ICS 13.020
CCS Z 06

中华人民共和国国家标准

GB/T 43933—2024

金属矿土地复垦与生态修复技术规范

Technical specification for land reclamation and ecological restoration of metal mine

2024-04-25 发布　　2024-08-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

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　总体要求与基本原则 …… 3
4.1　总体要求 …… 3
4.2　基本原则 …… 4
5　技术路径 …… 4
6　基础调查与问题识别诊断 …… 6
6.1　基础调查 …… 6
6.2　问题识别与诊断 …… 7
7　可行性分析 …… 8
7.1　参照生态系统确立 …… 8
7.2　地质环境稳定性评估 …… 8
7.3　复垦修复适宜性评价 …… 8
7.4　生态系统恢复力分析 …… 8
7.5　复垦修复方向确定 …… 8
7.6　复垦修复单元划分 …… 8
7.7　复垦修复标准设定 …… 8
8　方案编制 …… 9
8.1　总体安排 …… 9
8.2　阶段方案 …… 9
8.3　工程设计 …… 9
8.4　年度计划 …… 9
9　工程实施 …… 9
9.1　保护措施 …… 9
9.2　预防控制措施 …… 10
9.3　复垦修复措施 …… 11
10　管理维护、监测评价与适应性管理 …… 13
10.1　基础设施维护 …… 13
10.2　土地质量与植被管护 …… 13
10.3　生态系统功能维持 …… 14
10.4　监测评价与适应性管理 …… 14
参考文献 …… 15

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本文件起草单位:矿冶科技集团有限公司、自然资源部国土整治中心、中国地质大学(北京)、安徽理工大学、中国农业大学、中国地质环境监测院、中国自然资源经济研究院。

本文件主要起草人:卢丽华、祝怡斌、罗明、白中科、陈斌、鞠丽萍、陈玉福、李红举、张世文、周伟、黄元仿、周连碧、刘子齐、周士捷、李昉泽、张德强、刘向敏、陈谦、朱晓华、翟紫含、王议、杨婧。

金属矿土地复垦与生态修复技术规范

1 范围

本文件规定了生产金属矿山土地复垦与生态修复的总体要求与基本原则、技术路径、基础调查与问题识别诊断、可行性分析、方案编制、工程实施、管理维护、监测评价与适应性管理。

本文件适用于金属矿(放射性矿种除外)开采过程中的矿山土地复垦与生态修复工作。

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 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 16453.3 水土保持综合治理 技术规范 沟壑治理技术

GB/T 16453.6 水土保持综合治理 技术规范 崩岗治理技术

GB 18598 危险废物填埋污染控制标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准

GB/T 21010 土地利用现状分类

GB/T 33469 耕地质量等级

GB/T 38360 裸露坡面植被恢复技术规范

GB/T 38509 滑坡防治设计规范

GB/T 40112 地质灾害危险性评估规范

GB/T 43935 矿山土地复垦与生态修复监测评价技术规范

GB 51018 水土保持工程设计规范

DZ/T 0223 矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则

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

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 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 1049 矿山土地复垦基础信息调查规程

TD/T 1055—2019 第三次全国国土调查技术规程

TD/T 1068 国土空间生态保护修复工程实施方案编制规程

TD/T 1070.1 矿山生态修复技术规范 第1部分:通则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

矿山土地复垦与生态修复 mine land reclamation and ecological restoration

对矿产资源开采造成的地质环境破坏、土地损毁和植被破坏等问题，依靠人工支持引导和自然恢复力，采取预防和修复措施，使矿山地质环境达到安全稳定、损毁土地得到复垦利用、生态系统功能得到恢复或改善的活动。

注：简称“复垦修复”。

3.2

参照生态系统 reference ecosystem

一个能够作为生态恢复目标或基准的生态系统。

注：通常包括破坏前的生态系统、未因人类活动而退化的本地生态系统，以及能够适应正在发生的或可预测的生态环境变化的生态系统。

[来源：TD/T 1068—2022，3.7，有修改]

3.3

土地损毁 land destruction

矿山生产建设活动造成土地原有功能部分或完全丧失的过程与状态。

[来源：TD/T 1036—2013，3.5，有修改]

3.4

露天采场 open pit

将矿藏的上覆岩土剥离后，开采矿物的采矿场地。

[来源：TD/T 1031.4—2011，3.2，有修改]

3.5

废石场 waste dump

矿山露天采矿剥离岩土、地下采矿采掘废石集中堆放的场地。

注：又称排土场、排岩场。

[来源：TD/T 1031.4—2011，3.4，有修改]

3.6

尾矿库 tailings reservoir

筑坝拦截谷口或围地构成的用以贮存矿石选矿后排放尾矿的场所。

[来源：TD/T 1031.4—2011，3.5，有修改]

3.7

堆浸场 heap leaching site

矿物筑堆后采用溶液滴淋、喷淋方法提取低品位金属的场地。

[来源：TD/T 1031.4—2011，3.8，有修改]

3.8

原地浸矿场 in-situ leaching site

采用原位地浸、地下钻孔原位浸矿等提取金属矿物的溶浸场地。

3.9

地表变形 ground surface movement area

金属矿地下开采形成的采空区引起地表水平位移和垂直位移的影响范围。

3.10

自然恢复　natural restoration

对生态系统停止人为干扰，以减轻负荷压力，依靠生态系统的自我调节能力和自组织能力使其向有序的方向自然演替和更新恢复。

[来源：TD/T 1070.1—2022，3.2，有修改]

3.11

地貌重塑　landform reshaping

根据矿山地形地貌破坏方式与损毁程度，结合原地形地貌特点，在消除地质环境问题、控制潜在污染风险和水土流失隐患基础上，通过有序排弃和土地整形等措施，形成与周边地貌景观相协调的新地貌。

[来源：TD/T 1070.1—2022，3.5，有修改]

3.12

土壤重构　soil reconstruction

对矿山损毁土地采用工程、物理、化学、生物等措施，重新构造土壤基质，形成适宜植被生长的土壤剖面结构与肥力等条件。

[来源：TD/T 1070.1—2022，3.6，有修改]

3.13

植被重建　vegetation reconstruction

综合考虑气候、海拔、坡度、坡向、地表物质组成、有效土层厚度等条件，选择先锋、适地植物物种，实施植被配置、栽植及管护，重新构建持续稳定的植物群落。

[来源：TD/T 1070.1—2022，3.7，有修改]

3.14

景观营建　landscape construction

遵循“山水林田湖草沙”一体化保护修复，充分考虑矿区“点—线—面—网”景观整合过程中，土地资源、水资源、生物资源、人居环境等的结构调整和优化配置，营建一个与周边景观相协调的生态系统。

3.15

适应性管理　adaptive management

基于生态系统的不确定性和对生态系统认识的时限性，通过监测评估已采取的管理措施和实践措施来获得经验，并根据生态系统变化情况，修正、改进管理措施和实践措施的方法和过程。

[来源：TD/T 1068—2022，3.9，有修改]

4　总体要求与基本原则

4.1　总体要求

应将金属矿山场地和周边生态系统作为一个整体，依据矿山所在的生态系统功能重要性、人居环境与经济社会发展状况，综合考虑自然条件、地形地貌条件、矿山生态环境问题及其危害程度等，坚持“山水林田湖草沙”一体化保护和系统治理的理念，在矿山开采过程中应对矿山场地可修复区域及时进行复垦修复，遵循生态系统演替规律和内在机理，利用科学的复垦修复技术和模式，使可修复区域地质环境达到稳定、损毁土地得到复垦利用、生态系统功能得到恢复和提升，恢复矿区生物多样性，协同推进绿色矿山建设，实现人与自然和谐共生。

4.2 基本原则

4.2.1 保护优先与源头防控

遵循开发中保护、保护中开发理念，优化金属矿山用地选址选线和生产工艺系统设计，在开采源头上减少和减轻对矿区基本农田、基本草原、重要保护物种、自然保护地、水源地、文物等敏感目标的影响；采用科学合理的源头防控措施，消除地质环境隐患、控制环境污染和水土流失，达到安全、稳定和无污染状态；采取工程、生物、化学等复垦修复措施，恢复受损生态系统。

4.2.2 统一规划与统筹实施

复垦修复目标、方向、标准、措施等与国土空间规划、矿产资源规划、国土空间生态修复规划、矿产资源开发利用方案等相衔接，实现与土地利用现状、周边景观相协调；复垦修复规划设计与矿山开采设计相统一，复垦修复技术措施、时序安排与开采工艺充分结合，在矿山全生命周期实现边开采边复垦修复；复垦修复与绿色矿山建设同步推进，同步采取减缓保护、预防控制与复垦修复等多种措施，使地质环境及时得到修复治理、损毁土地得到复垦利用、生态系统功能得到恢复，并取得最优修复效果，力争达到最佳的利用状态。

4.2.3 人工修复和自然恢复相结合

根据矿山地质稳定性、复垦适宜性、生态恢复力，坚持“宜耕则耕、宜林则林、宜草则草、宜湿则湿、宜荒则荒、宜沙则沙”原则，通过减缓保护、预防控制、复垦修复等人工措施修复受损的生态系统；坚持尊重自然、顺应自然、保护自然，充分发挥自然恢复力的作用，逐步恢复本地生态系统的生物群落组成和结构，使修复生态系统达到自我维持、自我调节，实现良性循环。

4.2.4 系统治理与功能提升

复垦修复区的土地做到与国土空间规划、矿产资源规划、国土空间生态修复规划等相衔接，通过整体保护、综合治理、系统修复，使地质环境达到稳定，损毁土地复垦利用，生态系统功能得以恢复；按照生物多样性保护要求进行规划设计与实施，通过地貌重塑、土壤重构、植被重建、景观营建等阶段，将生物多样性保护贯穿于矿山土地复垦与生态修复的全过程，实现生态系统功能提升。

4.2.5 公众参与与全程监测

在矿山开发利用、复垦修复的全生命周期中，持续保持与利益相关方的联系，为利益相关方提供积极和有实际意义的参与机会，使土地复垦与生态修复方案的制定、实施、监测评价和适应性管理充分体现利益相关方的意见，并向利益相关方通报和更新进展情况，确保公平性和包容性；利益相关方包括矿区范围内的土地使用者、社区、政府、监管机构、企业，以及投资者、行业同行、学术界和媒体等；尊重当地的传统、习俗、社会期望和企业愿景，实现当地社区、环境和采矿业的利益最大化。

5 技术路径

金属矿复垦修复技术路径包括基础调查与问题识别诊断、可行性分析、方案编制、工程实施、管理维护、监测评价与适应性管理，金属矿复垦修复技术路径见图1。

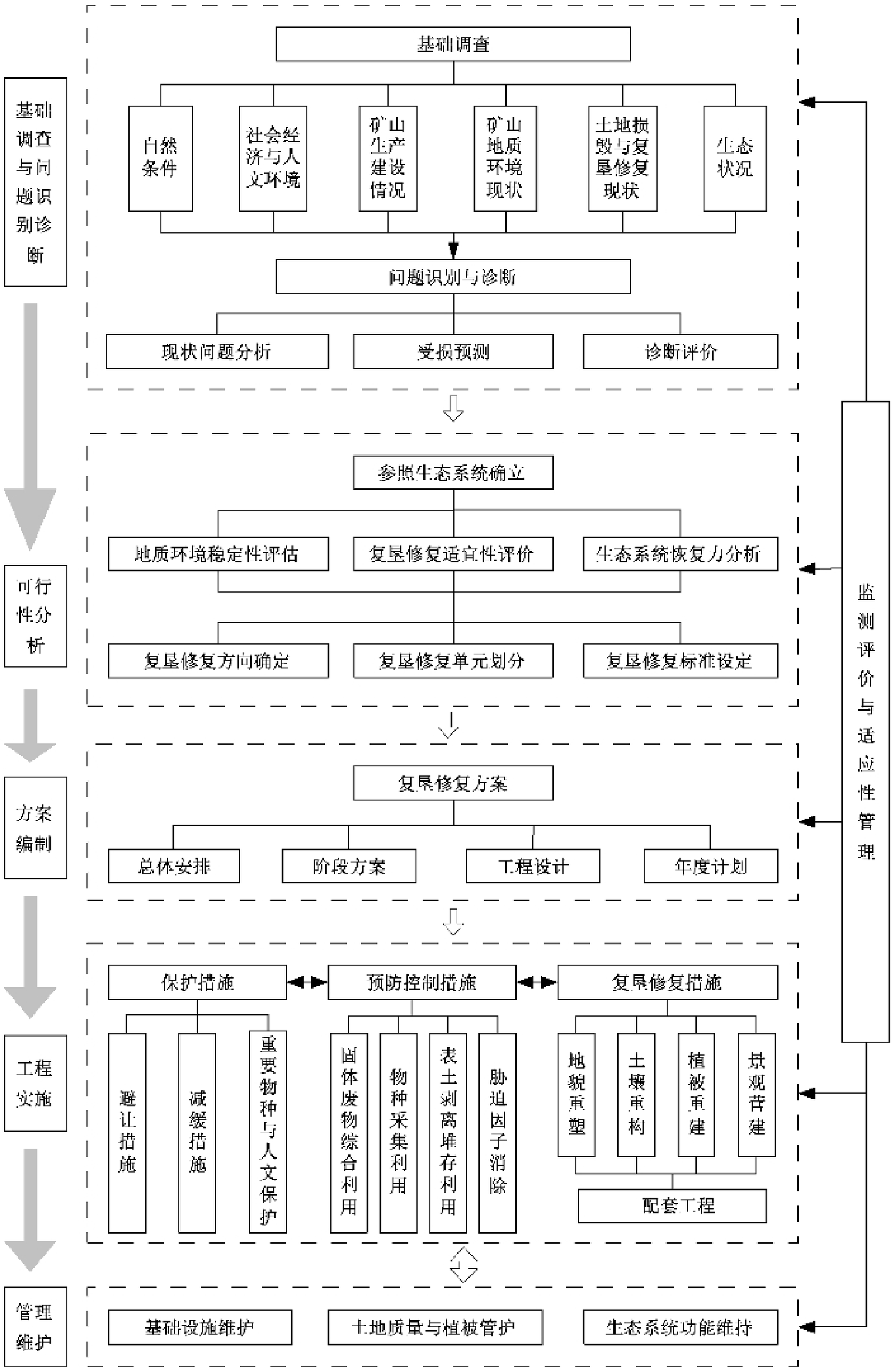

图 1　金属矿复垦修复技术路径

6 基础调查与问题识别诊断

6.1 基础调查

6.1.1 自然条件

调查地理位置、地形地貌、气候、水文、区域地质概况、区域水文地质、土壤状况、水土流失、动植物资源等。

6.1.2 社会经济与人文环境

社会经济调查包括矿山范围内乡镇所涉及的村庄和周边所影响的村庄近 3 年的人口、农业人口、人均耕地、生产状况等；人文环境调查包括地质遗迹、文物古迹、古村落、历史文化保护地等。

6.1.3 矿山生产建设情况

调查企业性质、开采范围、开采方式、生产工艺、生产规模、服务年限或剩余使用年限、开采计划、总图布置等。

6.1.4 矿山地质环境现状

6.1.4.1 地质环境条件调查包括地层岩性、地质构造、水文地质、工程地质、矿山地质、不良地质现象等，按照 DZ/T 0223 要求执行。

6.1.4.2 矿山场地的地质环境破坏调查内容主要包括：

a) 露天采场崩塌、滑坡的分布特征、规模、结构、发育程度、危害程度、诱发因素等；
b) 地下采场采空塌陷、地裂缝、地面沉降等地表岩移的分布特征、规模、结构、发育程度、危害程度、诱发因素等；
c) 原地浸矿场、废石场、堆浸场和尾矿库滑坡的分布特征、规模、结构、发育程度、危害程度、诱发因素等。

6.1.4.3 矿山场地的水土环境现状调查主要包括矿山场地土壤和地下水污染状况，土壤污染状况调查按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 要求执行，地下水污染状况调查按照 HJ 25.1、HJ 25.2 和 HJ 164 要求执行。

6.1.4.4 矿山场地的潜在污染风险调查内容主要包括：

a) 露天采场：矿石物质组成、矿石化学成分、矿坑涌水量、涌水水质等；
b) 地下采场：矿石物质组成、矿石化学成分、井下涌水量、涌水水质等；
c) 原地浸矿场：浸矿工艺、淋洗措施、尾水水质等；
d) 废石场：废石固体废物属性、淋溶水水质、防渗措施、封场阻隔措施等；
e) 尾矿库：尾矿固体废物属性、尾矿排水和渗滤水水质、防渗措施、封场阻隔措施等；
f) 堆浸场：堆浸渣固体废物属性、渗滤水水质、防渗措施、淋洗措施等。

6.1.5 土地损毁与复垦修复现状

6.1.5.1 土地利用现状与权属调查，明确矿区土地利用类型、数量和质量，以及土地利用权属状况，调查耕地与基本农田分布情况。

6.1.5.2 未损毁土地调查，主要调查土地利用类型及面积、土壤类型、有效土层厚度、土壤剖面、理化性质等，土地利用类型按照 GB/T 21010、TD/T 1055—2019 要求执行。

6.1.5.3 已损毁土地调查，主要调查露天采场、地下采空区、废石场、尾矿库、堆浸场、勘探遗迹、地表岩

移范围等场地损毁土地，调查内容包括损毁土地的面积、地类、损毁类型和程度等，调查按照TD/T 1049要求执行。

6.1.5.4 已复垦修复土地调查，按照复垦修复方向、时间、位置、措施等划分调查单元，调查内容包括土壤质量、生产力水平和配套设施等，调查按照 TD/T 1049 要求执行。

6.1.6 生态状况

6.1.6.1 生态状况调查范围应综合矿山范围及其所处的流域、山脉等地貌单元、水文单元、生态单元，涵盖金属矿山开采活动的影响区域。

6.1.6.2 调查构成生态系统的群落特征，包括动植物群落物种组成及特征，特别是地带性植被建群物种、先锋物种、本地关键物种、指示物种、外来入侵物种等重要物种的种类、数量及生境情况。

6.1.6.3 调查自然保护地、世界自然遗产、生态保护红线等重要生态敏感区的保护对象、功能区划、保护要求等。

6.1.6.4 调查国家及地方重点保护野生动植物名录所列的物种、古树名木等具有较高保护价值或保护要求的物种种类、数量及生境情况。

6.1.6.5 已损毁土地生态状况查明生态退化情况，包括原有生态系统结构破坏情况，人工生态修复难易程度等。

6.2 问题识别与诊断

6.2.1 现状问题分析

6.2.1.1 矿山场地的地质稳定性、含水层破坏、地形地貌景观破坏、土地资源破坏等问题分析按照DT/Z 0223 要求执行。

6.2.1.2 矿山场地潜在污染风险分析，依据废石、尾矿和堆浸渣的固体废物属性以及场地渗水水质，判别矿山场地潜在污染风险。

6.2.1.3 堆存的固体废物属于危险废物或第Ⅱ类一般工业固体废物，矿山场地渗水水质任何一种特征污染物浓度超过 GB 8978 最高允许排放浓度(第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行)，矿山场地潜在污染风险为严重。

6.2.1.4 矿山场地渗水水质任何一种特征污染物浓度均未超过 GB 8978 最高允许排放浓度(第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行)，超过 GB 3838 中Ⅲ类水质标准，矿山场地潜在污染风险为较严重。

6.2.1.5 矿山场地渗水水质任何一种特征污染物浓度均未超过 GB 3838 中Ⅲ类水质标准，矿山场地潜在污染风险为较轻。

6.2.2 受损预测

6.2.2.1 根据基础调查结果，识别重要保护物种、重要生态敏感区、人文资源等保护对象。

6.2.2.2 根据矿山生产计划，预测矿山拟损毁区域可能产生的地质环境破坏、潜在污染风险、土地损毁、植被破坏、生态退化、水资源破坏等生态问题。

6.2.3 诊断评价

6.2.3.1 根据问题识别结果和受损预测结果，开展问题诊断，分析诱发问题的原因，并筛选出严重级别的生态问题。

6.2.3.2 编制复垦修复方案时，对预测严重级别的生态问题进行专项论述。

7 可行性分析

7.1 参照生态系统确立

7.1.1 分析区域自然生态系统、开采破坏前的生态系统、附近具有相似生物多样性的未受损生态系统状况及类似金属矿山生态修复成功案例的基础上，结合矿区自然环境特点、国土空间规划、国民经济和社会发展规划、生态环境保护规划、关键生态系统属性以及开采前后环境变化等，确立复垦修复的参照生态系统。

7.1.2 对于历史监测资料齐全的矿区，直接参考受损生态系统历史状态设定参照生态系统；对于历史状况不清的矿区，参照矿山周边未受损的本地原生生态系统，或类似生态系统作为参照生态系统。

7.1.3 从矿山自然地理条件、物种组成、生态系统结构、生态系统功能、生态胁迫、外部交换等方面设定参照生态系统关键属性指标，结合生态系统自然演替规律，同时考虑矿山环境的变化等，采取类比法、推演法等方法，为矿山受损生态系统修复确定适当的关键属性指标。

7.2 地质环境稳定性评估

在现状评估的基础上，结合矿山建设特点，对矿山建设期、生产期可能引发的地质环境稳定性进行预测评估，按照 GB/T 40112 要求执行。

7.3 复垦修复适宜性评价

根据地质环境破坏、潜在污染风险、土地损毁程度、生态退化程度、水资源破坏程度等分析结果，选取合适的评价指标，建立复垦修复适宜性评价体系，评定各评价单元的复垦修复适宜性等级，明确其限制因素，复垦修复适宜性评价按照 TD/T 1031.1 要求执行。

7.4 生态系统恢复力分析

7.4.1 根据生态受损与退化的程度，分析自然恢复、人工修复的可行性，能自然恢复的优先自然恢复。

7.4.2 从生境、物种、生物多样性等角度构建生态系统恢复力评价指标体系，确定矿区生态系统恢复力等级，按照 TD/T 1068 要求执行。

7.4.3 从技术经济分析评估采用新技术、新工艺、新设备和新材料提升生态恢复力的可行性。

7.5 复垦修复方向确定

以参照生态系统为目标，结合国土空间规划、公众参与意见及社会经济因素，在经济可行、技术合理的条件下，确定各评价单元的最终复垦修复方向。

7.6 复垦修复单元划分

根据地形地貌、地表物质组成、水土资源等划分评价单元，露天采场宜划分为边坡、平台和坑底，废石场、尾矿库和堆浸场宜划分为边坡、平台和顶面。

7.7 复垦修复标准设定

根据各评价单元的复垦修复方向，制定不同复垦修复单元的复垦修复标准，复垦修复标准按照 GB 15618、GB/T 33469、TD/T 1036 等要求执行。

8 方案编制

8.1 总体安排

8.1.1 依据可行性分析、矿山开发规划等，制定矿山复垦修复总体安排。

8.1.2 矿山开采前应编制矿山复垦修复方案，矿山用地位置、规模、矿区范围、生产工艺等发生重大变化时应及时修编复垦修复方案。

8.1.3 复垦修复方案编制内容主要包括矿山基本情况、基础调查与问题识别诊断、复垦修复可行性分析、复垦修复工程、工作部署、投资估算和保障措施等。

8.2 阶段方案

8.2.1 矿山生产建设周期长、需要分阶段进行复垦修复的，应依据复垦修复方案，结合矿山开采设计，形成复垦修复阶段方案。

8.2.2 阶段方案明确本阶段目标、任务、位置、工程量、费用等，对上一阶段复垦修复情况进行总结。

8.3 工程设计

根据复垦修复单元的复垦修复方向、措施和标准，对复垦修复措施进行工程设计。

8.4 年度计划

8.4.1 总结上一年度矿山复垦修复情况，包括复垦修复措施及效果、监测管护情况、监测数据、经费使用情况等。

8.4.2 编制矿山复垦修复本年度计划，细化本年度复垦修复任务、费用安排等。

9 工程实施

9.1 保护措施

9.1.1 避让措施

9.1.1.1 确定矿山及周边基本农田、基本草原、公益林、自然保护地、水源地、生态保护红线、文物等敏感保护目标分布及保护要求。

9.1.1.2 矿山工程应避让各类敏感区，符合自然保护地、生态保护红线、水源地等管理要求以及国土空间规划管控要求。

9.1.2 减缓措施

9.1.2.1 识别、预测项目在建设生产阶段的影响，确定合理、可行的工程方案，提出预防或减缓不利影响的对策和措施，减少对动植物的伤害和生境占用、控制地表变形和保护地下水。

9.1.2.2 矿山存在适宜露天开采的多个矿点，露天开采应优化开采顺序，在不压覆矿产的情况下宜将采后的露天采场作为废石、尾矿堆存场所，减少新增占地。

9.1.2.3 地下开采宜采用充填采矿法，减小地表变形，避免地面塌陷和地裂缝。

9.1.2.4 离子吸附型稀土矿原地浸矿应避开不良地质现象严重区域，对不良工程地质条件采取可靠的治理措施，防止浸矿剂渗漏造成地质环境问题。

9.1.2.5 废石场、尾矿库和堆浸场堆存宜采用缓坡设计，避免复垦修复时采取降坡措施，坡顶、坡面宜采取截排水措施，防止形成冲沟。

9.1.2.6 管线、道路等线性工程宜科学构建物种迁徙和基因交流的生态廊道，减少生态阻隔影响。

9.1.3 重要物种与人文保护

9.1.3.1 矿山建设生产对重点保护野生植物、特有植物、古树名木等造成不利影响的，应采取优化工程布置、就地或迁地保护、加强观测等措施，具备移栽条件、长势较好的宜全部移栽。

9.1.3.2 矿山建设生产对重点保护野生动物、特有动物及其生境造成不利影响的，应采取优化工程施工方案、运行方式，实施物种救护等措施，进行生境保护。

9.1.3.3 采取围栏、警示牌、加固等措施保护具有重大科学文化价值的地质遗迹和人文景观。

9.2 预防控制措施

9.2.1 固体废物综合利用

9.2.1.1 宜先开展废石、尾矿中有价组分回收利用，再开展废石、尾矿用于回填、筑路、制作建筑材料等资源化利用工作。

9.2.1.2 宜开展堆浸渣中有价组分回收利用；不具备回收价值的堆浸渣，应进行无害化处理，消除潜在污染风险后，开展堆浸渣用于回填、筑路、制作建筑材料等资源化利用工作。

9.2.2 物种采集利用

9.2.2.1 物种采集，采集本地植物的各种繁殖材料，特别是地带性植被建群种、本地关键种等重要物种。

9.2.2.2 物种利用，复垦修复时，最大限度地利用采集的本地植物进行植被重建，保护本地种质资源。

9.2.3 表土剥离堆存利用

9.2.3.1 表土剥离

9.2.3.1.1 按照“应剥尽剥”要求，根据生产计划涉及扰动区域合理安排表土剥离，测算剥离表土厚度、面积、剥离量，表土剥离厚度应结合 6.1.5 调查的有效土层厚度确定。

9.2.3.1.2 矿山场地占地范围内可作为复垦土源的岩土风化物应单独剥离。

9.2.3.1.3 按照“分区分期分层剥离”要求，根据露天采场采剥计划、废石场堆排计划、堆浸场堆浸计划、尾矿库排尾计划及淹没范围，预测土地损毁的时空变化，制定表土分区分期剥离计划。

9.2.3.1.4 原地浸矿场注液孔施工弃土作为表土，宜袋装堆存。

9.2.3.1.5 对于高海拔高寒矿山的表土剥离与保存应结合草皮剥离养护再覆盖技术进行。

9.2.3.1.6 涉及耕作层土壤剥离利用的，按照 TD/T 1048 要求执行。

9.2.3.1.7 表土剥离应对地表植被及剩余生物群进行保护利用，对于已损毁土地自然恢复的部分植被应进行保护利用。

9.2.3.2 表土堆存

9.2.3.2.1 按照“分区堆存、就近堆存、就近利用”要求，明确表土堆存区域、堆存时间，表土堆存场应选择不易造成水土流失和诱发地质灾害的区域，不宜占用耕地。

9.2.3.2.2 表土应单独堆存，分层堆存，表土和岩土风化物应分开堆存。

9.2.3.2.3 表土堆存场应避免机械过度碾压等破坏影响表土特性的活动。

9.2.3.2.4 表土堆存场应采取拦挡、苫盖、排水等防护措施。

9.2.3.2.5 堆存期超过一个生长季节的，应采取种草或铺设草皮等复绿措施。

9.2.3.3 表土利用

按照“即剥即用、分层回填”要求，根据表土剥离计划，安排表土利用计划，表土优先用于生产期复垦修复区域土壤重构。

9.2.4 胁迫因子消除

9.2.4.1 地质环境破坏预防与控制

9.2.4.1.1 在开展复垦修复工作前，应对地质环境破坏进行治理，并加强监测及预警工作。

9.2.4.1.2 露天采场边坡崩塌防治宜采用削坡、支撑、锚固、安装防护网、设置落石平台、挡石墙、混凝土网格护坡、混凝土封闭注浆、截排水工程等进行治理。

9.2.4.1.3 露天采场、废石场、尾矿库、堆浸场、原地浸矿场等场地滑坡防治宜优先采取排水措施，并结合减荷、压脚阻滑、锚固支挡、注浆加固等措施，按照 GB/T 38509 要求执行。

9.2.4.1.4 地下开采根据采矿方法采取相应地表岩移防治措施，要求如下：

a) 充填法采矿，应保证充填体强度及接顶率，地表出现裂缝应及时回填，恢复原土地用途，对地表岩移范围进行长期观测和评估；

b) 空场法采矿和崩落法采矿，应将地表岩移范围设置为风险管控区，周边应设定安全距离，建设安全围栏，设置警示标志。

9.2.4.2 潜在污染风险预防与控制

依据废石、尾矿和堆浸渣的固体废物属性，控制废石场、尾矿库和堆浸场的潜在污染风险，采取措施控制对周边水土环境污染，要求如下：

a) 废石场、尾矿库和堆浸场建设应根据固废属性和场地类别做好防渗措施，减少渗滤液进入地下水，场地防渗按照 GB 18598、GB 18599 要求执行；

b) 场地堆存固体废物为危险废物，封场应采取防渗措施，按照 GB 18598 要求执行；

c) 场地堆存固体废物为第Ⅱ类一般工业固体废物，封场应采取阻隔措施，按照 GB 18599 要求执行。

9.2.4.3 水土流失预防与控制

结合矿区实际情况与所在区域水土流失特征，采取水土流失综合治理措施，按照 GB 51018、GB/T 16453.3、GB/T 16453.6 等相关要求执行。

9.3 复垦修复措施

9.3.1 地貌重塑

9.3.1.1 根据水文气象特征、区域地形地貌特点、损毁单元的微地形条件、潜水位埋深等，结合复垦修复方向和要求，确定地貌重塑布局及形态，因地制宜采取整形、平整工程，重塑地貌宜与原地貌相近。

9.3.1.2 地貌重塑应确保安全稳定，有利于土地复垦及生态修复实施，与周边景观协调一致。

9.3.1.3 露天采场、废石场、尾矿库、堆浸场等场地地貌重塑应在矿山生产形成的人工地形地貌基础上进行。

9.3.1.4 露天采场、废石场、尾矿库、堆浸场等地貌重塑应结合地质环境治理工程、污染风险控制工程进行整形和平整，满足 TD/T 1036 要求。

9.3.1.5 原地浸矿场、管线等土地损毁程度较轻区域，应保持原地貌。

9.3.1.6 废石场和堆浸场台阶边坡高度大于 10 m，宜采取削坡开级等降坡措施。

9.3.2 土壤重构

9.3.2.1 土源应充分利用剥离、堆存的表土，土源采用就近取土的，取土场在取土结束后应及时进行复垦修复。

9.3.2.2 土源不应采用重金属或者其他有毒有害物质含量超标的污染土壤。

9.3.2.3 土壤重构在露天采场、废石场、堆浸场和尾矿库的永久性边坡平台形成后应及时进行。

9.3.2.4 场地堆存危险废物或第Ⅱ类一般工业固体废物，应采用全面覆土，覆盖土层的厚度应按种植物种类及其对阻隔层可能产生的损坏确定。

9.3.2.5 尾矿库坝体覆盖土层的厚度应按种植物种类及其对坝体安全可能产生的影响确定。

9.3.2.6 原地浸矿场淋洗结束后，注液孔应及时回填封孔，回填后的地表坡度应与原地面坡度一致。

9.3.2.7 耕地、园地土壤重构的要求如下：

a) 潜在污染风险严重或较严重的场地不宜复垦修复为耕地和园地；

b) 应采用全面整地覆土，覆土应满足 TD/T 1036 中耕地、园地要求；

c) 覆土土源的土壤污染物质含量不应超过 GB 15618 中土壤污染风险筛选值要求；

d) 重构后的土壤按照 HJ/T 166 和 GB/T 33469 要求进行土壤清洁程度评价。

9.3.2.8 林地、草地土壤重构的要求如下：

a) 土源充足的，宜采用全面整地覆土，覆土的土壤质量应满足 TD/T 1036 要求；

b) 土源不足的，平台和顶面宜采用穴状或带状整地覆土，边坡宜采用鱼鳞坑整地覆土或带状整地覆土，覆土的土壤质量应满足 TD/T 1036 要求；

c) 无土源的，可采用无土复垦、岩土风化物复垦或尾砂改良等措施，应进行可行性试验；

d) 人工牧草地覆土的污染物质含量不应超过 GB 15618 中土壤污染风险筛选值要求。

9.3.3 植被重建

9.3.3.1 物种选择

9.3.3.1.1 宜选择适应性强的乡土树种和草种。

9.3.3.1.2 宜选择具有耐干旱、耐贫瘠、耐污染等特性的适生植物和先锋植物，物种选择按照 TD/T 1070.1要求执行。

9.3.3.1.3 优先选择易成活、生长快、根系发达、易繁殖、抗逆性强、叶茎矮或有匍匐茎的当地草种。

9.3.3.1.4 存在重金属污染风险的矿山场地，宜选取相应的重金属富集植物或耐性植物。

9.3.3.1.5 存在酸性水污染风险的矿山场地，宜选取耐酸植物。

9.3.3.1.6 选用的苗木、种子质量按照 GB/T 15776 要求执行。

9.3.3.2 物种配置与栽植

9.3.3.2.1 植被重建应以生物多样性保护为目标，优先使用矿山剥离的草皮和移植的物种。

9.3.3.2.2 植被配置模式应根据不同生物气候带矿区所在地的气候条件、坡向、坡度、地表物质组成等，选择乔灌混交、灌草混交、乔草混交、乔灌草混交等不同模式。

9.3.3.2.3 气候条件较好的矿区，植被配置模式宜形成有效控制地表径流的乔木层、灌木层、草本层、枯落物层和土壤层。

9.3.3.2.4 造林技术按照 GB/T 15776 要求执行。

9.3.3.2.5 草地建设技术按照 NY/T 1342 要求执行。

9.3.3.3 高陡边坡植被重建

9.3.3.3.1 宜采用喷播、植生毯(垫)、混凝土格构、生态袋等措施建立植被,按照 GB/T 38360 要求执行。

9.3.3.3.2 露天采场高陡边坡,可采取坡脚栽植藤本植物、坡面挂篮等措施建立植被。

9.3.4 景观营建

9.3.4.1 以生物多样性保护为目标,营建矿区受损水系廊道、生物多样性廊道和景观廊道,使各复垦修复区之间连通,并与本地生态系统相连通,实现景观尺度的连通性和功能性。

9.3.4.2 露天采场、废石场、尾矿库、堆浸场等重要场地可结合矿业文化进行文化功能营建与提升。

9.3.4.3 露天采坑、尾矿库积水区可重建为人工湿地景观,宜建立湿地水域之间、湿地与周边河流湖库间的水系连通系统。

9.3.4.4 地下采矿地表变形轻微区域,宜恢复原地貌景观;地下采矿地表变形较严重,在变形稳定前应监控受损状态,稳定后结合地质环境治理方案营建适宜景观。

9.3.4.5 原地浸矿采场、表土堆场、管线等场地生态系统受损较轻,宜恢复原地貌景观。

9.3.4.6 废石场、堆浸场和尾矿库形成的人工堆积山,山坡露天采场形成的阶梯状地貌,宜结合周边自然景观营建为山地景观。

9.3.4.7 荒漠、沙漠等水资源缺乏地区,结合周边自然景观,露天采场可营建为岩质景观,废石场、堆浸场和尾矿库可营建为荒漠、沙漠景观,应采取人工措施防治荒地沙化、沙地流动化和沙漠化。

9.3.5 配套工程

9.3.5.1 灌溉、排水工程应以矿山主体工程设计排水系统为基础,在满足防洪排涝功能的前提下,根据实际需要,结合复垦修复方向进行规划、布设。

9.3.5.2 道路宜依托主体工程道路布设,在满足交通、运输功能的前提下,根据复垦修复方向进行规划和布设,并进行道路绿化。

10 管理维护、监测评价与适应性管理

10.1 基础设施维护

对道路、灌溉、排水、建(构)筑物等基础设施进行定期维护,发现基础设施运行不正常或损毁,应及时修复或替换。

10.2 土地质量与植被管护

10.2.1 土地质量与植被管护时间应根据矿区自然条件、场地潜在污染风险、土壤重构、植被重建等确定,应持续进行管护,金属矿山后续管护期一般宜为 3 年～5 年,潜在污染风险高和较高的场地以及生态脆弱区后续管护期宜为 6 年～10 年。

10.2.2 根据场地复垦修复方向,适时采取松土、翻耕、施肥、生物化学改良等措施,维持和改善重构土壤的环境质量,实现土地可持续性利用。

10.2.3 植被管护措施主要包括施肥、灌溉、松土、清除杂草、防治病虫害、补植、补种等,植被管护按照 GB/T 15776 要求执行。

10.3 生态系统功能维持

10.3.1 对矿区关键物种和生物多样性进行持续观测，评价生态系统功能，对生态系统的生物种群、群落组成和结构进行优化，使复垦修复后的生态系统由形态恢复逐步过渡到功能恢复。

10.3.2 以参照生态系统为目标，维持物种种类和组成，保护生物多样性，实现植物生物群落的恢复，提高生态系统的生产力和自我维持力。

10.3.3 消除动物生长的限制性因子，营造良好的动物栖息地，恢复生境连通，引导动物回归。

10.3.4 对地貌重塑、土壤重构、植被重建、景观营建等复垦修复全过程，加强生态系统健康管理，避免二次退化。

10.3.5 降低重建生态系统水灾、旱灾、虫灾、火灾等风险，维持生态系统的相对稳定性，保障土地资源、水资源、生物资源、景观资源和人居环境的可持续利用。

10.4 监测评价与适应性管理

10.4.1 监测评价

10.4.1.1 监测评价应贯穿矿山建设、生产、闭矿以及复垦修复全过程。

10.4.1.2 土壤环境质量、水环境质量宜引用环境影响报告书及其跟踪监测数据。

10.4.1.3 开采前、开采中、开采后的复垦修复监测按照 GB/T 43935 执行。

10.4.2 适应性管理

10.4.2.1 适应性管理应贯穿矿山建设、生产、闭矿以及复垦修复全过程。

10.4.2.2 适应性管理应包括矿山地质环境稳定性评估、土壤质量达标性评估、植被生产力水平评估和生态恢复力评估。

10.4.2.3 基于全周期跟踪监测评价结果，评估减缓保护、预防控制、复垦修复等工程技术措施的实施效果，及时发现新产生的生态问题及潜在生态风险。

10.4.2.4 对照复垦修复目标，对可能导致偏离复垦修复目标或者对因复垦修复造成新的损毁的复垦修复工程技术措施进行调整修正。

10.4.3 成效评估

10.4.3.1 成效评估包括生态成效评估和社会经济成效评估，评估矿山复垦修复后的生态系统与参照生态系统的差距和功能提升情况。

10.4.3.2 成效评估重点对复垦修复的地貌、土壤、植被、景观、生物多样性，以及公众参与满意度等进行评估，参照 GB/T 43935 相关规定执行。

参 考 文 献

[1] GB 3838—2002 地表水环境质量标准

[2] GB 8978—1996 污水综合排放标准

[3] TD/T 1031.4—2011 土地复垦方案编制规程 第4部分:金属矿

[4] TD/T 1036—2013 土地复垦质量控制标准

[5] TD/T 1068—2022 国土空间生态保护修复工程实施方案编制规程

[6] TD/T 1070.1—2022 矿山生态修复技术规范 第1部分:通则

[7] 自然资源部办公厅,财政部办公厅,生态环境部办公厅.山水林田湖草生态保护修复工程指南(试行)(自然资办发〔2020〕38号).2020年8月.

[8] 自然资源部.国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南(自然资发〔2023〕234号).2023年11月.

[9] 自然资源部,农业农村部,国家林业和草原局.自然资源部 农业农村部 国家林业和草原局关于严格耕地用途管制有关问题的通知(自然资发〔2021〕166号).2021年11月.

[10] Young R E, Gann G D, Walder B, et al.International principles and standards for the ecological restoration and recovery of mine sites.Restoration Ecology, 2022, 30: e13771.