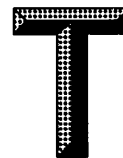


ICS 13.020
CCS Z 06



团 体 标 准

T/CSOTE 0003—2023

矿山生态环境修复工程技术规范

Technical specifications for mine eco-environmental restoration engineering

2023-04-10 发布

2023-04-10 实施

中国国土经济学会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	III
引言	IV
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	3
4.1 总体目标	3
4.2 基本原则	3
4.3 技术路线	4
4.4 修复技术模式	5
5 调查分析	6
5.1 基本规定	6
5.2 调查内容	6
5.3 工程测绘	9
6 方案设计	9
6.1 生态环境修复实施方案	9
6.2 工程设计	10
7 工程施工	15
7.1 基本规定	15
7.2 施工准备	15
7.3 施工组织	15
8 工程监理	16
8.1 基本规定	16
8.2 监理准备	16
8.3 监理实施	16
9 监测与评估	16
9.1 监测	16
9.2 评估	17
10 管护	17
10.1 工程管护	17
10.2 植被管护	17
10.3 管护时间	17
10.4 管护机制	17

11 工程验收	18
11.1 基本规定	18
11.2 质量检验	18
11.3 竣工验收	18
附录 A (资料性) 矿山生态环境综合调查表	19
附录 B (资料性) 基于无人机的矿山生态环境调查方法	32
附录 C (资料性) 矿山生态环境修复实施方案提纲	35
附录 D (资料性) 地下水污染修复技术方法	38
附录 E (资料性) 土壤污染修复技术方法	43
附录 F (资料性) 植被重建技术方法	51
附录 G (资料性) 植被管护	62
参考文献	68

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。

本文件由中国国土经济学会提出并归口。

本文件起草单位：广西壮族自治区地质环境监测站、北京绿矿联合工程技术研究院、中煤一局集团有限公司、广西博世科环保科技股份有限公司、桂林理工大学、广西地矿建设集团有限公司、北京京东方能源科技有限公司、河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队、广西瑞宇建筑科技有限公司。

本文件主要起草人：朱真、梁楠、张宇、吴福、朱骏灵、苏建、莫凌云、王晓华、张振凯、欧孝夺、廖原、郭林霞、易廷斌、刘振宇、刘昶、蒋力、赵振国、齐荣贵、高晓卉、张油军、张勇、吴秋菊、刘杰、陈余道、朱宗强、聂旻、姜宇、郭高轩、汤新梅、张晓明、李宁、朱京雨、杨志强、刘洋、董国明。

引 言

为提高矿山生态环境修复工程技术水平,规范工程实施流程,统一技术标准,保证工程质量,特制定本文件。

本文件将矿山生态环境修复工程涉及的主要工作作为组成内容。在研究总结国内外矿山生态环境修复技术方法和工程实践的基础上,全面梳理矿山生态环境问题,充分吸收已有矿山生态环境修复技术方法和经验,从调查、设计、施工、监理、管护、验收等各个阶段和环节提出系统要求和规定,将各技术环节形成规范性程序文件予以标准化。

矿山生态环境修复工程技术规范

1 范围

本文件规定了受采矿活动影响的矿山生态环境修复的相关术语和定义、技术路线、总体目标、基本原则、工作程序、调查方法、适宜性评价、修复实施方案编制、设计、施工、监理、监测、评估、管护及验收等内容。

本文件适用于需要进行生态环境修复的废弃矿山,生产矿山在采矿证有效期内不再受矿业活动影响区块的修复工作可参照执行。

本文件针对矿山存在的地貌景观破坏、水污染和土壤污染三大类问题提出矿山生态环境修复工程技术方法。矿山地质灾害防治及其他遭受破坏的生态环境要素修复按有关国家标准、行业标准及地方标准执行。

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 2893 安全色
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB/T 5974.1 钢丝绳用普通套环
- GB/T 5974.2 钢丝绳用重型套环
- GB/T 13306 标牌
- 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 19772 城市污水再生利用地下水回灌水质
- GB/T 20118 钢丝绳通用技术条件
- GB/T 21010 土地利用现状分类
- GB/T 38509 滑坡防治设计规范
- GB/T 50085 喷灌工程技术规范
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- 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 T 50485 微灌工程技术规范
- CJ/T 234 垃圾填埋场用高密度聚乙烯土工膜
- CJJ/T 292 边坡喷播绿化工程技术标准
- CJ/T 340 绿化种植土壤
- DZ/T 0239 泥石流灾害防治工程设计规范
- DZ/T 0261 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范

- HJ 25.1 建设用地上壤污染状况调查技术导则
- HJ 25.4 建设用地上壤修复技术导则
- HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则
- HJ 1282 污染土壤修复工程技术规范 固化 稳定化
- HJ 2035 固体废物处置工程技术导则
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG/T D33 公路排水设计规范
- CH Z 3005 低空数字航空摄影规范
- DD 2015-01 地质灾害遥感调查技术规定
- DB45/T 1696 危岩防治工程技术规范
- 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 1070.1 矿山生态修复技术规范 第1部分:通则
- T/CAGHP 021 泥石流防治工程技术规范(试行)
- T/CAGHP 032 崩塌防治工程技术规范(试行)
- T/CAGHP 059 采空塌陷防治工程施工规范(试行)
- T/CAGHP 077 岩溶塌陷防治工程设计规范(试行)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

矿山生态环境修复 mine reclamation

依靠自然力量或通过人工措施干预,对因矿产资源开发造成的地质灾害隐患、土地损毁、植被破坏和水土污染等矿山生态环境问题进行恢复、修整和重建的过程。

3.2

废弃矿山 abandoned mine

现状废弃且未列入矿产资源规划的矿山。

3.3

地貌重塑 landform reconstruction

根据矿山地形地貌破坏方式与损毁程度,结合原有地形地貌特点,在消除地质灾害隐患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—2022,3.6]

3.4

地下水污染 groundwater contamination

采矿活动导致地下水化学、物理、生物性质改变使地下水水质恶化的现象。

3.5

土壤污染 soil contamination

采矿活动引起土壤化学、物理、生物等方面特性改变,影响其功能和有效利用,危害公众健康或破坏生态环境的现象。

3.6

植被重建 vegetation reconstruction

根据当地气候环境以及周边原生物种,以植物种植、配置为主,恢复或重建植物群落或自然更新恢复植物群落的过程。

3.7

矿山生态环境修复适宜性评价 evaluation on suitability of mine reclamation

根据矿山所在区域的生态特征及功能,综合考虑地质环境条件、技术经济可行性和矿山生态环境问题及其危害等,按照因地制宜、分类施策等原则,合理确定矿山生态修复模式、方法的过程。

3.8

矿山地质灾害 mine geological disaster

采矿活动引发或加剧的对矿业生产、生活及周边人民生命财产安全构成威胁的山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝等地质灾害。

3.9

矿区含水层破坏 aquifer breakage in mining area

采矿活动影响到矿体周边含水层系统,导致含水层结构改变、地下水位下降、水量减少或疏干、水质恶化等现象。

3.10

矿山污染场地 mine contaminated site

在矿产资源开发利用过程中,对矿山有害物质堆积、储存、处理、处置不当而造成水土污染的空间区域。

3.11

矿山生态环境问题 problems of mine ecological environment

矿产资源开发活动对生态环境破坏所产生的危害人类生存的各种负反馈效应。

3.12

矿山土地复垦 mine land reclamation

采取工程措施对因采矿活动而损毁的土地进行综合整治,使其恢复到可供利用状态的活动。

4 总体要求

4.1 总体目标

4.1.1 消除矿山地质灾害隐患,改善水土环境、实施地貌重塑,使得因采矿活动而破坏的区域生态系统得到恢复或改善。

4.1.2 矿山生态环境修复工程的实施,应与经济社会发展相协调,实现人与自然和谐共生、可持续发展的总体目标。

4.2 基本原则

4.2.1 消除地质灾害隐患,恢复生态功能,兼顾生态景观

在消除地质灾害隐患、保障人民群众生命财产安全不受威胁的基础上,根据区域生态系统特征修复受损的生态服务功能,兼顾地形地貌、植被特点,营造生态景观。

4.2.2 突出重点,因地制宜,分类施策

统筹考虑矿山生态环境问题的多样性、复杂性和地域性特征,工作部署体现轻重缓急,突出生态环

境修复的系统性,因地制宜,分类施策。

4.2.3 尊重自然,顺应自然,合理选择修复模式

矿山生态环境修复要在综合研判生态系统各因子相互关系的基础上,顺应自然规律,发挥自然力量,以自然规律为导向,结合自然恢复和工程措施开展生态修复工作,实现生态环境的保护和修复。

4.2.4 统筹规划,系统设计,有效实施

矿山生态环境修复应符合国土空间规划的要求,应以生态红线的划定、区域发展格局(功能区划)、区域土地利用方向和布局为前提,充分考虑各生态要素相互依存、相互影响、相互制约等特点,统筹兼顾、系统设计、有效修复受损生态功能。修复后的生态环境应与矿山周边环境相协调,避免产生新的生态环境问题。

4.2.5 经济合理,技术可行,注重成效

矿山生态环境修复实施方案应体现经济合理、技术可行的原则,合理确定修复方向、修复模式和修复措施,充分体现生态修复产生的生态效益、社会效益和经济效益。

4.3 技术路线

4.3.1 矿山生态环境修复工作是一项系统工程,应深入贯彻落实“山水林田湖草沙是一个生命共同体”重要理念,要将其贯穿到矿山生态环境修复工程的调查评价、方案设计、修复施工及验收等环节。

4.3.2 依据矿山周边区域生态功能的重要性、人居环境与经济社会发展状况,综合考虑气候条件、地形地貌条件、矿山生态环境问题及其危害等,秉承基于自然的解决理念,按照“整体保护、系统修复、区域统筹、综合治理”的思路,最大程度解决因矿产资源开发产生的矿山生态环境破坏问题。

4.3.3 矿山生态环境修复工作程序包括调查分析、方案设计、工程实施三个阶段。矿山生态环境修复工作程序详见图 1。

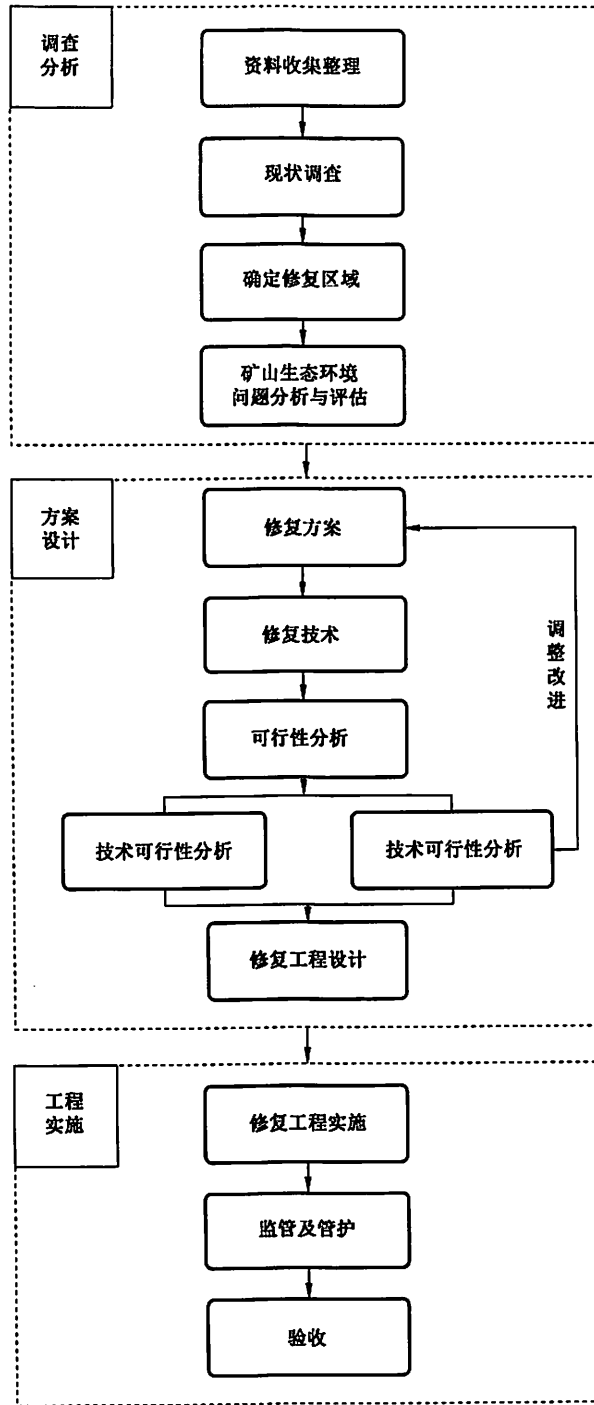


图 1 矿山生态环境修复工作程序图

4.4 修复技术模式

4.4.1 修复技术模式分为自然恢复技术模式和工程修复技术模式。

4.4.2 修复技术模式的确定应在调查分析、识别和诊断矿山生态环境问题的基础上,根据待修复矿山的破坏类型和破坏程度,并结合所在地区的自然地理条件和土地利用规划等因素,按宜农则农、宜渔则渔、宜林则林、宜草则草、宜建则建等原则,确定矿山受损土地最优化的治理、恢复与利用方向,根据修复工作实际需求选取修复模式。

4.4.3 自然恢复技术模式适用于场地不存在地质灾害隐患,无污染或污染轻微,土地资源扰动轻微,所在区域的气候适合植被自然生长,不易发生水土流失,表层土壤能够维持植被生长,距离人类活动区域较远,不直接影响人类生活、健康和生态的环境。

4.4.4 工程修复技术模式根据矿山存在的生态环境问题分为地质灾害隐患消除工程技术模式、水土污染修复工程技术模式、地貌重塑工程技术模式和植被重建工程技术模式。

4.4.4.1 地质灾害隐患消除工程技术模式,适用于场地存在地质灾害隐患且对人员、设施、环境等造成威胁的矿山,应采取此工程技术模式消除地质灾害隐患,确保人民生命财产安全。地质灾害防治工程常用措施有清除、锚固、拦挡、支护、削坡卸荷、疏导排水等,防治工程措施应与矿山修复、土地利用方向和当地规划相结合。

4.4.4.2 水土污染修复工程技术模式,适用于处理重金属、类金属、有机污染等矿山污染场地,地下水污染常用修复技术有抽出处理、渗透性反应墙、电动力学及风险管控等,土壤污染常用修复技术有固化/稳定化、异位土壤洗脱、植物修复、阻隔填埋及原位土壤淋洗等。采用此工程技术模式时应参照 HJ 25.4、HJ 25.6 等进行技术可行性测试,以确保采用的修复技术切实可行。

4.4.4.3 地貌重塑工程技术模式,适用于遭受挖损、压占破坏,需要采用工程措施进行修复的矿山或其他有景观需求的区域。地貌重塑常用技术方法有陡坡放缓、坡改梯、场地平整和表土覆盖等。

4.4.4.4 植被重建工程技术模式,适用于表层土壤覆盖稀少,易发生水土流失,不适合植被生长,区域气候条件和场地条件下,无法依靠自然恢复改善破损山体及周边植被生长条件,必须采取工程措施才能达到植被恢复的目的。植被重建宜选取根系发达、固氮能力强、生长速度快、种植容易、抗水土流失能力强、易管护的适生植物和先锋植物。

5 调查分析

5.1 基本规定

5.1.1 调查的目的是掌握矿山自然生态状况,应基本查清矿山地质环境条件以及矿山开发产生的主要地质环境问题和生态环境问题,为编制矿山生态环境修复实施方案和工程设计提供依据。

5.1.2 调查的范围应包括采矿登记范围和矿业活动影响到的区域。

5.1.3 调查内容主要包括矿山自然地理与社会经济、矿山概况、地质环境条件、生态环境问题、土地土壤及已实施的矿山生态修复措施及成效等。调查表见附录 A 中表 A.1~表 A.9。

5.1.4 调查工作应注重遥感技术和地面调查相结合。

5.1.5 如资料收集和基础调查不能满足矿山生态环境修复工作需求时,应开展水文地质、工程地质、环境地质等专项勘查。

5.2 调查内容

5.2.1 自然地理与社会经济调查

自然地理与社会经济调查主要内容如下:

- a) 矿山地理位置、气象水文、地形地貌;
- b) 矿区所在区域(乡镇)内村庄、人口、农业、工业及经济发展水平;
- c) 重要城镇基础设施、交通干线,自然保护区、风景保护区及历史遗迹保护区(应调查保护等级、保护对象、保护措施及保护要求)等。

5.2.2 地质矿产调查

地质矿产调查主要内容如下:

- a) 成矿地质背景和区域地质成矿条件,与成矿有关的褶皱、断裂等构造特征,矿体在各类构造中的赋存位置和分布规律;
- b) 含矿层、矿体的分布范围、规模、产状、矿物成分、有益组分及含量;
- c) 矿区及周边的矿业权设置、矿山分布情况,主要矿产资源种类及其开发利用情况等。

5.2.3 开采设计调查

开采设计调查主要内容如下:

- a) 收集本矿山的开采设计及储量资料,了解矿山基本情况,主要包括矿山名称、矿区中心坐标、矿区范围拐点坐标、面积、矿山功能分区布局、建矿时间、服务年限、闭坑时间、经济类型;开采矿类与矿种、资源储量、开采规模、开采历史、矿石采出量、回采率、采空区(采区)分布及剩余可利用资源量;
- b) 矿山生产现状、开采方式、采区布置、开采接替顺序、开采深度、顶板厚度、顶板岩性、顶板管理方式、剥采比或采掘比、剥离面积、表土堆放方案、开采阶段划分、开采段高、开挖深度;
- c) 矿山防治水工程。

5.2.4 “三废”调查

“三废”调查主要内容如下:

- a) 废水的危害对象、利用排放情况及采取的防治措施等,包括废水类型、年产出量、累计产出量、主要有害物质、危害对象、已造成危害、影响范围、综合利用量、综合利用方式、综合利用率、排放去向、排放口位置、排放量、已采取的防治措施等;
- b) 废渣的危害对象、产出及利用情况和采取的防治措施等,包括废渣类型、堆放位置、年产出量、累积存量、主要有害物质、危害对象、已造成危害、影响范围、年综合利用量、综合利用方式、综合利用率、已采取的防治措施等;
- c) 废气的危害对象、产出情况和采取的防治措施等,包括废气类型、主要有害物质、危害对象、已造成危害、影响范围、累计产生量、处理方式及已采取的防治措施等。

5.2.5 土地利用情况调查

土地利用情况调查主要内容如下:

- a) 收集矿山所在地的最新土地利用现状调查、土地利用规划及地类划分成果,了解矿山占用各类土地面积、土地规划用途及土地权属等,土地利用类型按照 GB/T 21010 执行;
- b) 调查矿业活动对矿区及其影响区域土地资源的破坏情况(矿业活动压占、挖损、污染的土地类型、位置、面积、破坏原因、影响程度、土地减产情况)、土地利用改变情况及修复方向、修复的难易程度及国土空间规划等;
- c) 根据土地利用现状(包括土地利用类型、面积、权属、分布等)、国土空间生态修复规划及土地的自然条件、当地社会经济条件等调查影响修复方向的主导因子和限制因子。

5.2.6 土壤调查

土壤调查主要内容如下:

- a) 土壤类型及其分布情况,包括土壤厚度、容重、粒度、结构、含水量、pH、有机质含量等;
- b) 矿区土壤污染的面积、范围、污染源、主要污染物、污染程度、危害及已采取的防治措施和成效等;
- c) 土壤污染调查首先应收集工作区地块环境资料,现场调查应重点调查访问场地有毒有害物质的使用、处理、储存情况,场地排水管、沟渠、污水池、井、泉或其他水体,并就收集资料和访问信

息进行实地查验,具体按照 HJ 25.1 执行。

5.2.7 地质环境条件调查

地质环境条件调查主要内容如下:

- a) 地层岩性主要调查地层层序、地质年代、分布情况、厚度、岩性特征、矿床类型及分布特征;
- b) 地质构造主要调查断裂、褶皱等名称、分布、形态、规模、性质及组合特点,新构造运动及地震等;
- c) 水文地质主要调查矿区所处的区域水文地质单元及其特征,矿区水文地质条件包括地下水类型、主要含水岩组的分布、富水性、透水性、地下水位、地下水化学特征、地下水补给、径流和排泄条件、地下水与地表水的关系、开采矿体与主要含水层关系等;
- d) 工程地质主要调查岩体结构及风化特征、岩体强度及形变特征、岩体抗风化及易溶蚀性特征、土体类型及结构特征、分布情况、厚度、物理力学性质、斜坡岩土体组合特征及结构面类型、性质,主要可采矿层顶、底板工程地质性质等;
- e) 岩溶发育特征主要调查可溶岩类型、性状及分布、第四系覆盖层特征、地质构造特征;岩溶地下水的赋存状态及其动力特征;岩溶水的补给来源和补给方式、径流排泄特征,岩溶大泉和地下河的分布和出露条件、补给区的范围、流量的动态变化和泉口沉积特征,岩溶水位及其动态变化;岩溶形态、规模与组合特征,发育层位与地貌、构造部位;岩溶塌陷的数量、类型、发育特征、分布规律和诱发岩溶塌陷的人类工程活动。

5.2.8 地质环境问题调查

地质环境问题调查主要内容如下:

- a) 地形地貌景观破坏主要包括调查区地形地貌景观类型及特征,重要的地质遗迹类型及其分布,风景旅游区、自然保护区分布及其范围,采场、工业场地、排土场、尾矿库、运输通道、地面塌陷等造成矿区地形地貌改变与破坏的位置、方式、范围及破坏程度,地形地貌景观破坏对城镇、风景旅游区、自然保护区、重要地质遗迹、人文景观及主要交通干线的影响;
- b) 矿区含水层破坏主要包括矿床水文地质类型、特征、空间分布及主要供水水源类型、水量,采矿对主要含水层影响方式、影响程度、影响到的含水层类型、层位、结构、影响面积、矿坑充水水源和充水途径、矿坑排水量;含水层破坏范围内地下水位、泉水流量、水源地(水井)供水变化情况、地下水位下降幅度及补给、径流、排泄条件变化情况,含水层破坏影响的村庄数量、人数、牲畜数量及影响灌溉的农田类型、数量等,矿坑排水量、疏排水去向及综合利用量,含水层破坏的防治措施及成效;
- c) 地质灾害主要包括矿业活动引发或加剧的崩塌、滑坡、泥石流、危岩、不稳定斜坡、地面塌陷等。

5.2.9 已实施的矿山生态环境修复措施及成效调查

已实施的矿山生态环境修复措施及成效调查主要内容如下:

- a) 收集已有修复、治理方案,核实矿山是否按照方案开展修复工作;
- b) 对已实施的修复措施进行调查并对其实际成效进行评估;
- c) 矿山地质环境治理恢复基金提取情况;
- d) 绿色矿山建设情况等。

5.2.10 生态问题调查

生态问题调查主要内容如下:

- a) 主要调查植被、动物种群、水体、土壤等生态环境要素的破坏范围及破坏程度;

- b) 查明矿业活动产生的水土流失、地表沉陷(塌陷)对土地资源的破坏、“三废”排放对环境的污染情况,以及水资源短缺、石漠化、森林破坏、湿地萎缩等生态问题。

5.3 工程测绘

工程测绘主要内容如下:

- a) 工程测绘应提供能够满足工程设计需要的各种地形地质图件,成果图件应按照工程地质制图要求编绘;
- b) 测绘方法可采用全站仪、三维激光扫描、无人机影像测绘及人工测绘等;
- c) 测绘时可利用不同时期的遥感影像追溯场地的演变过程,遥感解译工作范围一般应大于调查区范围,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和以往数据进行对比分析,解译内容包括矿山地质环境背景、矿山生产布局、矿山地质环境问题等,解译结果的野外验证率应不低于60%;
- d) 测绘的比例尺和精度:调查阶段测绘用图比例尺可选用1:500~1:5000;施工阶段测绘用图比例尺可选用1:200~1:1000;当地况复杂时,比例尺宜适当放大;地质界线和测绘点的精度在图上不应低于3mm;
- e) 当受地形地貌等条件的限制,调查、地质测绘等方法不能满足工作要求时,宜利用无人机影像测绘、三维激光扫描测量或其他有效手段,或在施工期借助脚手架等手段开展施工勘察,进一步补充完善工程设计。

6 方案设计

6.1 生态环境修复实施方案

6.1.1 基本规定

6.1.1.1 针对调查工作拟确定的矿山受损土地最优化的利用方向以及拟采取的修复措施开展矿山生态环境修复适宜性评价。

6.1.1.2 应在综合调查和适宜性评价的基础上编制矿山生态环境修复实施方案。

6.1.1.3 矿山生态环境修复实施方案是编制施工图设计的技术依据。

6.1.2 矿山生态环境修复适宜性评价

6.1.2.1 政策规划符合性分析。依据国家与地方有关法律法规、标准规范、国土空间规划和用途管制,遵循经济可行、技术合理、因地制宜的原则,并充分体现可持续利用及和谐发展理念。

6.1.2.2 生态环境协调分析。针对矿区生态环境问题分析与评估,分析矿区水、土壤、矿产、生物等主要生态环境要素变化,综合考虑区域生态环境特征,确保进行矿区各生态环境要素协调以实现系统修复的可行性。

6.1.2.3 自然恢复适宜性分析。根据场地地质灾害隐患发育情况、土地土壤破坏情况、气候等自然条件、污染状况及对当地群众生产生活的影响,结合规划资料综合分析研判采用自然恢复技术模式的可行性。

6.1.2.4 工程修复适宜性分析。根据场地地质灾害隐患特征及危害对象的重要性、水土环境污染情况、矿区地形地貌景观和植被破坏情况,结合矿区实际需求和国土空间规划要求,提出修复技术并分析技术可行性与经济合理性。

6.1.2.5 矿山土地复垦适宜性评价,按TD/T 1031.1执行。

6.1.3 生态环境修复实施方案编制

6.1.3.1 根据适宜性评价结果,为施工图设计推荐合理的修复方案。

6.1.3.2 修复实施方案的编制提纲可参照附录 C,主要内容如下。

- a) 基本情况。主要阐述修复区域的自然地理、社会经济、地质环境背景条件及矿山概况等基本信息。
- b) 主要矿山生态环境问题、危害及修复的重要性的必要性分析。依据矿山生态环境修复综合调查数据资料,阐述主要矿山环境问题类型、特征、分布及其危害等。说明实施保护修复工程对保障区域生态安全的重要性、紧迫性及必要性。
- c) 生态环境修复目标任务。阐述通过实施矿山生态环境修复,在修复区生态系统改善和生态功能提升方面所能达到的总体目标,以及在矿山地质灾害防治、改善水土环境、土地复垦和地貌重塑方面所能完成的分项目标和为完成上述目标所设置的具体任务。
- d) 生态环境修复分区、修复方向及修复技术模式。简述矿山生态环境修复分区划分依据与方法,评述不同矿山生态环境修复区块的修复方向和修复措施、工程部署等。
- e) 适宜性评价。按 6.1.2 提出的评价方法,针对 c)、d) 及矿山所在区域的生态功能与生态系统特征,统筹考虑矿山自然条件、生态环境问题及其严重程度、地形地貌特征和技术经济可行性等,分析确定矿山不同场地的生态环境修复方向、修复技术模式及工程部署的适宜性。
- f) 进度安排。根据涉及的工程量等,按照轻重缓急、分阶段实施的原则,提出总体工作部署和时间安排。
- g) 投资估算。主要包括经费估算的依据、取费标准、经费计算过程、计算结果、资金筹措渠道等。
- h) 保障措施。阐述保障矿山生态环境修复工程顺利实施的组织管理、技术管理、资金管理、装备保障等。

6.2 工程设计

6.2.1 基本规定

6.2.1.1 工程设计应因地制宜,综合考虑生态环境、安全经济及矿山生产等因素,慎重选择修复技术,并应加强监测工作。

6.2.1.2 设计的修复工程要综合考虑该地区国土空间规划,在确定水土污染治理、地貌重塑等修复技术前,应进行相应的可行性测试和评价,以评估拟采用修复技术是否适合本场地并为修复工程设计提供基础参数,保障修复工程切实可行。

6.2.1.3 在进行地貌重塑工程设计时,对有景观需求的区块,在确保地质安全的前提下,应考虑植被恢复对坡形、水土保持的要求;对于高陡岩质边坡,应充分利用坡体局部形成的凹槽、沟坎、平台及防治工程等种植本土植物。

6.2.1.4 对于拟修复为水田、旱地、园地、林地和草地的区域,应按 TD/T 1036 执行。

6.2.1.5 施工图设计文件依据修复实施方案和相关规范编制,提出施工技术、施工组织和安全措施等方面的具体要求,编制工程施工图图件及说明,编制工程预算。

6.2.1.6 修复工程施工之前应编制实施性施工组织设计和安全专项方案,确保工程质量和安全生产,防止对生态环境产生二次破坏。

6.2.2 自然恢复设计要点

6.2.2.1 场地内废弃设施宜予以拆除,消除影响生态修复的胁迫因素。

6.2.2.2 禁止在场地内开展取土、取石、垦殖等扰动场地的活动。

6.2.2.3 封闭场地,设立警示、标识牌。

6.2.2.4 依靠场地和周边生态系统的自我恢复能力,逐步恢复植被和动植物物种。

6.2.3 工程修复设计要点

6.2.3.1 地质灾害隐患消除工程

6.2.3.1.1 危岩防治工程

危岩防治采取的主要方法有清除、锚固、支撑、封填灌浆、主动网、被动网防护等,具体防治工程设计可参照 DB45/T 1696 执行。

6.2.3.1.2 崩塌防治工程

崩塌防治采取的主要方法有清除、锚固、抗滑桩、挡土墙、挂网喷锚、截排水等,具体防治工程设计可参照 T/CAGHP 032 执行。

6.2.3.1.3 滑坡防治工程

滑坡防治采取的主要方法有截排水、抗滑桩、锚索、格构锚固、挡土墙等,具体防治工程设计应符合 GB/T 38509 的要求。

6.2.3.1.4 泥石流防治工程

泥石流防治采取的主要方法有拦挡、排导、停淤、沟道及坡面整治等,具体防治工程设计可参照 DZ 0239 及 T/CAGHP 021 执行。

6.2.3.1.5 不稳定斜坡防治工程

不稳定斜坡防治采取的主要方法有削放坡、截排水、格构、锚固、锚喷、注浆加固、浆砌石护坡、反压坡脚、抗滑桩、挡土墙等,具体防治工程设计可参照 GB 50330 执行。

6.2.3.1.6 岩溶塌陷防治工程

岩溶塌陷防治的主要方法有治水法、填充法、注浆法、跨越法、桩基穿越法等,具体防治工程设计可参照 T/CAGHP 077 执行。

6.2.3.1.7 采空塌陷防治工程

采空塌陷防治的主要方法有回填法、砌筑支撑法、桩基穿越法、井下巷道加固法等,具体防治工程设计可参照 T/CAGHP 059 执行。

6.2.3.2 地下水及土壤污染修复工程设计要点

6.2.3.2.1 地下水污染修复技术

6.2.3.2.1.1 抽出处理

抽出处理技术要点如下:

- a) 根据地下水污染范围,在污染场地布设一定数量的抽水井,同时在地面建设相应的污水处理系统,通过水泵将污染地下水抽取至地面进行处理;
- b) 可处理多种污染物。不宜用于吸附能力较强的污染物和含放射性地下水污染,以及渗透性较差或存在非水相液体的含水层;
- c) 抽出处理技术相关要求见 D.1。

6.2.3.2.1.2 渗透性反应墙

渗透性反应墙技术要点如下:

- a) 在地下安装透水的活性材料墙体拦截污染物,当污染物通过反应墙时,污染物在可渗透反应墙内发生沉淀、吸附、氧化还原、生物降解等作用得以去除或转化,以实现地下水净化;
- b) 适用于处理污染地下水中金属、类金属等,不适用于承压含水层,不宜用于含水层厚度超过 10 m 的非承压含水层;

- c) 渗透性反应墙技术要求见 D.2。

6.2.3.2.1.3 电动力学

电动力学技术要点如下：

- a) 在污染场地插入电极，通入低压直流电形成电场，利用电场产生的各种电动力学效应驱动污染物沿电场方向定向迁移，从而将污染物富集至电极区然后进行集中处理或分离的技术；
- b) 适用于去除铬、铜、汞、镉、铅等重金属，适用于低渗透性的多孔介质地区使用；
- c) 电动力学技术要求见 D.3。

6.2.3.2.1.4 风险管控

风险管控技术要点如下：

- a) 通过敷设阻隔层阻断地下水中污染物迁移扩散的途径，不使污染地下水对人体和周围环境造成危害；
- b) 适用于重金属、有机物及重金属有机物复合污染的场地，不宜用于水溶性强污染物或渗透率高的场地，不适用于地质活动频繁和地下水水位较高的地区；
- c) 风险管控相关要求见 D.1，具体按照 HJ 25.6 执行。

6.2.3.2.2 土壤污染修复技术

6.2.3.2.2.1 固化/稳定化

固化/稳定化技术要点如下：

- a) 向污染土壤中添加固化剂/稳定剂并充分混合，使其与污染介质、污染物发生物理、化学作用，形成结构完整的具有低渗透系数的固化体或将污染物转化成化学性质不活泼的络合物，降低污染物在环境中的迁移和扩散；
- b) 适用于处理重金属、类金属等，不适用于以污染物总量为验收目标的项目；
- c) 固化/稳定化技术要求见 E.1，具体按照 HJ 1282 执行。

6.2.3.2.2.2 异位土壤洗脱

异位土壤洗脱技术要点如下：

- a) 通过添加水或合适的增效剂，分离重金属污染土壤组分或使污染物转移到液相，洗脱废水去除污染物后回用或达标排放；
- b) 适用于处理重金属污染物，不宜用于土壤中黏土含量高于 25% 的污染土壤；
- c) 异位土壤洗脱技术要求见 E.2。

6.2.3.2.2.3 植物修复

植物修复技术要点如下：

- a) 根据植物可耐受或超积累某些特定污染物的特性，利用植物对土壤中的污染物进行固定、吸收、转移、富集、转化和根滤作用，使土壤中的污染物得以消除或者将土壤中的污染物浓度降到可接受水平；
- b) 适用于处理重金属污染物，不适用于浓度较高的污染物和深层污染；
- c) 植物修复技术要求见 E.3。

6.2.3.2.2.4 阻隔填埋

阻隔填埋技术要点如下：

- a) 将污染土壤置于防渗阻隔填埋场内，或通过敷设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径，使污染土壤与四周环境隔离，避免污染物对周围环境造成危害；
- b) 适用于各类污染土壤，不宜用于渗透率高的污染土壤，不适用于地质活动频繁和地下水水位较高的地区；
- c) 阻隔填埋技术要求见 E.4。

6.2.3.2.2.5 原位土壤淋洗

原位土壤淋洗技术要点如下：

- a) 将可促进土壤污染物溶解或迁移的化学溶剂注入受污染土壤中，通过淋洗液的解吸、整合、溶解或固定等化学作用，从而将污染物从土壤中溶解、分离出来并进行处理；
- b) 适用于包气带和饱水带多种污染物去除，该技术对于多孔隙、均质、易渗透的土壤中的重金属等污染物具有较高的分离与去除效率，不宜用于黏土含量高于 25% 的污染土壤；
- c) 原位土壤淋洗技术相关要求见 E.5。

6.2.3.3 地貌重塑工程设计要点

6.2.3.3.1 边坡修整工程

6.2.3.3.1.1 陡坡放缓工程

陡坡放缓工程技术要点如下：

- a) 土质和软质岩石边坡坡角大于 60° 、坡高大于 8 m，硬质岩石边坡坡角大于 75° 、坡高大于 15 m 时，应进行放坡。
- b) 放坡后的边坡应达到稳定状态并保证坡面基本平整，一般情况下，削坡后岩质边坡坡角宜小于 60° ，其他边坡坡度宜小于 45° 。可根据实际情况进行调整。

6.2.3.3.1.2 坡改梯工程

坡改梯工程技术要点如下：

- a) 岩质边坡高度超过 15 m 时，宜采用阶梯状放坡，台阶高差一般不大于 15 m，台阶宽度一般 2 m~3 m，台阶面宜微内倾。台阶高度和宽度可根据实际情况进行调整。
- b) 土质边坡高度超过 8 m 时，宜采用阶梯状放坡，台阶高差一般不大于 8 m，台阶宽度一般不小于 3 m，台阶面宜微内倾。台阶高度和宽度可根据实际情况进行调整。

6.2.3.3.2 土地整治工程

6.2.3.3.2.1 场地平整工程

场地平整工程技术要点如下：

- a) 根据土地修复利用方向，将场地内废石、渣土等土石料优先用于场地回填平整、拦挡工程修筑等。平整后场地标高应考虑修复后土地利用中的灌排水等要求，地形坡度、平整度应符合 TD/T 1036 的要求。
- b) 废石、渣土的堆放、处置可参照 HJ 2035 执行。

6.2.3.3.2.2 表土覆盖工程

表土覆盖工程技术要点如下：

- a) 利用矿山收集的表土或客土对平整好的场地进行覆盖，土壤质量应符合 GB 15618、TD/T 1036 或 CJ/T 340 的要求。
- b) 修复为耕地、林地、园地、草地等地类时表土覆盖厚度应符合 TD/T 1036 的要求。
- c) 修复为耕地等农用地的，可采用增施有机肥、施用土壤改良剂等改良土壤。

6.2.3.4 植被重建工程设计要点

6.2.3.4.1 植被选择

在消除地质灾害隐患和进行必要的地貌重塑基础上，参照当地生态系统筛选出适应当地立地条件、抗逆性强、水土保持功能强、管理简单的乡土植物，或根据场地污染特征选择对污染物有强耐受和富集作用的植物。矿区植树造林树种选择、种植密度等可参照 GB/T 15776。

6.2.3.4.2 平缓场地植被恢复

矿山修复为园地、林地时，植物栽植密度、栽植技术和栽培方法应符合 GB/T 15776 的要求；修复为草地时，播种量、种子处理、播种方法应符合 NY/T 1342 的要求。

6.2.3.4.3 边坡植被恢复

6.2.3.4.3.1 三维植被护坡

三维植被护坡技术要点如下：

- a) 将三维复合垫卷或植生毯在坡面展开,通过锚杆和锚垫板进行锚固,使其张紧并紧贴于坡面,用以防止坡面滑动和变形,阻止坡面水土流失,为坡面植被恢复提供有利环境,坡面可自然复绿或喷播复绿;
- b) 适用于存在地质灾害隐患,坡度小于 40° ,高度小于20 m的土质边坡;
- c) 三维植被护坡技术相关要求见 F.1。

6.2.3.4.3.2 喷播植被恢复

喷播植被恢复技术要点如下：

- a) 以纤维、客土、营养剂为主要喷播基质,根据场地的岩土体特征、气候条件及其周边乡土植物种类和生长发育状态,构建持续稳定的植生基质层建植结构,并选择播种适宜当地的植物种子;
- b) 本方法适用于不存在地质灾害隐患、植被自然恢复困难,坡度小于 60° 的岩质边坡、圪工护面边坡、弃渣场边坡、土石混合边坡、土质边坡的植被恢复;
- c) 喷播植被恢复技术相关要求见 F.2 且应符合 CJJ/T 292 的要求。

6.2.3.4.3.3 生态袋护坡

生态袋护坡技术要点如下：

- a) 通过连接配件将生态袋沿边坡表面层层堆叠,达到护坡作用,袋面采用插播或栽植植物,达到恢复植被的目的;
- b) 适用于坡面完整的岩质边坡或岩土质边坡,坡度小于 75° ,高度小于40 m;
- c) 生态袋护坡技术相关要求见 F.3。

6.2.3.4.3.4 聚合生态防护

聚合生态防护技术要点如下：

- a) 采用以主动柔性网防护系统为主的边坡加固结构,结合生态横袋形成生态治理防护体,辅以自动喷灌系统,创造适合植物生长的条件,从而实现高陡岩质边坡的生态防护;
- b) 适用存在一定的地质灾害隐患,开挖坡度大于 45° ,开挖面土壤贫瘠的岩质陡坡;
- c) 聚合生态防护技术相关要求见 F.4。

6.2.3.4.3.5 垂直复绿

垂直复绿技术要点如下：

- a) 对于有绿化要求的坡面,采用垂直绿化技术进行局部植被恢复,主要形式有以下两种:燕穴法,直接在坡面微凹处用高强度水泥砂浆砌石建造种植槽穴,或直接在岩壁上制作孔穴,回填客土后进行植被修复;飘台、种植槽法,在表面光滑的坡面微凹处,打入锚杆,利用锚杆的支撑砌筑种植槽穴,回填客土后进行植被修复;
- b) 适用不存在地质灾害隐患,开挖坡度大于 45° 的岩质陡坡;
- c) 垂直复绿技术相关要求见 F.5。

6.2.3.5 其他工程要点

6.2.3.5.1 文化造景

文化造景技术要求如下：

- a) 对于植被恢复难度大的岩质边坡,尤其是位于“三区两线”可视范围内的高陡岩质边坡,可以采用文化造景技术进行改造;
- b) 文化造景应以宣传国家及当地政策、红色文化、民俗风情、神话故事、特色产品、旅游资源、发展理念等为主,以字画形式雕刻或锚固在边坡上;
- c) 实施文化造景需确保边坡及附着物安全稳定,可结合地质灾害隐患防治工作开展。

6.2.3.5.2 坑塘水面

坑塘水面技术要求如下：

- a) 对于潜水位较高、常年积水的凹陷采区、塌陷(沉陷)区或尾矿库,可利用其积水区域修复为人工养殖水域或湿地；
- b) 根据水质、汇水条件、水面大小、水体深度,结合场地蒸发与渗漏情况、水文地质、防洪排涝和场地其他条件综合考虑修复方向；
- c) 坑塘水面工程要查明影响建设的主导因子和限制因子,针对性地采取措施,不得导致次生灾害和对周边环境产生不良影响,且应满足水利部门相关规范要求。

6.2.3.5.3 道路建设

道路建设技术要求如下：

- a) 根据矿山生态环境修复工作中植被养护、耕作及景观需要,新建或整修原有道路,包括田间道、生产道、森林防火道、景观道及其他道路；
- b) 道路应根据矿山生态环境修复工作总体布局合理布设,满足场地内各类车辆、机械设备及人员通行需求；
- c) 道路等级根据道路性质、使用要求等综合确定,路面可采用硬化、泥结石、级配碎石、素土或其他路面,道路设计参照 JTG D30 和 JTG/T D33 执行。

6.2.3.5.4 灌排设施

灌排设施技术要求如下：

- a) 根据矿山生态环境修复工作实际需求,布设灌排水设施,保证场地灌溉及排水要求；
- b) 灌溉水源可引自矿山及其附近机(民)井、泉、河流、水库、蓄水池、坑塘等；
- c) 灌排水渠道、管道等设计参照 GB 50288 执行,喷灌、微灌设计参照 GB/T 50085 和 GB/T 50485 执行。

6.2.3.5.5 安全警示标识

安全警示标识技术要求如下：

- a) 矿山生态环境修复工程施工过程中及完成后,宜在施工现场、道路、电力设施、危险物品存放地、边坡、采坑、坑塘水面、防护设施等处设置明显的的安全警示标志；
- b) 安全警示标识按照 GB 2893、GB 2894 和 GB/T 13306 执行。

6.2.3.6 鼓励引进和开发适用于本区自然环境条件、低成本的矿山生态修复新技术新方法。

7 工程施工

7.1 基本规定

7.1.1 工程施工应严格按照工程设计及相关要求进行,并加强施工进度和工程质量控制,确保规定工期内保质保量完成任务,保证工程目标实现。

7.1.2 依据安全生产法律法规、文件和技术标准组织施工,及时处理施工过程中出现的问题,确保工程安全。

7.1.3 按照信息管理要求,及时填报工程施工进展信息。

7.2 施工准备

7.2.1 收集资料、现场踏勘、技术交底、编制施工组织设计和施工方案、工程材料准备、施工工艺方法试验、开工资料编制及报验等。

7.2.2 施工现场布置、临时设施建设、场地硬化、施工道路修建、临时水电配置、人员组织、施工设备进场、施工围挡、临时排水、场地绿化及文明施工与环境保护措施落实等。

7.2.3 测量基准点的移交、接收、复核、加固,测量控制网布设、施工区地形图复核与修测,工程范围、工程控制点及高程施测,测量成果检查验收及报验。

7.3 施工组织

7.3.1 施工组织设计编制依据为项目调查资料、生态环境修复实施方案、工程设计书、合同文件及法律法规等,主要包括工程基本情况、管理目标、施工总体部署、施工方案、施工方法、施工顺序、进度计划、施工安全、现场管理、保障措施等。

7.3.2 根据施工组织设计开展施工作业,按照工程设计、施工方案要求组织施工,保证在规定的期限内完成施工作业。施工期间按设计要求进行现场施工质量检测,检测方法和检测标准应满足相关要求。

8 工程监理

8.1 基本规定

8.1.1 实施工程监理应遵循的主要依据包括法律法规、技术标准、工程设计文件、施工组织设计、施工方案、监理合同等。

8.1.2 工程监理应对矿山生态环境修复工程质量、费用、进度进行控制,对合同、信息进行管理,对工程建设相关的关系进行协调并履行工程安全生产管理法定职责。

8.1.3 工程监理宜实行信息化管理。

8.1.4 工程监理及相关服务活动,除应符合本文件外,尚应符合国家现行有关标准、法律和法规的规定。

8.2 监理准备

8.2.1 根据矿山生态环境修复工程监理合同约定的服务内容、服务期限,以及工程特点、规模、技术复杂程度、环境因素等,成立监理机构,任命总监理工程师,专业监理工程师及监理员的配备应满足监理工作需要,必要时可设总监理工程师代表。

8.2.2 收集调查(勘查)资料、设计资料、施工组织设计和施工方案并现场踏勘,编制监理规划及监理实施细则。

8.2.3 监理单位应配备满足监理机构工作需要的常规检测设备和工(器)具,建设单位应按照监理合同约定,提供监理工作需要的办公、交通、通信、生活等设施。

8.3 监理实施

8.3.1 监理机构应根据合同约定,遵循动态控制原理,坚持预防为主原则,制定和实施相应的监理措施,采用旁站、巡视和平行检验等方式实施监理。

8.3.2 监理机构应协调工程建设相关方的关系,定期召开监理例会,并组织有关单位研究解决与监理相关的问题。

8.3.3 监理机构宜根据工程特点、合同约定、工程设计文件及经过批准的施工组织设计对工程风险进行分析,并提出工程质量、造价、进度目标控制及安全生产管理的防范性对策。

8.3.4 监理机构应依据合同的约定进行施工合同管理,处理工程暂停及复工、工程变更、索赔及施工合同争议、解除等事宜。

9 监测与评估

9.1 监测

9.1.1 监测目的。掌握矿山生态环境修复实施效果,为后期管护和验收提供依据。

9.1.2 监测范围 以矿山生态环境修复工作实施区域为主,根据实际情况适当扩展监测范围。

9.1.3 监测内容。主要包括施工过程中及修复工作完成后地质安全、水环境、土壤环境、植物群落、场地内建(构)筑物及其他设施等。

9.1.3.1 地质安全监测主要包括边坡、泥石流沟道、地面塌陷、地裂缝等的监测。

9.1.3.2 水环境监测主要包括地表水体的分布、面积、水质、水位和地下水水位、水质等。

9.1.3.3 土壤环境监测主要包括土壤类型、分布、面积和土壤肥力、理化性质等。

9.1.3.4 植物群落监测主要包括植物种类、密度、成活率、植物多样性、植被盖度和生物量等。

9.1.3.5 场地内建(构)筑物及其他设施监测主要包括矿山遗留及修复工作中新建的建(构)筑物及其他设施的安全运作情况。

9.1.4 监测方法。监测方法根据监测内容和场地条件综合分析确定,具体可参照 TD/T 1070.1 执行。

9.1.4.1 地质安全监测方法主要有土压力测量法、位移测量法、降雨量测量法等。

9.1.4.2 水环境监测方法主要有仪器和化学分析法、生物方法及遥感监测法等。

9.1.4.3 土壤环境监测方法主要有现场测量法、采样送检测试法等。

9.1.4.4 植物群落监测方法主要有遥感监测法(包括遥感影像、无人机航拍)、现场调查法等。

9.1.4.5 场地内建(构)筑物及其他设施监测方法主要有人工巡视监测法、自动监测法等。

9.1.5 监测频次

地质安全监测频次参照地质灾害监测相关规范执行;水环境监测频次一般为2次/年,丰、枯水期各一次;土壤环境、植物群落监测频次一般为1次/年,场地内建(构)筑物及其他设施监测频次根据实际需要。

9.2 评估

9.2.1 生态效益评估

主要包括矿山地质安全评估、水环境评估、土壤环境评估和植物群落评估等,根据设计要求分析评估修复成效是否满足要求。

9.2.2 社会效益评估

主要包括矿山生态环境修复工作实施后景观环境改善、防灾减灾能力提升、群众满意度上升,以及依托矿山生态环境修复后带动产业发展、就业渠道拓宽、生态环保意识提高等方面。

9.2.3 经济效益评估

主要包括矿山生态环境修复工程投入产出比以及修复工程实施后带来的其他方面增益,如土地增值、产业发展收益、居民收入增长及土石料资源利用等方面。

10 管护

10.1 工程管护

对地质安全防护工程、文化景观、灌排设施、道路工程、警示标识及矿区保留的建(构)筑物等工程进行管护,按照工程设计和运行要求进行定期检查和维修,发现相关设施不能正常运行或损毁时应及时进行修复或替换。

10.2 植被管护

恢复的植被应设养护期,应进行施肥、病虫害防治、绑扎树桩、扶正加土、灌溉浇水等养护工作,具

体参见附录 G。

10.3 管护时间

管护时间根据场地所处的自然条件和修复成效确定，一般管护期为 2 a~3 a。

10.4 管护机制

建立长效监管机制，加强对工程实际功能与生态效益的监测监管，确保矿山生态环境修复工程综合效益的可持续性，及人民群众对生态产品的共享。

11 工程验收

11.1 基本规定

11.1.1 施工现场应具有健全的质量管理体系、相应的施工技术标准、施工质量检验制度和综合施工质量水平评定考核制度。工程质量验收均应在施工单位自检合格的基础上进行。

11.1.2 各施工工序应按施工技术标准进行质量控制，每道施工工序完成后，经施工单位自检符合规定后，才能进行下道工序施工。各专业工种之间的相关工序应进行交接检验，并应记录。隐蔽工程在隐蔽前应由施工单位通知监理单位进行验收，并应形成验收文件，验收合格后方可继续施工。

11.1.3 当专业验收规范对工程中的验收项目未做出相应规定时，应由建设单位组织监理、设计、施工等相关单位制定专项验收要求。

11.1.4 工程施工质量验收应符合下列规定：

- a) 符合工程勘察、设计文件的规定；
- b) 符合本文件和相关专业验收规范的规定。

11.2 质量检验

11.2.1 工程的原材料质量检验应包括以下内容：

- a) 材料出厂合格证检查；
- b) 工程采用的主要材料、半成品、成品、构配件、器具和设备应进行进场检验。

11.2.2 工程质量检测评定应符合现行标准。

11.3 竣工验收

11.3.1 工程竣工验收包括初步验收和最终验收。

11.3.2 工程竣工验收应取得下列资料：

- a) 项目立项批准文件、招标文件及合同文本、经批准的修复实施方案、施工图设计、项目预算批复文件、工程决算书；
- b) 竣工验收申请、施工单位自检报告、竣工报告、参建各方工作总结报告；
- c) 各参建单位中标通知书及其资质复印件；
- d) 施工组织设计及审查意见、专项施工方案及评审文件、施工记录文件、施工物资文件；监理规划、实施细则、工作联系单、例会记录等；
- e) 自检报告、施工质量评定文件、第三方监测(检测)报告；
- f) 设计变更通知文件、重大问题处理文件及技术洽商(交底)记录；
- g) 各分项、分部工程报验、检验等验收记录，施工检测报告；
- h) 施工前、中、后完整的影像资料；
- i) 最终验收时应提交项目竣工结算和财务决算及相应的审计报告。

附录 A
(资料性)
矿山生态环境综合调查表

矿山生态环境综合调查表见表 A.1~表 A.9。

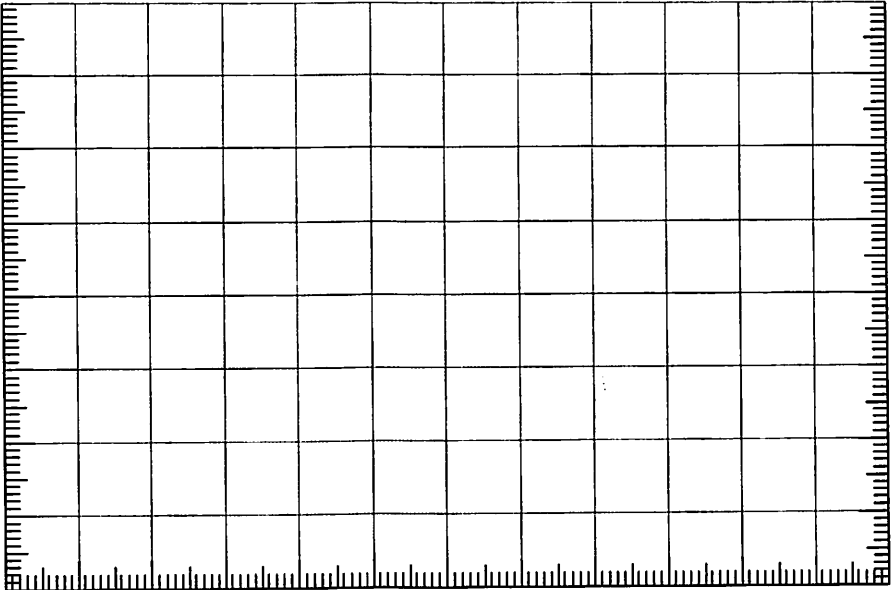
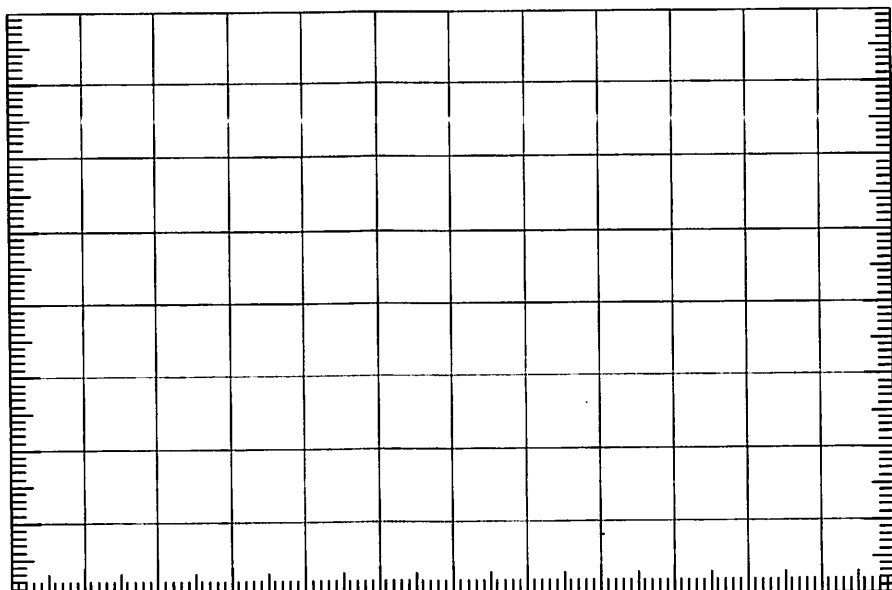
表 A.1 矿山崩塌地质灾害及其隐患调查表

矿山名称:

图幅编号:

编 号				发生时间	<input type="checkbox"/> 已发生(年 月 日) <input type="checkbox"/> 潜在崩塌					
坐 标		N:	E:	高 程	坡顶:	m:	坡底:	m		
斜坡类型		<input type="checkbox"/> 自然土质 <input type="checkbox"/> 自然岩质 <input type="checkbox"/> 人工岩质 <input type="checkbox"/> 人工土质								
崩塌类型		<input type="checkbox"/> 倾倒式 <input type="checkbox"/> 滑移式 <input type="checkbox"/> 鼓胀式 <input type="checkbox"/> 拉裂式 <input type="checkbox"/> 错断式								
崩塌环境	地质环境	地层岩性			地质构造		微地貌			
		时代	岩性	产状	构造部位	地震烈度	<input type="checkbox"/> 陡崖 <input type="checkbox"/> 陡坡 <input type="checkbox"/> 缓坡 <input type="checkbox"/> 平台			
土地利用		<input type="checkbox"/> 耕地 <input type="checkbox"/> 草地 <input type="checkbox"/> 园地 <input type="checkbox"/> 林地 <input type="checkbox"/> 建筑 <input type="checkbox"/> 其他:								
分布高程(m)		坡高(m)	坡长(m)	坡宽(m)	厚度(m)	体积(m ³)	规模等级	坡度(°)	坡向(°)	
							<input type="checkbox"/> 巨型 <input type="checkbox"/> 大型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 小型			
危岩体特征	结构特征	结构类型		厚度(m)	裂隙组数(组)	块度(长×宽×高)(m)	全风化带深度(m)	卸荷裂缝深度(m)		
		<input type="checkbox"/> 整体块状 <input type="checkbox"/> 块裂 <input type="checkbox"/> 碎裂 <input type="checkbox"/> 散体								
	土质	土的名称及特征				下伏基岩特征				
		名称	密实度	稠度	岩性	时代	产状	埋深(m)		
		<input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 稍 <input type="checkbox"/> 松								
现今变形破坏迹象		名 称	部 位	特 征				初现时间		
		<input type="checkbox"/> 拉张裂缝								
		<input type="checkbox"/> 剪切裂缝								
		<input type="checkbox"/> 剥、坠落								
		<input type="checkbox"/> 建筑变形								
目前稳定程度		<input type="checkbox"/> 稳定 <input type="checkbox"/> 较稳定 <input type="checkbox"/> 不稳定			今后变化趋势		<input type="checkbox"/> 稳定 <input type="checkbox"/> 较稳定 <input type="checkbox"/> 不稳定			
堆积体特征	长度(m)	宽度(m)	厚度(m)	体积(m ³)	坡度(°)	坡向(°)	坡面形态			
							<input type="checkbox"/> 凸 <input type="checkbox"/> 凹 <input type="checkbox"/> 直 <input type="checkbox"/> 阶			
目前稳定程度		<input type="checkbox"/> 稳定 <input type="checkbox"/> 较稳定 <input type="checkbox"/> 不稳定			今后变化趋势		<input type="checkbox"/> 稳定 <input type="checkbox"/> 较稳定 <input type="checkbox"/> 不稳定			
崩塌危害	已造成危害	死亡人数	损坏房屋	毁路(m)	毁渠(m)	其他危害	直接损失(万元)	间接损失(万元)		
			户 间							
	灾情等级	<input type="checkbox"/> 特大型 <input type="checkbox"/> 大型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 小型								
	危害对象	<input type="checkbox"/> 县城 <input type="checkbox"/> 村镇 <input type="checkbox"/> 居民点 <input type="checkbox"/> 学校 <input type="checkbox"/> 矿山 <input type="checkbox"/> 工厂 <input type="checkbox"/> 水库 <input type="checkbox"/> 电站 <input type="checkbox"/> 农田 <input type="checkbox"/> 饮灌渠道 <input type="checkbox"/> 森林 <input type="checkbox"/> 公路 <input type="checkbox"/> 河流 <input type="checkbox"/> 铁路 <input type="checkbox"/> 输电线路 <input type="checkbox"/> 通信设施 <input type="checkbox"/> 国防设施 <input type="checkbox"/> 其他:								
潜在危害	威胁人数					威胁财产(万元)				
	险情等级	<input type="checkbox"/> 特大型 <input type="checkbox"/> 大型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 小型								
	威胁对象	<input type="checkbox"/> 县城 <input type="checkbox"/> 村镇 <input type="checkbox"/> 居民点 <input type="checkbox"/> 学校 <input type="checkbox"/> 矿山 <input type="checkbox"/> 工厂 <input type="checkbox"/> 水库 <input type="checkbox"/> 电站 <input type="checkbox"/> 农田 <input type="checkbox"/> 饮灌渠道 <input type="checkbox"/> 森林 <input type="checkbox"/> 公路 <input type="checkbox"/> 河流 <input type="checkbox"/> 铁路 <input type="checkbox"/> 输电线路 <input type="checkbox"/> 通信设施 <input type="checkbox"/> 国防设施 其他:								
与矿业活动关系		矿山修路 <input type="checkbox"/> 工业场地斜坡 <input type="checkbox"/> 地下采矿山体开裂 <input type="checkbox"/> 露天采矿场边坡 <input type="checkbox"/> 其他:								
触发降水量		24 h mm, 12 h mm, 1 h mm, 10 min mm								
已有的防治措施		裂缝填埋 <input type="checkbox"/> 削方减载 <input type="checkbox"/> 锚固 <input type="checkbox"/> 灌浆 <input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 监测 <input type="checkbox"/> 其他:								
监测建议		<input type="checkbox"/> 定期目视检查 <input type="checkbox"/> 安装简易监测设施 <input type="checkbox"/> 地面位移监测 <input type="checkbox"/> 深部位移监测								
防治建议		<input type="checkbox"/> 群测群防 <input type="checkbox"/> 专业监测 <input type="checkbox"/> 搬迁避让 <input type="checkbox"/> 工程治理 <input type="checkbox"/> 应急排危除险 <input type="checkbox"/> 立警示牌								
照片编号及镜像										

表 A.1 矿山崩塌地质灾害及其隐患调查表 (续)

崩塌 及其 隐患 描述	
示意图	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">平面图</div> <div style="flex-grow: 1;">  <p style="text-align: center;">图例 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8</p> </div> </div> <hr/> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">剖面图</div> <div style="flex-grow: 1;">  <p style="text-align: center;">图例 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8</p> </div> </div>

项目负责人:

填表人:

审核人:

填表日期: 年 月 日

调查单位:

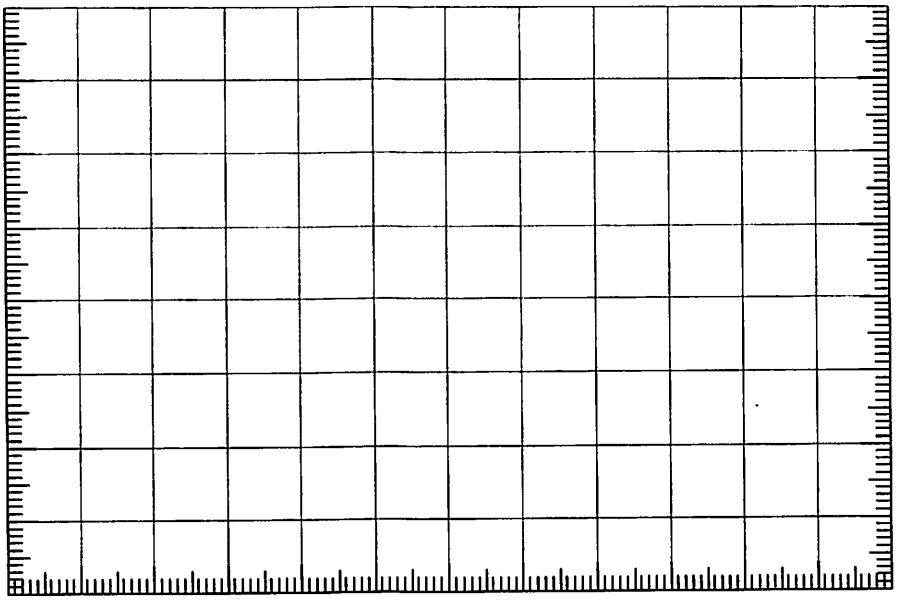
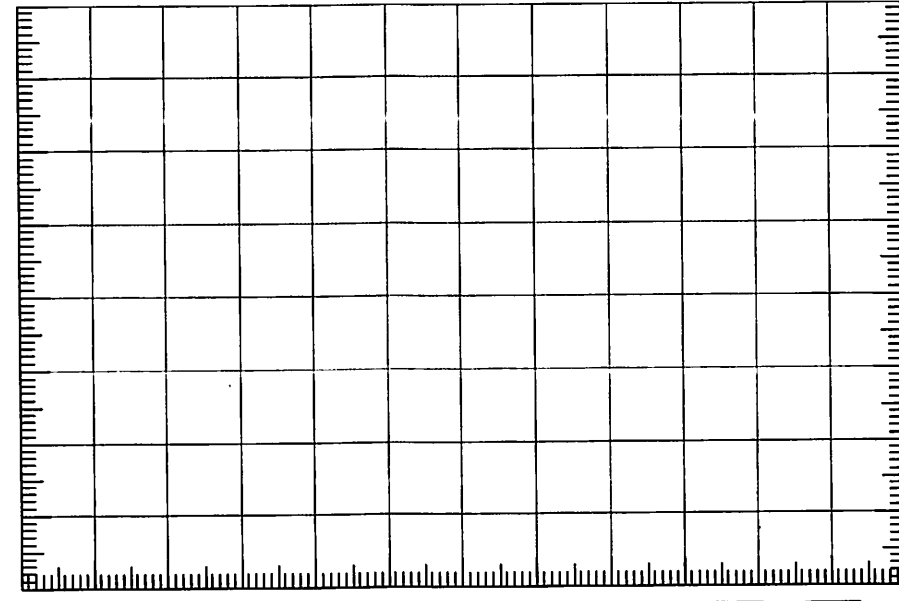
表 A.2 矿山滑坡地质灾害及其隐患调查表

矿山名称:

图幅编号:

编 号				发生时间	<input type="checkbox"/> 已发生(年 月 日); <input type="checkbox"/> 潜在滑坡						
坐 标		N: E:		高 程	坡顶 m; 坡脚: m						
滑坡类型		<input type="checkbox"/> 推移式滑坡 <input type="checkbox"/> 牵引式滑坡		滑体性质	<input type="checkbox"/> 岩质 <input type="checkbox"/> 碎块石 <input type="checkbox"/> 土质						
诱发降水量		24 h mm, 12 h mm, 1 h mm, 10 min mm									
滑 坡 环 境	地质环境	地层岩性		地质构造		微地貌		地下水类型			
		岩性	时代	产状	构造部位	地震烈度	<input type="checkbox"/> 陡崖 <input type="checkbox"/> 陡坡 <input type="checkbox"/> 缓坡 <input type="checkbox"/> 平台	<input type="checkbox"/> 孔隙水 <input type="checkbox"/> 裂隙水 <input type="checkbox"/> 岩溶水	<input type="checkbox"/> 潜水 <input type="checkbox"/> 承压水 <input type="checkbox"/> 上层滞水		
	原始斜坡	坡高(m)	坡度(°)	控滑结构面					产状		
	坡形	<input type="checkbox"/> 凸形 <input type="checkbox"/> 平直 <input type="checkbox"/> 凹形 <input type="checkbox"/> 阶状	类型	<input type="checkbox"/> 层理面 <input type="checkbox"/> 片理或劈理面 <input type="checkbox"/> 节理裂隙面 <input type="checkbox"/> 覆盖层与基岩接触面	<input type="checkbox"/> 层内错动带 <input type="checkbox"/> 构造错动带 <input type="checkbox"/> 断层 <input type="checkbox"/> 老滑面						
滑 坡 基 本 特 征	外形特征	长度(m)	宽度(m)	厚度(m)	面积(m ²)	体积(m ³)	规模等级		坡度(°)	坡向(°)	
							<input type="checkbox"/> 巨型 <input type="checkbox"/> 特大型 <input type="checkbox"/> 大型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 小型				
	平面形态			<input type="checkbox"/> 半圆 <input type="checkbox"/> 矩形 <input type="checkbox"/> 舌形 <input type="checkbox"/> 不规则							
	结构特征	滑体特征				滑床特征					
		岩性	结构	碎石含量(%)	块度(cm)		岩性	时代	产状		
<input type="checkbox"/> 可辨层次 <input type="checkbox"/> 零乱			<input type="checkbox"/> ≤5 <input type="checkbox"/> 5~10 <input type="checkbox"/> 10~50 <input type="checkbox"/> >50								
滑面及滑带特征											
	形态	埋深(m)	倾向(°)	倾角(°)	厚度(m)	滑带土名称		滑带土性状			
<input type="checkbox"/> 线形 <input type="checkbox"/> 弧形 <input type="checkbox"/> 阶形 <input type="checkbox"/> 起伏						<input type="checkbox"/> 黏土 <input type="checkbox"/> 粉质黏土 <input type="checkbox"/> 含砾黏土					
土地利用		<input type="checkbox"/> 耕地 <input type="checkbox"/> 草地 <input type="checkbox"/> 园地 <input type="checkbox"/> 林地 <input type="checkbox"/> 建筑 <input type="checkbox"/> 其他:									
变 形 活 动 特 征	现今变形迹象	名 称		部 位		特 征		初现时间			
		<input type="checkbox"/> 拉张裂缝 <input type="checkbox"/> 剥、坠落 <input type="checkbox"/> 剪切裂缝 <input type="checkbox"/> 树木歪斜 <input type="checkbox"/> 地面隆起 <input type="checkbox"/> 建筑变形 <input type="checkbox"/> 地面沉降 <input type="checkbox"/> 渗冒浑水									
	变形活动阶段	<input type="checkbox"/> 初始蠕变阶段 <input type="checkbox"/> 加速变形阶段 <input type="checkbox"/> 剧烈变形阶段 <input type="checkbox"/> 破坏阶段 <input type="checkbox"/> 休止阶段									
目前稳定状况	<input type="checkbox"/> 稳定 <input type="checkbox"/> 较稳定 <input type="checkbox"/> 不稳定				发展趋势分析		<input type="checkbox"/> 稳定 <input type="checkbox"/> 较稳定 <input type="checkbox"/> 不稳定				
滑 坡 危 害	已造成危害	死亡人数	损坏房屋	毁路(m)	毁渠(m)	其他危害		直接损失(万元)	间接损失(万元)		
		户 间									
		灾情等级		<input type="checkbox"/> 特大型 <input type="checkbox"/> 大型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 小型							
	危害对象	<input type="checkbox"/> 县城 <input type="checkbox"/> 村镇 <input type="checkbox"/> 居民点 <input type="checkbox"/> 学校 <input type="checkbox"/> 矿山 <input type="checkbox"/> 工厂 <input type="checkbox"/> 水库 <input type="checkbox"/> 电站 <input type="checkbox"/> 农田 <input type="checkbox"/> 饮灌渠道 <input type="checkbox"/> 森林 <input type="checkbox"/> 公路 <input type="checkbox"/> 河流 <input type="checkbox"/> 铁路 <input type="checkbox"/> 输电线路 <input type="checkbox"/> 通信设施 <input type="checkbox"/> 国防设施 <input type="checkbox"/> 其他:									
潜在危害	威胁人数				威胁财产(万元)						
	险情等级		<input type="checkbox"/> 特大型 <input type="checkbox"/> 大型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 小型								
威胁对象	<input type="checkbox"/> 县城 <input type="checkbox"/> 村镇 <input type="checkbox"/> 居民点 <input type="checkbox"/> 学校 <input type="checkbox"/> 矿山 <input type="checkbox"/> 工厂 <input type="checkbox"/> 水库 <input type="checkbox"/> 电站 <input type="checkbox"/> 农田 <input type="checkbox"/> 饮灌渠道 <input type="checkbox"/> 森林 <input type="checkbox"/> 公路 <input type="checkbox"/> 河流 <input type="checkbox"/> 铁路 <input type="checkbox"/> 输电线路 <input type="checkbox"/> 通信设施 <input type="checkbox"/> 国防设施 <input type="checkbox"/> 其他:										
与矿业活动关系											
监测建议		<input type="checkbox"/> 定期目视检查 <input type="checkbox"/> 安装简易监测设施 <input type="checkbox"/> 地面位移监测 <input type="checkbox"/> 深部位移监测									
防治建议		<input type="checkbox"/> 群测群防 <input type="checkbox"/> 专业监测 <input type="checkbox"/> 搬迁避让 <input type="checkbox"/> 工程治理 <input type="checkbox"/> 应急排危除险 <input type="checkbox"/> 立警示牌									
照片编号及镜像											

表 A.2 矿山滑坡地质灾害及其隐患调查表 (续)

崩塌 及其 隐患 描述	
示意图	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">平面图</div> <div style="flex-grow: 1;">  <p style="text-align: center;">图例 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8</p> </div> </div> <hr/> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">剖面图</div> <div style="flex-grow: 1;">  <p style="text-align: center;">图例 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8</p> </div> </div>

项目负责人:

填表人:

审核人:

填表日期:

年 月 日

调查单位:

表 A.3 矿山泥石流地质灾害及其隐患调查表

矿山名称:

图幅编号:

编 号			发生时间	<input type="checkbox"/> 已发生(年 月 日) <input type="checkbox"/> 潜在泥石流	
沟口位置	N: E:		高程	m	
水动力类型	<input type="checkbox"/> 暴雨 <input type="checkbox"/> 冰川 <input type="checkbox"/> 溃决 <input type="checkbox"/> 地下水		沟口巨石大小(m)	Φ_1	Φ_2
诱发降水量	24 h mm, 12 h mm, 1 h mm, 10 min mm				
补给途径	<input type="checkbox"/> 面蚀 <input type="checkbox"/> 沟岸崩滑 <input type="checkbox"/> 沟底再搬运		补给区位置	<input type="checkbox"/> 上游 <input type="checkbox"/> 中游 <input type="checkbox"/> 下游	
沟口扇形地特征	扇形地完整性(%)		扇面冲淤变幅	± 发展趋势 <input type="checkbox"/> 下切 <input type="checkbox"/> 淤高	
	扇长(m)		扇宽(m)	扩散角(°)	
	挤压河流 <input type="checkbox"/> 河形弯曲主流偏移 <input type="checkbox"/> 主流偏移 <input type="checkbox"/> 主流只在高水位偏移 <input type="checkbox"/> 主流不偏				
地质构造	<input type="checkbox"/> 顶沟断层 <input type="checkbox"/> 过沟断层 <input type="checkbox"/> 抬升区 <input type="checkbox"/> 沉降区 <input type="checkbox"/> 褶皱 <input type="checkbox"/> 单斜			地震烈度(度)	
不良地质体情况	滑 坡		活动程度	<input type="checkbox"/> 严重 <input type="checkbox"/> 中等 <input type="checkbox"/> 轻微 <input type="checkbox"/> 一般	
	人工弃渣		活动程度	<input type="checkbox"/> 严重 <input type="checkbox"/> 中等 <input type="checkbox"/> 轻微 <input type="checkbox"/> 一般	
	自然堆积		活动程度	<input type="checkbox"/> 严重 <input type="checkbox"/> 中等 <input type="checkbox"/> 轻微 <input type="checkbox"/> 一般	
土地利用(%)	林地	园地	草地	缓坡耕地	陡坡耕地
					建筑用地
					其他:
防治措施	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无		类型	<input type="checkbox"/> 稳拦 <input type="checkbox"/> 排导 <input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 生物工程	
监测措施	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无		类型	<input type="checkbox"/> 雨情 <input type="checkbox"/> 泥位 <input type="checkbox"/> 专人值守	
危害对象	<input type="checkbox"/> 县城 <input type="checkbox"/> 村镇 <input type="checkbox"/> 居民点 <input type="checkbox"/> 学校 <input type="checkbox"/> 矿山 <input type="checkbox"/> 工厂 <input type="checkbox"/> 水库 <input type="checkbox"/> 电站 <input type="checkbox"/> 农田 <input type="checkbox"/> 饮灌渠道 <input type="checkbox"/> 森林 <input type="checkbox"/> 公路 <input type="checkbox"/> 河流 <input type="checkbox"/> 铁路 <input type="checkbox"/> 输电线路 <input type="checkbox"/> 通信设施 <input type="checkbox"/> 国防设施 <input type="checkbox"/> 其他:				
造成危害	死亡人数(人)		直接经济损失(万元)	灾情等级	<input type="checkbox"/> 特大型 <input type="checkbox"/> 大型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 小型
泥石流特征	暴发频率(次/年)		泥石流类型	<input type="checkbox"/> 泥石流 <input type="checkbox"/> 泥石流 <input type="checkbox"/> 水石流	
				<input type="checkbox"/> 沟谷型 <input type="checkbox"/> 山坡型	
	冲出方量(m ³)		规模等级	<input type="checkbox"/> 巨型 <input type="checkbox"/> 大型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 小型	
			泥位(m)		
泥石流综合评判					
1.不良地质现象	<input type="checkbox"/> 严重 <input type="checkbox"/> 中等 <input type="checkbox"/> 轻微 <input type="checkbox"/> 一般			2.补给段长度比(%)	
3.沟口扇形地	<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小 <input type="checkbox"/> 无			4.主沟纵坡(%)	
5.新构造影响	<input type="checkbox"/> 强烈上升区 <input type="checkbox"/> 上升区 <input type="checkbox"/> 相对稳定区 <input type="checkbox"/> 沉降区			6.植被覆盖率(%)	
7.冲淤变幅(m)	±		8.岩性因素	<input type="checkbox"/> 土及软岩 <input type="checkbox"/> 软硬相间 <input type="checkbox"/> 风化和节理发育的硬岩 <input type="checkbox"/> 硬岩	
9.松散物储量(10 ⁴ m ³ /km ²)			10.山坡坡度(°)	11.沟槽横断面	<input type="checkbox"/> V型谷(谷中谷、U型谷) <input type="checkbox"/> 拓宽U型谷 <input type="checkbox"/> 复式断面 <input type="checkbox"/> 平坦型
12.松散物平均厚(m)			13.流域面积(km ²)		
14.相对高差(m)			15.堵塞程度	<input type="checkbox"/> 严重 <input type="checkbox"/> 中等 <input type="checkbox"/> 轻微 <input type="checkbox"/> 无	
评 分	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15
	总分				
易发程度	<input type="checkbox"/> 高易发 <input type="checkbox"/> 中易发 <input type="checkbox"/> 低易发 <input type="checkbox"/> 不易发			发展阶段	<input type="checkbox"/> 发育期 <input type="checkbox"/> 旺盛期 <input type="checkbox"/> 衰退期 <input type="checkbox"/> 停歇或终止期
潜在危害	威胁人数(人)		威胁财产(万元)		
	险情等级		<input type="checkbox"/> 特大型 <input type="checkbox"/> 大型 <input type="checkbox"/> 中型 <input type="checkbox"/> 小型		
	威胁对象 <input type="checkbox"/> 县城 <input type="checkbox"/> 村镇 <input type="checkbox"/> 居民点 <input type="checkbox"/> 学校 <input type="checkbox"/> 矿山 <input type="checkbox"/> 工厂 <input type="checkbox"/> 水库 <input type="checkbox"/> 电站 <input type="checkbox"/> 农田 <input type="checkbox"/> 饮灌渠道 <input type="checkbox"/> 森林 <input type="checkbox"/> 公路 <input type="checkbox"/> 河流 <input type="checkbox"/> 铁路 <input type="checkbox"/> 输电线路 <input type="checkbox"/> 通信设施 <input type="checkbox"/> 国防设施 <input type="checkbox"/> 其他:				
监测建议	<input type="checkbox"/> 雨情 <input type="checkbox"/> 泥位 <input type="checkbox"/> 专人值守				
防治建议	<input type="checkbox"/> 群测群防 <input type="checkbox"/> 专业监测 <input type="checkbox"/> 搬迁避让 <input type="checkbox"/> 工程治理 <input type="checkbox"/> 应急排危除险 <input type="checkbox"/> 立警示牌				
照片编号及镜像					

表 A.3 矿山泥石流地质灾害及其隐患调查表 (续)

泥石流 及其隐 患描述	
示意图	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright; margin-right: 10px;">平面图</div> <div style="flex-grow: 1;"> </div> </div> <hr/> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright; margin-right: 10px;">剖面图</div> <div style="flex-grow: 1;"> </div> </div>

项目负责人:

填表人:

审核人:

填表日期:

年 月 日

调查单位:

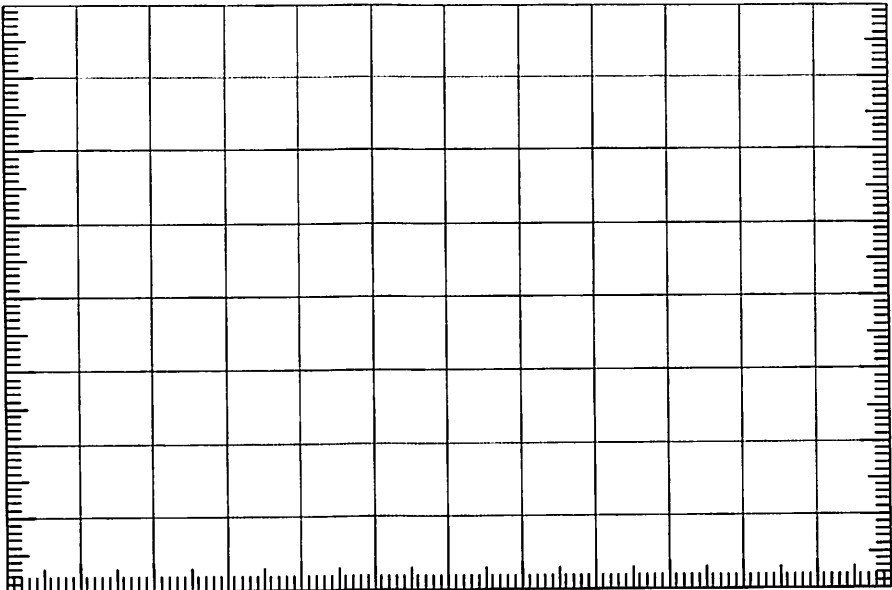
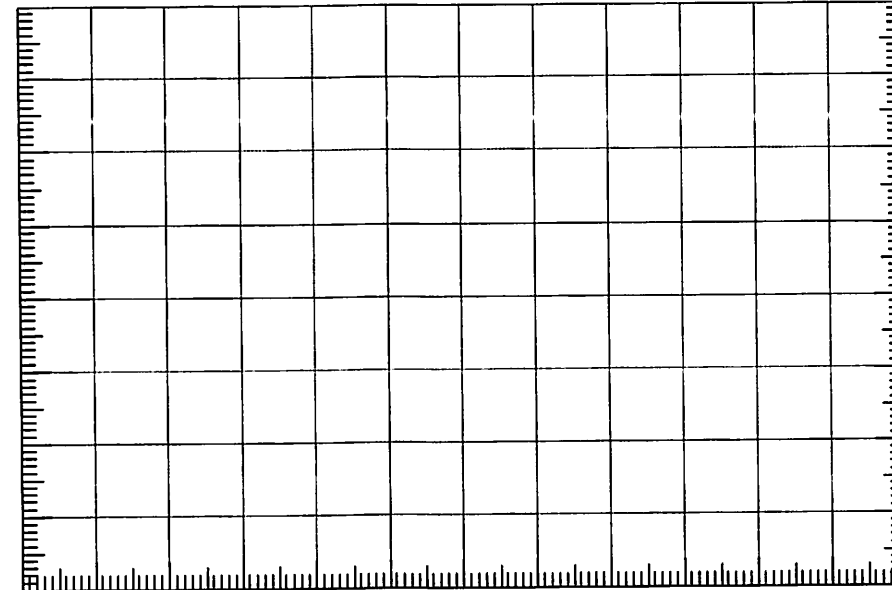
表 A.4 矿山地面塌陷、地裂缝地质灾害调查表

矿山名称:

图幅编号:

编号		坐标		N: E:		H: m					
塌 陷 坑	单 坑	1	长轴 m; 短轴 m; 深度 m; 面积 m ²		<input type="checkbox"/> 圆形 <input type="checkbox"/> 方形 <input type="checkbox"/> 长方形 <input type="checkbox"/> 其他:						
		2	长轴 m; 短轴 m; 深度 m; 面积 m ²		<input type="checkbox"/> 圆形 <input type="checkbox"/> 方形 <input type="checkbox"/> 长方形 <input type="checkbox"/> 其他:						
		3	长轴 m; 短轴 m; 深度 m; 面积 m ²		<input type="checkbox"/> 圆形 <input type="checkbox"/> 方形 <input type="checkbox"/> 长方形 <input type="checkbox"/> 其他:						
	陷 坑 群	坑 数	分布、发育及发生发展情况								
			分布面积(km ²)	排列形式	长列方向	坑口口径(m)		坑的深度(m)			
			<input type="checkbox"/> 群集式 <input type="checkbox"/> 长列式		最小	最大	最小	最大			
			始发时间	盛发开始时间	盛发截止时间	停止时间	发展变化				
						<input type="checkbox"/> 停止 <input type="checkbox"/> 趋增强 <input type="checkbox"/> 趋减弱					
	地 裂 缝	单 缝 特 征	缝号	形态	延伸方向	倾向(°)	倾角(°)	长度(m)	宽度(m)	深度(m)	性质
			1	<input type="checkbox"/> 直线 <input type="checkbox"/> 折线 <input type="checkbox"/> 弧线							<input type="checkbox"/> 拉张 <input type="checkbox"/> 平移 <input type="checkbox"/> 下错
2											
群 缝 特 征		分布、发育及发生发展情况									
		缝数	分布面积(km ²)	间距(m)	排列形式	产状	阶步指向	缝的规模			
				<input type="checkbox"/> 平行 <input type="checkbox"/> 斜列 <input type="checkbox"/> 环围 <input type="checkbox"/> 杂乱无章			长(m)	宽(m)	深(m)		
							最小				
							最大				
地 貌 特 征	地貌区	丘陵区 <input type="checkbox"/> 黄土塬区 <input type="checkbox"/> 平原区 <input type="checkbox"/> 山地区 <input type="checkbox"/> 戈壁沙漠区 <input type="checkbox"/> 其他:									
	土层时代		土性				厚度(m)				
	岩层时代		岩性				厚度(m)				
塌 陷 危 害	破坏农田 亩; 毁损房屋 间; 人员伤亡 人						直接经济损失		万元		
	破坏铁路 <input type="checkbox"/> 公路 <input type="checkbox"/> 通信设施 <input type="checkbox"/> 高压线路 <input type="checkbox"/>										
	河流	m ³ /s	现流量	m ³ /s	<input type="checkbox"/> 减少 <input type="checkbox"/> 断流 <input type="checkbox"/> 干枯						
	泉现流量	m ³ /s	泉流量变化	<input type="checkbox"/> 变化不明显 <input type="checkbox"/> 减少 <input type="checkbox"/> 干枯							
	井水水位	下降 m;	干枯时间:	变化不明显 <input type="checkbox"/>							
	主要植物		生长状况	良好 <input type="checkbox"/> 少量枯死 <input type="checkbox"/> 部分枯死 <input type="checkbox"/> 大部分枯死 <input type="checkbox"/>							
潜 在 威 胁	威胁人数	人	威胁财产	万元	田地	hm ²	房屋	间			
	威胁对象	<input type="checkbox"/> 县城 <input type="checkbox"/> 村镇 <input type="checkbox"/> 居民点 <input type="checkbox"/> 学校 <input type="checkbox"/> 矿山 <input type="checkbox"/> 工厂 <input type="checkbox"/> 水库 <input type="checkbox"/> 电站 <input type="checkbox"/> 农田 <input type="checkbox"/> 饮灌渠道 <input type="checkbox"/> 森林 <input type="checkbox"/> 公路 <input type="checkbox"/> 河流 <input type="checkbox"/> 铁路 <input type="checkbox"/> 输电线路 <input type="checkbox"/> 通信设施 <input type="checkbox"/> 国防设施 <input type="checkbox"/> 其他:									
已采取治理措施											
投入及成效		费用	(万元), 来源:				治理面积	hm ²			
防治工作建议		措施:	投入:	治理面积:							
照片编号及镜像											

表 A.4 矿山地面塌陷、地裂缝地质灾害调查表 (续)

地面塌陷、地裂缝描述	
示意图	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">平面图</div> <div style="flex-grow: 1;">  </div> </div> <div style="margin-top: 5px;"> <p>图例 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8</p> </div>
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">剖面图</div> <div style="flex-grow: 1;">  </div> </div> <div style="margin-top: 5px;"> <p>图例 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8</p> </div>

项目负责人:

填表人:

审核人:

填表日期:

年 月 日

调查单位:

表 A.5 矿山地下水含水层影响破坏调查表

矿山名称:

图幅编号:

矿床水文地质类型		<input type="checkbox"/> 孔隙充水矿床			<input type="checkbox"/> 裂隙充水矿床		<input type="checkbox"/> 岩溶充水矿床		采矿活动影响的含水层类型		<input type="checkbox"/> 孔隙含水层		<input type="checkbox"/> 裂隙含水层		<input type="checkbox"/> 岩溶含水层	
受影响的主要含水岩组水文地质特征								采矿活动对含水岩组的影响								
名称	岩性	厚度	埋深	富水性	渗透系数	矿化度	水化学类型	影响方式	结构	水位	水质					
								<input type="checkbox"/> 抽排 <input type="checkbox"/> 污染 <input type="checkbox"/> 串漏 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 揭穿 <input type="checkbox"/> 压实 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 下降 m <input type="checkbox"/> 疏干 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 改变 <input type="checkbox"/> 不改变					
								<input type="checkbox"/> 抽排 <input type="checkbox"/> 污染 <input type="checkbox"/> 串漏 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 揭穿 <input type="checkbox"/> 压实 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 下降 m <input type="checkbox"/> 疏干 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 改变 <input type="checkbox"/> 不改变					
								<input type="checkbox"/> 抽排 <input type="checkbox"/> 污染 <input type="checkbox"/> 串漏 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 揭穿 <input type="checkbox"/> 压实 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 下降 m <input type="checkbox"/> 疏干 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 改变 <input type="checkbox"/> 不改变					
								<input type="checkbox"/> 抽排 <input type="checkbox"/> 污染 <input type="checkbox"/> 串漏 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 揭穿 <input type="checkbox"/> 压实 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 下降 m <input type="checkbox"/> 疏干 <input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 改变 <input type="checkbox"/> 不改变					
矿坑排水量	万t/年				矿坑最低排水点高程	m	矿区地下水位下降区面积				hm ²					
矿坑水来源	<input type="checkbox"/> 地下水 <input type="checkbox"/> 大气降水 <input type="checkbox"/> 地表水 <input type="checkbox"/> 老窑或废弃矿井积水				矿坑充水途径	<input type="checkbox"/> 断裂构造 <input type="checkbox"/> 岩溶塌陷 <input type="checkbox"/> 底板突破 <input type="checkbox"/> 顶板破坏 <input type="checkbox"/> 采空裂缝 <input type="checkbox"/> 其他										
周边井泉水位变化	<input type="checkbox"/> 井水位下降幅度: m; <input type="checkbox"/> 泉流量减少幅度: m ³ /s; <input type="checkbox"/> 变化不明显;															
地下水影响的危害	影响人居饮水方式集成度: 对农业生产影响方式及程度															
地下水监测	监测井(点)数量		监测内容				监测层位		监测频率		监测结果					
			<input type="checkbox"/> 水位 <input type="checkbox"/> 水质 <input type="checkbox"/> 水量 <input type="checkbox"/> 水温													

项目负责人:

填表人:

审核人:

填表日期:

年 月 日

调查单位:

表 A.6 矿山地形地貌及土地破坏野外调查表

矿山名称:

图幅编号:

编 号		坐 标	N:	E:	高程:	m	
地形地貌景观类型	<input type="checkbox"/> 平原 <input type="checkbox"/> 山脚 <input type="checkbox"/> 斜坡 <input type="checkbox"/> 河谷 <input type="checkbox"/> 阶地 <input type="checkbox"/> 冲沟 <input type="checkbox"/> 洪积扇 <input type="checkbox"/> 残丘 <input type="checkbox"/> 洼地 <input type="checkbox"/> 其他						
地形地貌景观破坏方式	<input type="checkbox"/> 露天采场 <input type="checkbox"/> 工业广场 <input type="checkbox"/> 废石(土、渣)堆场 <input type="checkbox"/> 尾矿库 <input type="checkbox"/> 煤矸石堆 <input type="checkbox"/> 地面塌陷 <input type="checkbox"/> 地裂缝 <input type="checkbox"/> 崩塌 <input type="checkbox"/> 滑坡 <input type="checkbox"/> 泥石流 <input type="checkbox"/> 其他						
地形地貌破坏影响对象					影响程度		
破坏的地质遗迹类型	<input type="checkbox"/> 典型地层剖面 <input type="checkbox"/> 重要的古生物化石点 <input type="checkbox"/> 地质公园				<input type="checkbox"/> 严重 <input type="checkbox"/> 较严重 <input type="checkbox"/> 轻微		
各种自然保护区	<input type="checkbox"/> 在核心区 <input type="checkbox"/> 在保护区 <input type="checkbox"/> 在缓冲区 <input type="checkbox"/> 不在范围内				<input type="checkbox"/> 严重 <input type="checkbox"/> 较严重 <input type="checkbox"/> 轻微		
城市周边	<input type="checkbox"/> 景观破坏明显, 距离城市周边 km <input type="checkbox"/> 不明显				<input type="checkbox"/> 严重 <input type="checkbox"/> 较严重 <input type="checkbox"/> 轻微		
主要交通干线两侧	<input type="checkbox"/> 景观破坏明显, 距离交通干线 km <input type="checkbox"/> 不明显				<input type="checkbox"/> 严重 <input type="checkbox"/> 较严重 <input type="checkbox"/> 轻微		
其他							
地形地貌景观防治措施及成效							
土地破坏类型及面积	露天采场 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
	工业广场 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
	废石(土、渣)堆场 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
	尾矿库 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
	煤矸石堆 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
	地面塌陷 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
	地裂缝 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
	崩塌 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
	滑坡 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
	泥石流 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>
其他 (hm ²)	耕地 <input type="checkbox"/>	林地 <input type="checkbox"/>	草地 <input type="checkbox"/>	园地 <input type="checkbox"/>	建筑 <input type="checkbox"/>	其他 <input type="checkbox"/>	
土地复垦措施及效果							
防治建议							
照片编号及镜像							
文字描述及平面图、剖面图							

项目负责人:

填表人:

审核人:

填表日期: 年 月 日

调查单位:

表 A.7 水质样品采集记录表

矿山名称:		附编编号:							
样品编号		天气		水样类型	井 <input type="checkbox"/> 泉 <input type="checkbox"/> 地表水体 <input type="checkbox"/> 其他:				
采样日期				坐标	E			高程	m
地理位置					N				
井	水位埋深	m	井深	m	井径	m	是否完整井	是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>	
	建井年代		井用途	农田灌溉 <input type="checkbox"/> 人畜饮用 <input type="checkbox"/> 工矿生产 <input type="checkbox"/> 其他:					
	井的类型	筒井 <input type="checkbox"/> 管井 <input type="checkbox"/>		井壁结构	砖砌 <input type="checkbox"/> 片石砌 <input type="checkbox"/> 铁管 <input type="checkbox"/> 其他:				
	水质类型	潜水 <input type="checkbox"/> 承压水 <input type="checkbox"/>		含水层岩性	松散沉积物 <input type="checkbox"/> 沉积岩 <input type="checkbox"/> 火成岩/变质岩 <input type="checkbox"/>				
泉	类型	上升泉 <input type="checkbox"/> 下降泉 <input type="checkbox"/>			流量	L/s			
	物理性状	颜色: 温度: (°C) 气温: (°C) 透明: 气味:							
地表水体	地表水体								
	取样位置	源头 <input type="checkbox"/> 上游 <input type="checkbox"/> 中游 <input type="checkbox"/> 下游 <input type="checkbox"/> 其他:							
	物理性质	颜色: 温度: (°C) 气温: (°C) 透明: 气味:							
污染源	污染源类型	矿坑水 <input type="checkbox"/> 选矿水 <input type="checkbox"/> 冶炼水 <input type="checkbox"/> 矿浆 <input type="checkbox"/> 尾矿废渣 <input type="checkbox"/> 其他:							
	污染源位置	河道外 <input type="checkbox"/> m, 河道边 <input type="checkbox"/> 河道中 <input type="checkbox"/>							
水样现场测试	气温	°C	TDS	mg/L		Eh	mV		
	水温	°C	pH			Do	mg/L		
容器+体积+固定剂	玻璃瓶+(mL)+()酸 塑料瓶+(mL)+()碱								
分析项目									
照片编号及镜像									
周边环境描述:									

项目负责人:

填表人:

审核人:

填表日期: 年 月 日

调查单位:

附录 B
(资料性)

基于无人机的矿山生态环境调查方法

B.1 适用范围及调查内容

B.1.1 地形地貌调查:结合数字高程模型(Digital Elevation Model,DEM)、数字正射影像图(Digital Orthophoto Map,DOM)及地面调查地形条件,确定调查区地形地貌,了解矿山内各场地间的空间关系等。对整个矿山及周边地区建立宏观概念,避免因地形复杂、人工调查通行困难对调查工作的影响。

B.1.2 植被调查:利用三维模型或影像调查分析矿山植被破坏情况、植被的类型、植物种类、覆盖度、分布规律及动态特征变化等,对生态环境修复实施方案中植物的选择起参考作用,以便能更好的适应和融入生态系统。

B.1.3 地形图绘制:利用 EPS 或 CASS 等软件结合点云或三维模型绘制矿区地形图,为后续工作提供基础资料。

B.1.4 土地利用现状调查:通过 DOM 或三维模型对土地利用现状进行调查,统计各场地损毁面积、损毁程度及损毁位置。

B.1.5 岩体结构调查:通过三维模型或点云量测岩体节理裂隙及坡面倾向倾角,以分析斜坡稳定性。

B.1.6 地质灾害调查:通过三维模型或点云精确解译、识别危岩、崩塌、滑坡、泥石流、塌陷等地质灾害,对其进行定位、规模量测、稳定性分析等,为治理设计提供依据。

B.1.7 土壤污染调查:将高光谱传感器搭载在无人机上,获取高光谱数据导入专业软件,建立模型并进行光谱反演。快速掌握土壤污染严重程度以及分布情况,为土壤取样分析圈定靶区。

B.2 工作流程

无人机调查工作流程见图 B.1。

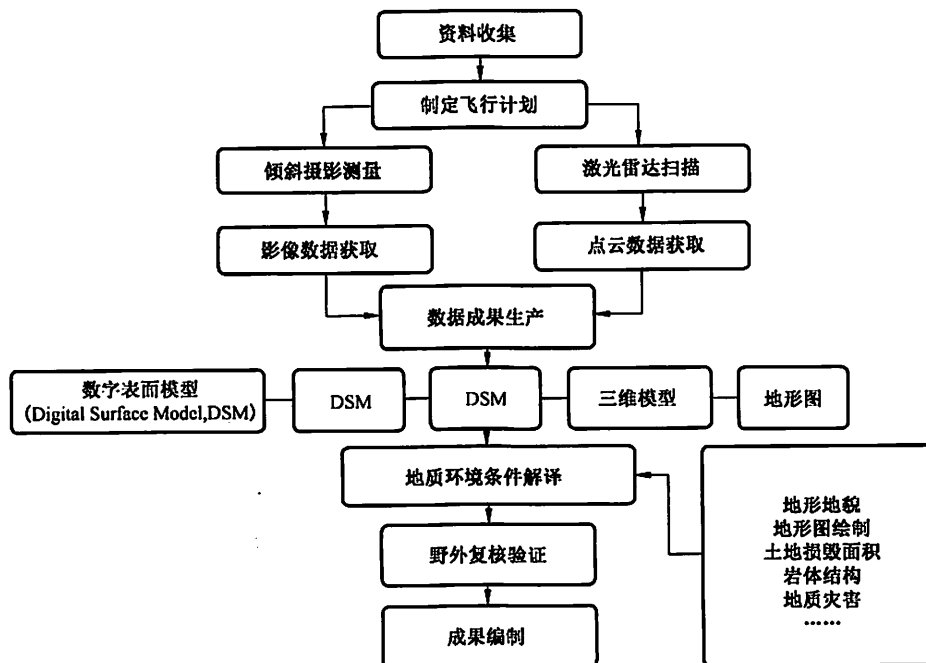


图 B.1 无人机调查工作流程图

B.3 精度要求

B.3.1 光学影像分辨率整体应优于 10 cm,局部(如矿山立面、危险结构面等)应优于 5 cm,具体依项目要求确定,有需要时应对矿山立面加密飞行或单独生产三维模型。矿山(包括立面)裂隙产状要求清晰可见,岩面平整、棱角分明。

B.3.2 激光雷达扫描平均点云密度要求优于 20 点/m²,滤波后要求优于 10 点/m²,除裸露的地质灾害和岩体结构面外,要能反映出隐蔽性地质灾害点特征。

B.3.3 其他要求:控制点及平面误差、高程误差及其他测绘要求应当满足 DZ T 0261、CH/T 3005、DD 2015-01等规范要求。

B.4 解译

B.4.1 解译内容

B.4.1.1 地形地貌及植被

B.4.1.1.1 结合 DEM、DOM 及地面调查,确定调查区地貌类型、山坡坡度、坡向、起伏度、沟谷流域面积、流域及沟床形态、沟床平均比降、流域山坡平均坡度信息等特征,了解矿山内各场地及其他人类工程活动的空间关系等。地形地貌条件在各成果数据中特征明显,可辨识度高,一般采用计算机自动解译和人机交互解译相配合。

B.4.1.1.2 结合影像(含可见光及光谱)及三维模型,人机交互解译矿山植被破坏情况、植被类型、种类、覆盖度、组成、结构、分布规律及动态特征变化。

B.4.1.2 滑坡

B.4.1.2.1 滑坡体所处位置、地形地貌特征、前后缘高程、沟谷发育状况、植被发育状况等。

B.4.1.2.2 滑坡体的范围、形态、坡度、总体滑动方向,滑坡与承灾对象的关系及影响程度等。

B.4.1.3 崩塌(含危岩)

B.4.1.3.1 崩塌(或危岩)所处位置、形态、分布高程、破坏方式。

B.4.1.3.2 崩塌(或危岩)及其堆积体的体积、节理裂隙产状、崩塌方向。

B.4.1.4 泥石流

B.4.1.4.1 泥石流流域的边界、形态、面积、主沟长度、主沟纵降比、坡度。

B.4.1.4.2 物源区的水体分布、集水面积、地形坡度、岩层性质,区内植被覆盖程度、植物类别及分布状况,断裂、滑坡、崩塌、松散堆积物等不良地质现象,可能形成泥石流固体物质的分布范围。

B.4.1.4.3 流通区沟床的纵横坡度和冲淤变化以及泥石流痕迹,阻塞地段堆积类型,以及跌水、急弯、卡口情况等。

B.4.1.4.4 堆积区堆积物的分布范围,性质、堆积面积、体积,堆积扇坡降、土地覆盖面积等。

B.4.1.5 地面塌陷

B.4.1.5.1 地面塌陷及裂缝的位置、形状、总体分布范围、单体及平面组合形态和展布方向等。

B.4.1.5.2 塌陷对地面设施的破坏程度和影响范围。

B.4.1.6 土壤污染

根据土壤及植被的光谱数据来对土壤重金属的污染程度进行间接评估。

B.4.1.7 其他

B.4.1.7.1 矿山影响的居民点、城镇、水电站、公路、河流等基础设施。

B.4.1.7.2 矿山影响的自然资源状况。

附录 C

(资料性)

矿山生态环境修复实施方案提纲

前言

第一节 项目概况

项目来源、目的任务。

第二节 调查区概况

矿区所处行政区划;调查区范围、面积、交通位置、地理坐标、区位条件;矿区及周围经济社会发展状况;包括人口、教育、工业和能源生产、农业与土地利用、交通运输、人文景观等方面内容;相邻矿山的分布及概况。

第三节 工作方法及工作量完成情况

工作思路、工作方法、工作量完成情况。

第四节 主要成果及质量评述

提交的主要成果及质量评述。

第一章 地质环境条件

第一节 自然地理和生态状况

气候、水文、土壤、土地类型、植被、生物多样性状况,重要的城镇基础设施、交通干线情况,工作区内及周边自然保护区、风景区、重要河流水系等情况。

第二节 地质环境背景

主要包括调查区的地形地貌、地层岩性、地质构造、岩土体类型、水文地质、工程地质、矿体(层)地质特征、土地利用现状、土地利用总体规划、人类工程活动及地质环境问题。

第二章 矿产资源开发利用现状

第一节 矿产资源概况

矿产资源类型、储量、分布及其赋存特征。

第二节 矿产资源开发利用现状

矿产资源开发利用历史及现状、开发利用方式、矿山规模、矿山经济地位、开发利用规划等;矿山开采基本情况;包括储量、设计生产能力、实际生产能力、可采矿层及其基本特征、矿山开拓、采区或开采阶段布置、开采方式(方法)、开采顺序、采选工艺及设备,设计生产服务年限。固体与液体废物的排放与处置情况。

第三节 采空区分布

采空区分布、面积、地面最大投影面积、采空区积水特征等。

第三章 主要矿山生态环境问题

第一节 矿区地质灾害

阐述工作区内由于矿产资源开发活动引发的崩塌、滑坡、泥石流、采空塌陷、岩溶塌陷、不稳定斜坡、危岩等地质灾害及其隐患的种类、分布规模、发生时间、发育特征、成因、威胁范围、威胁对象等。分析地质灾害对生态环境的影响。

第二节 矿区含水层破坏

包括调查区各含水层破坏情况、受影响范围及其水位、水质、水量变化情况,受影响村庄和人口数量。分析其对生态环境造成的影响和破坏。

第三节 地形地貌景观破坏

阐述调查区内由于矿产资源开发造成的露天采坑、山体破损、地面塌陷(沉陷)、废渣废石堆放、尾矿

库、工业场地等对原有地形地貌、地质遗迹、人文景观、主要交通干线、水利工程、村庄、工矿企业及其他各类建(构)筑物等的影响和破坏情况。

第四节 土地土壤破坏及污染

阐述矿业活动对矿区及其影响区域土地资源的破坏情况(矿业活动压占、挖损、污染的土地类型、位置、面积、原因、影响程度、土地减产)、土地利用改变情况及修复方向、修复的难易程度等。主要土壤类型及其分布情况、土壤厚度、容重、粒度、结构、含水量、pH 值、有机质含量等。土壤污染情况。有毒有害物质的使用、处理、储存、处置;生产过程和设备、储槽与管线;恶臭、化学味道和刺激性气味、污染和腐蚀的痕迹;排水管或渠、污水池或其他地表水体、废物堆放地、井等。地块及周围是否有可能受污染物影响的居民区、学校、医院、饮用水源保护区以及其他公共场所等。并在报告中明确其与地块的位置关系。

第五节 地下水污染

介绍场地使用历史和污染源状况,阐述场地各含水层分布、地下水类型、补径排条件及动态变化特征,地下水中污染物种类、浓度及污染区域,根据现场调查及试验提出污染管控和修复设计所需的水文地质参数以及污染物运移参数。

第六节 已采取的防治措施和治理效果

论述分析针对历史和现状存在的矿山生态环境问题已采取的防治措施和治理效果。

第四章 矿山生态环境修复实施方案

第一节 修复工作的重要性和必要性分析

依据矿山生态环境综合调查数据资料,简要阐述主要矿山生态环境问题类型、特征、分布及其危害等。说明实施保护修复工程对保障生态安全的重要性、紧迫性及与必要性。

第二节 修复目标任务

阐述通过实施矿山生态环境修复,在修复区生态系统改善和生态功能提升方面所能达到的总体目标,在矿山地质灾害防治、改善水土环境、矿山土地复垦和景观再造方面所能完成的分项目标,以及为完成上述目标所设置的具体任务。

第三节 修复分区、修复方向及修复技术模式

简述矿山生态环境修复分区依据与方法,评述不同区块的修复方向和技术模式等。按照治理区内不同的地质环境条件和主要生态环境问题划分生态环境修复分区,必要时应根据矿山原不同功能区划分生态环境修复亚区,根据各分区的特点及国土空间规划确定修复方向和采取的技术模式。

第四节 矿山生态环境修复适宜性评价

按 6.1.2 提出的评价方法,结合矿山所在区域的生态功能与生态系统特征,统筹考虑矿山自然条件、生态环境问题及其严重程度、地形地貌特征和技术经济可行性等,分析确定矿山不同场地的生态修复方向、修复技术模式及工程部署的适宜性。

第五节 修复实施方案

根据适宜性评价结果,确定矿山生态修复实施方案,并制定矿山生态修复具体措施。

第六节 土石方利用方案

根据矿山生态环境修复实施方案,进行土石方平衡分析,根据实际制定修复工作开展中土石料的缺口或盈余的处置方案。

第七节 进度安排

根据涉及的工程量等,按照轻重缓急、分阶段实施的原则,提出总体工作部署和时间安排。

第八节 经费概算

主要包括经费概算的依据、收费标准、经费概算计算过程、计算结果、资金筹措等。

第九节 保障措施

阐述保障矿山生态修复工程顺利实施的组织管理、技术管理、资金管理、装备保障等。

第五章 结论和建议

第一节 结论

第二节 建议

附图：

- (1) 附图 1: 矿山生态环境综合调查实际材料图(略)；
- (2) 附图 2: 矿产资源开发利用现状图(略)；
- (3) 附图 3: 矿山主要生态环境问题图(略)；
- (4) 附图 4: 矿山生态环境修复工程部署图(略)。

附录 D

(资料性)

地下水污染修复技术方法

D.1 抽出处理

D.1.1 工艺流程

系统组成主要包括地下水抽出单元、地面水处理单元和地下水回灌单元。其中,抽出单元包括抽水井、离心泵、抽水管网、收集池及流量计等;回灌单元包括清水池、回灌井、空气加压装置、管网等。工艺流程见图 D.1。

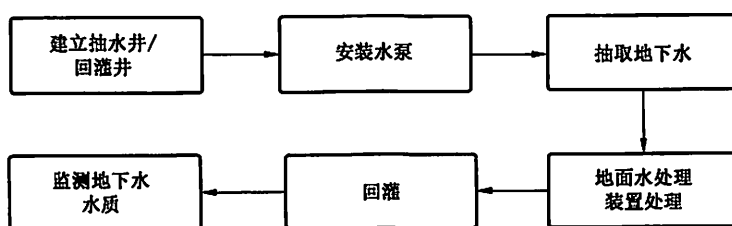


图 D.1 抽出-处理修复工艺流程

D.1.2 关键技术参数

水文地质参数:根据单孔抽水、多孔抽水、群孔干扰抽水和试验性开采抽水,确定含水层水文地质参数,如渗透系数 k 和导水系数 T 等。

含水层厚度:在承压含水层水头固定的情况下,抽水时间和总抽水量都是随着承压含水层厚度增加呈线性递增的趋势;当含水层厚度呈等幅增加时,抽水时间和总抽水量都是呈等幅增加趋势。

抽水井位置:抽水井在污染羽上的布设可分为横向与纵向两种方式,每种方式中抽水井的位置也不同。横向可将井位的布设分为两种:1)抽水井在污染羽的中轴线上;2)抽水井在污染羽中心。

抽水井间距:在多井抽水中,应重叠每个井的截获区,以防止污染地下水从井间逃逸。

井群布局:天然地下水使得污染羽的分布出现明显偏移,地下水水流方向被拉长,垂直地下水水流方向变扁。抽水井的最佳位置在污染源与污染羽中心之间,并以该井为圆心,以不同抽水量下的影响半径为半径布设其余的抽水井。

抽水速率:根据地下水类型、水文地质参数及抽水井类型,设计计算抽水量。

回灌井布设:注水井应覆盖整个污染区,确保回灌水量平衡;充分分析场地岩土性质及地下水水流场,注水井优先布设于地下水水流场的上游及抽水影响范围,充分利用场地地形形成的水头差,减少回灌能耗。

回灌速率:钻孔降水头注水试验,估算潜水含水层径流参数,确定注水井水位降速及单位时间输水量。回灌水质应满足 GB/T 19772 的要求。

D.1.3 施工步骤

D.1.3.1 建立地下水控制系统:分阶段建立抽出井群系统,安装抽水泵,脉冲式抽取地下水。

D.1.3.2 处理抽出污染地下水:选择适当的处理设备和处理方法处理受污染地下水,具体处理方法包括生物法、物理/化学法等。

D.1.3.3 监测效果评估:建立地下水抽出处理监测系统,评价地下水抽出处理效果,并根据地下水污染

羽的变化动态及时调整技术参数,最终达到修复目标。

D.1.3.4 修复成功后关闭抽出处理系统

D.1.4 环境管理

根据国家及地方环境管理法律法规,结合工程施工工艺及周边环境特点,实施环境管理计划,预防钻探建井、地面水处理设备安装等施工过程中造成的土壤、地下水、地表水、环境空气等二次污染。

D.2 渗透性反应墙

D.2.1 工艺流程

系统组成主要包括沟槽构建系统(双轮槽机、链式挖掘机等)、阻隔幕墙构建系统(大型螺旋钻、打桩机等)、监测系统(氢气、氧化还原电位、pH、水文地质情况、污染物、反应墙渗透性能的变幅和变化情况等在线监测系统)等。工艺流程见图 D.2。

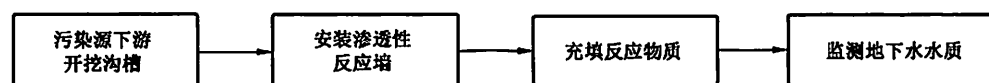


图 D.2 渗透性反应墙修复工艺流程

D.2.2 关键技术参数

关键技术参数主要包括可渗透反应墙安装位置的选择、结构的选择、埋深、规模、水力停留时间、方位、反应墙的渗透系数、活性材料的选择及其配比等。

可渗透反应墙安装位置:主要依靠前期可行性调研,根据污染物特征、迁移方式和转化条件,当地的水文地质条件、地下水水动力参数和地球化学特性及现场微生物活性和群落等条件综合考虑。

可渗透反应墙结构:根据污染物羽的分布特征、各种结构的优缺点、含水层的埋深、施工设备、施工环境、施工队伍经验以及活性材料的供应条件等,选择经济合理、安全适用的结构类型和施工工艺。

可渗透反应墙规模:包括高度、宽度和反应墙的厚度,其规模的大小主要取决于污染物的三维空间分布和地下水特征。

可渗透反应墙走向:宜垂直于地下水流向,以便最大限度截获污染物羽流。

可渗透反应墙渗透系数:墙内反应介质渗透系数宜为含水层渗透系数的 2 倍以上,使用漏斗-导水门结构时渗透系数宜为 10 倍以上。反应介质的渗透系数与含水层渗透系数的具体倍数关系应针对现场实际情况加以试验模拟分析确定。

D.2.3 施工步骤

D.2.3.1 场地平整及测量放样:进行场地平整,测量基点、导线点及水准点,在施工场地内布设施工测量控制点和水准点,对渗透式反应墙中心线进行定位放样。

D.2.3.2 上部基坑开挖:根据渗透式反应墙的设计深度和土质类型,采用放坡开挖的方式进行上部土体的开挖。

D.2.3.3 反应墙体的垂直开挖:根据地质勘探所确定浅层地下水含水层的厚度、所填填料量以及填料与沙土混合的比例,开挖至隔水层的顶板以上一定位置。

D.2.3.4 墙体降水:用潜水泵将地下水位降低至开挖墙体底面。

D.2.3.5 填料回填与搅拌:降水完成后,迅速将预先准备好的填料与原位砂土按照一定的体积比安装至墙体内部,并进行原位搅拌均匀,主要包括一次性埋入式安装、替换式安装及漏斗和门安装。

a) 埋入式安装:在墙体中回填化学或生物反应材料,在极端的条件下考虑工程性能,否则不再补

充或替换新的回填材料。

- b) 替换式安装:设施包括类似割缝槽或拦截井装置,将反应基插入盆内处理受污染地下水。
- c) 漏斗和门安装:漏斗和门装置包括一个不透水阻隔墙(如泥浆墙)和一些选定的门,使受污染地下水通过“漏斗”被动修复。不透水阻隔墙渗透性应经测试验证,渗透系数宜 $<10^{-7}$ cm/s,或使用专业的细菌或高碳飞灰进一步降低其渗透性,以确保没有受污染地下水从门的旁路通过。

D.2.3.6 上部土体回填:采用回填土体回填至设计标高,确保反应墙体的稳定性。

D.2.4 环境管理

根据国家及地方环境管理法律法规,结合工程施工工艺及周边环境特点,实施环境管理计划,预防钻探建井、地面水处理设备安装等施工过程造成的土壤、地下/地表水、环境空气等二次污染。

D.3 电动力学

D.3.1 工艺流程

系统由直流稳定电源、阴阳极电极板、修复液单元组成。其修复主要利用插入介质(土壤或沉积物)中的两个电极在污染介质两端加上低压直流电场,在低强度直流电的作用下不同形态的重金属污染物转换为可溶态进入液相系统,然后在电场作用下通过离子迁移和电渗定向迁移出土壤和地下水。工艺流程见图 D.3。

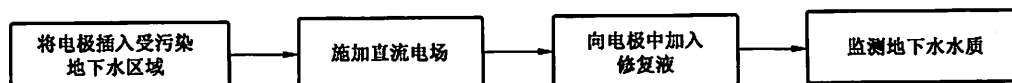


图 D.3 电动力学修复工艺流程

D.3.2 关键技术参数

影响电动力学修复效果的关键技术参数主要包括土壤 pH、Zeta 电位、土壤温度、土壤理化性质、土壤含水率、电极材料等。

土壤 pH:土壤的 pH 变化对电动力学修复影响很大, pH 影响着重金属的氧化还原、吸附脱附、沉淀溶解、表面电荷和电渗析流的方向,而且 pH 变化还影响土壤表面 Zeta 电位。

Zeta 电位:土壤中 Zeta 电位影响电渗速率,因此也影响重金属在土壤中的迁移速率。电动修复 Zeta 电位升高,可加快电动力学修复的效率。

土壤温度:电动力学修复过程中,电流过大会产生一定的热量,导致土壤的温度升高,影响电迁移和电渗过程,进而降低修复效率,因此在电动力学修复试验中,选择最佳的电流密度,减少电流带来的热效应的影响,可提高重金属污染物的去除率。

土壤理化性质:影响电动力学修复的土壤理化性质主要包括土壤黏土矿物和土壤孔隙率。土壤黏土矿物具有胶体性质,可影响阳离子交换量进而影响修复效率,这是因为具有较大阳离子交换量的黏粒可使重金属的解吸受阻,从而降低了其去除率。土壤孔隙水电解产生的氢离子可与土壤表面接触,促进被吸附重金属离子的解吸,但孔隙过大使氢离子与土壤表面接触减少,可导致被吸附的重金属不能完全解吸。

土壤含水率:电动力学修复中土壤含水率宜 $>40\%$,土壤含水率过低修复效果会不明显。

电极材料:不同的电极材料、电极材料的形状及电极的排列都会对电动力学修复产生影响,不同的电极材料会影响其在电动修复中电场的分布、放电速率。

D.3.3 施工步骤

D.3.3.1 选择电极材料:考虑在阳极发生的是失电子反应,且水解反应阳极始终处于酸性环境,故而需

要综合考虑导电性能、耐腐蚀性、经济性、易加工和易安装性能综合选用电极材料。

D.3.3.2 电极设置:在实际场地应用中结合污染场面积和土壤性质,采用一维/二维电极设置方式,即采取简单的一对正负成对电极或设置成对的片状电极形成均匀的电场梯度。

D.3.3.3 阴阳离子隔离膜:在电极加工的过程中,在电极周围安装一层交换膜以便隔开土壤和电解液,并控制阴阳两极水解所产生的 H⁺ 和 OH⁻ 向上柱中移动。

D.3.3.4 修复液设置:在电动力修复过程中,用去离子水(自来水作修复液,去除率较低。结合土壤理化性质及污染物需要采用适宜的修复液以提高修复效率。通常酸溶液用来调节阴极室 pH,碱溶液用来调节阳极室 pH,盐溶液用来提升导电能力并加快重金属离子电迁移速度,络合剂用来解析土壤颗粒表面的重金属。

D.3.3.5 供电:一般情况下电动修复中采取稳压和稳流两种供电方式。电动修复中的电场强度为 50 V/m~100 V/m,电流密度为 1 A/m²~10 A/m²。在实际的操作中采用较多的是稳压供电模式,具体采用的供电模式和施加电场大小需根据实际情况采取选用。

D.3.4 环境管理

根据国家及地方环境管理法律法规,结合工程施工工艺及周边环境特点,实施环境管理计划,预防设备安装等施工过程造成的土壤、地下/地表水、环境空气等二次污染。

D.4 风险管控

D.4.1 工艺流程

系统由阻隔系统和监测系统组成。阻隔系统主要是在污染区域构筑低渗透屏障,阻止污染扩散。阻隔墙类型有泥浆阻隔墙、注浆阻隔墙、原位土壤搅拌阻隔墙、土工膜复合阻隔墙及板桩阻隔墙等。监测系统主要由阻隔区域上下游的监测井构成。工艺流程见图 D.4。

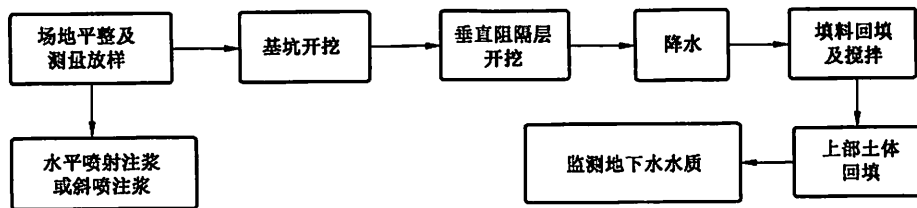


图 D.4 风险管控修复工艺流程

D.4.2 关键技术参数

关键技术参数主要包括阻隔层安装位置的选择、结构方式的选择、规模、方位、材料的选择等。

阻隔层安装位置:主要依靠前期可行性调研,根据污染物特征、迁移方式和转化条件,当地的水文地质概况、地下水水动力参数、地球化学特性及现场微生物活性和群落等条件综合考虑。

阻隔层结构方式:根据污染物羽的分布特征、含水层的埋深、隔水底板的渗透性大小等,选择经济合理、安全适用的结构类型和施工工艺。若隔水层为基岩或黏土,厚度满足帷幕击穿经验公式(D.1),则不用考虑设置水平阻隔层;反之,则需要设置人工水平阻隔层。

$$L = F_r \times \sqrt{\frac{T \times (k \times H \times D_b^{0.175} + 80 \times D_b^{0.285})}{5.569 \times 10^{-7} \times R_d}} \quad L = F_r \times \sqrt{\frac{T \times (k \times H \times D_b^{0.175} + 80 \times D_b^{0.285})}{5.569 \times 10^{-7} \times R_d}} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

L —— 帷幕设计厚度,单位为米(m);

F_s ——安全系数,考虑渗透稳定、机械侵蚀、化学溶蚀、施工因素等,建议取 1.5;

T ——击穿时间,单位为秒(s);

K ——为帷幕渗透系数,单位为米每秒(m/s);

R_0 ——帷幕材料的阻滞因子,无量纲;

D_0 ——帷幕材料的扩散系数,单位为平方米每秒(m^2/s);

H ——帷幕上下游水头差,单位为米(m)。

阻隔层规模:包括高度、宽度和反应墙的厚度,其规模的大小主要取决于污染物的三维空间分布和地下水特征。

阻隔层走向:阻隔层的走向宜垂直于地下水流向,以便最大限度截获污染物羽流。

阻隔材料:渗透系数小于 10^{-7} cm/s,阻隔材料具有极高的抗腐蚀性、抗老化性、抗紫外线能力,阻隔材料应确保阻隔系统连续、均匀、无渗漏,无毒无害。

D.4.3 施工步骤

D.4.3.1 垂直阻隔层

D.4.3.1.1 场地平整及测量放样:进行场地平整,测量基点、导线点及水准点,在施工场地内布设施工测量控制点和水准点,对垂直阻隔层中心线进行定位放样。

D.4.3.1.2 上部基坑开挖:根据垂直阻隔层的设计深度和土质类型,采用放坡开挖的方式进行上部土体的开挖。

D.4.3.1.3 垂直阻隔层开挖:根据地质勘探所确定浅层地下水含水层的厚度、所填填料量以及填料与沙土混合的比例,开挖至隔水层的顶板以上一定位置。

D.4.3.1.4 墙体降水:用潜水泵将地下水位降低至开挖墙体底面。

D.4.3.1.5 填料回填与搅拌:降水完成后,迅速将预先准备好的填料与原位沙土按照一定的体积比安装至墙体内部,并利用挖土机进行原位搅拌均匀。

D.4.3.1.6 上部土体回填:采用回填土体回填至设计标高,确保反应墙体的稳定性。

D.4.3.1.7 设置监测井:沿地下水扩散方向设置地下水监测井,井深等效于阻隔层深度,实时有效跟踪上下游地下水水质,观测防渗效果。

D.4.3.2 水平阻隔层

D.4.3.2.1 场地平整及测量放样:进行场地平整,测量基点、导线点及水准点,在施工场地内布设施工测量控制点和水准点,对垂直阻隔层中心线进行定位放样。

D.4.3.2.2 在不开挖土体的前提下,通过水平旋喷技术,利用场地低洼地势进行水平喷射注浆或斜喷注浆;若污染物渗流较深或地质条件不允许水平喷射注浆,则通过高压旋喷注浆工艺对底部水平进行围封。

D.4.4 环境管理

根据国家及地方环境管理法律法规,结合工程施工工艺及周边环境特点,实施环境管理计划,预防钻探建井、监测设备安装等施工过程造成的土壤、地下/地表水、环境空气等二次污染。

附录 E

(资料性)

土壤污染修复技术方法

E.1 固化/稳定化

E.1.1 工艺流程

E.1.1.1 原位固化/稳定化

系统构成和主要设备主要由挖掘、翻耕或螺旋钻等机械深翻松动装置系统、试剂调配和输料系统、气体收集系统、工程现场取样监测系统以及长期稳定性监测系统组成。主要设备包括机械深翻松动装置系统(如挖掘机、翻耕机、螺旋中空钻等)、试剂调配及输料系统(输料管路、试剂储存罐、流量计、混配装置、水泵、压力表等)、气体收集系统(气体收集罩、气体回收处理装置)、工程现场取样监测系统(驱动器、取样钻头、固定装置)、长期稳定性监测系统(气体监测探头、水分、温度、地下水在线监测系统)等。工艺流程见图 E.1。

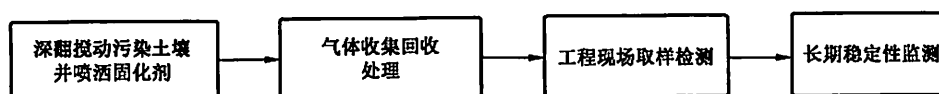


图 E.1 原位固化/稳定化修复工艺流程

E.1.1.2 异位固化/稳定化

主要由土壤预处理系统、固化/稳定剂添加系统、土壤与固化/稳定剂混合搅拌系统组成。其中,土壤预处理系统具体包括土壤水分调节系统、土壤杂质筛分系统、土壤破碎系统。主要设备包括土壤挖掘系统(如挖掘机等)、土壤水分调节系统(如输送泵、喷雾器、脱水机等)、土壤筛分破碎设备(如振动筛、筛分破碎斗、破碎机、土壤破碎斗、旋耕机等)、土壤与固化/稳定剂混合搅拌设备(双轴搅拌机、单轴螺旋搅拌机、链锤式搅拌机、切割锤击混合式搅拌机等)。工艺流程见图 E.2。

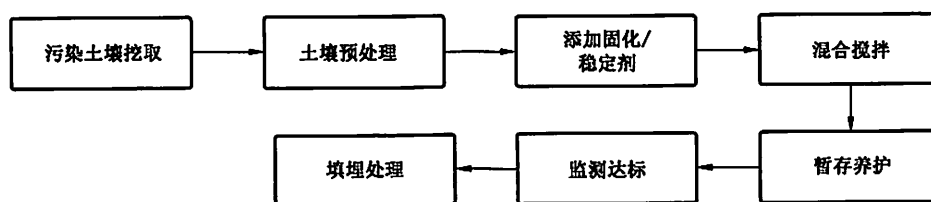


图 E.2 异位固化/稳定化修复工艺流程

E.1.2 关键技术参数

E.1.2.1 原位固化/稳定化

影响原位固化/稳定化技术治理效果关键技术参数主要包括污染介质组成及其浓度特征、污染物组成、污染物位置分布、固化剂/稳定剂组成与用量、场地地质特征、无侧限抗压强度、渗透系数以及污染物浸出特性。

污染介质组成及其浓度特征:污染介质中可溶性盐类会延长固化剂的凝固时间并大大降低其物理强度,水分含量决定添加剂中水的添加比例,有机污染物会影响固化体中晶体结构的形成,往往需要添

加有机改性黏结剂来屏蔽相关影响,修复后固体的水力渗透系数会影响到地下水的侵蚀效果。

污染物组成:对无机污染物,添加固化剂/稳定化剂即可实现非常好的固化/稳定化效果;对无机物和有机物共存时,则需添加除固化剂以外的添加剂以稳定有机污染物。

污染物位置分布:污染物仅分布在浅层污染介质当中时,通常采用改造的旋耕机或挖掘铲装置实现土壤与固化剂混合;当污染物分布在较深层污染介质当中时,通常需要采用螺旋钻等深翻搅动装置来实现试剂的添加与均匀混合。

固化剂/稳定化剂的组成与用量:固化剂/稳定化剂添加比例决定修复后系统的长期稳定性特征,组成与用量应在既有基础上根据实验室小试与现场中试通过多组配比测试后确定。一般情况下,用量不宜超过5%,避免对土壤造成过度增容。

场地地质特征:水文地质条件、地下水水流速率、场地上是否有其他构筑物、场地附近是否有地表水存在,这些都会增加施工难度并会对修复后系统的长期稳定性产生较大影响。

无侧限抗压强度:修复后固体材料的抗压强度一般应大于 50 Pa/ft^2 (约合 538.20 Pa/m^2),材料的抗压强度应 \geq 周围土壤的抗压强度。

渗透系数:衡量固化/稳定化修复后材料的关键因素。渗透系数小于周围土壤时,才不会造成固化体侵蚀和污染物浸出。固化/稳定化后固化体的渗透系数一般应小于 10^{-6} cm/s 。

浸出性特征:针对固化/稳定化后土壤的不同再利用和处置方式,采用合适的浸出方法和评价标准。

E.1.2.2 异位固化/稳定化

影响异位固化/稳定化技术治理效果关键技术参数主要包括固化/稳定剂的种类及添加量、土壤破碎程度、土壤与固化/稳定剂的混匀程度、土壤固化/稳定化处理效果评价。

固化/稳定剂的种类及添加量:固化/稳定剂的成分及添加量将显著影响土壤污染物的稳定效果,应通过试验确定固化/稳定剂的配方和添加量,并考虑一定的安全系数。目前国外应用的固化/稳定化技术药剂添加量大都低于20%。

土壤破碎程度:土壤破碎程度大有利于后续与固化/稳定剂的充分混合接触,一般要求土壤颗粒最大的尺寸不宜大于5 cm。

土壤与固化/稳定剂的混匀程度:土壤与固化/稳定剂的混匀程度宜根据物料与药剂的粒径、含水率、吸附程度、分散性进行综合判断。

土壤固化/稳定化处理效果评价:土壤固化/稳定化修复效果通常需要物理和化学两类评价指标。物理指标包括无侧限抗压强度、渗透系数,化学指标为浸出液浓度。

物理学评价指标:经固化/稳定化处理后的固化体,其无侧限抗压强度要求大于 $50 \text{ psi}(0.35 \text{ MPa})$,而固化后用于建筑材料的无侧限抗压强度至少要求达到 $4\,000 \text{ psi}(27.58 \text{ MPa})$ 。渗透系数表征土壤对水分流动的传导能力,经固化处理后的渗透系数一般要求不大于 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。

化学评价指标:针对固化/稳定化后土壤的不同再利用和处置方式,采用合适的浸出方法和评价标准。

E.1.3 施工步骤

E.1.3.1 原位固化/稳定化

E.1.3.1.1 针对污染场地情况选择回转式混合机、挖掘机、螺旋钻等钻探装置对深层污染介质进行深翻搅动,并在机械装置上方安装灌浆喷射装置。

E.1.3.1.2 通过液压驱动、液压控制将药剂直接输送到喷射装置,运用搅拌头螺旋搅拌过程中形成的负压空间或液压驱动将粉体或泥浆状药剂喷入污染介质中,或使用高压灌浆管来迫使药剂进入污染介质孔隙中。通过安装在输料系统阀端的流量计检测固化剂的输入速度、掺入量,使其按照预定的比例与污

染介质以及污染物进行有效的混合。

E.1.3.1.3 对于固化/稳定化处理过程中释放的气体,通过收集罩输送至处理系统进行无害化处理。

E.1.3.1.4 选择不同的采样工具,对不同深度和位置的修复后样品进行取样分析。

E.1.3.1.5 布置长期稳定性监测网络,定期对系统的稳定性和安全性进行监测。

E.1.3.2 异位固化/稳定化

E.1.3.2.1 根据场地污染空间分布信息进行测量放线之后开始土壤挖掘。

E.1.3.2.2 挖掘出的土壤根据情况进行土壤预处理(水分调节、土壤杂质筛分、土壤破碎等)。

E.1.3.2.3 固化/稳定剂添加。

E.1.3.2.4 土壤与固化/稳定剂混合搅拌、养护。

E.1.3.2.5 固化/稳定体的监测与处置、验收。

E.1.4 环境管理

根据国家及地方环境管理法律法规,结合工程施工工艺及周边环境特点,实施环境管理计划,预防设备安装等施工过程中造成的土壤、地下/地表水、环境空气等二次污染。

E.2 异位土壤洗脱

E.2.1 工艺流程

系统组成主要包括土壤预处理单元、物理分离单元、洗脱单元、废水处理及回用单元及挥发气体控制单元等。其中,土壤预处理单元包括抽破碎机、筛分机等;物理分离单元包括湿法振动筛、滚筒筛、水力旋流器等;洗脱单元包括洗脱搅拌罐、滚筒清洗机、水平振荡器、加药配药设备等;沉淀池、浓缩池、脱水筛、压滤机、离心分离机等;废水处理及回用单元包括废水收集箱、沉淀池、物化处理系统、泥浆泵、管道等。工艺流程见图 E.3。

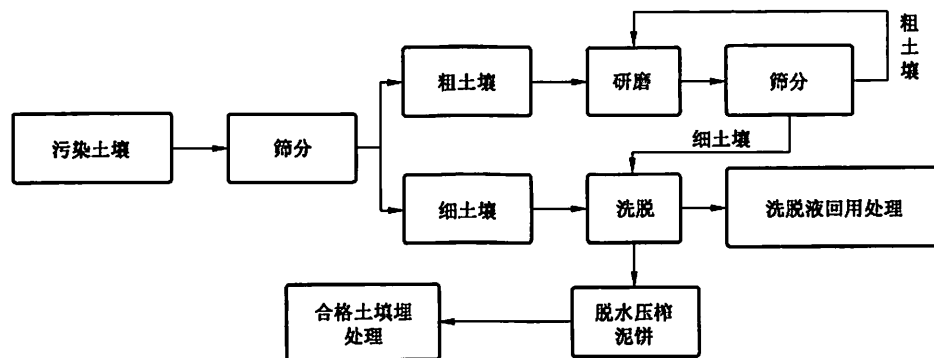


图 E.3 异位土壤洗脱修复工艺流程

E.2.2 关键技术参数

影响土壤洗脱修复效果的关键技术参数包括土壤细粒含量、污染物的性质和浓度、水土比、洗脱时间、洗脱次数、增效剂的选择、增效洗脱废水的处理及药剂回用等。

土壤细粒含量:土壤细粒的百分含量是决定土壤洗脱修复效果和成本的关键因素。细粒一般是指粒径小于 $63\ \mu\text{m}\sim 75\ \mu\text{m}$ 的粉/黏粒。通常异位土壤洗脱处理对于细粒含量达到 25% 以上的土壤不具有成本优势。

污染物性质和浓度:污染物的水溶性和迁移性直接影响土壤洗脱特别是增效洗脱修复的效果。污染物浓度也是影响修复效果和成本的重要因素。

水土比：采用旋流器分级时，一般控制给料的土壤浓度在 10% 左右；机械筛分根据土壤机械组成情况及筛分效率选择合适的水土比，一般为 5 : 1 到 10 : 1。增效洗脱单元的水土比根据可行性实验和中试的结果来设置，一般水土比为 3 : 1~20 : 1。

洗脱时间：物理分离的物料停留时间根据分级效果及处理设备的容量来确定；一般时间为 20 min~2 h，延长洗脱时间有利于污染物去除，但同时也增加了处理成本，因此应根据可行性实验、中试结果以及现场运行情况选择合适的洗脱时间。

洗脱次数：当一次分级或增效洗脱不能达到既定土壤修复目标时，可采用多级连续洗脱或循环洗脱。

增效剂类型：一般有机污染选择的增效剂为表面活性剂，重金属增效剂可为无机酸、有机酸、络合剂等。增效剂的种类和剂量根据可行性实验和中试结果确定。对于有机物和重金属复合污染，一般可考虑两类增效剂的复配。

增效洗脱废水的处理及增效剂的回用：对于土壤重金属洗脱废水，一般采用铁盐+碱沉淀的方法去除水中重金属，加酸回调后可回用增效剂；有机物污染土壤的表面活性剂洗脱废水可采用溶剂增效等方法去除污染物并实现增效剂回用。

E.2.3 施工步骤

E.2.3.1 污染土壤挖掘及预处理，包括筛分和破碎等，剔除超尺寸（如大于 100 mm）的大块杂物并进行清洗。

E.2.3.2 预处理后的土壤进入物理分离单元，采用湿法筛分或水力分选，分离出粗颗粒和砂粒，经脱水筛脱水后得到清洁物料。

E.2.3.3 分级后的细粒直接进入或进行增效洗脱后进入污泥脱水系统，泥饼根据污染性质选择最终处理处置技术。

E.2.3.4 洗脱系统的废水经物化或生物处理去除污染物后，可回用或达标排放。

E.2.3.5 若土壤含有挥发性重金属或有机污染物，应对预处理及土壤洗脱单元设置废气收集装置，并对收集的废气进行处理。

E.2.3.6 定期采集处理后粗颗粒、砂粒及细粒土壤样品以及处理前后洗脱废水样品进行分析，掌握污染物的去除效果。

E.2.4 环境管理

根据国家及地方环境管理法律法规，结合工程施工工艺及周边环境特点，实施环境管理计划，预防地面水处理设备安装等施工过程造成的土壤、地下/地表水、环境空气等二次污染。

E.3 植物修复

E.3.1 工艺流程

系统组成主要由植物育苗、植物种植、管理与刈割系统、处理处置系统与再利用系统组成。富集植物育苗设施、种植所需的农业机具（翻耕设备、灌溉设备、施肥器械）、焚烧并回收重金属所需的焚烧炉、尾气处理设备、重金属回收设备等。工艺流程见图 E.4。

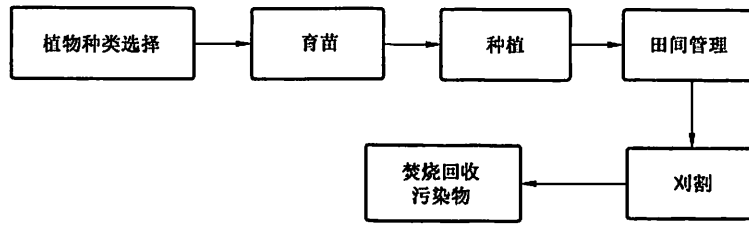


图 E.4 土壤植物修复工艺流程

E.3.2 关键技术参数

关键技术参数包括污染物类型、污染物初始浓度、修复植物选择、土壤 pH 值、土壤养分含量、土壤含水率、气温条件、植物对重金属的年富集率及生物量、尾气处理系统污染物排放浓度、重金属提取效率等。

污染物初始浓度：采用该技术修复时，土壤中污染物的初始浓度不能过高，必要时采用清洁土或低浓度污染土对其进行稀释，否则修复植物难以生存，处理效果受到影响。

土壤 pH 值：通常土壤 pH 值适合于大多数植物生长，但适宜不同植物生长的 pH 值不一定相同。

土壤养分含量：土壤中有机质或肥力应能维持植物较好生长，以满足植物的生长繁殖和获取最大生物量以及污染物的富集效果。

土壤含水率：为确保植物生长过程中的水分需求，一般情况下土壤的水分含量应控制在确保植物较好生长的土壤田间持水量。

气温条件：低温条件下植物生长会受到抑制。在气候寒冷地区，需通过地膜或冷棚等工程措施确保植物生长。

植物对金属的富集率及生物量：由于主要以植物富集为主，因此，对于生物量大且有可供选择的超富集植物的重金属（如砷、铅、镉、锌、铜等），植物修复技术的处理效果往往较好。但是，对于难以找到富集率高或植物生物量小的重金属污染土壤，植物修复技术对污染重金属的处理效果有限。

E.3.3 施工步骤

E.3.3.1 对污染土壤进行调查与评价（包括污染土壤中重金属的含量与分布、土壤 pH、土壤有机质及养分含量、土壤含水率、土壤孔隙度、土壤颗粒均匀性等）。

E.3.3.2 提出修复目标，综合考虑制定修复计划。

E.3.3.3 可采用洁净土稀释污染严重的土壤或将其转移至污染较轻地方进行混合以缩短修复周期。

E.3.3.4 根据植物对重金属的富集、转移效率、重金属对生物的毒性效应、生物量大小、植物生长速度、根系长度、是否需要采用多种植物修复、是否适应当地气候、植物常绿期等参数选取合适的修复植物并育苗。

E.3.3.5 污染场地田间整理、植物栽种、管理与刈割，管理时需根据土壤具体情况进行灌溉、施肥和添加金属释放剂。

E.3.3.6 植物安全焚烧。

E.3.4 环境管理

根据国家及地方环境管理法律法规，结合工程施工工艺及周边环境特点，实施环境管理计划，预防设备安装、焚烧回收等过程造成的土壤、地下/地表水、环境空气等二次污染。

E.4 阻隔填埋

E.4.1 工艺流程

E.4.1.1 原位阻隔填埋

系统主要由土壤阻隔系统、土壤覆盖系统、监测系统组成。土壤阻隔系统主要由高密度聚乙烯膜 (High Density Polyethylene Impermeable membrane, HDPE)、泥浆墙等防渗阻隔材料组成,通过在污染区域四周建设阻隔层,将污染区域限制在某一特定区域;土壤覆盖系统通常由黏土层、人工合成材料衬层、砂层、覆盖层等一层或多层组合而成;监测系统主要是由阻隔区域上下游的监测井构成。工艺流程见图 E.5。

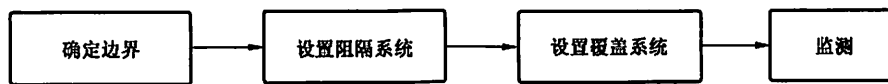


图 E.5 原位阻隔填埋修复工艺流程

E.4.1.2 异位阻隔填埋

系统主要由土壤预处理系统、填埋场防渗阻隔系统、渗滤液收集系统、封场系统、排水系统、监测系统组成。其中,该填埋场防渗系统通常由 HDPE 膜、土工布、钠基膨润土、土工排水网、天然粘土等防渗阻隔材料构筑而成。根据项目所在地地质及污染土壤情况的需要,通常还可以设置地下水导排系统与气体抽排系统或者地面生态覆盖系统。工艺流程见图 E.6。

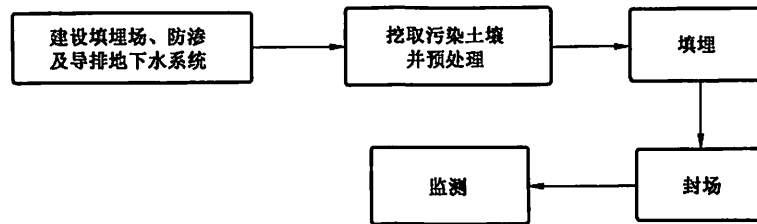


图 E.6 异位阻隔填埋修复工艺流程

E.4.2 关键技术参数

E.4.2.1 原位阻隔填埋

影响原位土壤阻隔覆盖技术修复效果的关键技术参数包括阻隔材料的性能、阻隔系统深度、土壤覆盖层厚度等。

阻隔材料:阻隔材料渗透系数要小于 10^{-7} cm/s,阻隔材料要具有极高的抗腐蚀性、抗老化性,具有强抵抗紫外线能力,无毒无害。阻隔材料应确保阻隔系统连续、均匀、无渗漏。

阻隔系统深度:通常阻隔系统要阻隔到不透水层或弱透水层,否则会削弱阻隔效果。

土壤覆盖厚度:对于黏土层通常要求厚度大于 300 mm,且经机械压实后的饱和渗透系数小于 10^{-7} cm/s;对于人工合成材料衬层,满足 CJ/T 234 的相关要求。

E.4.2.2 异位阻隔填埋

影响异位土壤阻隔填埋技术修复效果的关键技术参数包括防渗阻隔填埋场的防渗阻隔效果及填埋的抗压强度、污染土壤的浸出浓度、土壤含水率等。

阻隔防渗效果:该阻隔防渗填埋场通常是由压实黏土层、钠基膨润土垫层(GCL)和 HDPE 膜组

成,该阻隔防渗填埋场的防渗阻隔系数要小于 10^{-10} cm/s。

抗压强度:对于高风险污染土壤,需经固化稳定化后处置。为了能安全贮存,固化体必须达到一定的抗压强度,否则会出现破碎,增加暴露表面积和污染性,一般在0.1 MPa~0.5 MPa即可。

浸出浓度:高风险污染土壤经固化稳定化处置后浸出浓度要小于GB 5085.3中的浓度规定限制。

土壤含水率:土壤含水率要低于20%。

E.4.3 施工步骤

E.4.3.1 原位阻隔填埋

E.4.3.1.1 确定污染阻隔区域边界。

E.4.3.1.2 在污染阻隔区域四周设置由阻隔材料构成的阻隔系统。

E.4.3.1.3 在污染区域表层设置覆盖系统。

E.4.3.1.4 定期对污染阻隔区域进行监测,防止渗漏污染。

E.4.3.2 异位土壤阻隔填埋

E.4.3.2.1 对挖掘后的污染土壤进行适当的预处理。

E.4.3.2.2 建设填埋场防渗系统,根据地下水位情况建设地下水导排系统,如存在地下岩溶通道,应根据必要性分析考虑是否建设地下气导排系统。

E.4.3.2.3 将预处理后的污染土壤填埋在阻隔填埋场。

E.4.3.2.4 填埋完毕后进行填埋场封场系统,并建设相应的排水系统,应根据填埋土壤性质考虑是否建设导气收集系统。

E.4.3.2.5 填埋场监测系统,定期监测地下水水质,防止渗漏造成污染。

E.4.4 环境管理

根据国家及地方环境管理法律法规,结合工程施工工艺及周边环境特点,实施环境管理计划,预防填埋坑的开挖、土壤转运、土壤阻隔系统安装及封场管理等施工过程造成的土壤、地下/地表水、环境空气等二次污染。

E.5 原位土壤淋洗

E.5.1 工艺流程

系统组成主要包括淋洗剂注入单元、淋洗剂抽提单元、废水处理及回用单元及挥发气体控制单元等。其中,淋洗剂注入单元包括淋洗剂、循环泵等;淋洗剂抽提单元包括抽提井、循环泵等;废水处理及回用单元包括污水处理装置、淋洗剂净化回收装置等。工艺流程见图 E.7。

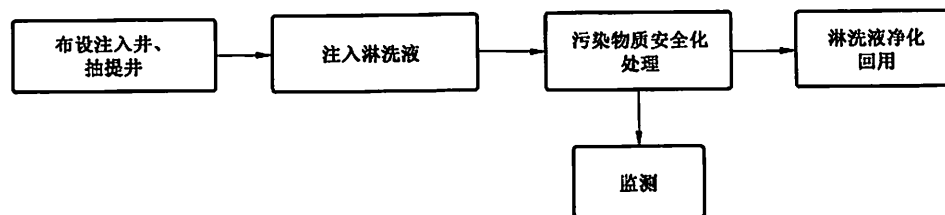


图 E.7 原位土壤淋洗修复工艺流程

E.5.2 关键技术参数

影响原位土壤淋洗修复效果的关键技术参数包括场地土壤质地、污染物的性质和浓度、淋洗剂的类

型和浓度、水土比、淋洗时间、淋洗次数等。

场地土壤质地：不同污染场地土壤的质地组成对淋洗修复效果有直接影响。淋洗法对砂质土中污染物的去除率较高，而对壤质土和黏质土中有机污染物的去除率较低。污染场地土壤可以先用粒径筛分仪进行砂质土、壤质土和黏质土的浮选预处理，再运用不同针对性的淋洗剂进行分类淋洗，从而达到提高去除效率降低修复成本的要求。

污染物性质和浓度：污染物的水溶性和迁移性直接影响土壤淋洗的效果。污染物浓度也是影响修复效果和成本的重要因素。

淋洗剂的类型和浓度：根据特定的重金属污染场地和重金属污染类型来选择合适的淋洗剂。此外，还需要重点考虑淋洗剂的环境安全性，是否会产生二次污染。

水土比：根据场地污染土的范围估算污染土的含量，确定水土比。一般条件下，高水土比有助于提高污染物的总体去除率，过低的水土比不利于污染物的去除。

淋洗时间：根据污染物的浓度来确定，一般时间为 20 min~2 h，延长洗脱时间有利于污染物去除，但在到达某一时间定值后去除率趋于相对稳定，因此应根据可行性试验、中试结果以及现场运行情况选择合适的淋洗时间。

淋洗次数：当一次淋洗不能达到既定土壤修复目标时，可采用多次连续淋洗或循环淋洗。

E.5.3 施工步骤

E.5.3.1 根据污染场地的地质特点和工程需求确定注入井和抽提井的位置、数目和深度，以及淋洗剂回用处理设备的安置。

E.5.3.2 注入淋洗剂，进行淋洗修复处理。

E.5.3.3 抽提出含有污染物质的淋洗剂。

E.5.3.4 淋洗剂净化回用。

E.5.3.5 污染物质安全化处理。

E.5.3.6 定期采集处理后粗颗粒、砂粒及细粒土壤样品以及处理前后淋洗废水样品进行分析，掌握污染物的去除效果。

E.5.4 环境管理

根据国家及地方环境管理法律法规，结合工程施工工艺及周边环境特点，实施环境管理计划，预防钻探建井、地面水处理设备安装等施工过程造成的土壤、地下/地表水、环境空气等二次污染。

附录 F
(资料性)
植被重建技术方法

F.1 三维植被护坡**F.1.1 适用范围**

F.1.1.1 适用于坡度小于 40° 的土质或类土质边坡。

F.1.1.2 高度小于 20 m 的低矮边坡。

F.1.1.3 同时存在坡面稳定及绿化需求的边坡。

F.1.1.4 喷播或自然复绿边坡。

F.1.2 设计要点**F.1.2.1 锚杆检算**

- a) 平行于坡面整体滑动失稳检算。平行于坡面单元体下滑时将在滑动处对锚杆产生剪切作用,与此同时,锚杆体还受到轴向拉拔作用,当任一作用或它们的组合作用超过锚杆杆体承载能力时,系统将因锚杆的破坏而失效。锚杆安全检算条件见式(F.1);

$$\left(\frac{V_{d2}\gamma_{TR}}{T_R}\right)^2 + \left(\frac{S_d\gamma_{SR}}{S_R}\right)^2 \leq 1.0 \dots\dots\dots(F.1)$$

式中:

S_d ——滑动单元体剩余下滑力,单位为千牛每米(kN/m);

V_{d2} ——考虑锚杆螺母拧紧及灌浆体粘结力的锚杆预压力设计值,单位为千帕(kPa);

T_R 、 S_R ——杆体抗拉、抗剪能力的设计值,单位为千帕(kPa);

γ_{TR} 、 γ_{SR} ——锚杆杆体材料抗拉、抗剪强度分项系数。

- b) 锚杆间坡面局部滑动失稳检算。在锚杆间局部岩土体作用下,基于以上两种失稳力学模型,锚杆在预压力和滑动单元体剪出力组合作用下发生拔出或杆体拉伸破坏。

对于受轴向拉拔力 T_p 作用的锚杆,考虑杆体的拉伸破坏和锚杆的拔出破坏的安全检算条件为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{杆体抵抗拉伸破坏的安全条件: } T_p \leq T_R / \gamma_{TR} \\ \text{杆体抵抗拔出的安全条件: } T_p \leq R_B / \gamma_{BR} \\ \text{杆体及灌浆体整体抵抗拔出的安全条件: } T_p \leq R_T / \gamma_{AR} \end{array} \right.$$

轴向拉拔力:

$$T_p = V_{d2} + P_d T_p = V_{d2} + P_d \dots\dots\dots(F.2)$$

式中:

R_B 、 γ_{BR} 、 R_T 、 γ_{AR} 和 R_T 、 γ_{AR} ——灌浆体对杆体的握裹能力和岩土体对灌浆体的握裹能力及其相应的分项系数;

T_R 、 γ_{TR} ——杆体抗拉力设计值及其分项系统;

P_d ——滑动单元剪出力。

F.1.3 施工与养护**F.1.3.1 施工流程**

施工流程见图 F.1。

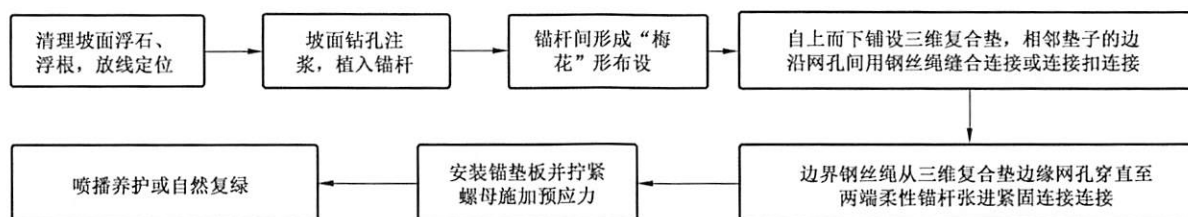


图 F.1 三维植被护坡施工流程

F.1.3.2 施工工艺

F.1.3.2.1 坡面自上而下按设计深度钻凿锚杆孔并清孔，在边坡上锚入钢筋锚杆，锚杆呈“梅花”形布置，锚杆头预留外露长度锚固三维复合垫。

F.1.3.2.2 坡面自上而下铺设三维复合垫，相邻垫子的边沿网孔间用钢丝绳缝合连接，缝合方式为从相邻网孔间直接穿过缠绕缝合绳或采用连接卡扣，缝合绳端头采用绳卡紧固。

F.1.3.2.3 边界钢丝绳从三维复合垫边缘网孔穿过连接，直至两端柔性锚杆，张紧并用绳卡紧固连接。

F.1.3.2.4 安装锚垫板并拧紧螺母施加预应力，使三维复合垫张紧并紧贴坡面或稍压入地面，横向边界绳及纵向边界绳应卡压在钢筋锚杆外侧，横向边界绳宜交替卡压在锚杆的上侧与下侧，尤其是非直线延伸或地形复杂时，地形复杂或非直线延伸的纵向边界绳亦可采用这种交替卡压方式。

F.2 喷播植被恢复

F.2.1 适用范围

本方法适用于坡率不大于 $1:0.5$ 且稳定的岩质边坡、圪工护面边坡、弃渣场边坡、土石混合边坡、土质边坡以及各类平缓迹地的植被恢复。

F.2.2 设计要点

F.2.2.1 根据调查所掌握的目标场地条件和植被恢复目标，合理设计如图 F.2 所示建植结构和喷播植物种类。所设计建植结构是否包含图示全部构成要素，取决于特定目标场地的相关条件，但其内外顺序关系不得改变。

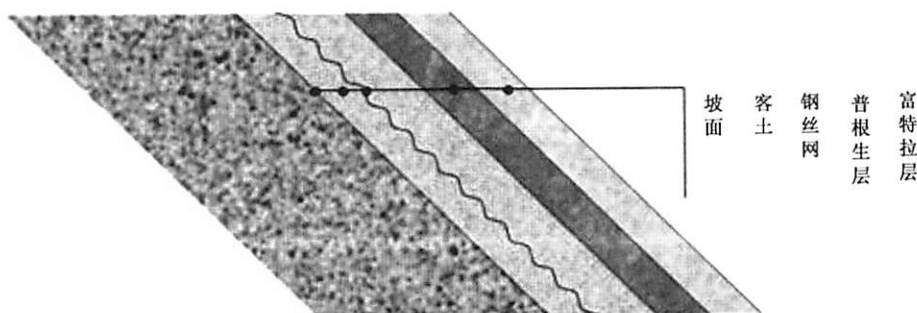


图 F.2 土壤活化与抗侵蚀纤维喷播全要素建植结构示意图

F.2.2.2 根据目标场地岩土类型与状态、坡率、客土源质地和肥力等，客土层厚度一般为 $3\text{ cm} \sim 15\text{ cm}$ ，并按一定配合比适量添加植物纤维、保水剂、黏合剂、有机肥、复合肥等土壤调理剂和肥料。

F.2.2.3 坡面平滑、坡率 $>1:1$ 且客土层厚度 $\geq 3\text{ cm}$ ，或坡率 $>1:1.25$ 且客土层厚度 $\geq 5\text{ cm}$ 时，根据具体坡率和客土层厚度的不同增设丝径 $1.6\text{ mm} \sim 2.2\text{ mm}$ 、网孔孔径 $50\text{ mm} \sim 80\text{ mm}$ 的镀锌钢丝网，并根据坡率和坡面岩土材料类型和结构特征采用长度一般为 $15\text{ cm} \sim 30\text{ cm}$ 的钢筋锚钉或长度一

一般为 25 cm~50 cm 的竹木锚钉来锚固钢丝网,其锚固密度一般为 0.6 根/m²~2 根/m²,并在坡率 $\geq 1:0.75$ 时的坡面与钢丝网间增设木条、生态棒等加固和糙化措施。

F.2.2.4 根据客土或无客土时基坡土壤质地与肥力,喷附单位面积用量一般为 200 g/m²~500 g/m² 的土壤活化纤维层。

F.2.2.5 根据坡率和施工季节,喷附单位面积用量一般为 300 g/m²~550 g/m² 的抗侵蚀纤维层。

F.2.2.6 结合目标场地所处自然环境、工程条件、后期养护条件、播种季节、植被恢复目标和景观需求等因素,以建立利于水土保持和固土护坡、根系发达、抗逆性强、耐干旱、耐瘠薄、种源充足、适宜长期生长、与环境协调、适宜粗放养护管理的植物群落为目标,以优先选择乡土植物为原则,综合确定适宜的植物种子种类及其用量配合比。无特殊需要时,一般宜采用灌草结合的植物群落设计。

F.2.2.7 全部灌木种子和部分草本种子一般连同普根生层一起喷播,剩余的草本种子连同富特拉层喷播。

F.2.2.8 综合考虑目标场地区域常年降水情况、场内涌水情况、地形条件等设置必要的截排水措施。

F.2.3 施工与养护

F.2.3.1 施工流程

根据相关设计要求按图 F.3 所示主要工序流程进行施工,工程设计缺省其中某一构成要素时,施工时相应省去并直接进入下一要素环节。

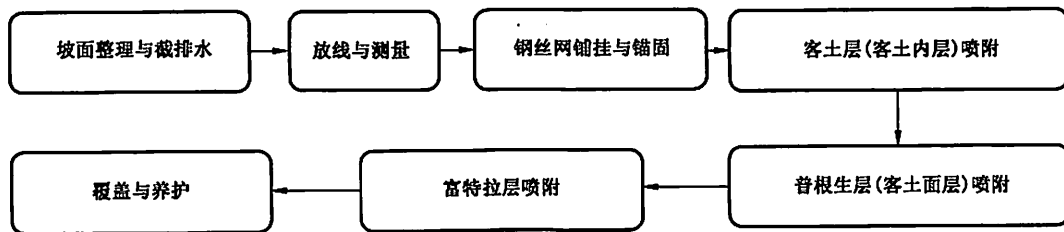


图 F.3 喷播植被恢复施工流程

F.2.3.2 施工工艺

F.2.3.2.1 坡面整理与截排水。对阻碍工程施工、影响工程质量、威胁施工作业安全的杂物、局部凸起体和坡面浮土、孤危石等予以清除,并对较大凹陷进行填充修补;对需客土的平滑土质坡面进行适当的拉槽糙化处理;设计有截排水工程时,在开始客土作业前按设计完成修建,设计无截排水工程且无既有排水系统时,根据场地地形条件、水文情况、施工季节等做好必要的临时截排水措施。

F.2.3.2.2 放线与测量。根据设计的工程范围并结合现场条件进行放线确定施工范围,测量各作业区域面积,并结合设计建植结构措施和喷播施工设备单次装载量可施工面积,规划并做好各循环作业区域控制的分区标识。

F.2.3.2.3 挂网锚固。从上向下张紧铺挂钢丝网并锚固。钢丝网片间的搭接宽度一般不宜小于两排网孔;根据坡面岩土体类型和锚钉类型可采用钻孔注浆、钻孔挤入、直接打入等方式实现锚钉锚固;锚固用钢筋锚钉一般采用“U”型锚钉,锚固时其外露锚头约束体朝向下方覆压钢丝网网丝,采用无约束体锚钉时,其外露段与钢丝网网丝间用扎丝绑扎牢固;坡面平滑且客土厚度大于 5 cm 时,宜采用木条局部垫高钢丝网。

F.2.3.2.4 客土。按设计要求将各种土壤调理剂和肥料添加到壤土并拌和均匀后进行客土作业,考虑沉降影响,初始客土厚度一般不小于设计厚度的 120%;坡率 $\leq 1:1$ 的边坡或平缓场地可根据场地条件采用人工或机械覆土方式,其余采用喷附方法。

F.2.3.2.5 纤维层与种子喷播。按纤维材料使用要求拌入种子,并加水经充分搅拌后均匀喷播普根生

和富特纤维层。根据客土土源质地和种子种类及其发芽特性,普根生纤维及其所需喷播种子可以拌入客土面层一起喷播,该客土面层厚度一般控制在 2 cm 左右;种子喷播前一般采用浸种法进行催芽处理。

F.2.3.3 养护

根据播种季节,喷播结束后及时覆盖无纺布或遮阳网,并在种子萌发和幼苗期加强浇水养护,待齐苗并揭除覆盖物后,根据植物生长状态、土壤墒情适时进行浇水施肥等养护作业。

F.3 生态袋护坡

F.3.1 适用范围

本方法适用于坡率不大于 1:0.1 并整体稳定的各类边坡的植被恢复,尤其适用于其他方法不能或难以实现可永久持续的植被恢复的边坡。

F.3.2 设计要点

F.3.2.1 柔性生态护坡垒砌结构中,除生态袋和基础这两个基本构成要素外,还根据边坡坡率和垒砌高度、工程地质条件尤其是岩土体的锚固条件的不同,合理采用联结扣、锚杆、立筋和钢筋挂钩等结构要素,按图 F.4 所示垒砌式结构体系来确保垒砌结构整体稳定。

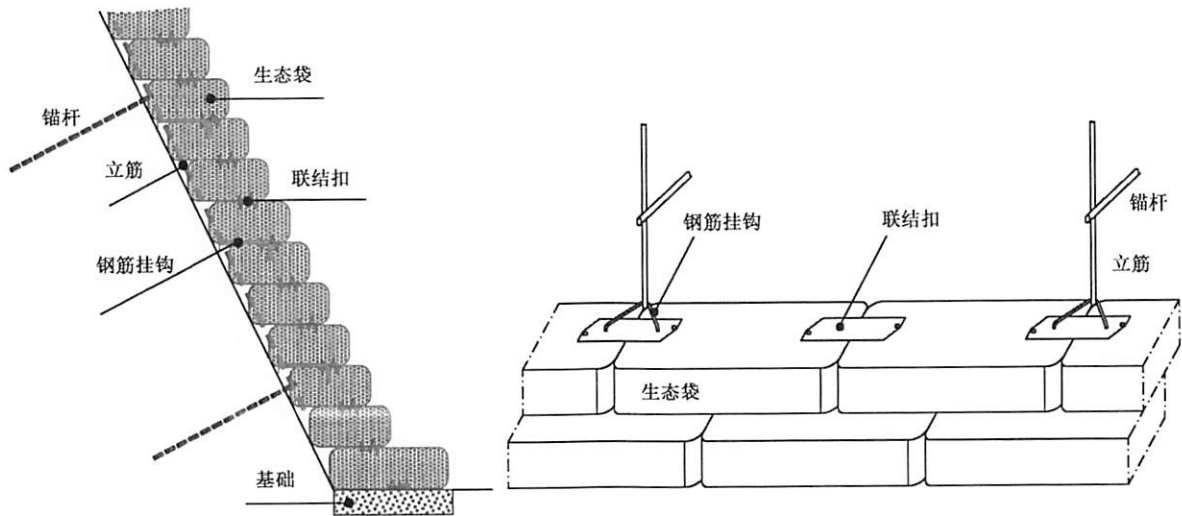


图 F.4 柔性生态护坡全要素垒砌结构示意图

F.3.2.2 根据坡脚或坡面分级台阶地基岩土类型、连续垒砌高度的不同,合理采用下沉式生态袋、砂浆找平层、现浇混凝土垫层等不同的垒砌基础形式;当坡率 $>1:0.5$ 且单级坡高 >30 m时,一般需通过增加分段支承结构来控制连续垒砌高度。

F.3.2.3 当坡率 $>1:1.25$ 且连续垒砌高度较大时,需根据具体坡率和垒砌高度设置直径 14 mm~20 mm 的立筋和其外露端与立筋连接的锚杆,锚杆直径、排/列间距、锚固深度根据边坡坡率、岩土体锚固特性、生态袋尺寸综合确定,一般分别为 18 mm~22 mm、1.2 m~2 m/0.9 m~1.5 m、0.5 m~2 m。

F.3.2.4 装满填充料并压实成形后的生态袋尺寸一般为 60 cm \times 30 cm \times 15 cm,生态袋由聚丙烯为主要原料生产的针刺无纺布加工而成,所用无纺布需满足:单位面积质量 ≤ 135 g/m²、断裂强度 ≥ 7.5 kN/m、顶破强力 ≥ 1.5 kN、等效孔径 $O_{95} = 0.08$ mm~0.2 mm、抗紫外线强度保持率(氙灯 500 h) $\geq 90\%$ 、抗酸碱强度保持率 $\geq 90\%$ 。

F.3.2.5 相邻上下、左右生态袋之间均采用具有防错动、防拔出功能的联结扣连接。袋体尺寸为 60 cm×30 cm×15 cm 时，一般采用基板尺寸不小于 300 mm×80 mm 的联结扣，基板上下表面一般各分部设置有数量不少于 6 个、高度不小于 20 mm 并带有防拔出棘爪的尖锥。

F.3.2.6 设计采用有立筋结构时，根据边坡坡率的不同一般每间隔 2 m~5 m 通过 V 型钢筋挂钩来实现袋体、联结扣与立筋间的连接。

F.3.2.7 根据生态袋装填土源的质地和肥力、边坡坡率和坡面岩土材料类型与特征、水环境条件、当地气候等条件，按一定配合比适量添加中粗砂或砂砾等颗粒材料、泥炭或植物纤维、有机肥、复合肥等土壤调理剂和肥料来制成适宜植物生长发育的填充料。

F.3.2.8 结合目标边坡所处自然环境、工程条件、后期养护条件、种植季节、植被恢复目标和景观需求等因素，以优先选择乡土植物为原则，综合确定适宜的植物种类种植量，并根据所选定植物种类、种植季节和坡率大小等条件，合理采用点播、喷播、栽植、扦插或压条等种植方法。无特殊需要时，一般采用灌草结合、以灌为主的种子点播方法。

F.3.2.9 应结合边坡所在地气象、施工期、坡面汇水特征，合理设置垒砌区域外的截排水措施，以及垒砌结构上的排水管和防水膜类隔水体系。

F.3.3 施工与养护

F.3.3.1 施工流程

根据相关设计要求按图 F.5 所示主要工序流程进行施工，工程设计缺省其中某一构成要素时，施工时相应省去并直接进入下一要素环节。

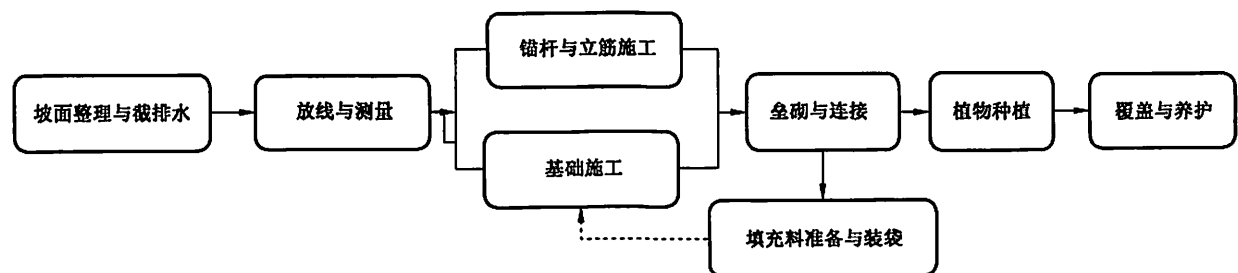


图 F.5 生态袋护坡施工流程

F.3.3.2 施工工艺

F.3.3.2.1 坡面整理与截排水。对阻碍工程施工、影响工程质量、威胁施工作业安全的杂物、树根和无需特别保留的植物、浮土、孤危石等予以清除，并对岩石或结构物的尖锐凸起部位予以清除或钝化处理；设计有垒砌区域外的截排水工程时，需在开始基础施工尤其是垒砌作业前按设计完成修建；设计无截排水工程且无既有排水系统时，根据场地地形条件、水文情况、施工季节等做好必要的临时截排水措施。

F.3.3.2.2 放线与测量。根据设计的工程范围、锚固模式和现场条件放线确定并标识施工范围和锚杆孔位。

F.3.3.2.3 锚杆与立筋施工。按放线确定的锚杆孔位钻凿满足锚杆杆体直径和锚固深度需要的锚孔，注浆安装锚杆并待注浆体至少养护 7 d 后安装立筋并与锚杆露头连接，其连接方式一般采用焊接，安装完成的立筋与坡面间间隙宽度一般不小于 20 mm，但也不宜大于 40 mm。

F.3.3.2.4 填充料准备与装袋。按设计要求准备填充料在装袋前充分拌和均匀，装满后用专用绑扎带绑扎牢固。

F.3.3.2.5 基础施工。按设计要求进行基础施工，采用下沉式生态袋基础时，其袋体一般丁向设置，采用砂浆找平层或现浇混凝土垫层基础形式时，在砂浆或混凝土初凝前安设底排联结扣。

F.3.3.2.6 垒砌与连接。自下而上逐层错缝垒砌。底层袋体一般丁向设置,完成一层袋体的铺设后,需夯实整平其顶面并在相邻袋体间对称骑缝安置一个联结扣;坡率大于1:1时,每垒砌高度达到2 m时一般需进行浇水预沉降,每次浇水后预沉降时间不宜少于12 h;垒砌过程中,按设计规定位置安装挂钩、排水沟和防水膜,并对袋体与坡面间间隙采用透水性较好的砂、砂砾或砂性土壤填充密实。

F.3.3.2.7 植物种植。按设计规定的植物种类、种植模式和方法进行植物种植。采用种子播种时,播前一般采用浸种法进行催芽处理,采用点播方法时,需用专用工具造穴点播并可在袋体间接缝处适当点播草本种子,点播深度不大于3 cm;采用栽植方法时,需采用小杯苗并在生态袋上切出丁字形小口后造穴栽植,栽植后需及时浇透定根水;采用种条扦插或压条方法时,一般选取1 a~3 a生枝条的中下段作为种条,生态袋上扦插口也宜采用丁字形小切口。

F.3.3.3 养护

涉及种子播种或种条栽植时,根据种植季节,种植结束后及时覆盖无纺布或遮阳网,并在种子萌发和幼苗期或种条生根发芽期加强浇水养护,待齐苗或种条生根并揭除覆盖物后根据植物生长状态、土壤墒情适时进行浇水施肥等养护作业。

F.4 聚合生态防护

F.4.1 适用范围

聚合生态防护适用于开挖坡度大于45°,开挖面土壤贫瘠的岩质陡坡,存在地质灾害隐患。

F.4.2 设计要点

F.4.2.1 高强度钢丝网片

由抗拉强度不低于1 770 MPa的4 mm直径高强度钢丝链式编织而成,钢丝采用锌铝合金镀层,等级不应低于AB级,镀层重量不应低于150 g/m²。菱形网孔内切圆直径为80 mm,其平均误差不应大于5%。钢丝环链破断拉力不小于20 kN。

网的形状平整,钢丝不应有明显机械损伤和锈蚀现象。网片端头应至少扭结一次,扭结处不应有裂纹。

F.4.2.2 支撑绳

钢丝绳应符合GB/T 20118的规定,其公称抗拉强度不应低于1 770 MPa,热浸镀锌等级不应低于AB级。

直径10 mm以下的钢丝绳应采用6×7+IWS结构形式,直径10 mm~12 mm的钢丝绳可采用6×7+IWS或6×19+IWS结构形式,直径12 mm以上的钢丝绳可采用6×19+IWS或6×36+IWS结构形式。钢丝绳锚杆亦可采用其他结构形式的钢丝绳,但其最小破断拉力不应小于相同直径的6×19+IWS结构形式钢丝绳的最小破断拉力。

F.4.2.3 锚杆

a) 一般原则:

- 1) 与纵、横向支撑绳相连接的锚杆,宜采用锚头有连接环套的柔性锚杆,由单根钢丝绳或钢绞线弯折而成。中部随机锚杆宜采用带锚垫板的玻纤锚杆;
- 2) 锚杆轴向宜垂直于坡面;
- 3) 柔性锚杆的锚头连接环套内应嵌套套环,或应在连接环套钢丝绳或钢绞线段套装套管;
- 4) 锚杆注浆应采用强度等级不低于M20的水泥砂浆或水泥浆。锚杆防腐按GB 50086的要求执行。

b) 锚杆杆体的轴向抗拉承载力应符合下式要求：

$$R_t \geq k_s N_d \quad \dots\dots\dots (F.3)$$

式中：

R_t —— 锚杆杆体轴向抗拉承载力设计值，单位为千牛(kN)；

N_d —— 锚杆轴向拉力设计值，单位为千牛(kN)；

k_s —— 锚杆承载力储备系数，安全等级为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级的防护工程分别取 1.35、1.25、1.15。

R_t 应按式 F.4 计算：

$$R_t = k_m R_m \quad \dots\dots\dots (F.4)$$

式中：

R_m —— 柔性锚杆的锚头钢丝绳最小破断拉力，单位为千牛(kN)；

k_m —— 柔性锚杆的锚头连接环套抗拉承载力分项系数，等于连接环套抗拉承载能力与钢丝绳最小破断拉力之比。其中连接环套抗拉承载力通过拉伸试验确定且取三件试样试验结果中的最小值；无试验资料时可按以下方法确定：无任何衬套时取 0.7，嵌套有符合 GB/T 5974.1 规定的套环或套装有壁厚不小于 1.5 mm 的单层套管时取 1.5，嵌套有符合 GB/T 5974.2 规定的套环或套装有壁厚不小于 1 mm 的双层套管时取 1.8。

c) 锚杆的抗拔承载力应符合下列式 F.5 和式 F.6 的要求：

$$\pi DL \varphi \frac{f_{mk}}{K_b} \geq N_d \quad \dots\dots\dots (F.5)$$

或

$$(\pi + 2)dl f_{mb} \geq N_d \quad \dots\dots\dots (F.6)$$

式中：

D —— 锚杆钻孔直径，单位为毫米(mm)；

L —— 锚杆锚固段长度，单位为米(m)；

f_{mk} —— 注浆体与地层间极限黏结强度标准值，MPa，宜通过现场试验确定，无试验资料时参考 GB 50086 取值；

K_b —— 注浆体与地层间极限黏结强度分项系数，取 1.5；

N_d —— 锚杆轴向拉力设计值，单位为千牛(kN)；

φ —— 锚固段长度对注浆体与地层间极限黏结强度的影响系数，参考 GB 50086 取值；

d —— 锚杆杆体直径，mm；

f_{mb} —— 注浆体与锚杆杆体间极限黏结强度设计值，MPa，参考 GB 50086 取值。

d) 生态横袋：

- 1) 由聚丙烯为原材料制成的单面点状烧结、表面起绒的无纺布加工而成。袋体材料应具有透水不透土的过滤功能。
- 2) 袋体材料质量不小于 150 g/m²，纵、横向断裂强度不小于 7.5 kN/m，顶破强力不小于 1.6 kN，纵、横向断裂伸长率为 40%~60%。

e) 基质：

- 1) 由种植土、有机质、肥料、高性能保水剂、酸度调节剂和消毒剂组成。肥料、保水剂、酸度调节剂和消毒剂的用量应根据使用种类和现场条件确定，将其按比例搅拌均匀。
- 2) 施工时应根据土壤类型、坡度、施工时的天气状况来确定水的用量，不能使用含油、强碱、盐份等有害成分的水。

F.4.3 施工与养护

F.4.3.1 施工流程

施工流程见图 F.6。

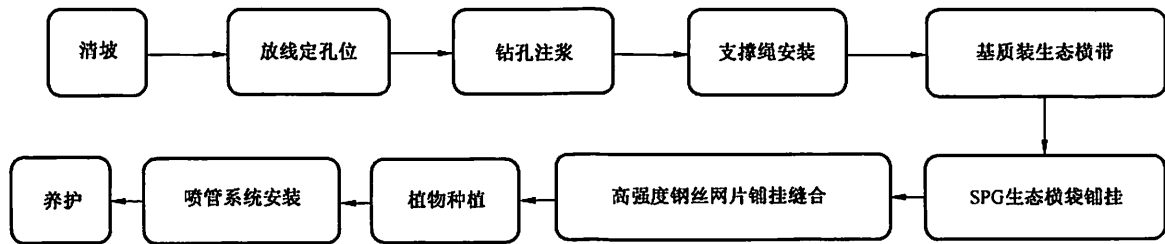


图 F.6 岩质边坡聚合生态防护施工流程

F.4.3.2 施工工艺

F.4.3.2.1 清坡。清除坡面防护区域内威胁施工安全的浮土及浮石,对不利于施工安装和影响系统安装后正常功能发挥的局部地形(局部堆积体和凸起体等)进行适当修整。

F.4.3.2.2 放线定位。放线测量确定锚杆孔位,在孔间距允许的调整量范围内,尽可能将锚杆孔位选定在天然低凹处。

F.4.3.2.3 锚杆施工。

F.4.3.2.3.1 按设计深度钻凿锚杆孔并清孔,孔深应大于设计锚杆长度 5 cm~10 cm,在确保锚杆与水平面的夹角不小于 25°的前提下应尽可能垂直于坡面。

F.4.3.2.3.2 当局部孔位处因地层松散或破碎而不能成孔时,可以采用断面尺寸不小于 0.4 m×0.4 m 的 C25 混凝土基础置换不能成孔的岩土段。

F.4.3.2.3.3 注浆应采用强度等级不低于 M20 的水泥砂浆或水泥浆,确保浆液饱满,在进行下一道工序前注浆体养护不少于 7 d。

F.4.3.2.4 生态横袋。

F.4.3.2.4.1 生态横袋铺挂前先填充营养基质,铺挂时从边界一侧按顺序依次进行,并由上至下张紧横向与纵向支撑绳。

F.4.3.2.4.2 张拉紧后两端各用 4 个绳卡与锚杆外露环套紧固连接,所有绳卡间距宜为钢丝绳直径的 6 倍~7 倍,其 U 形螺栓应位于尾绳段一侧。

F.4.3.2.5 高强度钢丝网片。自上而下铺设高强度钢丝网片,相邻网片的边沿网孔间采用 T4 连接件连接,网片与周边支撑绳采用卸扣连接。

F.4.3.2.6 植物种植。

F.4.3.2.6.1 应充分了解周边植物的物种、习性和分布情况,优先选择乡土植物或其他优势物种。

F.4.3.2.6.2 植物种子应在施工前进行种子发芽试验,根据植物覆盖率要求和当地气候环境条件等确定种子配比和播种密度,确定用量后方可进行大规模的施工。植物种植应在适当季节进行,确保成活率。

F.4.3.2.6.3 种植方式采用种子播种(点播、喷播)和苗木移栽相结合,在施工完成的坡面袋体上进行。

F.4.3.3 养护

种子发芽及幼苗期,养护浇水以喷灌为主,喷水设备应注意与坡面的距离和移动速度,防止高压水流直接喷射。

种植养护期内,应定期浇水施肥、预防病虫害。养护期限视坡面植物生长状况而定,且不少于 1 年。

F.5 垂直复绿

F.5.1 适用范围

F.5.1.1 坑(槽)式复绿法

F.5.1.1.1 鱼鳞坑。适用于坡面现状复杂、岩体裂隙较多、岩质疏松及沟槽面积较大、有局部平缓区域的上质和岩质边坡。

F.5.1.1.2 刻槽复绿。适用于边坡稳定性好、坡度小于 70° 的岩质边坡。

F.5.1.2 孔(穴)式复绿法

F.5.1.2.1 裂隙营养杯法。适用于坡度大于 70° 的高陡岩质边坡。

F.5.1.2.2 见缝插针和裂缝填塞肥土法。适用于坡度较大、裂隙较发育的高陡岩质边坡。

F.5.1.3 台阶(坡率)法

F.5.1.3.1 续坡法。适用于具有足够腹地的各类边坡。

F.5.1.3.2 梯级台阶法。适用于坡度小于 45° 的稳定岩质边坡。

F.5.1.4 悬挂式复绿法

F.5.1.4.1 飘台法。适用于坡度大于 70° 、稳定性好的高陡岩质边坡。

F.5.1.4.2 石笼挂壁法。适用于坡度大于 70° 且不能爆破的岩质边坡。

F.5.2 设计要点

F.5.2.1 现场调查

圪工类垂直复绿方法对边坡稳定性要求较高,为保证工程及施工作业人员的安全,对于存在崩塌、危岩及明显裂隙发育的边坡,需要先进行地质灾害治理后再进行复绿工作。

F.5.2.2 工法选择

需根据边坡场地条件、复绿要求、投资预算等多方面情况综合考虑具体工法。垂直复绿类大多数工法都适用于高陡边坡,但复绿效果和投资大小存在明显差异,边坡腹地纵深足够的情况下,续坡法具有最高的推荐价值;坑(槽)式和孔(穴)式复绿法有用工量大,作业难度较高,复绿效果直接受制于施工队的工艺和管理水平,不做重点推荐;悬挂式复绿法养护难度高,复绿效果一般,仅推荐在上述方法均无法使用时选择。

F.5.2.3 植物选择

采用圪工类垂直复绿方法复绿时,边坡的植物生长条件一般均不太理想,在植物选择方面应遵循爬藤优先、灌木为主、草本为辅的主要原则。

- a) 不能选择具有生物入侵性的植物品种;
- b) 避免选择根系过于发达的乔灌木,尤其是在存在明显裂隙发育的岩质边坡上。

F.5.2.4 附属设施

在陡峭边坡施工时,应考虑附属设施如脚手架、养护管网、截排水的设置必要性和费用预算。

F.5.2.5 爆破影响

部分工序存在爆破要求的,需提前确定是否具备安全、合规的进行爆破作业条件。

F.5.3 施工与养护

F.5.3.1 清坡

清除施工区域内阻碍施工进行和威胁施工安全的浮土、孤石、树根和其他可能存在的杂物。

F.5.3.2 放线、测量和工作区域红线设置

根据设计要求进行放线和测量,确定作业区域位置,并划定施工作业区域红线,放置安全施工警示牌,合理规划机械作业、材料搬运和人员进出通道位置,确保作业安全。

F.5.3.3 施工方法

F.5.3.3.1 鱼鳞坑法。利用陡壁上较大的石缝,经小面积定向爆破在陡壁上形成鱼鳞状洞穴,然后在洞穴中放入事先栽种好植物的填土竹筐,即为鱼鳞坑法。鱼鳞坑洞的大小、密度可根据需要灵活设置。

F.5.3.3.2 刻槽复绿法。在较陡立的岩质边坡上,按一定高度、宽度和深度进行人工刻槽,刻槽内进行覆土和植物种植。

F.5.3.3.3 裂隙营养杯法。用电钻在石壁的裂隙处打一定直径和深度的洞,将直径相同的装满营养基质的塑料多孔杯插入圆洞中,然后在杯中播撒种子或栽种小苗。

F.5.3.3.4 见缝插针和裂缝塞填肥土。见缝插针法是利用石壁缝隙和不规则的小平台及凹凸等微地形,必要时进行适当的人工修整,从而见缝插针地回填营养土并种植适宜植物的复绿方法;裂缝塞填肥土法则是直接用泵送形式向石壁上较大的缝隙中打入混合有种子的基质,从而实现岩壁绿化的方法。

F.5.3.3.5 续坡法。对于有足够腹地的破损山体,通过回填渣土和种植土方式调整、控制边坡整体坡率,人为造出安全地形并进行乔灌草种植的复绿方法。

F.5.3.3.6 梯级台阶法。梯级台阶法是利用边坡上原有平台或采用逐级爆破等的方法将岩壁掌子面改造成阶梯形,在台阶外侧砌墙,并填加客土、肥料,植树种草的复绿方法。

F.5.3.3.7 飘台法。飘台法是在石壁上打孔灌浆,用钢架支起一个个飘台,并在飘台中填土种植植物的复绿方法。

F.5.3.3.8 石笼挂壁法。该方法是将行李箱般大小的钢筋笼安装在石壁上,在笼内填加客土确保植物成活。主要适用于陡峭的、无法进行爆破的岩壁,对养护要求较高。

F.5.3.4 植物种植

按照设计要求进行植物栽培及种子播种。采用成品植物时,尽量保证土壤深度和幼苗种植,不宜直接种植中大型植物;采用种子播种时,灌木类种子需要采用浸种法提前催芽。

对于续坡法,除了可以采用常规的灌木、草本和藤本植物以外,还可以根据景观要求,适当移栽大型乔木和景观苗木,实现更好的景观效果。

F.5.3.5 养护

采用圪工类垂直复绿方法的大多边坡均存在边坡陡峭、场地缺土等恶劣立地条件,因此,更需要加

强养护,尤其在种子萌发前和幼苗期,不可使土壤干透。在植物生长到一定规模后,须根据植物状态和土壤墒情适时进行施肥、病虫害防治等养护工作。

在施工时宜布置养护管网,采用滴灌法对坑(槽)式、孔(穴)式和悬挂式复绿边坡进行浇水和施肥。

附录 G

(资料性)

植被管护

G.1 基本规定

G.1.1 本附录适用于植被恢复工程中植物种植完成后直至竣工验收或竣工验收阶段以及质量缺陷责任期内的养护作业。

G.1.2 应根据植物种类、生长发育阶段、生长发育状况以及所处季节和当地气象条件等,及时、合理地开展浇水、施肥、病虫害防治、修剪、间苗、除杂草、补种和其他必要措施等养护作业。

G.1.3 养护作业除应按本方案规定进行外,还应符合当地和相关行业的相关规定和要求。

G.2 覆膜与揭膜

G.2.1 草本或草灌种子喷播结束后,设计对覆膜有明确规定时,从设计,无规定时,宜在喷播后 12 h 内或当天待喷播层稳定后按表 G.1 的建议方法及时覆盖无纺布。

表 G.1 无纺布覆盖建议方法

项目		要求	备注	
种类	10 g/m ² ~ 20 g/m ²	播种期最高温 > 25°	常用 15 g/m ² 白色无纺布	
	70 g/m ²	播种期最高温 ≤ 25°	非生长季施工时的特殊要求	
固定方式	固定装置	沙袋	覆压迎风侧,勤换位置	适用于风力强劲区
		U型钉	单腿长 20 cm,肩宽 5 cm,呈“△”分布,3个/m ²	适用于含石量多的修复区,迎风侧可适当增密
		竹签或筷子	长度 20 cm,3根/m ²	适用于土质或含土量多的修复区
	搭接处	两幅无纺布边缘叠卷	搭接长度 5 cm ~ 10 cm,卷绕后固定	适用于各地
		两幅无纺布边缘压覆	搭接长度 5 cm ~ 10 cm,迎风	适用于南方地区

G.2.2 同时喷播草种和栽植灌木苗时,应根据实际情况设计确定是否覆膜。

G.2.3 待禾草长到均高约 5 cm 或 2 片 ~ 3 片叶,或者豆科长到均高约 3 cm 时,可拆除覆膜,揭膜时,应回收可循环利用的无纺布膜材(单位面积质量较大时,如 70 g/m² 无纺布)和 U 型钉。

G.2.4 揭膜后,针对明显斑秃处,应补喷或人工撒播经催芽处理的种子。

G.2.5 若因温度太高已引起了病虫害的发生,应拆除覆膜。

G.3 浇水

G.3.1 一般规定

G.3.1.1 应根据土壤墒情,适时适量进行浇水。一般可按表 G.2 根据根系集中分布土层的土壤墒情分级来判断浇水作业的急迫性,或按表 G.3 根据根系集中分布土层的土壤含水率现场快速检测结果来判断是否需要浇水作业。

表 G.2 表土壤墒情及其浇水作业需求

级别	土壤墒情特点	植被生长适宜性与浇水需求
一级	土壤干燥、坚硬,手握时不易捏碎	不适宜,需浇水作业
二级	土壤手搓不能成条,而分散成一些小块	不适宜,需浇水作业
三级	土壤湿润,手搓可成条,小刀插入土壤不会粘在小刀上	最适宜状态
四级	土壤潮湿,用手抓捏时粘手	适宜状态
五级	土壤过分潮湿,低洼处有积水,土壤抓在手中成稀泥状态	不适宜,需排水作业

注 1: 土壤墒情处于二级或一级时需及时进行浇水作业。
注 2: 合格的浇水作业需使土壤达到三级状态。

表 G.3 土壤含水率及其浇水作业需求

土壤类型 ^a	田间持水量(%)	适宜植物生长含水率(%) ^b	浇水条件
沙壤土	14~18	9~14	低于田间持水量的 60%时应浇水
粘壤土	25~30	15~21	

^a 目前尚缺乏土壤分类的统一标准,本文采用了以下粗略分类和经验判断方法。沙壤土一般指粒径大于 0.02 mm 的砂粒含量介于 55%~85%、粒径小于 0.002 mm 的粘粒含量不超过 15% 的土壤,湿润时能成土球但球而不平整,外力作用下易开裂且开裂前无明显变形,搓成大拇指粗细的条状时易碎成大小不同的土块,干土块易压碎;粘壤土一般指粒径大于 0.02 mm 的砂粒含量介于 30%~55%、粒径小于 0.002 mm 的粘粒含量介于 15%~25% 的土壤,湿润时能成表面平整的泥团,外力作用下仅明显变形后可开裂。
^b 按田间持水量的 60%~80%(土壤相对含水量)确定。

G.3.1.2 坡面浇水作业时,可按式 G.1 近似估算所需净浇水量(计算结果仅为无任何浪费条件下的经济浇水量,实际用水量应根据作业条件加以调整。单株乔木或灌木所需净浇水量亦可按该式计算原理估算):

$$W = h\gamma \left(\frac{p_2 + p_0}{2} - p_1 \right) \quad \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

W ——每百平米坡面所需净浇水量,单位为立方米(m^3);

h ——浇水作业计划湿润深度,单位为厘米(cm);

γ ——土壤干容重,单位为吨每立方米(t/m^3)。有实测资料时按实测结果采用,无实测资料时可按 $1.4 t/m^3$ 采用;

p_2 ——浇水后 h 深度处土壤拟达到的含水率, %。有明确规定时,按规定要求采用,无明确规定时,可按与表 G.2 中三级墒情或最适宜土壤湿润状态对应的 70% 田间持水量确定;

p_0 ——土壤田间持水量, %。有实测资料时按实测结果采用,无实测资料时,可根据土壤质地,在表 G.3 范围值中确定,难以确定时,客土喷附层土壤取 35%,生态袋填充料土壤取 30%,或者在项目周边植被茂盛区测定地表以下 10 cm 深处土壤含水量乘以 1.5 近似作为田间持水量;

p_1 ——浇水前 $h/2$ 深度处土壤含水率, %。宜现场实测确定,不能实测时,表 G.2 中一、二、三和四级土壤墒情可依次取田间持水量的 45%、55%、70% 和 80%。

G.3.1.3 阳坡面宜适当增加浇水频率和每次浇水量。

G.3.1.4 浇水作业应避开中午或日光暴晒时段,宜在早上进行。

G.3.1.5 浇水时应浇足浇透,应避免直接冲刷土面或形成径流造成土壤侵蚀。

G.3.1.6 乔木浇水宜设置树堰,树堰高度不宜低于10 cm,树堰直径以树干胸径10倍左右、树冠垂直投影的1/2为宜。

G.3.1.7 修剪前24 h和修剪后当日不宜浇水。

G.3.2 苗期

G.3.2.1 苗期草本、草灌的浇水应遵循以下原则:

- 播种完成后应在12 h内完成第一次浇水,达到表土层3 cm处呈湿润状态(土壤墒情为第三级)。
- 第一次浇水后的后续浇水应以上壤表层3 cm处始终保持湿润状态(土壤墒情为第三级)、地表无径流为原则,持续到去除无纺布或植物进入速生期为止。

G.3.2.2 苗木栽植后的浇水应按表G.4所列原则进行。

表 G.4 栽植苗木的浇水原则

种类	浇水时间		
	定根水	第二次浇水	第三次浇水
灌木	12小时内	与第一次浇水作业间隔3 d	与第一次浇水作业间隔10 d
乔木	12小时内	与第一次浇水作业间隔3 d	与第一次浇水作业间隔10 d

注:实际作业应根据土壤墒情做适当调整,在海拔及干旱地区,可缩短3次浇水间隔时间。

G.3.3 生长期

G.3.3.1 植物生长期(一般为每年的3月~10月)浇水深度(即该深度处土壤应始终保持三级墒情的湿润状态)宜按以下原则控制:

- 草本和草灌浇水深度宜与地上部分高度一致,但浇水深度不宜超过20 cm;
- 灌木和乔木类植被,灌木浇水深度宜达到50 cm,乔木浇水深度宜达到80 cm。

G.3.3.2 栽植苗木第三次浇水作业后,进入常规养护阶段,其浇水作业宜遵循以下原则:

- 当年新移栽乔灌木,1个月保证浇一次水;
- 栽植时间超过3年的乔灌木,如气候条件适宜,可不进行浇水作业。

G.3.4 非生长期

G.3.4.1 寒冷地区需要越冬的养护作业,应根据气候条件适时浇封冻水和返青水,并应按表G.5所列原则进行。

表 G.5 封冻水和返青水原则

种类	浇水时间	说明
封冻水	大雪前后,平均气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$	用5 cm左右的筷子或钥匙插入土层,若轻松插入,则需浇封冻水。浇水宜在15:00左右进行,草本或草灌需浇水2次~3次,至土壤表层10 cm处墒情达第四级;乔灌1次即可,至土壤表层50 cm处墒情达第四级
返青水	惊蛰前后,平均气温 $> 3^{\circ}\text{C}$	隔10 d~15 d浇水一次,至土壤表层10 cm处墒情达第四级

注:封冻水和返青水需根据实际气温情况调整浇灌时间。

G.3.4.2 非寒冷地区植物在非生长期的浇水以维持距土壤表层 10 cm 处维持 60% 相对含水率或表 2 中二、三级土壤墒情之间为宜。

G.4 施肥

G.4.1 一般规定

G.4.1.1 应根据植物种类、生长情况和土壤肥力情况,合理施肥。

G.4.1.2 播种或栽植时施用的基肥宜为缓释肥,植物生长过程中施用的追肥宜为速效肥,并宜施用富含氮、磷、钾的复合肥,分季节施肥时,春季宜以施氮肥为主,夏末宜以施磷钾肥为主。

G.4.1.3 基肥宜直接拌入种植土壤施用,追肥宜溶入水中结合浇水进行,若采用撒施方式追肥,撒施后应及时浇水。

G.4.2 追肥时间与施用量

G.4.2.1 冷季型草本追肥时间宜为春季和秋季,2 次/年,施用量宜为 15 g/m²;暖季型草本追肥时间宜为早春和仲夏,2 次/年,施用量宜为 15 g/m²。

G.4.2.2 栽植时间 3 年内的灌木,追肥宜 2 次/年,3 年以上的灌木,追肥宜 0 次/年~1 次/年,施用量宜为 90 g/株;栽植时间在 2 年内的乔木,追肥宜 2 次/年,2 年以上的乔木,追肥宜 0 次/年~1 次/年,施用量宜为 150 g/株。

G.4.2.3 乔灌追肥方式宜采用环施法,环状沟宜位于树冠投影外缘的外围,沟宽宜为 30 cm~40 cm,深宜为 20 cm~50 cm。

G.4.2.4 当植物缺素时,可根据缺素情况施用硫酸亚铁、硫酸镁、磷酸氢二胺等液体肥。

G.4.3 注意事项

G.4.3.1 喷施液体肥后,3 小时内不应对植物地上部分浇水。

G.4.3.2 施肥应避免高温时间段进行。

G.4.3.3 对于草本或草灌,注意同一区域不应重复施肥,作业区宜标注施肥区和未施肥区。

G.5 修剪与间苗

G.5.1 应根据工程项目的养护阶段、植物类型及其生长状况,按以下原则确定是否需要修剪或间苗养护作业:

- a) 园林植物、乔木和观赏性灌木应适时进行合理修剪;
- b) 植被密度过大时应及时间苗;
- c) 草本或先锋植物生长过盛影响其他植物尤其是目标植物生长,或植物群落出现其他方法难以控制的病虫害时,应进行修剪;
- d) 有防火要求的草本或草灌植被,应适时进行修剪;
- e) 可通过适当修剪来减少对草本或草灌的浇水和施肥频率;
- f) 乔灌枝叶过密或出现病虫枝、伤残枝时,应进行相应修剪。

G.5.2 应根据植物类型、生长状况和作业目的按以下原则确定适宜的修剪或间苗时间:

- a) 以维持植物正常生长为目的时,草坪修剪时间宜为生长期,乔灌木修剪时间宜为非生长季的秋季落叶后或春季发芽前;
- b) 以消除影响植物正常生长因素为目的时,宜发生或发现时及时进行修剪或间苗,但有伤流现象的树木,其修剪时间应避开伤流时期和雨期;
- c) 以防火为目的的草本或草灌修剪作业,宜在其秋季枯黄前进行。

G.5.3 修剪或间苗方法应遵循以下原则：

- a) 以维持草本正常生长或以减少浇水施肥频率为目的的草坪修剪,宜遵循 1/3 原则,即修剪掉部分不宜超过自然草高的 1/3,以留草高度控制在 1 cm~6 cm 为宜;
- b) 乔灌木修剪,除应进行弱枝和病枯枝疏剪作业外,还应按修剪目的进行不同的修剪作业。如横向生长的乔灌木,应在苗木达到要求高度后,去除中心主枝顶梢和根蘖枝和不定芽,短截强壮侧枝;及时完全剪除影响行人行车安全的乔灌木枝条;适时完全剪除影响观赏的徒长枝、下垂枝、萌生枝等,并均宜在分枝着生处进行;
- c) 以防火及控制病虫害为目的时,宜全部割除植物地上部分;
- d) 因草本或先锋植物生长过盛影响其他植物尤其是目标植物生长而需要修剪时,宜使其修剪后的非目标植物高度低于目标植物高度;
- e) 间苗时宜以去劣留优、去弱留强、去小留大的原则进行均衡间苗。

G.5.4 修剪作业时应该注意以下事项：

- a) 应避免在正午阳光直射下进行修剪作业;
- b) 修剪作业的刀具应足够锋利,且机械无漏油等问题,尤其是修剪草坪时;
- c) 乔灌木修剪宜在分枝着生处进行,并在修剪伤口涂抹伤口愈合药剂。

G.6 病虫害防治

G.6.1 应按以防为主、综合治理的原则,根据植物、病虫害种类和具体环境条件,选择保护和利用病虫害天敌的生物防治手段,诱杀、人工捕捉、去除病虫害枝叶或病害植株等物理手段,或符合环保要求并对有益生物影响小的高效、低毒生物药剂进行病虫害防治。

G.6.2 对突发性重大病虫害,应及时采用化学方法防治,并选用适当的农药剂型、浓度和施用方法;对于同一种病虫害,应避免长时间重复使用同一种农药。

G.6.3 喷药应在无风的晴天进行,阴雨或高温炎热的中午不宜喷药。喷药应呈雾状,做到由内向外、由上向下、叶面叶背喷药均匀,不留空白。

G.6.4 应重点观察已发生病虫害的冷节型草坪草的生长状况,一旦发现有病虫害发生应及时治理。

G.6.5 应重点关注通常为病虫害高发期的植物生长期,其中常见的病虫害可按以下方法进行防治:

- a) 草坪在生长期常见的霜霉病、炭疽病、叶斑病、白粉病、灰霉病和疫病等病害,可用 25% 代森锰锌悬浮剂 1 000 倍液~1 500 倍液预防,或 50% 福美双可湿性粉剂 500 倍液~800 倍液或 75% 百菌清可湿性粉剂 500 倍液~800 倍液喷施;常见的地老虎、蝼蛄、蛴螬等虫害,可用 40% 甲基异柳磷乳油 100 倍液拌种处理种子或 20% 甲基异柳磷乳油 4.5 L/hm²~7 L/hm²,制成毒土 300 kg,均匀进行穴施进行防治;
- b) 乔灌木在生长期常见的菌核病、锈病和多种叶斑病等病害,可用 50% 速克灵可湿性粉剂 1 000 倍液~2 000 倍液预防,或 50% 扑海因可湿性粉剂 1 000 倍液~1 500 倍液喷施;常见的蚜虫、蚧壳虫、线虫等虫害,可用 50% 辛硫磷乳油 1 000 倍液~1 500 倍液喷施或 5% 颗粒剂 30 kg/hm²防治地下害虫,也可用 40% 氧乐果乳油 1 000 倍液~2 000 倍液或 30% 乙酰甲胺磷乳油 300 倍液~600 倍液喷施。

G.7 特殊作业

G.7.1 对边坡植被恢复工程,应观察坡面建植结构状态和植被生长状况是否符合预期目标,若存在明显差异,应根据观察评价结果按以下原则采取相应的补救措施:

- a) 喷播坡面出现宽度大于 5 cm 的冲蚀沟、直径大于 10 cm 的冲蚀坑或剥蚀坑等缺陷时,应采取适当方法进行填充或修补;
- b) 柔性护坡坡面出现明显的生态袋局部外鼓或袋体间沉降间隙时,应及时予以整理、填塞等

处理：

- c) 坡面植被生长状况(包括长势和盖度)明显未达到预期目标,或草灌植被发芽参差不齐且经历足够时间后仍无改善时,应适时进行补播或补栽,补播时可根据补播面积选择人工撒播或液压喷播方式;
- d) 若降雨或渗水侵蚀是坡面工程土壤和/或植物生长缺陷的主要诱因之一,应补充完善坡面截排水措施。

G.7.2 对新栽植的乔木或灌木,应根据苗木大小和栽植环境进行以下养护作业:

- a) 应根据苗木大小按以下方法设置支撑:
 - 1) 可采用三角支撑、四角支撑、n 字支撑等支撑方式。
 - 2) 三角支撑的一根撑杆应设立在主风方向上位,另两根均匀分布,一般倾斜 45°,支撑点宜位于树高 1/3~1/2 处;临近道路时,四角支撑两根撑杆应与道路平齐,与树干夹角宜为 35°~40°,支撑点高度宜为 120 cm~150 cm;n 字支撑高度宜为 60 cm~100 cm。
 - 3) 撑杆基部应埋入土中 30 cm~40 cm,并夯实。
 - 1) 支撑与树干相接处,宜用无纺布或黑心棉缠绕 2 层,缠绕长度宜为 20 cm。
- b) 应根据苗木大小按以下方法进行树干保护:
 - 1) 宜进行树干涂白,灌木涂白高度至分枝点处,乔木树干涂白高度宜为 1.2 m,涂白时间宜为五一前或 11 月下旬。涂白剂配置成分宜为水 10 份、生石灰 3 份、石硫合剂原液 0.5 份、食盐 0.5 份和油脂(动植物油均可)少许,配置时宜先化开石灰,把油倒入后充分搅拌,再加水拌成石灰乳,最后放入石硫合剂及盐水,也可加粘结剂以增长涂白期限。
 - 2) 对树皮薄、胸径 > 25 cm 的全冠移植苗,宜用草绳、麻袋片或保温保湿带缠绕至高度 1.5 m~2 m 或灌木苗分枝点以上 20 cm 处进行裹干,并宜在下一年 3 月底去除包裹物。
- c) 树下杂草可能影响乔灌生长时,宜在每年的 3 月~4 月和 5 月~6 月的杂草萌前和萌发期采用以下方法进行树下除杂草作业:
 - 1) 物理方式:在树坑中铺设既可抑制杂草生长,又可保持水分、美化景观的鹅卵石、松针、树皮等;或使用割灌机刈割杂草。
 - 2) 化学方式:阔叶杂草可喷施 2,4-D 除草剂,间隔 15 d 施用;禾本科杂草可喷施环草隆、敌草死、百草枯等除草剂,间隔 10 d 施用。
 - 3) 除草剂种类多样,实际应用应根据具体情况而定,应用前应确定除草剂对苗木的影响。

参 考 文 献

- [1] 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)
 - [2] 胡振琪,干勇,袁亮,等.中国矿区生态环境修复现状与未来[M].北京:科学出版社,2021.
 - [3] 周连碧,王琼,代宏文,等.矿山废弃地生态修复研究与实践[M].北京:中国环境科学出版社,2010.
 - [4] 沈渭寿,王涛,闫瑞强,等.砂石矿废弃地生态修复[M].北京:科学出版社,2021.
 - [5] 方星,许权辉,胡峡,等.矿山生态修复理论与实践[M].北京:地质出版社,2019.
 - [6] 沈烈风,等.破损山体生态修复工程[M].北京:中国林业出版社,2012.
 - [7] 赵方莹,孙保平等.矿山生态植被恢复技术[M].北京:中国林业出版社,2009.
 - [8] 胡文翔,应红梅,周军,等.污染场地调查评估与修复治理实践[M].北京:中国环境科学出版社,2012.
 - [9] 龚宇阳.污染场地管理与修复[M].北京:中国环境科学出版社,2012.
 - [10] 郭(Kuo,J.).北京建工环境修复有限责任公司翻译组译.土壤及地下水修复工程设计[M].北京:电子工业出版社,2013.
-