

附件三：

《矿山采矿生态保护与恢复标准》编制说明
(征求意见稿)

《矿山采矿生态保护与恢复标准》编制组

二〇一〇年十月

项目名称：矿山采矿生态保护与恢复标准

项目统一编号：276、277

项目承担单位：中钢集团马鞍山矿山研究院、环境保护部南京环境科学研究所

编制组主要成员：钟铁 曹学章 程一松 谭辉 方颖 何孝磊 李书钦 王飞 程新

标准所技术管理负责人：徐舒 王宗爽

标准处项目负责人：胡林林 段光明

目 录

一 项目背景.....	1
二 编制标准的目的和意义.....	2
三 标准编制原则和技术依据.....	4
四 标准制订的方法和技术路线.....	5
五 采矿生产工艺和生态破坏现状.....	6
六 矿山土地复垦与生态恢复技术现状.....	12
七 标准的内容结构.....	16
八 主要条文说明.....	16
九 标准与国内外相关技术标准的比较.....	41
十 标准的技术经济和环境效益分析.....	46
主要参考文献.....	47

一 项目背景

1.1 任务来源

矿山开采造成的土地和环境等一系列问题，在我国乃至世界都引起了社会的广泛关注。采矿不仅破坏土地资源，而且也带来了一系列如土壤质量下降，生态系统退化，生物多样性丧失，景观受到破坏等影响深远的环境问题。以土地破坏为核心的生态环境问题，已对矿区人类的生存空间及社会经济的可持续发展构成巨大威胁。为加强矿产资源开发生态环境监管与恢复治理工作，原国家环境保护总局下达了《矿山采矿生态保护与恢复标准》的制订任务，由中钢集团马鞍山矿山研究院承担。

1.2 工作过程

为了遏制我国矿山生态环境恶化的趋势，适应《全国生态环境保护纲要》对生态环境保护工作的战略部署，2004年底到2005年初，原国家环境保护总局科技司设计了环境标准编制体系的总体框架。在该框架体系的“生态环境标准体系”的“开发利用生态环境控制标准体系”中就包含了“矿山采矿生态保护与恢复标准”等13个开发利用生态环境控制标准的制订工作。

2005年3月8日，根据国家环境保护总局科技司应征环境标准编制单位需报送的材料的要求，中钢集团马鞍山矿山研究院以院政（2005）16号文，提交了“关于编制《露天采矿生态保护与恢复标准》和《地下采矿生态保护与恢复标准》的请示”文及编制标准制订的初步方案。

2005年4月4日，国家环保总局办公厅印发了《关于下达2005年第二批国家环境标准制(修)订任务的通知》（环办函[2005]203号），将《露天采矿生态保护与恢复标准》和《地下采矿生态保护与恢复标准》的制订任务下达给中钢集团马鞍山矿山研究院。

接到任务后，中钢集团马鞍山矿山研究院即成立了标准制订小组，投入到前期的调研工作，并于2005年7月18~19日在安徽省马鞍山市召开了《露天采矿生态保护与恢复标准》和《地下采矿生态保护与恢复标准》开题论证会。专家组认真听取了承担单位的汇报，详细审阅了承担单位提交的开题报告材料，经过充分讨论，提出了专家组意见。根据专家的意见，将《露天采矿生态保护与恢复标准》和《地下采矿生态保护与恢复标准》标准的名称改为《露天开采矿山生态保护与恢复标准》和《地下开采矿山生态保护与恢复标准》。

之后，标准编制组随即展开了矿山企业实际情况调研，掌握了企业生产工艺、矿山复垦及生态恢复等实际情况。在广泛参阅国内外现有标准、规范等有关资料，并结合典型企业的分析结果，以及考虑多数企业生态恢复现状，于2008年1月18日提交了《露天开采矿山生态保护与恢复标准》和《地下开采矿山生态保护与恢复标准》及其编制说明（征求意见稿）。

2010年7月30日，环境保护部科技标准司和生态司在北京召开了《露天开采矿山生态保护与恢复标准》和《地下开采矿山生态保护与恢复标准》座谈会，根据专家的意见将标准合并并改名为《矿山采矿生态保护与恢复标准》，由中钢集团马鞍山矿山研究院和环境保护部南

京环境科学研究所合作完成。

二 编制标准的目的和意义

我国矿区土地复垦每年都要破坏和侵占大量耕地，据统计，我国采矿区每年排出废石渣约5,000万t，堆放占用土地6,667hm²，全国1,500多个露天煤矿及煤矸石占地就达200多万hm²，另外城乡建设、水利工程、道路桥梁都需要占用大量土地，但国土是有限的，解决这一矛盾的最好方法就是开展土地复垦和生态恢复，保护现有耕地。

我国矿区土地复垦和生态恢复工作开始于二十世纪五十年代末，当时一些矿产企业迫于矿区土地紧缺的压力，陆续开展了不同规模的技术粗放的土地复垦工作。到上个世纪八十年代后期，由于国家长期以来没有指导土地复垦工作的专门立法，没有鼓励企业复垦的优惠政策和正常的复垦经费渠道，全国开展复垦工作的矿山企业不足1%，已复垦利用的土地不到被破坏土地的1%。为了保护国土资源，改善矿区生态环境，国务院1988年12月第19号令颁布了《土地复垦规定》，以法规的形式对复垦的实施原则、责权关系、组织形式、规划、资金来源及复垦土地使用等作了原则性的规定，提高了全国各行业的复垦意识，使土地复垦工作有了长足的发展。

从1989年到1991年，国家土地管理部门先后在河北、江苏、山东等省开展了23个土地复垦试点，至1992年底复垦了33万hm²土地。1994年国家又在江苏铜山、安徽淮北、河北唐山创建了三个复垦综合示范工程。各地土地管理部门和矿区也建立了许多复垦试验示范区，取得了良好的效果，获得了大量的宝贵经验。在2003年印发的《全国土地开发整理规划》中规划了冀东煤炭钢铁基地、晋陕蒙煤炭化工基地等11个土地复垦重点地区，为今后的工作指明了发展方向。各地也结合实际情况，制定了相关政策。如河北、山西、江苏、安徽、宁夏、辽宁、海南等地，就在一定范围内针对某一种类型的生产建设破坏土地的复垦，规定了收缴土地复垦费或收缴土地复垦保证金；浙江、山东、内蒙等地则以地质环境保护条例的形式对矿区土地复垦工作提出了要求。经过社会各界的共同努力，全国土地复垦率已从《土地复垦规定》实施前的2%，上升到12%。但是由于经济和技术等方面的原因，我国土地复垦率远远落后于复垦先进国家。

我国现行有关矿山开采复垦法律很多，很齐备。但实际上，在中国现行的矿山开采复垦立法方面存在诸多问题。主要有：①立法过于分散，至今尚无矿山开采复垦方面专门法律。②对矿山开采复垦规定过于笼统，无法操作。③复垦要求标准太低。如根据《土地复垦规定》：“采取整治措施，使其恢复到可供利用状态。”④多头执法，容易出现“无人负责”的结果。⑤缺乏复垦的保障机制等。

国际上，对于矿山土地复垦及生态恢复的研究已经有着近百年的历史，各国都制定有严格的标准，以保护和恢复矿山的生态环境。如美国的《露天采矿管理与土地复垦法》(Surface Mining Control and Reclamation ACT, 简称SMCRA)，该法在全美建立了统一的露天矿管理和

复垦标准，其立法的原因和目的很明确，即处理好环境保护和煤炭开采之间的关系，达到不因煤炭的开采而使环境受到破坏的目的，并为其他矿物的露天开采建立有效、合理的法律依据。

近年来，我国也对矿山采矿废弃地的土地复垦和生态恢复技术进行了大量的研究和广泛实践，如国家863和科技攻关计划中都专门列有课题，并取得了明显的成效。因此，迫切需要在对国内外土地复垦和生态恢复现状和发展进行深入分析并充分吸收现有研究成果的基础上，制订矿山采矿的生态保护与恢复标准，以适应新形势的需要。

制订矿山采矿的生态保护与恢复标准意义重大，主要表现在以下几个方面：

(1) 是矿山行业自身可持续发展的需要

据调查，目前全国采掘工业包括煤炭、冶金、有色、黄金、化工、建材、石油、天然气、铀矿、烧瓦制砖、电厂粉煤灰等，历年破坏土地已超过600万 hm^2 。以土地破坏为核心的生态环境问题，已对矿区人类的生存空间及社会经济的可持续发展构成巨大威胁；只有采取超前、主动、协调、高效的土地复垦与生态恢复工程，才能保证矿区社会经济的可持续发展；人类经济活动正在加剧生态系统的破损，我们当代人再也无法回避、而且必须做出回答：借助人工支持和诱导，在自然条件的许可下，重建一个符合代际需求的价值取向的可持续发展的生态系统；政策、法律、法规是保障矿区土地复垦与生态重建工程实施的强制手段。

(2)是实现国家环境保护目标和行业规划的要求

国家已经充分认识到了矿产资源开发利用过程中（包括开采、运输、加工和消耗）对生态平衡和生态环境的影响的严重性，进行矿山生态环境保护恢复的迫切性。在《中国21世纪议程——中国人口、环境与发展白皮书》（1994），《全国生态环境保护纲要》（2000），国家“十一五”环境保护计划都对矿山生态环境保护与恢复提出具体要求。

《中国21世纪议程—中国人口、环境与发展白皮书》（1994）提出了可持续发展战略；要求控制环境污染、改善生态环境、保持可持续利用的资源基础；对矿产资源的合理开发利用与保护行动作了要求，要求调整评价全国矿山自然环境破坏状态，制定保护恢复计划。

国务院2000年发布的《全国生态环境保护纲要》中，将矿产资源开发利用的生态环境保护作为重点资源开发的生态环境保护内容之一。矿产资源开发必须防止次生地质灾害的发生。在沿江、沿河、沿湖、沿库、沿海地区开采矿产资源，必须落实生态环境保护措施，尽量避免和减少对生态环境的破坏。已造成破坏的，开发者必须限期恢复。已停止采矿或关闭的矿山、坑口，必须及时做好土地复垦。

为了使矿山生态环境保护、恢复治理有法可依，有章可循，国家有关部门已经针对矿山颁布实施了《土地复垦规定》(1989.1)，《防治尾矿污染环境管理规定》(1992.8)，《土地复垦技术标准(试行)》(1995.7)，《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2001)，《矿山生态保护与污染防治技术政策》(2005.9)等。

(3)是环境保护管理工作的需要

为促进矿山生产企业技术进步，促进矿山行业发展污染控制和生态保护，改善环境质量，保障人体健康，有必要根据矿山行业的生产工艺、生产特点和生产条件等因素，突出矿山行业生态保护与恢复控制的重点污染因子，编制《矿山采矿生态保护与恢复标准》，作为行业

的综合性环境管理标准，以适应矿山行业生态保护与恢复环境管理的需要。

通过《矿山采矿生态保护与恢复标准》的制订，使其成为环境管理的技术法规。以矿山行业清洁生产工艺和成熟可行的生态保护与恢复技术为依托，合理确定标准体系和环境技术指标，同时对达到指标需采取的技术措施进行技术、经济的可行性分析，明确相应的管理措施、评定程序、监督的手段与程序、监督的行政部门等，在环境标准的定性、形式、内容等方面与国际接轨。

三 标准编制原则和技术依据

3.1 编制原则

本标准的制定，将以2000年国务院颁发的《全国生态环境保护纲要》和国家环境保护“十一五”计划为指导，以矿山可持续发展为主题，以“污染预防与生态保护并重，生态保护与生态建设并举”，在保护中开发，在开发中保护为原则。以矿山生态恢复为主线，以与矿山生态环境有关的法律、法规、规定、技术标准、技术规范等为主要依据。

矿山开采生态保护与恢复标准属于矿山开发利用生态环境控制标准的范畴，将应遵循以下技术原则：

(1) 技术经济可行性原则

矿山开发利用生态环境控制的最终目标是达到环境质量标准，其手段就是对通过对受损的生态系统进行恢复。污染控制标准的制订一定要遵循技术经济可行性原则，因为标准制订出来是要企业去执行的，应体现“技术强制”原则。即通过标准的制订迫使生态破坏者采用先进的生态恢复技术。

(2) 分类指导原则

工艺分类指导：不同类型矿山由于生产工艺的不相同，对生态环境破坏程度、方式等不同，应制定相应的控制标准。

(3) 定量与定性相结合原则

对易于定量的，制订具体的标准值进行控制；对不易定量的，则提出定性的规定与要求，这些定性规定与要求同样具有约束力。

(4) 阶段性原则

任何标准都不是一成不变的，应随着时间的推移和技术的进步不断完善。一是标准值的大小可以进行调整，二是控制因子的设置可以进行调整与补充。

(5) 重点突出技术指导作用的原则

鉴于目前我国尚未颁布生态环境质量标准，为更好指导我国矿山行业生态保护与恢复工作，标准的制定重点突出技术指导作用。

3.2 技术依据

(1) 国家环境保护总局环办 [2005]125号《关于下达2005 年度国家环境保护标准制（修）订项目计划及经费的通知》（2005年11月23日）；

(2) 国家环境保护总局环发[2003]194号《关于加强和改革环境保护标准工作的意见》（2003年12月9日）

(3) 国家环境保护总局《国家环境标准制修订办法》；

(4) 《露天采矿生态保护与恢复标准》和《地下采矿生态保护与恢复标准》开题报告及其论证意见（2005年7月19日）。

四 标准制订的方法和技术路线

4.1 方法

本标准制订主要是通过实地调研、国内外资料和文献查阅，根据我国矿山生产技术现状、生态恢复现状、行业发展需要和生态保护与恢复的要求等确定标准的技术内容和标准值的。

4.2 技术路线

编制工作承担单位在工作过程中广泛收集、分析了国内外相关标准规范的资料；对我国矿山开采的生产工艺、生态破坏现状和生态恢复技术水平评估；参考国外相关类似标准；依据国家相关政策和法规。在以上工作的基础上，组织起草了《矿山采矿生态保护与恢复标准》（征求意见稿）。

标准制订的技术路线见图4.1-1。

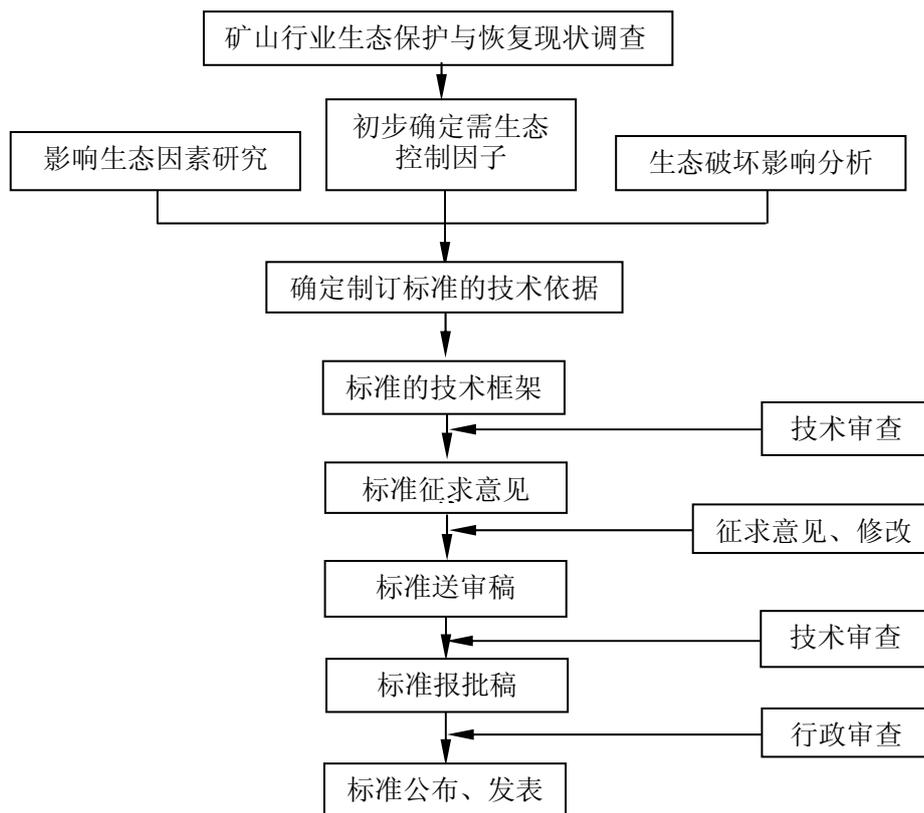


图 4.1-1 标准制订的技术路线

五 采矿生产工艺和生态破坏现状

5.1 采矿生产工艺

矿山，按其产品性质分类，有冶金矿山(黑色金属、有色金属、稀土元素、放射性元素等)和非金属矿山(煤矿、石料、陶土等)；按其开采方式分类，有露天开采矿山和地下开采矿山。不同性质的矿山和不同的开采方式，其对生态环境破坏的过程和特征有很大差异。

5.1.1 露天开采 (surface mining)

从敞露地表的采矿场采出有用矿物的过程称露天开采，又称露天采矿。当矿体埋藏较浅或地表有露头时，应用露天开采最为优越。与地下开采相比，优点是资源利用充分、回采率高、贫化率低，适于用大型机械施工，建矿快，产量大，劳动生产率高，成本低，劳动条件好，生产安全。但需要剥离岩土，排弃大量的岩石，尤其较深的露天矿，往往占用较多的农田，设备购置费用较高，故初期投资较大。此外，露天开采，受气候影响较大，对设备效率及劳动生产率都有一定影响。随着开采技术的发展，适于露天采矿的范围越来越大，可用于开采低品位矿床和某些地下开采过的残矿。对平缓矿床（一般矿层倾角小于 12° ）采用倒堆、横运或纵运采矿法。对于倾斜矿床采用组合台阶、横采掘带或分区分期开采的方法。

露天开采作业主要包括穿孔爆破、采装、运输和排土。这四项工作的好坏及它们之间的配合如何，是露天采矿的关键。穿孔爆破是在露天采场矿岩内钻凿一定直径和深度的定向爆破孔，以炸药爆破，对矿岩进行破碎和松动。穿孔设备主要有冲击式钻机、潜孔钻机和牙轮钻机等，多用铵油炸药、浆状抗水炸药和乳化炸药及粒状乳化炸药，采装工作是用人工或机械将矿岩装入运输设备，或直接卸到指定地点的作业。常用的设备是挖掘机（有多斗和单斗两类）、轮斗铲和前端式装载机，广泛采用的为单斗挖掘机。运输工作是将露天采场的矿、岩分别运送到卸载点（或选矿厂）和排土场，同时把生产人员、设备和材料运送到采矿场。主要运输方式有铁路、公路、输送机、提升机，还有水力运输和用于崎岖山区的索道运输。选择运输方式必须综合考虑地形、地质、气候条件，露天矿生产能力，开采深度，矿石和围岩的物理力学性质等，经过全面技术经济比较后，确定合理的运输方式。排土工作系指从露天采场将剥离覆盖在矿床上部及其周围的大量表土和岩石，运送到专门设置的场地（如排土场或废石场）进行排弃的作业。排土方法依其排土设备的不同，分为推土犁推土、推土机排土、前装机排土和拖拉铲运机或索斗铲排土等。推土场应选择在尽量靠近采矿场，少占农田的位置，有条件的应放置在山谷、洼地处，注意环境保护和造田、还田。

5.1.2 地下开采 (underground mining)

从地下矿床的矿块里采出矿石的过程。它是通过矿块的采准、切割和回采3个步骤实现的。采准工作是掘进一系列巷道，为切割和回采工作创造条件；切割工作为回采矿石开辟自由面和落矿空间；回采是从矿块里采出矿石的过程，是采矿的核心，包括落矿（将矿石以合适的块度从矿体上采落下来的作业）、出矿（将采下的矿石从落矿工作面运到阶段运输水平的作业）和地压管理（包括用矿柱、充填体和各种支架维护采空区）3种作业。

地下采矿方法分类繁多，常用的以地压管理方法为依据，分为三大类：

①**自然支护采矿法**。又称空场采矿法。主要靠围岩本身的稳固性和矿柱的支撑能力维护回采过程中形成的采空区，有的用支架或采下矿石作辅助或临时支护。本法回采工艺简单，容易实现机械化，劳动生产率高，采矿成本低，适于开采矿石和围岩均稳固的矿体，在地下矿山广泛应用。但开采中厚层以上矿体，需留大量矿柱，矿石回采率低，因此采高价矿床时用得较少。

②**人工支护采矿法**。用充填材料或其他支架维护采空区，主要使用充填法，故此法又称充填采矿法。在矿房或矿块中，随回采工作面的推进，向采空区送入碎石、炉渣、水泥等充填材料，以进行地压管理、控制围岩崩落和地表移动，并在形成的充填体上或在其保护下进行回采。适用于开采围岩不稳固的高品位、稀缺、贵重矿石的矿体；地表不允许陷落，开采条件复杂，如水体、铁路干线、主要建筑物下面的矿体和有自然火灾危险的矿体等；也是深部开采时控制地压的有效措施。优点是适应性强，矿石回采率高，贫化率低，作业较安全，能利用工业废料，保护地表等。缺点是工艺复杂，成本高，劳动生产率和矿块生产能力都较低。

③**崩落采矿法**。随回采工作面的推进，有计划地崩落围岩填充采空区以管理地压的采矿方法。适用于围岩容易崩落、地表允许塌陷的矿体。

5.1.3 矿山开采生态破坏特征

矿山开采因工艺不同，对矿区土地和生态的破坏形式不同。矿山开采引起的生态破坏，主要由以下三个过程导致的：

① 开采活动对土地的直接破坏，如露天开采会直接毁坏地表土层和植被，地下开采会导致地层塌陷，从而引起土地和植被的破坏；

② 矿山开采过程中的废弃物(如尾矿、矸石等)需要大面积的堆置场地，从而导致对土地的过量占用和对堆置场原有生态系统的破坏；

③ 矿山废弃物中的酸性、碱性、毒性或重金属成分，通过径流和大气飘尘，会破坏周围的土地、水域和大气，其污染影响面将远远超过废弃物堆置场的地域和空间。

由上述三个过程，在生态系统层次上采矿地生态破坏的三个特征：

① 景观型破坏，对采矿地地貌的影响；

② 环境质量型破坏，对所在地区土质、水质，甚至大气质量的影响；

③ 生物型破坏，对原有生物群落的摧毁，及对当地生物群落的严重破坏甚至摧毁。

一般可以认为，冶金矿山引起的环境质量型破坏以及由此导致的生物型破坏要比非金属矿山更严重；露天开采的矿山引起的景观型破坏和生物型破坏，要比地下开采的矿山更严重。

5.2 矿区生态破坏现状

随着现代工业的飞速发展，世界各国对矿产资源的需求量和开采量日益增加。据有关资料统计，全世界每年采掘的金属、非金属、煤炭、黏土、石材、沙砾等矿藏共约 90 亿吨。我

国矿产资源丰富，已探明的矿产达 168 种，其中产量为世界各国前列的金属矿产近 20 种。全国有 1507 个露天矿山。矿山开采中形成的尾矿、废石，不仅占用和破坏大量土地，使土地资源减少，而且破坏生态平衡，加剧了环境的危害。

5.2.1 占用和破坏土地

矿山开采造成的占用土地、破坏土地有四种情况，即露天开采挖损土地，尾矿场、废石场（排土场）压占土地，矿山的工业建筑、民用建筑和道路等占用土地，以及地下开采造成的地面塌陷，进而导致突然发生水渍化、盐渍化、裂缝和地面倾斜。

5.2.1.1 废弃物压占土地

在矿产采选过程中，产生大量的剥离土、废石（煤矸石）和尾矿等固体废弃物，这些废弃物的堆放埋压了原来具有一定生产力的土地，代之以废弃物堆积的裸露地。按照废弃物的不同，主要有剥离物的压占。尾矿的压占和矸石的压占。

(1) 剥离物压占土地排土场。露天采矿剥离物包括土壤、岩石和岩石风化物，一般石多土少。在剥离和堆放时经过机械的扰动后，原土地的结构及层序受到了破坏，堆占地表的不再是土壤层，而是贫瘠的土石混合物。即使表土超前剥离，排土作业结束后覆盖在排土场的表面，在机械施工下，也不可能保持原来的层序，土体结构依然受到破坏。

(2) 尾矿压占土地尾矿场。尾矿是矿石经过磨碎，将有用的矿物选出后所排弃的残渣，其物理性能与粉沙土相似。冶金矿山的尾矿量大，压占土地较多。尾矿不仅养分含量低，而且某些有害物质的含量高，这两方面都不利于植物的生长。

(3) 矸石压占土地矸石山。在煤炭开采和洗选加工过程中，要排出大量的煤矸石，排出量约为原煤产量的 10%~20%。据原煤炭部统计，全国矸石积存量 30 亿 t，占地约 1 万 hm^2 。矸石山的机械成份混杂，老矸石山表层一般有 5~10cm 厚的细粒风化层，下面为风化程度低或未风化的大石块。据统计，由于露天开采和各种废渣、废石和尾矿的堆放与储存等，直接破坏与侵占土地已达 1.4 万~2.0 万 km^2 ，并且以每年 200 km^2 的速度增加，引起植被破坏、土壤污染、水土流失加剧和土地退化等一系列环境问题。

5.2.1.2 挖损地

露天开采时，必须把矿层上的覆盖层剥离并搬走，因此地表植被和土层被完全破坏。采出矿层后，在采掘场地形成地面坑洼、岩石裸露的景观，或成为水坑。挖损是露天采矿破坏土地最直接的形式，它对土地资源的破坏是毁灭性的。

5.2.1.3 塌陷地

地下开采时，矿产资源被大量采出后，岩体原有的平衡状态受到破坏，上覆岩层将依次发生冒落、断裂、弯曲等移动变形，最终波及到地表，在采空区的上方造成大面积的塌陷，形成一个比开采面积大得多的下沉盆地。该下沉盆地内的土地将发生一系列变化，造成土地生产力的下降或完全丧失。

塌陷对土地破坏的类型主要有水渍化、盐渍化、裂缝和地表倾斜。地表塌陷造成潜水位相对上升，当上升到作物根系所及的深度时，便产生水渍化。在我国东部平原煤矿区，如枣庄、兖州、大屯、淮南、淮北、徐州等矿区，由于地下潜水位高，水渍化相当普遍。开滦矿区和淮南矿区从投产到 1995 年，塌陷造成的常年积水面积分别达 1150hm² 和 1417hm²。在东部平原地区，塌陷地地下水中的盐分通过潜水的蒸发补充到土壤中，使土壤发生盐渍化。据胡振琪（1997 年）在安徽皖北矿务局刘桥一矿测定，新塌陷地下坡土壤盐分电导率 EC₂₅ 为 283.5μS/cm，已达到盐渍化土的标准，而老塌陷地下坡的土壤盐分电导率 EC₂₅ 为 1004.9μS/cm，已达到重盐渍化土的标准。

在下沉盆地的外围，地表被拉伸变形产生裂缝。裂缝造成耕地漏肥、漏水，农作物减产，这种情况在丘陵山区表现更为严重。在陕西渭河煤田，采空区上方出现暂时裂缝（闭合裂缝），在采空区的外缘出现永久裂缝（张开裂缝），前者裂缝宽 2m，裂缝步距一般 5~10m；后者裂缝宽 35~60m，裂深 5~15m。裂缝影响了农田的耕作、土壤的保墒和农田灌溉，农田一般减产 20%~30%。

地面倾斜是地表下沉后形成的破坏类型。地表塌陷使下沉盆地的内、外边缘原来的水平耕地变为坡地，增加了水土流失，对作物的生长带来不利影响。这种情况在丘陵山区和平原地区都存在，但在丘陵山区更为严重。据调查，在山西因采煤塌陷造成的坡地及地面裂缝，使旱地减产 20%~30%，水浇地产量减少 50%以上。若遇干旱年份减产更为严重，如霍州十里铺万亩灌溉区，小麦单产由 3750kg/hm² 减少到 750 kg/hm² 左右。

我国的塌陷地绝大多数为煤炭采空塌陷地。据原煤炭部 1995 年底对全国各主要煤矿投产至 1994 年底土地破坏及重建情况统计，全国煤矿开采累计塌陷地 40 万 hm²，其中常年积水面积约 3.5 万 hm²。按平均每采万吨煤塌陷 0.2hm² 计，预计 1995~2010 年新增加塌陷地面积 32.01 万 hm²，到 2010 年累计达 72.01 万 hm²。

根据原国家环保局 1995 年调查，全国 1173 家中型以上国有矿山企业用地总面积（表 15.2-1）729971.6hm²，其中占用耕地、林地、草地面积合计 287099.1hm²，占矿山用地总面积的 39.3%。在不同作业区占地面积中，露天采矿场、排土场、尾矿场、塌陷区面积合计为 212817.4hm²，占矿山用地面积的 29.1%，其他用地（包括其他工业用地、行政生活用地）面积为 517154.2 hm²，占 70.9%。

表 5.2-1 1995 年全国 1173 家中型以上国有矿山企业占用土地面积 单位：hm²

矿山占地面积						
耕地	林地	草地	合计	其他	总计	
122 669.7	131 707.2	32 722.7	287 099.1	442 872.5	729 971.6	
16.8%	18.0%	4.5%	39.3%	60.7%	100.0%	
不同作业区占地面积						
露采场	排土场	尾矿场	塌陷区	合计	其他	总计
58 152.7	33 180.9	37 282.4	84 201.4	212 817.4	517 154.2	729 971.6
8.0%	4.5%	5.1%	11.5%	29.1%	70.9%	100.0%

尤其在有色金属、黑色金属和建材矿开采中，露天开采是主要的开采形式。露天开采虽然具有年采出量大、生产效率高、成本低、回采率高等优点，但在很大程度上破坏了原来稳定的土壤和植被，对生态环境的破坏极为严重。

据 1994 年全国矿山调查，我国国有铁矿破坏土地面积为 19981.2hm²，其中露天采矿场、排土场和尾矿场破坏土地面积分别为 6525.1hm²、7604.0hm² 和 5161.4hm²，占铁矿破坏土地面积的 32.6%、38.1%、25.8%。由于铁矿开采以露天开采为主，塌陷区面积较小，仅占 3.46%（表 5.2-2）。我国铁矿每年排岩约 3 亿 t。据统计分析，我国铁矿每形成 1 万 t 生产能力占用土地 3.97hm²，随着深凹露天矿的比例增加，占地面积还会上升。

我国有色金属铜矿与铅锌矿采矿破坏土地面积为 18681.3hm²，其中尾矿占用土地面积最大，铜矿尾矿场占其破坏面积的 81.0%，铅锌矿为 54.3%（表 5.2-3），这与有色金属品位低，开采回收率与综合利用率低有关，而且造成尾矿品位高，资源在开采过程中大量流失浪费。

表 5.2-2 国有铁矿土地破坏情况 hm²

露天采矿场	排土场	尾矿场	塌陷区	总计
6 525.1	7 604.0	5 161.4	690.7	19 981.2
32.6%	38.1%	25.8%	3.5%	100.0%

表 5.2-3 主要有色金属矿采矿破坏土地情况 单位： hm²

矿种	露天采矿场	排土场	尾矿场	塌陷区	总计
铜矿	1 207.4	1 473.6	13 916.2	594.7	17 191.9
%	7.0	8.6	81.0	3.4	100.0
铅锌	338.2	259.3	809.0	82.9	1 489.4
%	22.7	17.4	54.3	5.6	100.0

煤炭开采对生态环境的破坏主要是造成地面塌陷，占土地破坏总面积的 61.3%（表 5.2-4）。

表 5.2-4 煤炭采矿三场与塌陷区占地面积 单位： hm²

露天采矿场	排土场	尾矿场	塌陷区	总计
22 777.1	20 867.8	7 709.5	81 442.9	132 797.3
17.2%	15.7%	5.8%	61.3%	100.0%

煤炭开采产生的煤矸石是另一种占地多的尾矿场。全国工业固体废物最多的为煤矸石，国内矸石排放量为煤炭的 15%~20%。全国历年累计工业固体废物约 60 亿 t，其中煤矸石约 12 亿 t。全国每年工业固体排放量约 5 亿~6 亿 t，其中煤矸石 1 亿 t。全国现有 800 多座煤矸石山，占地约 6000hm²。矸石山不仅占用土地，还严重污染环境，破坏生态平衡，在旱季，矸石山成为主要的粉尘源，在雨季，由矸石分化产生的酸性物质被雨水淋溶，造成周围水体的酸污染和重金属污染。

5.2.2 造成水土流失、滑坡、泥石流、崩塌等次生地质灾害

矿山开采过程中，由于表土剥离，植被破坏，以及大量堆积弃石，在雨水侵蚀条件下极易形成水土流失和泥石流，这不仅吞没了大量土地，堵塞河床和污染土地，而且给自然环境和人们的生产活动带来巨大的破坏和灾难。

据有关资料统计，国有中型以上矿山企业次生灾害破坏土地总面积为 19195.4hm²（表 5.2-5）。

土壤侵蚀	土壤沙化	泥石流	崩塌	滑坡	总计
17 063.7	743.5	460.9	349.5	577.8	19 195.4
88.9%	3.9%	2.4%	1.8%	3.0%	100.0%

江西省采矿废弃的尾砂流失造成 26 083hm² 农田受害，平均减产 30%~50%。德兴铜矿杨桃坞排土场，在一次暴雨中地表径流冲击坡面产生冲沟宽 30m，深 10m 以上，沉积废石约 10000m³，吞没了大量农田。广东省汕头地区的揭阳县稀土矿坐落于新西河水库集水范围内，由于采矿引起的水土流失，新西河水库的库容量减少，泥沙淤积量达 803 万 m³，占正常蓄水库容量的 31.7%，使得水库区域水生生物、陆生物种群减少。广西贵池市龙头山金矿区金矿的开采，造成河道淤塞，河床抬高 1~2m，沿河近 5.3hm² 农田被废渣覆盖而无法耕种，沿岸数十公顷农田因使用受污染的水体灌溉造成粮食减产。1993 年，这里曾发生山洪爆发，淹没银口村，冲毁民房 10 多间，农田数公顷。山洪退后，该村有 66 间民房被迫迁移。

5.2.3 污染自然环境，造成生态失调

采矿和选矿废水排入地表水体（河流和湖泊）后造成矿区地表水体的有机污染和重金属污染；采矿剥离的含硫化合物的岩石及矿山大量堆积的废渣和尾矿，经长期与雨水、空气接触，氧化渗漏出含重金属的酸性水，造成地表水体和地下水体的严重污染；矿山疏干排水，使地下水位下降，出现大面积疏干漏斗，使地表水和地下水的动态平衡遭到破坏；使用矿山废水和受酸性淋溶水污染的水体灌溉，使矿区周围农田受到重金属污染，而且往往导致土壤的盐渍化，使土壤的肥力下降，功能衰退；矿产开发中排放的废气严重污染矿区的空气，矿山开采中产生的尾沙已构成矿区大气浮尘污染的主要污染源。

5.2.4 地表植被和景观的破坏

露天开采剥离植被，废石、尾矿、工业场地、施工机械等压占和破坏植被，矿床的疏干排水引起地下水位的下降，都会造成矿区及其周围地表植被的破坏。随着天然植被的破坏，水土保持能力减弱，进而引起水土流失的加剧。妈姑镇由于土法炼锌需要大量的煤炭，许多无证小煤窑在妈姑地区出现，山体植被遭到严重破坏，水土流失加剧。仅 3km² 左右的赫章铅锌矿区内，就有 10 多座小煤窑。小煤窑的存在，破坏了地质结构，使整个矿区出现了严重的底层塌陷现象。

由于矿山开采生产工艺的特殊要求，任何一座矿山的建设将不同程度地改变矿区的地形地貌，破坏矿区的地表景观。露天采场会变成人工洼地，排土场和尾矿库会变成人造台阶，地下开采的矿山常常在采空区形成地表塌陷。

此外，在喀斯特较为发育的矿区，往往由于矿床疏干排水而在矿区地表形成岩溶塌陷。总之，矿山生产不可避免地改变矿区原始地貌景观。虽然地貌的变化是渐变的，但这种变化往往不可逆转。

六 矿山土地复垦与生态恢复技术现状

6.1 我国矿山土地复垦与生态恢复现状

我国矿区的土地复垦和生态恢复始于二十世纪六十年代。到了八十年代，我国矿区的生态恢复工作进入有组织、有规模阶段。目前，我国矿区的生态恢复主要在采矿造成的四种破坏类型上进行。这四种主要破坏类型是露天采矿场、排土场（废石场）、尾矿场（包括采煤中产生的矸石山）和地下开采造成的塌陷区。

6.1.1 露天采矿场采空区的生态恢复与重建

在采空区，根据其重建目标，可归纳为四种主要重建模式。

(1) 以农林利用为重建目标的农林模式，即将采空区充填，平整覆土用于农林利用。根据采空区充填物质的不同，又将其分为剥离物充填、泥浆运输充填和人造土层充填三种重建类型。

(2) 以发展旅游、渔业开发、水源地、污水处理池为目标的蓄水重建模式。

(3) 挖深垫浅、综合利用的重建模式。

(4) 露天采矿场边坡以天然植被恢复和人工促进植被恢复的重建模式。人工促进植被恢复的方法有人工补给种源、为创造落种条件进行边坡处理等。

6.1.2 排土场(废石场)的生态重建

排土场(废石场)的生态重建以农林利用为主,所使用的植被恢复技术有:

(1) 排土场(废石场)的稳定技术

为了保证排土场的稳定,建立完善的排水系统;在排土场的边坡建立生物防护体系;在排土工艺上,采取排土末期进行堆状排土;在排土场平整时,根据重建的目标不同,平整为不同的坡度。

(2) 排土场土壤改良技术

土壤改良的方法有直接覆盖土壤法和生物改良法。覆盖土壤法即在排土场的表面覆盖一层土壤。覆盖层的厚度依底层岩石的性质和利用目的而定，一般厚度为10~60cm，以利于农业耕种。生物土壤改良包括直接种植绿肥植物、利用生物活性剂、施有机肥以及化学法中和酸碱性土壤，以达到土壤改良的目的。此外，从管理方面，采用合理的轮作、倒茬和耕作改土，加快土壤的熟化，增加土壤的肥力。

(3) 植物种的筛选、种植及配置技术

排土场上植树种草一般采用穴植和播种的方法。穴植即挖穴后带土球栽植或客土造林。根据整地时间的不同，又可分为春整春种和秋整春种。此外，排土场边坡还可以采用水力播种、铺设草皮的方法。排土场平台和边坡上植被配置模式有草、草灌、草灌乔三种模式。

根据露天排土场（废石场）条件的不同，又可将排土场的重建分为三类：第一类，含基岩和硬岩较多的废石场的生态重建。此类排土场位于土源缺乏区，由于含有较多的基岩和硬岩不利于植被生存，重建时利用废弃物如岩屑、尾矿、炉渣、粉煤灰、淤泥垃圾等作充填物

料种植龙逆性强的树种。第二类，地表土较少及岩石易风化的废石场的生态重建。此类废石场位于丘陵地带，合表土较少，又难以采集到覆盖的土壤。但其岩石易分化，因此在重建时，稍作平整就可直接种植抗逆性强、速生的林草。第三类，表土丰富的矿区排土场(废石场)的生态重建。此类排土场(废石场)地表土源丰富，重建时直接取土覆盖，进行农林种植。

6.1.3 尾矿场的生态重建

尾矿场生态重建的内容包括尾矿场土壤的改良、植物的筛选与种植以及配置模式的选择。

由于尾矿的机械组成单一，持水持肥力差，pH 呈酸性、碱性，又含有过量的重金属及盐类，对植物的生长定居不利，因此生态重建时必须进行改良。一般对于呈酸性的尾矿、用石灰中和；对呈碱性的尾矿，用石膏、氯化钙作调节剂；对含毒重金属的尾矿，采用铺盖隔离层、覆土的方法。

在植物种选择上，筛选生命力强，耐贫瘠的乡土树种，适当引入外来植物种。

尾矿上植物种植方法有种子直播，也可采用实生苗穴植。配置模式有林草型、草果型、农林型等。

由于尾矿场的条件及各矿山经济条件不同，我国矿山尾矿场的生态重建可分为覆土和不覆土两种类型。不覆土重建的尾矿场多位于土源缺乏的地区，重建时节省了覆土的工程，但可选择的植物种有限，又需要较多的田间管理。覆土重建的尾矿场位于有土源的地区，覆盖上层厚度一般在 50cm 以上。南方矿区土源缺乏，一般将剥离的表土单独存放，待尾矿干涸后，再将其覆盖在尾矿上。

6.1.4 矸石山生态重建

矸石山是煤炭采矿和选矿中产生的废石堆积而成的，也可以作为尾矿的一种。矸石山生态重建以人工绿化为主。目前主要的植被恢复技术有：

(1) 矸石山整地和侵蚀控制技术。为了解决矸石山机械组成较粗，保水性差的问题，采用穴状整地和梯田整地，在整地的时间上采用秋整春种的方式。

(2) 酸性矸石山改良技术。为了中和矸石自燃后产生的酸性和强酸性，一般采用 CaO 或 CaCO₃，将其破碎后均匀撒入矸石场，用量依矸石的 pH 和中和材料的纯度以及矸石层的深度来定。

(3) 覆土技术。为了解决矸石山养分贫乏、地表高温的问题，根据矸石山表面的风化程度，分别采用不覆土直接种植、覆薄土(5~10cm)、覆厚土(50cm)的方法。

(4) 矸石山种植技术。在种植方式上，针对不同的植物种，采用不同的种植方式。对落叶乔、灌木采用少量配土栽植；对常绿树种采用带土球移植；对花草等草本植物采用蘸泥浆和拌土撒播。此外，有些落叶乔、灌木如火炬树、刺槐等，在种植前采用短截、强剪或截干的措施。

6.1.5 塌陷区的生态重建

塌陷区生态重建的目标有农业、建筑、水域(鱼塘、公园、水库)等。不同的塌陷类型采用不同的重建模式。目前重建利用的方向趋向于综合利用。根据塌陷地生态环境破坏的结构类型、塌陷区生态重建模式可以归纳为以下几种:

(1) 非积水稳定塌陷地农业综合开发模式。将煤矸石、粉煤灰或其他物质(河、湖淤泥)充填于塌陷区内,整平覆土用于农业、林业的种植。此外,也可不充填,直接将塌陷地边坡修整为梯田或坡地重建为保水、保土,农果相间的陆地农田生态系统。

(2) 非积水稳定塌陷地建筑开发与建筑用地重建模式。

(3) 季节性积水稳定塌陷地农、林、渔综合开发生态重建模式。采用挖深垫浅的方法,将塌陷下沉较大的土地挖深,用来养鱼、栽藕或蓄水灌溉,用挖出的泥土垫高下沉较小的土地,使其形成水田或旱地,种植农作物。

(4) 常年浅积水稳定塌陷地渔、林、农生态重建模式。此类塌陷地重建方向以养鱼为主,兼顾发展农林业,重建的工程措施为挖深垫浅。

(5) 常年深积水稳定塌陷地水产养殖与综合开发重建模式。此类塌陷地除发展渔业外,大面积的深水沉陷地还可以建立水上公园、污水处理场、水库等。

6.2 国外矿山土地复垦及生态恢复概况

国外土地复垦工作起步较早,且各有特色。

美国西弗吉尼亚州,1939年首先颁布了第一个管理采矿复垦工作的法律—《复垦法》。1977年8月3日,国会通过并颁布第一部全国性的土地复垦法规《露天采矿管理与土地复垦法》,使美国土地复垦工作走上正规的法制轨道。

美国国土面积辽阔,土地资源丰富,农用土地多,人均国土面积 4hm^2 左右,耕地 0.79hm^2 ;而我国人均国土面积 0.87hm^2 ,耕地 0.088hm^2 。美国各类矿山破坏土地320万 hm^2 ,高于我国200万 hm^2 的估计数。美国煤矿开采破坏占总数85%左右。按《复垦法》规定,需边开采边复垦,复垦率要求达100%,现已达80%以上,远高于我国。

美国土地复垦的含义远比我国的含义深、广。美国矿山复垦后并不强调农用,而是强调恢复破坏前的地形地貌,要求农田恢复到原农田状态,森林恢复到原森林状态,防止破坏生态,把环境保护提到极高的地位或看作惟一的复垦目的。它要求控制水流的侵蚀和有害物质沉积;保持地表原状和地下水位;注重酸性和有害水的预防和处理;保持表土仍在原位置;防止矸石和其它固体废物堆放后滑坡;消除采矿形成的高墙(90° 陡坡),使其恢复到近似等高的状态;要恢复植被,成为水生动物、陆地野生动物栖息场所。

在英国,立法、执法严格,采矿后必须复垦,复垦资金来源明确,复垦成绩显著。1993年露天矿已复垦5.4万 hm^2 ,用于农、林业,重新创造了一个合理、和谐、风景秀丽的自然环境。露天矿采用内排法,边采边回填,再复垦,覆土厚1.3m(上表层为30cm耕作层),复垦时注意地形、地貌,形成一个完美的整体。

在法国，由于工业发达，人口稠密，故对土地复垦工作要求保持农林面积，恢复生态平衡，防止污染。他们十分重视露天排土场覆土植草，活化土壤，经过渡性复垦后，再复垦为新农田。为使复垦区风景与周围协调，还进行了绿化和美化。在进行林业复垦时，分三个阶段完成：一为实验阶段，研究多种树木的效果，进行系统绿化，总结开拓生土、增加土壤肥力的经验；二为综合种植阶段，筛选出生长好的白杨和赤杨，进行大面积种植试验(包括增加土壤肥力、追肥和及时管理等内容)；三为树种多样化和分阶段种植阶段，如在沙滩上造林，用白杨作屏障防护林，采场边坡种植根系发达的树木，以保护边坡；并合理安排林、农业，种植一些生命力强的树木、作物。

澳大利亚是矿业为主的国家，是世界上利用先进技术成功处理扰动土地的国家，复垦由政府出资进行，已成为开采工艺的一部分。

澳大利亚矿山复垦特点之一是采用综合模式，实现了土地、环境和生态的综合恢复，它克服了单项治理带来的弊端。另一特点是多专业联合投入，包括地质、矿冶、测量、物理、化学、环境、生态、农艺、经济学，甚至医学、社会学等多学科多专业。再一特点是高科技指导和支持。卫星遥感提供复垦设计的基础参数并选择各场地位置，计算机完成复垦场地地形地貌的最佳化选择，以及最少工程量的优化选择和最适宜的经济投入产出选择，即费用—效率优化方案。高科技成果为矿山复垦提供了各种先进设备，借助先进设备进行生态恢复过程中的观测。分子生物学和遗传学用于设计新的速生、丰产树种和草类，高科技的引入产生了高效益的复垦。

前苏联，1954年开始立法，1968年将其具体化，促进了土地复垦的综合科研、科学论证。其土地复垦过程分为工程技术复垦和生物复垦，它包括一系列恢复被破坏土地肥力、造林绿化、创立适宜人类生存活动景观的综合措施。农业、林业复垦是最普遍的，广泛采用的是土地开发最可靠、最经济的林业复垦，他们尽力利用自然条件进行人工林营造，可以降低人工林的投入。

上述国家的矿山复垦工作开展得较早且比较成功，注意恢复土地生产性能。生物复垦技术先进。美国、澳大利亚更注意环境效益的改善，矿区生态平衡的恢复，并积极研究应用微生物复垦。

6.3 国内矿山土地复垦及生态恢复存在的问题

我国矿山复垦率很低，总体上复垦的土地面积只占应复垦土地面积的10%，比国外的矿业大国50~60%以上低许多。与发达国家相比我国矿山土地复垦研究工作存在的主要差距有：

(1) 复垦技术的研究只限于一些基本途径的研究，单一用途的复垦，没有根据整个矿区的条件，按照生态学、生态经济学原理，进行多业、综合、协调并能控制水土流失的生态复垦研究，致使复垦区生态环境改善不明显，复垦环境效益较低。

(2) 土地复垦途径研究多为工程复垦技术研究，生物复垦技术研究少，使农林复垦土地生产力低，经济效益较差。

(3) 矿山废石或矸石、尾矿及废水、废气是矿山生态系统破坏的主要污染源。一些新方法尚在局部探索实践，如从理论上研究如何减少土地破坏，减少剥岩数量；尾矿的综合利用和复垦；尾矿水的净化、回收、循环和再利用技术等。没有从生态学理论高度，综合研究减少废石生产，抑制污染源，进行生态恢复和治理，使矿山重建生态系统的方法。

七 标准的内容结构

本标准主要包括以下13个部分的主要内容：

- (1) 主题内容与适用范围：本标准的主题内容与适用范围。
- (2) 规范性引用文件：本标准中引用的标准、规范等。
- (3) 术语和定义：本标准中关键词语的解释
- (4) 矿山生态保护与恢复的规划设计的要求
- (5) 土壤采集与堆存
- (6) 土壤侵蚀防治
- (7) 场地整治（处理）与土壤铺覆
- (8) 土壤改良
- (9) 水资源保护与供水补偿
- (10) 积水坑整治利用
- (11) 污染防治
- (12) 植物种植
- (13) 标准实施与监督

八 主要条文说明

本标准主要包括以下13个部分的主要内容，各部分的主要条文说明如下。

8.1 主题内容与适用范围

本标准所称矿山采矿生态保护与恢复，是指对各种矿山开采过程中受损生态系统（包括采矿场、排土场、塌陷地、尾矿场等），采取人为的促进措施，恢复一个符合生态规律和当地社会经济发展需要的可持续生态系统，包括农田、林地、草地、水域、湿地、景观等生态系统。

本标准规定了矿山采矿过程中的生态保护与恢复的规划设计，土壤采集与堆存，土壤侵蚀防治，场地整治（处理）与土壤铺覆，土壤改良，水资源保护与供水补偿，积水坑整治利用，污染防治，植物种植等矿山开采全过程的生态保护与恢复的技术要求。

本标准适用于煤矿、金属矿、非金属矿、砂石矿等矿山的采矿过程中生态系统的保护和受损生态系统的恢复。不适用于非固体矿山以及从事放射性矿产、河道海洋矿产开发的矿山企业。

8.2 规范性引用文件

本部分为在矿山生态保护与恢复的规划设计、采矿生产、破坏土地的生态恢复过程中所需要遵循的相关标准和规范。这些标准和规范的有关条文将成为本标准的组成部分。

8.3 术语和定义

本部分为执行本标准制定的专门的术语和对容易引起歧义的名词进行的定义。如：

土地复垦：我国1989年生效实施的《土地复垦规定》，将土地复垦定义为：“对生产建设过程中，因挖损、塌陷、压占等造成破坏的土地，采取整治措施，使其恢复到可供利用状态的活动（国务院，1988年）”但也有专家将土地复垦的定义表述为：对采矿等人为破坏的土地，采取整治措施，因地制宜地恢复到可供利用的期望状态的行动或过程。其目的是：再生利用土地、恢复生态平衡，使生产建设得到健康发展的同时，土地资源和环境也得以保护和持续利用（胡振琪，1999）。另外一种表述为：土地复垦是对地球表层的陆地部分（包括海洋滩涂和内陆水域）中由于人为或自然营力原因遭到直接或间接破坏而丧失了原有利用价值的部分，采取各种技术和相关措施，使之恢复到可供人类持续、高效利用状态的行为（张国良，1999）。

本标准中沿用《土地复垦规定》中对土地复垦的定义。

生态重建：“生态重建”则是随着人们对土地复垦的认识更深入、更全面的基础上由环境和生态学界在近10年来提出的概念，有时又称之为“生态恢复”。所谓生态重建有专家将其表述为：“对采矿引起的结构缺损、功能失调的极度退化的生态系统，借助人工支持和诱导，对其组成、结构和功能进行超前性的计划、规划、安排和调控，同时对逐渐逼近最终目标这一逆向演替过程中可能出现的各种问题，进行跟踪评估并匹配相应的技术经济措施，最终重建一个符合代际需求和价值取向的可持续发展的生态系统”（白中科等，1999）。但也有另外一种表述是：“对采矿引起的土地功能退化、生态结构缺损等问题，通过工程、生物及其它综合措施来恢复和提高生态系统的功能，逐步实现矿区的可持续发展功（张杰等，2002）。还有的将采矿地的治理概括为“生态重建”（ecological reconstruction），并以此取代“复垦”和“reclamation”（徐嵩龄，1994）。还有另一种表述则认为：“生态重建是按照景观生态学原理，在宏观上设计出合理的景观格局，在微观上创造出合适的生态条件，把社会经济的持续发展建立在良好生态环境的基础上，实现人与自然的共生，它涵盖了复垦以外的社会、经济和环境的需要”（龙花楼，1997）。而美国生态重建学会1994年将生态重建定义为：“将人类所破坏的生态系统恢复成具有生物多样性和动态平衡的本地生态系统。其实质是将人为破坏的区域环境恢复或重建成一个与当地自然界相和谐的生态系统。”

生态恢复：生态恢复是协助退化的、受损的、被破坏的生态系统恢复的过程。将人类所破坏的生态系统恢复成具有生物多样性和动态平衡的本地生态系统。其实质是将人为破坏的区域环境恢复或重建成一个与当地自然界相和谐的生态系统。其内涵与生态重建基本一致。

在本标准中对“生态恢复”的定义和“生态重建”的内涵是一致的。即是：协助退化的、受损的、被破坏的生态系统恢复的过程。其实质是将人为破坏的区域环境恢复或重建成一个与当地自然界相和谐的生态系统。

8.4 矿山生态保护与恢复的规划设计的要求

8.4.1 本条是对矿山开采前生态恢复规划设计工作收集区域自然环境和社会经济环境资料的要求。

8.4.2 矿山生态恢复规划设计工作需了解矿山发展规划以及需进行生态恢复土地的现状或规划状况，才能有的放矢，切合实际，兼顾未来发展。如待生态恢复土地的基本状况：位置、面积、人工地形形成、植（作）物自然长势，破坏土地的当前与远景利用，有无表土资源，浸渍、干涸、侵蚀过程、土壤污染程度等，需要了解清楚。

8.4.3 待恢复土地主要恢复成那一类的生态系统需要考虑的因素除了场地的立地条件外，还要与采矿生产的总体布局以及景观设计相协调。

8.4.4 矿山生态恢复规划设计应对矿山排弃物的物理、化学以及工程力学性质有一定的了解。

8.4.5 地表基底是生态系统发育与存在的载体，基底不稳定（如滑坡），就不可能保证生态系统的持续演替与发展。标准要求生态恢复场地及边坡稳定性可靠。

8.4.6 本条对生态恢复场地的排水设施，防洪设施提出了要求。

8.4.7 本条对生态恢复场地控制水土流失提出了要求。

8.4.8 本条对生态恢复场地控制污染措施（空气污染、地表水污染、地下水污染等）提出了要求。

8.4.9 本条对生态恢复场地道路、排灌系统布置的合理性提出了要求。

8.5 土壤采集与堆存

8.5.1 土壤采集

8.5.1.1 土壤采集的区域

除露天采空区和塌陷地重建为水域外，对采矿破坏地进行生态恢复和重建，需要在废弃地上覆盖土壤。土壤的形成十分缓慢，约100年才能生成5~20 mm厚的土层。因此，矿区土壤是十分宝贵的资源。对矿区将要受到破坏的场地，应尽量单独采集和保存原有土壤，以备生态恢复之用。对于废弃物堆场（排土场、尾矿场），单独剥离土壤除了可保存土壤资源外，还有助于场地基底的稳定。

矿山开发造成土地资源的破坏，除了采场、排土场、尾矿场外，还有工业场地（采矿工业场地、选矿厂、炸药库等）、民用建筑（行政、生活福利设施等）和道路等。对各类建设用地，一般都有必要在建设之前单独剥离土壤。

8.5.1.2 例外情况

有的矿山原地表土壤比较贫瘠，或物理性状差，利用适当的剥离物料构筑土壤，能够获得与原土壤相等甚至更高的生产力，而且矿区范围内这样的替代物料数量充足。这种情况在我国黄土地区普遍存在，这些地区地表土壤因长期遭受严重侵蚀，土壤养分含量低下，且结构松散，而剥离物中的黄土母质丰富，利用黄土母质构筑土壤，其生产力可等于或高于原地表土壤。山西孝义铝矿地表土壤为马兰土，其漏水漏肥严重，抗蚀性、抗冲性差，而剥离物

中黄土资源丰富，而且其中马兰黄土松散透气性好，离石黄土粘粒含量高，具有较好的保水保肥性能，在排土场生态恢复中构筑土壤层时选用剥离物中的马兰土与离石土以3：7的比例相混合，再加上来自剥离物中的少量煤粉，种植的农作物单产接近或超过了当地平均单产（表8.5-1）。内蒙古黑岱沟露天煤矿地表土壤以黄绵土和风沙土为主，这两种土壤结构松散，质地较粗，肥力低下，有机质平均含量0.5%，全氮、速效磷、速效钾含量都较低。利用剥离土和未剥离地段上的原生地表土进行的盆栽植物试验表明，植物在原生地表土中的生长情况与剥离土中的情况无明显差别（表8.5-2）。而上覆黄土层厚度约51 m，黄土资源丰富。根据这种情况，在采矿剥离时没有对原地表土壤进行单独剥离，而是利用剥离物替代原地表土壤进行生态恢复。山西安太堡露天煤矿也对表层黄土不实行单独剥离存放，而采用黄土母质直接铺覆地表进行复垦种植，土壤肥力和生产力在短期内就可高于原表土（表8.5-3）。

表8.5-1 孝义铝矿剥离黄土覆盖生态恢复区与周边地区作物单产比较 单产单位：kg·亩⁻¹

作物种类	剥离黄土覆盖生态恢复区	周边地区
小麦	168	100~200
谷子	250	120~200
玉米	247~460	250~400
大豆	114~152	100~150

资料来源：王文彬等，2004

表8.5-2 黑岱沟露天煤矿不同土壤及处理对植物生长的影响

土壤	植物生长高度/cm		植物地上部干重/g	
	谷子	紫羊茅	谷子	紫羊茅
原生地表土(20cm)	17	5	11.0	7.5
剥离土+粉煤灰+羊粪	50	9	39.3	15.9
农作物残茬土	23	4	8.2	2.3
沙打旺残茬土	47	8	23.0	10.4
剥离土	16	5	4.4	5.8

注：5月23日播种，7月14日测植物高度，9月17日测植物干重。资料来源：李青丰等，1996

表8.5-3 安太堡露天煤矿黄土母质铺覆地栽植牧草4年后肥力变化情况

	有机质 /g·kg ⁻¹	全N /g·kg ⁻¹	速P /mg·kg ⁻¹	细菌 /个·g ⁻¹	真菌 /个·g ⁻¹	放线菌 /个·g ⁻¹
废弃地	3.2	0.26	3.93	0.45×10 ³	4×10 ²	—
黄土母质铺覆地	6.4~7.2	0.28~0.54	5.24~11.75	1.05×10 ⁷	343×10 ²	3.49×10 ⁵
原耕地	6.0~10.0	0.50~0.75	3~10			

资料来源：白中科等，1998。

除黄土地区外，其他地区也存在这种情况。据祝怡斌等（2001）对安徽马鞍山姑山铁矿进行的采场剥离流沙、当地自然表土和尾砂的理化特性分析及温室种子（包括黑麦草、高羊茅、白三叶草和普通早熟禾）发芽试验，流沙和自然表土理化特性比较接近，苗的长势也接近，都明显优于尾砂。

在以上情况下，对矿山破坏地的原地表土壤没有单独采集的必要或单独采集的必要性不大，而可利用适当的剥离物替代原土壤。以上几个矿区的实践证明，这样做并不影响废弃地

的生态恢复，而且可节省大量的二次倒土和表土保存管理费用，如安太堡矿首采期（5年）不进行30 cm表土单独剥离，就可节约100万元（白中科等，1998）。美国的露天采矿环境保护标准中的“永久计划实施标准”也规定：“如果矿主向管理当局证实，利用适当覆盖层物料替代表土或作为表土的补充物所产生的土壤介质，具有与现有表土相等或更好的支持植物生长的能力，而且所产生的土壤介质是许可区内能取得的支持重新植被的最好介质，则可选择此类覆盖层物料来替代表土或补充表土数量的不足。”

8.5.1.3 土壤采集层次和厚度

土壤剖面从上至下可分为表土层、心土层和底土层。按照土壤的发生层分别采集，按原来的土层顺序在废弃地上铺覆土壤层，当然是最好的，但这样做的成本也高。我国铝矿山和露天煤矿的有关标准中，均规定应对表土单独收集，没有规定对各土层分别采集。然而，实际上土壤的厚薄和肥力情况千差万别，在实践中，往往根据土壤的具体情况，采取分层剥离、混合剥离或只对表土进行剥离。对耕地来说，多数情况下需要分层剥离，而对于自然土壤，一般只需对表土单独剥离。

(1) 耕地的土壤采集

经过长期人为耕作形成的优质耕地（一般指水田和一些优质旱地），它们不仅有肥沃的表土层，而且其心土层也具有某些有利于作物生长的性状。对于优质耕地，分别对表土层（包括耕作层和犁底层）和心土层进行剥离和铺覆，对恢复地生产力的保持具有重要作用。据陕西安康金矿进行的保表复垦（即表土单独剥离与铺覆）与混合复垦（即耕层与心土层混合剥离与铺覆）的对比试验，在不施肥的情况下，保表复垦水稻、小麦和玉米的单产比混合复垦分别高112.7%、32.3%和69.6%（表8.5-4）。因此，在优质耕地上进行露天采矿活动，应对表土层（耕作层和犁底层）和心土层分别实行单独剥离。陕西安康金矿（对稻田和优质旱地）、广东坂潭锡矿对采矿区耕作土壤的剥离，都采取了表土和心土分层剥离的做法（艾满乾，1994；黄玉山，1991）。美国的露天采矿环境保护标准也是这样规定的，即在优等农田（Prime farmland）上的采矿活动，要求将表土和下面的心土、底土分别单独剥离和回填。

表8.5-4 安康金矿不同复垦方式下的作物产量

作物种类	混合复垦单产/kg·hm ⁻²	保表复垦单产/kg·hm ⁻²	保表复垦比混合复垦单产增加/%
水稻	2355	5010	112.7
小麦	975	1290	32.3
玉米	1185	2010	69.6

资料来源：赵世伟等，1993。

耕作土壤的表土层厚度一般为20~30 cm，包括耕作层（厚15~20 cm）和犁底层（厚5~10 cm）。由于受人为耕作影响，表土厚度差异不大，即一般不会出现表土层太薄或不均匀而不便于单独剥离的情况。从我国典型矿区优质耕地表土剥离实践来看，表土剥离厚度为原有表土的厚度，其数值在19~50 cm之间，一般为30 cm左右（表8.5-5）。《山东省土地复垦管理办法》规定：“建设占用耕地，需将所占耕地地表耕作层剥离，用于土地复垦。耕作层剥

离的深度一般不少于30 cm”。因此，对优质耕地的表土剥离，剥离的厚度应为表土实际厚度，一般情况下不少于30 cm。

表8.5-5 我国部分矿区耕作土壤表土剥离厚度

矿山名称	耕作土类型	剥离厚度/cm	资料来源
陕西安康金矿	水稻土	30	赵世伟等, 1993
广东派潭钨铌矿	水稻土	30~50	郭建平, 1990
广东坂潭锡矿		20~40	黄玉山, 1991
广西平果铝土矿(二期)	旱作土	19	袁义高, 1997

美国对需要进行分层剥离和回填的优等农田，规定了一系列标准进行界定，而且自然资源保护局（Natural Resources Conservation Service, NRCS）会发布和更新优等农田的清单。我国则划定有基本农田。虽然划分基本农田时并不是完全根据耕地的质量，但基本农田基本上可看作为优质农田。因此，本标准将需对表土层和心土层分别单独剥离的“优质耕地”界定为“基本农田”，这样规定比较便于操作。

质量较差的耕地一般是耕作时间不长的旱地。如陕西安康金矿靠近河岸的沙黄土和砾质砂土等，由于受近代河流淤积影响较大，土壤发育进程常被洪水淤积所打断，发育层次不明显，而不同质地的沉积、淤积层次仍然保存在剖面中，砂、粘相间或砾砂混杂，土层较薄，一般在0.7~1.2 m；养分分布无规律，有的剖面下部埋藏的老表土，养分含量甚至高于现代耕作的表土层（赵世伟等，1993）。由于土层薄，剖面发育不明显，养分分布无规律，对土壤进行分层剥离的意义不大，这种情况下宜将整个土壤层进行混合剥离，这样做对表土层的理化性状影响不大，但节约了剥离成本。安康金矿对河漫滩地和质量差的旱地的土壤剥离，就采取了这种混合剥离方式（艾满乾，1994）。

（2）自然土壤采集

在自然土壤各发生层中，表土最为重要。利用矿区原表土覆盖，是采矿废弃地恢复生产力的最简单有效的措施。据黄义雄等（2003）在福建省闽清县白中镇普贤村高岭土矿废弃地排土场进行的生态恢复试验，种植植物3年后，用表土填穴的小区上植被覆盖度达到58%，种植的马尾松、胡枝子和香根草成活率分别为85%、55%和100%，而未用表土填穴、直接种植的小区植被覆盖度为45%，3种植物成活率分别为58%、35%和95%，可见表土覆盖对废弃地生产力恢复的作用十分明显。因此，一般应对自然土壤的表土层进行单独剥离。

自然土壤的表土层厚度随土壤类型、地形坡度、植被状况等而异，有的超过1 m，有的不足10 cm，有的表土层因严重侵蚀而丧失殆尽。由于植物生长介质层需要有一定的厚度，才能有利于植物的生长，在表土层较薄的情况下，仅用剥离表土铺覆还不够，而表土层以下紧挨的松散物也是具有一定肥力的，虽不能与表土相比，但也是一种宝贵的“生产力”；况且，对于表土层很薄的地区，生态恢复时常作为林业用地，土地利用对土壤肥力要求不严。因此，将其与表土混合剥离，作为土壤重构的覆盖物料，可缓解生态恢复时土壤不足的问题。为此，自然土壤的采集也分两种情况：对表土层较厚的，采集表土层；表土层较薄的，将表土及其

下面紧挨的一定厚度的松散物进行混合采集。也就是说，自然土壤的采集应有一个最小厚度，当表土厚度小于这一值时，可将表土之下紧挨的一定厚度的心土层当作表土，使剥离土层达到最小剥离厚度。

确定土壤最小剥离厚度，可从以下几方面考虑：(a)种植植物时所需的覆土厚度。我国的《土地复垦技术标准》中的“采挖废弃土地复垦技术标准”提出的种植树、草时的最小覆土厚度，除易风化废石堆场在风化层厚度超过0.1 m情况下可不覆土外，其他情况下在0.2~0.5 m之间。虽然矿区范围内需要剥离土壤的区域和需要覆盖土壤的生态恢复区域的面积并不相等（如居民区、商业区可能成为永久性的建设用地，露天采矿场可能重建为水域或其他不需回填土壤的土地利用类型），但二者相差不大。因此，从种植植物所需的覆土厚度范围考虑，土壤最小剥离厚度可在0.2~0.5 m之间选择。(b)有关学者提出的土壤适宜剥离厚度。目前在有关科研文献中所提到的土壤适宜剥离厚度，有如下三个数字：0.15~0.30 m（李根福，1991）；不大于0.5 m（杨选民，1997；高更君等，1999）；20~30 cm（胡振琪，1997）。(c)国外的规定。美国的露天采矿环境保护标准中的《永久计划实施标准》规定：“所有表土均应从即将受扰地区单独剥离”，“如表土层厚度小于6英寸（约15 cm），矿主可将表土和其下紧挨的松散物剥离，将混合物作为表土”。这相当于规定了一个最小剥离厚度。

综合上述各方面，确定土壤最小剥离厚度为20 cm。即一般情况下，对矿区所有将受到破坏地区的自然土壤的表土层，应单独剥离；如果表土层厚度小于20 cm，则将表土层及其下面紧挨的心土层一起构成的至少20 cm厚的土层进行单独剥离。

8.5.2 土壤堆存

土壤采集应尽量和生态恢复工作相衔接，将采集下来的土壤直接运往整治好的废弃场地上铺覆。这是因为，剥离土壤长期闲置堆放，风蚀、淋蚀等因素都会使土壤的肥力丧失。在有的情况下，土壤剥离后还没有形成需要铺覆土壤的废弃场地，此时需要将土壤暂时贮存一段时间。土壤堆存的要求，主要是为了减少土壤生产力的损失。

(1) 堆放场地的选择，主要是为了避免土壤遭受侵蚀和人为压实：①地势较高，没有径流入或流过堆土地地，是为了减轻流水侵蚀；②避免主导风，是为了减轻风蚀；③不应位于计划中将受施工破坏的地段或靠近卡车拖运道，并防止机器和车辆等的进入，是为了防止土壤受到施工扰动和机械压实。

(2) 土堆不宜太高。土堆太高，将影响土壤中微生物活性、土壤结构、土壤养分等。关于土堆高度的要求，依据以下两方面进行确定：①有关论文论著中关于土壤堆存高度的建议值。李根福（1991）提出，土堆高度不宜超过5 m，含肥岩土堆高度不宜超过10 m。②地方的相关规定。《抚顺市乡镇集体和个体露天矿场安全生产暂行规定》从安全生产的角度，规定排弃土壤堆高不超过10 m。《吉林省砖瓦生产企业采土场安全生产管理暂行办法（试行）》也从安全生产的角度对土方高度进行了规定：“采出土方不能及时运出需在现场堆积的，……且土堆高度不超过4米。”根据上述两方面，确定土壤堆存高度为不超过5 m。

(3) 土堆边坡不宜太陡，并采取临时围护措施，以防止水土流失。

(4) 堆存期较长时，在土堆上播种一年生或多年生的草类，这是保存土壤中肥力较有效的方法。据澳大利亚学者研究，堆存期超过6个月的剥离表土对植物种子和微生物不利（李根福，1991）。因此，如果土壤堆存时间超过6个月，应在土堆上立即种植草类。

8.6 土壤侵蚀防治

按照国家标准GB 50433—2008《开发建设项目水土保持技术规范》和GB 50434—2008《开发建设项目水土流失防治标准》，建设或生产过程中产生水土流失的开发建设项目，都应当符合这两项标准的要求。排土场、尾矿场、塌陷地和露天采矿场是矿山产生土壤侵蚀的最主要场所，而且具有一定的特殊性。因此，本标准对这些场地的土壤侵蚀防治提出了一些有针对性的要求。

8.6.1 非水力排土场土壤侵蚀防治

按照运输方式，排土场包括铁路排土场、汽车排土场、胶带机排土场、水力排土场和人造山。其中，水力排土场的特点与尾矿库相近，其土壤侵蚀防治要求可参照尾矿库。因此，在土壤侵蚀防治方面，将排土场分为非水力排土场和水力排土场2类。

排土场的土壤侵蚀形式包括滑坡、泥石流、水蚀和风蚀，主要的防治措施包括：基底处理；截排水；合理排土；边坡防护；拦渣；植被。不同侵蚀形式的防治措施有一些是共性的，如防治滑坡、泥石流和水蚀，都需要进行截排水、边坡防护、拦渣和植被，防治各种侵蚀都需要采取植被措施。因此，关于非水力排土场的土壤侵蚀防治，分别按各种防治措施进行规定。

8.6.1.1 排土场基底处理

基底处理是针对排土场基底软弱等不利于排土场稳定的因素，通过基底处理措施增强排土场基底抗滑力，防止滑坡发生。

按滑动面位置，排土场滑坡可分为3种：第一种为排弃物内部滑动，即滑动面全部产生在排弃物中的滑动；第二种为排弃物沿基底面滑动，即滑动面通过排弃物和基底二者接触面的滑动；第三种为排土场基底滑动，即滑动面通过基底内岩层中的软弱夹层滑动。其中上述第二种类型与基底面因素密切相关，主要有两种情况：一是基底面软弱，抗剪强度和承载能力低，而坡度大，沿软弱基底面发生滑动；二是基底面光滑，摩擦强度低，而坡度大，沿光滑基底面发生滑动。排土场基底处理主要是针对这两种情况。

(1) 基底面软弱、坡度较大的情况

大多数外排土场基底覆盖有植被和一层表土或风化软岩，有些内排土场基底表面存在有被风化而又未清除净的松散物料。表土或风化软岩层抗剪强度和承载能力低，植被被排弃物深埋腐化后也会形成一个软弱层面。当地形较陡时，由于山区自然地表都呈弧状，所排弃的岩土在自重力的作用下与地表的接触摩擦力较小。因此，随着土石排弃量的增大，原植被、表土或风化软岩形成的软弱面极易成为滑动面，造成排土场失稳发生重力侵蚀。这种由于软

土地基承载能力低而导致排土场滑坡的例子屡见不鲜，四川攀枝花朱家包包铁矿（基底面为亚黏土、亚砂土和昔格达层）、兰尖铁矿（基底面为黏土和昔格达层）、东鞍山铁矿、辽宁歪头山铁矿（基底面为耕作土和粉质黏土）、山西安太堡露天煤矿（基底面为黄土状粉土、黄土状粉质黏土、红黏土等）等都发生过大规模的软土地基上排土场滑坡。

对这种情况，可采取的措施一方面是清除软弱层，另一方面是对坡度较大的斜坡进行开挖处理，使之成为阶梯状，增加摩擦力。四川兰尖铁矿尖山第六排土场基底实行清土至基岩并回填块石的地段，五个月位移量7 mm，而未填石地段和未清土地段，在滑体未加载的情况下，五个月位移量达到2.6~3.6 m（攀枝花冶金矿山公司矿山研究所，1990）。可见清除基底软弱层对减轻排土场滑坡的作用极为明显。云南普阳露天煤矿则在三期扩建中，对其新建的1号和2号排土场作了基底坡面整治成台阶状的处理设计（郭锐，2001）。上述实践证明了对排土场基底清除软弱层和整治成阶梯状这两项措施的必要性和适宜性。GB 16423—2006《金属非金属矿山安全规程》对这两方面都作了规定（见下文），GB 50421—2007《有色金属矿山排土场设计规范》第7.0.3条也对后一项措施（即整治成阶梯状）进行了规定：“对稳定性较差的土质山坡，宜采用推土机将原坡推成台阶状，以增加稳定性。”

关于上述两项措施应达到的程度，GB 16423—2006《金属非金属矿山安全规程》第5.7.2条作出了规定：“依山而建的排土场，坡度大于1:5且山坡有植被或第四系软弱层时，最终境界100 m内的植被或第四系软弱层应全部清除，将地基削成阶梯状。”GB 16423—2006的这一规定是从安全生产的角度作出的，而且是关于金属非金属矿山的。但是，在排土场滑坡防治上，安全生产和生态保护是完全统一的，而且只要是山坡排土场，防止滑坡所需的基底处理措施应当是一样的，即上述规定也适用于金属非金属矿山之外的其他山坡排土场。因此，上述规定可为本标准所采用。

但对上述规定，有两个方面需要补充。一是除植被或第四系软弱层需要清除外，内排土场上如存在有风化的松散物料，也需要把这些松散物料清除掉。二是有的排土场基底第四系软弱层较厚，如山西安家岭露天煤矿外排土场基底黄土状粉土层达到40~80 m，大面积清除难度大。此时可在植被全部清理后，对软岩层只进行条带式清理，在清理后的条带中回填块石，形成抗滑带，切断基底的连续滑面，四川兰尖铁矿尖山第六排土场的滑坡治理即采取了这种方法，取得了良好效果（攀枝花冶金矿山公司矿山研究所，1990）。

据此，对基底面软弱、坡度较大的情况，对排土场基底处理可作如下规定：依山而建的排土场，坡度大于1:5，山坡有植被或第四系软弱层，或内排土场基底表面存在松散风化物料层时，最终境界100 m内的植被、第四系软弱层或松散风化物料应全部清除，将地基削成阶梯状；当第四系软弱层太厚、无法大面积清除时，可进行条带式清理，在清理后的条带中回填块石。

（2）基底面光滑、坡度较大的情况

基底面光滑，摩擦强度低，在坡度大时也易发生滑动失稳。如山西安家岭露天煤矿内排

土场基底由深灰及灰黑色砂质泥岩、浅灰色砂砾岩等组成，结构较致密，裂隙发育不明显，但岩性较脆，透水性差，经水流冲刷，形成较光滑岩面（该排土场曾发生过数次小范围的滑动，基底光滑是其中一个因素）。对这种情况，一般对基底采用麻面爆破的方法，增加其粗糙度，提高基底与排弃物料之间的摩擦力。

8.6.1.2 排土场截排水

排土场的水力侵蚀、滑坡和泥石流都与水密切相关。正是由于地面径流的作用导致了排土场的水力侵蚀，而泥石流也是只有在水动力的作用下才会发生，水是排土场水力侵蚀和泥石流发生的必要条件。水对排土场滑坡虽然不是必要条件，但实际上排土场滑坡绝大多数发生在雨季及雨季后的一、二个月，即多发生在7~10月份。降雨量的多少是排土场稳定与否的重要条件。据冶金矿山的调研资料，排土场滑坡约有50%是浸水引起的（金天，1989）。水对排土场滑坡的作用主要表现在：地下水浸润使排弃物料与地基间形成弱层，导致排土场整体或大面积失稳；雨水浸透排弃物料，一方面增加了排弃物的重量，另一方面使堆体的抗剪强度减弱，引起排土场大块段或排土台阶的塌滑；地面积水浸泡、地面径流冲刷堆体坡脚，使排土场容易发生滑坡。

因此，排水对每一个排土场都是必需的。排土场的排水包括：在排土场上方修建截水沟，拦截场外地表水；在排土场内地表修筑排水系统，将排土地表水流引出场外；在排土场基底建设排水暗沟，将排土场基底的地下水疏导出来。

（1）排土场上方截水沟

按照场地地形，排土场分为平地排土场和山地排土场，存在上方来水的是山地排土场。在山地排土场的上方修筑截水沟，对排土场上方的地表水进行拦截，将其引至排土场外的下游沟河，是为了减少排土场内的径流量，从而减轻侵蚀。同时，修建这样的截水沟，使排土场上方的清水和排土场所产生的污水分流，可以减少污水产生。这也是露天矿排土场预防土壤侵蚀、特别是预防重力侵蚀的普遍做法。

我国有关矿山安全的标准和规章从安全生产的方面，规定了在排土场周边应修筑截水设施，以保证排土场的稳定。1983年6月9日国家建材局发布的《建材矿山安全规程》（试行）规定：“废石场周围要修筑拦洪导水或截水排水设施，不允许外部涌水进入废石场。”（第137条第（二）款）。2001年9月发布、第7次修订和2004年11月发布、第8次修订的煤炭行业部门规章《煤矿安全规程》均在各自的第632条规定：“排土场周围应修筑可靠的截泥、防洪和排水设施。”国家标准GB 16423—2006《金属非金属矿山安全规程》（第5.7.19条）规定，排土场防洪，应遵守：“山坡排土场周围，修筑可靠的截洪和排水设施拦截山坡汇水；……”这一规定明确了截洪设施是针对山坡排土场的。GB 50421—2007《有色金属矿山排土场设计规范》第7.0.5条规定：“沿山谷或山坡堆置的排土场，应在场外周边设置截水沟或排洪渠。”

据此，本标准规定，山坡排土场周围应设置截水沟或排洪渠拦截山坡汇水。

关于截水沟设计洪水标准，参照了现有有关标准。GB/T 16453.4—1996《水土保持综合治

理技术规范：小型蓄排引水工程》第4.1.1.1条规定的截水沟设计标准为拦蓄或通过10年一遇24 h最大降雨量所产生的径流。GB 50421—2007《有色金属矿山排土场设计规范》第4.0.7条规定的排土场排洪设施设计频率为：大、中型矿山为1/25，小型矿山为1/15。排土场这类堆积大量剥离物的废弃物堆场，水土流失的强度和危害比一般水土流失地大，因此截水沟设计标准应适当高于GB/T 16453.4—1996所规定的标准，大体上可采用GB 50421—2007中的标准。但对排土场来说，如果截水沟设计标准要分不同情况有所区别，主要应考虑排土场的规模、排土场基底地形地质条件、排土场下方有无直接受威胁的居民区和其他设施等因素。因此，排土场上方截水沟的设计标准可定为可拦蓄或通过15~25年一遇24 h最大降雨量所产生的径流，排土场规模大、基底地形地质条件有利于滑坡和泥石流发生、排土场下方有直接受威胁的居民区和其他重要设施时采用较高标准。

截水沟的用途在于保护排土场不受上游洪水的冲刷，但它本身也造成了生态破坏。当排土场使用完毕后，在有些情况下，如排土场用作工业场地或耕地时，截水沟可能需要保留，而在恢复为林地的情况下，当植被恢复到能有效控制侵蚀、排土场呈现稳定的状况时，截水沟没有保留的必要，此时应对截水沟进行生态恢复。

(2) 排土场内地表排水系统

除了排土场四周的山坡汇水外，排土场自身平台的汇水也必须考虑。排土场局部积水和产生地表径流，不仅造成沟蚀，而且由于径流冲刷坡脚，或坡脚物料浸水后强度急剧下降，或积水渗入深层使堆体抗剪强度减弱，排土场易发生失稳。因此，排土场内修筑地表水排水系统，迅速排泄大量地表径流，是控制排土场水土流失的重要方面。GB 16423—2006《金属非金属矿山安全规程》（第5.7.19条）在排土场防洪中，规定应“在排土场平台上修筑排水沟，以拦截平台表面及坡面汇水”。本标准也作了相同规定。排土场内地表排水沟设计排水标准，采用了与前述排土场上方截水沟相同的标准。

排土平台形成初期存在着十分严重的非均匀性沉降，刚性建筑容易因地面变形而破损。根据山西安太堡露天煤矿的经验，可根据排土场平台的稳定程度，建设永久性硬化排水渠系和临时性非硬性排水渠系相结合的排水系统，即：利用硬化、碾压、稳定不变的路面和区段修筑硬化渠系（浆砌渠、铁丝石筐），排泄大暴雨时的地表径流；对尚未稳定的排土平台，采用易修复的非刚性材料修筑土渠、石砾沟、宽浅干砌渠、土袋等，排泄大暴雨时局部的地面径流，排出径流水可导入硬化渠系中。

排土场平台需整为反坡，使平台外高内低，并保持平整，从而使平台不出现低洼积水，同时使雨水自然流向排土场坡跟处，通过坡跟处的排水沟将水引出场外，防止平台水汇流冲刷边坡。关于排土场保持平整，1981年化学工业部《化学矿山安全规程》（试行）（第425条）、1983年国家建材局《建材矿山安全规程》（试行）（第134条）以及2001年和2004年的《煤矿安全规程》（第632条）都从防止排土场积水的角度进行了基本相同的规定，即排土场必须或应当“保持平整”，不得或不应“有积水”。关于排土场平台反坡，GB 16423—2006《金属

非金属矿山安全规程》第5.7.19条从排土场防洪的角度，规定了“排土场内平台设置2%~5%的反坡”。GB 50421—2007《有色金属矿山排土场设计规范》第7.0.6条规定：“排土场分台阶排弃时，其平台应有2%~3%的逆坡。”参照这些标准，本标准规定了排土场平台应保持平整，并设置2%~5%的反坡。

(3) 排土场基底排水

排土场表面的水会渗流至沟底，排土场基底的山沟中可能也会有地下泉眼，它们会使排土场底部形成较弱的滑动面，影响排土场稳定。因此应在排土场投入使用前，修筑基底排水系统。通常做法是在排土场沟底排弃大块岩石，形成疏水暗沟，或修筑疏干涵洞。云南小龙潭、可保、普阳、先锋等露天煤矿在排土场原地面沟底修筑排水沟或拱形涵洞，都对排土场的稳定起到了重要作用（郭锐，2001；金天，1989）。

我国金属非金属和煤矿的有关规程均对排土场基底排水进行了规定。GB 16423—2006《金属非金属矿山安全规程》第5.7.19条规定：“当排土场范围内有出水点时，应在排土之前采取措施将水疏出；排土场底层排弃大块岩石，以便形成渗流通道。”2001年和2004年的《煤矿安全规程》（第632条）也作了类似的规定：“当排土场范围内有出水点时，必须在排土之前用盲沟等方法将水疏出。”GB 50421—2007《有色金属矿山排土场设计规范》第7.0.3条规定：“对松软潮湿土宜在堆排土之前挖渗沟疏干基底，倾填块碎石作垫层，以利排水。”该标准第7.0.11条规定：“排土场内的地下水和滞留水，在排弃物透水性弱、对稳定性不利情况下，应根据潜水大小，采用盲沟、透水管或涵洞形式将水引出场外。”

美国的露天采矿环境保护标准对于排土场的排水，也作了与我国上述标准相似的规定：“如果剥离物处置区含有泉水、自然或人工河道或雨天小水潭（wet-weather seep），则设计中应包括为控制侵蚀、防止水渗入处置设施和保证稳定性所需的导流工程和地下排水沟。”同时，美国的标准还对排水系统的构筑规定了以下要求：(a)地下排水沟应由坚固的岩石或管道构成；(b)地下排水系统的设计排水能力，应达到能将降雨所带来的预期渗流从排土场和处置区基底的小水潭和泉中排走的要求，并应有过滤设施保护排水系统；(c)建设岩石地下排水沟所使用的材料，应为不会在水中崩解、不会降解为土壤物料且不含煤、黏土或其他不坚固物料的坚固、非酸性、无毒的岩石（如天然的沙子和砾石、砂岩、石灰岩或其他坚固岩石）。(d)穿孔管地下排水沟应能抗腐蚀，且具有与排土场长期寿命相一致的特性。

根据我国现有相关标准的规定，借鉴美国的经验，本标准对排土场基底排水系统作了如下规定：(a)当排土场原地面范围内有出水点时，必须在排土之前在排土场沟底修筑疏水暗沟、疏水涵洞等将水疏出；(b)建设岩石地下排水沟所使用的材料，应为坚固、非酸性、无毒的岩石；(c)地下排水系统的设计排水能力，应能将降雨所产生的预计渗流从排土场排出。

8.6.1.3 合理排土

覆盖层通常包括土壤、岩石和岩石风化物，排土场散体是覆盖层经爆破、装运后重新堆置而成的。如果堆置不合理，就有可能在排弃物料和排土场基底之间，或排土场内部形成软

弱层，导致排土场失稳，发生重力侵蚀。采取的措施主要有：排土场底部和边坡底部排弃坚硬岩石；控制排土段高；多点排弃等。

(1) 排土场底部和边坡底部排弃坚硬岩石

将较坚硬的大块岩石排弃在排土场底层，有利于排土场底部疏干排水，又能增大排弃物料与基底之间的摩擦系数，对稳定排土场有良好的作用。我国金属非金属和煤矿的有关规程均对此作了规定。GB 16423—2006《金属非金属矿山安全规程》第5.7.19条规定：“排土场底层排弃大块岩石，以便形成渗流通道。”2001年和2004年的《煤矿安全规程》（第632条）规定：“高台阶、多台阶排土场应在最下层排弃中硬以上岩石。”GB 50421—2007《有色金属矿山排土场设计规范》第7.0.3条规定：“合理安排排土顺序，应将大块石堆置在最底层以稳定基底或把大块石堆在最低一个台阶。”

边坡底部排弃较坚硬的大块岩石，覆盖坡脚，有利于边坡的稳定。

(2) 控制排土场堆置高度和台阶高度

当排土台阶高度超过稳定值时，将随时发生失稳现象。排土台阶的稳定高度与剥离物的物理力学性质、运输及排弃方式、设备类型以及自然条件有关，应根据这些因素来确定。GB 50421—2007《有色金属矿山排土场设计规范》第6.0.2条规定了排土场堆置总高度的计算公式及不同排土方式和岩土类别的堆置台阶高度。根据条文说明，该规定实际上来自1991年出版的《采矿手册》第3卷第12章“露天排土工程”，因此不仅适用于有色金属矿山，也适用于其他露天矿。

(3) 多点排弃

现代化的大型露天矿，因排弃速度远远大于岩土的自然沉降速度，故往往造成排土场尚未形成就发生整体失稳，甚至无法继续排弃。采用多点排弃的方法，可延长排土场各部位沉降压缩过程。雨季排弃时，岩土含水量高，多点排弃还可延长稀湿物料的风干排水时间，有利于疏干水分。如云南小龙潭露天煤矿龙桥排土场将稀湿物料交替排弃于上排和下排排土线上，降低了物料的含水量（郭锐，2001）。

8.6.1.4 边坡防护

边坡防护包括修建挡墙、削坡开级、工程护坡、植物护坡、坡面固定和滑坡防治专门措施。这些措施的适用条件和设计要求在GB 50433—2008《开发建设项目水土保持技术规范》中进行了规定，这些规定也适用于排土场的边坡防护。

8.6.1.5 拦渣

排土场使用过程中，排土场表面的水力侵蚀是不可避免的，泥石流的风险也存在。排土场使用完毕、进行植被恢复后，在植被恢复的初期，植被控制侵蚀的能力仍然有限。因此，在排土场使用过程中及植被恢复初期，均需要设置拦挡设施，防止或控制泥沙流入矿区下游河道。

我国《建设项目环境保护管理条例》第十六条规定：“建设项目需要配套建设的环境保

护设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。”《水土保持法》第十九条规定：“建设项目中的水土保持设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。”按照这一原则要求，排土场泥沙拦挡设施应在排土场基底清理之前建设完成，因为排土场基底清理作业开始后，水土流失就会产生。

排土场的拦渣设施主要是拦渣坝、挡渣墙、拦渣堤和围渣堰。GB 50433—2008《开发建设项目水土保持技术规范》对它们的适用条件和设计要求进行了较详细的规定。这些规定也适用于排土场的拦渣设施。

泥沙拦挡设施虽然是控制排土场水土流失、保护生态环境的设施，但它本身也造成了生态破坏，因此，在上游的破坏地全部进行了生态恢复、水土流失得到有效控制后，泥沙拦挡设施不再需要用来拦挡泥沙，此时应将其拆除，并进行生态恢复。美国的露天采矿环境保护标准规定：沉沙建筑物应保留到“管理当局批准可将其移除、受扰地区已进行了稳定化处理和重新植被之时”；在沉沙建筑物被移除后，应当“对沉沙建筑物所处位置的土地进行重新平整和重新植被。”在此之前，应将其维护好，保证其正常运行。在有些情况下，虽然上游破坏地全部进行了生态恢复、泥沙拦挡设施不再用于拦挡泥沙，但需要用它来蓄水，此时可以将其作为蓄水体保留下来，不予拆除。

8.6.1.6 植被

植被对于控制土壤侵蚀具有重要的作用。关于植物种植的要求，见“种植种植”一章。

8.6.2 水力排土场土壤侵蚀防治

前文已述，水力排土场的特点与尾矿库相近，其土壤侵蚀防治要求可参照8.6.3尾矿场土壤侵蚀控制。

8.6.3 尾矿场土壤侵蚀控制

尾矿场的土壤侵蚀控制包括3个方面：一是构筑尾矿坝，二是采取物理化学措施控制尾矿场表面水蚀和风蚀，三是及时植被。

8.6.3.1 尾矿坝建设及其安全措施

尾矿坝本身是尾矿场侵蚀控制工程。但尾矿坝受到库内蓄水产生的静、动水压力和孔隙水压力，坝体自重，地震惯性力，地表径流冲刷力等外力的影响，容易产生失稳，其中尤其库内静、动水压力和孔隙水压力的影响大。在尾矿库的建设和运行中，需要采取一系列的技术措施增强尾矿坝的稳定性，包括尾矿坝坝基处理、尾矿坝排渗、坝体浸润线控制、尾矿库水位控制等方面。AQ 2006—2005《尾矿库安全技术规程》对此进行了详细的规定，尾矿库的建设和运行应按照该规程的要求进行。

8.6.3.2 临时抑尘措施

尾矿库滩面往往较干燥，易发生风蚀。对运行中的尾矿库，目前主要采取多点均匀放矿、干滩上洒水、粗粒料（如小石块）覆盖和使用化学抑尘剂的方法进行控制。

8.6.3.3 植被措施

关于植物种植的要求，见“种植种植”一章。

8.6.4 露天采矿场土壤侵蚀防治

露天采矿场的土壤侵蚀形式以崩塌、滑坡和水蚀为主，一般采取控制边坡坡度、截排水、沉沙和植被的技术措施。

8.6.4.1 边坡坡度控制

控制边坡坡度是为了避免边坡过陡引起边坡失衡。影响露采场边坡稳定性的因素除坡度外，还有岩性、地下水、爆破、岩体结构、软弱夹层情况等，因此设计采场边坡坡度时，要根据具体情况，考虑各种影响边坡稳定性的因素，按照某一稳定系数的要求，确定合适的坡度值。目前的相关标准中，有的对此作了规定，如GB 50197—2005《煤炭工业露天矿设计规范》对边坡设计进行了较详细的规定（包括不同情况下的边坡稳定系数值）。这是一个比较复杂的问题，本标准对此不作具体规定，按有关设计规范执行。

8.6.4.2 截排水

水的作用不仅造成采场边坡水力侵蚀，它还降低了岩石的抗剪强度，产生浮托力和水平推力，产生液化作用，是露采场边坡滑坡的重要因素。因此，采场截排水是防治采场土壤侵蚀的必要措施。同时，采场截排水也是采矿的主要技术环节之一，是保证露天矿正常工作的必要条件。

露天采场截排水包括两方面：一是在采区外侧修筑截水沟，避免场外地表水流入采场；二是在采场平台修筑排水沟，及时排走采场平台的积水。

由于采矿场外截水沟和采场平台排水沟起着采矿场防洪的作用，因此它们应满足GB 50201—94《防洪标准》的要求。

8.6.4.3 沉沙设施

建设沉沙设施，可对采场排出的废水中的泥沙进行沉积，控制泥沙流入下游河道。

沉沙设施是与边坡排水设施相配套的水土保持设施，因此其建成时间应不迟于露采场边坡排水设施的建成时间。

关于沉沙池的位置和设计施工，GB 50433—2008《开发建设项目水土保持技术规范》规定：沉沙池的位置应选在挖泥和运输方便的地方，有利于清淤；沉沙池的设计施工应遵循行业标准《水利水电工程沉沙池设计规范》SL 269—2001。

关于沉沙设施的容量，GB 50433—2008未作明确规定。本标准所规定的“沉沙设施容量应达到可容纳或处理10年一遇24小时降水产生的排水”，是借鉴美国露天采矿环境保护标准中的规定。

与排土场泥沙拦挡设施相类似，露采场的沉沙池也要在废弃后进行生态恢复（保留下来作为永久蓄水体的除外）。

8.6.4.4 植被

关于植物种植的要求，见“植物种植”一章。

8.7 场地整治（处理）与土壤铺覆

矿山废弃地形成后，需要对场地采取整治措施，目的是为了有利于铺覆土壤，同时使场地稳定。矿山废弃地主要是排土场、尾矿场、露天采空区和塌陷地，它们各自具有不同的破坏特点，场地整治和土壤铺覆也相应地具有不同的特点，本标准分别进行了规定。

8.7.1 排土场

排土场的整治与土壤铺覆主要包括如下几个环节：岩土堆置顺序的合理安排；平台平整与压实；边坡稳定化处理；污染处置；土壤铺覆。

8.7.1.1 岩土堆置顺序的合理安排

岩土堆置顺序的合理安排，实际上不是在排土完成后所进行的整治工作，而是贯穿剥离与排土过程的一项措施。露天采矿剥离物一般包括土壤、岩石和岩石风化物，有的剥离物中还含有有毒、有害成份，如广东大宝山铁矿围岩中含有砷。粒度粗、不易风化的岩石和有毒、有害物料（酸性、碱性、重金属含量高、含有放射性成份等）都不利于植物生长，在剥离物堆置过程中，应合理安排，将不易风化的岩石和有毒、有害物料堆放在下部，而将土壤、岩土混合物和易风化岩石安排在上部，使植物可以利用其中的肥力。

8.7.1.2 平台平整与压实

排土场表面凹凸不平，在覆盖土层时就会多耗用珍贵的土源，因此在铺覆土壤前应对排土场表面进行平整。平整的坡度，主要考虑排土场平台水土保持的需要，确定为2%~5%的反坡坡度（见土壤侵蚀防治部分）。

排土场表面平整后，还应进行适当的压实，以增强其保水保肥能力。

8.7.1.3 边坡稳定化处理

排土场边坡的安息角通常为35°~45°，因此应按照水土保持的要求进行稳定化处置。处置的方法是对排土场进行削坡开级。GB 50433—2008《开发建设项目水土保持技术规范》对边坡削坡开级的适用条件和设计要求进行了规定：“对高度大于4 m、坡度陡于1.0:1.5的边坡，宜采取削坡开级工程。”

8.7.1.4 污染处置

有些矿山的排土场酸性很强，如不处置，即使覆盖pH适中的土壤，当植物根系穿透覆土层后，植物生长也会受到影响。各种植物适宜生长的土壤酸碱范围不同，在排土场种植时，可选择耐酸性的植物种，但超出一定范围，这些植物也会生长不良或根本无法生长。表8.7-1是常用造林树种和作物适应的土壤pH值范围，从表中可看出，土壤pH值<5.5时，适应的树种和作物很少。因此，当排土场pH值<5.5（即为强酸性或酸性极强）时，应对排土场进行中和处置。

表8.7-1 常用造林树种和作物适应的土壤pH值范围

植物种	适应的土壤pH值范围
风梨科	<4.5
甘薯	4.2~8.0

马铃薯	4.5~5.5
鹅掌楸、马尾松	4.5~6.5
银杏	4.5~8.0
板栗	4.6~7.5
山茶、杜鹃、茶、橙	5.0~6.5
华山松、五针松、红松、落叶松、梅花、栀子、米兰、大岩桐、仙客来、四季海棠、茉莉、杜英、杨梅	5.5~6.5
雪松、水杉、柳杉、麻栎、油橄榄、玉兰、竹	5.5~7.0
柑橘	5.5~7.5
乌柏	5.5~8.0
云杉、香樟、红枫、荔枝、桑、小麦、水稻、玉米、大豆、甘蓝、番茄、紫云英、茄子、花生、烟草、牡丹、一品红、秋海棠、朱顶红、文竹	6.0~7.0
白皮松、泡桐、侧柏、园柏、香椿、黄杨、刺槐、杨树、垂柳、栓皮栎、棕榈、桃、梨、甘蔗、棉花、甜菜、南瓜、黄瓜、丁香、月季、石竹	6.0~8.0
蜡梅、高粱、油菜、君子兰、四季报春、菊花、水仙、郁金香	6.5~7.5
桂花、牡丹、晚香玉、风信子	6.9~7.2
榆叶梅、石榴、枸杞、迎春、仙人掌、石竹	7.0~8.0
樟子松、夹竹桃、白榆、黄刺梅、旱柳、紫穗槐	7.5~8.5
胡杨、怪柳、沙柳、沙枣	8.5~9.5
梭梭、沙蒿	>9.5

资料来源：蒋永明等，2007；中国林学会科普部，1990；严健汉等，1985；冯天哲，2000；刘克锋，2006

酸性排土场中和处置的最常用方法是施加石灰，可以是生石灰、熟石灰或石灰石粉。

有的排土场含有有毒、有害或放射性成份，如直接覆盖土层，有毒、有害或放射性成份可经水分纵向迁移而进入表土层和植物。因此，如果要种植参与食物链循环的植物，必须在覆盖土壤之前铺一层隔离层。隔离层一般由惰性碎石构成，它可起到破坏剥离物—表土层断面中垂直水柱的作用，防止有毒、有害、放射性成份进入表土层和植物体。

8.7.1.5 土壤铺覆

与前面土壤采集的规定相对应，在整治好的场地上，应利用事先采集的土壤进行铺覆。如果符合可以不单独采集表土的条件，则利用土壤替代物料进行铺覆。

土壤剥离时，根据具体情况，有的需分层剥离。分层剥离时，先铺心土后铺表土。

原国家土地管理局1995年发布的《土地复垦技术标准》从农作物和其他植被适宜生长的角度，规定了覆盖土壤pH值范围为5.5~8.5，含盐量不大于0.3%，排土场用于农、林、畜牧业的最小覆土厚度分别为0.5 m以上、0.3 m以上和0.2 m以上。

当土源不足时，可将岩土混合物覆盖在表层，用于造林，只在植树的坑内填入土壤。岩土混合物虽不能与表土相比，但也具有一定的肥力，可被植物所利用，将其覆盖在排土场表层，只要在植树坑内培土施肥，并在初期加强管理，幼树就能成活。随着生存能力的增强，植物可利用岩石的潜在肥力，并逐渐形成腐殖层。这也是许多矿山所采取的做法，如内蒙古霍林河煤矿、四川朱家包包铁矿。

8.7.2 尾矿场

尾矿场的场地整治（处理）与土壤铺覆主要包括场地平整、坝坡稳定化处理、污染处置

和土壤铺覆。

8.7.2.1 场地平整

有的尾矿场表面起伏不平，因此应在覆盖土层和种植前对场地进行平整。当地起伏较大、大面积平整工程量较大时，一般采取梯级平整，如福建长汀县河田镇芦竹村稀土矿区和江西寻乌县稀土分组厂二采场稀土尾砂场都采用了梯级平整方式。

8.7.2.2 坝坡稳定化处理

该条规定同排土场边坡稳定化处理。

8.7.2.3 污染处置

同排土场一样，有的尾矿场呈酸性或含有有毒、有害或放射性成份，处置方法同排土场。

8.7.2.4 土壤铺覆

与前面土壤采集的规定相对应，在整治好的尾矿场上，应利用事先采集的土壤进行铺覆。

多数尾矿的质地为沙性，处在土壤形成的开始阶段，可以在不覆土情况下直接种植，如首钢水厂铁矿新水尾矿库、德兴铜矿1号尾矿库（部分）、铜陵有色金属公司杨山冲尾矿库和五公里尾矿库、江西寻乌县稀土分组厂二采场尾砂场、福建长汀县河田芦竹村稀土矿区等都是不覆土直接种植的成功实例。因此，如果尾矿场原地表土壤未预先单独剥离存放，可根据土源情况选择覆土种植或不覆土直接种植。

但是，有些尾矿场重金属含量高，因此如果计划在尾矿场上种植参与食物链循环的植物，在决定是否可以直接种植之前，应进行种植试验，如不能满足食用标准，应覆土后种植。

覆盖土壤时，覆土厚度一般根据土源情况和尾矿性状而定。河北迁安马兰庄铁矿的尾矿性状较好，在尾矿场上覆山皮土25 cm后种植农作物，就取得了较理想的效果，种植初期作物单产接近当地中等水平（杨福海等，1994）。山西垣曲铜矿莫家洼、韩家沟尾矿库覆盖黄土20~60 cm，根据试验和调查，覆土厚度要达到40~60 cm才可基本满足当地小麦、玉米等主要农作物生长需要，如能覆土80 cm左右则效果更好（卫元太等，1993）。从典型矿山的实践来看，覆土厚度一般在30~60 cm（表8.7-2）。

表8.7-2 部分矿山尾矿库覆土厚度

厚度单位：cm

矿山及尾矿库名称	覆土厚度	利用方式	资料来源
河北迁安马兰庄铁矿尾矿库	25	农作物	杨福海等，1994
山西垣曲铜矿莫家洼、韩家沟尾矿库	20~60	农作物	卫元太等，1993
湖南水口山铅锌矿尾矿库	30~40	植树种草	朱峻英，1990
河北迁西县金厂峪金矿尾矿库	40	农作物，果树	崔光华，1991
辽宁本钢南芬选矿厂老尾矿库	30	农作物	颜学宏，1998
首钢矿业公司大石河尾矿坝	20	造林	翟俊，2003
河北武安西石门铁矿	20~50	种草	刘树序等，1998
陕西凤县铅硐山铅锌矿	20	种草	侯恩科等，2003

8.7.3 露天采空区（用于植物种植时）

根据具体情况，露天采空区可用于植物种植（农、林、草）、蓄水利用（旅游、养殖水

产、供水等)或建设利用。用于植物种植时,需要覆盖土壤。露天采空区的整治与覆土分作为内排土场和不作为内排土场两种情况。

8.7.3.1 作为内排土场时的整治与覆土

露天采空区可作为露天矿的排土场,即内排土场,此时采空区变成了排土场,因此按照排土场的要求进行场地处理和土壤铺覆。

8.7.3.2 不作为内排土场时的整治与覆土

与排土场和尾矿场相比,露天采空区的情况要复杂得多。按照坡度,可分为平地、缓坡、陡坡、极陡坡和陡峭壁;按照组成物质,可分为土质、软岩和硬岩;按照平整程度,可分为平整的和凹凸不平的。不同的坡度、岩性和平整程度,直接关系到整治措施的布设,因此需要根据场地的具体情况进行整治与土壤构筑。

露天采空区的场地整治和覆土与坡度关系最密切。水平地和缓坡地比较容易经过平整后进行全面覆土,一般用于农业种植,而陡坡地难以进行大范围平整和覆土。因此,不作为内排土场时,露天采空区的场地处理和覆土可分两种情况:一种是水平地和缓坡地,一种是陡坡地。

(1) 水平地和缓坡地的整治与覆土

缓坡地一般指 15° 以下的坡地。根据采空区底板岩性和充填物料来源情况,露天采空区水平地和缓坡地的整治与覆土主要有以下三种方法。

① 物料充填覆土法

对硬岩场地,先用岩石、岩土混合物等物料填平(如山东莱西石墨矿用岩石和尾渣进行混合回填),或对场地进行爆破后平整(如广西平果铝土矿对石芽底板采空区的处理),其作用是使接下来覆土均匀,且不致浪费土源。覆土时一般分两层:先充填具有一定肥力的岩土混合物、粘土、尾矿等物料作为心土层,再覆盖表土。为满足植物生长要求,表土层和心土层都应有一定厚度。耕作土壤表土层一般 $20\sim 30\text{ cm}$ 。根据TD/T 1004—2003《农用地分等规程》,农用地的有效土层厚度(指土壤层和松散的母质层之和)分5个等级:一级 $\geq 150\text{ cm}$,二级 $100\sim 150\text{ cm}$,三级 $60\sim 100\text{ cm}$,四级 $30\sim 60\text{ cm}$,五级 $< 30\text{ cm}$ 。如果有效土层要达到中等厚度(即上述三级标准 $60\sim 100\text{ cm}$),则硬岩场地上铺垫的心土层厚度应达到约 $40\sim 80\text{ cm}$ 。从实践看,广西平果铝土矿覆盖表土层厚度为 $0.3\sim 0.5\text{ m}$,心土层厚度 1 m 以上(为粘土底板的采空区底板泥土、部分采场的深部剥离土、干法处理过的尾矿泥饼等)(文衍科等,2006);山东莱西石墨矿表土层和心土层均为 0.5 m (表土层为尾渣与成土 $1:2$ 混合,心土层为尾渣与风化土 $1:1$ 混合)(刘连贵等,1996)。据此,可把底层铺垫的心土层厚度定为 50 cm 以上,覆盖表土(腐殖土)厚度为 30 cm 以上。

② 底板耕松覆土法

对黏土或软岩场地,黏土和软岩都是适合于作为心土层的物料,但它们太紧实,不利于植物根系伸长,因此可对场地进行平整后,用松土机械将底板耕松,其深度与上述用外运物

料铺垫的厚度一样，应在50 cm以上。然后覆盖表土，表土覆盖厚度也为30 cm以上。平果铝土矿对采空区黏土底板的土壤重构，采取了这种做法，其耕松的深度为1 m左右（文衍科等，2006）。

③ 挖深垫浅覆土法

对于季节性积水或某些不积水的挖损坑，可采用挖深垫浅的措施，将部分区域开挖一定深度，成为水体，用于发展水产养殖、水源地等，开挖出的物料充填另一部分，然后覆盖表土，用于农林草种植。山东莱西北墅石墨矿部分矿坑的生态重建采取了这种方式。

（2）陡坡地的整治与土壤构筑

露天采空区的坡度可以从0°变化到90°，因此除水平地和缓坡地外，还有坡度变化范围很大的陡坡地。如按坡度进行分类，陡坡地可分为陡坡、极陡坡和陡峭壁。陡坡地必须经过一定的整治措施，才能稳定堆放土壤。由于陡坡地的坡度变化范围很大，加上坡面组成物质的变化（有土质类、软岩类和硬岩类）和平整程度的不同（平整的和凹凸不平的），陡坡地的整治技术措施也有多种。本标准所列出的技术模式是根据实践总结出来的，它们各有自己的适用范围。对某种类型的坡面来说，适用的方法可能不只一种。因此，应根据坡面的具体情况和各种方法的适用范围，选择一种适用的方法或几种方法的组合。

① 挖穴填土法

在边坡上采用爆破或开凿的方法，开挖一定规格的巢穴后填入土壤。这种方法适用于风化程度较高的边坡。广东江门在石壁的生态恢复中普遍采用了这种方法（吴长文等，2007）。

② 砌筑植生盆（槽）填土法

利用石壁微凹地形，或在裂隙发育的石壁上打锚杆，用高强度砂浆砌石或混凝土（轻质树脂）浇筑成盆（槽）状，回填种植土。该方法多用于微凹地形或破碎裂隙发育的岩质边坡；适用的坡度范围，根据深圳市的经验，在60°以下。坡度太陡的石壁，施工难度太大（陆子锋，2002），最适宜的坡度为50°左右（吴长文等，2007）。该技术在深圳富源石场、雷公山石场、松子坑一号石场等多个采石场边坡生态恢复中得到成功应用（吴长文等，2007）。

从深圳市的实践来看，富源石场等地利用坡面的地形起伏在凹处修建的植生盆，取得了较好的效果，而且容易施工，技术要求较低，成本不高。而在光滑的陡峭石壁上利用锚杆建立支撑盆（槽），施工难度较大、成本较高，而且盆（槽）体积小，盛放的植生基质有限，难以取得好的效果（吴长文等，2007）。因此，植生盆虽然在不同平整程度的坡面都可运用，但在起伏不平、微凹地形发育的坡面上效果较好。

在满足稳定性要求的前提下，植生盆应尽可能做大一些。根据深圳市多年的经验，为保证植物的正常生长，种植乔木的植生盆尺寸应不小于40 cm×40 cm×40 cm，种植灌木和藤本植物的植生盆尺寸应不小于30 cm×30 cm×30 cm，V型植生槽挡板高度应不小于50 cm。

③ 喷混法

该方法又称客土喷播或植被混凝土技术。根据喷料的含水量和施工时喷出压力的不同，

可分干喷和湿灌两大类，又根据是否挂网，细分为挂网干喷、不挂网干喷、挂网湿灌和不挂网湿灌4种类型。

喷混法在公路、铁路、水利、矿山等工程的边坡生态恢复中都有运用，在矿山生态恢复中，目前在采石场边坡运用较多，如在深圳市雷公山石场、富源石场、北京市门头沟区妙峰山镇龙凤岭采石场均有运用（吴长文等，2007；赵方莹等，2006）。喷混法的优点是人工配制的基质材料有利于植物的存活与生长，可快速绿化边坡。其缺点是费用高，同时对植物后期的生长影响还缺乏必要的观察研究（蔡高堂等，2000）。

由于费用高，该方法主要用于陡峭边坡。根据深圳市的经验，喷混法适用于 75° 以下的非光滑岩质坡面，其中对 $45^\circ\sim 75^\circ$ 的边坡，为提高喷混基质与坡面的黏合力，通常需要采用挂网锚固，即挂网喷混（吴长文等，2007）；对于 45° 以下表面较粗糙且凹凸不平的边坡，可采用不挂网喷混，这样大大节省了投资（陆子锋，2002）。

④ 阶梯整形覆土法

阶梯整形覆土法是将边坡坡面设计成阶梯形，在每一级阶梯平台上覆土，为种植树、草、藤本植物创造条件。阶梯高度应小于拟种植树种的成熟高度，使树木长大成熟时，能将开采面全部遮盖。台面外侧砌挡土墙，其高度应大于覆土厚度。按照《土地复垦技术标准》的规定，覆土厚度应在0.5 m以上。

⑤ 安放植物袋法

该方法适用于陡峭的石壁。它是利用石壁裂隙破碎发育环境，人工开拓凹口，或直接利用微地形（平台、凹口），安置装填有营养土、保水剂和草种的植物袋。安放时应将植物袋底贴紧破碎或裂隙发育处。北京市门头沟区妙峰山镇龙凤岭采石场植被恢复中使用了这一方法（赵方莹等，2006）。

⑥ 石壁挂笼填土法

对于 75° 以上的陡峭石壁，可采用安装钢筋笼挂于石壁上的方法。该笼可制作成行李箱般大小，在笼内填加客土、种子、肥料及土工纤维等混合材料。该方法要求边坡稳定，因此在运用前要进行边坡的安全稳定性鉴定。

8.7.4 沉陷地

采矿活动引起地表沉陷和变形，依其产状和破坏程度可分为二类：深部开采和浅部开采。因此沉陷地场地整治可分为充填沉陷地和非充填沉陷地二类。

8.7.4.1 充填沉陷地场地整治

用废石(含矸石)充填沉陷地时，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。必要时，可分层充填、分层碾压，充填压实后场地必须稳定。当废石有害成分含量高时，应处置。必要时设置隔离层后再覆土。

用矿山废弃物充填(包括废渣、尾矿、炉渣、粉煤灰、生活垃圾等充填)时，应参照国家有关环境标准，进行卫生安全土地填筑处置，充填后场地稳定。有防止填充物中有害成分污

染地下水和土壤的防治措施。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、防、污染处置，必要时，设衬垫隔离层。

8.7.4.2 非充填沉陷场地

(1) 高潜水位沉陷场地

依据当地条件，因地制宜，保留水面，集中开挖水库、蓄水池、 鱼塘和人工湖等，综合实施沉陷土地整治与生态环境治理的总体规划。

(2) 中潜水位沉陷地（局部积水或季节性积水）

依据当地条件，因地制宜，可综合实施“挖深垫浅”的措施。即在积水区深挖为深水塘(池) ，用于渔业等。“垫浅”后场地可改造为水平梯田或水田等。

(3) 低潜水位沉陷地（基本不积水或干旱地带形成丘陵地貌）

对局部沉陷地填平补齐，土地进行平整。 沉陷后形成坡地时，坡度大，可修整为水平梯田，局部小面积积水可改造为水田等。

8.8 土壤改良

矿山废弃地上新构土壤往往生产力较低。有的是覆盖所用的表土或表土替代物料本身质量就比较差（如内蒙古黑岱沟煤矿、山西安太堡煤矿）。即使原表土质量较好，在机械化作业情况下进行表土剥离、搬运、堆存、回填的过程中，因机械压实、上下土层混杂、风蚀雨淋等的影响，其质量也会下降，主要表现为土壤有机质和养分含量减少，结构受到破坏，通气透水性或保水保肥性下降。对尾矿场而言，如采取不覆土直接种植，则除贫瘠、质地不良（多数偏沙）等一般的限制性因素外，有的尾矿场还有酸性和重金属影响。总之，新构土壤一般比较贫瘠且质地差；尾矿场不覆土直接种植时，可能还存在酸性和重金属污染。因此，一般需要对新构土壤进行改良，以利植物生长。

8.8.1 培肥措施

种植绿肥作物或施肥，是矿区普遍采取的提高新构土壤有机质和养分含量的措施。如湖北大冶铁矿、四川朱家包包铁矿、内蒙古霍林河煤矿、黑岱沟煤矿、江西永平铜矿通过施用生活垃圾或农家肥进行排土场土壤培肥；内蒙古黑岱沟煤矿、山西安太堡煤矿在排土场上种植了绿肥牧草；山西垣曲县篦子沟铜矿尾矿场上覆盖黄土后，先种植绿豆，再种植小麦。

8.8.2 质地改良

当新构土壤过砂或过粘时，可采用“泥入砂、砂掺泥”的方法，进行客土改良，调整表层泥砂比例，达到改良质地的目的。质地改良后，土壤生产力可明显提高。据在山西胡家峪铜矿毛家湾尾矿库的小区试验，利用尾矿库周围山坡上含30%~40%黏土的黄土与尾砂相混合，种植作物的产量明显高于不覆土直接种植的小区 and 覆黄土（厚度40 cm）的小区，表明黄土与尾砂混合后质地优于纯尾砂和纯黄土（表8.8-1）。河北遵化兴旺寨乡利用铁矿尾砂改良黏性板结土壤，使土壤砂粒增加，提高了透气性，农作物增产10%~20%（甘德清等，1996）。

表8.8-1

毛家湾尾矿库不同处理的亩产量

单位: kg·亩⁻²

土壤处理方法	花生	高粱	玉米	大豆
不覆土	160.6	394.8	160.6	5.9
覆15cm土与尾砂混合, 土壤与尾砂比2:1	220.6	538.9	284.6	10.2
覆30cm土与尾砂混合, 土壤与尾砂比3:1	183.7	446.9	265.8	8.6
覆40cm土	112.5	302.5	216.2	15.7

资料来源: 周连碧等, 2002

由于质地改良需要大量的物料, 因此一般利用矿区废弃物或剥离物进行改良, 如上述利用尾砂改良黏性土壤的做法, 再如内蒙古霍林河煤矿、黑岱沟煤矿、云南小龙潭煤矿利用粉煤灰改良排土场土壤, 山西孝义铝矿利用剥离物中透气性好的马兰黄土和少量煤粉改良粘粒含量高的离石黄土。异地取土会造成新的破坏, 一般不提倡。质地改良物料的用量根据本、客土各自的颗粒组成及要求达到的质地标准来估算。

8.8.3 污染处置(尾矿场直接种植时)

尾矿场直接种植时, 如果存在酸性和重金属污染, 可以选择耐酸、耐重金属的植物种类, 但酸性和重金属毕竟对植物生长不利, 因此需施用改良物, 减轻酸性和重金属影响。

pH值<5.5时, 适应的植物种类较少(见上文说明), 此时应进行中和处置。

减轻重金属危害, 可采用有机肥、污泥、秸秆、泥炭、生活垃圾、粉煤灰、石灰、磷酸盐等改良物, 它们可降低重金属的有效性, 减轻重金属毒害。

8.8.4 使用废弃物改良时的污染控制

在矿山废弃地新构土壤改良时, 常用到粉煤灰、生活垃圾、污泥等废弃物。我国国家标准《农用污泥中污染物控制标准》(GB 4284—1984)、《城镇垃圾农用控制标准》(GB 8172—1987)和《农用粉煤灰中污染物控制标准》(GB 8173—1987)分别规定了污泥、生活垃圾和粉煤灰在农用时的污染物最高容许含量。如果场地用于农业种植, 则用于土壤改良的污泥、生活垃圾和粉煤灰应当满足上述标准的要求。

8.9 水资源保护与供水补偿

为保障矿山安全生产, 采矿中需要进行疏干排水, 这导致了水资源破坏。

控制地下水位下降, 可以采取帷幕堵水的方法。地下开采时除帷幕堵水外, 还可以采取保水开采方式(如分层开采、充填开采、部分开采)。但帷幕堵水工程很难完全堵住地下水, 而且它的一次性投资高, 采矿结束后为恢复生态而对其进行拆除的难度和工程量大, 还有其运用的条件。保水开采的代价可能较大。因此, 许多矿山采用供排结合方式, 将矿坑水处理后作为矿山和周围受影响地区的用水。广东石炭铜矿排出的矿坑水除满足本矿采选冶所需的工业用水和全矿生活用水外, 将多余的水供农田灌溉(王锐, 1990)。内蒙古元宝山煤矿疏干水用于居民生活、农田灌溉和电厂用水(林岚等, 2006)。

疏干排水造成水资源破坏, 最重要的影响是周边地区的用水受到影响。因此, 无论采取哪种措施, 对于它们应达到何种程度, 我们都可以从周边地区用水的方面来考虑。目前的相关标准中, GB 50197—2005《煤炭工业露天矿设计规范》对控制水资源破坏影响的规定, 就

是从周边地区用水方面考虑的：“对地下水位降低给民井和农田灌溉产生严重影响时，应采取补救措施。”显然，矿山开发者应采取的措施应能保证周边地区用水（包括居民生活用水、牲畜饮水、灌溉用水和工业用水）不因矿山疏干排水而受影响，以维持周边地区正常的生产生活。

8.10 积水坑整治利用

8.10.1 对于常年积水的露天坑、常年积水沉陷地等，可以作为蓄水体加以恢复利用，如水库、蓄水池、鱼塘、人工湖、水上公园等。如：海南田独铁矿是一个中型深凹的露天矿，自二十世纪五十年代中期闭坑后，露天采矿坑即蓄水养鱼，发展渔业；广西荔浦县锰矿烟灯陡矿区有一采空区约20hm²，采矿过程中揭出地下河涌水点几处，经过县防疫部门检验符合生活用水标准，后就将其蓄水为水塘。在1990年8~9月该县大旱时，该水塘作为饮用水源发挥了重要作用，现已成为荔浦县重要的生活水源；淮北煤炭区洪庄、烈山塌陷区具有水面大、水体深的特点，恢复时采取了开挖鱼塘发展水产养殖的模式，先后开挖了精养鱼塘120hm²、特种鱼苗塘13.3hm²，并配套发展种植业和加工业；此外，深水沉陷地还可以建立水上公园、污水处理厂等。淮北矿区和徐州矿区在塌陷区建立水上公园，为矿区职工提供了休息娱乐的场所。平顶山矿物局谢山矿利用约10hm²塌陷地改造为生物氧化塘，塘中种植水葫芦等水生植物来处理矿井水及生活污水，净化后水质总体上达到渔业用水的标准。

8.10.2 本条对综合利用水域生态系统的优先顺序提出了要求。

8.10.3 受围岩化学性质、来水量等的影响，露天采空区和沉陷地蓄水后水质差别较大。《地表水环境质量标准》(GB 3838)、《农田灌溉水质标准》(GB 5084)和《渔业水质标准》(GB 11607)规定了水体不同用途对水质的要求，确定用途时，应使水质满足相应的要求。

8.10.4 池塘面积的要求，以能满足鱼类生态和生长需要为宜。国内多数塘养鱼池生产实践表明，池塘面积以0.3~0.7hm²为宜。池塘过大，投喂饲料时易造成鱼类摄食不均，水质不易控制，日常操作管理与成鱼起捕均有一定困难。

水深和鱼类生长、鱼产量有密切的关系，具备必要的水深，是夺取池塘高产的重要条件。但过深的池塘，下层光合作用弱，上下层水混合困难，下层溶解氧不足，阻碍物质循环，降低池塘生产力。对新开挖的池塘来说，池塘越深也意味着投资越多。实践表明，池水深度以2.5~3m为宜。

8.10.5 去掉过于规整的岸边是为了美化的需要。沿水域植树种草，除美化湖岸外，还可控制水土流失。

8.10.6 在水体岸边以上边坡植树种草，一是美化的需要，二是控制水土流失，防止水体淤积和污染。

8.10.7 蓄水场区应修建有规范的防洪设施，并符合相关技术要求，不会产生水害危及周边环境。

8.10.8 多用途水域开发应符合当地发展规划，并与周围环境协调一致。

8.11 污染防治

矿山的一些废水和废渣可以进行资源化利用，如江西德兴铜矿、山西安太堡煤矿对选矿废水实行循环利用，辽宁鞍钢大连石灰石矿把剥岩和尾矿基本利用起来，成为“无排弃”矿山，安徽马鞍山姑山铁矿将尾矿用作混凝土骨料和建筑用砂。废水和废渣资源化利用，既利用废物产生了经济效益，又减轻了污染。因此，对矿山产生的废物应当先考虑综合利用。

在水、气、噪声和固体废物污染防治方面，我国目前已有一系列适用矿山的污染物排放标准，今后还会有许多新的矿山污染防治的标准制订颁布。矿山开采污染防治，应满足国家和地方有关污染物排放标准和污染控制技术标准的要求。

8.12 植物种植

8.12.1 矿区废弃地植被恢复，应尽快控制水土流失，增加土壤肥力。实行乔、灌、草结合；针叶树与阔叶树混交，可加速植被恢复，尽快控制土壤侵蚀，减少地表水分蒸发，培肥土壤，提高人工林的抗逆性能和综合效益。

8.12.2 矿区废弃地上适生植物种类因废弃地的具体情况、当地气候和微气候等条件而不同。物理化学性质相近的矿区废地，如所处的生物气候条件不同，其适生植物种类也不同：同一地区目前正常生长的植物，在矿区废弃地上种植，由于立地条件不同，可能出现种植初期发芽生长缓慢，适宜种植时间短、地面覆盖能力差等一系列问题。因此，必须对不同类型废弃地进行适生植物种类的筛选试验。

对植物的基本要求：(1)选择抗逆性强的植物，是因为矿区废弃地存在不良的立地因子，只有对这些不良因子具有较强的忍耐能力，植物才能生长。(2)由于废弃地养分不足，选择有固氮能力的植物可以缓解养分的不足，增加土壤肥力。(3)植物根系发育好，能网络固持土壤。地上部分生长迅速，枝叶繁茂，能尽快和尽可能长时间覆盖地面，可有效地阻止风蚀和水蚀；同时，由于落叶丰富，易于分解，能较快形成松软的枯枝落叶层，也有助于提高土壤的保水保肥能力。(4)播种栽植较容易，成活率高，节省种植费用，以尽量小的成本取得尽可能大的效益。

8.12.3 《造林技术规程》(GB15776)规定了造林的内容和要求，矿区废弃地的造林要求也与此大致相同。但由于矿区废弃地立地条件恶劣，矿区废弃地的造林在有些方面就要求高一些。(1)在恶劣条件下，播种对树木来说速度促，效果差，幼苗抗逆力差，极易因早、酸、碱、盐等有害因子影响而死亡，不易成林，故树木(乔木和大部分灌木)种植以植苗为主。但在地形恶劣又无路可通的地块，利用泥浆法进行种子种植就比较方便。(2)选用I级树苗，是为了提高树苗的抗逆性，提高在恶劣条件下的成活率。(3)当地较瘠薄时，填入较肥沃的客土或其他含肥物料，是为了满足植物生长所需的肥力条件，使苗木容易成活。(4)如采用带土栽植，苗木不仅已带土，而且根系保持完整，因此栽后容易成活，缓苗期短，生长快。但带土栽植起苗费工，苗木的重量大，运输较不便。(5)GB/T5776《造林技术规程》附录A列出了主要树种的合理造林密度。由于矿区废弃地立地条件较差，一方面树木不容易成活，应适当密植，多栽才能保住苗，另一方面树木发育慢，必须密植才能提早郁闭，所以可采用《造林技术规程》造

林密度范围中的较大值，并可适当加大。另外，根据《造林技术规程》第7.2条，湿润、半湿润水土流失地区和风沙危害严重地区的造林，造林密度可适当大些，矿区废弃地植树造林显然属于这类情况。

8.12.4 本条规定了种草需按照GB/T 16453.2《水土保持综合治理技术规范：荒地治理技术》第二篇“水土保持 种草”中有关要求进行。

8.12.5 不同种植方向的植物应进行实时实地的管理。

8.13 标准实施与监督

8.13.1 为了使标准能够切实地得到贯彻实施，本标准对标准的实施提出了比较具体的规定，即：标准的监督实施由县级以上人民政府环境保护行政主管部门负责。

8.13.2 本标准还规定了在矿山生态恢复条件较好的地区，或本标准所列项目及其标准不完全适应当地特点时，省、自治区、直辖市人民政府可以制订严于本标准的地方标准，并报国家环境保护行政主管部门备案。

九 标准与国内外相关技术标准的比较

9.1 国内

目前，对矿山行业生态保护和生态恢复的环境管理是依据现行的《土地复垦规定》。《土地复垦规定》主要内容是确立了“谁破坏、谁复垦、谁复垦、谁受益”的原则；土地复垦规划应当与土地利用总体规划相协调；土地复垦应与生产建设统一规划；复垦后的土地达到复垦标准；复垦的方式可以是企业、个人自行复垦，也可是承包复垦；土地复垦费用和土地损失补偿费规定，复垦后的土地使用权问题的规定；不履行复垦义务的企业和个人的处罚措施等作了具体规定。

1995年7月19日实施《土地复垦技术标准（试行）》中与矿山有关的主要内容包括：

(1)复垦土地质量的检验、检验内容、检验结果评估、测试方法等作了规定；

(2)制定了采掘废弃土地复垦技术指标，包括适用范围；复垦工艺构成（复垦工程和恢复生态）；复垦工程标准通则（待复垦场地背景资料、利用类型、覆盖材料、复垦场地处理、排水、水土流失、污染控制等）；

(3)制定了不同类型的废弃地复垦工程标准，主要是废弃露天采场复垦工程标准，排土场复垦工程标准，沉陷场地复垦工程标准，废石（含矸石）堆场复垦工程标准，尾矿库、贮灰场、贮泥场地复垦工程标准；

(4)制定了生态恢复通则（主要规定了复垦后用于农业种植，用于林业，用于牧业，用于渔业及其它用途）。

9.2 国外

9.2.1 美国

美国矿地复垦法律主要分为两大类，一类是联邦层面针对煤矿开采的《露天矿管理及复垦法案》；另一类是州层面针对金属矿的复垦法律。

(1) 露天矿管理及复垦法案

美国煤炭资源十分丰富，煤炭储量占世界煤炭储量的1/4，主要为露天煤矿。美国采煤业起始于18世纪40年代，到了19世纪初，成为联邦政府的重要支柱产业之一。煤炭开采业促进了美国工业的增长，但同时也造成了土地破坏和环境污染。

1939年，西弗吉尼亚州颁布了美国历史上管理煤炭开采业的第一部法律。1975年，美国已有34个州制定了露天矿地复垦法律。但由于各州采煤业的规模和影响不同，因此，矿地复垦法律的标准不同。有些州的法律要求严格，致使露天采煤成本过高；有些州的法律要求宽松，露天开采成本低。松紧程度不同的规则使同一类企业面对不同的竞争环境，成本高的企业觉得不公平。结果，制定联邦层次的露天矿地复垦法律的呼声越来越高。这导致了1977年美国《露天矿管理及复垦法案》的颁布。该法在全美建立了统一的露天矿管理和复垦标准。

《露天矿管理及复垦法案》立法的原因和目的很明确，即处理好环境保护和煤炭开采之间的关系，达到不因煤炭的开采而使环境受到破坏，并为其他矿物的露天开采建立有效、合理的法律依据。

该法案的主要内容有：

①设立监督实施法律条例的机关，即露天采矿与复垦执法办公室。

②设立废弃老矿区的土地复垦基金，专门用于《露天矿管理及复垦法案》实施前的矿区复垦。

③规定了对露天矿开采和复垦的管理办法及详细的验收标准；具体规定了哪些土地不适合采矿，以及对不适合采矿土地的复查和判定程序。

④对与其他联邦法律之间的关系、劳工保护、妨碍执行该法案的罚款、提供给各州的补助、年度报告、矿区复垦实验规定、管理与检查活动的协调、地表所有者的保护、联邦土地承租人、矿区沉陷、调查研究等方面内容作了具体规定。

美国所有主要产煤州都建立了《露天矿管理及复垦法案》的监管与执行机构。尽管法案建立了严格的煤矿开采与复垦标准，但并未因此影响美国成为世界主要产煤国。法案的实施使美国采煤业结构发生了变化。复杂的许可证制度，对各种法律、规章的贯彻、执行，对矿区土地复垦等，使得小规模采矿企业难以生存。结果，保留下来的是大规模的煤炭开采企业。法案实施使得采矿对环境破坏大为减少，并且由于“废弃矿区复垦基金”的建立，使许多在法案实施前已经被破坏的土地得到了复垦。

(2) 金属矿复垦法律

美国金属矿藏丰富，开采历史较长。金属矿的开采产生了不同程度的环境污染。美国尚无联邦层次金属矿复垦法律。为了保证金属矿复垦和闭矿，美国一些州制定了相应法律。州法律对金属矿复垦的一般规定主要有：州复垦法令、规章和指南；州主管机关；③州管理机关；④与联邦机构的关系；⑤保证金要求；⑥复垦和闭矿计划；⑦对复垦和闭矿的检查；⑧闭矿法规；⑨复垦基金或储备金；⑩公众参与等。

(3) 美国土地复垦和生态恢复的具体要求

美国复垦标准和要求相当苛刻。针对露天采矿来讲，从环境保护、自然景观恢复到消除对土地生态和周边环境的污染，土地复垦标准涉及到矿山废弃物处理，采矿土地恢复等诸多方面内容，其对露天采矿复垦的要求概括地讲，包括如下几个方面：

①控制水流侵蚀、有害物沉积和风扬，防止矿山废物对周边环境（包括水源和大气）的污染。要求矿业主在矿产开采过程中必须采用一系列的保护措施，防止降水有可能造成的矿山废物随水流失对周边环境所造成的污染；在美国采矿区，对矿山废物堆放、表面处理（如加湿，以防止灰尘飞扬）都有具体的规定，直接受当地主管部门的监管；

②恢复原有土地利用景观，改善公共环境。如原有土地景观是湿地，恢复后也必须是湿地，美国在这方面已经达到近乎苛刻的程度。如美国加利福尼亚州罗斯维尔市几十公顷的湿地恢复工程要花费几千万美元，采矿所造成的岩石裸露，一时不能恢复植被的，也要涂上绿色，以改善公共环境；

③预防和处理酸性或有害污水。伴随着矿产的开采和洗矿，会产生许多酸性和有害的污水，美国明确规定，不能直接将污水排入附近河流或对地下水造成污染，矿山废水必须经过处理。目前美国矿山废水处理技术非常发达，并非常注重矿产废水资源的多级利用。根据对美国洛杉矶一个矿区的实地考察，其洗矿水经处理后，直接用于土地填埋和复垦工程，达到了矿山废水资源的重复利用；

④必须对土地复垦所必须的填充物进行处理，保证填充物密度达到一定的技术标准（视土地复垦后的土地用途而定），并要采取一系列措施，防止土地填充物对地下水和周边水源造成污染；在土地填埋过程中，有专门的技术监管部门负责检查填埋质量；

⑤在矿产开采过程中，要保持地表土不要与矿山废物混杂，要独立堆放，以满足土地复垦的需求；在美国采矿区现场考察过程中，土地填埋和复垦填充物分类摆放，并在填埋过程中，按照技术指标要求，以一定比例进行混合，并在地表部分，覆盖原有表土，真正达到了恢复原状的技术要求；

⑥矿山矸石和其他固体废物要堆放在适当位置，并要进行技术处理，防止可能发生的滑坡现象，避免对公共和私人财产形成直接的危害；在美国采矿区，矿山矸石和其他固体废物的堆放位置，以及堆积物的高度和坡度，视堆积物类型都有具体的规定。

⑦在采矿过程中，往往形成许多类似高墙的90度陡坡，为了避免可能产生的崩塌，以及对自然景观的危害，要求予以铲除，使其恢复到近似等高的状态；

⑧遵循“原样复垦”的基本原则，对于处于动物栖息地的破坏土地，在复垦过程中，要恢复原有植被和自然景观，使复垦后的土地重新成为水生动物，陆地野生动物栖息地。

9.2.2 前苏联

前苏联国家标准《自然保护类 土地复垦的一般要求 ГООТ 17.5.3.04-83 ОКП 0017》由前苏联国家标准委员会 1983 年 3 月 30 日批准执行(决议号 1521),执行日期为 1984 年 7 月 1 日。

在该标准中规定了开采(有益)矿物和泥煤,进行勘探、勘测、建设线路和其它施工所破坏土地的一般复垦要求,还依照《ГОСТ17.5.101-78 规程》所规定的土地按其利用方向的复垦要求。

该标准分别对编制破坏土地的复垦设计、露天开采时被破坏土地的复垦要求、地下开采时被破坏土地的复垦要求以及土地按其利用方向的复垦要求分别做了相应的技术规定。

(1) 编制破坏土地的复垦设计时应考虑的因素:

- 区域的自然条件(气候、土壤、地质和水文地质条件、植被);
- 已破坏(正遭到破坏)区段的位置;
- 开采区发展前景;
- 复垦时破坏土地现状或规划状况(面积、人工地形形成、自然长势,破坏土地的当前与远景利用。有无肥沃壤层和潜肥的岩石,浸渍、干涸、侵蚀过程、土壤污染程度);
- 按《ГОСТ17.5.103-78 规程》要求剥离物和围岩及其堆弃的混合物的化学及颗粒组成。农化及农业物理性质,工程地质特性;
- 有土地破坏区域的农业、社会—经济和卫生—保健条件;
- 已复垦土地的使用期限(再度破坏的可能);
- 在防止粉尘、废气、污水污染的环境保护方面须达到之极限允许排放标准和极限允许浓度;
- 复垦方向的选择依照 ГОСТ7.5.1.02-78 的要求确定,

(2) 露天开采时被破坏土地的复垦要求

- 露天开采时,内、外排弃场和露天采场均应复垦。
- 排弃场、露天采场复垦时应达到下述要求:
预先剥取和堆放肥沃土壤层,选别回采供建立一定参数的覆盖层所需的潜肥剥离岩石;
建立排弃场和露天采场时,应考虑其复垦和使复垦土地快速恢复为国民经济利用;
形成抗水风侵蚀而不易滑坡和片帮的废弃物堆和露天采场。可通过植树、铺草皮或用专门化学和其它材料加固方法;应根据当地对水土保持的要求实施排弃场上有效防止侵蚀的措施;
- 通过建筑专门的水工设施(溢流水槽、混凝土泄水建筑)方法,实施组织暴雨和工业用水汇流的措施;
- 当在谷地、蚀沟布置岩石排弃场时,构筑环形水沟和渠道或专门设施,以截断自然水道和拦截坡面水流;
- 当在山坡上布置排弃场和露天矿时,构筑围堤,高地水沟,排水系统和其它最简单的水工设施;
- 净化从排弃场流出的含毒水流;
- 切实采取调整由水物理性不良岩石组成的覆盖层中水文状态的措施;

当覆盖层底部含有毒岩石时，应用毛管断开的或惰性材料(砂石、砾石、面渣等)作隔层；用易发热岩石建立的排弃场在工艺中应杜绝自燃发生。

• 内排弃场地表最低标高应高于露天矿开采前的地下水位，如果内排弃场标高低于地下水位，则应预先采取避免复垦区地面沼泽化的措施。

(3) 地下开采时被破坏土地的复垦要求

• 用地下开采法开采有益矿物时，被破坏土地进行复垦应达到下述要求：

力求保护地表并使动土地段的塌陷最小；

从用于布置矿井排弃场和易受变形的动土地段剥取肥沃土壤层；

整平缓曲沉降地表，用岩石填埋塌陷坑，然后整平并覆盖上肥沃土壤层；

实施防止干涸、沼泽化、侵蚀过程蔓延方面的措施；

从巷道和矿床预先疏干深孔排出的水，应如此处理，即排水和其它交通设施不得妨碍农业和其它作业，不使已改良的土地状况恶化；

已建立的矿井排弃场重新布置，其形式和复垦应考虑 1.6.和 2.2.条要求；

矿井排弃场准备生物复垦时，拉小阶段和放坡应考虑其可进行绿化施工；

在矿区缓曲沉降区或塌陷坑开辟水库，应按 6.3.条要求进行。

• 选择乔、灌、草种类时，应考虑矿井排弃场表层化学与物理的风化程度。

(4) 土地按其利用方向的复垦要求

• **土地用于农业时土地复垦要求应包括：**

选择地形、规模、形态便利的破坏区段，其表土层应含有宜于生物复垦的岩石；

进行可使土地破坏地段得以有效利用现代农业生产技术的整平并克服侵蚀过程；

当土地欲作耕地时，在低适垦岩石上覆盖肥沃土壤层；

当无肥沃土壤层或其数量不足时；利用潜肥岩石要采取特殊农业措施；

对复垦地段完成修补；

播种一年生、多年生木本科或豆科作物。实施强化改良以恢复或形成育根层，并借助有机质使其肥沃化；实施改良轮作，采用加大农作物播种额和施肥。使用特殊农艺，农业森林土壤改良工程和防止侵蚀措施；

取得农化和卫生一防疫部门关于植(作)物对人畜无害的鉴定。

• **土地用于林业的复垦要求应包括：**

营造经济林，必要时营造防护林、调节蓄水林、欣赏林；

在由无毒宜林的粉砂岩堆置的排弃场和避坡和平台上设置复垦土层；

复垦层的厚度和结构决定于岩石性质、水文条件特征和造林种类；

进行地段整平，不得发生侵蚀，并保证整地、造林和栽植(维护)机械的安全使用；

在岩石土壤不利条件下，可营造具有改良功能的树林；

根据岩石分类、水文地质情况及其它生态因素，选择乔灌木树种。

利用傍水库堑沟配以引水带和入车线，组织消防措施。

• **当土地用于水利时，土地复垦要求应包括：**

在露天坑、双壁堑沟、矿区沉陷地段建造各类水库(池)；

综合利用水库(池)要优先用于供水、渔业和疗养目的与灌溉；

建设灌蓄露天坑和保持设计水位用的相应水工设施；

根据卫生--保健要求，采取预防滑坡并保持水质正常条件和成分的措施；

隔离含毒岩石以及水库库底和底帮和水位变化与超出水面时有自燃性的岩石；

放缓水库的冲浪裸帮部的坡度，使侧岸在饱和湿度下呈自然安息角位置；

用特殊覆被方法加固水库的被冲刷地段；

防止库底、库帮渗漏；

采取防止酸或碱性地下水进入水库中的措施；

采取完善复垦地区设施与绿化边坡措施。

• **土地用于卫生—保健时的复垦要求应包括：**

选择封存破坏土地的方法取决于组成岩石的状态，成分和性质以及当地的自然—气候条件。技术经济指标；

封存破坏土地时工程与生物复垦所有措施均应取得卫生—防疫机关的同意；

采用收敛性物料加固破坏土地地表。这些物料必须对环境无不良影响，且具有足够抗术性和对湿度的稳定性；

在由不宜生物复垦的基底堆置成的工业排弃场上，覆盖一层由潜肥岩石组成的隔离层；

完成土壤改良工程；

封存废渣场、尾矿场、粉煤灰及其它含毒物的工业废弃物堆场时，应遵守卫生—防疫机关的有关标准；

工业排弃场可用工程、生物或化学方法加固。

• **土地用于疗养时的复垦要求应包括：**

按最小土方工程量进行土地立向规划，并在工程复垦阶段保留现有的或生产后已形成的地形；

当建设休憩和体育运动工程时须保证土壤的稳定性；

设计、建设、经营供群众休憩和游泳的水上娱乐工程应根据 ГОСТ 17.1.5.01—80 条文，并考虑本标准的 6.2 和 6.3 的要求。

十 标准的技术经济和环境效益分析

10.1 经济效益分析

据粗略估算，目前我国各种人为因素造成破坏废弃的土地约1333万公顷（2亿亩）左右，约占耕地总面积的10%以上，其中仅采矿破坏的土地面积就达600万公顷（9000万亩）。

这些被破坏的土地多数为基本农田，土壤肥沃，集中连片，水、电、路等基础条件较好。如能按照“因地制宜，综合整治，宜耕则耕，宜林则林，宜渔则渔，宜草则草”的原则进行土地复垦和生态恢复，则可产生巨大的社会效益和经济效益：约有60%以上的废弃地可以复垦为耕地，每年可新增加粮食270亿公斤；30%可以恢复为其它农用地，可新增产值405亿元；10%可以恢复为建设用地，可满足我国4~5年的建设需要，按每亩10万元的价格进行有偿出让，国家财政还可收取出让金9000亿元。

10.2 环境效益分析

矿山开采活动首先表现为对土地的直接破坏，如露天开采会直接毁坏地表土层和植被，地下开采会导致地层塌陷，从而引起土地和植被的破坏；开采过程中，将会产出大量的废弃物如废石、排土和尾砂，堆存它们将需占用大量的地表面积，从而导致对土地的过量占用和对堆置场原有生态系统的破坏。

通过本标准的实施，可实现破坏地的植被恢复和土壤改良，增加物种种类和生物多样性，提高生态系统的生产力和自我维持能力，减少或控制环境污染，增加视觉和美学享受。最终可实现矿区矿业的可持续发展。

主要参考文献

- [1] 王文彬，王金梅。孝义铝矿土地复垦的实践。矿业研究与开发，2004，24（2）：66~68
- [2] 李青丰，曹江营，张树礼，薛玲，李利平，秦梅枝。黑岱沟露天煤矿排土场植被人工恢复的研究。中国草地，1996，（1）：60~63
- [3] 白中科，王文英，李晋川。试析平朔露天煤矿废弃地复垦的新技术。煤矿环境保护，1998，12（6）：47~50
- [4] 祝怡斌，王运敏，徐克创。姑山铁矿青山尾矿库土壤特性与复垦策略。金属矿山，2001，（7）：41~42，49
- [5] 艾满乾。安康金矿复垦增产技术。有色金属（矿山部分），1994，（2）：45~46
- [6] 黄玉山。我国露天砂矿采空区复田之现状。有色金属（矿山部分），1991，（1）：43~46
- [7] 赵世伟，黄福珍，张与真，李智明，马玉玺。南方砂金开采对土壤肥力的影响及复垦技术研究。水土保持通报，1993，13（4）：30~34
- [8] 郭建平。派潭钽铌矿土地复垦。土地复垦技术（内部刊物），1990，（3）：12~17
- [9] 袁义高。平果铝土矿生产复垦一体化工艺探讨。冶金矿山设计与建设，1997，29（5）：57~62
- [10] 黄义雄，方祖光。南方高岭土采矿废弃地生态恢复试验研究。水土保持通报，2003，23（4）：13~16
- [11] 李根福。土地复垦知识。北京：冶金工业出版社，1991：20~29
- [12] 杨选民。试论露天煤矿土地复垦及水土保持。煤矿环境保护，1997，11（4）：7~10
- [13] 高更君，才庆祥，张志善。露天矿排土场的复垦作业与评价。露天采煤技术，1999，（2）：39~41
- [14] 胡振琪。煤矿山复垦土壤剖面重构的基本原理与方法。煤炭学报，1997，22（6）：617~622
- [15] 攀枝花冶金矿山公司矿山研究所。攀矿兰尖铁矿排土场的滑坡治理。冶金建筑技术与管理，1990，（3）：25~27
- [16] 郭锐。对云南露天煤矿排土场边坡稳定问题的探讨。云南煤炭，2001，（2）：19~20
- [17] 金天。排土场设计的稳定措施。煤矿设计，1989，（12）：14~19

- [18] 蒋永明, 翁智林编著. 园林绿化树种手册. 上海: 上海科技出版社, 2007
- [19] 中国林学会科普部编. 现代林业知识. 北京: 中国林业出版社, 1990
- [20] 严健汉, 詹重慈编著. 环境土壤学. 武汉: 华中师范大学出版社, 1985
- [21] 冯天哲编著. 家庭养花300问. 北京: 金盾出版社, 2000
- [22] 刘克锋编著. 土壤、植物营养与施肥. 北京: 气象出版社, 2006
- [23] 杨福海, 尉迟琨. 唐山地方中小铁矿尾矿复垦工艺实践. 中国矿业, 1994, 3(4): 53~57
- [24] 卫元太, 宇文亮, 杨才敏. 中条山铜矿尾矿库侵蚀现状及防治措施. 水土保持通报, 1993, 13(6): 1~6
- [25] 朱峻英. 水口山铅锌矿尾矿库治理与利用. 土地复垦技术, 1990, (1): 21~22
- [26] 崔光华. 金厂峪金矿尾矿库复垦. 土地复垦技术, 1991, (3): 14~15, 26
- [27] 颜学宏. 尾矿库复垦利用方式初探. 冶金矿山设计与建设, 1998, 30(2): 61~64
- [28] 翟俊. 开展清洁生产, 实现矿业可持续发展. 矿山环保, 2003, (4): 37~40
- [29] 刘树序, 汪文生. 我国冶金矿山土地复垦形势与对策. 金属矿山, 1998, (5): 36~39
- [30] 侯恩科, 薛喜成, 刘国民, 马宗科, 赵洲. 凤县矿山环境地质问题与保护对策. 西北地质, 2003, 36(增刊): 26~30
- [31] 文衍科, 杨海洋, 程运材. 平果铝土矿采空区的工程复垦技术. 金属矿山, 2006, (8): 68~71
- [32] 刘连贵, 舒俭民, 张岱松, 张维喜, 李广和. 山东莱西石墨矿生态复垦试验研究. 农业环境保护, 1996, 15(4): 155~159
- [33] 吴长文, 章梦涛等. 裸露山体缺口生态治理. 北京: 科学出版社, 2007: 69~101
- [34] 陆子锋. 深圳市裸露山体缺口整治技术探讨. 水土保持通报, 2002, 22(5): 55~56
- [35] 赵方莹, 徐邦敬, 周连兄, 曹玉亭, 宋瑞莲. 采石边坡生态修复技术组合模式研究, 中国水土保持, 2006, (5): 24~26
- [36] 蔡高堂, 杨少俊, 赵冬莲. 深圳市废弃采石场水土保持生态环境建设措施. 南昌水专学报, 2000, 19(4): 60~62
- [37] 甘德清, 杨福海, 王树国. 唐山中小型铁矿尾矿复垦试验. 金属矿山, 1996, (12): 42~44
- [38] 周连碧, 代宏文, 吴亚君, 高继宏, 宁永平, 王政一. 胡家峪铜矿尾矿库复垦农作物种植研究. 采矿技术, 2002, 2(2): 54~56
- [39] 王锐. 当前我国矿山排水与供水结合的几种模式及其勘探与开采中应注意的几个问题. 水文地质工程地质, 1990, (3): 2~5
- [40] 林岚, 迟宝明, 施枫芝, 王鹏. 大水矿床疏干排水对区域水资源的影响研究. 灌溉排水学报, 2006, 25(6): 90~93
- [41] 白中科等编著. 工矿区土地复垦与生态重建. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [42] 沈渭寿, 曹学章, 金燕编. 矿区生态破坏与生态重建. 北京: 中国环境科学出版社, 2004
- [43] 杨福海等著. 矿山生态复垦与露天地下联合开采. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- [44] 国家环境保护局, 国家统计局, 地质矿产部等. 全国矿山开发生态环境破坏与重建调查报告. 1996
- [45] 冶金工业部长沙冶金设计研究院. 土地复垦规划设计资料汇编. 1993.12