

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—2025

平原区井工煤矿土地复垦与生态修复评价 技术规程

Technical Guidelines for Land Reclamation and Ecological Restoration Evaluation 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

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 总则 错误！未定义书签。

5 基础信息调查监测 4

6 问题识别与诊断评价 4

7 土地复垦与生态修复适宜性评价 6

8 土地复垦与生态修复技术适用性评价 6

9 土地复垦与生态修复成效评价 9

10 土地复垦与生态修复评价成果 10

附 录 A （资料性） 平原区井工煤矿基础信息调查监测内容 11

附 录 B （资料性） 土地复垦与生态修复技术适宜性评价体系 13

附 录 C （资料性） 土地复垦与生态修复技术适用性评价体系 16

附 录 D （资料性） 土地复垦与生态修复评价报告 20

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。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟归口。

本文件起草单位：中国矿业大学（北京）、开滦（集团）有限责任公司、大地工程开发（集团）有限公司绿色矿山设计研究院。

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评价技术规程

1 范围

本文件规定了平原区井工煤矿土地复垦与生态修复评价的评价内容和评价单元、基础信息调查监测、问题识别与诊断评价、适宜性评价、技术适用性评价和成效评价等。

本文件适用于平原区井工煤矿土地复垦与生态修复评价，其它类型矿区可参照执行。

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 3095 环境空气质量标准
GB 3838 地表水环境质量标准
GB/T 14848 地下水质量标准
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 30600 高标准农田建设通则
GB/T 33469 耕地质量等级
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 42251 采矿沉陷区生态修复技术规程
GB/T 42340 生态系统评估 生态系统格局与质量评价方法
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
DZ/T 0223 矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范
DZ/T 0288 区域地下水污染调查评价规范
DZ/T 0295 土地质量地球化学评价规范
HJ 2.3 环境影响评价技术导则 地表水环境
HJ 19 环境影响评价技术导则 生态影响
HJ 964 环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）
HJ 1171 全国生态状况调查评估技术规范——生态系统格局评估
LY/T 2356 矿山废弃地植被恢复技术规程
SL 190 土壤侵蚀分类分级标准
NY/T 1342 人工草地建设技术规程
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

3 术语和定义

GB/T 43934界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

平原区 plain area

地形宽广平坦或略有起伏，地面自然坡度很小的地区，包括独立型平原和从属型平原。

3.2

评价范围 evaluating area

由煤炭资源开采区和影响区共同构成的区域。

3.3

评价单元 evaluating unit

在评价范围内，损毁类型和程度、复垦修复方向、拟采取技术措施、复垦修复质量标准等基本一致的区域，包括问题识别与诊断单元、适宜性评价单元和复垦修复评价单元。

3.4

季节性积水区 seasonal waterlogged area

采煤沉陷导致地下潜水位上升所形成的非全年的、短周期积水的区域。

3.5

永久性积水区 permanent waterlogged area

采煤沉陷导致地下潜水位上升所形成的常年积水区域。

4 评价内容与评价单元

4.1 评价内容

4.1.1 一般要求

土地复垦与生态修复评价应按问题识别与诊断、土地复垦与生态修复适宜性、技术适用性、成效等进行全过程评价，或根据煤矿开采、复垦修复方案或工程设计、实际需要，选择性开展单项或多项评价。

4.1.2 问题识别与诊断评价

问题识别与诊断评价应在基础信息调查监测的基础上，分析矿山地质环境、土地资源和生态系统问题的主要表现形式，并对矿山地质环境破坏、土地资源损毁和生态系统损伤程度评价。

4.1.3 土地复垦与生态修复适宜性评价

土地复垦与生态修复适宜性评价应按评价范围内的基础信息调查监测数据、问题识别与诊断评价结果、开采前土地利用状况、周边生态环境等，划定评价单元并制定评价指标体系，采用极限条件法、综合指数法等分析评价单元的复垦修复方向和模式的适宜性等级，明确限制因素。

4.1.4 土地复垦与生态修复技术适用性评价

土地复垦与生态修复技术适用性评价应根据预防控制和复垦修复技术的主要技术类型及在不同条件下的适用范围，结合区域地理特征、损毁程度和生态问题、复垦修复方向、管控要求、综合效益等建立评价指标体系，采用层次分析法、专家打分法等计算复垦修复技术的适用性得分和等级。

4.1.5 土地复垦与生态修复成效评价

土地复垦与生态修复成效评价应对地貌重塑、水域重构、土壤重构、植被重建、生态系统恢复的效果与参照生态系统、周边环境对照分析，并开展复垦修复经济、社会、生态效益评价，同步面向村民、农村集体组织、政府等利益相关者开展复垦修复公众满意度调查，明确适应性管理措施。

4.2 评价单元

4.2.1 评价单元类型

评价单元主要包括问题识别与诊断评价单元、适宜性评价单元和复垦修复单元。

4.2.2 评价单元划分

应结合采煤沉陷区积水与否及程度、下沉深度、附加坡度、原用地类型、复垦修复方向、周边土地生态状况、自然和人文地理界线等划定采煤沉陷区问题识别与诊断、适宜性评价和复垦修复评价单元。

4.3 评价技术流程

平原区井工煤矿土地复垦与生态修复评价流程宜包括基础信息调查、问题识别与诊断评价、土地复垦与生态修复适宜性评价、技术适用性评价和成效评价，如图1所示。

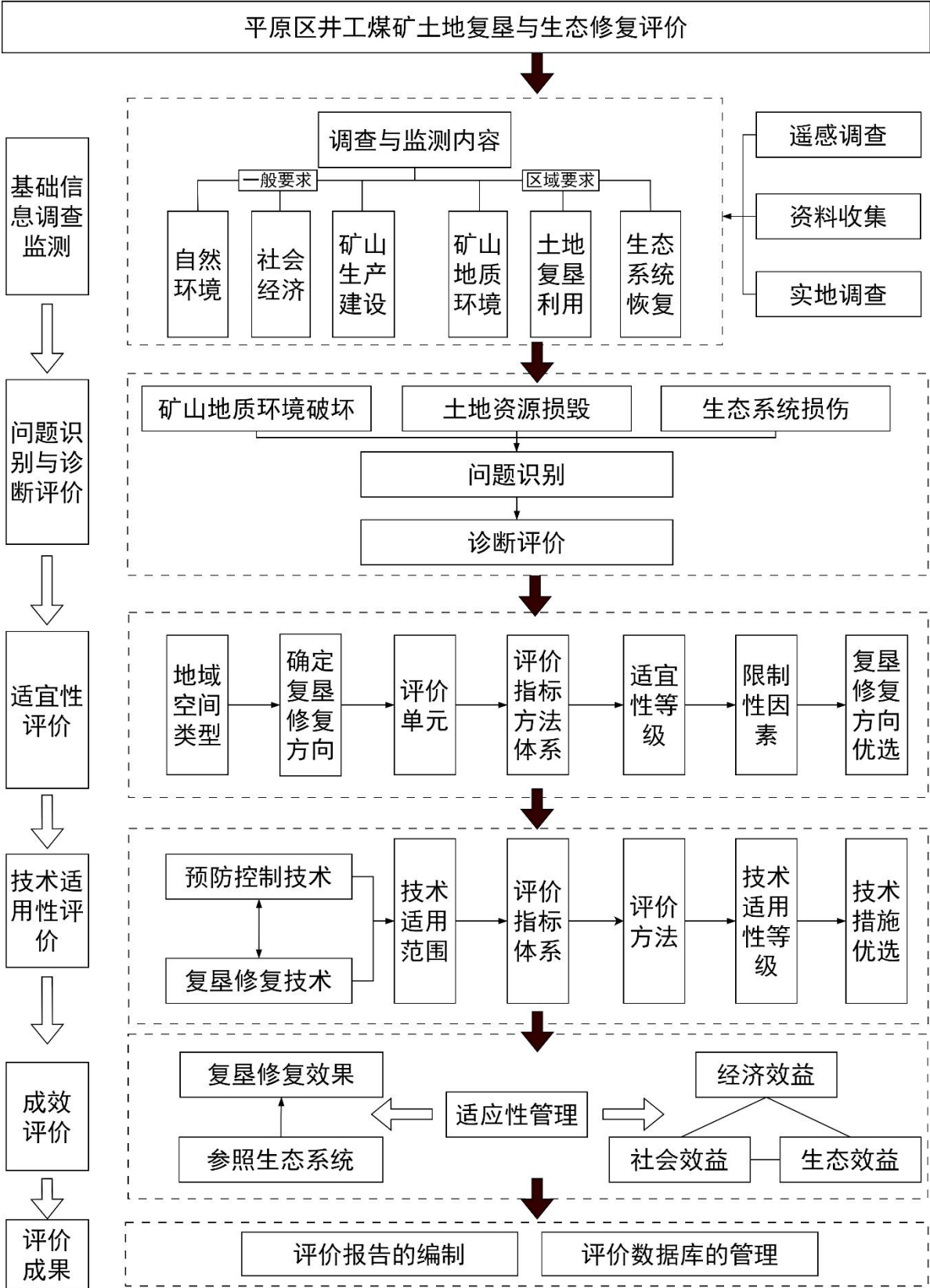


图 1 评价技术流程

5 基础信息调查监测

5.1 一般规定

5.1.1 基础信息调查应在矿山建设和开采前开展，在矿山生态修复方案编制、矿山生产和复垦修复、闭矿后管理维护阶段持续开展调查监测，并建立完整的矿山基础信息调查监测数据库。因开采前未获取生态系统基础信息的，应选取未因采矿活动而退化的本地生态系统作为参照生态系统。

5.1.2 参照生态系统的基础信息调查监测与矿区生态系统的同步进行。

5.1.3 调查监测范围内涉及生态重要区、生态敏感区、历史遗迹保护区时，应开展专项调查。

5.2 调查监测内容

5.2.1 调查监测应包括以下内容：

- a) 自然环境：包括流域水文地貌、矿区土壤、植被及景观等；
- b) 社会经济：包括矿山范围内或受开采影响的乡镇村庄、农业人口、人均耕地、生产状况等；
- c) 人文环境：包括古村落、地质遗迹、历史文化保护地、风景名胜区等；
- d) 矿山生产建设情况：包括矿山生产规模与能力、采掘位置、生产服务年限或剩余服务年限、开发利用方案、环境影响评价报告、矿山地质环境保护与恢复治理方案、矿山生态修复方案、水土保持方案等。

5.2.2 除以上调查监测内容外，还应调查监测以下内容：

- a) 矿山地质环境破坏：包括地下水环境、地表沉陷、地裂缝、土壤环境等；
- b) 土地复垦利用：包括土地利用类型、积水区、土地退化、配套设施等；
- c) 生态系统恢复：包括生态系统类型、生态系统格局、生态系统服务能力、生态系统质量、地表水环境、大气环境；
- d) 调查监测内容见附录 A。

5.3 调查监测方法

5.3.1 基础信息调查监测方法应采取文献资料收集、实地调查、遥感调查等手段。

5.3.2 文献资料收集。应收集矿区生态系统和参照生态系统近 5 年内的自然环境、社会经济、人文环境、矿山生产建设等资料，收集资料如不能满足问题诊断评价与复垦修复需要，应采取实地调查和遥感调查手段补充。

5.3.3 实地调查。应对矿区生态系统和参照生态系统实地踏勘，通过布设监测点、监测线或样点、样线，对土壤、水体、植物、空气等信息进行监测和采集分析。

5.3.4 遥感调查。应通过无人机、卫星遥感等方式实时监测矿区生态系统和参照生态系统状况，通过遥感影像解译和判读，得到生态系统采前、采后、复垦修复后生态系统调查监测指标数据。

6 问题识别与诊断评价

6.1 一般规定

问题识别与诊断评价应以矿区采前生态系统和参照生态系统基础信息调查监测数据为参照，并获取煤炭开采后、复垦修复后的变化信息，识别矿山地质环境、土地资源和生态系统存在的问题，明确诊断评价的标准。

6.2 问题识别

6.2.1 矿山地质环境破坏宜包括地表沉陷、地裂缝、地下水环境及土壤环境破坏等问题，问题识别应符合下列规定：

- a) 采空区影响内地表沉降幅度不小于 10mm 即可认为出现地表沉陷；
- b) 地表沉陷范围边缘出现任意 1 条裂缝可认为出现地裂缝损伤；
- c) 地下水环境应分析无机组分和有机组分，对于无机污染组分，评价标准应采用基准值；微量有机污染组分采用生饮用水卫生标准限值为评价基准，指标不足部分参照国际公认的饮用水

卫生标准。任意指标当前值大于基础信息值或标准限值可认为地下水环境存在污染，按 DZ/T 0288 的规定执行；

- d) 土壤环境污染通过计算单项污染指数，单项污染指数大于 1 可认为存在污染，按 DZ/T 0295 的规定执行。

6.2.2 土地资源损毁宜包括土壤物理性质变化、土壤养分退化、土壤盐碱化、土壤侵蚀等问题，问题识别应符合下列规定：

- a) 应以开采前土壤物理性质的基准值为参考，对比分析土壤质地、容重、水分、结构、孔隙度的变化；
- b) 结合全国第二次土壤普查养分分级，通过比较土壤养分的基准值和当前值及其养分丰缺区间，当前值小于基准值级别可认为土壤养分存在退化；
- c) 土壤盐碱化应测定土壤含盐量和 pH 值，通过对比土壤盐碱度的当前值与基准值，若当前值大于基准值可认为土壤存在盐碱化趋势；
- d) 土壤侵蚀应调查土壤发生层与表层的完整性，土壤表层出现部分侵蚀且土壤腐殖质层保留厚度超过 1/2，淀积层和母质层剖面保持完整，可认为出现侵蚀，按 SL 190 的规定执行；
- e) 配套设施应调查采煤影响范围内地表建（构）筑物、道路、管线等是否出现斑裂痕迹，出现斑裂痕迹可认为配套设施损毁。

6.2.3 生态系统损伤宜包括生态系统结构改变、质量下降、生态系统格局破碎、生态系统服务功能减弱及地表水、大气环境破坏等问题，问题识别应符合下列规定：

- a) 对比开采前和开采后评价单元内不同土地覆被类型与面积，分析生态系统类型构成比例，生态系统类型构成比例无论是增加还是减少，均可认为生态系统结构改变，按 HJ 1171 的规定执行；
- b) 耕地、湿地、林地、草地生态系统分别将开采后的粮食单位面积产量、水体富营养化指数、森林生物量密度和草地植被覆盖度与基准值比较，当前值小于基准值可认为生态系统质量下降，按 GB/T 42340 的规定执行；
- c) 通过计算平均斑块面积、边界密度和聚集度，当前值小于基准值可认为生态系统格局破碎，按 GB/T 42340 的规定执行；
- d) 通过计算粮食生产量、水源涵养量、土壤保持量、碳储量等，当前值小于基准值可认为生态系统服务功能减弱；
- e) 应计算水质因子指数或底泥污染指数，指数大于 1 可认为地表水水环境存在污染，按 HJ 2.3 的规定执行；
- f) 应测定环境空气污染物基本项目和其他项目的浓度限值，浓度限值超过二级的可认为大气环境存在污染。

6.2.4 除以上规定外，还应对矿山生产建设可能造成的地质环境、土地资源及生态损毁问题进行预测，应按 DZ/T 0223、TD/T 1031.3、HJ-19 的规定执行。

6.3 诊断评价

6.3.1 矿山地质环境诊断评价应符合下列规定：

- a) 采煤沉陷造成的地表土地损毁程度应分析地表水平变形、附加倾斜、下沉、沉陷后潜水位埋深和土地生产力降低等因素，分级诊断标准见附录 B.1；
- b) 地裂缝应分析破坏程度或活动频率，分级诊断标准见附录 B.2；
- c) 地下水水环境应分析常规指标和非常规指标的限值，根据组分含量分为五个级别，按 GB/T 14848 的规定执行；
- d) 土壤环境包括农用地土壤和建设用地土壤，土壤污染物指标实测浓度低于风险筛选值为低风险，介于风险筛选值和风险管制值之间为中风险，高于风险管制值为高风险，按 GB 15618、GB 36600 的规定执行。

6.3.2 土地资源的诊断评价应符合下列规定：

- a) 土壤物理性质应分析土壤质地、容重、水分、结构、孔隙度、有效土层厚度，按区域耕地质量等级划分指标评价，按 GB/T 33469 的规定执行；

- b) 土壤养分应对有机质、全氮、全磷、碱解氮、有效磷、速效钾等养分含量评价；土壤养分分级诊断标准见附录 B.3；
 - c) 土壤盐渍化应从作物生产情况、表土层全盐量等诊断评价；土壤酸碱度应从土壤 pH 值诊断，分级标准见附录 B.4~附录 B.5；
 - d) 土壤侵蚀应根据土壤发生层和土壤表层的状况诊断，分级标准见附录 B.6；
 - e) 配套设施损毁程度评价分级标准见附录 B.2。
- 6.3.3 生态系统的诊断评价应符合下列规定：
- a) 生态系统结构和生态系统服务功能应计算评价单元的生态系统类型面积变化率或减少量，使用自然断点法、等间隔法等对面积变化率或减少量从大到小划分为极显著、显著、一般显著、轻微变化四个等级评价；
 - b) 生态系统质量改变，应分别对湿地、林地和草地生态系统评价，分级标准见附录 B.7；
 - c) 地表水水环境应根据其基本项目的标准限值分为五个级别，按 GB 3838 的规定执行；
 - d) 大气环境应根据环境空气功能分区的基本项目与其他项目浓度限值评价，分级标准见附录 B.8。

7 土地复垦与生态修复适宜性评价

7.1 土地复垦与生态修复适宜性评价应以评价单元所属地域空间类型为基础，应首先分析评价单元所属区域为农业空间、城镇空间、一般生态空间、自然保护地或生态保护红线内其他区域。

7.2 适宜性评价应坚持农业用地与生态用地优先、因地制宜的原则，可复垦修复为农业种植、生态用地、渔业养殖、光伏新能源、休闲娱乐、建设用地等方向。

7.3 适宜性评价应符合下列规定

- a) 针对评价范围内的不同评价单元，在自然条件可能、技术可行、经济合理和生态环境约束等前提下，综合考虑政策、公众意愿、自然条件、社会经济以及周边类似项目的复垦修复经验等资料，建立适宜性评价方法体系和评价指标体系；
- b) 宜使用极限条件法、综合指数法等方法确定指标权重，评定各单元的复垦修复适宜性等级（通常分为 3 级：1、2、3）并明确其限制因素，通过方案比选，确定各评价单元最终的复垦修复方向（明确至二级地类）；
- c) 适宜性评价应按照 TD/T 1031.1 的相关要求执行。

8 土地复垦与生态修复技术适用性评价

8.1 一般规定

8.1.1 复垦修复技术选择应充分考虑自然可能性、实施可行性、经济合理性、目标导向性、生态环境约束等条件，坚持自然恢复与人工修复相结合，因地制宜的采用自然恢复、辅助再生和生态重建等复垦修复模式，实现复垦修复技术与复垦修复方向模式的协调统一。

8.1.2 复垦修复技术选择应秉持“预防控制优先、复垦修复到位”的理念，实现源头减损，过程可控，边采边复，防治结合。

8.1.3 复垦修复技术应根据采煤沉陷地稳定与否选择。针对未稳沉区域，应选择采煤沉陷地边采边复技术。

8.2 技术适用范围

8.2.1 预防控制技术

8.2.1.1 防沉减沉

防沉减沉技术宜包括煤柱留设和注浆充填技术，适用于回采区域上存在人文景观、文物保护、村庄等建（构）筑物、铁路、自然保护区、水源地等区域。应通过留设煤柱或就地取材煤矸石、煤泥等注浆材料实施充填，保护采空区以上不受地下开采的有害影响，实现采空区沉陷的控制及地表沉陷的减损。

8.2.1.2 保水开采

保水开采技术应包括高水充填、条带、限厚、冷冻法开采等技术，除8.2.1.1的涉及范围外，可适用于第四系松散含水层、底板岩溶含水层的保护，通过向采空区充填高水、分割条带、限制单次采高或总采厚、含水层注入液氮等方式，有效控制导水裂隙带的发育高度或阻断导水通道，实现岩层与地下水的双重保护。

8.2.1.3 固体废弃物资源化利用

固体废弃物资源化利用技术可适用于井工煤矿地下采空区的充填、煤基生物土等表土材料替代、采煤沉陷地损毁土壤重构及砖制材料制作等。该技术可体现为煤矸石、煤泥、粉煤灰及其他固体废弃物的利用，作为充填物料解决采空区沉陷控制、表土来源匮乏、地表复垦修复土方量不足、复垦修复材料高消耗等问题。

8.2.1.4 表土剥离与保存技术

表土剥离与保存技术可适用于采煤沉陷预测损毁区域的土壤。可通过提前剥离垫浅区和挖深区的表土用于耕地耕作层或园、林、草地腐殖质层等复垦修复；剥离后未及时复垦修复的表土应通过临时拦挡、苫盖、排水等措施对未复垦修复使用的表土进行保护，防止贮存期间表土流失。

8.2.1.5 污染防控

污染防控技术宜包括源头控制和过程削减技术，可适用于因煤炭开采导致的地下水、地表水及土壤污染问题。源头控制应通过调整产业结构，减少污染排放，防治污染物的扩散迁移；过程削减应通过生态拦截、前置库、人工湿地等技术对污染物净化处理，处理后再无害排放。

8.2.2 复垦修复技术

8.2.2.1 地貌重塑

地貌重塑应符合下列规定：

- a) 地貌重塑应根据矿区生态系统和参照生态系统，消除波浪式下沉、附加坡度、地表裂缝等不利影响，将采煤沉陷地恢复至初始标高、地形地貌；对于难以恢复的沉陷区或积水区，根据需求、潜水位深度、沉陷影响程度、粮食种植可行性等因素，科学确定土地和水面的比例及各类用地比例，确定标高并构建与周边环境相协调的地形地貌。
- b) 土地平整技术可适用于中低潜水位的非充填沉陷区域或高潜水位的充填沉陷区域，且地面高差较小的田块，削高垫低，逐步达到平整；土地平整宜包括田面平整、田坎修筑和场地平整，不同土地平整技术适用范围见附录 C.1；
- c) 疏排法可适用于地表沉陷不大，且正常的排水措施和地表整修工作能够保证土地恢复利用的情况，或单一、较薄煤层开采的高、中潜水位的永久性积水区；通过设计不同排水方案、排水系统将水位降至作物正常生长的深度；
- d) 基塘+干河床技术可适用于沉陷较深，有积水的高、中潜水位的季节性积水沉陷区和永久性积水沉陷区；通过挖深垫浅，将沉陷盆地挖深，用挖出的泥土将塌陷区边缘填高直至达到设计高程，挖深部可养鱼及其它淡水养殖，同时种植水生植物，浅部填高区可用于种植粮食作物，水域边坡种植果树和花卉，周围修整排设施；
- e) 物料回填技术可适用于充填物料充足、能够邻近取材且存在永久性裂缝或沉陷程度较深的区域，通过回填煤矸石、黄河泥沙、河湖淤泥、客土等材料，弥补复垦修复土源匮乏的不足。

8.2.2.2 水域重构

水域重构应符合下列规定：

- a) 水域重构应分析自然条件变化、采煤活动影响，以开采前矿区生态系统和参照生态系统为依据，判别矿区水域的平面形态、水质、连通性的破坏程度，确定重点修复的水域；天然水系的重构应关注水系形态的异质性，符合自然水系的地貌学原理，实现水系生境的多样性；采煤沉陷积水区的复垦修复应与周围地貌景观的协调，根据生态系统特点、水体分布、生态本

底特征及复垦修复方向等分析沉陷积水区实现与周边河流、湖泊、积水区之间水系连通的必要性和可行性；

- b) 生态连通技术可适用于采煤沉陷导致水系横向、纵向、垂向连通性破坏，引起水系阻隔、洪水漫溢过程阻断和水体渗透性破坏的区域，通过采取新建生态河道、水利调度改善、底质重构等措施恢复和构建水域的三维连通性；
- c) 筑岛技术可适用于常年积水区域内，稳定性较好且不再活动的区域。以自然河流为主要汇流方向，利用开挖积水区和勾通自然河道所产生的土方筑岛，采用岛屿地表径流的微地形设计，建立开放式湿地生态系统；
- d) 平原水库技术可适用于地表沉陷程度较深，范围较大永久性积水区，通过构建沟渠、人工河道等，利用采煤沉陷地的漏斗状储水结构实现天然水系、湖泊及其它积水区的调蓄；
- e) 坡岸防护技术可适用于采煤沉陷造成河流平面形态破坏的区域及矿区范围内河流、湖泊、沟渠、采煤沉陷生成的永久性积水区、人工水域等湿地坡岸的防护及，不同岸坡防护技术适用范围见附录 C.2；

8.2.2.3 土壤重构

土壤重构应符合下列规定：

- a) 土壤重构应调查了解矿山土壤损毁现状和采煤前原始土壤状况，结合矿山土壤损毁特征及损毁程度，按仿自然地质成土的理念，确定采煤沉陷区矿山地质成土需求量，秉持需求、成土材料质量、绿色生态、成本效应的原则对地质成土材料筛选，并优化复垦修复后的土壤剖面构型，确定表土层和心土层的厚度组成及土体构型，必要时对土壤改良和修复；
- b) 表土剥离技术适用范围可参照本文件 8.2.1.3 确定；
- c) 表土覆盖技术可适用于平整翻耕、回填实施后需要覆盖表土的沉陷地剥离区或需要修复的周边建设场地；农用地应避免表土压实；建设用地覆盖前应对地面建（构）筑物、基础设施等展开清理，对土壤翻耕、平整后再进行表土覆盖；
- d) 客土技术可适用于沉陷深度较大且土源缺乏的区域，当“挖深区”土方量少于“垫浅区”土方量，宜用该技术对土方量补充；
- e) 土壤改良技术可适用于开采后或复垦后土壤性状改变、养分含量低的土壤，通过改良土壤结构、肥力和活力提高土壤质量；
- f) 土壤修复适用于矿区内被污染的土壤，宜包括物理修复、化学修复和生物修复方法。土壤修复适用范围见附录 C.3。

8.2.2.4 植被重建

植被重建应符合下列规定：

- a) 复垦修复为耕地的应以粮食作物为主，在不影响作物产量的前提下，可适当种植部分经济作物提高经济收益；恢复耕地数量、提升质量同时，兼顾作物种类间相互促进作用，改进生物多样性，提升生态恢复和生态管护成效；
- b) 复垦修复为林园草地的应根据景观、水源涵养、水土保持、农田防护、用材、林果等用途合理选择植物物种；
- c) 复垦修复为水域的应根据水域深度选择湿生植物、沉水植物、浮水植物、挺水植物及漂浮植物，提高水域植被覆盖度，发挥水生植物的水体净化功能，整体提升水域景观；
- d) 水陆交错带应根据水位季节性变化，以自然状态河、湖滨带植物群落为参考，合理搭配种植乔木、灌木、地被或草本植物，营造近自然的植被景观；
- e) 平原区井工煤矿常见植物物种选择与配置要求和种植技术见附录 C.4~附录 C.5。

8.2.2.5 景观营建

景观营建应符合下列规定：

- a) 景观营建应以开采前矿区生态系统和参照生态系统为依据，分析采煤沉陷程度、积水分布、复垦利用方向、粮食安全、生态保护等因素，实现地貌-水域-土壤-植被景观的一体化构建；

- b) 采煤沉陷地应合理塑造地貌形态，保持自然起伏和空间层次，构建适宜农作物、林草种植的仿自然土壤剖面构型，采用乔-灌-草等植物的多层次搭配及农田防护、水土保持、水源涵养等功能植物的布局，优化矿区生态系统质量和景观格局；
- c) 根据采煤沉陷积水区与矿区天然水系及其他积水的分布，构建水系廊道实现不同水域之间的互联共通；应对水面充分利用，根据水域深度合理布置水生植物、生态浮岛及光伏板，营造水域生境多样性，提升水域整体生态功能；
- d) 废弃工矿用地应根据交通便利性、地质稳定性、设施完备性等特点，及时清理地表建筑垃圾等残留物，保持地表整洁美观；完善公共服务设施与园林绿化，构建建筑园林景观，并通过保护利用“矿业遗迹”，结合矿业开采历史进行文化功能重构与提升；
- e) 景观规划设计还应根据配套工程的建设要求，配套和完善田间道路、农田防护林、明渠、管道、渡槽、水闸等灌溉与排水、输配电及塘堰、拦河坝、蓄水池等水源工程设施，按 GB 30600 的规定执行。

8.3 技术适用性评价过程

8.3.1 构建技术适用性评价指标体系。评价准则层及指标层应通过分析区域地理特征、损毁程度和生态问题、复垦修复方向、管控要求、综合效益等因素选取，初步构建评价指标体系。评价指标体系见附录 C.6。

8.3.2 评价指标体系修正。向地质环境、土地复垦、生态修复等领域专家和主管部门、公众征求意见，确定评价指标体系。评价指标权重应采用层次分析法（AHP）、特尔菲法等确定，按 GB/T 33469 的规定执行。

8.3.3 评价标准划定。根据指标权重和打分结果评价复垦与修复技术的适用性，将评价结果划分为适用、基本适用和不适用，并填写土地复垦与生态修复适宜性评价结果表，结果表格式可参考附录表 C.7。

9 土地复垦与生态修复成效评价

9.1 一般规定

土地复垦与生态修复成效评价应以开采前矿山生态系统和参照生态系统为依据，对地貌重塑、水域重构、土壤重构、植被重建、生态系统恢复的效果和效益评价，并明确适应性管理措施。

9.2 效果评价

土地复垦与生态修复效果应分析矿山地质环境治理、土地复垦利用和生态系统恢复的调查监测指标是否达到或优于开采前或周边参照生态系统水平，评价应符合下列规定：

- a) 矿山地质环境应从地裂缝治理、地下水水位变化、地下水水质及土壤环境质量等分析评价；
- b) 土地复垦利用应从复垦修复后土地利用类型面积、土壤质量、土地生产力、积水利用、配套设施等分析评价；
- c) 生态系统恢复应从生态系统结构、质量、格局、服务能力及地表水水质、水域地貌形态、连通性、大气环境质量等分析评价。

9.3 效益评价

土地复垦与生态修复效益应从经济、社会和生态方面评价，评价应符合下列规定：

- a) 经济效益应对复垦修复的资金投入与预期效益测算，根据投入产出比开展评价；
- b) 社会效益应从增加就业岗位、公众满意度等开展评价；
- c) 生态效益应根据开采前、开采后、复垦修复后的生态系统状况，从生态系统数量结构和空间结构优化、生态系统质量改善、生态系统服务功能提升程度等开展评价；
- d) 复垦修复效益评价分级表标准见附录 C.8。

9.4 适应性管理

9.4.1 适应性管理应贯穿土地复垦与生态修复评价全过程；应基于全过程、全要素的调查监测，对照煤矿复垦修复方向，评估预防控制、复垦修复技术手段的效果，及时发现复垦修复过程中新产生或潜在

的矿山地质环境、土地资源损毁及生态系统损伤问题。

9.4.2 适应性管理应评估煤炭开采后受损生态系统是否已遏制退化并朝“正向演替”方向发展；在结果和风险可控的原则下，借鉴已有经验做法，对可能导致偏离复垦修复方向、复垦修复效果不显著甚至产生“负向效益”的复垦修复技术、工程部署和时序安排进行调整修正。

10 土地复垦与生态修复评价成果

10.1 土地复垦与生态修复评价成果应包括评价报告的编制与评价数据的管理。

10.2 评价报告宜包括前言、评价区域概况、土地复垦与生态修复评价、评价结论和土地复垦与生态修复适应性管理。评价报告封面及内容格式见附录 D。

10.3 评价数据资料分类整理、编目和存档应按自然资源调查监测和矿山复垦修复的规定执行，除应保存原始纸介质资料外，还应建立评价数据集，实施数据库管理。

附 录 A
(资料性)
平原区井工煤矿基础信息调查监测内容

基础信息调查监测类别与内容指标见表A.1。

表 A.1 基础信息调查监测类别与内容

调查监测类别	调查监测内容	调查监测指标	开采前	开采后		复垦修复后		
				第一次监测	……	第一年	第二年	第三年
地质环境治理	地下水环境	地下水位	●	●	●	●	●	●
		地下水水质	●	●	●	●	●	●
	地表沉陷	下沉值	-	●	●	-	-	-
		面积	-	●	●	-	-	-
		水平变形	-	●	●	-	-	-
		附加倾斜	-	●	●	●	●	●
		标高	●	●	●	●	●	●
		是否积水	-	●	●	●	●	●
		数量	-	●	●	●	●	●
	地裂缝	长度	-	●	●	●	●	●
		宽度	-	●	●	●	●	●
	土壤环境	土壤污染项目	●	●	●	●	●	●
		土壤微量项目	●	●	●	●	●	●
土地复垦利用	土地利用类型	地类面积	●	●	●	●	●	●
		地类变化	●	●	●	●	●	●
		地类比例	-	●	●	●	●	●
	积水区	位置	-	●	●	●	●	●
		类型	-	●	●	●	●	●
		数量	-	●	●	●	●	●
		深度	-	●	●	●	●	●
		面积	-	●	●	●	●	●
		水质	-	●	●	●	●	●
		土壤物理性质	●	●	●	●	●	●
	土地退化	土壤养分	●	●	●	●	●	●
		土壤侵蚀	●	●	●	●	●	●
		土壤盐碱化	●	●	●	●	●	●
	配套设施	类型	●	●	●	●	●	●
		数量	●	●	●	●	●	●
		位置	●	●	●	●	●	●
		是否损毁	-	●	●	-	-	-
生态系统恢复	生态系统类型	耕地生态系统	●	●	●	●	●	●
		湿地生态系统	●	●	●	●	●	●
		林地生态系统	●	●	●	●	●	●
		草地生态系统	●	●	●	●	●	●
	生态系统格局	生态系统类型比例	●	●	●	●	●	●
		生态系统类型面积变化	●	●	●	●	●	●
		平均斑块面积	●	●	●	●	●	●
		边界密度	●	●	●	●	●	●
		聚集度	●	●	●	●	●	●

表A.1 基础信息调查监测内容指标（续）

	调查监测内容	调查监测指标	开采前	开采后		复垦修复后		
				第一次监测	……	第一年	第二年	第三年
调查监测类别	生态系统服务能力	粮食生产量	●	●	●	●	●	●
		水源涵养量	●	●	●	●	●	●
		土壤保持量	●	●	●	●	●	●
		碳储量	●	●	●	●	●	●
	生态系统质量	植被覆盖度	●	●	●	●	●	●
		生物量	●	●	●	●	●	●
		水体富营养化	●	●	●	●	●	●
	地表水环境	地表水面积	●	●	●	●	●	●
		地表水水质	●	●	●	●	●	●
		地表水水位	●	●	●	●	●	●
		水系连通性	●	●	●	●	●	●
		平面形态	●	●	●	●	●	●
		水岸线	●	●	●	●	●	●
	大气环境	污染物类型	●	●	●	●	●	●
		污染物浓度	●	●	●	●	●	●
		影响范围	●	●	●	●	●	●
		持续时间	●	●	●	●	●	●
注：●表示建议监测调查内容，-表示无需监测调查内容。								

附录 B
(资料性)
矿山问题诊断评价分级标准

土地损毁程度评价分级标准见表B.1。

表 B.1 土地损毁程度评价分级标准

土地利用类型	二级类	水平变形 mm/m	附加倾斜 mm/m	下沉 m	沉陷后潜水位 埋深m	生产力降低 %	损毁等级
耕地	水浇地	≤4.0	≤6.0	≤1.5	≥1.5	≤20.0	轻度
		4.0~8.0	6.0~12.0	1.5~3.0	0.5~1.5	20.0~60.0	中度
		>8.0	>12.0	>3.0	<0.5	>60.0	重度
	旱地	≤8.0	≤20.0	≤2.0	≥1.5	≤20.0	轻度
		8.0~16.0	20.0~40.0	2.0~5.0	0.5~1.5	20.0~60.0	中度
		>16.0	>40.0	>5.0	<0.5	>60.0	重度
	水田	≤3.0	≤4.0	≤1.0	≥1.0	≤20.0	轻度
		3.0~6.0	4.0~10.0	1.0~2.0	0~1.0	20.0~60.0	中度
		>6.0	>10.0	>2.0	<0	>60.0	重度
林园草地	≤8.0	≤20.0	≤2.0	≥1.0	≤20.0	轻度	
	8.0~20.0	20.0~50.0	2.0~6.0	0.3~1.0	20.0~60.0	中度	
	>20.0	>50.0	>6.0	<0.3	>60.0	重度	
注：任何一项指标达到相应标准即认为土地损毁达到该损毁等级							

[来源：该表格引自 TD/T 1031.3]

地裂缝损毁分级标准见表B.2。

表 B.2 地裂缝损毁分级标准

损毁程度	极度	重度	中度	轻度
地表破坏程度	地表明显开裂，垂直位错量或水平张开量大于50mm；管线错断或变形明显、建筑物开裂明显	地表开裂，垂直位错量或水平张开量10mm~50mm；道路、建(构)筑物出现裂缝	地表可见裂缝，垂直位错量或水平张开量1mm~10mm；地表及建(构)筑物局部出现裂缝	未出现裂缝，地表局部地段可见微细破裂，垂直位错量或水平张开量小于1mm；建(构)筑物未受损
近5年平均活动速率 v (mm/a)	v ≥ 5	1 ≤ v < 5	0.1 ≤ v < 1	V < 0.1

注：任何一项指标达到相应标准即认为达到该损毁等级。

土壤养分含量分级标准见表B.3。

表 B.3 土壤养分含量分级标准

有机质含量	全氮	全磷	碱解氮	有效磷	速效钾	丰缺	级别
≥40.0	≥2.0	≥1.0	≥150.0	≥40.0	≥200.0	很高	一级
30.0 ~ <40.0	1.5 ~ <2.0	0.8 ~ <1.0	120.0 ~ <150.0	20.0 ~ <40.0	150.0 ~ <200.0	高	二级
20.0 ~ <30.0	1.0 ~ <1.5	0.6 ~ <0.8	90.0 ~ <120.0	10.0 ~ <20.0	100.0 ~ <150.0	中上	三级
10.0 ~ <20.0	0.75 ~ <1.0	0.4 ~ <0.6	60.0 ~ <90.0	5.0 ~ <10.0	50.0 ~ <100.0	中	四级
6.0 ~ <10.0	0.5 ~ <0.75	0.2 ~ <0.4	30.0 ~ <60.0	3.0 ~ <5.0	30.0 ~ <50.0	低	五级
<6.0	<0.5	<0.2	<30.0	<3.0	<30.0	极低	六级

[来源：该表格引自全国第二次土壤普查养分分级]

土壤盐渍化程度分级标准见表 B.4。

表 B.4 土壤盐渍化程度分级标准

类型	轻度	中度	强度	盐土
作物生长情况	稍有抑制	中等抑制	严重抑制	死亡
表土层（全盐量）	<0.2	$0.2\sim<0.4$	$0.4\sim<0.8$	-
100cm土体（全盐量）	<0.1	$0.1\sim<0.3$	$0.3\sim<0.5$	-
0~20cm（ CL^- ， SO_4^{2-} ）	$0.15\sim<0.25$	$0.25\sim<0.40$	$0.40\sim<0.60$	-
注：含盐单位为%。				

[来源：该表格引自DZ/T 0295]

土壤碱化程度分级标准见表B.5。

表 B.5 土壤碱化程度分级标准

土壤pH值	土壤碱化强度
$5.5\leq pH<8.5$	无碱化
$8.5\leq pH<9.0$	轻度碱化
$9.0\leq pH<9.5$	中度碱化
$9.5\leq pH<10.0$	重度碱化
$pH\geq 10.0$	极重度碱化
注：土壤碱化强度指受人为影响后呈现的土壤 pH 值，可根据区域自然背景状况适当调整。	

[来源：该表格自HJ 964]

土侵蚀程度分级标准见表B.6。

表 B.6 土壤侵蚀程度分级标准

土壤发生层状况	土壤表层侵蚀状况	土壤侵蚀程度分级
土壤腐殖质层、淀积层、母质层剖面保持完整	土壤表层完整	无明显侵蚀
土壤腐殖质层保留厚度超过1/2，淀积层和母质层剖面保持完整	土壤表层少部分被侵蚀	轻度侵蚀
土壤腐殖质层保留厚度小于1/2，淀积层和母质层剖面保持完整	土壤表层50%以上被侵蚀	中度侵蚀
土壤腐殖质层无保留，淀积层开始裸露，母质层剖面保持完整	土壤表层全部被侵蚀	重度侵蚀
土壤腐殖质层和淀积层无保留，母质层开始裸露	母质层收到侵蚀	重度侵蚀

[来源：该表格引自GB/T 42251]

生态系统质量分级标准见表B.7。

表 B.7 生态系统质量分级标准

生态系统类型	优	良	中	低	差
湿地	$TLI>70$	$60\leq TLI\leq 70$	$50\leq TLI\leq 60$	$30\leq TLI\leq 50$	$TLI<30$
林地	$RBD\geq 85\%$	$70\%\leq RBD<85\%$	$50\%\leq RBD<70\%$	$25\%\leq RBD<50\%$	$RBD<25\%$
草地	$C\geq 85\%$	$70\%\leq C<85\%$	$50\%\leq C<70\%$	$25\%\leq C<50\%$	$C<25\%$
注1：TLI为水体富营养化状况指数； 注2：RBD为生物量密度 注3：C为植被覆盖度。					

[来源：该表格引自GB/T 42340]

环境空气质量标准见表B.8。

表 B. 8 环境空气质量标准

污染物项目	优	良	差
基本项目或其他项目	$P \leq R1$	$R2 \leq P \leq R1$	$P < R2$
注1：R1为一级浓度限值；R2为2级浓度限值； 注2：P为污染物浓度			

[来源：该表格引自 GB 3095]

附 录 C
(资料性)
土地复垦与生态修复技术适用性评价体系

土地平整技术适用范围见表C.1。

表 C.1 土地平整技术适用范围

技术类型		适用范围
田面平整	标准条田	地势低洼、洪涝灾害频发或地势平坦、排水不畅以及低度盐碱化和次生盐碱化的地区。
	深沟台田	排水良好的混合型或条带型浅沉陷地
	格田	平原地区可复垦为水稻田的沉陷地
田坎修筑	土坎	土质黏性较好的区域
	石坎	沉陷程度较深、坡度较大及易造成冲刷的区域
	土石混合坎或植物坎	土质稳定性较差、易水土流失的区域
场地平整	断面法	高差变化较大、地形起伏较大、自然地面复杂的地区；垂直挖深度较大、截面不规则的区域；道路等带状地形
	方格网法	适用于平坦及高差不太大、地形比较平缓的地区。其特点是在田块平面形状比较方正的情况下，计算精度较高。
	散点法	起伏变化比较均匀、不太复杂的地形区
	DEM法	适用于除水下地形以外的任意区域

不同岸坡防护技术适用范围见表C.2。

表 C.2 不同岸坡防护技术适用范围

岸坡类型	适用范围
生态型挡土墙	前者适用于流速快、冲蚀严重且岸坡渗透能力强或出现不均匀沉陷变形的岸坡；后者适用于水位变动区以上但不会发生频繁冲刷的岸坡
植物类护坡	水流相对平缓、水位变化不频繁、坡度缓于1：2的岸坡
铰接混凝土块护岸	水流流速较高、侵蚀严重、坡面相对平整的岸坡
生态型混凝土护坡	年降雨量大、气候湿润、水流侵蚀严重的区域
土工织物扁袋	坡度不均匀、较陡岸坡的侵蚀防护
木框挡土墙	
注：任意护坡技术都需要遵循保土、透水、防堵和强度的原则设置反滤层	

土壤污染修复技术适用范围见表C.3。

表 C.3 土壤污染修复技术适用范围

修复模式	技术分类	修复形式	适用性
物理修复	隔离法	利用防渗材料阻隔土壤污染物	仅适用于严重污染土壤
	电力	利用电流使污染物迁移	适用于电导率高的土壤，但耗能较大
	玻璃化	利用高温高压使污染物玻璃化，再将污染物进行分离	治理效果较好、效率较高,但条件苛刻,能耗大且成本高,适用于小规模使用
化学修复	淋洗	通过解吸附、反络合及溶解作用,使重金属从土壤转移到淋洗液中	一般适用于孔隙大、污染较为严重的土壤
	固化	添加改良剂使重金属固化或钝化,降低或抑制污染风险	适用于小规模土壤污染治理
生物修复	动物修复	通过动物活动分解、消化和富集污染物	适用于长期土壤修复
	植物修复	利用植物的挥发、固定、提取和转化作用对污染物处理	适用于浅层土壤污染的长期修复
	微生物修复	通过微生物的生化作用降低重金属活性和浓度	适用于小范围范围的污染治理

植物物种选择与配置适用范围见表C.4。

表 C.4 植物物种选择与配置适用范围

植被重建区域	植物物种选择
耕地	粮食作物：大麦、小麦、玉米、稻谷等
	经济作物：花生、大豆、油菜、芝麻等
林地	景观：雪松、二球悬铃木、复叶槭、七叶树、楸树等
	水源涵养：日本落叶松、华山松、油松、侧柏等
	水土保持：枫杨、栓皮栎、皂荚、泡桐等
	农田防护：毛白杨、旱柳、垂柳、元宝槭等
	用材：加杨、麻栎、国槐、臭椿、香椿等
	林果：枣、石榴、柿、梨子、苹果、桃等
草地	早熟禾、翦股颖、狗尾草、高羊茅、结缕草类、天鹅绒、马尼拉、香附子等
水陆交错带	乔木：河柳、金丝垂柳、水杉、池杉、落羽杉、中山杉、重阳木、乌桕、白蜡、榔榆、桑、黄连木、枫杨、梧桐、棠梨、侧柏、女贞等
	灌木：大叶黄杨、紫穗槐、花叶杞柳、红瑞木、夹竹桃、金钟、黄馨、木槿、紫荆、迎春、紫薇、石楠、海桐、木芙蓉等
	地被或草本：鸢尾、麦冬、白三叶、狗牙根、黑麦草、天堂草、萱草等
水域	湿生植物（0~30cm）：稗、沿沟草、巨序剪股颖、野黍、水麦冬、东方蓼草、蔺草、假稻、旋鳞莎草、荸荠类、藎草类等
	沉水植物（100~150cm）：苦草、金鱼藻、狐尾藻、伊乐藻、菹草等
	浮水植物（30~100cm）：睡莲、芡实、菱、荇菜、浮萍、凤眼莲、水葫芦等
	挺水植物（30~100cm）：荷花、芦苇、荻、菖蒲、水生美人蕉、再力花、千屈菜、芦竹、香蒲、慈姑、水葱、梭鱼草等
	漂浮植物：浮萍、紫萍、槐叶萍等
注：不同植物物种应按GB/T 15776、LY/T 2356和NY/T 1342要求进行配置	

植被种植技术适用范围见表C.5。

表 C. 5 植被种植技术适用范围

种植技术	种植方式	适用区域
播种	穴播	耕地、林园地、草地、水陆交错带
	条播	耕地、林园地、草地、水陆交错带
	撒播	草地、水域、水陆交错带
植苗	穴植法	耕地、林园地、水陆交错带
	缝植法	耕地、林园地、水陆交错带
	沟植法	耕地、林园地

土地复垦与生态修复技术适用性评价指标体系见表C.6。

表 C. 6 土地复垦与生态修复技术适用性评价指标体系

目标层	准则层	指标层
土地复垦与生态修复技术适用性评价	复垦修复方向	复垦修复用地类型
		复垦修复预期效果
	
	损毁情况	损毁类型
		损毁程度
	
	环境影响	安全性
		耐久性
	
	经济可行性	劳动力
		材料成本
		管理成本
	
	技术性	技术成熟度
		技术推广可行性
	
	预期效益	经济效益
		社会效益
		生态效益

土地复垦与生态修复技术适用性评价结果表见表C.7。

表 C. 7 土地复垦与生态修复技术适用性评价结果表

复垦修复单元	复垦修复方向	修复技术	适用性等级
1			
2			
3			
.....

土地复垦与生态修复效益评价分级表见表C.8。

表 C. 8 土地复垦与生态修复效益评价分级表

效益类别	评价依据	评价等级
经济效益	资金投入：预期效益<1	优秀
	资金投入：预期效益=1	良好
	资金投入：预期效益<1	差
社会效益	公众满意度≥80%	优秀
	80>公众满意度≥60%	良好
	公众满意度<60%	差
生态效益	恢复后的生态系统达到甚至优于开采前生态系统状况	优秀
	恢复后的生态系统达不到开采前生态系统状况，但优于开采后生态系统状况	良好
	恢复后的生态系统与开采后的生态系统基本一致甚至劣于该系统	差

附 录 D
(资料性)
土地复垦与生态修复评价报告

XXX 煤矿
土地复垦与生态修复评价报告
(一号黑体)

编制单位: XX (小三号黑体字)

项目单位: XX (小三号黑体字)

XX 年 XX 月 XX 日
(小三号黑体字)

图 B.1 土地复垦与生态修复评价报告封面

D.2 土地复垦与生态修复评价报告编写格式

土地复垦与生态修复评价报告由封面、报告目录、正文、参考文献、附录等组成。

1. 封面

包括报告标题、编写单位及编写时间等。

2. 报告目录

一般列出二到三级目录。

3. 正文

包括：

（1）前言

主要包括土地复垦与生态修复评价技术的工作背景与意义、组织形式与工作过程。

（2）评价区域概况

主要涉及评价范围内自然、社会经济、生产建设活动和土地复垦与生态修复概况。

（3）土地复垦与生态修复评价

在开展基础信息调查监测的基础上，对平原区井工煤矿开采造成的地质、土地和生态问题进行识别与诊断评价，针对诊断评价结果开展土地复垦与生态修复适宜性评价，确定区域复垦修复模式与方向；最后对复垦修复的技术适用性与成效进行评价。

（4）评价结论

依据本文件，汇总评价结果，并根据评价结果分析区域土地复垦与生态修复过程中存在的问题。

（5）土地复垦与生态修复适应性管理

根据评价中发现的问题，提出平原区井工煤矿土地复垦与生态修复适应性管理的意见建议。

4. 参考文献

按 GB/T 7714 的规定执行。

附表

附图