

中华人民共和国土地管理行业标准

TD/T ××××—2023

矿山生态修复技术规范 第3部分：金属矿山

Technical specifications for ecological restoration of mines—Part 3: Metal mines

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前 言 I

引 言 II

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 2

 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 一般规定 5

 6.2 矿山基本情况 5

 6.3 总体定位与目标 6

 6.4 主要任务与工作部署 6

 6.5 跟踪监测 6

 6.6 经费估算 6

 6.7 保障措施 6

7 生态修复方案实施 7

 7.1 工程实施 7

 7.2 技术措施 7

8 生态修复监测与管护 11

 8.1 跟踪监测 11

 8.2 后期管护 12

9 生态修复成效评估 12

10 生态修复信息管理 13

附录 A（资料性）金属矿山生态问题严重程度分级指标 15

附录 B（资料性）金属矿山场地生态重建工程措施 16

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 1070《矿山生态修复技术规范》第3部分。TD/T 1070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：中国地质大学（武汉）、中国地质环境监测院、中国自然资源经济研究院、中国地质大学（北京）、中国地质调查局西安地质调查中心、矿冶科技集团有限公司、中南大学。

本文件主要起草人：周建伟、张进德、石菊松、周爱国、余振国、白中科、徐友宁、周连碧、薛生国、张德强、王兴杰、白雪华、白光宇、余洋、冯海波、苏丹辉、贾晓岑、郑晓明、董子超。

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 1070《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 1070《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3部分：金属矿山

1 范围

本文件规定了金属矿山生态修复的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、成效评估和信息管理等内容。

本文件适用于黑色金属和有色金属矿产资源开发活动结束后的矿山生态修复等技术工作，金属矿产资源开发过程中开展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，标注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不标注日期的引用文件，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 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 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 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
- AQ/T 2063 金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范
- 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
- HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
- 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
- LY/T 2356 矿山废弃地植被恢复技术规程
- TD/T 1031.4 土地复垦方案编制规程 第4部分：金属矿
- TD/T 1036 土地复垦质量控制标准
- TD/T 1070.1 矿山生态修复技术规范 第1部分：通则
- TD/T 1070.6 矿山生态修复技术规范 第6部分：稀土矿山

3 术语和定义

TD/T 1070.1《矿山生态修复技术规范 第1部分：通则》界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

露天采场 open pit

将矿藏的上覆岩土剥离后直接开采矿物的采矿场地。

[来源：TD/T 1031.4, 3.2, 有修改]

3.2

废石堆场 waste dump

矿山采矿过程中废弃物（多为剥离土和废石）集中堆放的场地。

[来源：TD/T 1031.4, 3.4, 有修改]

3.3

堆浸场 heap leaching site

采用溶液滴淋、喷淋筑堆矿物的堆浸工艺提取低品位金属的场地。

[来源：TD/T 1031.4, 3.8]

4 基本原则与总体要求

4.1 基本原则

4.1.1 除遵循TD/T 1070.1中4.1的原则外，还遵循本文件4.1.2-4.1.4的原则。

4.1.2 消除地质环境破坏，保障场地安全。金属矿山生态修复应以消除地质环境破坏为前提，对矿区危岩体、稳定边坡、地面变形、地面塌陷及地裂缝等进行综合治理，保障场地安全。

4.1.3 恢复水土环境，确定分类目标。优先考虑场地土地损毁与水资源破坏等引起的生态问题，在水土调查与分类识别的基础上评估其对植被生长的影响，针对不同类型和不同场地，合理确定生态修复方向，分类治理，达到土地利用的质量要求。

4.1.4 兼顾区域生态系统，实现综合治理。统筹兼顾区域生态系统结构和功能的复杂性、多样性和地域性，结合区域规划与发展，系统设计，综合治理，逐步修复受损生态系统功能。

4.2 总体要求

4.2.1 除应符合TD/T 1070.1中4.2要求外，还应符合本文件4.2.2-4.2.5要求。

4.2.2 金属矿山生态修复应在地质环境破坏、地貌景观破坏、土地损毁、水资源破坏、植被破坏等调查的基础上，重点对其造成的生态退化问题开展调查。

4.2.3 金属矿山生态修复应以整个生态系统修复为导向，充分发挥生态系统的自我恢复能力，结合必要的人工修复措施。

4.2.4 金属矿山生态修复应在满足水土环境质量相关标准规范的基础上开展生态修复工作，在土地复垦时确保水土环境质量达到植物生长和生态修复要求。

4.2.5 通过金属矿山生态修复，总体达到消除地质环境破坏、改善水土环境质量、增加植被覆盖及多样性和提升区域环境景观效果，最终建成一个可自我更新、健康、稳定的恢复生态系统。

4.3 工作流程

应符合 TD/T 1070.1 中 4.3 的要求。

5 基础调查与问题识别

5.1 基础调查

5.1.1 调查范围

以矿权范围为主,适当扩大到周边影响区域及参照生态系统范围,主要包括露天采场、井工开采区、废石堆场、堆浸场、工业场地等各类矿山场地及矿区附近生态敏感目标。

5.1.2 调查内容

5.1.2.1 调查内容主要包括自然生态状况、矿山概况、矿山生态问题,对于生态影响严重的水土流失、水土环境质量等重大问题宜开展专项调查。

5.1.2.2 调查内容除应符合 TD/T 1070.1 中 5.1.2 要求外,还应符合本文件 5.1.2.3-5.1.2.4。

5.1.2.3 金属矿山生态问题调查主要针对地质环境破坏、水资源破坏、土地损毁、生态退化等问题进行调查,具体内容如下:

- a) 地质环境破坏调查。主要针对不稳定边坡/地面塌陷/地面变形/地裂缝的类型、规模、位置、影响范围、成因、可能致灾的范围和威胁对象;地层岩性与岩土体结构特征;降雨/冻融/地震/地下采空等诱发因素等进行调查。
- b) 水资源破坏调查。主要针对露天采场/废石堆场/堆浸场/工业场地等造成的地表水和地下水受影响范围、影响程度、水位、水质、水量变化;含水层破坏类型、层位、范围、规模、程度;矿坑水去向与再利用量等进行调查。
- c) 土地损毁调查。主要针对露天采场/废石堆场/堆浸场/工业场地以及地面变形区域等土地占用、挖损、破坏、变形、塌陷、积水、环境质量下降等情况;以及采矿活动对主要交通干线/水利工程/村庄及其他各类建(构)筑物的影响与破坏情况;破坏与占用土地类型、面积等进行调查。
- d) 生态退化调查。主要针对遭受破坏的土壤基质层/地表植被的空间分布、面积、退化程度,以及由此造成生态系统多样性降低、功能受损、动物栖息地破坏、景观破坏等情况进行调查。
- e) 调查地质环境破坏、水资源破坏、土地损毁、生态退化等生态问题已采取的修复措施以及修复效果。

5.1.2.4 重大问题专项调查主要针对水土流失、水土环境及生态破坏等问题进行调查。具体调查内容如下:

- a) 矿业活动引起的水土流失调查。重点调查矿山开采活动影响下因植被退化、固土能力降低而导致的水土流失和废石、渣堆等固体废物堆置场所的水土流失问题。
- b) 矿业活动引起的水土环境问题调查,重点对堆浸场、选矿场、尾矿库、非正规堆场等区域及矿产活动可能影响的下游与周边区域开展水土环境质量状况调查。

- c) 矿业活动引起的生态破坏调查，重点对因矿业活动造成的农田、牧场、森林、河道、湖泊、湿地功能退化造成的生态系统结构破坏和功能受损情况进行专项调查。必要时，开展濒危动植物生物群落影响破坏调查。

5.1.3 调查方法

调查方法除应符合TD/T 1070.1中5.1.3的要求外，还应强化遥感解译、无人机测绘等，符合本文件5.1.3.1-5.1.3.3要求。

5.1.3.1 遥感解译

重点应包括采矿场、废石堆场、堆浸场、工业场地等以及参照生态系统范围内的地形地貌、植被状况；地质环境破坏、土地损毁、生态退化等生态问题的识别。遥感数据源应包含矿山开采前、开采阶段、闭矿后以及最新的卫星或航空遥感影像数据；分辨率不低于 2.0m，且选择植物生长季节遥感数据，便于植被状况与土地损毁的解译识别。

5.1.3.2 无人机航测

应用无人机重点对采矿场、废石堆场、堆浸场、工业场地等场地内地质环境破坏、景观破坏、土地损毁、生态退化等生态问题进行识别；完成地形测绘、精细调查以及后续设计、施工与管护过程中的测绘工作。

5.1.3.3 专项调查

针对水土流失、水土环境等重大专项问题，应参照 GB/T 51040、GB/T 51297、GB 12719 等开展详细的专项调查。

5.2 问题识别

5.2.1 建立金属矿山生态修复参照生态系统

依据矿区所在区域生态功能分区，结合矿区生态修复方向与规模，选择开采破坏前的生态系统或附近具有相似结构及功能的未受损生态系统作为参照生态系统。

5.2.2 露天采场生态问题识别与影响分析

依据调查监测资料，与参照生态系统对比，分析露天采场地质环境破坏问题类型、危害程度、发展趋势，水资源破坏类型、方式、范围、程度，土地损毁类型、规模、程度，生态退化类型、范围等情况，以及其对生态系统功能的影响。

5.2.3 井工开采区生态问题识别与影响分析

依据调查监测资料与遥感识别，与参照生态系统对比，分析地面变形、地面塌陷以及地裂缝的分布、规模、特征等情况及发展趋势，以及其对土地资源、地表植被生境、农田、道路、建筑物、水利设施、河流水系等的影响程度；分析矿坑涌水与地下水含水层破坏范围、程度。

5.2.4 废石与矿渣等固体废物堆置场所生态问题识别与影响分析

依据调查监测资料与遥感识别，结合废石与矿渣等固体废物堆置场所储量、面积、高度、处理处置途径、场地防渗措施等情况，分析其地质环境破坏问题类型、危害程度、发展趋势，水资源破坏类型、

方式、范围、程度，土地损毁类型、规模、程度，生态退化类型、范围等情况，以及其对生态系统功能的影响。

5.2.5 堆浸场生态问题识别与影响分析

依据调查监测资料，结合堆浸工艺、处理处置途径、底部与边坡防渗等情况，分析堆浸场地质环境破坏问题类型、危害程度、发展趋势，水资源破坏类型、方式、范围、程度，土地损毁类型、规模、程度，生态退化类型、范围等情况，以及其对生态系统功能的影响。

5.2.6 工业场地生态问题识别与影响分析

依据调查监测资料与遥感识别，对矿区工业场地遗留危旧厂房与设备、遗留炸药与危险化学品、生活污染源等位置、面积等进行识别。

5.2.7 生态问题分级

5.2.7.1 依据场地生态问题的规模、影响程度等，将金属矿山主要生态问题的严重程度划分为三个等级：

- a) I级：场地存在重大地质环境破坏问题，地质条件不稳定，或存在严重的水土污染问题，土地损毁与水资源破坏问题严重，植被覆盖度、植物群落结构与长势受到严重影响，生态系统结构与功能退化严重。
- b) II级：场地中等级别地质环境破坏问题发生可能性较大，地质稳定性较差，或局部存在水土污染问题，存在一定程度的土地损毁与水资源破坏，局部存在植被覆盖度、植物群落结构与长势受损问题。原有生态系统结构和功能受扰动和影响较大。
- c) III级：场地地质稳定性良好，地质环境破坏问题发生的可能性较小，不存在水土污染等问题，地表仅存在少量土地损毁或水资源破坏，仅局部存在植被覆盖度、植物群落结构与长势受损问题。原有生态系统结构受扰动和影响较小，生态功能完好。

5.2.7.2 地质环境破坏、水资源破坏、土地损毁、生态退化等指标等级划分参照 DZ/T 0223（附录 E）及 TD/T 1070.6（附录 A），详见附录 A。

5.3 成果资料

主要包括调查收集的相关材料与图件、数据表、测试分析数据、调查照片、音频视频、实际材料图、生态问题图等。

6 生态修复方案编制

6.1 一般规定

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、跟踪监测、投资估算与保障措施。编制提纲应符合 TD/T 1070.1 中 6 的要求。

6.2 矿山基本情况

6.2.1 矿山概况

主要阐述矿山的地理位置、自然生态条件、地质环境条件、交通状况、开采矿种、矿区范围、开采方式、开采层位、开采规模、开采历史等；对于废石堆场、堆浸场等应说明堆存工艺、底部与边坡防渗工艺、堆场设计参数及储量等。

6.2.2 矿山生态问题

主要阐述金属矿山开采造成的地质环境破坏、土地损毁、水资源破坏和生态退化等问题分布、规模和特征，识别矿山生态问题的严重程度和危害，划分矿山场地生态问题严重程度等级。

6.3 总体定位与目标

6.3.1 金属矿山生态修复总体定位

根据国土空间规划确定的生态空间、农业空间、城镇空间布局，结合矿区不同类型修复场地修复定位、矿山用地规划、开发利用方式和土地用途等综合确定。具体参见 TD/T 1070.1 附录 B。

6.3.2 金属矿山生态修复总体目标

主要从消除地质环境破坏问题、损毁土地重新利用、修复水资源水环境、改善生态环境质量、提升生态系统功能等方面，定性或定量给出约束性和引导性指标。

6.4 主要任务与工作部署

6.4.1 依据金属矿山生态修复总体定位和国土空间规划，结合矿区自然和地质条件，确定露天采场、地面变形与塌陷区、废石堆场、堆浸场等矿山场地的修复方向，划定生态修复单元。

6.4.2 根据不同修复单元的修复方向，统筹生态问题严重程度识别结果与修复经济技术条件等，确定矿山生态修复方式。

6.4.3 根据矿山场地的生态修复方式，结合场地条件提出适宜的修复措施，制定工程总体部署和分年度实施计划，并分析生态修复技术经济可行性。对于重大生态问题，应单独给出生态修复专项工程技术方案，明确工程措施。

6.5 跟踪监测

明确金属矿山生态修复监测的目的、范围、内容、方法，以及监测期限和监测频次等。重点监测生态修复后采场、废石堆场边坡稳定性及地表变形，水资源破坏、水土环境质量，植物种类、密度、成活率、覆盖度等。

6.6 经费估算

根据金属矿山各场地生态修复技术措施和部署工程量，测算所需经费，明确经费筹措渠道。

6.7 保障措施

制定保障矿山生态修复工作顺利实施的组织管理、技术保障、资金保障、后期管护等措施。

7 生态修复方案实施

7.1 工程实施

金属矿山生态修复工程设计、工程施工、施工监理技术要求与流程按照 TD/T 1070.1 规定的执行。

7.2 技术措施

7.2.1 自然恢复措施

7.2.1.1 自然恢复措施除应符合 TD/T 1070.1 中 7.2.1 外，还应符合本文件 7.2.1.2 和 7.2.1.3 要求。

7.2.1.2 矿山生态问题严重程度等级划分为Ⅲ级的场地可采取自然恢复措施。

7.2.1.3 通过封闭修复场地、拆除废弃设施、设置标识牌等措施，依靠生态系统的自组织能力，逐渐恢复系统的结构和功能。

7.2.2 辅助再生措施

7.2.2.1 辅助再生措施除应符合 TD/T 1070.1 中 7.2.2 外，还应符合本文件 7.2.2.2 和 7.2.2.3 要求。

7.2.2.2 针对场地存在的生态问题，采取人工辅助措施修整坡面、平整场地、含水层结构修复、修筑截排水沟、改良土壤、补播补植，修复生态系统的结构和功能。

7.2.2.3 矿山生态问题严重程度等级划分为Ⅱ级的场地可采取辅助再生措施。

7.2.3 生态重建措施

生态重建措施除应符合 TD/T 1070.1 中 7.2.3 规定外，还应符合本文件 7.2.3.1-7.2.3.4 要求。

矿山生态问题严重程度等级划分为Ⅰ级的场地可对比参照生态系统，依据场地状况，主要依靠工程措施，首先消除安全隐患，并采取地貌重塑、土壤重构、植被重建等生态重建措施。

7.2.3.1 消除安全隐患

应首先消除地质环境破坏带来的安全隐患问题：主要包括不稳定边坡（高危/低危）、地面变形等。

7.2.3.1.1 不稳定边坡（高危）

不稳定边坡应以主动避让为先，对于无法避让且危及矿山设施及人员安全的不稳定边坡，需因地制宜，采取单一或多种措施综合治理，并设置监测措施。具体措施如下：

- a) 对矿山危岩体，采取爆破卸载、主被动网防护或实施支挡、锚固、灌浆、排水等工程措施消除安全隐患。
- b) 对矿山废弃渣堆不稳定边坡，采取清理、疏导、拦挡、固化等工程措施消除安全隐患。
- c) 对矿山其他不稳定边坡，采取坡体锚固、削坡放坡、垫脚堆坡、坡脚拦挡、疏导排水等工程措施消除安全隐患。

7.2.3.1.2 不稳定边坡（低危）

对于危险性小暂时不需要工程治理的不稳定边坡，应对不稳定斜坡的变形情况进行监测，监测技术按照 DZ/T0221 中 6.1.2 规定的执行，并设置围栏和警示牌。

7.2.3.1.3 地面变形

地面变形、地面塌陷和地裂缝治理宜在稳定后采取回填塌陷坑、土石填充并夯实、固结灌浆等工程

措施。地面塌陷未稳定前，应在采空区四周设置围栏及警示牌，防止人畜误入。

7.2.3.2 地貌重塑

根据矿山地貌破坏方式与损毁程度，结合矿山周边地貌特点，通过地形重塑、土地整治、重构截排水系统等措施重新塑造一个与周边地貌相协调的新地貌。

7.2.3.2.1 露天采场地貌重塑

露天采场地貌重塑的具体要求如下：

- a) 针对露天采场内的不同区块分别采用不同的工程形式。可选择削坡、放坡、续坡等方式满足边坡稳定性相关要求。平整后场地要满足生态修复方向场地的要求，符合 TD/T 1036 的规定。
- b) 部分浅采场用于农业时，地面坡度一般不超过 15°；用作林业、牧业时，坡度不超过 25°；排水设施满足场地要求，防洪满足当地标准。
- b) 对于深采场用于渔业时，水面积和深度适中，一般 0.3 公顷~0.7 公顷，深度 2.5m~3m 为宜；用作人工湖、公园、水域观赏区时，地面整形应与区域自然环境协调，有景观效果；水质符合 GB 3838 中Ⅳ、Ⅴ类水域标准，排水设施满足场地要求，防洪满足当地标准。
- d) 用于建筑用地时，地形应满足建筑物防洪要求，地形坡度值应参照当地同类岩土体稳定性坡度值确定。
- e) 用于废石或尾矿排放场地使用时，应在坑底与边坡采取防渗措施，以及截排水措施，满足国家一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准。

7.2.3.2.2 地面塌陷区地貌重塑

地面塌陷区地貌重塑的具体要求如下：

- a) 采用挖深垫浅、削高填低、物料回填、裂缝充填等工程措施进行充填整形。用矿山废石、废渣等一般工业固体废物属性的废弃物充填塌陷场地时，根据复垦场地用途，在充填后应适当碾压，压实程度依用途而定。充填料应参照国家有关环境标准，进行卫生安全土地填筑处置，防止填充物中有害成分影响地下水和土壤。视其填充物性质、种类，除采取压实等加固措施外，应作不同程度防渗、无害化处置，必要时，设衬垫隔离层。
- b) 塌陷区地貌重塑后用于农业、林业、牧业、以及建筑用地时，地形坡度、稳定性等应符合本文中 7.2.3.2.1 中 b)与 d)的要求。
- c) 塌陷区地貌重塑后用于渔业、人工湖、公园、水域观赏区时，水质符合 GB 3838 中Ⅳ、Ⅴ类水域标准；水深、水面积适宜；排水设施满足场地要求，防洪满足当地标准。

7.2.3.2.3 废石堆场地貌重塑

废石堆场地貌重塑的具体要求如下：

- a) 金属矿山废石堆场地貌重塑应与自然相协调，形成仿自然的地形地貌，对废石堆场平台进行人工、机械平整。
- b) 坡面可选择削坡、放坡、续坡等方式满足边坡稳定性相关要求，废石堆场总高度大于 10m 时，地貌重塑宜分台阶进行，台阶边坡坡度宜小于 1:1.5。
- c) 废石堆场地貌重塑后用于农业、林业、牧业、以及建筑用地时，地形坡度、稳定性等应符合本文中 7.2.3.2.1 中 b)与 d)的要求。同时考虑排水和边坡防护措施，防治坡面失稳和水土流失。

7.2.3.2.4 堆浸场地貌重塑

堆浸场地貌重塑的具体要求如下：

- a) 堆浸场地貌重塑根据地形地貌特点和位置分为边坡修复工程、平台修复工程和顶面修复工程。
- b) 对于边坡、台阶坡度较小的稳定堆浸场可不进行地貌重塑，对于不规整或存在滑坡风险堆浸场可参照废石堆场 a), b)与 c) 进行地貌重塑。

7.2.3.2.5 工业场地地貌重塑

工业场地地貌重塑的具体要求如下：

- a) 金属矿山废弃或不再留续使用的工业场地，包括办公、生活、生产、加工、污水处理区等，在无法进行综合利用时，构筑物应全部拆除。
- b) 工业场地土地整治包括建（构）筑物、废旧设备、硬化地面、生活垃圾及其他废料。
- c) 地下开采的金属矿山闭坑后，不再利用的井巷工程应封堵井口、平硐口，必要时充填井筒、平硐。
- d) 工业场地地貌重塑后用于农业、林业、牧业、以及建筑用地时，地形坡度、稳定性等应符合本文件中 7.2.3.2.1 中 b)与 d)的要求。

7.2.3.3 土壤重构

在矿山地貌重塑基础上，依靠本地的岩土条件、水热与温湿度条件等，充分利用采矿剥离的表土和采矿遗留的废石、废渣、尾矿等固体废物，通过培肥改良、土层置换、表土覆盖、土层翻转、化学改良、生物修复等措施，重构土壤剖面结构与土壤肥力条件。土壤重构措施参见附录 B。

7.2.3.3.1 露天采场土壤重构

具体要求如下：

- a) 针对露天采场平台，应充分利用开采剥离表土进行表土覆盖，当露天采场修复整治规划用作林地或草地时，可将岩土混合物覆盖于表层，只需在植树的坑内填入土壤或其他含肥物料；修复整治规划用作农地时，可将岩土混合物填充采坑底部。
- b) 针对露天采场坡面，可采取生态袋、生态格构或挂网喷播等技术方法护坡，喷播土壤基质、客土回填、表层覆土、施复合肥等方式进行坡面土壤重构。
- c) 露天采场生态修复为耕地、园地时，有效土层厚度可参考 TD/T1036 执行。

7.2.3.3.2 地面塌陷区土壤重构

具体要求如下：

- a) 矿区地面塌陷地修复前应进行表土剥离，固定堆放，堆存场地应防止放牧、机器和车辆进入，防止粉尘、防止水土流失，避免水蚀、风蚀和各种人为损毁。堆存期较长时，应在土堆上播种一年生或多年生的草类。
- b) 将剥离的表土用于地面塌陷区表土覆盖，整平松耙。
- c) 修复的土地应采取提前整地、熟化土壤、种植绿肥作物、施有机肥等措施进行培肥改良，也可利用矿区废弃物或剥离物作为改良物料。
- d) 地面塌陷区生态修复为耕地、园地、林地、草地时，有效土层厚度可参考 TD/T1036 执行。

7.2.3.3.3 废石堆场土壤重构

具体要求如下：

- a) 结合地貌重塑及覆土来源等情况，针对土质废石堆场平台，采取提前整地、熟化土壤、种植绿

肥、微生物培肥等措施改良土壤。针对石质砂质废石堆场平台，采取客土整地、种植绿肥或施有机肥、施用菌根制剂等改良基质。

- b) 在废石堆场地貌重塑的基础上，针对土质废石堆场边坡，宜采取种植绿肥、微生物培肥、施肥等改良基质；针对石质砂质废石堆场边坡，宜采取覆土，或掺细砂黏土、种植豆科植物、施有机肥等改良基质。
- c) 废石堆场生态修复为耕地、园地、林地、草地时，有效土层厚度可参考 TD/T1036 执行。

7.2.3.3.4 堆浸场土壤重构

具体要求如下：

- a) 堆浸场边坡松散碎石边坡稳定性差，存在滑坡风险，宜采用边坡稳定化技术和喷播覆土。
- b) 堆浸场顶面、平台土壤含量较低，宜采用带状覆土、穴状覆土；外部土源充足时可采用全面覆土。
- c) 堆浸场边坡、平台和顶面修复工程土壤改良参照废石堆场 a) 与 b)。
- d) 堆浸场生态修复为园地、林地、草地时，有效土层厚度可参考 TD/T1036 执行。

7.2.3.3.5 工业场地土壤重构

具体要求如下：

- a) 对于工业场地中存在局部有害影响的场地，在采取覆盖、置换等处置措施的基础上，宜采取整地覆土、施用有机肥、种植绿肥等改良基质。
- b) 对于工业场地不存在有害影响的场地，宜采取提前整地、土壤熟化、施用有机肥、种植绿肥等改良土壤后进行植被恢复。
- c) 工业场地生态修复为耕地、园地、林地、草地时，有效土层厚度可参考 TD/T1036 执行。

7.2.3.4 植被重建

在地貌重塑和土壤重构基础上，依据参照生态系统的生物种群特点，考虑矿山生态重建的植被适宜性、结构布局合理性和物种多样性，合理配置植物种群组成和结构，重建与周边生态系统相协调的生态系统，保障植物群落持续稳定。

7.2.3.4.1 植物选择

植物选择具体依据如下：

- a) 优先选择生长快、适应性强、耐瘠薄、成本低且易获得的本地物种。
- b) 植物习性与场地条件相适应。如在阳光充足的边坡，尽量选择喜阳、耐旱、适应性强的植物，在背光的边坡，选择喜阴喜湿的植物。
- c) 矿区平地宜先种植牧草或绿肥植物，改良土壤后，选择当地优良树种，辅以草本，具体可按照 LY/T 2356 中附录 D、附录 E 规定的执行。
- d) 边坡应选择根系发达、耐干旱、耐瘠薄、易成活的植物，具体可按照 LY/T 2356 中附录 D、附录 E 规定的执行。
- e) 必要时选择可吸收或超富集植物，或耐金属植物，具体可按照规范 LY/T 2356 附录 E 的规定执行。

7.2.3.4.2 植物配置模式

构建合理的植物配置模式的具体依据如下：

- a) 优先以适应性强的乡土先锋物种为基调，合理搭配，推进乔、灌、草、藤立体种植，建立相对稳定的复层立体结构的植物群落，防止群落退化，丰富生物多样性，增强生态系统稳定性，可参照 LY/T 2356 附录 C 表 C.1。
- b) 合理确定常绿与落叶苗木的搭配比例、苗木的种植密度。根据不同气候条件、场址条件，分别选用不同的植物品种和植物配置方式、栽植管护技术。
- c) 群落构成的设计应保证自然协调性。与自然相协调的植物群落应满足：植物群落构成符合生物学与生态学的自然特性；植物群落所具有的功能近似于自然；植被景观特色近似于自然。
- d) 矿区平地宜选择以生态效益为主，兼顾经济效益的植物，以乔木为主的乔灌草混交林，或恢复农田，具体可按照 LY/T 2356 中附录 D、附录 E 规定的执行。
- e) 矿区边坡植被配置应以控制边坡的土壤侵蚀，边坡稳定性为主，宜配置以灌木为主的乔灌草混交林，具体可按照 LY/T 2356 中附录 D、附录 E 规定的执行。
- f) 湿地植被配置应以水生植物和景观植物为重点，适度增加植物品种、完善植物群落，注重生态功能的完整性，并体现植物的视觉和景观效果。

7.2.3.4.3 景观配置

景观配置模式应考虑不同季节、不同角度的观赏性，选择观叶植物和花卉植物以及短期内能形成一定覆盖度的攀爬植物互相搭配；考虑景观协调、景观美化、水土保持、体现当地文化等功能。

8 生态修复监测与管护

8.1 跟踪监测

金属矿山生态修复监测要求及内容除按照 TD/T 1070.1 规定执行外，还应根据金属矿山特点加强相关监测，符合本文件 8.1.1-8.1.4 要求。

8.1.1 金属矿山地质稳定性监测

具体地质稳定性监测要求如下：

- a) 在矿区不稳定边坡、地面塌陷和地裂缝治理后，针对地质环境稳定性、治理工程实体以及防护设施等进行监测。
- b) 边坡稳定性、地面塌陷、地裂缝等的监测点布设、监测内容、监测频率、监测方法等按照 AQ/T 2063 第 5 章和 TD/T 1070.1 第 8 章规定的执行。

8.1.2 金属矿山水环境监测

具体水环境监测要求如下：

- a) 针对地表水体分布及影响区、矿山选冶废水排放点、地下水位降落漏斗区和受影响区等布设监测点，重点监测地表水、地下水水位和水质变化情况以及矿山水环境治理工程建设、完成情况。
- b) 地表水与矿山废水分布、面积、水质，地下水水位、流速、水量及水质等的监测点布设、监测项目、监测频率、监测方法等按照 HJ/T 91 第 4 章～7 章及 HJ 164 第 4、6 章规定的执行。

8.1.3 金属矿山土壤环境监测

具体土壤环境监测要求如下：

- a) 在矿区水土环境治理以及植被重建后，针对受影响土壤区域、植被重建区布设土壤监测点，重点监测土壤环境修复情况、水土流失情况以及植物立地条件土壤质量。
- b) 土壤环境监测应包括土壤类型、分布、面积、土壤肥力、理化性质、重金属特征指标等。其监测指标、监测频率、监测方法等按照 HJ/T 166 中 4.5，DZ/T 0287 中 7.10 规定的执行。
- c) 土壤环境质量监测可依据修复方向和目标进行相关监测，监测指标按照 GB 36600 第 6 章、GB 15618 第 7 章规定的执行。

8.1.4 金属矿山植被群落生态修复监测

金属矿山生态修复植被监测在区域尺度上主要对植被面积、植被种类、植被保存率、植被覆盖率等进行监测；在场地尺度上，针对不同地形坡度、立地条件，对植物群落组成、结构、密度、盖度、优势种、植物成活率、高度、冠幅、基径等进行监测。

8.2 后期管护

8.2.1 金属矿山生态修复后期管护的要求及内容除按照 TD/T 1070.1 规定的执行外，还符合本文件 8.2.2 至 8.2.4 相关规定。

8.2.2 对出现淤积、不均匀沉陷、局部垮塌损坏的基础设施应及时修复。

8.2.3 植被养护管理主要包括灌溉、施肥、除草、病虫害防治、培土和补植等措施，定期种植、收割进行资源化利用，具体参照当地园林部门相关标准执行。

8.2.4 生态管护主要包括景观保育、提升生物多样性、维持矿区生态系统结构和功能的完整性。

9 生态修复成效评估

9.1 金属矿山生态修复成效评估的内容及评估要素除按照 TD/T 1070.1 规定的执行外，还应符合本文件 9.2-9.5 要求。

9.2 根据不同场地、不同修复目标分别进行金属矿山生态修复效果评估，评估内容包括生态效益、社会效益和经济效益三个方面。

9.3 生态效益评估应突出金属矿山地质安全性、水环境、土壤环境、植物群落与生态系统结构稳定性 5 个方面，具体评估内容如下：

- a) 对修复后的矿区不稳定边坡、地面塌陷和地裂缝等进行评估；
- b) 对修复后的地表水水质、地下水水质及水位进行评估；
- c) 对修复后的场地水土保持情况以及土壤状况进行评估，分析水土流失、土壤类型、土壤压实度、有效覆土厚度、土壤有机质含量、pH 值、养分等变化情况；
- d) 对修复生态系统植物群落分布、类型、生长状况等进行评估，分析植被类型、组成、结构、分布、成活率、覆盖度等变化情况；
- e) 对修复生态系统结构的完整性、稳定性、以及景观协调性等进行评估。

9.4 社会效益评估主要考虑矿山周边居住环境、公众生态环境保护意识、就业渠道、防灾减灾能力、社会关注度、群众满意度等方面。

9.5 经济效益评估主要考虑工程投入产出比、土地增值、居民收入增长率、生态修复产业链收入增长率等方面。

10 生态修复信息管理

10.1 金属矿山生态修复信息管理主要内容与要求除符合 TD/T 1070.1 中 10 的相应规定，还应符合本文件 10.2 要求。

10.2 建立相应矿山生态修复工程信息库，相关信息均纳入相应工程信息管理系统，由管理单位统一实施规范管理，各级自然资源主管部门备份存档。并加强以下信息资料的归档和保存：

- a) 矿山基本情况、开采（闭矿）状况、生态受损情况，调（勘）查原始资料、影像、报告、图纸，修复前后对比资料等；
- b) 工程勘查、设计、施工、监理、监测、管护、成效评估相关报告和图纸，过程控制的记录资料，监测检测的记录报告，检查验收的结论性资料，经费列支详情等。

附录 A

(资料性)

金属矿山生态问题严重程度分级指标

表 A.1 给出了确定金属矿山生态问题（地质环境破坏、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 金属矿山生态问题严重程度分级表

严重程度分级	分区定义与特征			
	地质环境破坏程度	水资源破坏程度	土地损毁程度	生态退化程度
严重 (I级)	地质环境破坏问题规模大，发生的可能性大；影响到城市、乡镇、重要行政村、重要交通干线、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；受威胁人数大于100人	存在重大水环境污染问题；矿床充水主要含水层结构破坏，产生导水通道；不同含水层（组）串通水质恶化；矿区周围主要含水层（带）水位大幅下降，或呈疏干状态；影响集中水源地供水，矿区及周围生产、生活供水困难	存在重大土壤环境污染问题；破坏基本农田；破坏耕地大于2hm ² ；破坏林地或草地大于4hm ² ；破坏荒地或未开发利用土地大于20hm ²	原有生态系统结构完全被破坏；自然恢复困难；人工生态修复难度较大。
较严重 (II级)	地质环境破坏问题规模中等，发生的可能性较大；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100万元～500万元；受威胁人数10人～100人	存在局部水环境污染问题；矿区及周围主要含水层（带）水位下降幅度较大，地下水呈半疏干状态；影响矿区及周围部分生产生活供水	存在局部土壤环境污染问题；破坏耕地小于等于2hm ² ；破坏林地或草地2hm ² ～4hm ² ；破坏荒山或未开发利用土地10hm ² ～20hm ²	原有生态系统结构扰动和影响较大；具有一定的自然恢复能力；人工生态修复难度较小
较轻 (III级)	地质环境破坏问题规模小，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；受威胁人数小于10人	不存在水环境污染问题；矿区及周围主要含水层水位下降幅度小；未影响到矿区及周围生产生活供水	存在土壤环境污染问题；破坏林地或草地小于等于2hm ² ；破坏荒山或未开发利用土地小于等于10hm ²	原有生态系统结构扰动和影响较小；具有原有生态功能；可自然恢复

附录 B

(资料性)

金属矿山场地生态重建工程措施

表 B.1 给出了金属矿山场地地貌重塑、土壤重构以及植被重建措施。

表 B.1 金属矿山场地生态重建工程措施

矿区场地及条件			地貌重塑		土壤重构	植被重建
露天采场	平台	土质		清理、平整	施有机肥、种植豆科植物、土壤熟化	农林种植
		石质		清理、平整、覆土、排灌	种植绿肥植物、施有机肥	灌草种植
		砂粒质		清理、平整、客土覆盖、治沙固土	种固氮植物、施有机肥	灌木、豆科牧草间种
	边坡	土质	陡坡	边坡清理、削坡、放坡	生态袋或喷播护坡	种植耐旱、耐贫瘠、根系发达、萌蘖能力强的灌草
			斜坡	清理坡面杂物、削凸填凹、表土剥覆	生态袋或喷播护坡	种植耐旱、耐贫瘠灌草
			缓坡	铲掉杂草、修整坡面、表土剥覆	提前整地、熟化土壤	种植灌草或农作物
		石质	陡坡	清除坡面突出岩石、坡面浮石、碎石、利用边坡缝隙或钻机打孔人为创造植物生长空间	喷播土壤基质、孔穴覆土	草灌客土喷播、种植藤蔓植物、上爬下垂
			斜坡	削坡、清除坡面碎石、挂网护坡	喷播土壤基质、客土回填	喷播浅根系耐旱灌草
			缓坡	平整坡面、客土生态袋或框格护坡	表层覆土、耙平压实、施复合肥	客土造林种草，适合浅根系的灌木或草本
		砂粒质	陡坡	梯级削坡、夯实加固表层、挂网护坡、生态多孔混凝土护坡	喷播土壤基质	耐旱草种混播

矿区场地及条件				地貌重塑	土壤重构	植被重建
			斜坡	削坡减载、挂网护坡	覆盖表土、种植绿肥	耐旱灌草混播
			缓坡	修整坡面、排灌	覆盖表土、提前整地、熟化土壤	种植耐旱浅根系树种或灌草
塌陷区	积水区	季节性积水区		排除积水、客土充填	覆盖表土	造林种草、农作物种植
		常年积水	深水区	继续挖深	-	水产养殖、人工湖、公园、水域观赏区
			浅水区	挖深垫浅	覆盖表土	复垦为农田或林地
	非积水区			堵漏、填埋、平整、表土剥离，固定堆放	覆盖表土、整平松耙、土壤熟化、种植豆科植物、施有机肥	恢复植被、农林牧结合
废石堆场/堆浸场	平台	土质	平整、排蓄水	提前整地、熟化土壤、种植绿肥微生物培肥、施肥	乡土树种、乔木草本，培育乔灌木混交林	
		石质	平整、客土整地、排水	覆土施肥或施用菌根制剂、改良基质	客土种植耐旱、耐贫瘠灌草	
		砂粒质	筑坝护坡、平整压实、覆土、排水	客土整地、种植绿肥或施有机肥、改良基质	客土造林种草	
	边坡	土质	削坡、草袋或预制格子护坡	种植绿肥、微生物培肥、施肥、改良基质	客土造林种草	
		石质	削坡、格子梁护坡、覆土、排水	覆土、施肥、改良基质	客土种植深根系灌木	
		砂粒质	削坡、修筑挡墙、液压喷播护坡、覆土、排水	覆土，或掺细砂黏土、种植豆科植物、施有机肥、改良基质	深根系灌木为主，乔灌草结合	
工业场地	不再留续使用的工业场地			土地整治、拆除构筑物、覆土压实	提前整地、熟化土壤、种植绿肥微生物培肥、改良基质、施肥	恢复植被、农林牧结合
	保留原有建（构）筑物、工业设备等，建成矿山公园或保护区			土地整治	覆土、改良基质、施肥等	恢复植被、景观再造