

ICS 73.040
CCS D 20



中华人民共和国国家标准

GB/T 46425—2025



煤矸石山生态修复技术规范

Technical specification for ecological restoration of coal gangue piles

2025-10-05 发布

2026-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总体原则 2

5 工作流程 2

6 调查评价 3

7 生态修复工程设计 5

8 主要技术要求 6

9 监测与管护 9

附录 A (资料性) 煤矸石山自燃情况调查 11

附录 B (资料性) 煤矸石山净产酸量测量方法 13

附录 C (资料性) 煤矸石山内部自燃点位置推算模型 14

附录 D (资料性) 煤矸石山生态修复设计报告书提纲 15

附录 E (资料性) 煤矸石山植被恢复常见先锋植物 16

参考文献 22

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。

本文件由中国煤炭工业协会提出。

本文件由全国煤炭标准化技术委员会(SAC/TC 42)归口。

本文件起草单位：中国矿业大学、重庆地质矿产研究院、中国矿业大学(北京)、重庆华地资环科技有限公司、山东省鲁南地质工程勘察院(山东省地质矿产勘查开发局第二地质大队)、平安煤炭开采工程技术研究院有限责任公司、中国地质环境监测院、中煤天津设计工程有限公司、内蒙古黄湾勒蒙煤炭有限责任公司。

本文件主要起草人：胡振琪、马磊、毛隼、李满意、赵艳玲、卢小海、陈洪年、徐燕飞、司洪涛、宋刚、张明鹏、王议、赵平、冯昊、薄怀志、廖清发、白光宇、李大海、朱冬雪、杨致宇、郑国栋、曹银南、李兵、贾孟超、乔雯、胡林、白波、徐召雷。

煤矸石山生态修复技术规范

1 范围

本文件规定了煤矸石山生态修复的总体原则、工作流程、调查评价、生态修复工程设计、主要技术要求、监测与管护等要求。

本文件适用于煤矸石山的生态修复工作,其他类似矿山固废堆场的生态修复工作参照执行。

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/T 214 煤中全硫的测定方法
GB 3095 环境空气质量标准
GB 3838 地表水环境质量标准
GB/T 7930 1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量内业规范
GB/T 7931 1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范
GB/T 14848 地下水质量标准
GB/T 15555.1 固体废物 总汞的测定 冷原子吸收分光光度法
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 15781 森林抚育规程
GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
GB/T 26424 森林资源规划设计调查技术规程
GB/T 32864 滑坡防治工程勘查规范
GB/T 33687 煤矸石检验通则
GB/T 34230 煤和煤矸石淋溶试验方法
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 37067 退化草地修复技术规范
GB/T 38360 裸露坡面植被恢复技术规范
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
GB 50021 岩土工程勘察规范
HJ/T 20 工业固体废物采样制样技术规范
HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范
HJ 164 地下水环境监测技术规范
HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
HJ 194 环境空气质量手工监测技术规范
HJ 557 固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法

- HJ 761 固体废物 有机质的测定 灼烧减量法
- HJ 781 固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法
- LY/T 1820 野生植物资源调查技术规程
- LY/T 2991 煤矸石山生态修复综合技术规范
- TD/T 1070.1 矿山生态修复技术规范 第 1 部分:通则
- TD/T 1092 矿山生态修复工程验收规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

煤矸石山 coal gangue piles
集中堆存煤矸石的场所。

3.2

煤矸石净产酸量 net acid generation of coal gangue;NAG of coal gangue
煤矸石经过充分氧化反应后产生的、以 H_2SO_4 计量的酸当量。

3.3

煤矸石山生态修复 ecological restoration of coal gangue piles
依靠人工支持引导和自然恢复力,采取修复措施,对煤矸石堆积引发的灾害隐患得到消除、煤矸石山得到复垦利用、生态系统功能得到恢复或改善的活动。
[来源:GB/T 43934—2024,3.1,有修改]

4 总体原则

4.1 安全优先

采用技术和管理手段,防范自燃火灾、边坡垮塌等灾害事故的发生,保障人身、财产和环境安全。

4.2 因地制宜

根据不同地区的自然条件、生态环境、资源状况和经济发展状况,针对原始压占地貌及煤矸石堆积复合地貌,采取相应的生态修复措施,确保生态修复目标与当地社会经济发展相适应,生态修复工作与当地的生态环境相协调并有利于区域生态环境状况稳定提升。

4.3 分区治理

根据煤矸石山灾害隐患以及生态环境问题调查与评价结果,进行合理分区,并选择适配的生态修复技术科学治理,达到长效稳定的目的。

5 工作流程

在煤矸石山调查评价的基础上,开展生态环境问题识别与评价,进行生态修复工程设计,确定修复目标,选择适配的生态修复技术,形成设计成果,经施工、验收后,做好监测与管护。具体工作流程见图 1。

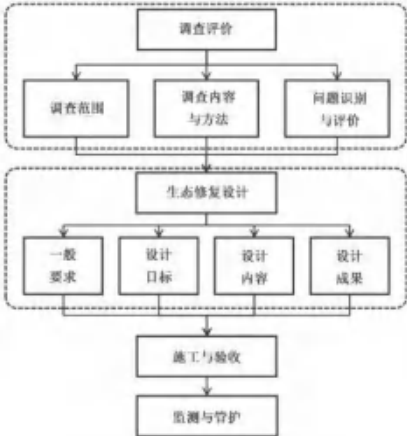


图 1 工作流程

6 调查评价

6.1 调查范围

调查范围包括煤矸石山以及周边可能受到影响的区域。一般依据煤矸石堆存量、煤矸石山形状、当地气候条件、地质水文条件等综合确定。

6.2 调查内容与 方法

- 6.2.1 调查内容包括但不限于基本情况调查、问题调查等。
- 6.2.2 基本情况调查内容包括但不限于：煤矸石压占区土地资源、地质环境、周边自然条件、煤矸石理化性质、煤矸石山堆置和排放利用情况。
- 6.2.3 问题调查内容包括但不限于：煤矸石山可能存在的稳定性、自燃、产酸等隐患，以及周边环境敏感点、周边环境可能存在的污染。
- 6.2.4 具体调查内容与 方法见表 1。

表 1 煤矸石山调查内容与 方法

调查内容		调查方法
周边自然条件与地质环境	地形地貌、降水、蒸发、地表水系、日照、温度、气压、最大冻土深度、无霜期、风向风速等	资料收集
	周边水文地质、矿山地质环境、水土流失情况、可用土壤类型、生态系统类型结构	按照 TD/T 1070.1 执行
	植被状况调查	按照 GB/T 26421 或 LY/T 1820 执行
	“三区三线”要求	资料收集

表 1 煤矸石山调查内容与方法（续）

调查内容		调查方法
煤矸石理化性质	工作组织、采样、制样、样品保存和样品分析	工作组织、采样、制样、样品保存按照 HJ/T 20 执行。样品分析应符合 GB/T 33687 中规定的准则
	有机质	有机质分析按照 HJ 761 执行
	全硫	全硫分析按照 GB/T 214 煤中全硫的测定方法执行
	重金属(铜、砷、汞、铅、镉、铬、镍、锌)	按照 HJ 557 或 GB/T 34230 规定的方法获得浸出液,重金属(铜、砷、汞、铅、镉、铬、镍、锌)的测定按照 HJ 781 执行
	汞	按照 HJ 557 或 GB/T 34230 规定的方法获得浸出液,汞的测定按照 GB/T 15555.1 执行
堆存利用情况	地理坐标、投影面积、体积	无人机测绘,比例尺不小于 1:1 000,按照 GB/T 7930、GB/T 7931 执行
	煤矸石山形状、所占地质地貌、方量、矸石山底部水文地质条件、堆存利用方式、起止时间以及历史治理状况	资料收集
污染特征调查	土壤污染情况	按照 HJ/T 166 规定,根据立地条件和工程设计要求测定相应的调查项目
	地表水污染调查	若煤矸石山周边 1 km 范围内有流经的地表水,应进行地表水污染调查。应在地表径流的上、下游进行采样,采样方法按照 HJ 91.2 执行。按照 GB 3838 中规定的地表水基本项目分析方法测试相应调查项目
	地下水污染调查	煤矸石山所在区域浅层地下水埋藏深度小于 15 m 时应调查地下水的污染情况。依据地下水的流向进行监测点的布设。采样点分别位于煤矸石山地下水流向上游、侧向两侧布设各不少于 1 个;下游不少于 2 个监测点,采样方法按照 HJ 164 执行。按照 GB/T 14848 中规定的地下水质量检测指标推荐分析方法测试相应的调查项目
	大气质量监测	在煤矸石山上风向设置对照监测点,在煤矸石山下风向距离煤矸石山边界 500 m 内的环境敏感点设置监测点,采用手工采样时,按照 HJ 194 规定的方法进行采样,按照 GB 3095 给出的方法进行测试分析
稳定性	地质灾害调查	按照 GB/T 32864 和 GB 50021 执行
	是否发生过滑坡、泥石流、溃坝等灾害事件	资料收集、现场踏勘、访谈相结合
自燃情况	调查煤矸石山外表现象、测量表面和内部温度	煤矸石山自燃情况调查方法见附录 A
	是否发生过自燃事件	资料收集、现场踏勘、访谈相结合
酸性情况		采集煤矸石样品,风干、磨碎,过 1 mm 筛,测量煤矸石净产酸量。煤矸石净产酸量测量方法见附录 B

6.3 生态环境问题识别与评价

6.3.1 稳定性问题识别与评价

根据调查结果开展稳定性问题识别与评价。煤矸石山的稳定性问题主要涉及边坡失稳(滑坡、崩塌)、自燃引发的结构破坏、水文条件(降雨、排水不畅)、地震影响、堆填方式(松散堆积、缺乏压实)造成的稳定性问题。按照 GB/T 32864 相关要求执行稳定性评价,根据稳定系数分为不稳定、欠稳定、基本稳定和稳定四种情况。

6.3.2 酸性问题识别与评价

根据煤矸石净产酸量的测量结果开展酸性问题识别与评价。煤矸石净产酸量 ≥ 50 为酸性煤矸石山,煤矸石净产酸量 <50 为非酸性煤矸石山。

6.3.3 自燃问题识别与评价

6.3.3.1 根据表面温度测量结果推演内部自燃点位置,结合内部温度测量结果,形成自燃区温度分布图(等温线图)。煤矸石山内部自燃点位置解算模型见附录 C。

6.3.3.2 依据煤矸石山外表现象、内部变化和自燃区温度,确定自燃发育阶段,具体见表 2。不符合表 2 中判定条件的为未自燃期。

表 2 煤矸石山自燃发育阶段判定表

判定条件			自燃发育阶段
外表现象	内部变化	自燃区温度 T	
无迹象	内部未升温	$T < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	未自燃期
无迹象,局部有返潮现象	内部缓慢增温	$T < 90\text{ }^{\circ}\text{C}$	自燃孕育期
有烟、味,局部有硫化氢或白化现象	自燃,内部快速增温	$90\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T < 280\text{ }^{\circ}\text{C}$	自燃发生期
有烟、味,有体感温度、可见明火	自燃,可燃物持续燃烧	$T \geq 280\text{ }^{\circ}\text{C}$	自燃发展期
无烟、少味,有体感温度,可见明火	可燃物减少	$T \geq 280\text{ }^{\circ}\text{C}$	自燃衰退期

6.3.4 生态修复分区

根据表 3 规则,进行生态修复分区,同一修复单元,稳定性、自燃发育阶段一致,生态修复技术措施一致。

表 3 煤矸石山生态修复分区规则表

分区要素及规则		生态修复分区
燃烧情况	稳定性情况	
未自燃期	稳定或基本稳定	安全区
	欠稳定或不稳定	危险区
自燃孕育期	稳定	隐患区
自燃发生期	基本稳定	危险区

表 3 煤矸石山生态修复分区规则表（续）

分区要素及规则		生态修复分区
燃烧情况	稳定性情况	
自然发展期	欠稳定	高风险区
自然衰退期	不稳定	
注：当自然发育阶段与稳定性对应分区不同时，按照危险级别高的确定。		

6.3.5 调查评价成果

调查评价成果包括但不限于：调查工作量统计表、调查数据表、测试分析数据、调查照片、音频视频、遥感影像图、煤矸石山周边自然条件图集、煤矸石山地形图、自燃特征调查图、自燃区温度分布图、生态修复分区图等。

7 生态修复工程设计

7.1 总则

- 7.1.1 遵循尊重科学，顺应自然，系统修复，保护环境，安全使用，技术可行，经济合理的原则。
- 7.1.2 与国土空间总体规划、矿产资源规划、国土空间生态修复规划、“三区三线”管控要求等相衔接。
- 7.1.3 以煤矸石山生态环境问题识别与评价结果为依据。
- 7.1.4 按照保证安全、恢复生态、兼顾景观的先后次序，优先治理自燃和稳定性问题，消除安全隐患，兼顾水土流失防治，最终修复近自然植被。

7.2 修复目标

- 7.2.1 消除安全隐患：治理边坡失稳、滑坡、崩塌等地质灾害，防止自燃及爆炸风险，确保场地长期稳定。
- 7.2.2 恢复生态功能：重建煤矸石山生态系统，恢复生态服务功能，实现生态系统的自我维持能力。
- 7.2.3 兼顾经济效益：通过生态修复，将煤矸石山转化为可利用的土地资源，用于农业或林业等用途，提升经济效益。

7.3 设计内容

设计内容包括但不限于：修复目标的确定，根据生态修复分区情况开展防灭火、地貌重塑、截排水与淋溶液收集处理、土壤重构、植被重建等设计，以及配套工程、监测管护、工作组织、投资概算、效益分析和保障措施等。

7.4 设计成果

生态修复设计应形成设计报告书，包括文本、附图、附表、附件等。煤矸石山生态修复设计报告书提纲见附录 D。

8 主要技术要求

8.1 防火技术要求

8.1.1 一般要求：

- a) 具有自燃倾向的酸性煤矸石山应采取防火措施；
- b) 防火技术应在火灾或地貌重塑后、土壤重构前实施；
- c) 根据煤矸石山具体情况，可选择一种或多种结合的适宜防火技术。

8.1.2 氧化抑制防火技术：

- a) 氧化抑制防火技术适用于酸性煤矸石山或其他具有自燃倾向的煤矸石山，应在地貌重塑过程中裸露煤矸石山表面使用；
- b) 氧化抑制剂一般为有机杀菌剂，可采用含有十二烷基硫酸钠或苯甲酸钠的杀菌剂。

8.1.3 阻隔层防火技术：

- a) 在地貌重塑后的煤矸石山表面使用；
- b) 宜采用素土或混合土覆盖并碾压密闭的方式形成防火阻隔层，渗透系数应 $\leq 1.0 \times 10^{-7}$ cm/s；
- c) 对于有自燃现象及倾向的煤矸石山应加强对煤矸石山顶面及坡面防火阻隔层的碾压；
- d) 对于自燃发生、发展和衰退期应增加防火阻隔层覆盖厚度及碾压强度。

8.1.4 喷射封堵防火技术：

- a) 应在煤矸石山边坡角度较大且存在施工安全风险的区域使用；
- b) 封堵材料可由玻璃纤维类物质、黏合剂、灰分(石灰、黄土、粉煤灰)和水按一定比例组成，宜添加耐火纤维和聚丙烯酰胺类阻化剂；
- c) 宜采用喷枪将防火材料均匀喷射到煤矸石山表面，通过灌注、淤积封堵的方式形成防火阻隔层，渗透系数应 $\leq 1.0 \times 10^{-7}$ cm/s。

8.2 灭火技术要求

8.2.1 一般要求：

灭火技术主要包括挖除冷却技术、表层喷浆技术、钻孔注浆技术和帷幕注浆技术，根据自燃阶段判定结果可选择一种或多种方法结合。灭火材料可采用黄土、石灰、粉煤灰等，参照 MT/T 702 相关规定。

8.2.2 挖除冷却技术：

- a) 适用于自燃衰退期且燃点相对集中的区域；
- b) 采用机械挖出自燃以及发热的煤矸石，自然冷却或采取一定的措施加快冷却。

8.2.3 表层喷浆技术：

- a) 适用于自燃发生期和自燃发展期的区域；
- b) 实施远距离表面喷浆，用于快速降温 and 抑制有害气体溢出，使自燃区域作业环境达到安全施工条件；
- c) 喷浆材料厚度不应低于 1 cm，喷浆后表层温度低于 50℃。

8.2.4 钻孔注浆技术：

- a) 适用于表层喷浆后达到安全施工条件的区域和自燃衰退期的区域；
- b) 通过钻孔注浆封堵燃烧区，自流注浆孔距一般为 100 cm，压力注浆孔距一般为 200 cm，呈品字形分布；
- c) 根据自燃区温度分布特征，应先注浆外围低温区，待高温区降温后再向燃烧核心区收缩注浆范围，逐步平抑燃烧区的温度梯度；
- d) 注浆时应留出不少于 30% 的注浆孔作为排气管释放热气，根据排气压力下降程度判断内部降温情况；
- e) 灭火浆液参数参照 MT/T 702 相关规定选择。

8.2.5 帷幕注浆技术：

- a) 可在注浆灭火后形成高密度连续或非连续柱体，阻隔水气在疏密层间流动及软弱层错动；

- b) 对于顺坡堆放易发生滑坡的区域,可在钻孔注浆之后进行帷幕注浆,以便形成抗滑桩;
- c) 对于钻孔注浆后表面温度已降至常温,依然继续注入的区域,宜采用帷幕注浆,达到封闭火点的目的。

8.3 地貌重塑技术要求

- 8.3.1 对坡度大于 35° 、易风化煤矸石山坡面应采取削坡措施,应削坡至安全稳定状态;单级坡斜长不应超过30 m,坡高宜6 m~8 m。具体参照GB 51018执行。
- 8.3.2 各级边坡间应设置宽度不小于2 m的道路。根据需要在道路内侧设置挡墙,酸性或具有自燃倾向的煤矸石山挡墙内侧宜采用阻隔层防火。
- 8.3.3 边坡防护措施参照GB 50330及GB 50433执行。
- 8.3.4 对于不具备削坡条件的坡面,可采用反坡水平阶、鱼鳞坑等水土保持措施。
- 8.3.5 对马蹄坑、燃烧穴、塌陷坑等可采用反压坡脚的方式降坡。
- 8.3.6 施工时,应按照由上而下的顺序进行,反压坡脚与削坡相结合,以平衡挖填方量。

8.4 截排水与淋溶液收集处理技术要求

8.4.1 截排水技术

根据煤矸石山现状和周围地形情况布设截排水系统,宜采用可消解不均匀沉降的柔性结构等措施,可参考GB 51018和GB/T 16453.4中的有关规定。

8.4.2 淋溶液管控技术

对于新建的煤矸石山,应建设淋溶液导排系统和阻隔结构,淋溶液需集中收集处置达标后排放,按照GB 18599要求执行。

8.5 土壤重构技术要求

- 8.5.1 非酸性煤矸石山在地貌重塑后需重构土壤,酸性煤矸石山在防火阻隔层之上重构土壤。
- 8.5.2 根据生态修复方向和可用土源数量以及目标植被,确定全面覆土尺度和穴植配土方式。
- 8.5.3 根据生态修复方向确定全面覆土厚度和土壤剖面结构。修复方向为耕地、园地的有效表土厚度应不低于50 cm,宜采用表土+自然土剖面结构;修复方向为林地、草地的有效表土厚度应不低于30 cm,土壤质地、砾石含量、有机质含量、pH值、土壤容重等指标按照T13/T 1070.1的相关要求执行,农用地土壤满足GB 15618要求。
- 8.5.4 对于降雨条件充足、可用土源缺乏、生态修复方向为乔木林地的区域,可采用穴植配土方式种植乔木,配土数量依据种苗类型、大小、自然条件确定。
- 8.5.5 土源宜使用自然土,若缺乏自然土可使用表土替代材料,质量应符合GB 15618和GB 36600要求。
- 8.5.6 通过新技术,将煤矸石转化为适合农作物、经济作物、植物生长的土壤,重构土壤厚度应不小于50 cm。

8.6 植被重建技术要求

8.6.1 物种选择

8.6.1.1 按照以下原则进行植物筛选:

- a) 优先选择乡土植物;
- b) 应在土壤碳素水平缺乏地区优先选择固氮植物;

b)

- e) 植被应与当地气候、水土条件相适应；
- d) 自燃煤矸石山治理后应筛选具有抗逆性强的植物；
- e) 酸性煤矸石山应筛选具有较高的酸性抵抗力的植物；
- f) 酸性煤矸石山生态修复植物筛选宜考虑覆土厚度，保证根系不破坏阻隔层，与防灭火治理技术相适应。

8.6.1.2 植物筛选标准参照 GB/T 38360 或 GB/T 15776 执行。推荐植物见附录 E。

8.6.2 群落配置

8.6.2.1 植物种群一般采用灌草混交模式为主。

8.6.2.2 设置防火隔离层、坡面、干旱缺水条件等区域不应种植乔木。

8.6.2.3 坡面可采用灌草混交模式，灌木沿等高线种植。

8.6.2.4 在覆土较厚的平台区域、坡脚等，可按一定间距种植乔木。

8.6.3 植被种植技术

8.6.3.1 平台区域的植物种苗筛选、处理与施肥，以及种植点配置、播种与栽植等，应符合 GB/T 15776 的规定。

8.6.3.2 边坡区域应根据生态修复目标和边坡条件，可结合使用植物纤维毯覆盖技术、植生袋堆码技术、客土喷播技术等。施工技术按照 GB/T 38360 的规定执行。

8.7 配套工程

8.7.1 道路工程

宜依托煤矸石山生态修复工程布设，在满足监管、施工、运输功能的前提下，根据修复方向进行道路的规划和布设。

8.7.2 灌溉工程

宜以煤矸石山生态修复工程设计供水系统为基础，在满足供水功能的前提下，根据实际需要，结合修复方向进行规划、布设。灌溉应符合 GB/T 15776 规定，灌溉时避免冲刷，严格禁止漫灌。

8.7.3 供电工程

宜以煤矸石山生态修复工程设计电力需求为基础，在满足电力系统功能正常运行的前提下，根据修复工程实际需求进行规划和布设，并考虑未来的节能改造与技术升级。

8.8 工程验收

生态修复工程验收按照 TD/T 1092 和 LY/T 2591 的相关要求执行。自燃矸石山的表土温度应不大于环境基准温度 10℃。

9 监测与管护

9.1 监测技术

9.1.1 自燃监测

管护期内每半年监测 1 次，应在修复前的高温异常区预埋设内部温度监测点。

9.1.2 稳定性监测

煤矸石山的稳定性监测按照 GB/T 43935 的相关要求执行。

9.1.3 生态监测

管护期内按照 GB/T 43935 的相关要求对煤矸石山生态修复效果进行监测。

9.1.4 环境监测

管护期内每年进行 2 次空气质量监测,每年进行 1 次进行土壤、地表水、地下水环境质量监测。具体方法见 6.2。

9.2 监测评价

稳定性监测评价、生态监测评价按照 GB/T 43935 执行,自燃监测评价见附录 A 与 6.3.3。

9.3 管护

9.3.1 管护周期

管护周期一般为 3 年~5 年,可根据当地自然条件、植物种群、修复方向等按合同约定时期管护。

9.3.2 工程管护

针对稳定性治理工程、淋溶液防控工程、配套设施等巡视检查,发现变形破坏应及时修补或维修。

9.3.3 植被管护

管护内容除按照 TD/T 1070.1 要求执行外,还应根据煤矸石山特点,分区制定管护周期和重点管护内容。管护措施按照 GB/T 15776、GB/T 15781、GB/T 37067、GB/T 43934、TD/T 1070.1 执行。

附录 A (资料性) 煤矸石山自燃情况调查

A.1 外表现象调查

采用肉眼观测煤矸石山表面可见的自燃特征,包括明火、烟雾、硫化斑、枯死斑、干化斑、白化斑、返潮湿斑等发生的区位;嗅觉判断是否有硫化物的味道;体感判断是否有温度升高等。

以煤矸石山地形图为基础,记录表面自燃特征发生点位并详细阐述特征,形成煤矸石山表面自燃特征调查图。

A.2 表面温度测量

A.2.1 总则

煤矸石山表面温度测量方法包括点温度实地测量法和无人机法。煤矸石山投影面积小于 $10\,000\text{ m}^2$ 的可采用点温度实地测量法;大于 $10\,000\text{ m}^2$ 宜采用无人机法。

A.2.2 点温度实地测量法

A.2.2.1 可采用热电偶、手持红外测温仪、红外照相机等温度测量仪器。

A.2.2.2 应在待测量区域布置网格形式测温网,测温点间距宜为 $5\text{ m}\sim 10\text{ m}$,在山体地形特征点和温度明显异常区域应加测温度点。每个温度测点应采用米级精度以上的定位设备进行点位坐标的测量和标定。利用温度测量仪器测量测温点表面温度,对比环境基准温度,得出表面温度相对值,以此划定煤矸石山表面温度异常区域。

A.2.3 无人机法

A.2.3.1 宜选用搭载热红外传感器、可见光传感器或多波段结合传感器的无人机获取影像数据或波谱数据,可见光影像重合度应不低于 80% ,分辨率不低于 4 cm/pixel ,热红外影像分辨率不低于 13 cm/pixel ,航摄时间宜取正午前后各 2 h 。

A.2.3.2 飞行平台:

- a) 应具备足够的载荷能力,在保障飞行安全的前提下,电池、有效载荷及其辅助系统等安装空间充足,不遮挡视场,不影响接线和装卸存储卡等操作;
- b) 应搭载稳定云台,且云台运动范围内传感器无遮挡现象,并且具备 4 级风力条件下的安全飞行能力;
- c) 应选择巡航速度低的类型,保证像移和运动变形在较小的范围内,其中对应的平均像移不应大于 0.5 个像素,地形最高点最大像移不应大于 1 个像素;
- d) 应具备自动驾驶仪和测姿定位系统,具有记录和下载实际曝光点位置和姿态等信息的功能。

A.2.3.3 航摄数码相机:

- a) 相机镜头应为定焦镜头,且对焦无限远;
- b) 镜头与相机机身、成像探测器三者之间有稳固连接;
- c) 相机应具备曝光信号反馈功能;
- d) 航向视场角不小于 42° ;
- e) 原始影像宜为无压缩方式存储,以压缩方式存储时,压缩倍率不应大于 10 倍。

A.2.4 表面温度测量步骤

表面温度测量步骤如下：

- a) 视测区范围布设像控点，一般应为5个~10个，分散布设；
- b) 设计飞行航线，一般按测区形状长边平行布设，或依风向、山体等走向飞行；
- c) 根据煤矸石山环境温度、环境湿度、风速，设置无人机环境参数，一般环境温度不宜超过35℃，环境湿度不宜大于65%，风速不宜超过3级；
- d) 无人机起飞前检查，检查无误，方可起飞；
- e) 建议飞行多架次，获取2幅~3幅煤矸石山可见光与热红外影像，各影像像控点坐标误差 (X, Y) 不大于1个像素；
- f) 以测区数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)为高程基准，热红外影像为表面纹理，构建煤矸石山表面温度场模型 (X, Y, H, T) ；
- g) 数据处理后，DEM高程误差应小于0.5 m，热红外影像测温误差应不大于3℃；应绘制等温线，标识温度异常点和区域。
- h) 温度校正一般为航高80 m补偿5℃左右，具体受天气影响较大。

A.3 内部温度测量

对于表面温度异常且有增温趋势的区域或点位可采用钻孔测温进行内部温度测量，以确定煤矸石山内部着火点的空间位置。

宜使用煤电钻或气钻在表面高温异常区或高温点打1 m~2 m深测温孔(也可依据需要增加深度)。当钻孔达到预定深度后，将探头送入测温孔后封孔，待观测数据稳定后开始读数，取两次观测数据平均值为测温点温度。需布设多个测温点时可采用网格形式布点形成测温网，节点间距宜为2.5 m~5 m，经多个测温点打孔测温后采用逐步逼近法确定深部着火点位置及范围。每个温度测点应采用米级精度以上的定位设备进行点位坐标的测量和标定。

附录 B

(资料性)

煤矸石净产酸量测量方法

煤矸石样品风干后过 1 mm 方孔筛。首先,加 2.5 g 筛下样品到 500 mL 的锥形瓶中,再加入 250 mL 15% 的过氧化氢溶液(H_2O_2),并盖上玻璃盖,在通风橱中放置 24 h。然后,用电热板加热除去剩余的 H_2O_2 ,注意适时向锥形瓶中加入少量蒸馏水防止煮干,直到煮沸至停止冒泡。停止加热,冷却至室温,测 pH 值,即为 NAG-pH。最后,用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液将其滴定至 pH 值为 7,煤矸石净产酸量 w 可按式(B.1)计算:

$$w = (0.1 \text{ mol/L} \times v \times 98 \text{ g/mol}) / (2 \times m) \quad \text{.....(B.1)}$$

式中:

w ——煤矸石净产酸量(以 H_2SO_4 计),单位为千克每吨(kg/t);

v ——NaOH 的滴定用量,单位为毫升(mL);

m ——煤矸石样品质量,单位为克(g)。

附录 C
(资料性)

煤研石山内部自燃点位置解算模型

煤研石山内部自燃位置点解算可按式(C.1)给出的模型确定：

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{T(r) \sqrt{D_1^2 + h^2 (1/h)}} - \sigma \left(\frac{1}{T(r)} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{e^{-\sigma s}}{D_1^2 + (s+h)^2} ds - \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{e^{-\sigma s}}{s+h} ds \right) \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- h ——自燃位置深度，单位为米(m)；
- $T(r)$ ——内部自燃位置 a 垂直对应的煤研石山表面点 a' 的温度与表面其他任一点 x_c 的温度之比；
- D_1 —— x_c 与 a 点之间的距离，单位为米(m)；
- s ——垂直于热流方向的导热面积，单位为平方米(m²)；
- σ ——综合热传导系数，单位为瓦每米开尔文 W·m⁻¹·K⁻¹。



附 录 D
(资料性)
煤矸石山生态修复设计报告书提纲

D.1 项目概述

D.1.1 任务由来

说明方案编制的项目由来、支持文件、委托单位及时间等。

D.1.2 目标任务

从保障地质环境稳定、恢复生态环境及生物多样性等方面说明方案编制的目的及任务。

D.1.3 编制依据

本方案采用的政策文件、技术规范、基础资料等。

D.1.4 方案摘要

说明主要调查成果、生态修复设计、配套工程、监测管护、工作组织、投资概算和保障措施等设计概况。

D.2 调查情况

D.2.1 基本情况调查

调查内容包括但不限于：煤矸石山堆排情况、煤矸石成分、所在区域的自然地理条件、周边环境保护目标、植被状况。

D.2.2 问题调查

调查内容包括但不限于：煤矸石山可能存在的稳定性、自燃、酸性等问题。

D.2.3 调查工作量

调查工作量统计表等。

D.2.4 问题识别与评价

叙述煤矸石山涉及的矿山地质稳定性危害程度、酸性程度、自燃程度，以及对周边生态环境的影响。

D.3 工程设计

D.3.1 设计依据

主要设计政策依据、规范依据、资料依据等。

D.3.2 修复范围确定及修复单元划分

在调查成果的基础上，根据煤矸石山存在的灾害隐患、生态环境转化方向以及土地二次利用等问题，综合确定矿山生态修复范围，科学划分修复单元，并对划分修复单元进行说明。

D.3.3 生态修复工程设计

根据调查结果与修复单元分布,合理设计防灭火、地貌重塑、截排水与淋溶液收集处理、土壤重构、植被重建、配套设施等,进行水、土平衡分析,并明确设计参数。

D.3.4 管护

管护措施目的与任务,管护对象、方式、方法,管护措施注意事项等。

D.3.5 监测

监测措施目的与任务,设计原则与依据,监测对象、级别及精度,监测工程布置与设计,监测措施实施注意事项。

D.4 工程量汇总及预算

D.4.1 工程量汇总

列出本次设计的工程量。

D.4.2 预算编制依据

说明预算依据、取费标准及计算方法。

D.4.3 预算说明

经费预算的方法、过程、预算标准等。

D.4.4 经费预算

经费预算结果,并详细列表说明。

D.5 保障措施与效益分析

D.5.1 项目保障措施

组织保障、质量保障、资金保障等。

D.5.2 效益分析

生态效益、社会效益、经济效益等。

D.6 结论与建议

成果总结,提出建议。

D.7 附图

包括但不限于以下资料:

- a) 煤矸石山平面布置图;
- b) 土地利用现状图;
- c) 生态环境问题评价图;
- d) 修复单元划分及工程部署图;
- e) 单体设计图。

D.8 附件

相关证明材料。



附录 E
(资料性)
煤矸石山植被恢复常见先锋植物

表 E.1 给出了北方煤矸石山植被恢复常见先锋植物。

注：北方指秦岭—淮河线以北区域。

表 E.1 北方煤矸石山植被恢复常见先锋植物

编号	植物名称	植物性状	适宜生长环境	根系分布	繁殖方法
1	狗尾草	一年生草本	适应性强,耐旱耐贫瘠,酸性或碱性土壤均可生长	须根,根系发达	播种
2	马唐	一年生草本	从温带至热带的气候条件均能适应,喜湿、好肥、嗜光照,对土壤要求不严格,在弱酸、弱碱性的土壤上均能良好地生长	深根,根系发达	播种
3	地肤	一年生草本	适应性较强,喜温、喜光,耐干旱,不耐寒,对土壤要求不严格,较耐碱性土壤,肥沃、疏松、含腐殖质多的壤土利于地肤旺盛生长	主根粗大,侧根发达	播种
4	喇叭花	一年生草本	喜气候温和、光照充足、通风适度,对土壤适应性强,较耐干旱盐碱,不怕高温酷暑	深根	播种
5	野燕麦	一年生草本	生命力强,喜潮湿,多发生在耕地、沟渠边和路旁	须根,根系发达	播种
6	紫花苜蓿	多年生草本	喜温暖、半干旱气候,适宜于碱性土壤	侧根发达	播种
7	沙打旺	多年生草本	抗寒、抗旱、抗风沙、耐瘠薄、较耐盐碱	侧根发达	播种
8	铁杆蒿	多年生草本	抗旱力较强,具有一定耐寒性	根系发达	播种和分蘖
9	白莲蒿	多年生草本	草原带较湿润地区和亚高山的开阔地	根系发达	播种
10	锦葵	多年生草本	耐寒,喜冷凉,能自播,不择土壤	根系发达	播种
11	紫穗槐	落叶灌木	耐旱、耐碱、耐瘠薄、适应性强	深根	移栽
12	胡枝子	落叶灌木	耐旱、耐瘠薄、耐酸性、耐盐碱、耐刈割,对土壤适应性强,在瘠薄的新开垦地上可生长,但最适于壤土和腐殖土,耐寒性很强	根系发达	移栽
13	荆条	落叶灌木	向阳旱山坡、荒地、石砾地、沙荒地	根系发达	播种
14	柠条	落叶灌木	喜光,耐旱、耐寒、耐瘠薄,对土壤要求不严格	深根	播种

表 E.1 北方煤矸石山植被恢复常见先锋植物（续）

编号	植物名称	植物性状	适宜生长环境	根系分布	繁殖方法
15	锦鸡儿	落叶灌木	生于山坡和灌丛。喜光，常生于山坡向阳处。抗旱耐瘠	根系发达	播种、扦插、分株、压条
16	绣线菊	落叶灌木	喜光也稍耐阴，抗寒，抗旱，喜温暖湿润的气候和深厚肥沃的土壤。萌芽力均强，耐修剪。生长于河流沿岸、灌草丛、空旷地和山沟中，海拔200 m~900 m	根系发达	播种、分株、扦插
17	杜鹃	落叶灌木	性喜凉爽、湿润、通风的半阴环境，既怕酷热又怕严寒，生长适温为12℃~25℃，喜欢酸性土壤，在钙质土中生长得不好，甚至不生长	浅根系、须状细根	扦插、嫁接、压条、分株、播种
18	沙棘	落叶小乔（灌木）	喜光、适宜风沙、耐旱、耐贫瘠、耐盐碱	根系发达	移栽
19	怪柳	落叶小乔（灌木）	喜光及凉爽气候，耐盐碱，耐干旱、耐涝	深根	播种扦插
20	沙枣	落叶小乔（灌木）	适宜干旱、耐瘠薄及水湿、耐盐碱，石质山地、黄土丘陵及沙地能生长	浅根系，根幅广	移栽
21	柽柳	落叶乔木或灌木	广生态幅植物，对环境的适应性很广，喜光，喜湿，耐寒，是中生偏湿树种	根系发达	插枝
22	火炬树	落叶小乔木	喜光，耐寒，对土壤适应性强，耐干旱瘠薄，耐水湿，耐盐碱	浅根系，根系发达	播种、根插、根蘖
23	刺楸	落叶乔木	忌湿涝，萌芽力，萌芽力均强，能自然播种繁殖，在深厚肥沃湿润的沙质壤土中生长更佳	浅根，根系发达	移栽
24	臭椿	落叶乔木	喜光、耐干旱、耐瘠、耐盐碱，适应广	根系发达	移栽
25	榆树	落叶乔木	适应性强，能耐干冷气候及中度盐碱，但不耐水湿（能耐雨季水涝）；抗风能力强，寿命长，抗有毒气体	根系发达	播种、分株、扦插
26	侧柏	常绿乔木	喜光，幼时稍耐阴，适应性强，对土壤要求不严，在酸性、中性、石灰性和轻盐碱土壤中均可生长	浅根侧根发达	移栽
27	油松	常绿乔木	喜光、深根性树种，喜干冷气候，在土层深厚、排水良好的酸性、中性或钙质黄土上均能生长良好	深根	移栽
28	樟子松	常绿乔木	能耐干冷气候及中度盐碱，但不耐水湿（能耐雨季水涝）；抗风能力强，寿命长，抗有毒气体	根系发达	播种

表 E.2 给出了南方煤矸石山植被恢复常见先锋植物。

注：南方指秦岭—淮河线以南区域。

表 E.2 南方煤矸石山植被恢复常见先锋植物

编号	植物名称	植物性状	适宜生长环境	根系分布	繁殖方法
1	三叶鬼针草	一年生草本	喜长于温暖湿润气候区，以疏松肥沃、富含腐殖质的砂质壤土及黏壤土栽培为宜。	根系发达	播种
2	牛筋草	一年生草本	生于村边、旷野、田边、路边，广布全国各地，最低海拔 800 m，最高海拔 1 000 m。	根系极发达	播种
3	鸡眼草	一年生草本	生于海拔 100 m~1 900 m 山坡、路旁、湿润草地或溪畔，林间小道旁草地。	浅根系	播种
4	红三叶草	一或二年生草本	喜温暖湿润气候，不抗旱，适宜水分充足、酸性不大的土壤。	侧根发达	播种
5	天蓝苜蓿	一或二年生草本	适于凉爽气候及水分良好的土壤，但在各种条件下都有野生，常见于河岸、路边、田野及林缘。	主根浅，须根发达	播种
6	小飞蓬	一年生或越年生草本	常生于旷野、荒地、田边、河谷、沟旁和路边，阳性，耐旱，土壤要求排水良好但周围要有水分，易形成大片群落。	浅根系	播种
7	白三叶	多年生草本	亚热带及温带地区分布较广泛。	主根较短，但侧根和不定根发达	播种
8	野豌豆	多年生草本	砂质土壤。	侧根发达	播种
9	狼尾草	多年生草本	对土壤适应性较强，耐轻微碱性，亦耐干旱贫瘠土壤；生性强健，萌发力强，容易栽培；多生于海拔 50 m~3 200 m 的田岸、荒地、道旁及小山坡上。	根系发达	播种
10	白茅	多年生草本	适应性强，耐荫、耐瘠薄和干旱，喜湿润疏松土壤，在适宜的条件下，根状茎可长达 2 m~3 m，能穿透树根，断节再生能力强。	须根，浅根系	播种
11	五节芒	多年生草本	山坡土、道路边、溪流旁及开阔地成群滋长，能适应各种土壤。	根状茎发达	播种
12	艾蒿	多年生草本或略成半灌木状	分布广，除极干旱与高寒地区外，几乎遍及南方地区；生于低海拔至中海拔地区的荒地、路旁河边及山坡等地，也见于森林草原及草原地区。	根系发达	播种、分株
13	猪屎豆	多年生草本或灌木	喜温暖、潮湿、耐旱。	根系发达	播种

表 E.2 南方煤矸石山植被恢复常见先锋植物（续）

编号	植物名称	植物性状	适宜生长环境	根系分布	繁殖方法
14	栉树	落叶乔木或灌木	喜光，遮生，不耐庇荫；较喜湿润，对土壤要求不严，在较肥沃的棕色森林土上生长良好；萌芽力强	浅根系	播种、扦插、压条
15	柑桔树	常绿小乔木	性喜温暖湿润气候，不耐低温，较耐阴，根部好气好水，要求有机质含量丰富的肥沃土壤	根系发达，用压条或扦插方法繁殖的无主根	播种、压条、扦插、嫁接
16	桃树	落叶小乔木	喜光，喜干燥，耐涝能力较差；最适宜的生长温度为 18℃~23℃；对土壤的适应能力很强，一般土壤都能栽种，以中性偏酸的土壤生长较好	浅根系	扦插、嫁接、播种
17	洋槐	落叶乔木	喜光，喜深厚肥沃砂质土，适应性强	浅根，根系发达	移栽
18	相思树	常绿乔木	生长迅速，耐干旱；阳性植物，需强光；生育适温：23℃~30℃	根系发达	播种
19	桉木	落叶乔木	喜光，喜温暖气候，适生于年平均气温 15℃~18℃，降水量 900 mm~1 400 mm 的丘陵及平原、山区；对土壤适应性强，喜水湿，多生于河滩低湿地	根系发达	播种
20	栎树	落叶或常绿乔木	大多生长在坡、山上，丘陵地带也很适合它们生长；从平地至海拔 3 000 m 高山均能生长；抗逆性强，耐干燥、高温和水湿，抗霜冻和城市环境污染，抗风性强，喜排水良好的土壤	根系发达	播种
21	柏树	常绿乔木	较耐寒，抗风力较差；耐干旱，喜湿润，但不耐水淹；耐贫瘠，可在微酸性至微碱性土壤上生长	根系发达	播种
22	小叶榕	常绿乔木	通常生于海拔 900 m~1 600 m 密林中或村寨附近	根系发达	播种、扦插
23	刺楸	落叶大乔木	喜温暖湿润，光照充足的环境，耐旱也耐湿，对土壤要求不严，喜肥沃排水良好的砂壤土；不甚耐寒	浅根系	扦插为主，也可播种

参 考 文 献

- [1] GB/T 16453.4 水土保持综合治理 技术规范 小型蓄排引水工程
 - [2] GB 50330 建筑边坡工程技术规范
 - [3] GB 50433 生产建设项目水土保持技术标准
 - [4] GB 51018 水土保持工程设计规范
 - [5] MT/T 702 煤矿(注)浆防灭火技术规范
 - [6] DB14/T 2122 地质灾害调查规范
 - [7] DB14/T 2809 煤矸石堆场自然发火防治技术规范
-