

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/XXX XXXX—2026

平原区井工煤矿土地复垦与生态修复 技术指南

Technical guidelines for land reclamation and ecological restoration of underground
coal mines in the plain area

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发布

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。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：开滦（集团）有限责任公司、中国矿业大学（北京）、大地工程开发（集团）有限公司。

本文件主要起草人：……

本文件为首次发布。

平原区井工煤矿土地复垦与生态修复 技术指南

1 范围

本标准对平原区井工煤矿土地复垦与生态修复的总则、范围确定及单元划分、质量要求、复垦修复技术、监测管护及适应性管理技术等作出规定。

本标准适用于平原区井工煤矿生态修复方案编制及综合治理工程，其他类型的矿山生态综合治理等项目也可参照执行。

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 3838 地表水环境质量标准
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- GB 11607 渔业水质标准
- GB 20426 煤炭工业污染排放标准
- GB 36600 土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50288 灌溉与排水工程设计标准
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB 50797 光伏电站设计标准
- GB 51192 公园设计规范
- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 8321 农药合理使用准则
- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB/T 15163 封山（沙）育林技术规程
- GB/T 15776 造林技术规程
- GB/T 16453.4 水土保持综合治理技术规范—小型蓄排引水工程
- GB/T 18337.3 生态公益林建设技术规程
- GB/T 30600 高标准农田建设 通则
- GB/T 33469 耕地质量验收技术规范
- GB/T 37067 退化草地修复技术规范
- 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
- GB/T 45107 表土剥离及其再利用技术要求
- GB/T 51040 地下水监测工程技术标准
- CJJ/T 82 园林绿化工程施工及验收规范
- DZ /T 0219 滑坡防治工程设计与施工技术规范
- DZ/T 0223 矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范
- DZ/T 0287 矿山地质环境监测技术规程
- DZ/T 0388 矿山地下水监测规范
- HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则
- HJ/T 91.1 污水监测技术规范
- HJ/T 91.2 地表水环境质量监测技术规范

HJ/T 166	土壤环境监测技术标准
HJ 2005	人工湿地污水处理工程技术规范
NY/T 525	有机肥料
NY/T 886	农林保水剂
NY/T 1342	人工草地建设技术规程
SL/T 800	河湖生态系统保护与修复工程技术导则
TD/T 1031.1	土地复垦方案编制规程 第1部分：通则
TD/T 1031.3	土地复垦方案编制规程 第3部分：井工煤矿
TD/T 1036	土地复垦质量控制标准
TD/T 1048	耕作层土壤剥离利用技术规范
TD/T 1070.1	矿山生态修复技术规范 第1部分：通则
TD/T 1070.2	矿山生态修复技术规范 第2部分：煤炭矿山
DB11/T 1690	矿山植被生态修复技术规范
T/GRM 054	保水采煤技术规范
T/GRM 143	平原区井工煤矿土地复垦与生态修复评价规程

3 术语和定义

GB/T 43934界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

土地复垦与生态修复协调区 coordinated area for land reclamation and ecological restoration

为了实现复垦修复整体目标，对不同主体、不同环节、不同区域之间的关系进行统筹协调的特定区域。

3.2

土地复垦与生态修复区 land reclamation and ecological restoration area

遵循自然规律，通过采取预防和修复措施，以恢复土地的生产能力和生态功能，重建稳定生态系统的特定地域范围。

3.3

土地复垦与生态修复单元 land reclamation and ecological restoration unit

根据土地损毁类型、复垦方向（目标用途）、复垦技术标准及拟采取的主要复垦措施基本一致的原则，所划定的基本作业区块。

3.4

土地复垦与生态修复模式 land reclamation and ecological restoration model

矿山损毁土地进行复垦修复时，在综合考虑损毁程度、地形地貌、水资源条件、土壤状况与土地利用规划的基础上，形成的一整套系统化、可复制、可推广的复垦修复技术路径或方法。

3.5

保护单元 protection unit

以生态系统完整性、功能重要性、保护对象一致性为核心原则，划定的以保护为目标的基本空间区块。

3.6

控制单元 prevention and control unit

以风险预警、源头防控、过程管控为核心，结合开采可能引发各类地质、环境问题，划定的集中落实预防控制技术、开展风险防控的空间区块。

3.7

自然恢复模式 natural restoration model

指在不采取人工工程措施的前提下，通过封禁封育补种等人工手段，引导林草等植被恢复与质量提高的修复方式。

3.8

辅助再生模式 assisted restoration model

指修复区域自我恢复能力不足但未完全丧失,辅以适度人工措施改善立地条件,帮助生态系统更快、更稳定地恢复的修复方式。

3.9

生态重建模式 ecological reconstruction model

指对生态系统破坏严重、自我恢复能力很弱的土地,通过高强度工程+生物措施,重新构建地形、土壤、植被、水文等完整生态系统的修复方式。

3.10

边采边复 current mining and reclamation

充分考虑地下开采与地面复垦措施的耦合,通过合理减轻土地损毁的开采措施和沉陷前或沉陷过程中的复垦时机与方案的优选,实现采矿与复垦同步实施。

4 总则

4.1 基本原则

4.1.1 安全生产与生态修复相统一原则

将保障煤矿安全生产与推进生态修复紧密结合,二者相互促进、协同发展,实现经济、社会与生态效益的最大化。

4.1.2 整体布局与系统修复原则

坚持保护优先、预防为主、复垦修复并重,系统修复以地貌重塑、土壤重构、植被重建、水文重构为核心,通过系统性、一体化生态修复工程,实现区域生态结构完整、功能稳定与可持续协同发展。

4.1.3 生态修复与产业发展相结合

依据国土空间规划和区域发展需求,从生态修复的完整性、生态功能恢复的稳定性,与产业发展对土地质量、空间布局、资源供给的适配性双向出发,深度耦合地貌重塑、土壤重构、植被重建、水文重构等生态修复工程,以满足农业种植、文旅开发、新能源利用等产业发展需求。

4.1.4 人工干预与自然恢复相结合

因地制宜、分类分区施策,统筹采用自然恢复、辅助再生与生态重建相结合措施,在尊重生态系统自然演替规律、合理发挥其自我修复能力的基础上,通过科学地人工干预与系统性生态重建,实现受损土地生态功能稳步恢复与可持续利用。

4.2 工作流程

平原区井工煤矿土地复垦与生态修复工作流程见图1,包括现状调查、问题诊断、确定修复范围、制定修复目标、确定修复方向与修复模式、修复单元划分及质量要求,选择适宜的保护措施、预防控制措施及复垦修复技术,最后进行监测与管护及适应性管理。

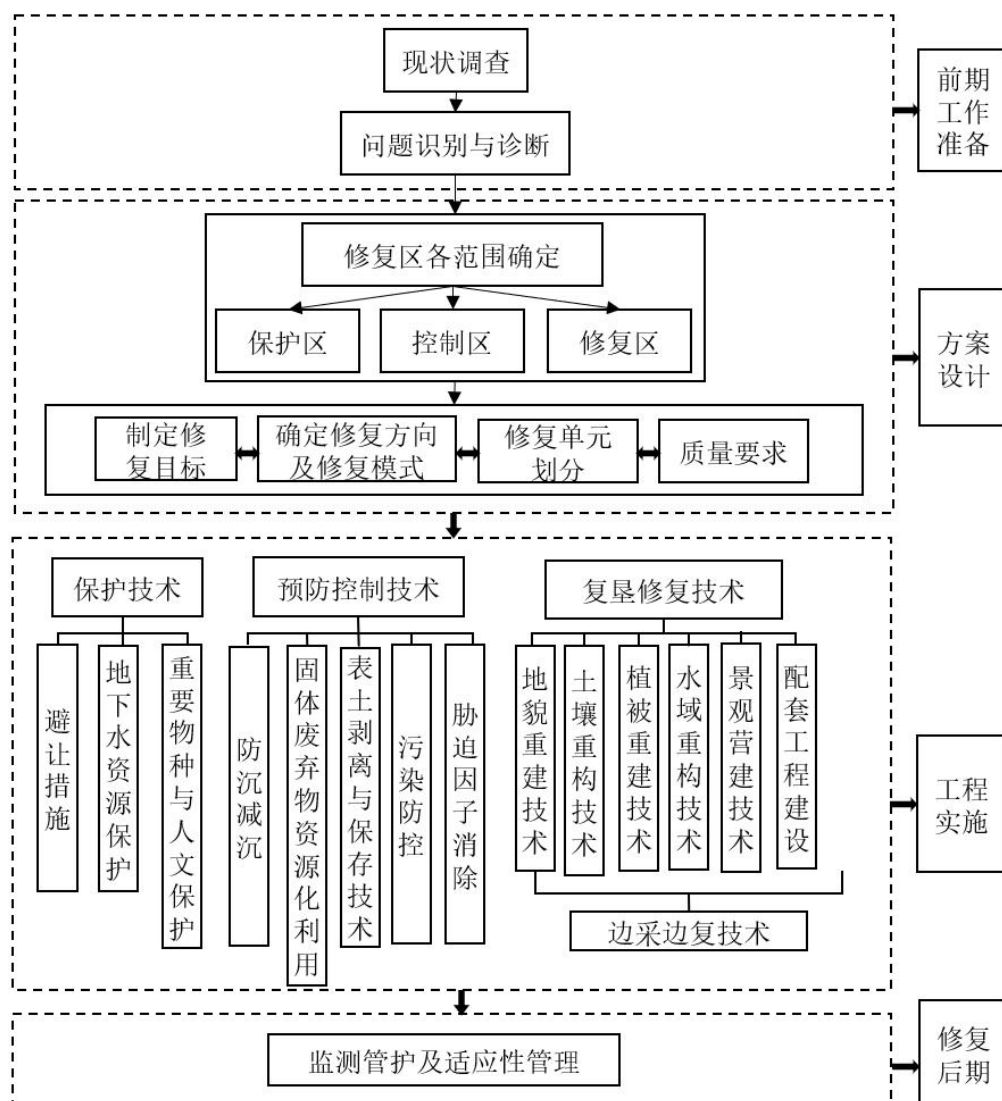


图1 平原区井工煤矿土地复垦与生态修复流程图

5 土地复垦与生态修复范围确定及单元划分

5.1 土地复垦与生态修复范围确定

土地复垦与生态修复范围为煤矿开采损毁的土地及生态受影响的范围，其核心是煤矿开采所损毁的土地及不再留续使用的生产建设用地，并叠加生态影响区如生态影响敏感区、污染扩散区等。在修复范围确定前应进行基础信息调查监测及土问题识别与诊断评价，按T/GRM 143的要求执行。

5.2 土地复垦与生态修复单元划分

根据煤矿开采损毁土地程度类型、土地复垦与修复模式及利用导向，合理划分地复垦与生态修复单元和层级，确定生态修复的保护单元、控制单元及修复单元，并设置目标任务，见图2。

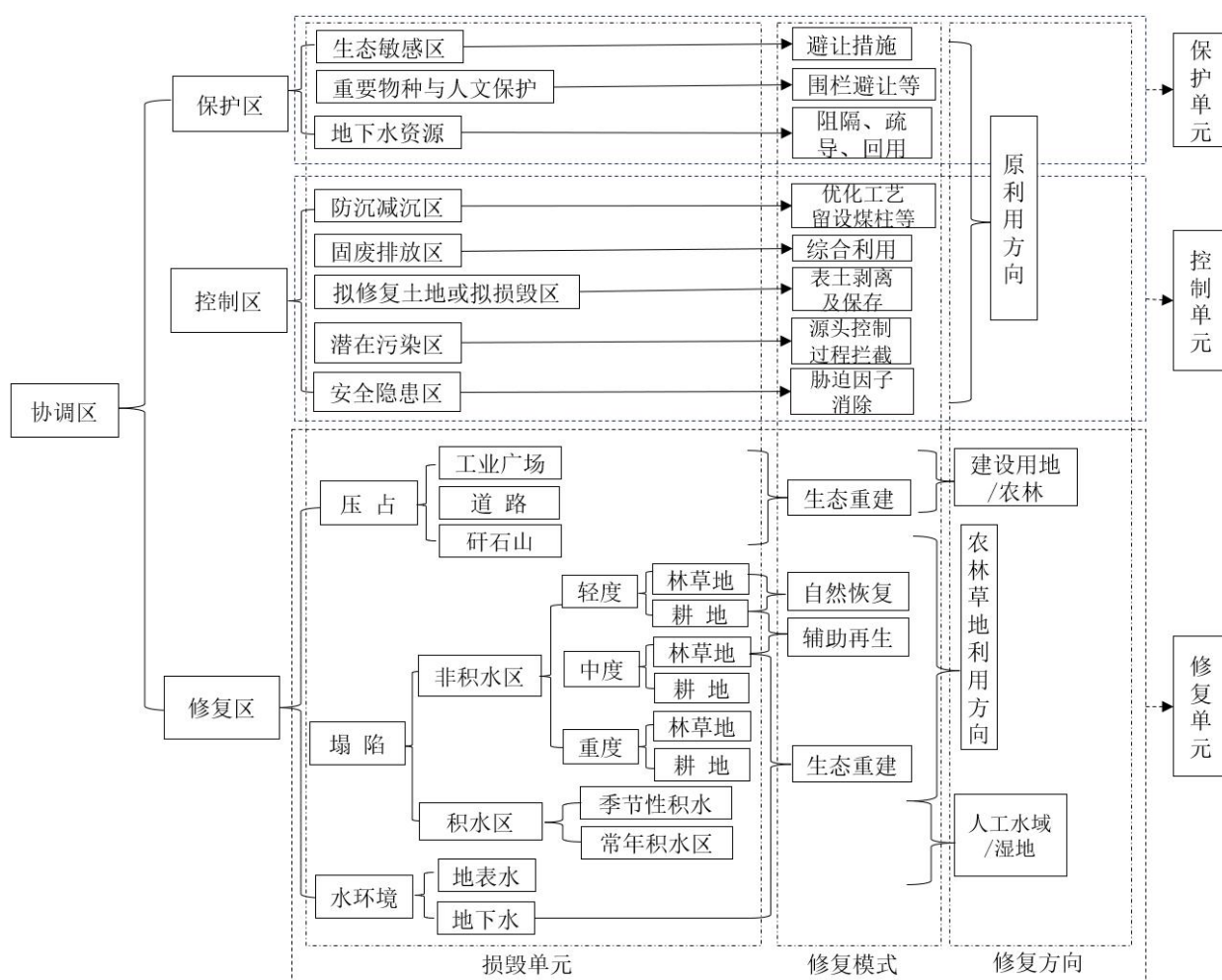


图2 土地复垦与生态修复单元划分示意图

5.3 土地复垦与生态修复模式

5.3.1 自然恢复模式

5.3.1.1 应用于生态系统轻度受损区，地形基本完整、表土未灭失、土壤结构与肥力基本保留、无严重污染、自我恢复能力强的区域。

5.3.1.2 主要做法为封闭管理、排除人为干扰，生态系统主要依赖自我演替能力恢复。封育的方式、年限、措施等按 GB/T 15163 的要求执行。

5.3.2 辅助再生模式

5.3.2.1 应用于表土受损或肥力低下、局部土壤板结或贫瘠、存在轻微地质隐患、植被自然更新困难但仍有恢复潜力的区域。

5.3.2.2 主要措施有简单的塌陷坑或裂缝充填、土地平整、排水、土壤改良、补播补植、抚育管护等。

5.3.3 生态重建模式

5.3.3.1 应用于土地中重度损毁，原生生态系统损毁严重、结构功能完全破坏、自然恢复几乎不可能或周期过长的区域。

5.3.3.2 主要措施包括但不限于地貌重塑、土壤重构、植被重建、水文重建、景观营建等。

5.3.3.3 本指南重点介绍生态重建模式中的各项技术措施。土地复垦与生态修复修复模式及其应用场景和主要技术措施参照附录 A.1。

5.4 土地复垦与生态修复利用模式

5.4.1 农林草业利用模式

适宜沉陷程度相对较轻，土壤结构未受到严重破坏的非积水沉陷区或浅积水区。通过土地平整、挖深垫浅等措施，最大程度恢复沉陷地区耕地，结合土壤改良措施、生态修复技术、配套设施工程等，提高采煤沉陷区土壤质量和农林业生产条件，提升农业生产效率。

5.4.2 水产养殖利用模式

适宜沉陷程度较深、常年稳定积水且水质条件较好的沉陷区域。通过挖深垫浅、水系连通、底质改良等工程措施，构建标准化养殖水面与生态渔业水域，配套进排水、增氧、水质调控等设施，保障水产养殖安全高效。

5.4.3 建设用地利用模式

适宜废弃工业场地或沉陷程度中等及以上、已实现稳沉的沉陷区域。土壤结构可通过工程措施改良，符合区域国土空间规划，且靠近城镇或产业园区交通便利、基础设施可衔接、远离生态敏感区的区域，可重点用于建设产业园、康养中心等。

5.4.4 休闲游憩利用模式

5.4.4.1 生态景观型。适宜于沉陷后大面积积水、经修复后景观条件优良、生态本底较好且远离工业污染，同时邻近城镇、交通便利、人口密集、区域生态景观资源相对不足的区域。以修复形成的湿地、人工湖、生态林地等为核心景观载体，打造以生态观光、休闲体验、康养休憩为主要功能的休闲游憩场所。

5.4.4.2 文化景观型。适宜于矿区工业遗迹保存完整、矿山文化底蕴较好，且邻近城镇、交通便利的区域。以工业遗迹、矿山风貌、煤矸石山整治景观等为核心载体，融合地方民俗与传统文化，构建以工业研学、文化体验、遗迹观光为特色的文化休闲场所，挖掘矿区历史内涵，传承矿山文化。

5.4.4.3 生态文化融合型。采用“生态+文化”双轮驱动模式，推动生态旅游与文化旅游深度融合、协同发展。以优良生态景观为环境基底，以矿山文化内涵为特色灵魂，整合生态景观与工业遗迹资源，构建生态体验与文化研学相结合的复合型旅游产品体系，实现生态与文化价值同步提升，促进矿区旅游可持续发展。

5.4.5 空间复合利用模式

5.4.5.1 碳汇产业。通过修复林地、湿地等，培育优质碳汇资源，规范开展碳汇计量、登记工作，对接碳汇交易市场，推动碳汇交易，实现生态价值市场化。

5.4.5.2 生态产品开发。依托修复后的生态环境，发展特色农业、林下经济等，打造绿色、有机生态产品；延伸产业链，开展生态产品分拣、加工、包装、销售，打造区域生态产品品牌。

5.4.5.3 结合区域产业规划与沉陷地修复现状，按“宜农则农、宜渔则渔、宜游则游”原则划分功能区块，整合采煤沉陷区土地资源，导入适配产业，构建旅游观光、林业种植、渔业养殖、高效农业等多业态协同的平面复合利用模式。

5.4.5.4 依托修复后土地与水域条件，规划光伏发电、观光农业、旅游度假等产业布局，可打造“农光互补”、“渔光互补”、“林光互补”等立体种养/发电模式，建立多层次、多元化的立体复合发展模式，提升单位面积资源利用效率。

5.4.6 利用模式对应的技术措施

土地复垦与生态修复中，修复区利用模式对应的修复模式及技术措施参照附录B.1。

6 土地复垦与生态修复质量要求

6.1 保护技术质量要求

6.1.1 重要物种与人文保护

6.1.1.1 重要物种保护

重要物种保护应严格落实管控措施，应达到如下质量要求：

- a) 古树名木保护：古树名木无机械损伤、腐烂、坍塌等问题；无衰败、枯萎、病虫害蔓延现象，保护范围完整，本体结构稳定，可长期存活。
- b) 珍稀动植物保护：珍稀动植物种群数量不下降，种群年龄结构合理，遗传多样性得到有效保护，无濒危加剧趋势。其核心栖息生境得到完整保留或有效重建，水文、土壤、植被条件满足物种觅食、繁殖、隐蔽、迁徙等生存需求，生境承载能力显著提升。

6.1.1.2 人文资源保护

人文资源本体完好，其中重点文物、国家级文物保护单位、古建筑古遗址等无损毁、坍塌、开裂、风化加剧、污染等现象，本体结构稳定，能够长期保存，达到国家级、省级文物保护单位对应的安全标准，无不可逆损害。

6.1.2 地下水资源保护

含水层应结构完整，水量稳定；生态功能恢复，应形成自然补给为主、人工调控为辅的良性水文生态系统。地下水位应满足水位稳定、水量均衡。水质应符合常规和非常规指标限值Ⅲ类以上标准，按GB/T 14848的要求执行。

6.2 预防控制技术质量要求

6.2.1 防沉减沉

防沉减沉后应有效控制开采区域地表沉降量，将沉降速率和累计沉降量控制在规范允许范围内，避免地表出现大面积塌陷、裂缝，保护周边建（构）筑物、道路、管线等基础设施的安全稳定；减少岩层移动对地下含水层的破坏，降低地下水渗漏风险，保障区域水资源安全；避免因地表沉降引发的地质灾害，保护生态环境。

6.2.2 固体废弃物资源化利用

新增煤矸石、粉煤灰、废石等综合利用率应大于60%，同时应提高已有固体废弃物资源利用率，节约土地资源，降低生产成本，减少给环境的破坏，推动绿色开采、循环发展。

6.2.3 表土剥离与保存

表土剥离应遵循“应剥尽剥”，剥离率应不低于80%；表土储存时应进行表土养护，有效保护表土资源，保留土壤中的养分和微生物，减少表土流失和污染，具体按GB/T 45107的要求执行。

6.2.4 污染防控

通过全链条的污染防控，降低污染物产生量，避免污染周边土壤、水体和大气，具体按GB 20426的要求执行。

6.2.5 胁迫因子消除

6.2.5.1 地质安全隐患

地质安全隐患消除应达到如下质量要求：

- a) 地面塌陷坑与地裂缝消除或有警示牌，不会对周边居民产生安全隐患。
- b) 废弃矿井封堵到位，封堵体强度满足安全要求；周边地表整平覆绿规范，无明显扰动痕迹。
- c) 排土场边坡稳定，排水导流系统通畅，植被固土效果良好，无水土流失、小型滑坡隐患。

6.2.5.2 煤矸石山安全隐患

煤矸石安全隐患消除应达到如下质量要求：

- a) 煤矸石山堆存坡度、高度符合安全标准，边坡稳定，无滑坡、崩塌隐患；截水沟、排水沟等排水设施布设合理，排水效果符合防控要求。

- b) 矸石山底部防渗膜铺设完整，能有效阻隔淋溶水渗透；渗滤液收集池布设规范，处理后水质达标；矸石山体表面客土覆盖厚度均匀、密实，无裸露矸石，植被成活率达标，能通过根系固定土体，有效改善区域生态环境，无土壤、地下水污染隐患。
- c) 矸石按要求堆放，堆存完成后表土全覆盖、无裸露、封堵严密。矸石山无自燃征兆。

6.3 土地复垦与修复质量主要用地类型质量要求

复垦修复为耕地、园地、林地、草地的区域，修复后质量应达到附录C.1要求；用于建设用地时的复垦质量应达到附录C.2要求；水域复垦用途主要包括渔业（含养殖业）、人工水域与公园，其复垦质量应达到附录C.3要求；除耕地、林地、园地、草地、建设用地、水域以外的其它地类复垦标准按TD/T 1036的要求执行。

6.4 监测、管护及适应性管理质量要求

平原区煤矿区土地复垦与生态修复监测、管护及适应性管理按GB/T 43934、GB/T 43935的要求执行。

7 土地复垦与生态修复技术

7.1 一般要求

土地复垦与生态修复的技术选择应基于区域原有地表水系、开采后沉陷积水情况以及地表变化情况，紧密结合区域国土空间规划和区域生态修复规划，统筹规划陆地景观、水体景观及土地利用，通过科学设计和综合治理，实现矿区土地高效利用、生态环境有效恢复与景观格局优化重塑。各修复单元常用土地复垦与生态修复技术见附录D.1。

7.2 保护技术

7.2.1 重要物种与人文保护

7.2.1.1 技术原理

通过前期勘察明确重要物种及人文资源的分布与保护级别，优化开采方案避开核心保护区。

7.2.1.2 关键技术要点

结合重要物种与生境、人文资源保护需求，采取避让、防护、管控相结合的措施，核心技术要点如下：

- a) 联合生态部门，通过实地调研、遥感等方式排查重要物种，建档并划定保护与避让边界。
- b) 联合文物部门勘探人文资源、划定保护红线，可避让的优化路线，无法避让的采用注浆加固等技术防护。
- c) 对缓冲区采用跳采、充填开采等方式控制地表沉陷，核心保护区设防护设施，严禁核心区布置开采相关设施及开展开采作业。
- d) 受影响严重的人文设施经批准后迁移重建；意外发现地下文物立即停工保护并上报。
- e) 参照《煤矿开采生态环境保护规范》、《文物保护法实施条例》及地方标准执行。

7.2.1.3 实施流程

重要物种与人文保护的具体流程如下：

- a) 开采前：联合相关部门完成勘察建档与勘探，划定保护边界，制定专项方案并审批，提前开展植被移栽、设施迁移。
- b) 开采中：按方案作业，实时监测沉陷、植被及人文资源状况，常态化巡查并开展阶段性修复。
- c) 过程管控：建立物种监测台账，定期排查维护人文资源；开采后完成修复验收，确保达标。

7.2.2 地下水资源保护

井工开采易引发导水裂隙带发育，导致地下水渗漏、水位下降，需通过阻隔-疏导-回用技术体系减少对地下水资源的破坏。

7.2.2.1 技术原理

通过控制开采煤层的采高、工作面尺寸、推进速度，优化顶板管理方式，避免导水裂隙带导通含水层；同时对开采区周边地下水进行定向疏导与循环利用，减少水资源浪费。

7.2.2.2 关键技术要点

结合矿区水文地质条件及开采工作计划，确定地下水资源保护的措施，其关键技术措施如下：

- a) 导水裂隙带高度精准计算。结合煤层埋深、岩层特性，采用经验公式结合数值模拟，预测裂隙发育高度，严控开采范围，防止导通上部含水层。
- b) 限高开采与分层开采。当煤层厚度超过导水安全阈值时，可采用分层开采，控制单分层采高，避免单次开采导致裂隙贯通。
- c) 局部注浆加固隔水层。在含水层下方、采空区周边关键区域，注入水泥-水玻璃双液浆注浆加固，增强隔水层的抗渗性，阻断地下水渗漏通道。
- d) 矿井水分类收集与回用。将井下涌水按污染程度分级，通过沉淀、过滤、反渗透设备处理后，回用于井下防尘、工作面降尘、地面绿化，实现矿井水资源循环利用。
- e) 具体参照 T/GRM 054 的要求执行。

7.2.2.3 实施流程

地下水资源保护具体实施流程如下：

- a) 开采前：通过钻孔勘探确定含水层分布、隔水层厚度，计算导水裂隙带安全临界值；
- b) 开采中：按设计实施分层/限高开采，同步对隔水层薄弱区进行注浆加固，实时监测井下涌水量与水位变化；
- c) 过程管控：对矿井水进行实时水质监测，根据污染程度调整处理工艺，优先保障井下回用需求，剩余达标水外排。

7.2.3 其他敏感区保护

协调区范围内涉及到其他敏感区保护参照GB/T 43934中的避让措施、减缓措施等执行。

7.3 预防控制技术

7.3.1 防沉减沉技术

7.3.1.1 技术原理

通过调整开采工艺或人工干预，改变煤层开采后上覆岩层的应力分布与移动规律，减少岩层垮落范围 and 地表下沉量，避免地表建（构）筑物、农田、生态植被因开采沉陷破坏。

7.3.1.2 关键技术要点

结合覆岩移动规律与地表保护需求，合理确定防沉减沉技术措施，其技术要点如下：

- a) 开采工艺优化。优先采用条带开采或充填开采，控制采空区暴露面积与垮落速度。
- b) 煤柱合理布设。针对地表重要保护对象，计算最小支撑煤柱尺寸，确保煤柱强度足以抵抗上覆岩层压力，避免煤柱失稳引发集中沉陷。
- c) 岩层移动监测。在开采区域地表及地下布设监测点，实时跟踪下沉量、倾斜度、水平位移，动态调整开采参数。

7.3.1.3 技术流程

按照工程实施时序，分阶段开展防沉减沉，整体技术流程如下：

- a) 前期勘察与计算。勘察开采区域地质条件，结合保护对象，通过计算沉陷预测值，确定防沉方案，条带或充填开采，必要时结合注浆加固。
- b) 开采参数设计。若采用条带开采，设计条带宽度与煤柱宽度；若采用充填开采，确定充填材料配比及充填步距；注浆加固需识别关键层位置。
- c) 同步施工与监测。开采作业与防沉措施同步进行，每日采集监测数据，当沉陷值接近预警阈值时，调整开采速度或增加充填量。

- d) 效果验证。开采结束后 1-3 个月，复核地表沉陷最终值，确认是否满足保护标准，形成方案优化报告。

7.3.2 固体废弃物资源化利用

7.3.2.1 技术原理

将开采过程中产生的固体废弃物通过物理/化学处理，转化为可利用的资源，减少废弃物堆存占地与环境污染，实现减量化、资源化、无害化。

7.3.2.2 关键技术要点

对固废实施分类施策、分级利用，具体关键技术要点如下：

- a) 废弃物分类分选。根据废弃物成分分类储存，通过振动筛分、磁选去除矸石中的铁块、木屑等杂质，将煤矸石按粒度分级。
- b) 资源化路径匹配。煤矸石优先用于采空区充填或制新型墙材；煤泥通过压滤脱水后与原煤混合燃烧发电；粉煤灰用于水泥掺合料时，应按 GB/T1596 的要求执行。
- c) 环保指标控制。资源化产品应测定其放射性指标，避免二次污染，按 GB 6566 的要求执行。

7.3.2.3 技术流程

固废资源化处置具体技术流程如下：

- a) 废弃物产生量预测。根据开采规模，预测煤矸石、煤泥产生量，确定资源化产能。
- b) 处理工艺设计。建设分选车间、充填制备站或墙材生产线，明确各环节参数。
- c) 分级统筹利用。井下煤矸石经集中转运、破碎处理后用于采空区充填；地面矸石、煤泥、粉煤灰经合规处置后，供给建材、发电等下游工序，定期核算固废资源化利用率。
- d) 常态化质量管控。按月对资源化产品抽样检测，确保指标符合规范；同步动态监测固废堆存量，严控堆存环境风险。

7.3.3 表土剥离与保存技术

7.3.3.1 技术原理

通过先剥离、后保存、再利用的时序控制，在开采影响区施工前，将表土单独剥离并集中储存，避免被建筑垃圾、矸石污染或压实，为后期土地复垦储备优质土壤。

7.3.3.2 关键技术要点

结合区域土壤条件与复垦用地需求，规范表土剥离与储存防护，具体技术要点如下：

- a) 表土厚度精准确定。通过采样分析，测定表层土壤有机质含量，确定剥离厚度。
- b) 当剥离区面积小、地面起伏大且土层薄时，可选择人工剥离。当剥离区地面平整且土层 $\geq 30\text{cm}$ 时，宜选用对土壤压实少的挖掘机进行剥离。
- c) 表土剥离厚度不宜小于 10cm，土壤资源紧缺区域可放宽至 5cm；宜控制在 3cm~50cm 之间，并根据以下情况进行调整，土层深厚、土壤深耕程度高或质量符合设计要求的，宜适当增加剥离的厚度，剥离厚度可放宽到 50cm 或以上，但宜在地下水常水位以上。
- d) 对复垦区分条带或块段分层剥离各个土层，并通过错位方式回填，实现土壤剖面重构；剥离后直接覆土的表土，一次剥离厚度不应大于 30cm。
- e) 保存方式优化。采用集中堆存，临时堆放的表面覆膜防护，堆放时间大于 1 年的撒播草籽，堆体周边设置排水沟。
- f) 表土剥离与保存应按 GB/T 45107 的要求执行。

7.3.3.3 技术流程

结合工程实施时序，落实表土勘察、剥离及堆存管护作业，实施流程如下：

- a) 表土调查与规划。开采前 3-6 个月，对拟损毁或者拟修复区进行表土勘察，绘制表土厚度分布图，确定剥离区域和保存场地。

- b) 剥离施工。采用推土机+装载机+挖掘机联合作业，剥离顺序从边缘向中心推进，每日记录剥离量，确保剥离表土无混合、无污染。
- c) 保存管理。堆存完成后，设置防护栏和标识牌，定期检查覆膜完整性和排水沟畅通性，及采样检测土壤有机质含量。
- d) 后期利用调度。土地复垦时，根据覆土计划，将表土均匀摊铺，并进行翻耕，恢复土壤耕作性能。

7.3.4 污染防治

7.3.4.1 技术原理

通过源头控制、过程拦截及末端处理的全链条防控，降低污染物产生量，排放标准按GB 20426、GB 20425的要求执行。

7.3.4.2 关键技术要点

围绕矿区多类型污染物管控要求，分类落实针对性治理与防护措施，核心技术要点如下：

- a) 矿井水污染防治。矿井水采用混凝、沉淀、过滤等工艺处理，处理达标后优先用于井下防尘、厂区绿化等综合回用，富余废水依规达标排放。
- b) 大气粉尘防控。井下采用湿式凿岩或喷雾降尘；地面煤炭堆场采用封闭煤仓及喷淋系统，运输道路采用洒水车和防尘网，确保粉尘排放浓度 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- c) 噪声防控。对主通风机、压风机等高噪声设备，采用加隔声罩和设置减振基础，厂界噪声昼间 $\leq 60\text{dB}$ 、夜间 $\leq 50\text{dB}$ 。
- d) 重金属污染防治。对含重金属煤矸石堆放区，底部铺设防渗垫层，配套设置截排水及淋溶导排设施，阻断污染物下渗途径，防范重金属淋溶污染土壤与地下水。

7.3.4.3 技术流程

遵循开采全周期闭环管理模式，分步开展污染防治工作，具体技术流程如下：

- a) 污染源排查评估。结合开采布局开展全域污染风险识别，明确污染物类型、产污环节及管控限值，制定分区防控措施。
- b) 防控设施配套建设。配套建设矿井水处理设施、封闭储煤设施、噪声防护装置，合理布设水、气、土壤及地下水监测点位。
- c) 全过程管控实施。井下生产同步落实防尘措施，地面煤炭转运、堆存实行封闭管控与常态化抑尘；矿井水分质处理、定期检测，保障回用与排放稳定达标。
- d) 动态监测与闭环整改。建立常态化环境监测制度，定期开展废气、废水、噪声、土壤及地下水采样检测；一旦指标超标，立即溯源整改，地下水监测参照 GB/T 51040 规范执行。

7.3.5 胁迫因子消除

7.3.5.1 地质安全隐患防控

平原煤矿开采核心地质安全隐患为地面塌陷坑与地裂缝、废弃矿井隐患，辅以少量排土场及煤矸石山相关隐患，其关键技术要点如下：

- a) 塌陷坑、地裂缝填充。选用粉煤灰、煤矸石等废弃物为填充材料，采用注浆或分层压实填充，填满塌陷坑或裂缝至设计高程，然后覆土，具体可参照 7.4.1.3 执行。
- b) 废弃矿井封堵。用水泥砂浆、混凝土封堵废弃井筒、巷道，封堵深度达稳定岩土层，防止岩土坍塌、地下水渗漏；周边区域整平覆绿，减少地表扰动。
- c) 挂警示牌。对未充填的采空区、地裂缝等有安全隐患区域挂警示牌。
- d) 对矿区排土场重点防控水土流失与小型滑坡，周边应设置截排水设施、种植乡土植被固土。
- e) 沉降动态监测：在塌陷、地裂缝高发区布设监测点，用自动化设备实时监测沉降量、裂缝扩展速度，建立预警机制，及时处置异常。

7.3.5.2 煤矸石安全隐患防控

煤矸石山的隐患主要分为地质灾害、环境污染和自燃三大类。

- a) 地质灾害隐患防控。对有崩塌、滑坡等安全隐患的矸石山进行整形削坡和支护加固，确保边坡稳定，同时修建截、排水设施，防止雨水冲刷。
- b) 环境污染隐患的消除。在矸石山底部铺设防渗膜，防止淋溶水污染地下水。设置渗滤液收集池，对淋溶水进行收集处理，达标后再排放或利用。在治理稳定的矸石山体表面，覆盖一定厚度的客土，选择耐贫瘠、耐盐碱、固土能力强的乡土植物进行绿化，通过植被根系固定土体，同时改善生态环境。
- c) 自燃防范与治理。对准备堆放或正在排放的矸石应采用分层摊铺、逐层压实的工艺，减少矸石内部孔隙，阻断氧气流通；堆存作业完成后，立即用黄土或表土覆盖表面，防止矸石直接暴露在空气中氧化。对已堆放矸石山发现自燃隐患时，采用注浆、喷洒阻化剂或注惰性气体等方式，抑制氧化燃烧，优先选用环保、无腐蚀的防控材料，避免污染平原地下水与土壤；火势较小时及时覆盖阻燃材料，快速控制蔓延，同步做好现场安全管控。对已着火区域，采用高压水枪注水冷却灭火，或注入氮气、二氧化碳等惰性气体窒息灭火。对浅层火源，剥离表层燃矸石，对未燃矸石进行冷却处理后回填；深层火源采用注浆技术，注入泥浆或阻化剂（如磷酸盐水溶液），隔绝空气，阻止氧化继续。
- d) 建立监测体系。在煤矸石堆存区布设自动化监测设备，实时监测温度、一氧化碳浓度、边坡位移、沉降量等数据，结合人工巡查，建立预警机制，及时发现山体不稳定、自燃征兆等立即预警并处置。

7.4 复垦修复技术

7.4.1 地貌重塑

7.4.1.1 土地平整技术

结合采煤沉陷区地形损毁特征与土地复垦利用方向，因地制宜开展土地平整，其技术实施要点如下：

- a) 对轻微沉陷地或非积水而起伏不平的沉陷地，应进行挖补平整，统一整治地块高程，保障区域地形整体平缓规整。
- b) 基本不积水或干旱地带形成丘陵状地貌，先对局部沉陷地进行土地平整，再根据有效土层厚度和修复方向，确定是否需要添加表土。
- c) 对潜水位较高、地面高差较小的充填沉陷区，采取削高垫低方式逐步平整。
- d) 对恢复为农用地的沉陷区，利用测量仪器精准定位，采用推土机、平地机等设备对不规则田块进行边界规整与内部整平。对存在高低差的田块，就近取土或客土回填，确保田面高程一致；对形状不规则田块，结合地形条件与土地利用规划重新划定边界，实现田块规整化，便于机械化作业与规模化田间管理要求。
- e) 平整后的地面坡度和平整度应符合 TD/T 1036 的要求，用于耕地的田块，可按 GB/T 30600 的相关要求执行。
- f) 场地平整主要包括各种建筑物和构筑物、运输线路和场地雨水排水的标高设计。场地平整须适应建筑物和构筑物的垂直布置要求，确保场地满足建筑地基承载、高程衔接与平整度及场地排水需求，为后续基础施工奠定坚实基础，具体按 TD/T 1036 的要求执行。

7.4.1.2 地表整形技术

此处主要针对地表微地形及煤矸石山整形，具体技术要点如下：

- a) 坡度改造技术。缓坡治理区域修整形成平缓斜坡，坡度控制在 1:10 以内，减缓径流、防控土壤侵蚀；陡坡采用阶梯式改造，构筑多级平台并加固边缘，有效缓流固土。高陡边坡实施分层削坡，设置平台与排水设施，降低坡比、提升整体稳定性。普通坡地结合挡护结构与植被覆盖，防冲刷、稳边坡，兼顾生态景观。
- b) 煤矸石山梯田式整形。确定梯田参数：根据煤矸石山的具体情况，确定梯田的台阶高度、宽度、坡度等参数。一般来说，梯田台阶高度宜为 5.0m-8.0m，坡率不宜大于 1:1.75，台阶设置为 2%-5% 坡度的反坡形式，宽度不宜小于 3.0m。分层填筑与压实：从煤矸石山的底部开始，逐层向上填筑煤矸石，形成梯田的台阶。每填筑一定厚度的煤矸石，需要使用压路机等设备进行压实，确保煤矸石的密实度，提高梯田的稳定性。回填区的煤矸石填埋厚度每达到 1.0m 应摊铺、平整、碾压。修筑边坡和排水沟：在梯田的边缘修筑边坡，以防止煤矸石滑落。

边坡的坡度和高度应根据梯田的高度和稳定性要求进行设计。同时，在梯田的内侧或外侧设置排水沟，用于排除雨水和坡面径流，防止积水对梯田造成破坏。

- c) 煤矸石山螺旋线式整形。根据煤矸石山的实际情况和周边地形地貌，设计螺旋线的具体参数，包括螺距、螺旋半径、台阶高度和宽度等。同时，规划好排水系统、运输通道等配套设施的布局。整形施工：采用挖掘、推平、碾压等工程手段，按照设计要求对煤矸石山进行螺旋线式整形。在施工过程中，要注意控制施工进度和质量，避免对山体造成过度扰动和破坏。排水系统建设：在螺旋线式整形的过程中，同步建设排水系统，包括截洪沟、排水沟、沉砂池等，确保雨水能够顺利排出，防止积水对煤矸石山和周边环境造成危害。
- d) 煤矸石山微台阶式整形。台阶高度与宽度：台阶高度一般控制在 0.5-1.5m 之间，宽度则根据实际地形和施工条件确定，通常在 1-3m。在地形较为平缓的区域，可适当增加台阶宽度；而在地形复杂、坡度较大的地方，减小台阶高度，增加台阶数量，以更好地适应地形变化。坡度设置：每个微台阶的坡面坡度一般设计在 $30^{\circ} - 45^{\circ}$ 之间，既能满足排水需求，又能确保台阶自身的稳定性。排水系统规划：沿台阶边缘设置排水沟，将雨水有序引导至坡底的集水池或排水管网。在台阶表面铺设一定厚度的砾石或粗砂，形成透水层，促进雨水下渗，减少地表积水。

7.4.1.3 充填修复技术

对永久性裂缝及塌陷盆地采取充填修复技术，使其恢复到可供利用的状态或达到设计标高，应注意分层回填及污染物迁移问题，具体技术要点如下：

- a) 永久性裂缝或较深的沉陷区充填，具体要求如下：宽度较小的裂缝，宜采用人工整治的方法，应就地取小粒沙石和表土填补裂缝，夯实平整。宽度较大的裂缝，宜采用机械充填和人工充填相结合方式，先用粗砾石或砾石填堵孔隙，其次用次粗砾，最后用砂、土填堵，表层填土逐层夯实，直至达到设计高程。裂缝分布密度较大的区域，宜采用机械充填和人工充填相结合方式，可在整个区域内剥离表土并挖深至设计标高，再统一充填并铺垫，表土填补逐层夯实，直至达到设计高程。
- b) 塌陷盆地底泥充填。根据采煤塌陷盆地的相关参数，确定待充填复垦区域位置、面积和充填厚度。将待充填复垦区域划分为多个条形复垦区域，由距积水区自远而近进行充填。抽取高潜水位采煤塌陷区中积水区的底泥混合物进行充填，在奇数或偶数的条形复垦区域充填完毕之后在其上面设置堆载层，堆载层可作为后续充填原料。
- c) 针对塌陷区下部充填时的污染物迁移问题，可以采用污染源控制、隔离屏障、排水系统设计、合理选择充填材料等方式解决。所有固废需检测合格或经无害化处理，确保地下水常规及非常规指标符合Ⅲ类限值标准，土壤重金属含量不高于风险筛选值。

7.4.1.4 疏排技术

沉陷区外河水位高于沉陷区地表标高时，采用强排法排除沉陷区积水。沉陷区外河水位低于沉陷区地表标高时，在沉陷区内建立合理的疏排水系统，通过自排的方式排除沉陷区地表积水。其关键技术要点：

- a) 在沉陷区周边和内部，按照设计要求开挖截水沟，拦截周边山坡的地表水，防止其流入沉陷区增加积水。同时，开挖排水沟，将沉陷区内的积水引导至排水出口或集水设施。排水沟的深度、宽度和坡度要根据排水量和地形条件合理确定，保证排水通畅。
- b) 对于需要强排的区域，要安装排水泵站，配备合适功率的水泵和电机，确保能够将积水提升排出。在穿越道路、建筑物等障碍物时，要安装涵管，保证排水系统的连续性。
- c) 在沉陷区内低洼处或排水系统的末端，建设集水池、水塘等集水设施，用于暂时储存积水，调节排水流量，也可作为灌溉水源或生态用水进行综合利用。排出的积水必须满足承泄区受纳水体对水质的要求，必要时加临时处理池进行达标处理。
- d) 在排水完成后，对沉陷区土地进行平整，消除因开采沉陷造成的地表起伏和坑洼，使土地达到适宜耕种或其他利用的平整度要求。

7.4.1.5 挖深垫浅技术

对高潜水位积水沉陷区可通过合理开挖与回填，来实现恢复耕地和水域，其关键技术要点如下：

- a) 积水较深的沉陷区域，挖深取土充填到沉陷较浅无积水区域直至达到设计高程。地下水位埋藏较浅的区域，可在 1.5m-3.0m 之间的沉陷区内进行挖深垫浅。地下水位埋藏较深的区域，可在 2.0m-4.0m 之间进行挖深垫浅，其挖深和垫浅原则上不应超过 2m。
- b) 在施工前，先将拟挖深区和垫浅区表层的熟土进行剥离，剥离厚度一般根据土壤肥力和作物生长需求确定，通常为 30cm 至 50cm 左右，将剥离的表土集中堆放并妥善保存，用于后续的土地改良和植被恢复。
- c) 使用挖掘机、推土机、铲运机等大型机械设备，按照设计要求对沉陷深的区域进行挖掘加深，形成具有一定深度和面积的水域，如鱼塘、蓄水池等，挖掘过程中要控制好深度和坡度，确保水域的稳定性和安全性。
- d) 将挖深过程中挖出的土方运输到沉陷浅的区域进行充填垫高，分层压实，使垫浅后的土地达到设计标高，形成平整的耕地或其他用途的土地，同时要注意保证填土的质量和密实度，防止出现沉降不均匀等问题。
- e) 将前期剥离保存的表土均匀地回覆到垫浅后的耕地上，厚度一般为 20cm 至 30cm，以恢复土壤肥力和改善土壤结构。挖深区域保留水面，集中开挖水库、蓄水池、鱼塘或人工湖等，若位于城镇附近，可修复为人工水域、人工湿地和公园。

7.4.2 土壤重构

7.4.2.1 表土剥离与覆盖技术

为保护耕作层土壤资源、保障复垦后土地生产力，在拟积水沉陷区及损毁土地施工前统一实施表土剥离、规范储存与分层覆填，具体技术要求如下：

- a) 表土剥离关键技术要点参照 7.3.3。对低潜水位地区，开采煤层厚，可能产生积水的区域，应根据开采沉陷预计的结果在开采前提前进行表土剥离。
- b) 表土覆盖技术。应通过分层剥离并错位方式回填，实现土壤剖面重构。
- c) 表土再利用的回覆厚度宜 $\geq 20\text{cm}$ ，用于耕地的，覆土后新土层厚度应符合 GB/T 33469 附录 B 中不同区域有效土层厚度的指标要求。用于高标准农田建设的，覆土后新土层厚度应符合 GB/T 30600 的要求。用于生态修复和绿化景观的，覆土后新土层厚度应符合 CJJ 82 表 4.1.1 的要求。

7.4.2.2 回填技术

结合沉陷区地形落差与土地复垦规划设计要求，应科学分层构筑回填结构和规范选择填筑材料，其实施要点如下：

- a) 回填技术适用于沉陷区地面标高与规划可利用高程差距较大的区域，通过机械回填、分层压实与场地整平，使沉陷区地面达到设计高程后，再进行表土回覆，潜水位高的地区应修建截排水沟。
- b) 回填顺序：严格按照剥离表土、充填、压实、覆土的先后顺序进行构筑。覆土的有效土层厚度应符合 GB/T 30600 的要求，确保后续植被生长和土地利用。
- c) 回填层构建。耕地型回填层主要包括表土层、过渡层和支撑层，其中表土层 0-50cm，回填材料为剥离的原表土和有机肥；过渡层为 50-150cm 之间，充填材料可以为淤沙、粉煤灰、植物废弃物或深层土壤等；支撑层在 150cm 以下，充填材料可以为煤矸石、建筑固废、碎石块，缝隙用砂砾石、粉煤灰充填。建设用地型回填层主要包括找平层、持力层和基础层。其中找平层 0-30cm，以灰土、粉煤灰和建筑废弃物细料为主；持力层 30-100cm，以建筑废弃物破碎料、煤矸石和粉煤灰为主；基础层在 100cm 以下，以建筑废弃物破碎料和煤矸石为主。
- d) 回填材料选择：应综合考虑稳定性、透气性、透水性、密实性以及材料可获得性等特点。可利用煤矸石、粉煤灰、建筑固废、植物废弃物、深层土壤等固体废弃物进行充填。但要注意防止固体废弃物中的有害物质对土壤和地下水造成污染。

7.4.2.3 客土技术

针对区域土层浅薄、土壤质地较差、原生土壤损毁严重等问题，通过外源优质土壤补给改良立地条件，其关键技术要点如下：

- a) 客土土源应尽量选择质地适宜、无污染且理化性状良好的客土。
- b) 合理设计并保障有效土层厚度，优化土壤剖面构型，破除过砂、过黏、土层浅薄等障碍层结构。
- c) 施工中可根据地块规模、场地条件及表土肥力状况，选用分田块式表土剥离-覆客土-客土平整或表土中间堆置-覆客土-客土平整工艺，严格控制土层铺设、平整与压实程度，避免二次压实板结与土层脱节。
- d) 同时配套水土保持、排水防渗及后期培肥管护措施，快速构建满足植物生长与生态稳定需求的土壤环境，实现土地复垦与修复目标。

7.4.2.4 翻耕技术

对需要破除土壤板结、改善土体结构、提升透气保肥能力的土地实施翻耕技术，其实施要点如下：

- a) 翻耕深度。翻耕深度一般为20-50cm，具体根据土壤的质地、紧实度、肥力状况以及复垦目标等因素来确定。对于质地较黏重、紧实度较高的土壤，翻耕深度可适当加深；而对于质地较轻、肥力较好的土壤，翻耕深度可相对较浅。
- b) 翻耕方式。包括机械翻耕和人工翻耕两种。机械翻耕可选择犁、旋耕机、深松机、耙地机、铲运机、推土机，适用于大面积的土地复垦；人工翻耕适用于小面积或机械难以到达的区域。在实际操作中，可根据具体情况选择合适的翻耕方式。
- c) 翻耕后的处理。翻耕后要及时对土壤进行平整、耙耱等处理，使土壤表面平整细碎，减少土壤水分蒸发，提高土壤的保墒能力。同时，还可以根据需要进行施肥、播种等后续作业。

7.4.2.5 土壤改良与培肥

针对沉陷区土壤退化、肥力不足等问题，通过化学改良和培肥的方式，提高土壤肥力，具体技术要点如下：

- a) 化学改良措施可依据土壤立地条件和土壤理化性质确定改良措施。干旱地区或保水不良的沉陷区，可使用保水剂，保水剂宜按 NY/T 886 的要求执行。肥力低的土壤可以施用农家肥或商用有机肥，有机肥的技术指标宜按 NY/T 525 的要求执行。酸性土壤可采用施用石灰或土壤调理剂等措施；碱性土壤可施加石膏、硫磺或硫酸铁等措施。
- b) 选择肥料宜就近选择成本较低的肥料，采用有机肥和无机肥相结合的原则。施用肥料时可添加微生物肥料改善土壤微环境。
- c) 养殖水域开展底泥改良。对退化、受污染塘底底泥进行净化处置，钝化重金属及有害污染物。合理施用生石灰等材料改良底质环境，平衡酸碱度、削减内源污染。对渗漏严重塘体，采用黏土压实、防渗膜铺设等方式做好塘底防渗，稳定水域水位，保障养殖水环境稳定。

7.4.3 植被重建技术

7.4.3.1 植物选择

物种选择修复植物物种选择应以修复区所在地气候环境适应性为前提，并遵循如下原则：

- a) 树种选择抗风、抗寒、耐瘠薄的树种；同时，优选能改良土壤，有效提供燃料、饲料、木料、肥料，耐平茬、热能高、耐啃食、适性好的树种。
- b) 尽量选择生长快、生物量大的乔灌木植物以及具有固氮能力的物种。
- c) 优先应用乡土植物、地域特征鲜明的地带性植物和适生植物，构建近自然群落。
- d) 平地宜选择兼顾生态、景观、经济等综合目标的物种；坡面宜选择根系发达、生长快的本地生植物。
- e) 水域湿地植被恢复应选择适应当地气候和土壤条件的本土湿地植物（如芦苇、香蒲、菖蒲等）进行种植。

7.4.3.2 栽植技术

结合区域立地条件与植被修复目标，落实乔灌木、草本植被标准化栽植要求，具体技术要点如下：

- a) 选择适合植树季节种植乔、灌木，植苗时宜带土移植，淋浇定根水，根据土壤肥力情况，合理施肥。

- b) 树木栽植方法及栽植要求宜按 GB/T15776 和 GB/T 18337.3 的要求执行。
- c) 退化草地和人工种植草地的栽植方法和栽植要求宜按 GB/T37067 和 NY/T1342 的要求执行。
- d) 造林初植密度一般可以 3 年~5 年内达到郁闭、幼树生长良好为衡量标准。其合理密度则应根据立地条件、树种生物特性和利用的经济价值等的不同来确定。

7.4.3.3 植被配置

立足区域立地条件与生态修复目标，科学优化植物群落结构，因地制宜开展分区植被搭配与布局，关键技术要点如下：

- a) 充分考虑物种的生态位特征，合理选配植物种类，乔木、灌木、草本植物合理配置，避免种间直接竞争，形成结构合理、功能健全、种群稳定的复层群落结构。
- b) 平地应以营造生态经济林或农田防护林为主；坡面应以乔灌草结合的水土保持林为主。
- c) 水域湿地应多层次植被构建。构建包括沉水植物、浮水植物、挺水植物、湿生植物和陆生植物的多层次植被结构，增强生态系统的稳定性。在沉陷区汇水区域，建设滨岸缓冲景观带。
- d) 以改善景观和生态涵养为目的的植被恢复，可适当调整营造景观林、景观绿地和经济林的比例。同时运用不同种类、形态、色彩的植物，营造丰富多样的景观效果。通过乔、灌、草的合理搭配，形成多层次的植物群落，同时考虑植物的季相变化，确保四季有景。

7.4.4 水域重构

7.4.4.1 一般要求

针对高潜水位矿区，通过合理规划和改造，构建新的水系格局。水文重构的对象不仅包括矿区内水环境治理，还应包括修复区内河道沟渠的修复以及与因采煤塌陷形成的常年积水区和季节性积水区的水系连通。

7.4.4.2 水环境治理修复

水环境的治理修复应从地表水和地下水两方面展开工作。

- a) 地表水水环境修复。矿区地表水治理以“污染源头管控+水质净化提升+生态功能保障”为核心，构建全链条修复体系。源头管控：精准排查采矿废水、煤矸石淋溶水、农业面源等污染源，通过工业废水集中处理、矸石堆场防渗、农田生态拦截沟渠，实现污染源头阻断。水质改善应可采用浮动式或移动式生物接触氧化技术、微生物修复技术、絮凝沉淀技术、渗滤技术、浮岛技术等对水质进行原位高效净化，按 GB 3838 的要求执行。可改造硬化河道为自然断面，强化水体自净能力。生态保障：保护水生生物栖息地，修建生态鱼道恢复洄游通道，开展土著生物增殖放流，通过生物链调控维持水质稳定，构建健康水生态系统，具体按 SL/T 800 的要求执行。
- b) 地下水水环境修复。对于含水层的保护与修复可按照 DZ/T 0223 中 9.1.2 和 9.2.5 执行。对于地下水水位下降、水量减少的修复治理，可采用防渗帷幕拦截主要导水通道和对自然溢水井口封堵等堵截工程措施治理。地下水水质修复应根据地下水的污染的实际情况，从异位修复、原位修复及风险管控三方面展开，具体按照 HJ 25.6，修复后地下水质量应达到 GB/T 14848 中的水质标准。

7.4.4.3 河道沟渠修复

根据矿区水系损毁现状及当地防洪排涝要求，对塌陷区内因煤炭开采损毁的河道沟渠进行修复，其技术要点如下：

- a) 清淤疏浚。清除河道底部的淤泥、泥沙等杂物，恢复河道的过水能力和行洪能力。
- b) 岸坡加固。采用土工布、石笼网等材料对岸坡进行加固，或者种植根系发达的植物进行生物护坡，增强岸坡的稳定性。
- c) 生态护坡构建。在满足岸坡稳定的基础上，可采用生态混凝土、多孔砖等材料，为植物生长提供基质，种植芦苇、菖蒲等水生植物和护坡草本植物，构建生态护坡。
- d) 水系连通。检查和修复因煤矿开采而破坏的沟渠河道连接部位，确保水系的连通性。

7.4.4.4 塌陷区水文重构

结合采煤塌陷区水文环境受损现状，依托地形整治与水系工程措施及土地利用规划，重塑区域水系格局、优化水文循环体系，其关键技术要点如下：

- a) 地形改造。根据地貌设计，通过挖深垫浅将塌陷区内水域与陆地分开，具体参照 7.4.1.5 执行；或者梯田式改造在梯田的边缘设置田埂和排水通道，实现雨水拦截和储存，具体参照 7.4.1.2 执行。
- b) 水系调控。积水疏排与引流：建设排水泵站、铺设排水管道等设施，将塌陷区过多的积水疏排到附近的河流、湖泊或排涝水系中。同时，通过合理设置引流沟渠，引导地表径流流向指定区域，避免积水对周边土地和生态环境的进一步破坏。水位调控：布设水位监测设施，动态监测区域地表水、浅层地下水位变化。结合土地复垦利用方向与生态修复要求，通过沟渠节制、洼地整治、合理疏排等综合措施，调控区域水土水文条件。水系连通与优化：修复因煤矿开采而破坏的沟渠、河道等水系连接部位，确保地表水在不同区域之间能够自然流动，提高水资源的调配能力和利用效率。同时，对塌陷区及周边的水系进行整体规划和优化，形成科学合理的水网系统，促进水循环和生态系统的恢复。

7.4.4.5 湿地构建

利用塌陷区的积水区域，通过人工设计和改造，构建湿地生态系统。选择合适的湿地类型，通过种植水生植物，投放水生动物，形成具有净化水质、调节气候、保护生物多样性等功能的湿地景观。同时，合理控制湿地的开发利用强度，避免过度的旅游开发或农业生产活动对湿地生态造成破坏。

7.4.5 景观营建

7.4.5.1 生境景观

针对平原区沉陷后形成的微地形，构建多样化生境单元，为动植物提供栖息空间，同时改善区域生态小气候。其技术要点如下：

- a) 将无法恢复为农用地的深度沉陷洼地改造为人工湿地或景观水体，修复水文生态，提升水质净化能力。主要包括水体形态设计、生物群落配置和动物栖息地配套，具体按HJ 2005、GB 51192的要求执行。
- b) 针对轻微沉陷形成的缓坡地，通过微地形优化和植被配置构建旱生植被群落，防止土壤侵蚀，提升区域植被覆盖率；针对土壤贫瘠、有机质含量低的区域（有机质<1%），通过斑块化布局和先锋植物种植改良土壤，构建过渡性生境，具体按DB11/T 1690、GB 51192的要求执行。

7.4.5.2 生产景观

在保障生态安全的前提下，结合农业、林业生产，构建“生态友好型”生产景观，提升土地经济价值。其要点如下：

- a) 将轻度沉陷区恢复为高标准生态农田，兼顾粮食生产与生态保护。按 GB/T 30600《高标准农田建设通则》规整田块。
- b) 在土壤条件较差或不适宜农业种植的区域，营造经济林或生态林，实现生态效益与经济效益双赢。选用适宜平原区生长的经济树种，在矿区边界、道路两侧营造生态防护林带，选用速生乡土树种，林内设置林间步道，供后期生态观光使用。

7.4.5.3 生活景观

针对矿区及周边居民的生活需求，在复垦区域内营建休闲游憩景观，将工业伤疤转化为居民日常活动的绿色空间，提升区域人居环境质量。其要点如下：

- a) 以沉陷洼地改造的人工湿地或景观水体为核心，构建滨水休闲空间，满足居民散步、观景、亲子活动等需求。主要包括休闲设施配置、安全与生态兼顾。具体按GB 51192的要求执行。
- b) 在矿区居民点周边或复垦区域中心位置，营建小型公园，为居民提供就近休闲、健身的场所。功能分区设计和乡土元素融入。

7.4.5.4 廊道景观

平原区复垦土地常呈碎片化分布，廊道景观需串联各类景观单元，形成点-线-面结合的景观网络，同时保障生物迁移与居民通行。其要点如下：

- a) 连接不同生境斑块，为动植物提供迁移通道，提升区域生物多样性。沿复垦区域自然边界或碎片化斑块之间的空白区域布设生态廊道；廊道内种植本土乔木形成乔木隧道，林下种植灌木及草本，为动物提供食物与遮蔽；禁止在廊道内设置硬质路面，采用碎石路或土路，减少对动物活动的干扰。
- b) 在复垦区域内的主要道路两侧营建交通廊道，兼具生态防护与景观美化功能。道路两侧设置绿化带，靠近路面一侧种植低灌木形成绿篱，外侧种植乔木及花灌木，形成绿篱-花灌木-乔木三层景观。道路采用透水铺装，减少地表径流；道路两侧设置生态边沟，收集路面雨水并引导下渗，同时边沟可作为小型动物的临时通道，提升景观连通性。

7.4.5.5 文化景观

平原区井工煤矿复垦区域的景观营建需融入矿区文化元素，通过景观载体保留工业记忆，增强居民对区域的认同感与归属感。其要点如下：

- a) 利用矿区遗留设施改造为文化景观，传承煤矿开采历史。通过利用废弃设施、煤矸石山、老厂房等展示矿山历史、矿工生活等，让大家了解煤矿开采过程，增强文化传承效果。
- b) 结合平原区当地民俗文化，如农耕文化、民俗节日，在复垦景观中融入地域元素，塑造特色景观标识，将景观空间转化为民俗文化传播的载体。

7.4.6 配套工程设施建设

7.4.6.1 水土保持设施

结合沉陷区地形条件与水土流失防控需求，采用工程措施与生态措施相结合的方式，系统布设全域水土保持防护设施，具体技术要点如下：

- a) 坡面防护设施。针对缓坡地，沿等高线修建梯田埂，梯田内侧开挖蓄水沟，拦截雨水并引导下渗；坡度陡峭的区域，种植固土能力强的草本植物形成植被防护带。
- b) 沟道防护设施。在复垦区域内的自然沟道或人工开挖的排水渠两侧，修建护岸工程，采用生态袋护岸或格宾网护岸，防止沟道冲刷导致的水土流失。
- c) 沉砂设施。必要时在灌排水系统的入口处设置沉砂池。

7.4.6.2 水体净化与防护设施

结合沉陷区水系修复与水生态保护需求，配套构建生态净化、隔离防护及水位调控体系，强化水质保障与水系稳定，具体建设要点如下：

- a) 人工湿地净化系统。可在景观水体或农田退水的出口处，建设表面流人工湿地，湿地基质采用“沸石+活性炭+碎石”分层铺设，种植芦苇、香蒲、美人蕉等水生植物，通过基质吸附、植物吸收、微生物降解，去除水体中的污染物。
- b) 水体防护隔离带。在景观水体、人工湿地周边设置生态隔离带，种植乔木、灌木及草本植物，形成“乔-灌-草”三层结构，拦截周边区域的面源污染，同时为水生生物提供栖息与遮蔽空间。
- c) 水位调控设施。在沉陷洼地改造的景观水体或湿地中，设置节制闸与提水泵站，根据季节变化与生态需求调控水位。

7.4.6.3 农林业生产设施

结合复垦区农林业发展规划与生产作业需求，统筹布局交通、灌排及配套辅助设施，主要技术要点如下：

- a) 田间道路设施。按主干道-次干道-田间道三级体系建设。主干道连接复垦区域与外部公路，满足大型农机通行；次干道连接各农田片区；田间道深入农田内部，方便小型农机作业；道路两侧设置排水沟，确保雨季排水通畅。
- b) 灌排设施。根据复垦区域的土地利用类型选择适配的灌溉方式。需与复垦时的水文重构工程衔接，满足农作物、林业苗期保墒、灌浆期补水需求。

- c) 生产辅助设施。根据需要建晾晒场、烘干塔、粮食仓储间、木材加工临时点等。

7.4.6.4 休闲游憩设施

对修复为休闲娱乐区应科学配置休闲、健身、服务及标识系统等设施，其建设要点如下：

- a) 游步道与健身设施。沿滨水景观带、社区公园、生态廊道建设连续的游步道系统。
- b) 休憩与服务设施。在滨水景观带、社区公园内设置休憩凉亭、观景平台；设置便民服务点；儿童游乐设施等。
- c) 照明与标识设施。在游步道、健身站点、休憩凉亭等区域设置照明设施；设置导览标识系统、景点解说牌、安全警示标识等。

7.4.6.5 安全保障设施

根据区域人居安全、水域防护及地质风险防控要求，对项目区布设安全设施，具体建设要点如下：

- a) 消防设施。在社区公园、滨水景观带、商业服务设施周边及社区服务中心、超市、餐饮店等人员密集场所设置消防设施，并定期检查维护，确保消防设施完好有效。
- b) 防溺水设施。在滨水景观带、人工湿地等水体周边设置防护栏，防护栏上悬挂救生圈。在水体周边设置监控摄像头，安排专人巡逻，及时发现与制止危险行为。
- c) 地质灾害监测与预警设施。针对复垦区域内可能存在的地质灾害隐患点，设置位移监测点、裂缝监测点，实时监测地质灾害隐患点的变化情况；建设预警广播系统，当监测到地质灾害风险时，及时发布预警信息，指导居民疏散避险。

8 边采边复技术

8.1 技术原理

基于对煤矿开采过程中岩层移动、地表沉陷规律的精准掌握，在开采作业的同时，按照预先制定的复垦规划，对可能或已经受到开采影响的土地进行及时处理。通过对开采沉陷的动态监测与预测，提前介入复垦工程，实现地下开采与地面复垦的有机结合，最大程度降低开采对地表生态的破坏程度，并加速土地生态系统的恢复进程。

8.2 关键技术要点

- 8.2.1 根据矿山开采计划和采煤沉陷地的地质条件划分开采单元，采用开采沉陷理论预计开采单元各开采时段的动态下沉等值线，确定修复范围。
- 8.2.2 根据开采、损毁时序及技术经济合理性，判断是否可以实施边采边复。
- 8.2.3 模拟不同修复时机下耕地恢复率、投资、水土布局等，综合考虑上述分析确定最优的修复时机，从而确定水土布局，设计修复标高和动态施工工艺。
- 8.2.4 表土剥离与存储技术。在开采前或开采初期，应对拟开采区域的优质表土进行剥离，并妥善存储。具体参照本文件 7.3.3 执行。
- 8.2.5 地貌重塑技术。根据开采沉陷预测结果，对已采或未开采区域进行地形改造和土地平整。具体参照 7.4.1 执行。
- 8.2.6 土壤重构技术。具体参照 7.4.3 执行。
- 8.2.7 植被重建技术。具体参照 7.4.4 执行。

8.3 技术流程

8.3.1 规划设计阶段。在煤矿开采前，进行详细的地质勘查和土地资源调查，结合煤矿开采计划，制定科学合理的边采边复规划。明确复垦区域、范围、复垦目标、技术方案和实施步骤，确保开采与复垦相互协调。

8.3.2 开采与监测阶段。按照开采计划进行井下开采作业，同时启动地表沉陷监测系统，实时掌握开采过程中地表的变化情况。根据监测数据，及时调整开采工艺和复垦方案，确保开采与复垦的同步性和有效性。

8.3.3 边采边复实施阶段。在开采过程中，根据开采进度和地表沉陷预测情况，提前进行充填、表土

剥离、土地平整、土壤改良、植被恢复等复垦工程。

8.3.4 后期管护阶段。复垦工程完成后，对复垦土地进行定期巡查和管护，对并开采区域进行沉陷监测，若实际沉陷与预测情况不一致，应及时处理补救。

9 监测、管护及适应性管理

9.1 监测

9.1.1 不同修复区域的监测内容

9.1.1.1 农业修复区域，应突出土壤性状、分布、面积、土壤肥力、理化性质及作物产量等监测，应加强地表沉陷、地裂缝、潜水位变化等状况监测。

9.1.1.2 林草修复区域，应突出植被群落的种类、分布、面积、植被成活率、覆盖度等监测，应加强地表沉陷状况及动物种群的数量和分布状况等监测。

9.1.1.3 建筑群及大型工程建设区域，应突出建（构）筑物上部结构及基础的变形监测，应加强地表沉陷稳定性、地裂缝状况、边坡稳定性等监测，必要时还应进行地下采空区及其覆岩的变形监测。

9.1.1.4 人工湿地区域，应突出水体分布、面积、水质、水深以及地下潜水位、水质等监测，应加强地表沉陷、地裂缝及水域边坡稳定性等监测，按 DZ/T 0287、HJ/T 91.2 的要求执行。

9.1.1.5 煤矸石山、排土场等修复区域，应突出植被种类、分布、面积、植被成活率、覆盖度等监测，加强边坡稳定性、煤矸石自燃、水土流失等状况监测。

9.1.1.6 水环境修复区域，应突出不同区域水位、水质、流量等监测，应加强污染源等的监测，按 DZ/T 0287、GB/T 51040 的要求执行。

9.1.2 各监测要素（内容）监测指标和方法

9.1.2.1 土壤质量监测。主要内容有修复区地形坡度、有效土层厚度、土壤有效水分、土壤容重、酸碱度（pH）、有机质含量、有效磷含量、全氮含量、土壤侵蚀模数等，监测方法按 HJ/T 166 的要求执行。

9.1.2.2 地表变形监测。通过建立地面观测站对地表变形进行监测，及时掌握地面变形情况，具体按 DZ/T 0287 的要求执行。

9.1.2.3 地下水监测。按照《矿区地下水监测规范》（DZ/T 0388）标准通过建立监测点对水位、水温、水量及水质进行监测，具体按 DZ/T 0388 的要求执行。

9.1.2.4 地表水监测。通过建立样点、样线对地表水水质进行监测，具体按 HJ/T 91.2 的要求执行。

9.2 管理与养护

9.2.1 一般要求

设施维护、植被养护、后期管护时间及管护运营机制等应符合 TD/T 1031.1《矿山生态修复技术规范 第 1 部分：通则》8.2 的要求：

矿山生态修复工程验收合格后，根据矿山生态修复目标，需做好后期管护工作，管护内容主要包括工程设施维护和植被养护。

9.2.2 植被养护

9.2.2.1 植被养护主要灌溉、追肥、清除杂草、防治病虫害、补植、补种等措施，对复绿植被进行养护。后期管护时间根据矿山自然生态条件和修复成效确定，一般管护时间为 2-3 年。未成林管护工程管理办法应按照 GB/T 15776 的要求执行。

9.2.2.2 灌溉。根据地势选择合适的灌溉方式，平缓地段采用沟灌和滴灌，坡度较大的地段采用穴灌和滴灌，高低起伏的地段采用穴灌。造林或种草后，进行及时灌溉，灌溉量为渗水深度 20 cm~50 cm，并采取覆盖措施以保持水分。造林或种草成活后 1 年~2 年，植物生长期，视土壤水分情况浇水 1 次~2 次，保持土壤含水量为大田持水量的 70 % 以上。

9.2.2.3 施肥。在种植前，应结合整地预先施入基肥，每公顷施农家肥或者有机肥 15000 kg~30000 kg 和适量过磷酸钙、复合肥等。种植后 1 年~2 年生长期结合降雨或浇水情况，适量追肥。

- 9.2.2.4 除草。造林后前2年，每年在树穴周围半径0.3m范围内进行2次~3次松土除草。
- 9.2.2.5 病虫害防治。加强病虫害的预测预报工作，采取预防为主综合治理的措施防治病虫害。对植物材料进行严格检疫，避免从外地引进有病虫害的植物材料。如发现病虫害发生，应及时进行防治，化学农药的使用标准按照GB/T 8321的要求执行。
- 9.2.2.6 培土。大雨或暴雨后水土流失严重坡面地段要及时培土，尽快恢复原有平整坡面，培土后要压实以保证根系与土壤紧密结合。
- 9.2.2.7 定株和补植。播种造林出苗后应进行定株或移栽，以形成合理的造林密度。定株分2次~3次进行，去劣留优，根据经营目的，每穴可留1株~数株，对于条播以形成合理的株距为宜。造林成活率低于85%，或者造林成活率虽然达到85%，但呈片状死亡的，应及时进行补植；死亡率较高的种草地，也应进行补植，补植时应选择相同或更适宜树(草)种。

9.2.3 水域湿地管理与维护

9.2.3.1 水质管理

湿地水质管理具体措施如下：

- 水质监测。定期监测水体中的pH值、溶解氧、营养盐(如氮、磷)等指标，确保水质达标。
- 污染控制。防止工业、农业和生活污水排入湿地，设置缓冲带过滤污染物。
- 水生植物管理。种植水生植物(如芦苇、香蒲等)，利用其净化水质的能力，防止水体富营养化。

9.2.3.2 湿地生态系统管理

湿地生态系统管理要点如下：

- 生物多样性保护。保护和恢复湿地中的动植物种群，特别是濒危物种，维持生态平衡。
- 水位调控。根据季节和生态需求，合理调控湿地水位，避免干旱或洪涝对生态系统的破坏。
- 入侵物种控制。定期巡查，及时清除外来入侵物种，防止其对本地物种的竞争和破坏。

9.2.3.3 湿地植被管理

湿地植被管理主要要求如下：

- 植被恢复。选择适应当地环境的湿地植物进行种植，促进湿地植被的自然恢复。
- 定期修剪与清理。定期清理湿地中的枯枝落叶，防止其腐烂后影响水质。

9.2.4 边坡工程养护管理

边坡工程养护主要要求如下：

- 养护期应持续监测边坡沉降、裂缝发育与植被长势，及时对缺损植被补植、松动坡面加固、排水系统清淤疏通，保障边坡长期稳定。
- 严禁在坡顶及坡面随意堆载、开挖扰动，同时做好季节性管护，雨季重点防渗排水，旱季加强植被保墒，防止因人为破坏或极端天气引发次生灾害。
- 具体按照GB 50330和DZ/T 0219的要求执行。

9.2.5 排蓄工程养护管理

排蓄工程养护管理主要要求如下：

- 定期巡查疏浚排涝沟渠、蓄水池、沉陷积水区等排蓄设施，及时清淤除草、疏通堵塞，确保汛期排水通畅、旱季蓄水有效。
- 加强堤岸、护坡、闸涵等构筑物养护，及时修补破损、加固松动部位，防止渗漏、坍塌及水流冲刷破坏。
- 做好水位与水质动态监测，合理调控蓄排时序，避免积水内涝、水体黑臭，同时严禁向排蓄系统倾倒垃圾与污染物。排蓄工程的养护按照GB/T 16453.4的要求执行。

9.3 适应性管理

结合采煤沉陷区动态变化特征与生态修复长效需求，实行科学灵活的适应性调控与运维管理，实施要求如下：

- a) 结合沉陷动态、植被长势及水文变化开展长期监测，根据实际效果动态调整复垦与修复方案。
- b) 完善跟踪评估与反馈机制，及时优化工程措施、管护方式，提升生态修复的持续性和稳定性。适应性管理具体按照GB/T 43934的要求执行。

附录 A
(资料性)
土地复垦与生态修复模式

土地复垦与生态修复修复模式及其应用场景和主要技术见表A.1。

表 A.1 土地复垦与生态修复修复模式及其应用场景和主要技术

修复模式	应用场景	主要技术措施
自然恢复	轻度损毁，表土完好、无污染，有天然种源，可接受长周期恢复（如轻度塌陷区、轻度扰动林草地）的区域	封育、封禁、补种等人工引导
辅助再生	轻、中度损毁，自我恢复能力不足但未完全丧失，自然恢复慢，表土退化但可改良的区域	清理危岩、采坑或裂缝回填、废石清理、土地平整、土壤改良，补播补植，排水及抚育管护等
生态重建	中、重度损毁，原生生态消失或损毁严重，地形地貌、土壤植被等严重受损的区域	地貌重塑、土壤重构、消除胁迫因子，植被重建、水文重构及管护等

附录 B
(资料性)
土地复垦与生态修复利用模

土地复垦与生态修复修复利用模式及其对应的修复模式见表B.1。

表 B.1 土地复垦与生态修复修复区主要利用模式

序号	利用模式	损毁单元	修复方向	技术措施	修复模式
1	农林草地	非积水轻度沉陷区	农林草地	封禁、封育、补种、监测管护	自然恢复
		非积水中度沉陷区	农林草地	塌陷坑或裂缝充填、土地平整、排水、补种、配套设施补修、监测管护	辅助再生
		非积水重度沉陷区	农林草地	土地平整技术、地表整形技术、充填修复技术、表土剥离与覆盖技术、回填技术、土壤改良与培肥技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
		季节性积水区	农林草地	土地平整技术、地表整形技术、充填技术、疏排技术或挖深垫浅技术、表土剥离与覆盖技术、回填技术、土壤改良与培肥技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
		工业广场	农林草地	土地平整技术、翻耕技术、客土技术、土壤改良与培肥技术、植被重建技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
		道路	农林草地	土地平整技术、翻耕技术、客土技术、土壤改良与培肥技术、植被重建技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
		矸石山	林草地	土地平整技术、地表整形技术、客土技术、培肥技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
2	建设用地	工业场地、矿山废弃道路	建设用地	场地清理、土地平整技术、配套设施修建等	生态重建
		无积水塌陷	建设用地	土地平整技术、回填技术、配套设施修建等	生态重建
3	渔业养殖	季节性积水区	人工水域	土地平整技术、挖深垫浅、地表整形技术、水文重构技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
		常年积水区	人工水域	土地平整技术、挖深垫浅、地表整形技术、水文重构技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
4	休闲游憩	煤矸石山	景观林	矸石山地表整形、客土技术、土壤改良与培肥技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护和景观重塑	生态重建
		工业广场	工业遗址公园	保持、维修和再造	辅助再生
5	空间功能复合	无积水塌陷区	生态林	土地平整技术、地表整形技术、充填修复技术、土壤改良与培肥技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
		有积水塌陷区	湿地/人工湖	土地平整技术、挖深垫浅、地表整形技术、水文重构技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
		煤矸石山	生态林/景观林	矸石山地表整形、客土技术、土壤改良与培肥技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护和景观重塑	生态重建

序号	利用模式	损毁单元	修复方向	技术措施	修复模式
		工业广场	产业园区/工业遗址	土地平整技术、挖深垫浅、地表整形技术、水文重构技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
		无积水塌陷区	特色农业/林下经济/农光互补/林光互补	土地平整技术、地表整形技术、充填修复技术、表土剥离与覆盖技术、回填技术、土壤改良与培肥技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建
		有积水塌陷区	渔光互补/湿地景观/水域景观	土地平整技术、地表整形技术、充填修复技术、疏排技术或挖深垫浅技术、植被重建技术、配套设施修建、监测管护	生态重建

附录 C
(资料性)
土地复垦与生态修复质量要求

平原区耕地、园地、林地及草地复垦质量控制标准见表C.1。

表 C.1 平原区耕地、园地、林地、草地复垦质量控制标准

复垦修复用途	耕地			园地	林地	草地
	水浇地	旱地	水田			
指标类型	水浇地	旱地	水田			
地面坡度	≤6°	≤6°	≤6°	≤10°	≤10°	—
田面高差 (cm)	±5	-	±3	-	-	-
有效土层厚度 (m)	≤0.8	≤0.6	≤0.8	≤0.4	≤0.3	≤0.4
土壤质地	壤土至壤质粘土			砂土至壤质粘土		
砾石含量 (%)	≤5	≤5	≤5	≤10	≤20	≤10
表土层PH值	6.5~8.0	6.0~8.5	6.5~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
有机质含量 (%)	≥1.5	≥1.0	≥1.5	≥1.0	≥1.0	≥1.0
产量 (kg/亩)	复垦后三年粮食产量不低于当地中等产量水平 (当地小麦、玉米、花生平均产量为450kg/亩、500kg/亩、550kg/亩)	复垦后三年产量不低于当地中等产量水平 (当地梨平均产量800kg/亩)	复垦后三年粮食产量不低于当地中等产量水平 (当地水稻平均产量400kg/亩)	-	-	-
排水设施	满足排水要求, 达到20年一遇雨水防洪要求					
植被恢复效果	-	-	-	-	3年后林木郁密度0.35以上	3年后覆盖度40%以上

注: 该表格修改自 TD/T 1036

平原区建设用地复垦质量控制标准见表C.2。

表 C.2 平原区建设用地复垦质量控制标准

复垦修的用途	指标类型	基本指标	控制标准
建设用地	景观	-	景观协调, 宜居
	地形	平整度	基本平整
	稳定性要求	地基承载力	满足《建筑地基基础设计规范》(GB50007) 要求
	配套设施	防洪	地基设计标高满足防洪要求

注: 该表格引自 TD/T 1036

平原区水域复垦质量控制标准见表C.3。

表 C.3 平原区水域复垦质量控制标准

复垦修复用途	指标类型	基本指标	单位	控制标准
渔业 (含养殖)	规格	塘 (池) 面积	hm ²	0.5-1.0
		塘 (池) 深度	m	2-3
	水体质量	水质	-	满足《渔业水质标准》(GB11607) 要求
	设施配套度	防洪	-	排水设施, 防洪标准满足《灌溉与排水工程设计标准》(GB 50288) 要求
		排水	-	
生产力水平	单位面积产量	kg/hm ²	三年后达到当地平均水平	

复垦修复用途	指标类型	基本指标	单位	控制标准
人工水域和公园	景观	景观协调程度	-	面积宜大于2hm ² ，保持景观完整性与多样性
	水体质量	水质	-	达到《地表水环境质量标准》（GB3838）中IV、V类以上标准
	设施配套程度	防洪	-	排水设施，防洪标准满足《灌溉与排水工程设计标准》（GB 50288）要求
		排水	-	
注：该表格引自 TD/T 1036				

附录 D
(资料性)
修复区常用土地复垦与生态修复技术

不同修复单元常用土地复垦与生态修复技术见表D.1。

表 D.1 不同修复单元常用土地复垦与生态修复技术

序号	技术类型		修复单元				
			农林草地 修复区	渔业养殖区	建设用地	水域湿地 修复区	景观园林 修复区
1	地貌重塑	土地平整	√	√	√	√	√
		地表整形	√	√	√	√	√
		充填修复	√	×	√	×	○
		疏排技术	√	√	√	√	√
		挖深垫浅	√	√	√	√	√
2	土壤重构	表土剥离与覆盖	√	×	×	×	√
		回填技术	√	×	×	√	√
		客土技术	√	×	×	√	√
		翻耕技术	√	×	×	√	√
		土壤改良与培肥	○	○	×	○	○
3	植被重建	物种选择	√	√	○	√	√
		栽植技术	○	○	×	√	○
		植被配置	×	×	×	√	√
4	水域重构	水环境治理	√	×	×	×	√
		河道沟渠修复	√	×	×	×	○
		塌陷区水文重构	√	×	×	×	√
		湿地构建	√	×	×	×	√
5	景观营建	生境景观	○	×	×	√	√
		生产景观	○	×	×	√	√
		生活景观	×	×	○	√	√
		廊道景观	√	√	√	√	√
		文化景观	○	×	○	○	√
6	配套工程设施 建设	水土保持	○	○	×	○	○
		水体净化与防护	×	√	×	√	√
		农林业生产	√	×	×	√	√
		休闲游憩	√	×	○	√	√
		安全保障	○	○	○	√	√
7	边采边复			×	×	×	×

√表示优先选用技术，×表示不推荐选用技术，○表示可选用技术