

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

矿山滑坡治理技术规范

Technical specification for landslide treatment in mining area

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(报批稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体原则和要求 2

5 矿山滑坡勘查 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 露天采矿场滑坡勘查要求 3

 5.3 采空区滑坡勘查要求 4

 5.4 矿山弃渣滑坡勘查要求 4

 5.5 滑坡损毁土地调查要求 5

 5.6 勘查工作布置 5

 5.7 勘查工作方法 6

 5.8 滑坡稳定性分析 8

6 矿山滑坡治理设计 9

 6.1 一般规定 9

 6.2 治理方案 9

 6.3 治理工程措施 11

 6.4 施工组织 14

7 矿山滑坡监测 14

 7.1 一般规定 14

 7.2 矿山滑坡监测要求 15

 7.3 施工安全及治理效果监测 15

附录 A（资料性） 矿山滑坡治理工作流程 17

附录 B（规范性） 地质环境条件复杂程度划分 18

附录 C（资料性） 矿山滑坡勘查报告提纲 19

附录 D（资料性） 矿山滑坡治理工程施工图设计提纲 20

附录 E（资料性） 矿山滑坡治理监测报告提纲 21

附录 F（资料性） 地球物理勘探与测试方法适用范围简表 22

附录 G（资料性） 滑坡监测适用方法技术简表 24

参考文献 25

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

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

本文件起草单位：四川省地质调查院、中国地质环境监测院、成都理工大学、四川九〇九建设工程有限公司。

本文件主要起草人：魏昌利、赵春、成余粮、王文沛、冯文凯、魏云杰、李长顺、贺模红、杨强、何元宵、王猛、张瑛、毛郁、罗明、廖维、陈亮、莫家伟、陈光平、周玉龙、赖驰。

引 言

近年来，随着采矿业的发展，与矿山开发相关的露天采矿场滑坡、采空区滑坡、矿山弃渣滑坡等地质灾害问题日益突出。

为提高矿山滑坡治理技术水平，统一技术标准，确保矿山滑坡治理工程技术可行、安全可靠、经济合理，有效防治矿山地质灾害，推进生态修复和绿色矿山建设，在充分研究和吸收国内有关矿山滑坡及滑坡治理技术标准、技术方法和经验的基础上，特制定本文件。

矿山滑坡治理技术规范

1 范围

本文件规定了矿山滑坡勘查、治理设计、监测的技术要求。
本文件适用于采矿活动引发或影响采矿活动的滑坡的勘查、治理设计、监测及生态修复工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 32864 滑坡防治工程勘查规范
- GB/T 38509 滑坡防治设计规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50026 工程测量标准
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
- GB 51018 水土保持工程设计规范
- GB 51044 煤矿采空区岩土工程勘察规范
- DZ/T 0221 崩塌、滑坡、泥石流监测规范
- TD/T 1036 土地复垦质量控制标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

矿山滑坡 mine landslide
因矿山开采活动引发或矿区内影响采矿活动的滑坡。
注：主要包括露天采矿场滑坡、采空区滑坡、矿山弃渣滑坡。

3.2

露天采矿场滑坡 open pit landslide
露天采矿活动形成的边坡（边帮）在内外动力、降雨等诱发因素作用下形成的滑坡。

3.3

采空区滑坡 goaf landslide
地下矿山采掘活动导致地表斜坡发生形变而形成的滑坡。

3.4

矿山弃渣滑坡 mine dump landslide
矿山弃渣形成的堆填边坡在内外动力、降雨等诱发因素作用下形成的滑坡。

3.5

矿山滑坡勘查 mine landslide investigation

运用针对矿区特征的技术方法、手段，为查明矿山滑坡的形成条件、变形特征、岩土结构及物理力学参数等开展的工程活动。

3.6

矿山滑坡治理 mine landslide treatment

根据矿山滑坡勘查成果，编制治理设计方案，采取相应的工程及生态措施，保证滑坡稳定、生态恢复的工程活动。

3.7

矿山滑坡损毁土地 land damaged by mine landslide

因矿山滑坡变形、失稳造成的原始生态功能损毁、生产力或利用价值降低而难以直接利用的土地。

4 总体原则和要求

4.1 遵循先勘查、再设计、后施工的原则。

4.2 应采用安全、可靠、经济的综合技术手段和方法，使用新技术、新方法，但不应加剧滑坡变形和土地损毁。

4.3 矿山滑坡治理分为勘查、设计、施工、监测、验收等工作阶段，监测贯穿矿山滑坡治理工作全过程或周期，工作流程图见附录 A 图 A.1。

4.4 充分搜集、利用、整理已有资料，包括矿山概况、矿山规划、开采过程、气象水文、区域地质、第四纪地质、水文地质、工程地质、环境地质、植被及人类工程活动等。

4.5 矿山滑坡岩（土）体组成、结构因素及其他因素的分类按 GB/T 32864-2016 附录 B 执行。

4.6 矿山滑坡地质环境复杂程度分级按附录 B 表 B.1 执行。

4.7 根据矿山滑坡威胁对象、直接威胁人数、直接经济损失、潜在经济损失和治理工程投资，按表 1 将矿山滑坡治理工程由高到低分为 I、II、III 级。

表1 治理工程分级表

分级要素	分级指标		
	I	II	III
威胁对象	城市和村镇规划区、放射性设施、军事和防空设施、核电、二级（含）以上公路、铁路，大型水利工程、电力工程、集中水源地、垃圾处理场、水处理厂、油（气）管道和储油（气）库，重要工业及民用建筑、学校、医院、剧院、体育场馆等公共设施	新建村镇、三级（含）以下公路、中型水利工程、电力工程、集中水源地、垃圾处理场、水处理厂，较重要工业及民用建筑等	采矿过程中的临时工程、小型水利工程、电力工程、集中水源地、垃圾处理场、水处理厂，一般工业及民用建筑农田等
直接威胁人数（人）	≥500	500~100	<100
直接经济损失（万元）	≥1000	1000~500	<500
潜在经济损失（万元）	≥5000	5000~1000	<1000
治理工程投资（万元）	≥3000	3000~1000	<1000
注：分级确定采取上一级别优先原则，只要有一项要素符合某一级别，就定为该级别。			

5 矿山滑坡勘查

5.1 一般规定

5.1.1 查明滑坡的岩（土）体结构、空间几何特征和规模、水文地质条件、矿山开采与滑坡的关系、滑坡危害及损毁土地等情况，获取岩（土）物理、力学参数，分析滑坡成因，进行稳定性评价，预测其发展趋势，为治理工程设计提供依据。

5.1.2 应在综合分析研究已有资料的基础上进行现场踏勘，根据矿山滑坡特征、诱发因素及损毁土地情况，针对性编制勘查方案。

5.1.3 对规模大、地质环境复杂的矿山滑坡勘查可分为可行性论证勘查、初步设计勘查、施工图设计勘查等阶段。可行性论证勘查、初步设计勘查按照 GB/T 32864-2016 执行。

5.1.4 矿山滑坡勘查宜采用遥感、测量、工程地质测绘、钻探、井探、槽探、硐探、地球物理勘探及岩土水测试等综合手段，辅以 InSAR、机载 Lidar、无人机航摄、三维倾斜摄影等技术。

5.1.5 应根据滑坡特征，有针对性地布置勘查点、线，不宜盲目采用等间距网格状布置。应结合预设的治理监测方案布置勘查工作。

5.1.6 勘查范围应覆盖全部诱发因素和受威胁区，勘探深度应达到预计最不利状况下的最深滑动面以下一定深度。

5.1.7 矿山滑坡勘查应保证自身安全，践行绿色勘查，不应加剧滑坡变形。

5.1.8 矿山滑坡勘查的各项野外工作应进行现场验收。

5.1.9 勘查成果应包括勘查报告、原始测试报告等附件及可供设计使用的工程地质图册，勘查报告提纲见附录 C。

5.2 露天采矿场滑坡勘查要求

5.2.1 收集矿山资料，包括露天矿山的生产规模、服务年限、开采境界、开采规划、方法、采场要素及参数、开拓运输方式及矿山布置情况，矿层及质量参数，以及矿山采掘的平面图、地质剖面图。

5.2.2 露天采矿场滑坡勘查应针对其结构面控制滑坡周界，由断层面、节理或其他软弱结构面、破碎带形成滑动带等特点，采用综合勘查手段，注重构造结构面调查与分析，找出滑动依附的结构面，查明滑坡的破坏形式、分布范围、滑动面位置及其岩土性质、规模及危害程度。

5.2.3 露天采矿场滑坡勘查包含内容

5.2.3.1 查明露天采矿场开采范围、采矿方法、采矿进度等，分析采矿活动与滑坡的相互影响。

5.2.3.2 查明滑坡失稳前勘查区原有的台阶和地表形态，工作帮及非工作帮分布、长度、台阶高度，确定台阶边坡的变形与破坏情况及其影响因素。

5.2.3.3 查明滑坡体形态与边界特征、规模、变形特征、人员伤亡及财产损失，查明危险区范围及威胁对象。

5.2.3.4 查明勘查区地层分布、成因、时代、岩性、产状及岩土体组合关系等，查明断层、褶皱、节理、裂隙等构造类型，查明矿体与其周边地层的接触关系。重点查明滑坡软弱结构层（面）及滑带的分布、厚度及其工程地质特征。

5.2.3.5 查明岩脉的空间分布、组合规律及其工程地质特征，对直接影响滑坡稳定的较大不连续面应重点研究。

5.2.3.6 查明含水岩组特征、地下水赋存、补给、径流及排泄条件，获取渗透系数、水压力等参数，分析采矿活动对地下水趋势影响，地下水对建筑材料腐蚀性影响。

5.2.3.7 查明滑体、滑带、滑床的岩土体物理力学性质，重点查明滑带的抗剪强度指标。

5.2.3.8 查明勘查区地表水径流条件，包括降雨、河流对坡体的侵蚀、冲刷、侧蚀、揭底等作用，分析其对滑坡稳定性的影响。

5.2.3.9 对位于高应力区的滑坡，宜进行边坡岩石原位地应力测量与分析。

5.2.4 露天采矿场滑坡勘查重点

5.2.4.1 破碎岩体滑坡，应查明顺坡向的软弱破碎带、断层破碎带、底错带等软弱结构面的分布层数、层位、产状、规模、破碎带岩土体性质，查明滑带岩土性质及其力学参数指标。

5.2.4.2 层状岩体滑坡，应查明倾向临空面的泥化夹层、层间错动带、断层或劈理带、不同岩性和不同时代的地层接触面、不整合或假整合面等结构面分布部位、产状、含水条件，及其力学参数指标；查明层间水的分布、层数和水压，以及补给来源与方式。

5.2.4.3 块状岩体滑坡，应查明块状岩体结构面的产状，水对结构面的软化、潜蚀作用及其软化后力学参数指标；查明在应力条件变化下岩体的不均匀变形，以及其间的地下水分布、补给条件和方式等。

5.3 采空区滑坡勘查要求

5.3.1 采空区滑坡勘查应在查明采空区特征的基础上进行，确定采动边坡转化为滑坡的可能性，采空区调查按 GB 51044-2014 的规定执行。

5.3.2 采用的技术手段和开展的勘查工作不应引起或加剧斜坡及采空区变形。

5.3.3 应查明采空区上覆斜坡物质的结构特征、变形特征及稳定性，根据矿山开采规划，分析并预测新采空区对斜坡稳定性的影响和可能的失稳模式。

5.3.4 采空区滑坡勘查包含内容

5.3.4.1 在收集资料基础上，开展采空区调查，查明采空区分布、开采历史和计划、开采方法、开采边界、顶板管理方法、覆岩种类及其破坏类型等基本要素，分析其与滑坡的时间、空间关系。

5.3.4.2 查明滑坡及周边区域地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质条件。

5.3.4.3 查明滑坡下部采空区深度、体积、塌陷冒落状况，分析岩层移动变形特征。

5.3.4.4 查明地表变形特征和分布规律，包括拉张裂缝、剪切裂缝、鼓胀变形、台阶的分布位置、形状、大小、深度、延伸方向、发生时间、发展速度等，确定滑坡形态、边界及规模。

5.3.4.5 查明岩石风化程度和岩体基本质量等级，以及主要结构面的类型、产状、延展情况、闭合程度、充填情况、充水情况、组合关系及力学属性，统计分析主要结构面与临空面关系。

5.3.4.6 分析地表移动变形对滑坡形态、主要结构面产状、岩土体强度、水文地质条件等的影响，并进行拉张变形区、剪切下沉区、挤压下沉区、鼓胀隆起变形区划分。

5.3.4.7 查明滑坡岩土体的物理力学性质和软弱结构面（滑带）的力学参数指标。

5.3.4.8 在查明滑坡特征、采空区分布范围基础上，结合无人机航摄、钻探、地球物理勘探等工作成果，建立三维地质模型，分析滑坡成因机制，评价滑坡稳定性。

5.4 矿山弃渣滑坡勘查要求

5.4.1 矿山弃渣滑坡主要包括矿山弃渣层内滑动、沿矿山弃渣与基底接触面滑动、沿基底以下软弱结构面滑动等三种破坏方式。

5.4.2 收集矿山弃渣场地资料，包括场地勘察评价资料、弃渣堆积、碾压方式等。

5.4.3 矿山弃渣滑坡勘查包含内容

5.4.3.1 查明勘查范围地形地貌条件，包括矿山弃渣堆积前及堆积后的场地地形条件。

5.4.3.2 查明弃渣堆积体分布范围、堆积高度及坡度、堆积期次以及已有防护措施等。

5.4.3.3 查明弃渣场地地层岩性及其分布、成因、产状、物理力学性质，重点查明基底以下软弱夹层及其物理力学参数，评价基底承载力。

5.4.3.4 查明弃渣堆积体特征，包括堆积体岩性、不同期次堆积接触特征等。重点查明堆积体内软弱结构面及其物理力学参数，获取堆积体密实度、天然休止角等参数。

- 5.4.3.5 查明矿山弃渣滑坡形成碎屑流、泥石流等次生灾害的可能性及空间范围，并据此扩大勘查范围。
- 5.4.3.6 查明滑坡区边界条件、范围、规模、变形特征、诱发因素、威胁对象等。
- 5.4.3.7 查明勘查范围内水文地质条件，包括堆积体内及基底以下含水层、隔水层分布，地下水补给、径流、排泄等条件，获取水压力、渗透性等参数。
- 5.4.3.8 在论证弃渣堆积体滑坡稳定性和破坏方式的基础上，提出弃渣管理及滑坡治理措施建议。

5.5 滑坡损毁土地调查要求

- 5.5.1 收集滑坡区及周边生态环境、土地利用现状与权属等资料。
- 5.5.2 应对滑坡区土壤类型、植被覆盖及土地利用类型、土地损毁情况等进行调查。可针对不同土地利用类型区，采集土壤样品进行测试。
- 5.5.3 开展滑坡区耕地耕作层和园地、林地、草地等腐殖质层的损毁情况调查，查清损毁范围、类型、程度与面积。对已复垦的土体，调查复垦所采用的主要标准、措施以及复垦效果。
- 5.5.4 根据矿体赋存、开采方法、顶板管理方法、工艺流程、区域地理地质背景条件等，结合滑坡稳定性及发展趋势，采用经验法、理论模拟法、影响函数法、概率积分法等方法预测不同时段土地的损毁类型、范围、程度等。
- 5.5.5 应进行土地损毁程度分析，包括损毁方式、损毁程度、影响因素、现状地类、对生产力的影响、不同损毁类型和程度的面积等。

5.6 勘查工作布置

- 5.6.1 工程地质测绘应优先于其他工程勘探工作，根据地形地貌、变形特征对滑坡进行分区。测绘平面图比例尺宜采用 1:2 000~1:200，剖面图比例尺宜采用 1:1 000~1:200，局部重点区域可根据实际需要提高测绘精度。
- 5.6.2 勘探线（剖面）宜由钻探、井探、槽探及地球物理勘探等勘探点构成。
- 5.6.3 纵向勘探线的布置应结合滑坡单元进行，不同滑坡单元均应有主勘探线控制，其方向应与该单元滑动方向一致，在其两侧可布置辅助勘探线。勘探线的布置应考虑采空区空间分布特征。
- 5.6.4 根据地质条件复杂程度，结合防治工程方案，勘探点线间距布置宜按表 2 确定。

表2 勘探点线间距布置

地质条件复杂程度	勘探线	主辅勘探线间距 m	主勘探线勘探点间距 m	辅勘探线勘探点间距 m
简单	纵向	120~30	60~30	120~60
	横向	120~30	120~60	120~60
中等	纵向	100~25	50~25	100~50
	横向	100~25	80~40	100~50
复杂	纵向	80~20	40~20	80~40
	横向	80~20	40~20	80~40

- 5.6.5 每个滑坡单元应布设不少于 1 条勘探线。
- 5.6.6 主勘探线（剖面）不应少于三个勘探点，对于地质条件复杂、后缘边界不确定的滑坡，宜在后缘边界外适当增加勘探控制点。
- 5.6.7 主勘探线上投入的工程量及点位布设应满足主剖面图绘制、试验及稳定性评价的要求，并兼顾地下水观测和变形长期监测的需要。
- 5.6.8 勘探点宜布设在重点勘查、设计的治理工程部位，应兼顾采样、现场试验和监测。

5.6.9 地球物理勘探宜沿勘探线进行布置，探测深度应达到最深滑面以下 10 m 且应达到强风化界线以下，拟设工程部位应达到滑面以下 30 m。采空区滑坡地球物理勘探解译深度应达到采空底板以下 15 m~25 m。

5.6.10 露天采矿场滑坡钻孔应穿过不连续面或可能的最深滑动面，并应深入其下不小于 10 m；采空区滑坡钻孔应穿过最深潜在滑动面并进入稳定层不小于 8 m，宜穿过采空区底板以下不少于 5 m；矿山弃渣滑坡钻探应穿过最深潜在滑动面，并进入稳定层不小于 10 m，且应深入原地面以下稳定层不小于 10m。并应采取滑体、滑带、滑床岩（土）试样，测试其物理力学性质指标。

5.6.11 在滑坡体前缘、后缘、侧缘部位及勘探线上地质露头不清时，应布置必要的探槽进行追踪。

5.6.12 对地质环境条件复杂的大型或大型以上滑坡，宜采用探洞进行勘探。

5.6.13 为获取准确的滑带岩土体抗剪强度指标，可进行大面积剪切试验。

5.7 勘查工作方法

5.7.1 遥感解译

5.7.1.1 矿山滑坡遥感调查应使用地面分辨率优于 0.5 m，云层覆盖率小于 5%且未覆盖重要地物的遥感数据，存档数据拍摄时间一般不早于一年。滑坡区及周边遥感数据宜采用无人机航摄。

5.7.1.2 遥感解译范围应覆盖滑坡勘查区，宜收集不同时相影像数据进行多期次对比解译。

5.7.1.3 影像上图斑面积大于 4 mm² 点状或长度大于 2 cm 的线状地质现象均应进行解译。

5.7.1.4 利用数字高程模型（DEM）和无人机航摄影像，建立勘查区三维影像模型。

5.7.1.5 解译地形地貌、地层岩性、地质构造、地表水体、土地利用及矿山工作帮、临时便道等孕灾背景条件，解译滑坡边界、剪出口、以及裂缝、鼓胀等变形特征。

5.7.1.6 露天采矿场滑坡重点解译采矿边界、采矿场地形演变等，采空区滑坡重点解译采空移动变形特征，矿山弃渣滑坡重点解译弃渣堆积体范围、地形演变等。

5.7.1.7 有条件的地区应开展 InSAR 形变分析。

5.7.2 工程地质测绘

5.7.2.1 工程地质测绘应包括已有资料的收集、分析、利用与现场踏勘、调查、测绘工作。实地测绘可根据滑坡区特征采用测线测绘法、界线追踪法、露头标绘法等方法。

5.7.2.2 测绘应将滑坡区及周边主要的地质现象和地物要素等表达在地形图上。测量坐标和高程系统宜按 GB 50026-2020 相关条款执行，对联测困难的山区也可采用独立坐标系和假设高程。

5.7.2.3 地形图精度，要求图上具有定位意义的独立地物点相对于邻近图根点的点位中误差应小于图上 0.5 mm。邻近地物点间距中误差不大于图上 0.4 mm。

5.7.2.4 测绘范围应包括后缘壁至前缘剪出口及两侧缘壁之间的整个滑坡，并外延到滑坡可能影响的一定范围。

5.7.2.5 地形地貌测绘应包括：宏观地形地貌（坡度、高差、台阶高度及宽度、沟谷、鼓丘、洼地、河道变迁及冲淤等）和微观地形地貌（滑坡后壁的位置及特征，两侧裂缝的位置及特征，前缘出露位置、形态、临空面特征及鼓胀、剪出情况，后缘洼地、反坡、台坎等）。

5.7.2.6 地质构造测绘应包括：地质构造线、地层接触线、岩性分界线和每个地质单元体，并应实地勾绘连接观测点之间的地质界线草图。地质观测点应充分利用天然和人工露头，当露头不佳或存在隐伏的地层界线、断层时，宜采用剥土、槽探等手段进行人工揭露。

5.7.2.7 岩（土）体工程地质特征测绘应包括：周边地层、滑床岩（土）体结构；滑坡岩体结构与产状，或堆积体成因及岩性；软硬岩组合与分布、层间错动、风化与卸荷带；粘性土膨胀性、黄土柱状节理；滑带（面）层位及岩性。

5.7.2.8 水文地质测绘应包括：地下水类型、赋存条件、含水层、隔水层、补给、径流、排泄等，地表水分布、流速、流向、流量、季节性变化情况及冲刷特征。

5.7.2.9 滑坡裂缝测绘应包括：裂缝的分布、长度、宽度、形状、力学属性及组合形态；应对建筑物开裂、鼓胀或压缩变形进行测绘，判断与滑坡形成的关系。

5.7.2.10 与滑坡有关的重要地质现象，应有足够的调查点控制。对重要观测点的定位应采用仪器测量。

5.7.2.11 滑坡剖面图宜与滑坡勘探线一致，采用与平面图等同或更大的比例尺。滑坡剖面的两 endpoints、控制点应设立显著标志，每一条剖面至少应有 2 个标志点。

5.7.2.12 地质调查与测绘野外记录应分类采用统一的专门卡片记录观测点。

5.7.2.13 工程地质测绘应提交地形测量、地质调查和测绘成果，包括图册及相关原始附件。

5.7.3 地球物理勘探

5.7.3.1 地球物理勘探宜与工程地质测绘、钻探配合布置，所采用的地球物理勘探方法可根据工程要求、探测对象的地球物理特性和场地地形地质条件等因素确定，见附录 F 表 F.1。

5.7.3.2 进行地球物理勘探前，应通过现场试验，研究勘探方法的有效性，确定合适的野外观测系统和仪器工作参数。

5.7.3.3 采空区滑坡勘查应率先采用地球物理勘探手段，查明采空区的埋深、平面分布范围、垮落及充水状态、覆岩类型和特征、周围介质的物性差异等。

5.7.3.4 当地球物理勘探反映有重大异常时，应补充钻探、井探、硐探和槽探等予以验证。

5.7.3.5 地球物理勘探实测资料应结合钻孔等相关地质情况进行综合分析，并提出地质解释成果。

5.7.4 钻探

5.7.4.1 钻探孔位的布置应在工程地质测绘的基础上进行，沿确定的勘探线布置，针对需查明的滑坡地质结构或问题确定具体孔位。

5.7.4.2 滑体内地下水位以上的粘性土、粉土、人工填土和不易塌孔的砂土内应采用干法钻进。

5.7.4.3 滑体内地下水位以下的岩（土）层内，以及滑带及其上下 5m 范围内应采用单管双动钻进技术，或双管双动钻进技术或无泵反循环技术等对滑坡岩土扰动小的钻进技术钻进。钻进过程中，应记录冲洗液和地下水情况，每班开始工作前均应测量水位。

5.7.4.4 在滑带及其上下 5 m 范围内，采用干法或双（三）管单动钻进方法时，回次进尺不得大于 0.5 m，应及时编录岩芯，确定滑动面位置。

5.7.4.5 滑体、滑床和滑带的岩芯采取率应分别大于 80%、85%和 90%。

5.7.4.6 孔深最大允许误差不宜大于 1‰，钻孔顶角最大允许弯曲度应小于 2%。

5.7.4.7 钻孔终孔孔径不宜小于 91 mm，并应满足取样要求的最小孔径。

5.7.4.8 孔深误差及分层精度、孔斜误差、岩心采取、钻孔简易水文地质观测、钻孔地质编录、施工、验收等应符合 GB/T 32864-2016 的有关规定。

5.7.4.9 终孔后应及时进行钻孔资料整理并提交钻探成果，绘制钻孔综合柱状图。

5.7.5 井探、硐探和槽探

5.7.5.1 井探、硐探和槽探布置宜沿勘探线并与钻探相结合。

5.7.5.2 探井、探硐的深度、宽度、长度、断面应按设计要求确定，探井深度不宜超过地下水位。

5.7.5.3 对地质结构复杂难以定论，且等级为 I 级的滑坡防治工程可考虑用探硐进行勘探。探硐宜及时支护，并考虑综合利用，且探洞护壁应预留足够的观测窗。

5.7.5.4 应及时开展探槽、探井、探硐的素描、拍照、录像、采样及埋设监测仪器等工作，并进行地质编录、绘制展示图，展示图比例尺宜为 1:100~1:50。

5.7.5.5 应按要求配合进行滑动面（带）力学抗剪强度的原位试验，同时在预定层位按要求采取岩、土样。

5.7.6 取样与试验

5.7.6.1 滑坡取样与试验按 GB/T 50123-2019 和 GB/T 50266-2013 的相关条款执行，应提供滑坡防治工程设计所需的基本参数指标。

5.7.6.2 土样可在钻孔、探井、探槽、探硐中采取，软弱土层应连续取样，土样应密封送交试验室，运输中应避免振动。岩石试样可在钻探岩芯中选取或在探井、探槽、探硐中刻取，试样应标注可能滑移方向，软质岩石试样应及时密封。

5.7.6.3 土质滑坡宜进行滑坡体大型重度试验，试验方法宜采用容积法，试坑体积不小于 500 mm×500 mm×500 mm。

5.7.6.4 采用井探、硐探、槽探揭露的滑带应取原状土样进行试验，土样尺寸不小于 200 mm×200 mm×200 mm，土样数量不应少于 6 件。

5.7.6.5 钻孔中采集土样应使用薄壁取土器，采用静力压入法，高度应不小于 200 mm。

5.7.6.6 对滑坡体宜分类进行不同岩（土）体的室内剪切试验与压缩试验，确定抗剪强度（ c 、 ϕ 值）、压缩模量及其他强度与变形指标，且每项岩（土）体室内物理力学试验不得少于 6 组。

5.7.6.7 当采用抗滑桩、锚索等进行滑坡防治时，应在支挡工程布置部位对滑床基岩不同岩组取样进行常规物理力学试验。

5.7.6.8 采用井探、硐探、坑槽探揭露的滑带宜进行原位大面积剪切试验，可在天然含水状态和人工浸水状态下进行剪切，并应对现场开挖及制样过程、滑带形状、滑带土成分、力学性质进行详细测绘描述，并照（摄）像。原位测试方法应符合 GB 50021-2001 和 GB/T 50266-2013 的有关规定。

5.7.6.9 中型及以上规模，且危害等级为 I 级的滑坡，应进行抽水试验以获得滑坡体渗透系数。当无法抽取地下水时，在保证滑坡稳定的条件下，可采用注水试验方法。抽（注）水试验不得少于 2 组。

5.7.6.10 应采集水样并进行腐蚀性评价。

5.8 滑坡稳定性分析

5.8.1 滑坡稳定性的初步判别宜采用极射赤平投影法、工程地质类比法。对区域地质资料详实的矿山滑坡宜采用工程地质类比法判别，岩质滑坡宜采用极射赤平投影法。

5.8.2 土质滑坡和强度极低的软岩、倾内薄层状结构、散体结构或碎裂结构的岩质滑坡，当滑动面为圆弧形时，宜采用简化毕肖普法和摩根斯顿-普赖斯法进行稳定性计算。

5.8.3 可能沿基岩面、原地面、层面、裂隙面、断层面或软弱结构面等发生滑动的滑坡，当滑动面为平面或折线型时，宜采用摩根斯顿-普赖斯法或斯宾塞法进行稳定性计算。

5.8.4 块状结构或层状结构的岩质滑坡，宜采用萨尔玛法和不平衡推力传递法进行稳定性计算。

5.8.5 两组或两组以上节理裂隙或结构面切割而成的楔形滑体滑坡，宜采用楔体法进行稳定性计算。

5.8.6 层状岩体可能发生倾倒破坏的滑坡，宜先采用定性分析和定量评价相结合的方法确定可能发生倾倒的部位及其稳定性，并采用数值分析法对边坡稳定性及其破坏模式进行复核判断。

5.8.7 采空区滑坡稳定性评价应在确定边坡破坏模式的基础上，采用工程地质类比法、结构面组合判断法、极限平衡法、数值分析法进行综合评价，有条件时可开展物理模拟验证实验。

5.8.8 滑面倾角变化较大的滑坡，当采用传递系数法进行稳定性评价和推力计算时，应采用隐式解，不宜采用显式解。

5.8.9 应充分考虑水文地质条件对矿山滑坡稳定性的影响。

5.8.10 可采用数值模拟强度折减法进行稳定性评价和推力计算。

5.8.11 地质条件复杂,或支挡工程组合结构复杂的滑坡,宜采用数值模拟强度折减法进行设计和校验。

5.8.12 滑坡稳定性评价和推力计算公式的选用,按 GB/T 32864-2016 附录 B 执行。

6 矿山滑坡治理设计

6.1 一般规定

6.1.1 矿山滑坡治理工程施工图设计应依据矿山滑坡勘查成果进行,设计提纲见附录 D。

6.1.2 矿山滑坡治理工程施工须依据施工图设计,进行信息化施工。必要时应根据实际揭示的地质信息和监测数据进行补充勘查,优化设计。

6.1.3 治理工程设计应根据滑坡所处的地形地质条件、滑坡的基本特征、成因机理、破坏模式、发展趋势及危害程度,结合保护对象的重要性、施工条件等,遵循“以防为主、防治结合、安全可控”的原则,通过综合技术经济比较,确定滑坡防治工程方案,采取截排水、减载、反压、支挡加固、生态修复等工程相结合的综合防治措施,保证安全。

6.1.4 对规模大、性质复杂、变形缓慢且短期内难以查明其性质的滑坡,可采取一次规划设计、分期治理的方案。

6.1.5 当地质条件和水文条件复杂时,排水工程对于滑坡稳定系数的提高值可不作为设计依据,但可作为安全储备加以考虑。

6.1.6 治理工程设计应复核滑坡稳定性推力计算结果,设计安全系数应依据滑坡治理等级和设计工况,按表 3 选定。对于Ⅲ级滑坡治理工程,可不考虑工况Ⅳ。临时性矿山滑坡治理工程按治理等级Ⅲ取值。对于采用地下排水、埋入式抗滑桩、小口径组合抗滑桩和抗滑键为主要措施的治理工程,其设计安全系数应取高限。

表3 滑坡设计安全系数取值表

治理等级	设计		校核	
	工况 I	工况 II	工况 III	工况 IV
I	1.30~1.25	1.25~1.20	1.20~1.15	1.05
II	1.25~1.20	1.20~1.15	1.15~1.10	1.02
III	1.20~1.15	1.15~1.10	1.10	—
工况 I—基本荷载;工况 II—基本荷载+暴雨荷载;工况 III—基本荷载+地震荷载; 工况 IV—基本荷载+暴雨荷载+地震荷载;当滑坡区爆破震动荷载高于地震荷载时,应取爆破震动最大荷载。				

6.1.7 滑坡治理施工过程中应采取必要的应急措施与临时保护措施,控制滑坡变形速率,防止滑坡进一步失稳,保证滑坡施工安全。滑坡治理应急工程、临时工程应与永久防护支挡工程相结合。

6.2 治理方案

6.2.1 露天采矿场滑坡治理方案

6.2.1.1 土质滑坡根据滑面(带)的层数、滑面(带)倾斜度和含水状态,分清增加抗力的支挡措施与截排水措施的主次关系,并与生态修复有机结合,宜采取下列治理措施:

- a) 浅层和中层堆积土滑坡治理方案,宜以前部抗滑支挡、锚固工程为主,减载、截排及疏干地下水措施为辅;

- b) 厚层及巨厚层堆积土滑坡产生滑动时，宜在滑坡前部设置抗滑支挡工程，并以截断供给滑带水的水源为根治措施。当坡体密实、前缘斜坡高陡，且斜坡下部存在含水的软弱岩土层时，应采取削坡减载措施。

6.2.1.2 层状岩质滑坡治理宜采取下列措施：

- a) 顺层岩质滑坡治理工程应以截排主滑带含水层地下水与滑坡前部抗滑支挡工程相结合，并在滑体中无软岩夹层与互层的厚度范围内采取减载的辅助措施；
- b) 截排滑带含水层地下水时，应根据地下水补给来源确定截排水对象及工程部位。对层面较缓、以软岩层顶面的层间含水错动带或软岩顶层的软化揉皱层为滑带的岩体滑坡，以截排补给软岩顶层的地下水为主；对厚层软岩下伏为破碎的硬岩承压水的岩体滑坡，以能降低地下水位使其水头低于覆盖其上的软岩层底面为主；
- c) 层面产状较陡的滑坡，应以恢复山体支撑为整治对策，宜采取锚固措施。

6.2.1.3 切层岩质滑坡治理宜采取下列措施：

- a) 切层岩质滑坡治理对策应以在滑坡前部增加抗力为主，地表排水措施为辅。并根据滑带的软弱结构面或顺坡断层等分布情况，确定减载措施的可行性；
- b) 岩层产状平缓或反倾、岩性软弱或下伏软弱岩层的软质岩滑坡以及错落性滑坡，宜对滑体中上部采取减载，坡脚软岩进行支挡加固，并结合地表、地下排水进行综合治理。当减载及削坡不易实现时，可采取在滑坡前部设置抗滑支挡工程增加抗力。

6.2.1.4 块状岩质滑坡治理宜采取以预应力锚固、抗滑支挡为主，截排水、注浆加固为辅的工程措施。

6.2.1.5 破碎岩体滑坡治理宜采取下列措施：

- a) 破碎岩体滑坡宜采用上部削方减载与下部坡脚支挡相结合，坡体预应力锚固与地下水引排工程相结合，并兼顾地表排水的综合治理工程措施；
- b) 规模较大、性质复杂、治理困难的破碎岩体滑坡，可采用大型抗滑桩工程。当滑坡体内地下水丰富时，可采取截排水隧洞等引排地下水的工程措施。在变形较为活跃的滑坡治理前期，可采用减载反压工程作为应急抢险工程措施。

6.2.2 采空区滑坡治理方案

6.2.2.1 针对采空区滑坡的地面沉陷地带，未达到稳沉状态的，宜采取监测、示警及临时工程措施，消除安全隐患；达到稳沉状态的，应采取防渗处理、削高填低、回填整平、挖沟排水、生态修复等综合治理措施。

6.2.2.2 针对采空区滑坡地裂缝，应根据地裂缝的规模和危害程度采取不同的措施。规模和危害程度较小的，采用土石填充并夯实；规模和危害程度较大的，可采取灌浆填充等措施。

6.2.2.3 采空诱发的土质、岩质滑坡宜采用抗滑桩支挡、锚索加固、顶板支撑、排水、生态修复等治理措施，必要时可对采空区关键地段进行回填。

6.2.3 矿山弃渣滑坡治理方案

6.2.3.1 矿山弃渣滑坡治理方案宜采取截排地下水、地表防渗处理、生态防护、削坡减载、回填压脚与支挡加固工程相结合的综合措施，保证滑坡稳定。

6.2.3.2 在弃渣堆积体内部滑动的滑坡治理方案，应根据滑面（带）的深度、滑面倾斜度和含水状态，增加抗力的支挡措施与截排水措施的主次关系，采用前缘支挡、回填压脚、生态防护、截水、排水（自流、井排或联合排水）等治理措施。

6.2.3.3 沿基底接触面滑动的滑坡治理方案，应根据接触面含水状况和下伏基底性质，对后部或后缘以外补给滑带水的地下水采取截排水措施，结合后缘减载、前缘抗滑支挡及地表防渗排水等措施，进行综合整治。

6.2.3.4 沿基底软弱层滑坡治理方案宜采取截排水、减载与支挡加固相结合的综合措施：

- a) 覆盖在软质岩层上、主滑带位于下伏软质岩顶面含水层地带的滑坡，应以截排软质岩层顶面含水层中地下水和坡体上部减载为主，结合坡体前缘抗滑支挡、锚固等工程进行治理；
- b) 覆盖在硬质岩层上、主滑带位于倾斜较陡的基岩顶面、且无明显地下水补给来源的滑坡，应以采取抗滑支挡与削方减载相结合，必要时可采取锚固的治理措施。

6.3 治理工程措施

6.3.1 排水工程

6.3.1.1 依据滑坡区水文条件，可采取地表排水工程、地下排水工程或二者相结合的排水工程。

6.3.1.2 地表排水工程应按滑坡区及周边工程地质与水文地质条件、汇水面积、排水路径、截水沟排水能力等因素综合确定。

6.3.1.3 地下排水工程应视滑动面情况、滑坡所在山坡汇水范围内的含水层与隔水层水文地质结构及地下水动态特征，宜采用自流排水形式，可采用钻孔排水、井巷排水或联合排水等方式。

6.3.1.4 滑坡区排水工程应与矿山开采工艺相结合，对水文地质条件简单和涌水量不大的滑坡区宜采用地表排水工程，在滑坡区后缘应设置截水沟，并对后缘裂缝应提出遮盖或封闭措施。

6.3.1.5 排水工程设计按照 GB/T 38509-2020 的规定。

6.3.2 抗滑桩工程

6.3.2.1 抗滑桩设计荷载应包括滑坡体自重、渗透压力、孔隙水压力、地震力。

6.3.2.2 抗滑桩应嵌固在滑动面以下的稳定岩（土）体中，并不应产生新的深层滑动。

6.3.2.3 抗滑桩的桩位宜选择在滑坡体较薄、嵌固段地基强度较高的地段，其平面布置、桩间距、桩长和截面尺寸等应综合考虑确定。

6.3.2.4 抗滑桩的桩截面尺寸应根据滑坡推力的的大小、桩间距、桩顶位移量以及嵌固段地基的横向容许承载力等因素确定。

6.3.2.5 抗滑桩嵌固段桩底端距离露天边帮的有效长度不应小于嵌固段深度。

6.3.2.6 当滑坡推力较大时，宜采用大截面矩形方桩和预应力锚拉桩。预应力锚拉桩、锚索与水平面的下俯倾角宜采用 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，锚固段应置于滑动面（带）以下稳定地层，锚固力及最佳锚固深度应通过现场抗拔试验确定。

6.3.2.7 当悬臂抗滑桩的设计弯矩过大，或桩顶位移超过容许位移时，宜采用预应力锚索抗滑桩；当滑坡变形较大不宜进行大截面抗滑桩开挖施工时，宜采用小口径组合抗滑桩；当滑坡体厚度大、不存在次级滑带，且对地面变形无严格要求时，可采用埋置式抗滑桩；当滑坡体地下水较为丰富，需降低地下水位和抗滑支挡时，可采用箱型抗滑桩。

6.3.2.8 抗滑桩设计按照 GB/T 38509-2020 的规定。

6.3.3 锚索（杆）工程

6.3.3.1 预应力锚索可用于土质、岩质滑坡加固，锚固段应设置在滑动面以下稳定的岩层中，其防腐等级也应达到相应要求。

6.3.3.2 锚固型式应根据边坡岩土体类型、工程特征、锚杆承载力大小、锚索（杆）材料和长度、施工工艺等条件综合确定。软质岩、风化岩地层宜采用压力分散型锚索；强度较高的硬质岩石地层可采取拉（压）力集中型锚索。

6.3.3.3 采用新的锚索（杆）结构型式或无类似锚固经验地层中的锚索（杆），应对锚索（杆）进行现场拉拔试验检验锚索（杆）的锚固性能。

6.3.3.4 根据锚杆工作环境、地质条件和设计锚固力大小，可选用普通水泥砂浆锚杆、中空注浆锚杆、自钻式中空注浆锚杆、精轧螺纹钢锚杆和纤维增强塑料锚杆。

6.3.3.5 锚索预应力锁定值应根据地层条件及支护结构变形要求确定，宜取轴向受拉承载力设计值的50%~65%。

6.3.3.6 锚杆注浆宜采用高压注浆方式，注浆材料宜为 M30 纯水泥浆或水泥砂浆。

6.3.3.7 锚索（杆）工程设计按照 GB/T 38509-2020 的规定。

6.3.4 格构锚固工程

6.3.4.1 当滑坡表面岩土体易风化、剥落且有浅层崩滑、蠕滑等现象以及需要对坡面进行绿化、美化时，宜采用格构锚固进行防护。

6.3.4.2 根据滑坡结构特征，选定不同的护坡材料。当滑坡稳定性好，但前缘表层开挖失稳，出现坍塌时，可采用浆砌块石格构护坡后用锚杆固定；当滑坡稳定性差，且滑坡体厚度不大，宜用现浇钢筋砼格构+锚杆（索）进行滑坡防护，应穿过滑带对滑坡阻滑；当滑坡稳定性差，且滑坡体较厚，下滑力较大时，应采用砼格构+预应力锚索进行防护，并应穿过滑带对滑坡阻滑。

6.3.4.3 格构锚固工程设计按照 GB/T 38509-2020 的规定。

6.3.5 挡墙工程

6.3.5.1 重力式挡墙包括下列内容：

- a) 重力式挡墙应与排水、减载、护坡、锚固等其他治理工程相配合。应根据地形地质条件，通过技术经济比较，确定设计方案；
- b) 重力式挡墙可用于滑坡规模较小、厚度较薄，滑坡剩余下滑力宜小于 300 kN/m 的滑坡治理，且挡墙基坑开挖后不会引起滑坡复活或产生新的滑动。对剩余下滑力较大的滑坡，当采用重力式挡墙进行支挡时，应与其他支挡结构配合使用。当滑坡长度大且厚度小时，可沿滑坡主滑方向设置多级挡墙；
- c) 重力式挡墙应布置在滑坡剪出口、潜在剪出口的附近、或滑坡阻滑段的前部区域，并宜以反压措施相结合；
- d) 重力式挡墙墙高不宜超过 10 m。当高度超过 10 m 时，宜采用桩板墙或其他工程措施；
- e) 挡墙结构设计计算时，应将滑坡推力与挡墙的主动土压力进行比较，取其较大值作为挡墙设计推力。但当滑坡推力的合力作用点位置较主动土压力高时，即使主动土压力较滑坡推力为大，挡墙的倾覆稳定计算仍应同时用滑坡推力进行验算。

6.3.5.2 扶壁式挡墙包括下列内容：

- a) 扶壁式挡墙适用于滑坡前缘反压填土边坡的支挡；
- b) 扶壁式挡墙的基础应置于稳定的岩土层内且深度不应小于 1 m，其埋置深度应根据滑面位置、地基承载力、水流冲刷深度等因素经计算确定。

6.3.5.3 桩板式挡墙包括下列内容：

- a) 桩板式挡墙的桩间距、桩长和截面尺寸应综合考虑确定，桩应嵌固于稳定地层中，确保桩后土体不越过桩顶或从桩间滑走，不应产生新的深层滑动；
- b) 桩的自由悬臂长度不宜大于 15 m，桩间距宜为 5 m~8 m。当桩的滑面以上长度大于 15 m、桩侧滑坡推力或土压力较大时，可在桩上部加设预应力锚索；桩板墙顶位移应小于桩悬臂端长度的 1%，且不宜大于 10 cm；预制钢筋混凝土挡土板为支撑在桩上的简支板，可按受弯构件设计。

6.3.5.4 石笼式挡墙包括下列内容：

- a) 石笼式挡墙适用于地基承载力较低的弃渣滑坡堆积体边坡防护、受水流冲刷且防护工程基础不易处理的滑坡前缘阻滑治理；
- b) 石笼式挡墙墙高不宜大于 6.0 m，可与土工格栅、钢丝网等加筋技术联合使用时，提高墙体高度；
- c) 石笼式挡墙设置地段的水流流速宜小于 5 m/s；

- d) 当地基软弱，地基承载力达不到设计要求时，宜进行扩大基础底面积处置，或进行专门的地基处理。

6.3.5.5 加筋挡墙包括下列内容：

- a) 加筋挡墙可用于弃渣堆积和填方段的斜坡工程，以及小型滑坡前缘的压脚支挡；
- b) 加筋挡墙设计应进行方案比选，体现合理、经济、实用、美观的原则。单级墙高不宜超过 10 m。超过 10 m 时，应进行特殊设计，以免出现极端负荷。

6.3.5.6 挡墙的防渗与泄水布置应根据地形、地质条件和坡面出水来源的因素确定；

6.3.5.7 挡墙工程设计按照 GB/T 38509-2020 的规定。

6.3.6 喷锚支护

6.3.6.1 喷射混凝土强度等级不应低于 C20，喷射混凝土 1 d 龄期的抗压强度不应低于 5 MPa。

6.3.6.2 挂网锚杆应采用全长粘结锚杆，宜采用矩形或菱形布置，长短交错布置，与钢筋网绑扎或焊接连接。

6.3.6.3 喷射混凝土面层厚度不应小于 50 mm，挂钢筋网喷射混凝土厚度不应小于 100 mm。挂网钢筋直径宜为 6 mm~12 mm，钢筋间距宜为 150 mm~300 mm。

6.3.6.4 喷射混凝土面板应沿边坡纵向每 20 m~25 m 的长度分段设置竖向伸缩缝。

6.3.6.5 喷锚支护设计稳定性计算宜采用工程类比法，设计计算应遵守 GB 50086-2015 的规定。

6.3.7 削方减载工程

6.3.7.1 削方减载包括滑坡后缘减载、滑体或变形体的清除、削坡降低坡度等措施。应将减载后的稳定性系数和下滑推力作为支挡设计的依据，且应结合采矿设计进行。

6.3.7.2 滑体或滑带土具有卸荷膨胀开裂性质时，不应采用减载措施。推移式滑坡或由错落转化的滑坡宜采用后缘减载措施。减载时，必须考虑清方后滑坡后部和矿山边坡的稳定性，防止后缘产生新的滑动。

6.3.7.3 削方减载高度较大时，应设置成台阶状，并应提出控制爆破施工工艺要求。土质滑坡单级边坡高度宜小于 8 m；岩质滑坡单级边坡高度应小于 12 m，宜为 8 m~10 m。台阶宽度宜大于 2 m。

6.3.7.4 采用爆破方法对后缘滑体或危岩进行削方减载时，应对周围环境进行专门调查，评估爆破震动对滑坡整体稳定性的影响和爆破飞石对周围环境的危害。

6.3.7.5 施工期应做好临时排水措施。削方工程完成后，应根据边坡高度、坡面抗风化和抗冲刷能力，采用挂网喷播植草、格构骨架植草、挂网喷射混凝土、护面墙等措施对坡面进行有效防护。

6.3.8 回填压脚工程

6.3.8.1 回填压脚工程适用于滑坡体前缘具有较长的抗滑段或滑坡剪出口前地形平坦，有较好的反压条件的滑坡。应将回填压脚后滑坡稳定性系数和下滑推力作为支挡设计的依据。

6.3.8.2 回填压脚位置应在滑坡体抗滑段或滑坡剪出口前缘，以增加滑坡抗滑能力，提高其稳定性。

6.3.8.3 回填料宜利用矿山弃渣、减重弃方等，并对回填体进行反滤防渗和防冲刷处理。

6.3.8.4 当滑坡坡脚处于地基软弱和富水地段时，应采取排水固结、换填等措施进行地基处理。

6.3.8.5 回填料应分层压实，压实度应不小于 90%。

6.3.8.6 回填压脚工程设计按照 GB/T 38509-2020 的规定。

6.3.9 注浆加固工程

6.3.9.1 注浆加固用于提高滑带的抗剪强度，适用于岩质滑坡、松动岩体以及崩塌堆积体、岩溶角砾岩等透水性较好的滑坡。当滑带为粘性土时，应先进行注浆试验以论证其适用性。

6.3.9.2 注浆范围应结合滑坡体范围及岩土体性质确定。最外侧注浆孔宜位于滑坡边界外 0.5 m~1.0 m，注浆深度宜穿过滑带（面）不少于 3 m。注浆孔宜采用梅花形布置，间距宜为注浆有效扩散半径的 1.5 倍。

6.3.9.3 注浆浆液应选用具有较好可注性、固结收缩，具有良好的粘结性小、抗渗性、耐久性和化学稳定性且环境污染小、工艺简单、施工操作方便、安全可靠的注浆材料。

6.3.9.4 注浆前应进行注浆试验，以获得注浆压力、有效扩散半径、浆液配方等参数，并据此调整注浆孔间距、注浆量、注浆压力等设计参数。

6.3.9.5 注浆应采用分级加压，逐级递增的方式。注浆后应进行开挖或钻孔取样检验，测定注浆后滑动面以及滑体参数，必要时应进行现场原位测试，评价注浆效果。

6.3.10 生态修复工程

6.3.10.1 生态修复工程应与矿山滑坡治理工程相结合，生态修复规划设计应包含矿山滑坡治理工程。

6.3.10.2 生态修复工程适用于治理后稳定滑坡，且不应引发或加剧滑坡变形，应保障生产安全和矿工健康，保护和改善生态环境质量。

6.3.10.3 生态修复工程设计应坚持“因地制宜、综合治理、安全可靠、注重效益”的原则。

6.3.10.4 生态修复工程设计应与生产建设活动统一规划、统筹实施，可采取工程技术措施、生物和化学措施、监测与管护措施，依据技术经济水平和社会经济发展需要，宜采用新技术、新材料和新工艺。

6.3.10.5 生态修复工程宜结合坡面防护工程进行，坡面防护工程应根据地形、地质、水文、降雨量、坡面防渗防淘刷等需要，以及土壤冻胀干裂程度、坡面风化强弱、植物生长条件等因素，综合确定采取的工程防护，宜采用梯田工程。梯田工程设计按照 GB 51018-2014 的规定。

6.3.10.6 土壤重构工程应在滑坡治理工程设计基础上，根据复垦条件及复垦目标宜采用充填工程、土壤剥覆工程、平整工程、坡面工程、生物化学工程及清理工程。

6.3.10.7 缓坡地带植被恢复应以生态效益和景观效益为主，种植牧草或绿肥植物，以具有经济效益的乔木或乔灌木混交林为辅；陡坡应以灌木林为主，以灌草结合的森林植被为辅。应考虑气候、土质等生长因素，选择死亡率低、抗病虫能力强、根系发达、固土能力强、适合当地生长的植物。

6.3.10.8 不同土地复垦类型区、不同复垦方向的复垦质量控制标准，应遵守 TD/T 1036-2013 的规定。

6.4 施工组织

6.4.1 滑坡治理工程施工应遵循保障安全、保护环境、确保质量、按期竣工的原则，设计方案中应专章编制指导性施工组织设计。

6.4.2 治理工程施工应依据施工图设计，结合滑坡安全等级、滑坡特征、矿山开采、场地施工条件等编制施工方案，采取合理、可行、有效的措施保证施工安全。

6.4.3 施工组织设计应编制施工平面布置图，应充分了解滑坡区及周边地形及进场交通条件、对施工有利和不利季节的气候条件，以及拟建工程位置地形交通条件、施工原材料来源及运输条件、工程弃渣堆放场所、施工营地搭建场所选址等施工资源和要素，提出科学合理地施工总体布置、工序安排和工期、施工工艺和方法等说明。

6.4.4 施工组织设计的编制应与质量、环境和职业健康安全三个目标有效结合。应要求施工单位编制应急救援预案，滑坡治理工程施工应采用信息化施工法。

6.4.5 在确保工程质量的条件下，应积极采用先进工艺和新设备、新材料。

7 矿山滑坡监测

7.1 一般规定

7.1.1 应对滑坡勘察、治理进行全过程动态监测，及时掌握滑坡变形等信息。

7.1.2 监测对象包括矿山建设及采矿活动中引发的滑坡及可能滑动的边坡、正在治理以及完成治理的滑坡。

7.1.3 监测内容一般包括地表变形监测、地表裂缝位移监测、地面倾斜监测、建（构）筑物变形监测、滑坡裂缝多点位移监测、滑坡地下位移监测、地下水监测、孔隙水压力监测、滑坡地应力监测等。

7.1.4 当地质灾害监测范围较大时，可采用 GNSS 测量、近景摄影测量、三维激光扫描或合成孔径雷达干涉测量（INSAR）等测量方法，监测网布置应满足监测精度要求。

7.1.5 地面位移监测方法有地面倾斜测量、大地测量、近景摄影、遥感技术、卫星定位技术、雷达监测、电测法、光纤测量、激光扫描等；地下（深部）位移和滑面监测方法有钻孔倾斜仪法、竖井测斜法、水平空测缝法、硐室测缝法、重锤法、沉降法、BOTDR、应变测量法等。监测适用方法见附录 G。

7.1.6 滑坡变形监测网应根据滑坡变形特征、破坏模式、视通条件和施测要求布设。

7.1.7 滑坡治理工程监测包括治理前监测、施工期监测和治理效果监测，应充分利用勘探钻孔、槽探埋设监测仪器。

7.1.8 监测点（网）的埋设、精度要求、基准点设置等，除应符合本文件的有关规定外，还应遵守 GB 50026-2020 及 DZ/T 0221-2006 的规定。

7.1.9 应定期提交监测数据和动态分析报告，矿山滑坡治理监测报告提纲见附录 E。

7.2 矿山滑坡监测要求

7.2.1 滑坡应进行绝对位移、相对位移、宏观变形前兆监测和主要相关因素监测。监测内容应根据滑坡特点及矿山开采进度有针对性地确定。

7.2.2 开展滑坡区地表水和地下水监测。地下水监测内容可包括：地下水水位、水量、水温、水质、地下水压及渗出量等。滑坡渗水监测可包括渗流浸润线监测与渗流量监测。

7.2.3 结合矿区大地测量基本控制网设置变形监控站，对大型滑坡宜建立长期地表监测线（网）。应充分采用钻孔、探井、探槽布设监测点，可在地表或地下（钻孔、平硐、斜硐内）埋设地应力计，监测滑坡地应力状态及其变化。

7.2.4 地质条件复杂的滑坡宜采用地表、地下联合监测的方式进行观测。地表监测滑坡裂缝、边界变形的方向、速率等；地下监测滑体、滑带移动速度及方向等。应同时监测地下水的动态变化及地应力变化情况。

7.2.5 采空区滑坡变形监测内容应该包括地表水平位移、地表垂直位移、地表裂缝及建筑物变形、深部位移、地下水、孔隙水压力、地应力、降雨、爆破震动等。

7.2.6 对矿山建设、生产、终采过程中突然发生或将要发生失稳破坏形成滑坡的边坡，宜采用红外测距仪、地面位移伸长计、边坡监测雷达、卫星定位系统等仪器装备，进行连续、自动化监测，实现滑坡实时预警预报。

7.2.7 对滑坡影响区应进行降雨量监测及大规模爆破监测，宜选用自动化监测设备。

7.2.8 滑坡变形监测误差应小于变形量的 5%。

7.3 施工安全及治理效果监测

7.3.1 对于 I 级滑坡治理工程，应开展施工安全监测、治理效果监测和动态长期监测，建立地表与深部结合的综合立体监测系统。

7.3.2 对于 II 级滑坡治理工程，在施工期间应建立安全监测和治理效果监测点，同时，宜建立以简易监测为主的长期监测点。

7.3.3 对于 III 级滑坡治理工程，宜建立简易监测点。

7.3.4 施工安全监测应对滑坡体进行实时监控，了解由于工程扰动等因素对滑坡体的影响，及时地指

导工程实施、调整工程部署、安排施工进度等。

7.3.5 施工安全监测点应布置在滑坡体稳定性差，或工程扰动大的部位，并形成完整的剖面，宜采用多种手段互相验证和补充。

7.3.6 治理效果监测应结合施工安全和长期监测进行，监测周期不应少于 1 个水文年，数据采集时间间隔宜为 7 天~10 天，强降雨、爆破震动期间应加密监测。

7.3.7 滑坡复垦区有效土层厚度、土壤物理性质、土壤化学成分和配套设施的监测宜为一次性监测。

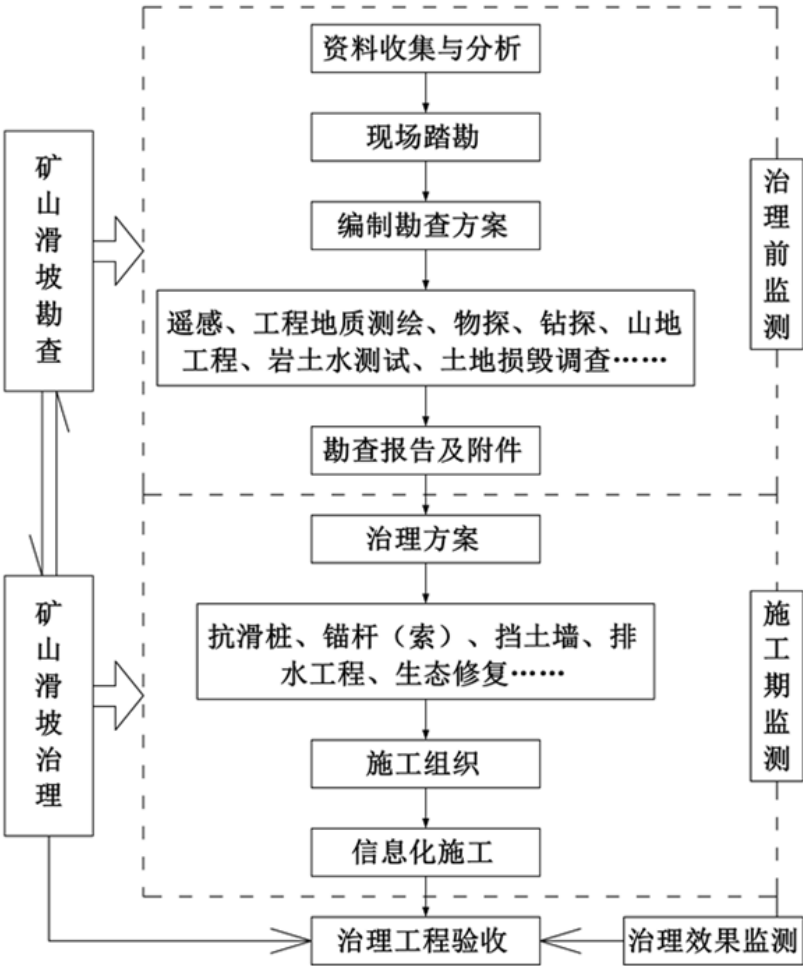
7.3.8 滑坡复垦区土壤化学成分、水质和生产水平监测应为连续性监测。连续性监测内容的监测期限与频率应根据监测目的和滑坡区域环境状况等因素确定，监测频率应大于 1 次/年，监测期限宜为 3 年~5 年。

7.3.9 生物措施治理效果监测应包括植被存活率、覆盖度等。

7.3.10 根据监测数据开展矿山滑坡治理效果评价。

附录 A
(资料性)
矿山滑坡治理工作流程

图A. 1为矿山滑坡治理工作流程。



图A. 1 工作流程图

附录 B
(规范性)
地质环境条件复杂程度划分

按地形地貌、岩体结构、地质构造、水文地质等，将地质环境条件复杂程度综合划分为简单、中等和复杂3种地区类型，见表B.1。

表B.1 地质环境条件复杂程度分级表

基本条件	复杂程度		
	复 杂	中 等	简 单
地形地貌	地貌单元类型多，微地貌形态复杂，地形起伏变化大，不利于自然排水，地形坡度一般大于 35°，相对高差大，高坡方向岩层倾向与采坑斜坡多为同向。	地貌单元类型较多，微地貌形态较复杂，地形起伏变化中等，自然排水条件一般，地形坡度一般 20°~35°，相对高差较大，高坡方向岩层倾向与采坑斜坡多为斜交。	地貌单元类型单一，微地貌形态简单，地形较平缓，有利于自然排水，地形坡度一般小于 20°，相对高差较小，高坡方向岩层倾向与采坑斜坡多为反向坡。
岩体结构	岩体结构以碎裂结构、散体结构为主，软弱结构面、不良工程地质层发育，存在饱水软弱岩层或松散软弱岩层，含水砂层多，分布广，残坡积层、基岩风化破碎带厚度大于 10 m、稳固性差，岩石边坡风化破碎或土层松软，边坡外倾软弱结构面或危岩发育，易导致边坡失稳。	岩体结构以薄到厚层状结构为主，软弱结构面、不良工程地质层发育中等，存在饱水软弱岩层和含水砂层，残坡积层、基岩风化破碎带厚度 5 m~10 m、稳固性较差，边坡岩石风化较破碎，边坡存在外倾软弱结构面或危岩，局部可能产生边坡失稳。	岩体结构以巨厚层状-块状整体结构为主，软弱结构面、不良工程地质层不发育，残坡积层、基岩风化破碎带厚度小于 5 m、稳固性较好，边坡岩石较完整到完整，土层薄，边坡基本不存在外倾软弱结构面或危岩，边坡较稳定。
地质构造	地质构造复杂。岩层产状变化大，断裂构造发育或有全新世活动断裂，断裂切割岩体、覆岩和主要含水层（带）或沟通地表水体，导水性强，对滑坡充水影响大。	地质构造较复杂。岩层产状变化较大，断裂构造较发育，切割岩体、覆岩和含水层（带），导水性差，对滑坡影响较大。	地质构造较简单。岩层产状变化小，断裂构造较不发育，断裂未切割岩体、覆岩，对滑坡影响小。
水文地质	滑坡汇水面积大，与区域含水层或地表水联系密切，地下水补给、径流条件好；采矿活动和疏干排水容易导致区域主要含水层破坏。	滑坡汇水面积较大，与区域含水层或地表水联系较密切；采矿和疏干排水容易导致矿区周围主要含水层影响或破坏。	滑坡汇水面积小，与区域含水层、或地表水联系不密切；采矿和疏干排水不易导致矿区周围主要含水层的影响或破坏。
注：采取就上原则，4 个条件中只要有一条满足某一级别，定为该级别。			

附 录 C
(资料性)
矿山滑坡勘查报告提纲

C.1 前言

本章包括以下内容：任务来源、工作目的与任务、位置与交通、矿山与滑坡概况、前人地质工作研究程度、勘查工作的依据、勘查工作概况及质量评述等。

C.2 矿山滑坡地质环境背景

本章包括以下内容：气象与水文、地形地貌、地层岩性、地质构造与地震、水文地质条件、矿山开采及规划、其他人类工程活动等。

C.3 矿山滑坡特征

本章包括以下内容：滑坡形态与边界特征、滑坡变形特征、滑坡物质结构特征、滑坡危害对象、滑坡形成与采矿活动关系分析等。

C.4 矿山滑坡稳定性评价与推力计算

本章包括以下内容：滑坡破坏模式分析、稳定性及推力计算模型与计算方法、滑坡岩土体物理力学参数、计算工况、稳定性与推力计算、稳定性评价、发展趋势分析等。

C.5 矿山滑坡损毁土地调查与评价

本章包括以下内容：滑坡损毁土地现状、损毁土地评价、发展趋势预测等。

C.6 矿山滑坡治理与生态修复方案建议

本章包括以下内容：既有治理工程评述、治理方案布置原则、治理工程设计参数建议、治理方案建议、各类建筑材料分析与评价等。

C.7 结论与建议

本章包括以下内容：滑坡基本特征、稳定性分析、推力计算结果、治理方案建议、监测建议等。

C.8 附图

本章包括以下内容：滑坡勘查工程地质平面图、工程地质剖面图、钻孔柱状图、山地工程展示图、治理方案布置建议图等。

C.9 附件

本章包括以下内容：地球物理勘探报告、滑坡稳定性及推力计算书、照片集及其他影像资料、调查及勘查原始资料等。

附录 D
(资料性)
矿山滑坡治理工程施工图设计提纲

D.1 前言

本章包括以下内容：任务来源、工作目的与任务、位置与交通、设计依据等。

D.2 矿山滑坡地质环境背景

本章包括以下内容：气象与水文、地形地貌、地层岩性、地质构造与地震、水文地质条件、矿山开采概括及规划、其他人类工程活动等。

D.3 矿山滑坡特征

本章包括以下内容：滑坡形态与边界特征、滑坡变形特征、滑坡物质结构特征、滑坡危害对象等。

D.4 矿山滑坡稳定性评价与推力计算

本章包括以下内容：滑坡破坏模式分析、稳定性及推力计算模型与计算方法、滑坡岩土体物理力学参数、计算工况、稳定性与推力计算、稳定性评价等。

D.5 矿山滑坡损毁土地评价

本章包括以下内容：滑坡损毁土地现状、损毁土地评价、发展趋势预测等。

D.6 矿山滑坡治理与生态修复工程设计

本章包括以下内容：防治工程等级、设计荷载组合、设计标准、设计基本参数、工程总体设计、工程分项设计、工程量等。

D.7 矿山滑坡治理监测方案

本章包括以下内容：监测工作的任务和目的、主要技术依据及原则、监测方案布置、监测工作量等。

D.8 施工组织设计

本章包括以下内容：施工条件、天然建筑材料、施工方法及要求、施工顺序及进度计划等。

D.9 投资预算

本章包括以下内容：编制原则、编制依据、工程费用预算等。

D.10 治理效益评价

本章包括以下内容：经济效益、社会效益、生态效益等。

D.11 建议

D.12 附图

附图包括以下内容：矿山滑坡治理工程施工图设计平面布置图、矿山滑坡治理工程施工图设计剖面布置图、治理工程措施结构设计图、矿山滑坡治理工程监测方案布置图、矿山滑坡治理工程施工组织图等。

D.13 附件

附件包括以下内容：滑坡稳定性及推力计算书、工程措施结构设计计算书、投资预算书等。

附 录 E
(资料性)
矿山滑坡治理监测报告提纲

E.1 前言

本章包括以下内容：任务来源、工作目的与任务、监测工作依据、监测工作开展情况。

E.2 矿山滑坡地质环境背景

本章包括以下内容：气象与水文、地形地貌、地层岩性、地质构造与地震、水文地质条件、矿山开采概括、其他人类工程活动等。

E.3 矿山滑坡基本特征

本章包括以下内容：滑坡形态与边界特征、滑坡变形特征、滑坡物质结构特征等。

E.4 治理工程概况

本章包括以下内容：滑坡治理工程内容、治理工程施工起止时间等。

E.5 监测成果分析

本章包括以下内容：治理工程措施监测成果分析、滑坡形变监测成果分析、滑坡要素监测成果分析、生态修复监测成果分析等。

E.6 结论与建议

本章包括以下内容：矿山滑坡治理效果监测结论、下一工作建议等。

附录 F

(资料性)

地球物理勘探与测试方法适用范围简表

表 F.1 给出了矿山滑坡的地球物理勘探方法选择目的、适用条件及经济技术特点。

表F.1 地球物理勘探与测试方法适用范围简表

方法名称		目的	适用条件	经济、技术特点
电法	自然电位法	1. 探测滑坡体中地下水赋存状况; 2. 分析滑坡的活动性; 3. 探测隐伏断层、破碎带位置	1. 受地形、环境影响较小; 2. 地下水位埋深较浅	方法简便, 资料直观, 成本低
	充电法	1. 探测滑坡体地下水流速、流向; 2. 监测滑坡体位移	受地形、环境影响较小;	方法简便, 成本低
	电阻率剖面法	1. 探测隐伏断层、破碎带的位置; 2. 探测隐伏地下洞穴的位置、卖身, 判断充填状况; 3. 探测拉张裂缝的位置、充填状况	地形起伏小, 要求场地宽敞	资料简单、直观, 工作效率高, 以定性解释为主。成本低
	电阻率测深法	1. 测定覆盖层厚度, 确定基岩面形态; 2. 划分基岩风化带, 确定其厚度; 3. 探测滑坡体的岩性结构, 岩性接触关系; 4. 测定滑坡堆积体的厚度, 确定堆积床形态	1. 地形无剧烈变化; 2. 电性变化大且地层倾角较陡地区不宜	方法简单、成熟、较普及; 资料直观, 定性定量解释方法均较成熟。成本较低
	高密度电阻率法	1. 探测隐伏断层, 破碎带位置、产状、性质; 2. 探测后缘拉张裂缝、前缘鼓胀裂缝的位置、产状及充填状况; 3. 测定覆盖层厚度, 确定基岩面形态; 4. 划分基岩风化带, 确定其厚度; 5. 探测滑坡体地层结构, 岩性接触关系; 6. 测定滑坡堆积体的厚度, 确定堆积床形态	1. 地形无剧烈变化, 要求有一定场地条件; 2. 勘探深度一般较小, 小于 60 m	兼具剖面、探测功能, 装置形式多样, 分辨率相对较高, 质量可靠, 资料为二维结果, 信息丰富, 便于整个分析。定量解释能力强。成本较高
电磁法	音频大地电场法	1. 探测隐伏断层, 破碎带位置; 2. 探测拉张裂缝的位置	1. 受地形、场地限制小; 2. 天然场变影响较大时不宜工作; 3. 输电线、变压器附近不宜工作	仪器轻便, 方法简单, 适合地形复杂区工作, 资料直观, 以定性解释为主, 适于初勘工作。成本低
	电磁感应法	1. 探测隐伏断层, 破碎带位置; 2. 探测拉张裂缝的位置	1. 地形相对平坦; 2. 强游散电流干扰区不宜工作	对低阻体较灵敏, 方法组合较多, 可针对不同地质体采用不同方式探测, 资料结果较复杂, 以定性解释为主。成本低
	甚低频电磁法	1. 探测隐伏断层, 破碎带位置; 2. 探测拉张裂缝的位置	1. 有效勘探深度较小, 一般数十米; 2. 受电力传输线干扰易形成假异常	被动源电磁法, 较轻便, 受地形限制较小, 以定性解释为主。成本低
	电磁测深法	1. 探测隐伏断层, 破碎带位置、产状; 2. 探测滑坡体的地层结构, 岩性接触关系; 3. 测定滑坡堆积体的厚度, 堆积床的形态	1. 适于地表岩性较均匀地区; 2. 电网密集、游散电流干扰地区不宜工作	工作简便, 分辨率较高, 受地形限制小, 但受静态影响大。成本适中

表 F.1 (续)

方法名称		目的	适用条件	经济、技术特点
电磁法	瞬变电磁法	1.探测隐伏断层, 破碎带位置、产状; 2.测定覆盖层厚度, 确定基岩面形态; 3.划分基岩风化带, 确定其厚度; 4. 探测滑坡体的地层结构, 岩性接触关系; 5.探测滑坡堆积体的厚度, 确定堆积床的形态	1.受地形、接地影响小; 2. 电网密集、游散电流干扰地区不宜工作	静态影响和地形影响较小, 对低阻体反映灵敏, 工作方式灵活多样。成本适中
	探地雷达	1.探测隐伏断层的位置、产状; 2.探测拉张裂缝的位置、产状; 3.探测覆盖层厚度, 确定基岩面形态; 4. 划分基岩风化带, 确定其厚度; 5.测定滑动面的埋深, 确定滑动面形态; 6. 探测滑坡体的地层结构, 岩性接触关系; 7. 探测滑坡堆积体的厚度	1.受地形、场地限制较小; 2.勘探神队较小, 最大深度 30 m~50 m	具有较高的分辨率, 适用范围广。成本较高
弹性波法	浅层地震	1.探测隐伏断层的位置、产状; 2.探测覆盖层厚度, 确定基岩面形态; 3. 测定滑动面的埋深, 确定滑动面形态; 4. 探测滑坡体的地层结构, 岩性接触关系; 5.探测滑坡堆积体的厚度, 确定堆积床的形态	1.人工噪音大的地区施工难度大; 2.要求一定范围的施工场地	对地层结构、空间位置反映清晰, 分辨率高, 精度高。成本高
	瑞雷波法	1.探测覆盖层厚度, 确定基岩面形态; 2.探测滑坡堆积体的厚度, 确定堆积床的形态	1.受地形、场地限制较小; 2.勘探神队较小, 一般在 30 m~50 m 左右	适合于复杂地形条件下工作, 特别是对浅部精细结构反映清晰, 分辨率高, 工作效率高。资料直观。成本适中
	声波法	1.探测隐伏断层的位置、产状; 2.测定堆积体和岩石完整程度; 3.探测破碎带、裂缝带, 较弱带位置、厚度; 4.检测防治工程质量	1.钻孔测试需在下井管之前进行; 2.干孔测试需要特殊的耦合方式; 3.可对岩芯(样)进行测定	测试工作技术简单, 资料分析直观, 效率高, 效果明显, 并可获得动力学参数。成本适中
层析成像	电阻率层析成像	1.探明滑坡体地层结构, 确定地层、厚度、产状等; 2.探明隐伏断层、破碎带的位置、产状; 3.探明拉张裂缝的位置、产状	1.充水(液)孔、孔内无套管; 2.井—井探测有效距离小于 120 m; 3.剖面与孔深比一般要求小于 1	属近源探测, 准确性较高, 适合对重点部位地质要素的详细了解, 资料结果比较直观、精确。成本较高
	电磁波层析成像	1.探明滑坡体地层结构, 确定地层厚度、产状等; 2.探明隐伏断层, 破碎带的位置、产状; 3.探明拉张裂缝的位置、产状	1.孔内无套管; 2.井—井探测有效距离一般在 100 m 以内; 3.剖面与孔深比一般要求小于 1	适合对重点部位地质要素的勘探, 资料准确、直观。成本较高
	地震层析成像	1. 探明滑坡体地层结构, 确定地层厚度、产状; 2.探明隐伏断层的位置、产状; 3.探明拉张裂缝的位置、产状	1.钻孔的激发、接受条件应一致; 2.可在井管孔中施工; 3. 井—井探测距离小于 120 m 4.剖面与孔深比一般要求小于 1	适合对重点部位地质要素的了解, 资料准确、直观。成本较高
	声波层析成像	1. 探明拉张裂缝的位置、产状; 2.探明滑动带、滑动面的形态、埋深;	1.受发射能量限制, 井—井跨距一般较小, 最大约 30 m~50 m; 2. 剖面与孔深比一般要求小于 1	为无损检测工作, 孔内工作激发比较简单, 可测声波参数多, 信息量大。成本较高

附 录 G
(资料性)
滑坡监测适用方法技术简表

表 G.1 给出了滑坡主要监测方法、监测仪器与监测方法的特点，并对适用性进行评价。

表G.1 表滑坡监测适用方法技术简表

监测内容	主要监测方法	主要监测仪器	监测方法的特点	适用性评价
外观变形	大地测量法（三角交会法、几何水准法、测距法、视准线法）	经纬仪 水准仪 测距仪	投入快、精度高、监控面广、直观、安全；便于确定滑坡位移方向及变形速率	适用不同变形阶段的位移监测，受地形通视和气候条件影响，不能连续观测
		全站式速测仪、电子经纬仪等	精度高、速度快、自动化程度高、易操作、省人力，可跟踪自动连续观测，监测信息量大	适用不同变形阶段的位移监测，受地形通视条件的限制
	近景摄影法	陆摄经纬仪等	监测信息量大、省人力、投入快、安全，但精度相对较低	主要适用于变形速率较大的滑坡水平位移及陡壁裂缝变化监测，受气候条件影响较大
	卫星定位系统法	卫星定位系统接收机	监测信息量大、省人力、投入快、安全，但精度相对较低	适用于滑坡体不同变形阶段地表三维位移监测
	测缝法（人工测缝法、自动测缝法、遥测法）	钢卷尺、游标卡尺、裂缝量测仪、伸缩自记仪、测缝计、位移计、激光测距仪等	人工、自动测缝法投入快、精度高、测程可调、简易直观、资料可靠；遥测法自动程度高，全天候观测，安全、快速、自动采集、存储，打印和显示观测值，远距离传输，精度相对低，一般仪器易出故障，长期稳定性差，资料需与其他监测方法校核后使用	人工、自记测缝法适用于裂缝两侧岩（土）体张开、闭合、位错、升降变化的监测；遥测法适用于加速变形阶段及施工安全的监测，后者受气候等外界因素影响较大
	测斜法	倾斜仪	具有测量范围大、精度高（10角秒）、温度系数低、操作简单、测量效率高等优点	适用于高陡滑坡，高挡墙等因开挖及沉降引起的旋转变形监测
地下深部变形	测斜法（钻孔测斜法、竖井测斜法）	钻孔倾斜仪，多点倒锤仪等	精度高、效果好，易遥测、易保护，受外界因素干扰少，资料可靠；测程有限，成本较高，投入慢	主要适用于滑坡体变形初期，在钻孔、竖井内测定滑体内不同深度的变形特征及滑带位置
	测缝法（竖井）	多点位移计、井壁位移计、位错计等	精度较高、易保护、投入慢、成本高，仪器、传感器易受地下水浸湿、锈蚀	一般用于监测竖井内多层堆积之间的相对位移。目前多因仪器性能、量程所限，主要适用于初期变形阶段，即：小变形，低速率，观测时间相对短的监测
	重锤法	重锤、极坐标盘、坐标仪、水平位错计等	精度高、易保护、监测直观、可靠；电测方便，量测仪器便于携带，但受潮湿、强酸、碱、锈蚀等影响	适用于探洞内上部危岩相对下部稳定岩体的水平剪切位移监测
	测缝法（洞室）	单向、双向、三向测缝计、位移计、伸长仪等	精度高、易保护、监测直观、可靠；电测方便，量测仪器便于携带，但受潮湿、强酸、碱、锈蚀等影响	适用于探洞内危岩裂缝的三维（X、Y、Z三方向）监测和危岩体界面裂缝沿洞轴方位移的监测
物理与化学场	地音量测法	声发射仪 地音探测仪		适用于岩质边坡后期变形阶段监测，危岩加固跟踪安全监测，为预报岩石破坏提供依据
	测岩（土）体应力	锚索测力计、锚杆拉力计、岩（土）体压力盒	可连续观测，监测信息丰富，灵敏度高，省人力；测定的岩石微破裂声发射信号比位移信息超前3日~7日	适用于岩质边坡后期变形阶段监测，危岩加固跟踪安全监测，为预报岩石破坏提供依据
地下水动态	地下水动态	水位自动记录仪	适用于滑坡体不同变形阶段的监测，其成果可做基础资料使用	
	测孔隙水压	孔隙水压计 钻孔渗压计		
	测泉流量	三角堰、量杯等		
	测河水位	水位标尺等		
诱发因素	测降水量	雨量计、雨量报警器		

参 考 文 献

- [1] GB/T 37573-2019 露天煤矿边坡稳定性年度评价技术规范
 - [2] GB/T 37697-2019 露天煤矿边坡变形监测技术规范
 - [3] GB 37807-2019 露天煤矿井采采空区勘查技术规范
 - [4] GB 50330-2013 建筑边坡工程技术规范
 - [5] GB 51016-2014 非煤露天矿边坡工程技术规范
 - [6] GB 51214-2017 煤炭工业露天矿边坡工程监测规范
 - [7] GB 51289-2018 煤炭工业露天矿边坡工程设计标准
 - [8] GB 51411-2020 金属矿山土地复垦工程设计标准
 - [9] DZ/T 0223-2011 矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范
 - [10] DZ/T 0261-2014 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范(1:50000)
 - [11] DD 2015-01 地质灾害遥感调查技术规定
 - [12] T00/CAGHP 012-2018 采空塌陷防治工程设计规范
 - [13] TD/T 1031-2011 土地复垦方案编制规程
-