Sites

针对矿山生产过程中产生的煤矸石、尾砂、矿渣、废石等固体废物无序堆存形成的堆场，通过削坡整形、固废稳定化处理、铺设隔离层及土壤层等技术手段，将其恢复为可利用土地（如耕地、林地、建设用地等）的生态修复过程。

3.9

填沟造地 Fill Ditches and Reclaim Land

利用矿山固废（如胶结固化后的尾砂、压实后的煤矸石等）作为填充材料，对矿山区域内的天然冲沟、废弃采石沟等低洼地貌进行分层填充、压实后，采用煤基固废人造土壤基质进行表层生态改良，使其转变为具备稳定承载能力和生态功能的可用土地的修复方式。

3.10

表层种植土壤重构 Surface Planting Soil Reconstruction

以不同种类矿山（煤炭矿山、金属矿山、建材矿山、化工矿山、稀土矿山、油气矿山等）生态修复工程中利用煤基固废人造土壤基质进行表层种植土壤重构和生态覆绿的项目生态修复和土地生产力恢复为目标，通过物理改良、化学调理、生物活化等技术手段，将煤基固废人造土壤基质为主要原料，搭配熟土、有机肥、微生物菌剂等材料，按一定配比混合、分层铺设、压实成型，构建出满足植物生

长所需的矿山表层（通常为 0.2-1 m 范围）土壤结构、养分条件、保水保肥能力的人工种植土层的过程。

3.11

生态覆绿 Ecological Greening

在经土壤重构或地形整治后的矿山修复区域，选择耐贫瘠、耐干旱、抗逆性强的乡土植物或固坡植物，通过播种、移栽、喷播等方式进行植被覆盖，结合生态毯、土工格栅、锚固桩等工程防护措施，实现水土保持、边坡稳定、生态系统逐步恢复的技术手段。

4 煤基固废人造土壤基质制备方法

4.1 原料要求

人造土壤基质的研发须遵循土壤的物质组成和自然特性、遵循土壤生态系统的自然规律，优化“矿物质-有机质-微生物”这三者的质量、数量、及其相互关系。煤基固废以“无机矿物质”为主要成分，具有“成土母岩”的特性，可以与有机质和微生物复合、加工生产成为“人造土壤基质”产品。人造土壤基质的生产对原料的要求为：酸碱度 pH 值 ≤ 8.5 、水溶性盐含量 ≤ 2.5 g/kg、粒度尺寸 ≤ 5 mm、重金属含量及浸出毒性应符合相关环保要求，其用于制备人造土壤基质后，基质成品及修复区土壤的重金属含量应满足 GB15618-2018 规定的风险筛选值。。

4.2 煤基固废人造土壤基质制备流程

1) 原材物理化性质检测：所有煤基固废使用前均需要检测其酸碱度、盐分含量、重金属含量，如果存在超标的指标，必须进行前期处理（固定、钝化、中和、酸浸、水洗等），重金属不达标的煤基固废不得作为原料进行使用。

2) 测土配方：对待修复的矿山地区进行取样检测，包括：pH 值、水溶性盐含量、电导率值、氮磷钾含量、有机质含量、重金属含量、土壤容重、土壤干密度、土壤湿密度、有效土层厚度、砾石含量、生产力水平等，确定待修复区域实

际情况以及土壤缺少的养分，针对性的设计煤基固废人造土壤基质的配方。

3) 煤基固废人造土壤基质的制备：将符合原料要求的固废原料，按照配方设计，配入矿源腐植酸、秸秆等发酵后有机物料和适合的微生物菌剂，进行复混，喷洒土壤基质功能性助剂，搅拌均匀，静置稳定化 ≥ 2 h，自然晾干后得煤基固废人造土壤基质产品。

4) 包装和存贮：经检测合格的煤基固废人造土壤基质产品按照 25 kg 包装袋分装或者采用吨包装袋包装，存贮和运输过程中避免淋雨和浸水。

5. 煤基固废人造土壤基质产品质量要求

5.1 外观及感官

均匀灰色或黑色粉末及颗粒混合物，无明显块体，无异味。

5.2 技术指标

利用煤基固废为原料制备的人造土壤基质产品技术指标应符合表 1 要求。

表 1 煤基固废人造土壤基质产品技术指标

| 项目 | 单位 | 检测依据 | 指标 |
|---------------|-------------------|-------------------|------------|
| pH 值 | - | NY/T 1121.2-2006 | 6.5-8.5 |
| 水溶性盐含量 | g/kg | NY/T 1121.16-2006 | ≤ 2.0 |
| 有机质含量 | g/kg | NYT 1121.6-2006 | ≥ 15 |
| 粒度 (0-5.0 mm) | % | NY/T 3036-2016 | ≥ 90 |
| 容重 | g/cm ³ | NY/T 1121.4-2006 | 1.0-1.4 |

5.3 限量要求

利用煤基固废为原料制备的人造土壤基质产品重金属汞、砷、镉、铅、铬元素限量应符合表 2 要求，即 GB15618-2018 土壤环境质量标准-农用地土壤污染风险管控标准限量要求。

表 2 煤基固废人造土壤基质产品重金属限量要求

| 序号 | 污染物项目 ^{a,b} | | 风险筛选值 (mg/kg) | | | |
|----|----------------------|----|---------------|------------|------------|--------|
| | | | pH≤5.5 | 5.5<pH≤6.5 | 6.5<pH≤7.5 | pH>7.5 |
| 1 | 镉 | 水田 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
| | | 其他 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.6 |
| 2 | 汞 | 水田 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 1.0 |
| | | 其他 | 1.3 | 1.8 | 2.4 | 3.4 |
| 3 | 砷 | 水田 | 30 | 30 | 25 | 20 |
| | | 其他 | 40 | 40 | 30 | 25 |
| 4 | 铅 | 水田 | 80 | 100 | 140 | 240 |
| | | 其他 | 70 | 90 | 120 | 170 |
| 5 | 铬 | 水田 | 250 | 250 | 300 | 350 |
| | | 其他 | 150 | 150 | 200 | 250 |
| 6 | 铜 | 水田 | 150 | 150 | 200 | 200 |
| | | 其他 | 50 | 50 | 100 | 100 |
| 7 | 镍 | | 60 | 70 | 100 | 190 |
| 8 | 锌 | | 200 | 200 | 025 | 300 |

^a 重金属和类金属砷均按元素总量计。
^b 对于水旱轮作地，采用其中较严格的风险筛选值。

6. 煤基固废人造土壤基质用于矿山生态修复的应用技术

6.1 矿山生态修复方法

6.1.1 地貌重塑

针对不同矿山类型（煤炭矿山、金属矿山、建材矿山、化工矿山、稀土矿山、油气矿山等）的特点，通过塌陷区治理、矿坑填埋、固废堆场土地复垦、填沟造地、边坡修理等工程措施重塑地形，形成与周边地貌景观相协调的新地貌，地形坡度不做规，完成道路修建。

(1) 地貌重塑的操作要点见表 3。

表 3 地貌重塑的操作要点

| 修复类型 | 操作要点 |
|-------|------------------------------------|
| 塌陷区治理 | 1.稳定塌陷区,分层回填压实固废基填充材料,对于高度在0.5-1 m |

| 修复类型 | 操作要点 |
|----------|---|
| | 的塌陷区可直接填充煤基固废人造土壤基质； 2.按TD/T 1070.4的规定铺复合防渗层，设集排水盲沟； 3.边坡应 $\leq 1:2.5$ ，且用生态毯、土工格栅及固坡植物防护； 4.周边挖截洪沟，低洼处设蓄水池 |
| 矿坑填埋 | 1.固废基填充材料分层回填压实，优先选用原生尾矿； 2.坑底坑壁铺防渗结构，导排渗滤液至处理系统； 3.边坡修阶梯式（ $\leq 1:3$ ），设防滑平台及固土植物； 4.坑口设环形浆砌石截洪沟防倒灌 5.按GB 5086.1规定的方法对煤基固废人造土壤基质进行浸出试验，对填埋区域按GB 18599、GB 20426的规定采取防渗透的技术措施 |
| 固废堆场土地复垦 | 1.清理整治固废，筛分后分层压实作填料； 2.铺设防渗体系，防渗层外延1 m~2 m； 3.边坡 $\leq 1:2$ ，用土工格栅及柠条等植物固坡； 4.设截洪沟连排水系统，堆体表面做2%~3%排水坡 |
| 填沟造地 | 1.清理沟体，整坡平沟底并铺碎石排水垫层； 2.分层回填固废基填充材料，压实后构筑天然防渗层或者铺土工布，沟侧铺HDPE膜防渗； 3.沟壁边坡 $\leq 1:2.5$ ，用生态毯、锚固桩及乡土植物防护； 4.上游设煤矸石截洪坝，沟底设纵向盲沟连下游水系 |

(2) 进行地貌重塑时，应对填埋区域采取防渗措施，具体如下：

1) 按 GB 5086.1 的规定对固废基填充材料/煤基固废人造土壤基质进行浸出试验，按 GB 18599、GB 20426 的规定对填埋区域采取防渗透的技术措施；

2) 防渗层的构建可以利用饱和渗透系数不大于 1.0×10^{-5} cm/s，且厚度不小于 75 cm 的天然黏土/固废基胶凝材料，或整合连续基岩防渗层，构建天然防渗阻隔材料层。

3) 当天然黏土层/固废基胶凝材料/整合连续基岩饱和渗透系数大于 1.0×10^{-5}

cm/s，且厚度小于 75 cm 时，应采用铺 HDPE 膜防渗。

(3) 做防渗工程的填充场地应定期检查维护防渗工程，定期监测地下水水质，发现防渗功能下降，应及时采取疏堵结合的导排维护措施。

6.1.2 表层种植土壤重构

进行表层种植土壤重构的方法步骤如下：

(1) 将煤基固废人造土壤基质抛撒平铺于表层地面，厚度为 0.2-1 m。（用量见 6.2）；

(2) 机械深翻 30 cm 以上，旋耕机混匀；

(3) 完成表层种植土壤重构后，陈化稳定 2 d~3 d 后即可开始种植。

6.1.3 生态覆绿

在地貌重塑和表层种植土壤重构完成后，应进行生态覆绿，生态覆绿分为绿化生态种植（根据场地条件，筛选出根系发达，固氮能力强，生长速度快，播种栽植容易，成活率高，病虫害少，抗水土流失能力强，易管护的适生植物和先锋植物）、农业生态种植（当地常规作物和适应性强的经济作物）、工业种植（工业用玉米等，可直接用于制备甲醇和乙醇）。

6.2 不同使用类型土地的修复用量

煤基固废人造土壤基质应结合修复后土地使用类型施用，本标准所指修复用量是针对表层（0.2 m~1.0 m）种植土壤重构，具体修复用量及要求参照 TD/T 1036-2013 执行：

a) 场地修复后用作耕地，有效表土厚度不小于 40 cm，土壤质地以砂壤土和砂质黏土为主；

b) 场地修复后用作园地，有效表土厚度不小于 40 cm，土壤质地以砂壤土和砂质黏土为主；

c) 场地修复后用作林地，有效表土厚度不小于 20 cm，土壤质地以砂土和粉黏土为主；

d) 场地修复后用作草地，有效表土厚度不小于 20 cm，土壤质地以砂土和壤

质黏土为主；

e) 对存在土壤污染的场地，应对污染场地进行先导治理或协同治理，使其达到土壤环境质量相关标准和要求。

6.3 修复效果要求

(1) 对修复后的矿山取混合土壤样品进行检测，应符合以下要求：

- 1) pH 值为 6.0~8.5；
- 2) 水溶性盐含量 ≤ 2.0 g/kg；
- 3) 土壤容重为 ≤ 1.45 g/cm³；
- 4) 砾石含量 $\leq 20\%$
- 5) 含水率为 20%~25%；

6) 重金属含量符合 GB15618-2018《土壤环境质量标准-农用地土壤污染风险管控标准》的要求。

(2) 在修复后的矿山上种植的农产品应符合 GB 2762-2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的要求。

7. 环境风险评价

7.1 评价方法

按 GB/T 43935-2024《矿山土地复垦与生态修复监测评价技术规范》的规定进行。

7.2 评价内容

包括但不限于以下内容：

(1) 按 GB15618-2018《土壤环境质量标准-农用地土壤污染风险管控标准》的规定对修复后土壤进行检测；

(2) 按 GB 2762-2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》和 NY861-2004《粮食（含谷物、豆类、薯类）及制品中铅、铬、镉、汞、硒、砷、铜、锌等八种元素限量》的规定对矿山修复后种植的农产品进行检测；

(3) 按 GB/T 14848-2017《地下水质量标准》的规定对地下水环境进行检测。

注：地下水环境检测主要检测矿山修复区域内地下水中重金属含量和有毒有机物含量，与未修复区域地下水中含量相比较，判断地下水是否被污染。如出现含量明显增加的情况，应尽快排查污染原因，防止污染地下水事件发生。。

7.3 风险管控措施

(1) 修复后至少进行三年跟踪评估。

(2) 若土壤重金属超标，应追加改良剂，并重新检测。

(3) 若植被生长不良或限量元素超标，应分析原因（如缺水、养分不足），调整养护方案。

(4) 若地下水指标异常，应立即停止灌溉，排查渗漏点，采取防渗措施（如铺设土工膜）。
