

矿山生态修复技术规范
第6部分：稀土矿山

Technical specification for ecological restoration of mines
Part 6: Rare earth mine

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(报批稿)

(本草案完成时间：2022.03.21)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本原则与总体要求	2
4.1 基本原则	2
4.2 总体要求	3
4.3 工作流程	3
5 基础调查与问题识别	3
5.1 基础调查	3
5.2 问题识别	4
5.3 成果资料	5
6 生态修复方案编制	5
6.1 基本要求	5
6.2 矿山基本情况	5
6.3 总体定位与目标	5
6.4 主要任务与工作部署	5
6.5 跟踪监测	5
6.6 经费估算	5
6.7 保障措施	6
7 生态修复方案实施	6
7.1 工程实施	6
7.2 技术措施	6
8 生态修复监测与管护	8
8.1 跟踪监测	8
8.2 后期管护	8
9 生态修复成效评估	8
10 生态修复信息管理	8
附录 A (资料性) 矿山生态问题严重程度分级指标	9
附录 B (资料性) 水土流失(土壤侵蚀)强度分级指标	10
附录 C (资料性) 矿山区域重要程度分级指标	11
附录 D (资料性) 矿山生态修复成效监测参考方法与仪器	12
参考文献	13

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。

本文件为TD/T ××××《矿山生态修复技术规范》的第6部分。TD/T ××××已经发布了以下部分：

- 第1部分：通则；
- 第2部分：煤炭矿山；
- 第4部分：建材矿山；
- 第5部分：化工矿山；
- 第6部分：稀土矿山；
- 第7部分：油气矿山。

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/TC93）归口。

本文件起草单位：江西理工大学、江西省地质局第七地质大队、江西省地质局有色地质大队、中国自然资源经济研究院、中国地质环境监测院。

本文件主要起草人：饶运章、王丹、陈光飞、宋勇、李海潘、符勋、陈国梁、陈仁祥、陈飞、陈云嫩、张进德、余振国、白雪华、张德强、余洋。

引 言

为加快推进国土空间生态保护与修复工作，规范矿山生态修复工作流程、技术方法和要求，制定TD/T××××《矿山生态修复技术规范》。

矿山生态修复涉及煤炭、金属、建材、化工、稀土、油气等不同矿种的矿山，涵盖调查、设计、施工、监测、评估的全过程，为满足矿山生态修复技术的通用性并突出不同矿种的特点，TD/T××××《矿山生态修复技术规范》分为7个部分：

- 第1部分：通则；
- 第2部分：煤炭矿山；
- 第3部分：金属矿山；
- 第4部分：建材矿山；
- 第5部分：化工矿山；
- 第6部分：稀土矿山；
- 第7部分：油气矿山。

第1部分规范了矿山生态修复工作的技术流程、总体思路、工作方法等通用内容，其他6个部分是第1部分的延伸和细化，重点强调了不同矿种的矿山生态修复技术措施。

矿山生态修复技术规范

第6部分：稀土矿山

1 范围

本文件规定了离子型稀土矿山生态修复基本原则与总体要求、基础调查与问题识别、方案编制、方案实施、监测与管护、成效评估、信息管理等内容。

本文件仅适用于离子型稀土矿开采结束后的矿山生态修复工作，离子型稀土矿开采过程中的矿山生态修复工作可参照执行。

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 12719 矿区水文地质工程地质勘查规范
- 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 16453.1 水土保持综合治理技术规范 坡耕地治理技术
- GB/T 16453.2 水土保持综合治理技术规范 荒地治理技术
- GB/T 16453.3 水土保持综合治理技术规范 沟壑治理技术
- 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 38509 滑坡防治设计规范
- GB 50026 工程测量标准
- 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 50433 生产建设项目水土保持技术标准
- GB/T 51040 地下水监测工程技术规范
- GB/T 51297 水土保持工程调查与勘测标准
- DZ/T 0190 区域环境地质勘查遥感技术规定（1:50000）
- JTG B01 公路工程技术标准
- JTG/T D33 公路排水设计规范
- TD/T 1012 土地整治项目规划设计规范
- TD/T 1036 土地复垦质量控制标准
- TD/T ××××.1 矿山生态修复技术规范 第1部分：通则

3 术语和定义

TD/T ××××.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

离子型稀土矿 ion-adsorption clay rare earth ore

地表岩石经过长期风化，游离出来的稀土以离子吸附状态在黏土矿物上迁移富集而形成的一类独特的稀土矿床，也称风化壳淋积型稀土矿床。

[来源：GB/T 15676-2015，3.4，有删改]

3.2

池浸开采工艺 pool leaching process

把可开采的离子吸附型稀土矿土采、运至特设的浸矿工艺池，用溶浸液浸泡池内矿土，抽取含矿母液反应生成稀土化合物的采矿方法。

[来源：GB/T 15676-2015，8.1.2.1]

3.3

堆浸开采工艺 heap leaching process

把可开采的离子吸附型稀土矿土采、运至特设堆矿场，用溶浸液淋浸堆场内矿土，抽取含矿母液反应生成稀土化合物的采矿方法。

[来源：GB/T 15676-2015，8.1.2.2]

3.4

原地浸矿开采工艺 in-situ leaching mining process

利用溶浸液从天然埋藏条件下的非均质矿石中有选择地浸出有用成分并获取反应生成化合物的采矿方法。

[来源：GB/T 15676-2015，8.1.2.3]

3.5

注收液系统 injection collecting system

将溶浸液注入矿体、收集浸出液、防止浸出液泄漏的工程组合，是注液管网、注液孔（井）、导流孔、集液巷道、集液沟等的总称。

3.6

剥采区 stripping area

采用池浸、堆浸工艺开采，剥离了表土、开挖了矿体后形成的裸露空场、边坡。

3.7

堆积区 accumulation area

采用池浸、堆浸工艺开采，集中堆放尾砂的场所或堆浸工艺的废弃堆浸场，又称废土场、排土场。

3.8

淤积区 siltation area

稀土矿区及周边的边坡失稳、水土流失等原因造成废土、尾砂淤积在低洼沟谷、河道，或为拦截尾砂筑坝、围地构成的、用于贮存尾矿的场所。

3.9

原地浸矿区 in-situ leaching area

采用原地浸矿工艺开采离子型稀土资源的矿块，由注液井、导流孔、收液巷道等注收液工程相连的区域。

3.10

开采影响区 mine affected area

剥离、池浸、堆浸、注液、集液、富集等工艺导致的生态环境发生明显破坏或污染的周边区域。

3.11

工业场地 mine production area

配液池、母液池、除杂池、沉淀池等工艺池体和运输道路、物料仓库、生活设施等占用的场地。

4 基本原则与总体要求

4.1 基本原则

4.1.1 稀土矿山生态修复原则除应符合 TD/T ××××.1 中 4.1 规定外，还应符合 4.1.2、4.1.3、4.1.4 要求。

4.1.2 尊重生态系统自然演替规律。坚持自然恢复与人工修复相结合，改变单纯工程修复的思维，最大限度地发挥自然修复效能。

4.1.3 发挥国土空间规划引领作用。依据国土空间规划确定的土地用途，宜耕则耕、宜果则果、宜林则林、宜水则水、宜建则建。

4.1.4 注重稀土矿山修复长期效益。按照技术可行、经济合理、谁投资谁受益原则，确定修复方向，最大限度实现修复长期效益。

4.2 总体要求

4.2.1 稀土矿山生态修复要求除应符合 TD/T ××××.1 中 4.2 规定外，还应符合 4.2.2 要求。

4.2.2 根据国土空间规划和生态修复定位（即城镇空间、农业空间、生态空间），综合考虑矿山自然条件、地形地貌条件、生态环境问题及其危害程度，以及周边资源环境承载力等要素，坚持山水林田湖草一体化保护修复理念，根据离子型稀土矿区的低山丘陵风化壳特征和多雨湿润特点，依靠自然恢复能力，辅以必要的人工修复措施，对因稀土资源开发造成的矿山生态破坏进行综合治理与系统修复，消除地质安全隐患，改善水土环境，实施地貌重塑、土壤重构、植被重建，有效恢复生态系统功能。

4.3 工作流程

按照 TD/T ××××.1 中 4.3 规定执行。

5 基础调查与问题识别

5.1 基础调查

5.1.1 调查范围

统筹考虑矿山所在的地理单元和生态修复定位，以采矿活动区域为主，池（堆）浸开采工艺还应扩展到堆积区、淤积区和开采影响区，原地浸矿开采工艺还应扩展到地表开采影响区和水文地质单元范围。

5.1.2 调查内容

5.1.2.1 自然生态状况调查按照 TD/T ××××.1 中 5.1.2.1 规定执行。

5.1.2.2 矿山概况调查除按照 TD/T ××××.1 中 5.1.2.2 规定执行外，还应包括：堆积区、淤积区和开采影响区范围、成矿母岩、风化壳厚度、淤积厚度、堆积高度、土壤和水质监测数据、水系分布、地下水文单元、累计注液量和收液量、注液强度等。

5.1.2.3 矿山生态问题调查除按照 TD/T ××××.1 中 5.1.2.3 规定执行外，还应包括：微地貌（地形地貌和景观）、土壤类型及厚度、不良地质现象、植被类型及覆盖度、水土流失的类型、强度、土壤侵蚀模数、侵蚀强度和容许土壤流失量等。

5.1.2.4 重大专项问题调查包括：池（堆）浸开采工艺应开展水土环境（地表水、地下水和土壤环境）、水土流失专项调查，原地浸矿开采工艺应开展水土环境、地下含水层破坏专项调查。

5.1.3 调查方法

5.1.3.1 调查方法除按照 TD/T ××××.1 中 5.1.3 规定执行外，还应符合 5.1.3.2~5.1.3.6 要求。

5.1.3.2 遥感解译：重点包括原地浸矿区、剥采区、堆积区、淤积区、工业场地的地质安全隐患、地形地貌景观及植被破坏、水土流失等矿山地质环境问题。遥感数据源应尽可能地选择项目实施期间最新的卫星或航空遥感影像数据，地面分辨率应优于 2.5m；矿山地质环境问题集中发育区、危害程度为严重和较严重区域，地面分辨率宜优于 1m。最好选择植被茂盛时节的遥感数据，便于解译土地与植被破坏范围。遥感解译参照 DZ/T 0190 执行，并进行野外实地验证。

5.1.3.3 无人机测绘：借助测绘用无人机、三维建模软件等，通过无人机低空摄影获取高清晰影像数据生成三维点云与模型，实现相关信息的快速获取，包括：原地浸矿区、剥采区、堆积区、淤积区、开采影响区、工业场地的地质安全隐患、地形地貌景观及植被破坏、水土流失等矿山地质环境问题的区域边界、区域面积识别，矿山地质环境问题集中发育区、危害程度严重和较严重区域分级，以及生态修复成效的管护监测。

5.1.3.4 地形测量：矿业开发活动结束后，地形地貌发生变化的区域，应进行地形测量。地形测量精度一般应满足 1:1000 工作精度要求；对于需土石方挖填平衡区域，测量精度应满足 1:500 精度要求，并参照 GB 50026 执行。

5.1.3.5 工程地质剖面测量：根据调查区的地质、地形及生态情况布置测线和测点，选择典型剖面编制地层或岩土体结构柱状图，按比例尺确定岩土体划分单元。对于矿山重要生态问题宜放大比例尺表示。

5.1.3.6 重大专项问题调查:

- a) 地表水环境问题调查应符合 GB 12719 要求;
- b) 地下水环境问题调查应符合 DD 2014-06 要求;
- c) 土壤环境问题调查应符合 DD 2014-06 要求;
- d) 地下含水层破坏调查应符合 GB/T 51040 要求;
- e) 水土流失问题调查应符合 GB/T 51297 要求;
- f) 地质环境问题调查应符合 DD 2019-05 要求。

5.2 问题识别

5.2.1 建立参照生态系统

依据当地自然地理和生态功能分区,在分析区域尺度的自然生态系统、开采破坏前的生态系统、附近具有相似生物多样性和非生物环境条件的未受损生态系统状况的基础上,结合矿区自然环境特点、不同开采工艺土地损毁类型与程度、矿山生态修复方向和修复规模,建立稀土矿山生态修复不同类型的参照生态系统,并符合 TD/T ××××.1 中 5.2.1 规定。

5.2.2 池(堆)浸开采工艺生态问题影响分析

调查分析剥采区、堆积区、淤积区的各类地质安全隐患类型、成因、威胁程度、发展趋势,地形地貌破坏及土地损毁类型、方式、程度,水土流失范围、强度、程度,植被破坏类型、程度,以及由此造成生态系统的结构破坏、功能衰退、生物多样性减少、土地生产力降低等。

5.2.3 原地浸矿开采工艺生态问题影响分析

调查分析原地浸矿区、开采影响区的各类地质安全隐患类型、成因、威胁程度、发展趋势,地下含水层破坏范围、类型、程度,土壤结构、物化性能、植生环境(pH值、有机质、微生物等),植被破坏类型、程度,以及由此造成生态系统的结构破坏、功能衰退、生物多样性减少、土地生产力降低等。

5.2.4 工业场地(水冶车间)生态问题影响分析

调查分析工业场地的各类地质安全隐患类型、成因、威胁程度、发展趋势,地形地貌破坏及土地损毁类型、方式、程度,水土流失范围、强度、程度,植被破坏类型、程度,生产生活设施范围、建/构筑物种类结构、场地污染,以及由此造成生态系统的结构破坏、功能衰退、生物多样性减少、土地生产力降低等。

5.2.5 生态问题严重程度等级划分与确定

5.2.5.1 生态问题严重程度等级划分与确定除应符合 TD/T ××××.1 中 5.2 规定外,还应符合 5.2.5.2、5.2.5.3 要求。

5.2.5.2 依据矿山生态问题的分布、规模、特征、危害程度、严重程度,以及区域重要程度等,将矿山场地主要生态问题严重程度划分为三个等级:

I级:场地存在重大地质安全隐患或重大水土环境问题,或存在严重土地损毁、水土流失、水资源破坏、生态退化,导致生态系统结构与功能严重损坏,或区域重要程度为重要。

II级:场地存在一定地质安全隐患或局部水土环境问题,或存在一定程度的土地损毁、水土流失、水资源破坏、生态退化,局部植被盖度与质量受到影响,生态系统结构与功能较为完好,或区域重要程度为较重要。

III级:场地存在较轻地质安全隐患或较轻水土环境问题,或地表仅存在少量土地损毁、水土流失、水资源破坏、生态退化,生态系统结构与功能完好,或区域重要程度为一般。

5.2.5.3 生态问题严重程度等级确定

地质安全隐患、地形地貌景观、土地损毁、水土环境、水土流失、水资源破坏、生态退化、区域重要性指标中:至少有一项达到“严重”或“重要”则定为I级,至少有一项达到“较严重”或“较重要”且均未达到“严重”或“重要”则定为II级,全部为“较轻”或“一般”则定为III级。

5.2.6 各指标生态问题等级划分标准

地质安全隐患、地形地貌景观影响与破坏、土地损毁、水资源破坏、水土流失、生态退化等指标的等级划分见附录A,其中,水土流失(土壤侵蚀)强度的等级划分见附录B。区域重要程度的等级划分见

附录C。

5.3 成果资料

主要包括调查数据表、调查照片、检测数据、音频视频、工程实际图、生态问题图等基础调查成果资料和图件，以及水土环境状况、池（堆）浸开采工艺水土流失、原地浸矿开采工艺地下含水层破坏的专项调查成果资料和图件。

6 生态修复方案编制

6.1 基本要求

6.1.1 应在完成基础调查与问题识别基础上编制矿山生态修复方案，并与国土空间规划衔接。编制内容主要包括矿山基本情况、总体定位与目标、主要任务与工作部署、工程措施、跟踪监测与成效评估、投资估算、保障措施等。

6.1.2 修复方案编制提纲应符合 TD/T ××××.1 中 6 及其附录 A 规定。

6.2 矿山基本情况

6.2.1 矿山概况应突出开采工艺、闭矿或废弃时间、地壳表层基岩、成矿母岩、风化壳、包气带、土壤类型、化学成分、有机质含量、颗粒级配、水土 pH 值、水土流失、水资源破坏、地下水文单元、土地损毁、土地利用规划、土地利用现状等。

6.2.2 生态问题分析应结合国土空间规划，突出开采工艺、生产区域、生物气候带、生态结构类型、生态功能定位、生态保护红线、生态敏感区域、生态修复方向等。

6.3 总体定位与目标

6.3.1 按照生态逻辑，贯彻山水林田湖草生命共同体理念，面向生态空间、农业空间和城镇空间，合理确定生态修复定位和修复方向，总体定位按照 TD/T ××××.1 中附录 B 规定执行。

6.3.2 稀土开采活动造成的地质安全隐患、水土流失、地形地貌景观影响和破坏、土地损毁和植被破坏等生态问题修复，应突出整体和系统修复、分区和分类修复、修复与利用并重、功能与产业融合，采取自然恢复、辅助再生、生态重建等措施，实现稀土矿山的地质环境安全和稳定、损毁土地修复和利用、生态系统恢复和提升等目标。

6.4 主要任务与工作部署

6.4.1 依据矿山生态修复总体定位和国土空间规划，结合地质安全、水土环境等场地条件，按生态空间、农业空间和城镇空间等不同区域，确定原地浸矿区、剥采区、堆积区、淤积区、开采影响区、工业场地等矿山场地的修复用途。

6.4.2 根据矿山所在位置和已确定的矿山场地修复用途，统筹考虑生态问题的严重程度、区域重要程度、现有技术经济条件等，确定采用自然修复、辅助再生、生态重建等修复方式。

6.4.3 根据生态修复方式，结合场地条件提出适宜的修复措施。对采用辅助再生、生态重建二类修复方式和矿山重大生态问题，应编制生态修复实施方案，明确修复方法、技术措施、技术要点等。

6.4.4 按照分区域、分阶段实施的原则，提出工程总体部署、工程措施和实施计划，测算工程量。

6.4.5 综合考虑本地经济发展水平和修复技术、投资规模等因素，分析评价生态修复技术可行性。

6.5 跟踪监测

明确监测的目的、范围、内容、方法，以及监测期限和监测频次等。重点监测修复后原地浸矿区、剥采区、堆积区的边坡稳定性，土壤肥力、水土流失、水土环境、地下含水层，植物种类、分布、成活率、覆盖度，动物种类、数量、分布等。

6.6 经费估算

根据矿山生态修复技术措施和测算工程量，估算所需经费，明确经费筹措渠道。包括估算编制依据、

原则、方法、过程、结果等。

6.7 保障措施

制定矿山生态修复工作实施的组织管理、技术、资金、质量控制、后期管护等保障措施。

7 生态修复方案实施

7.1 工程实施

稀土矿山生态修复的工程设计、工程施工、施工准备、施工组织、工程监理等按照TD/T ××××.1 中7.1.1~7.1.5规定执行。

7.2 技术措施

7.2.1 自然恢复

7.2.1.1 自然恢复措施除应符合 TD/T ××××.1 中 7.2.1 规定外，还应符合 7.2.1.2、7.2.1.3 要求。

7.2.1.2 采取封闭修复场地、拆除废弃设施等措施，依赖场地和周边生态系统的自我恢复愈合能力，促进植被再生和生物种群恢复，逐渐恢复矿山生态系统。

7.2.1.3 下列区域的生态修复可采取自然恢复措施：

- a) 矿山主要生态问题严重程度等级划分为Ⅲ级的场地。
- b) 原地浸矿区的植被覆盖率 $\geq 85\%$ ，或剥采区、堆积区、淤积区等裸露面积 $\leq 0.1\text{hm}^2$ ，或剥采区的高陡边坡基岩坡度 $\geq 60^\circ$ 且高度 $\geq 30\text{m}$ 。

7.2.2 辅助再生

7.2.2.1 辅助再生措施除应符合 TD/T ××××.1 中 7.2.2 规定外，还应符合 7.2.2.2、7.2.2.3 要求。

7.2.2.2 基于修复场地现有地形地貌、表土层条件，首先拆除废弃设施，再采取人工辅助措施消除地质安全隐患、平整场地（挖高填低）、修筑截排水沟、土壤改良、补播补植、补土追肥等措施，修复矿山生态系统。

7.2.2.3 下列区域的生态修复可采取辅助再生措施：

- a) 矿山主要生态问题严重程度等级划分为Ⅱ级的场地。
- b) 原地浸矿区的植被覆盖率 $< 85\%$ ，或剥采区、堆积区、淤积区等裸露面积 $0.1\sim 0.2\text{hm}^2$ 。

7.2.3 生态重建

7.2.3.1 生态重建措施除应符合 TD/T ××××.1 中 7.2.3 规定外，还应符合 7.2.3.2~7.2.3.7 要求。

7.2.3.2 对标参照生态系统，采取工程措施重建矿山生态系统。首先拆除废弃设施，再采取工程措施消除地质安全隐患，并进行地貌重塑、土壤重构、植被重建。各措施应相互衔接、配合使用。

7.2.3.3 消除地质安全隐患

7.2.3.3.1 稀土矿山原地浸矿区、剥采区、堆积区、淤积区的地质安全隐患主要为不稳定边坡。

7.2.3.3.2 地质安全隐患治理应遵循因地制宜、先简后繁、安全经济的原则，根据工程地质和水文地质条件、类型、特征、稳定性、影响因素、保护对象等进行综合治理。

7.2.3.3.3 防治工程的选用条件、安全等级、荷载强度及稳定性评价等选用的技术标准应满足 GB 50330 要求，施工工程质量应满足 GB/T 38509 要求。

7.2.3.3.4 地质安全隐患治理可选择削坡减载、反压/压脚、支（拦）挡、注收液井（巷）封堵等措施。

- a) 削坡减载包括后缘减载、表层减载或隐患体（不稳定岩土体）清除，降低坡度及设置马道等。
- b) 回填压脚即在坡脚堆填材料进行反压，材料可采用矿山削坡岩土、砂质粘土等，应分层碾压，层厚 $30\sim 50\text{cm}$ ，距表层 80cm 以内填料压实度 $\geq 93\%$ ，距表层 80cm 以上填料压实度 $> 90\%$ 。每隔 1m 宜设置 $10\sim 20\text{cm}$ 透水层，透水层可用土工布、砂砾、碎石、卵石等组成。

- c) 支（拦）挡工程主要对剥采区、原地浸矿区坡面采用锚固，对坡脚采用挡土墙、抗滑桩、锚拉桩等，堆积区及淤积区坡脚宜设置挡土墙或护脚墙。
- d) 原地浸矿区的注液井（孔）应回填，收液巷应封堵，封堵厚度 $\geq 1.5\text{m}$ ，并设置泄水孔。

7.2.3.4 地貌重塑

7.2.3.4.1 地貌重塑对象主要包括剥采区、堆积区、淤积区，重塑措施主要有边坡治理、水土保持、截排水工程。重塑后的地貌应达到稳定状态，并与周围自然景观相协调，与当地降水条件、土壤类型和植被覆盖相和谐。

7.2.3.4.2 剥采区、堆积区边坡的治理措施主要有削方（坡）、加固、护坡等工程。

- a) 削方工程：总体实现挖高填低、挖填平衡，且剥采区边坡角不宜超过 60° 、台阶高度不宜超过 8m ，堆积区边坡角不宜超过 45° 、台阶高度不宜超过 6m 。
- b) 加固工程：剥采区边坡可采用锚杆、格构等措施；堆积区边坡可采用放坡结合坡脚支挡等措施；淤积区应采用拦砂坝、篱笆桩等拦蓄措施。边坡加固应满足 GB 50330 要求。
- c) 护坡工程：剥采区可采用格构、砌石、植被等护坡措施；堆积区宜采用植被护坡措施。护坡工程应满足 GB 50330 要求。

7.2.3.4.3 剥采区、堆积区、淤积区通过截排水沟、地貌重塑、植被重建等措施，对地表径流进行疏导，控制矿山水土流失。水土保持应满足 GB 50433 要求，坡耕地治理应满足 GB/T 16453.1 要求，荒地治理应满足 GB/T 16453.2 要求，沟壑治理应满足 GB/T 16453.3 要求。

7.2.3.4.4 剥采区、堆积区、淤积区应充分利用自然沟谷修筑截排水系统；凹坑场地的水面应设置防洪排水系统；治理恢复为农林草地、建设用地、蓄水养殖的场地也应设置排水系统。剥采区的截排水系统可采用现浇、浆砌、预制等结构，堆积区宜采用现浇结构，淤积区宜采用现浇结构或生态水沟。截排水沟断面应根据地表水汇流量和地下水涌水量，参照 JTG/T D33 设计。

7.2.3.5 土壤重构

7.2.3.5.1 矿山土地修复应全局考虑，结合国土空间规划，综合分析区域地理气候、人文乡俗等特点及经济发展情况，进行科学合理的分类和规划设计及可持续利用，实现生态效益与经济效益双赢，提高恢复治理与开发利用的可行性与整体性。

7.2.3.5.2 稀土矿山土地修复应有效控制水土流失，改善或恢复土地利用功能，优先修复为耕地。

7.2.3.5.3 在地貌重塑基础上，依靠本地的岩土条件、气候条件，充分利用采矿剥离的表土和尾砂（渣）等固废，通过表土覆盖、土壤改良、生物修复等措施，重构土壤剖面结构与土壤肥力条件，参照 TD/T 1012 执行。

- a) 表土覆盖。无表土的剥采区宜采用客土法进行表土覆盖；有表土的堆积区、淤积区宜采用土层翻转、泥入砂等措施重构土壤结构剖面，无法重构的应进行客土覆盖；工业场地应首先清除地面建（构）筑物及其他设施，再进行客土覆盖。有效表土厚度应满足 TD/T 1036 要求。
- b) 土壤改良。离子型稀土矿开采因大量使用浸矿剂导致土壤酸性增加、有机质含量和肥力下降时，应进行土壤改良，提高土壤 pH 值，增加土壤有机质含量和肥力，构建有效土层，满足植物群落生境条件，土壤改良方法可按 TD/T $\times\times\times\times.1$ 中附录 E 选用。
- c) 生物修复。堆积区、淤积区因土壤板结和酸化严重，土壤（微）生物几乎灭失，可引入蚯蚓、菌类、菇类等腐生生物进行生物修复，改善土壤活力。

7.2.3.5.4 土壤重构应根据场地修复用途并满足 TD/T 1036 要求，复垦为农用地的还应符合 GB 15618 要求，复垦为建设用地的还应符合 GB 36600 要求。

7.2.3.5.5 土地修复配套设施的灌溉与排水应满足 GB 50288 要求、道路应满足 JTG B01 要求，并符合当地工程建设标准。

7.2.3.6 植被重建

7.2.3.6.1 结合治理区实际情况确定乔、灌、草物种，优先选择耐酸性强、抗病虫害、成活率高的乡土或先锋物种，适地植物物种可按照 TD/T $\times\times\times\times.1$ 中附录 D 选用。

7.2.3.6.2 植被重建工程设计宜乔、灌、草套种及多草种混播，兼顾生物多样性及矿山恢复后的生态效益和经济效益。

7.2.3.6.3 小于 25° 边坡可选用撒播或喷播植草复绿； $25^\circ\sim 60^\circ$ 边坡宜选用喷播植草复绿；大于 60°

边坡应在安全稳定前提下，采用自然恢复或选用爬藤类植物、穴（槽）栽灌草、生态基材等措施或坡脚种植乔木遮挡边坡。

7.2.3.6.4 土质边坡植被重建应设置防冲刷措施，避免水土流失；坡面植草宜选用生态毯、挂网（三维网）等措施。

7.2.3.6.5 对常规绿化方法无法实现植被重建的特殊区域，可选用（锚杆）格构防护绿化、土工格室绿化、植生袋绿化、原生植物移植等特殊方法。

7.2.3.6.6 植被重建工程结束三个月后，苗木成活率不低于 70%、草地覆盖率不低于 80%；一年后苗木成活率不低于 85%、草地覆盖率不低于 90%。

7.2.3.7 下列区域的生态修复可采取生态重建措施：

- a) 矿山主要生态问题严重程度等级划分为 I 级的场地。
- b) 剥采区、堆积区、淤积区等裸露面积 $\geq 0.2\text{hm}^2$ ，或工业场地则须生态重建。

8 生态修复监测与管护

8.1 跟踪监测

8.1.1 生态修复跟踪监测除应符合 TD/T ××××.1 中 8.1 规定外，还应符合 8.1.2、8.1.3、8.1.4 要求，监测方法与仪器参考附录 D。

8.1.2 变形监测。应对治理后的边坡及构筑物的稳定性、变形量等进行动态监测，并提交监测报告。有条件的可实施在线监测，整体坡度 $\geq 45^\circ$ 应实施在线监测。

8.1.3 水土流失监测。应对治理后的植被群落、水土流失治理度、土壤侵蚀强度进行动态监测，并提供监测报告。

8.1.4 水土环境监测。应对治理后的水土环境进行动态监测，并提交监测报告。有条件的可实施在线监测。

8.2 后期管护

按照 TD/T ××××.1 中 8.2 规定执行。

9 生态修复成效评估

9.1 生态修复成效评估除应符合 TD/T ××××.1 中 9 规定外，还应符合 9.2、9.3 要求。

9.2 池（堆）浸开采工艺的剥采区、堆积区、淤积区等应突出以下生态效益评估：

- a) 消除地质安全隐患后的地质安全与稳定性。
- b) 地貌重塑后的水土保持（水土流失）情况。
- c) 修复后的水质改善、土壤质量改善、土地功能恢复。
- d) 修复后的植被类型、分布、成活率、覆盖度的变化。

9.3 原地浸矿开采工艺的注液区、开采影响区等应突出以下生态效益评估：

- a) 修复后的土壤质量（有机质、微生物）改善，土地功能恢复。
- b) 修复后的植被类型、分布、成活率、覆盖度的变化。
- c) 修复后的地下水水质改善、地下水文单元、水源涵养等。

10 生态修复信息管理

10.1 信息管理的主要内容和要求除应符合 TD/T ××××.1 中 10 规定外，还应符合 10.2 要求。

10.2 应加强以下信息资料（报告、图纸、影像等）的分类归档与保存：

- a) 矿山概况、开采回采率、注（收）液量、截止品位、生态损害等原始资料。
- b) 生态修复背景、修复过程的监测检测及特殊情况记录等过程资料。
- c) 生态修复工程勘查、设计、施工、监理、监测、验收等成果资料。

附录 A
(资料性)

矿山生态问题严重程度分级指标

表A.1 给出了确定矿山生态问题（地质安全隐患、地形地貌景观影响和破坏、土地损毁、水资源破坏、水土流失、生态退化）严重程度分级的参考标准。

表 A.1 矿山生态问题严重程度分级表

影响程度分级 (对应级别)	地质安全隐患	地形地貌景观影响和破坏程度	土地损毁程度	水资源破坏程度	水土流失程度	生态退化程度
严重 (I级)	地质安全隐患规模大，发生的可能性大；影响到城市、乡镇、重要行政村、重要工程设施及各类保护区安全；造成或可能造成直接经济损失大于 500 万元	对原生地形地貌景观影响和破坏程度大	破坏基本农田；破坏耕地 $>2\text{ hm}^2$ ；破坏林地或草地 $>4\text{ hm}^2$ ；破坏荒地或未开发利用土地 $>20\text{ hm}^2$	涵养水源能力下降严重；不同含水层（组）串通水质恶化；影响周围集中水源地供水，矿区及周围生产生活供水困难	面蚀（片蚀）分级为强烈、极强烈、剧烈；沟蚀分级强烈、极强烈、剧烈	生态基质破坏严重；退化的群落能依靠自身调节能力恢复，恢复时间 >5 年
较严重 (II级)	地质安全隐患规模中等，发生的可能性大；影响到村庄、居民聚居区、一般交通线和较重要工程设施安全；造成或可能造成直接经济损失 100~500 万元	对原生地形地貌景观影响和破坏程度较大	破坏耕地 $\leq 2\text{ hm}^2$ ；破坏林地或草地 $2\sim 4\text{ hm}^2$ ；破坏荒地或未开发利用土地 $10\sim 20\text{ hm}^2$	涵养水源能力下降较严重；影响矿区及周围部分生产生活供水	面蚀（片蚀）分级为中度；沟蚀分级中度	生态基质破坏较严重；退化的群落基本能依靠自身调节能力恢复，恢复时间 $3\sim 5$ 年
较轻 (III级)	地质安全隐患规模小，发生的可能性小；影响到分散性居民、一般性小规模建筑及设施造成或可能造成直接经济损失小于 100 万元	对原生的地形地貌景观影响和破坏程度小	破坏林地或草地 $\leq 2\text{ hm}^2$ ；破坏荒地或未开发利用土地 $\leq 10\text{ hm}^2$	涵养水源能力下降小；未影响到矿区及周围生产生活供水	面蚀（片蚀）分级为轻度；沟蚀分级轻度	生态基质破坏较轻；退化的群落能依靠自身调节能力恢复，恢复时间 ≤ 3 年

附 录 B
(资料性)
水土流失(土壤侵蚀)强度分级指标

表B.1、表B.2 给出了确定水土流失(土壤侵蚀)强度分级的参考标准。

表 B.1 土壤侵蚀强度面蚀(片蚀)分级表

地类		地类坡度(°)				
		5~8	8~15	15~25	25~35	>35
非耕地林 草盖度 (%)	60~75	轻度	轻度	轻度	中度	中度
	45~60	轻度	轻度	中度	中度	强烈
	30~45	轻度	中度	中度	强烈	极强烈
	<30	中度	中度	强烈	极强烈	剧烈
坡耕地		轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈

表 B.2 土壤侵蚀强度沟蚀分级表

沟谷占坡面面积比(%)	<10	10~25	25~35	35~50	>50
沟壑密度(km/km ²)	1~2	2~3	3~5	5~7	>7
强度分级	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈

附 录 C
(资料性)
矿山区域重要程度分级指标

表C.1 给出了识别矿山区域重要程度分级的参考标准。

表 C.1 矿山区域重要程度分级表

区域重要程度 (对应级别)	居住区人数	工程设施等级	距保护区或旅游景区 (点) 距离
重要 (I 级)	分布有 500 人以上的居民集中居住区	分布有高速公路、一级公路、铁路、中型以上水利、电力工程或其他重要建筑设施	矿区紧邻国家级自然保护区(含地质公园、风景名胜区等)或重要旅游景区(点)
较重要 (II 级)	分布有 200~500 人的居民集中居住区	分布有二级公路、小型水利、电力工程居民点及工矿用地、道路用地或其他较重要建筑设施	紧邻省级、县级自然保护区或较重要旅游景区(点)
一般 (III 级)	居民居住分散, 集中居住区人口在 200 人以下	无重要交通要道或建筑设施	远离各级自然保护区及旅游景区(点)

附 录 D
(资料性)
矿山生态修复成效监测参考方法与仪器

表D.1给出了矿山生态修复成效监测的参考方法和适用仪器。

表 D.1 矿山生态修复成效监测参考方法与仪器

监测内容		监测方法	监测仪器
地质安全性	边坡稳定性	土压力测量法	土压力计等
		现场测试法	岩土含水率测定仪等
		采样送检测试法	岩土体含水率分析仪等
		振弦测量法	振弦式渗压计等
		光纤测量法	光纤渗压计等
		降雨量测量法	雨量自动监测设备等
		水准测量法	水准仪、全站仪等
		卫星定位法	GPS、BDS 定位系统等
	自动监测法	在线监测探头和软件系统	
	水土流失	现场调查法	现场查验、记录等
遥感监测法		遥感卫星或无人机等	
自动监测法		在线监测探头和软件系统	
水环境	地表/地下水水质	现场测试法	便携式水质测量仪等
		采样送检测试法	采样器、水样容器等
		自动监测法	在线监测探头和软件系统
土壤环境	土壤理化性质	现场测量法	便携式土壤检测仪、土壤水分仪、土壤电导率及盐分一体测试仪、pH 测量仪等
		采样送检测试法	采样器、样品袋等
	土壤肥力	综合判断法	土壤成分检测仪
	土壤分布	遥感监测法	遥感卫星或无人机等
植被群落	植被覆盖度	遥感监测法	遥感卫星或无人机等
	植被成活率	现场调查法	现场查验、记录等
	植被构成	现场调查法	现场查验、记录等
		遥感监测法	遥感卫星或无人机等
动物种群	种群类型、数量	直观监测法	拍摄照片、纸质或电子记录等
		鸣声监测法	纸质或电子记录等
		踪迹监测法	拍摄照片、采集样本等
		自动监测法	红外摄像机

参 考 文 献

- [1] GB 3838-2002 地表水环境质量标准
- [2] GB/T 14848-2017 地下水质量标准
- [3] GB/T 15676-2015 稀土术语
- [4] GB/T 21010-2007 土地利用现状分类
- [5] GB 26451-2011 稀土工业污染物排放标准
- [6] GB/T 40112-2021 地质灾害危险性评估规范
- [7] DZ/T 0133-1994 地下水动态监测规程
- [8] DZ/T 0223-2011 矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范
- [9] DZ/T 0287-2015 矿山地质环境监测技术规程
- [10] HJ 19-2011 环境影响评价技术导则 生态影响
- [11] HJ 2.3-2018 环境影响评价技术导则 地表水环境
- [12] HJ 610-2016 环境影响评价技术导则 地下水环境
- [13] HJ 623-2011 区域生物多样性评价标准
- [14] HJ 651-2013 矿山生态环境保护与恢复治理技术规范（试行）
- [15] HJ 964-2018 环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）
- [16] HJ/T 91-2002 地表水和污水监测技术规范
- [17] HJ/T 166-2004 土壤环境监测技术规范
- [18] SL 551-2012 土石坝安全监测技术规范
- [19] DB 36 1016-2018 离子型稀土矿山开采水污染物排放标准
- [20] DD 2014-05 矿山地质环境调查评价规范
- [21] DD 2014-06 污染场地土壤和地下水调查与风险评价规范
- [22] DD 2019-07 环境地质调查技术要求
- [23] 自然资源部办公厅 财政部办公厅 生态环境部办公厅. 关于印发《山水林田湖草生态保护修复工程指南（试行）》的通知(自然资办发〔2020〕38号). 2020年8月
- [24] 自然资源部办公厅. 关于印发《国土空间调查、规范、用途管制用地用海分类指南（试行）》的通知(自然资办发〔2020〕51号). 2020年11月
-