

# T/CAGHP

## 中国地质灾害防治工程行业协会团体标准

T/CAGHP 011—2018

---

### 崩塌防治工程勘查规范（试行）

Specification for Engineering Investigation of Rock Falls and Collapses

2018-01-01发布

2018-04-01实施

中国地质灾害防治工程行业协会 发布

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
引言 .....	V
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义和符号 .....	1
3.1 术语和定义 .....	1
3.2 符号 .....	2
4 总则 .....	3
4.1 目的与内容 .....	3
4.2 崩塌防治工程等级 .....	3
4.3 崩塌的分类 .....	4
4.4 崩塌防治工程勘查基本要求 .....	4
4.5 崩塌防治工程勘查设计 .....	5
5 崩塌地质调查测绘与勘探 .....	5
5.1 一般规定 .....	5
5.2 崩塌地质测绘与调查 .....	6
5.3 崩塌勘探 .....	7
6 测试与统计 .....	8
6.1 一般规定 .....	8
6.2 测试 .....	8
6.3 测试结果统计 .....	9
6.4 岩土体性质指标 .....	9
7 监测 .....	10
7.1 一般规定 .....	10
7.2 监测点、线布设 .....	10
7.3 监测内容 .....	10
7.4 监测周期 .....	10
8 稳定性评价 .....	11
8.1 一般规定 .....	11
8.2 危岩稳定性计算 .....	12
8.3 崩塌体运动方向及影响距离预测 .....	12
9 勘查成果 .....	13
9.1 勘查成果包括成果报告、图件和表格 .....	13
附录 A (资料性附录) 调查表 .....	15
附录 B (规范性附录) 崩塌地质环境复杂程度 .....	22

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准附录 A 为资料性附录，B、C、D、E、F、G、H 为规范性附录。

本标准由中国地质灾害防治工程行业协会提出并归口。

本标准主要起草单位：重庆市地质矿产勘查开发局、重庆市地质灾害防治工程勘察设计院、重庆市地质矿产勘查开发局南江水文地质工程地质队、重庆市地质矿产勘查开发局 107 地质队、中国人民解放军后勤工程学院、贵州省地质环境监测院、西北综合勘察设计研究院、中国地质大学(武汉)。

本标准主要起草人：刘东升、黎力、方玉树、袁兴平、杜春兰、蒋文明、何登基、余姝、范泽英、吕韬、黄永泽、张天贵、吴碧辉、肖明友、甘煜、申红军、赵云刚、冷洋洋、陈剑文。

本标准由中国地质灾害防治工程行业协会负责解释。

## 引 言

为统一崩塌勘查技术要求,保障崩塌勘查质量,为崩塌防治工程设计提供可靠地质依据,依据国土资源部关于编制和修订地质灾害防治行业标准工作的公告(国土资源部公告 2013 年第 12 号),特制定本标准。

本标准是在收集和研究国内外崩塌勘查技术资料和勘查单位成熟的技术方法基础之上,充分吸收全国地勘单位在崩塌灾害防治工程勘查中的先进经验和成功做法编写而成。

本标准由范围,规范性引用文件,术语、定义和符号,总则,崩塌地质调查测绘与勘探,测试与统计,监测,稳定性评价,勘查成果 9 章组成。

## 崩塌防治工程勘查规范(试行)

### 1 范围

本标准规定了崩塌防治工程勘查工作的技术要求。

本标准适用于针对潜在崩塌(危岩)和崩塌堆积体的防治工程的勘查,对崩塌(危岩)进行应急抢险勘查也可参照(参考)使用。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注明日期的引用文件,仅注明日期的版本适用于本标准。凡不注明日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改版)适用于本标准。

GB 50021 岩土工程勘察规范  
GB 50330 建筑边坡工程技术规范  
GB/T 32864 滑坡防治工程勘查规范  
GB/T 50123 土工试验方法标准  
GB/T 50266 工程岩体试验方法标准  
DZ/T 0261 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范(1:50 000)  
JGJ/T 87 建筑工程地质勘探与取样技术规程

### 3 术语、定义和符号

#### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

##### 3.1.1

**崩塌 rock falls or avalanche**

陡坡或陡崖上的岩土体离开母体下落的现象。

##### 3.1.2

**危岩 dangerous rocks**

陡坡或陡崖上可能离开母体下落的地质体。

##### 3.1.3

**基座 foundation bed**

危岩的下伏岩土体。

##### 3.1.4

**陡崖 precipitous cliff**

陡峭的山崖。

##### 3.1.5

**滑移式崩塌 sliding and falling**

危岩沿结构面滑移或沿软弱岩土体不利方向剪出塌落的现象。

3.1.6

**倾倒式崩塌 toppling**

危岩以垂直节理或裂隙与母体分开,以危岩底部的某一点为转点,发生转动性倾倒的现象。

3.1.7

**坠落式崩塌 falling**

危岩下方悬空或支撑承载力不足抵抗自重而以自由落体方式脱离母体的现象。

3.1.8

**崩塌堆积体 falling deposits**

崩塌后堆积在斜坡及坡脚的岩土固体颗粒物质。

3.1.9

**孤石 boulder**

崩积于斜坡上具有一定体量的单一岩块。

3.1.10

**结构面 discontinuities or structural planes**

岩土体内的不连续地质界面。

3.1.11

**软弱结构面 weak structural planes**

两壁较平滑、充填有一定厚度软弱物质且延伸较长的结构面。

3.1.12

**卸荷带 unloaded zone**

自然地质作用或人为因素扰动使岩体应力释放而造成的具有一定宽度的岩土体松动带。

3.2 符号

下列符号适用于本标准。

3.2.1 岩土体性质指标

$E_0$ ——岩土体变形模量

$\mu$ ——岩土体泊松比

$\varphi$ ——岩土体或结构面内摩擦角

$c$ ——岩土体或结构面黏聚力

3.2.2 计算参数

$F$ ——危岩稳定系数

$F_t$ ——危岩安全系数

$h_w$ ——裂隙充水高度

$K$ ——岩土体渗透系数

$Q_v$ ——危岩的竖向地震荷载

$Q_h$ ——危岩的水平地震荷载

$R$ ——抗滑力

$T$ ——下滑力

$V$ ——后缘裂隙水压力  
 $W$ ——自重与相应地面荷载之和  
 $\alpha_h$ ——基本地震加速度  
 $\alpha_w$ ——水平地震系数

3.2.3 其他

$\delta$  ——变异系数  
 $\mu_0$ ——算术平均值  
 $\mu_k$ ——标准值  
 $\sigma$  ——标准差

4 总则

4.1 目的与内容

4.1.1 崩塌防治工程勘查应在充分了解勘查区周边致灾地质环境背景的基础上,开展崩塌地质灾害隐患勘查与评价,为有效减轻和防止突发性崩塌地质灾害危害提供地质依据。  
4.1.2 崩塌防治工程勘查应包括地质测绘与调查、勘探、岩土测试、监测、稳定性评价及防治工程措施建议等内容。

4.2 崩塌防治工程等级

4.2.1 崩塌防治工程等级可根据崩塌灾害威胁对象及其重要性等因素,按表 1 进行划分。

表 1 崩塌防治工程等级划分

崩塌防治工程等级		特级	I 级	II 级	III 级
威胁对象	威胁人数/人	$\geq 5\,000$	$\geq 500$ 且 $< 5\,000$	$\geq 100$ 且 $< 500$	$< 100$
	威胁设施的重要性	非常重要	重要	较重要	一般
注:表中只要满足 1 项即可按就高原则划为对应等级。					

4.2.2 受崩塌威胁设施的重要性分类按表 2 确定。

表 2 受崩塌威胁设施重要性分类

重要性	设施类别
非常重要	放射性设施、核电站、大型地面油库、危险品生产仓储、政治设施、军事设施等
重要	城市和城镇重要建筑(含 30 层以上的高层建筑)、国家级风景名胜区、列入全国重点文物保护单位的寺庙、高等级公路、铁路、机场、学校、大型水利水电工程、电力工程、大型港口码头、大型矿山、油(气)管道和储油(气)库等
较重要	城市和城镇一般建筑、居民聚居区、省级风景名胜区、列入省级文物保护单位的寺庙、边境口岸、普通二级(含)以下公路、中型水利工程、电力工程、通信工程、港口码头、矿山、城市集中供水水源地等
一般	居民点、小型水利工程、电力工程、通信工程、港口码头、矿山、乡镇集中供水水源地、村道等
注:表中未列项目可根据有关技术标准和规定按大、中、小型分别确定其重要性等级。大型为重要,中型为较重要,小型为一般。	

### 4.3 崩塌的分类

4.3.1 崩塌按其所涉及的岩性可分为岩质崩塌和土质崩塌。

4.3.2 崩塌按破坏模式可分为滑移式崩塌、倾倒式崩塌和坠落式崩塌(表 3)。

表 3 崩塌按破坏模式分类

破坏模式	主要岩性组合	崩塌方式
滑移式	多为软硬相间的岩层、黄土、黏土、坚硬岩层下伏软弱岩层	岩土体沿结构面滑移或沿软弱岩土体不利方向剪出塌落
倾倒式	多为黄土、直立或陡倾坡内的岩层	危岩转动倾倒塌落
坠落式	多见于软硬相间的岩层	悬空、悬挑式岩(土)块拉断或剪断塌落

4.3.3 单块危岩块体按其体积可分为小型危岩、中型危岩、大型危岩和特大型危岩(表 4)。

表 4 危岩按体积分类

单块危岩体积 $V/m^3$	$V \leq 1\,000$	$1\,000 < V \leq 10\,000$	$10\,000 < V \leq 10 \times 10^4$	$V > 10 \times 10^4$
危岩类型	小型危岩	中型危岩	大型危岩	特大型危岩

4.3.4 危岩按所处相对崖底高度可分为低位危岩、中位危岩、高位危岩、特高位危岩(表 5)。

表 5 危岩按所处相对崖底高度分类

危岩相对崖底高度 $H/m$	$H \leq 15$	$15 < H \leq 50$	$50 < H \leq 100$	$H > 100$
危岩类型	低位危岩	中位危岩	高位危岩	特高位危岩

### 4.4 崩塌防治工程勘查基本要求

4.4.1 对于规模大、难以查清的崩塌宜分为初步勘查和详细勘查两个阶段,对其他情况的崩塌可直接进行详细勘查。施工过程中,地质条件与原勘查资料不符并有可能影响防治工程质量时可进行施工勘查。长度较大、地质环境复杂程度差异较大的崩塌,应根据危岩体分布特征、可能的破坏模式和运动方向,以分区、分段、分块或分组的形式布置勘查工作。

4.4.2 勘查工作方法和手段应以地质测绘与调查为主,以勘探为辅,宜采用三维激光扫描、陆地摄影测量(无人机)、干涉雷达(INSAR)或孔内成像、孔间 CT 探测等新技术新方法。

4.4.3 崩塌防治工程初步勘查应在充分收集分析以往地质资料的基础上,进行调查测绘、勘探和测试等工作,初步查明崩塌的基本特征、成因、形成机制,并对危岩在现状和规划状态下的稳定性做出初步分析评价。

4.4.4 崩塌防治工程详细勘查应考虑现有和规划中的保护对象的需要,依据初步勘查的结果,结合可能采取的治理方案部署勘查工作,分析评价危岩在现状和规划状态下的稳定性和发生灾害的可能性,并提出防治方案建议。

4.4.5 崩塌勘查应查明以下内容:

- a) 勘查区自然地理条件,包括位置与交通状况、气象、水文、植被、社会经济概况等;
- b) 地质环境条件,包括地形地貌、地层、岩性、地震、水文地质特征、地质构造特征等;



- c) 陡崖或陡坡基本特征,包括危岩风化程度、裂隙发育程度、人类工程活动及分布特征,陡崖卸荷带分布范围;
- d) 危岩的位置、分布高程、空间几何形态、控制性结构面特征、危岩变形特征等;
- e) 崩塌体的运动特征,包括危岩破坏模式、危岩崩落的方向和影响范围等;
- f) 崩塌堆积体情况;
- g) 分析崩塌产生原因,评价危岩在可能的最不利条件下的稳定性、失稳的特征、规模及危害程度;
- h) 提供防治工程设计所需要的地质资料、参数及防治建议等。

4.4.6 经调查初步判定崩塌堆积体未达到稳定时,宜根据成灾类型,按相应规范的要求进行勘查。

#### 4.5 崩塌防治工程勘查设计

4.5.1 崩塌防治工程初步勘查和详细勘查实施前均应编制勘查设计书。

4.5.2 崩塌防治工程初步勘查设计书应在充分收集现状地形图及其他有关资料,认真进行现场踏勘的基础上进行;崩塌防治工程详细勘查设计应在初步勘查成果的基础上编制,勘查工作的布置应充分利用初步勘查阶段工作量并结合可能的防治措施。

4.5.3 崩塌防治工程勘查工作应按勘查设计书实施。当勘查过程发现勘查设计书预估的地质情况与实际地质情况有较大出入时,应根据实际地质情况对工作量作适当调整。

4.5.4 崩塌勘查设计书的基本内容应包括:

- 目的任务;
- 基础地质、气象、水文资料及当地崩塌防治的经验;
- 确定勘查阶段;
- 勘查区地质环境;
- 崩塌(含危岩、陡崖及崩塌堆积体)的基本特征及稳定性初步评判;
- 勘查工作方法及部署(包括工作布置平面图);
- 勘查工作技术要求;
- 勘查工作进度安排;
- 勘查工作保障措施;
- 勘查工作经费预算;
- 预期勘查成果。

### 5 崩塌地质调查测绘与勘探

#### 5.1 一般规定

5.1.1 崩塌地质调查对象应包括危岩、陡崖和崩塌堆积体调查。

5.1.2 崩塌调查范围应包括陡崖和相邻的地段,坡顶应达到陡崖岩体卸荷带之外的稳定区域,坡底应达到崩塌堆积区外及崩塌堆积体可能转化为滑坡或泥石流的影响范围外。如存在对危岩起控制作用的区域性结构面时,可扩大调查范围或进行专题地质调查。

5.1.3 地质测绘与调查应在勘探工程实施之前进行。

5.1.4 地质测绘与调查精度、工作量及工作方法应根据勘查阶段以及地质环境复杂程度确定。地质环境复杂程度划分见附录 B。

## 5.2 崩塌地质测绘与调查

5.2.1 应搜集已有地形图、遥感图像、地震、气象、水文、植被、人类工程活动资料及崩塌史料,了解前人工作程度,并访问调查和踏勘。

5.2.2 崩塌区坐标系统宜采用 1980 年西安坐标系,高程系统宜采用 1956 年黄海高程系。对联测困难的山区也可采用独立坐标系统和假设高程。

5.2.3 崩塌地质测绘与调查采用的比例尺及精度应符合下列要求:

- a) 崩塌勘查野外工作的测绘精度在初勘阶段不宜小于 1:1 000,详勘阶段不宜小于 1:500,其中复杂场地勘查宜取较大值。危岩崩塌地质测绘与调查采用的比例尺及精度宜能够清楚表达危岩的形态特征、结构面特征等。危岩的剖面测绘比例尺不宜小于 1:200。
- b) 图上观测点,在初步勘查阶段,每 10 cm×10 cm 范围不少于 1 个;在详细勘查阶段,每 10 cm×10 cm 范围不少于 3 个。每个危岩及主控裂隙的观测点不少于 2 个。观测点经分类编号后,标注在工作图上,并详细记录。对重要观测点用油漆或木桩在实地标识。
- c) 重要观测点的定位采用仪器测量,一般观测点采用半仪器定位。

5.2.4 崩塌地质测绘与调查的内容应符合下列要求:

- a) 调查崩塌所在区域的地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质条件、不良地质现象,了解与崩塌有关的地质环境。
- b) 在分析已有资料的基础上,调查崩塌所处陡崖(带)岩性、结构面产状、力学属性、延展及贯穿情况、闭合程度、深度、宽度、间距、充填物、充水情况、结构面或软弱层及其与斜坡临空面的空间组合关系,陡崖卸荷带范围及特征,基座地层岩性、风化剥蚀情况、岩腔与洞穴状况、变形及人类工程活动情况等(按附录 A 表 A.1 调查)。同一区域,陡崖地质环境条件变化大时,应进行分段调查评价。
- c) 对危岩,应调查下列内容,并进行拍照,勾绘侧立面、正立面素描图(按附录 A 表 A.2 调查):
  - 1) 危岩位置、形态、规模、分布高程;
  - 2) 危岩、基座及周边的地质构造、地层岩性、岩土体结构类型及其对危岩稳定性的影响;
  - 3) 危岩及周边裂隙充水条件、高度及特征,泉水出露,湿地分布,落水洞情况等;
  - 4) 危岩变形发育史及崩塌影响范围。
- d) 卸荷裂隙按附录 A 表 A.3 进行专门的调查,并编号,标注在图上。调查裂隙的性质、几何特征、充填物特性、充水条件及高度;对裂隙进行分带统计,划出卸荷带范围。
- e) 土质崩塌地区调查土体组成和结构、垂直节理、古土壤层、落水洞的分布及稳定坡角,并进行裂隙分带统计,划出可能崩塌的范围。
- f) 对崩塌堆积体,调查下列内容:
  - 1) 崩塌源的位置、高程、规模、地层岩性、岩土体工程地质特征及崩塌产生的时间;
  - 2) 崩塌体运移斜坡的形态、地形坡度、粗糙度、岩性、起伏差、运动方式,崩塌块体的运动路线和运动距离;
  - 3) 崩塌堆积体的分布范围、高程、形态、规模、物质组成、分选情况,植被生长情况,崩塌堆积体块度(必要时需进行块度统计和分区)、结构、架空情况和密实度;
  - 4) 崩塌堆积床形态、坡度、岩性和物质组成、地层产状;
  - 5) 崩塌堆积体内地下水的分布和运移条件;

6) 崩塌堆积体中大块孤石的大小、岩性,所处位置的坡度、下伏岩土体的类型,水文地质条件,变形情况(按附录 A 表 A.4 调查)。

g) 调查崩塌影响范围内的人口及实物指标(按附录 A 表 A.5 调查)。

5.2.5 工程地质调查与测绘成果包括野外测绘实际材料图、野外地质草图、实测地质剖面图、各类观测点的记录卡片、立面图、地质照片集等。

### 5.3 崩塌勘探

5.3.1 崩塌勘探应满足确定危岩形态,评价危岩、陡崖及崩塌堆积体稳定性,布设治理工程的要求。崩塌堆积体的勘探参照《滑坡防治工程勘查规范》(GB/T 32864)执行。

5.3.2 崩塌勘探可采用槽探、钻探或物探等勘探方法。物探方法宜采用孔内弹性波、井下电视、孔间 TC 物探、高密度电法或地质雷达测试等手段;对土质崩塌,必要时可采用坑探或井探;对地质环境特别复杂、危害大的崩塌,必要时可布置硐探工程。勘查方法应根据勘查阶段及地质环境复杂程度等确定。当选用钻探和物探时,除孔内物探工作外,宜先地面物探后钻探。

5.3.3 卸荷带特征、控制性裂隙分布及充填情况勘探宜采用槽探或物探;软弱基座分布范围勘探宜采用槽探和井探;当可能采取支撑方式时,在危岩软弱基座处布置钻孔或浅井;控制性结构面深部的特征勘探应采用水平或倾斜钻孔。

5.3.4 崩塌勘探线的布设应满足下列要求:

- a) 初步勘查阶段主要布置控制性勘探线;详细勘查阶段控制性勘探线与一般勘探线相结合;取样及现场测试应布置在控制性勘探线上。
- b) 对陡崖初勘阶段勘探线间距不应大于 200 m,且每个陡崖至少有 1 条勘探线;详勘阶段勘探线间距不应该大于 100 m,且每个陡崖至少有 2 条勘探线。
- c) 危岩均应布设勘探线,对大型以上的危岩和有重要保护对象的中小型危岩,布置控制性勘探线;对其他危岩,布置一般勘探线。
- d) 控制性勘探线沿危岩可能崩塌方向布置,从危岩后缘稳定区域一定范围到崩塌可能影响范围,且尽量通过危岩的重心。
- e) 一般勘探线布设在危岩的代表性部位,尽量通过其重心,勘探线长度以能准确反映危岩形态、母岩及基座特征为原则。
- f) 变形强烈带应有剖面控制。
- g) 土质崩塌勘探线不少于 2 条。

5.3.5 崩塌勘探点的布设应满足下列要求:

- a) 危岩后缘、临空面及软弱基座等部位均有勘探点。
- b) 危岩厚度较大时,在被裂缝切割形成的规模较大的岩体上布置 1 个垂直钻孔控制危岩、软弱夹层及基座。
- c) 当危岩形态在竖向接近板状时,在危岩的临空面布置水平或倾斜钻孔勘探控制危岩的控制性结构面;水平或倾斜钻孔位置从危岩底面起算的高度不宜低于危岩高度的 1/2。
- d) 能满足对危岩、母岩、基座取样需要。
- e) 对地质环境特别复杂、危害大、常规勘探方法不能查明其特征的危岩,在控制勘探线下部危岩底部布设 1 条平硐,探查危岩底部控制面。
- f) 对土质崩塌布置一定数量的控制性钻孔或探井穿透可能崩滑控制面。
- g) 对密集形态近似的危岩陡崖带,勘探点可适当减少,每个陡崖的勘探点不宜少于 1 个。

5.3.6 崩塌勘探工作布置时,每条控制性勘探线的勘探点不应少于1个;物探、槽探、井探工作量应根据地面测绘遗留问题和地表采样需要确定。特定条件下,勘探孔可采用斜孔、水平孔。

5.3.7 崩塌勘探深度应满足下列要求:

- a) 初步勘查阶段控制性钻孔深度的确定以探明危岩深部崩滑面或潜在崩滑面为原则。
- b) 详细勘查阶段控制性钻孔深度的确定以探明危岩基座和周边岩土体作为工程持力岩体地质情况为原则,其中,水平(倾斜)钻孔以探明锚固段地质情况为原则,垂直钻孔以探明桩、键、支撑墙(柱)持力层地质情况为原则,且进入相应地层不应小于5 m。危岩底部有空洞或采空区时,控制性勘探孔穿过空洞或采空区进入稳定基岩的深度不少于3 m。
- c) 一般勘探孔穿过最底层危岩崩滑面(带),进入稳定岩土体(危岩基座)的深度不少于3 m,水平(倾斜)钻孔穿过危岩后缘裂缝(或卸荷带)进入稳定岩体的深度不少于3 m。
- d) 平硐穿过最底层崩滑带进入稳定岩土层。

5.3.8 崩塌勘查取样应符合《建筑工程地质勘探与取样技术规程》(JGJ/T 87)的规定并满足下列要求:

- a) 试验样品在母岩及治理工程可能涉及范围内采集。当结构面中充填土质时,采集土样。
- b) 优先在探槽、探井或探洞中采集原状试样;钻孔中尽可能采集土层、软弱夹层原状试样。

## 6 测试与统计

### 6.1 一般规定

6.1.1 崩塌勘查中的测试应符合《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50266)、《土工试验方法标准》(GB/T 50123)及其他有关规程的规定。

6.1.2 崩塌勘查中的测试宜现场试验与室内试验相配合。

6.1.3 崩塌勘查中的测试对象为软弱夹层、破碎带或结构面,母岩和基座岩体,地下水和地表水。

6.1.4 崩塌勘查中的测试项目应包括岩土的物理性质、力学性质、软弱夹层或结构面充填土的颗粒级配、物质成分试验,地下水和地表水的化学成分及其对建筑材料腐蚀性试验;力学性质试验应包括母岩及基座岩土抗压试验与变形试验;对受抗拉强度控制的倾倒式危岩,还应包括母岩岩石抗拉试验;对受抗剪强度控制的坠落式危岩及滑移式危岩,还应包括母岩和基座岩土抗剪试验;必要时应进行结构面现场抗剪试验。

### 6.2 测试

6.2.1 崩塌勘查期间应注意观测和分析崩塌的地下水动态和裂隙水头压力。土质崩塌地区及裂隙贯通性不清楚的地段,当条件允许时可采用钻孔注水试验或试坑渗水试验。

6.2.2 进行抗剪试验的土样含水状态应与崩塌区内土体的含水状态一致。对粉土和粉质黏土,抗剪试验方法宜选择快剪或不排水剪、固结快剪或三轴固结不排水剪。

6.2.3 岩、土、水室内试验工作量宜符合表6的要求。

表6 室内试验单项试验数量

地质环境 复杂程度	母岩、软弱夹层、基座的 岩土层的物理性质(组)	母岩、软弱夹层、基座的 岩土层的抗剪强度(组)	母岩、基座的岩土层的抗 压强度、抗拉强度、变形 试验(组)	基座的耐崩解 试验(组)
复杂	$\geq 5$	$\geq 9$	$\geq 5$	3
较复杂	3~4	6~8	3~4	2
简单	1~2	3~5	1~2	1
注1:不同性质的岩土层均宜有试样。 注2:初步勘查在该表的基础上适当减少,但不得少于表中地质环境简单区试验数量的最小值。 注3:当母岩、软弱夹层、基座岩性不同时,分岩性取表中数值。				

### 6.3 测试结果统计

6.3.1 岩土性质指标测试值应根据概率理论进行统计。统计前应根据岩土的性质差异划分不同的统计单元,并根据采样方法、测试方法及其他影响因素对测试结果的可靠性和适用性做出评价。

6.3.2 每一个测试值均应参与统计,当统计的变异性系数大于0.3时,应分析原因,并删除异常值。

6.3.3 岩土性质指标测试值统计结果应包括范围值、算术平均值、标准差、变异系数及标准值,其计算应符合《岩土工程勘察规范》(GB 50021)的有关规定;样品只有1个,参考当地经验值;样品数多于1个但少于统计所需个数,取算术平均值。

6.3.4 室内抗剪试验和三轴压缩试验成果可按图解法及最小二乘法进行分析整理。

### 6.4 岩土体性质指标

6.4.1 崩塌勘查应根据现场测试及室内试验资料提供稳定性评价及治理工程设计需要的岩土体性质指标值。

6.4.2 当无试验资料时,岩体结构面抗剪强度指标标准值可取当地的经验值或参照附录C确定。

6.4.3 土的强度指标应取标准值,各种物理性指标和压缩性指标应取平均值,载荷试验承载力应取特征值。

6.4.4 岩体内摩擦角和黏聚力可根据岩体完整程度由岩石的内摩擦角和黏聚力乘以表7中的折减系数确定。

6.4.5 当岩体完整、较完整时,岩体抗拉强度可根据结构面产状和岩体完整性由岩石抗拉强度折减确定。当结构面不起控制作用时,折减系数可按表7选取。

6.4.6 岩体的变形模量和弹性模量可由岩石的变形模量和弹性模量乘以表7中的折减系数确定;岩石泊松比可视为岩体泊松比。

表7 岩体性质指标折减系数表

岩体完整程度	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa	变形模量和弹性模量/(N/m)	抗拉强度/MPa
完整	0.90~0.95	0.40	0.8	0.5
较完整	0.85~0.90	0.30	0.7	0.4
较破碎	0.80~0.85	0.20	0.6	/

6.4.7 当无试验资料时,岩石与锚固体的黏结强度可按附录 D 确定。土体与锚固体的黏结强度可按地方经验确定。

6.4.8 岩土地基承载力可根据勘察试验成果结合地区经验确定。

## 7 监测

### 7.1 一般规定

7.1.1 崩塌防治工程勘察期间对有明显变形迹象和稳定性差的危岩应进行监测。

7.1.2 崩塌勘察设计书应包含监测设计内容,监测设计应针对危岩的变形情况及对危岩扰动大的勘探工程(如平硐、竖井、钻孔)的具体情况进行。

7.1.3 崩塌勘察期间的监测宜根据勘察平面图在现场踏勘基础上确定监测范围,布设监测工作量,并根据批准工作量及方法开展工作,编制的监测成果及图表提供勘察使用。

7.1.4 崩塌勘察期间的监测应以变形(位移)监测为主。变形监测手段应采取巡视检查为主,变形明显时可采用仪器监测;对于变形明显且速率较大的大型危岩,可结合勘察施工,对裂缝开展监测。

7.1.5 崩塌勘察期间,监测发现危岩变形加剧时,应及时向勘察施工人员及业主报告;达到临灾预警值时,应发出预警警报。

### 7.2 监测点、线布设

7.2.1 崩塌监测线应尽量与勘察纵剖面一致。大型危岩地表位移监测线宜为 3 条;中型危岩监测线宜为 2 条;小型危岩监测线可为 1 条;每条监测线的监测点数量不应少于 3 个。

7.2.2 崩塌监测点布设应符合下列要求:

- a) 监测点重点布设于主控结构面或其他变形敏感位置。
- b) 地表位移监测点重点布设于危岩顶部,布点困难时布设于临空面中下部。
- c) 裂缝监测点视主控裂缝发育情况进行布设。
- d) 崩塌堆积体地形较陡区及已产生变形的区域。

7.2.3 位移观测基准点应设置在危岩以外的稳定地质体上,并构成可以进行稳定性监测的简单网型;基准点还应满足对变形点进行位移监测的各种观测条件。

7.2.4 位移监测点应尽量布置在与主崩方向重合的纵剖面上。

### 7.3 监测内容

7.3.1 危岩监测内容应包括位移(水平、垂直)、裂缝充水情况。

7.3.2 对可能造成重大危害的危岩,应进行系统监测,并根据监测结果,对可能发生崩塌的时间、崩塌可能的运动方向及路径、规模、造成的损失范围、威胁的人群及财产做出预判,提出危险性预警。

7.3.3 危岩的巡视监测应对地表裂缝等各种变形迹象进行巡视检查、拍照和记录。

### 7.4 监测周期

崩塌勘察期间的监测周期应符合下列要求:

- a) 绝对位移监测为 24 h/次,变形速率增大或出现异常变化时,为 2 h/次。
- b) 裂缝变化监测为 12 h/次。
- c) 人工巡视检查为 6 h/次,发现异常应随时加密巡查。

## 8 稳定性评价

### 8.1 一般规定

8.1.1 崩塌评价应包括危岩稳定性评价和崩塌影响范围分析。崩塌稳定性评价的对象应包括陡崖、危岩和既有崩塌堆积体。

8.1.2 陡崖(带)稳定性可根据陡崖形态、结构面组合、岩体结构特征、变形特征等进行地质类比和赤平投影分析定性评价。危岩和崩塌堆积体稳定性应同时进行定性评价和定量评价。

8.1.3 在进行危岩稳定性计算之前,应根据危岩范围、规模、地质条件,危岩破坏模式及已有变形破坏迹象,采用地质类比法对危岩稳定性做出定性判断。

8.1.4 危岩稳定性评价应给出危岩在设计工况下的稳定系数和稳定状态。

8.1.5 危岩稳定状态应分为稳定、基本稳定、欠稳定和欠稳定。按一般工况危岩稳定系数判断危岩稳定状态应符合表 8 的规定。

表 8 危岩稳定状态划分

破坏模式	稳定状态			
	稳定	基本稳定	欠稳定	不稳定
滑移式	$F \geq F_t$	$1.15 \leq F < F_t$	$1.00 \leq F < 1.15$	$F < 1.00$
倾倒式	$F \geq F_t$	$1.25 \leq F < F_t$	$1.00 \leq F < 1.25$	$F < 1.00$
坠落式	$F \geq F_t$	$1.35 \leq F < F_t$	$1.00 \leq F < 1.35$	$F < 1.00$

注:  $F_t$ ——危岩稳定安全系数。表中稳定系数对应的工况是一般工况,即天然工况和暴雨(融雪)工况。

8.1.6 危岩稳定安全系数应根据崩塌防治工程等级和破坏模式按表 9 确定。

表 9 危岩稳定安全系数

破坏模式	防治工程等级					
	I 级		II 级		III 级	
	一般工况	校核工况	一般工况	校核工况	一般工况	校核工况
滑移式	1.40	1.15	1.30	1.10	1.20	1.05
倾倒式	1.50	1.20	1.40	1.15	1.30	1.10
坠落式	1.60	1.25	1.50	1.20	1.40	1.15

注 1: 一般工况指天然工况和暴雨(融雪)工况,校核工况指地震工况。  
注 2: 防治工程等级为特级时的安全系数应进行专门论证。

8.1.7 危岩稳定状态应根据定性分析和危岩稳定性计算结果综合判定,以定性为主、定量为辅。

8.1.8 当危岩破坏模式难以确定时,对危岩的各种可能破坏模式均应进行稳定性计算,并进行稳定状态判断。

8.1.9 崩塌堆积体稳定性评价应根据相关规范进行。评价时,应考虑上方崩塌冲击或加载的作用,分析在暴雨等条件下向泥石流转化的条件和可能性。

## 8.2 危岩稳定性计算

8.2.1 危岩稳定性计算所采用的荷载可分为基本荷载(危岩自重、工程荷载)、裂隙水压力和地震力。

8.2.2 危岩稳定性计算视所采用的工况,可分为天然工况(工况 1)、暴雨(融雪)工况(工况 2),地震烈度为 6 度及以上时,尚应考虑地震工况(工况 3)。其中所采用的暴雨强度应是重现期为 20 a 的暴雨强度。

8.2.3 危岩稳定性计算中各工况考虑的荷载组合应符合下列规定:

- a) 工况 1,基本荷载:危岩自重+工程荷载。
- b) 工况 2,基本荷载+暴雨(融雪)引起的裂隙水压力。
- c) 工况 3,基本荷载+暴雨(融雪)引起的裂隙水压力+地震力。

8.2.4 考虑降雨(融雪)对危岩稳定性的影响时,除应计算暴雨(融雪)时裂隙水压力外,还应分析降雨(融雪)引起的土体物质的迁移及上覆土体的自重应力增加。

8.2.5 危岩稳定性计算剖面应沿危岩失稳的最不利方向并通过其危岩重心。当危岩稳定性计算剖面未通过危岩重心且危岩断面尺寸变化较大时,危岩稳定性计算应按空间问题进行计算。

8.2.6 地震荷载采用的综合水平地震系数取值参见表 10。

表 10 综合水平地震系数取值表

设计基本地震加速度( $\alpha_h$ )	$\leq 0.05g$	0.10g	0.15g	0.2g	0.3g	0.4g
综合水平地震系数( $\alpha_w$ )	0	0.025	0.037 5	0.05	0.075	0.10

8.2.7 基本地震加速度为 0.2 g 及以上,且位于地震断裂带 15 km 范围内的危岩稳定性计算,宜同时计入水平向地震荷载和竖向地震荷载。

8.2.8 地震荷载可按如下公式进行计算:

$$Q_h = \alpha_w \cdot G \cdot \alpha \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_v = Q_h/3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$Q_h$ ——危岩的水平地震荷载,单位为千牛每米(kN/m);

$Q_v$ ——危岩的竖向地震荷载,单位为千牛每米(kN/m);

$\alpha_w$ ——综合水平地震系数,即:  $\alpha_w = \alpha_h \xi / g$ ;

$\alpha_h$ ——基本地震加速度;

$\xi$ ——折减系数,取 0.25;

$G$ ——危岩的重量(含地面荷载),单位为千牛每米(kN/m);

$\alpha$ ——危岩地震放大效应系数,低位危岩取 1.0,中位危岩取 1.5,高位危岩取 2,特高位危岩取 3。

8.2.9 危岩稳定性可根据破坏模式按附录 E 进行计算。

## 8.3 崩塌体运动方向及影响距离预测

8.3.1 崩塌评价应给出崩塌体运动途经区域和危岩运动可能到达的最大范围,划定危岩崩塌可能造成的灾害范围,进行险情的分析与预测。

8.3.2 崩塌地质灾害影响范围确定应采用崩塌历史调查法和崩塌运动学分析法计算确定,必要时



可采用现场落石试验法确定。

### 8.3.3 崩塌历史调查应包括下列内容：

- a) 崩塌堆积物的空间分布特征,包括崩落物的边界及不同位置崩塌堆积物的厚度、大小。
- b) 崩塌堆积物的岩性、磨圆度、风化程度、溶蚀程度以及新老崩塌物的位置关系。
- c) 崩塌体运动过程中遗留在地表的撞击等运动痕迹。
- d) 崩塌堆积物周边环境特征。
- e) 危岩下方斜坡的人工改造情况。
- f) 有关崩塌的史料记载和崩塌发生地原住民的口头传述。

### 8.3.4 崩塌运动学分析计算可按附录 F 进行。

### 8.3.5 在峡谷区,崩塌体运动方向及影响距离预测应重视气垫浮托效应和折射回弹效应的可能性及由此造成的特殊运动特征与危害。

### 8.3.6 崩塌体运动方向及影响距离预测应分析崩塌体可能到达并堆积的场地的地形、坡度、分布、高程、地层岩性与产状及该场地的最大堆积容积,并分析在不同堆积条件下,崩塌体越过堆积场地向下滑移的可能性及最终堆积场地。分析时应考虑崩塌体解体对危害范围的影响。

### 8.3.7 崩塌体运动方向及影响距离预测应进行危岩崩塌后对崩塌积体的冲击力和加载计算并分析可能引起的次生灾害类型(如滑坡、泥石流、涌浪、堰塞湖等)和规模,确定其成灾范围,进行灾情的分析与预测。

### 8.3.8 危岩崩塌后的最大冲击力计算按附录 G 进行。

## 9 勘查成果

### 9.1 勘查成果包括成果报告、图件和表格

#### 9.1.1 崩塌勘查报告的内容应根据任务要求、地质环境、崩塌特点等具体情况确定,可由下列几部分构成：

- 前言,包括任务由来、崩塌可能造成的危险性及损失情况、勘查目的与任务、规划概况、勘查工作概况、前人研究程度、执行的技术标准、完成的主要实物工作量及勘查质量评述。
- 勘查区自然地理条件,包括位置与交通状况、气象、水文(包括水位变动)、社会经济概况。
- 勘查区地质环境,包括地形地貌、地层岩性、地质构造与地震、水文地质特征。
- 陡崖基本特征,包括形态特征及边界条件、卸荷带及分离面特征、基座特征、近期变形破坏特征;稳定性定性评价。
- 危岩特征,包括形态特征及边界条件、影响因素、形成机制、危岩类型;危岩稳定性的定性分析、稳定性计算、稳定性综合评价,其中计算部分包括试验数据的分析统计、计算原理与方法、计算参数的确定、计算工况的确定、稳定性系数计算结果;监测成果分析。
- 危岩防治工程建议,包括变形破坏发展趋势与危险性分析、防治工程设计参数、防治工程方案建议。
- 危岩治理效益评价,包括经济效益、社会效益和环境效益。
- 结论与建议。

#### 9.1.2 崩塌勘查报告应有下列附图附件：

- 崩塌勘查工程地质平面图(包括卸荷带、凹岩腔分布范围)(比例尺为 1:500~1:1000);
- 崩塌勘查工程地质剖面图(比例尺为 1:100~1:500);

- 危岩立面图(比例尺为 1 : 100~1 : 200)(必要时作立体图);
- 危岩基本要素特征表(格式见附录 A 表 A. 2);
- 危岩区裂隙统计图(极点图或带倾角的裂隙倾向玫瑰图);
- 钻孔地质柱状图(比例尺为 1 : 50~1 : 100);
- 探槽、探井、平硐展示图(比例尺为 1 : 50~1 : 200);
- 测试成果报告;
- 勘查期间的监测成果报告;
- 崩塌地质调查表(格式见附录 A 表 A. 1);
- 卸荷裂隙调查表(格式见附录 A 表 A. 3);
- 孤石调查表(格式见附录 A 表 A. 4);
- 各种计算成果;
- 有代表性的与崩塌有关的照片,包括全貌照片、危岩照片等。

9.1.3 勘查成果报告应以纸质和电子文档形式提交。

附 录 A  
(资料性附录)  
调查表

表 A.1 崩塌地质调查表

名称											地理位置	省(市、区)      市(县、区)      乡									
编号												村      组      (小地名)									
崩塌类型	<input type="checkbox"/> 倾倒 <input type="checkbox"/> 滑移 <input type="checkbox"/> 坠落 <input type="checkbox"/> 复合		崩塌性质		<input type="checkbox"/> 岩质 <input type="checkbox"/> 碎块石 <input type="checkbox"/> 土质 <input type="checkbox"/> 岩土质		坐标/m		X: Y:			崖顶高程/m				崖底高程/m					
	经度:      °      '      "      纬度:      °      '      "																				
崩塌环境	地层岩性			地质构造			微地貌			地下水类型											
	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		<input type="checkbox"/> 孔隙水 <input type="checkbox"/> 潜水 <input type="checkbox"/> 裂隙水 <input type="checkbox"/> 承压水 <input type="checkbox"/> 岩溶水 <input type="checkbox"/> 上层滞水												
	坡体结构			风化程度						岩体基本质量等级											
	<input type="checkbox"/> 顺向 <input type="checkbox"/> 反向 <input type="checkbox"/> 切向 <input type="checkbox"/> 特殊结构斜坡			<input type="checkbox"/> 土质		<input type="checkbox"/> 岩质 <input type="checkbox"/> 全风化 <input type="checkbox"/> 中等风化 <input type="checkbox"/> 微风化 <input type="checkbox"/> 未风化															
	基座特征	软弱地层情况			时代			岩性			产状										
		风化剥蚀情况			<input type="checkbox"/> 全风化 <input type="checkbox"/> 中等风化 <input type="checkbox"/> 微风化 <input type="checkbox"/> 未风化																
		岩腔及洞穴																			
		变形情况																			
	岩体结构面性状	产状		力学属性	贯通情况	张开/闭合情况		间距	充填物	充水情况											
		结构面																			
	卸荷带特征																				
	自然地理环境	降雨量/mm			水文			坡体植被发育情况													
		年均	日最大	时最大	洪水位/m	枯水位/m		<input type="checkbox"/> 裸露 <input type="checkbox"/> 灌木 <input type="checkbox"/> 乔木 <input type="checkbox"/> 其他													
	崩塌历史	发生次数	发生时间		崩塌类型		崩塌规模		崩塌方向												
崩塌原因		崩塌途径		岩块直径		堆积场所		崩塌最远距离													
崩塌前迹象																					
损失程度																					

表 A.1 崩塌地质调查表(续)

崩塌基本特征	陡崖(体)基本特征	陡崖总体形态特征									
		高度/m	宽度/m	厚度/m	面积/m <sup>2</sup>	体积/m <sup>3</sup>	坡度/(°)	主崩方向/(°)	稳定性		
		危岩特征									
		分布位置	危岩形态	分布高程/m	规模(宽×高×厚)/m×m×m			危岩体积/m <sup>3</sup>			
	危岩岩性	产状	基座岩性	主崩方向/(°)	崩塌方式	运动距离/m	稳定性				
	崩塌成因分析	自然因素	<input type="checkbox"/> 极度发育节理 <input type="checkbox"/> 外倾结构面 <input type="checkbox"/> 风化剥蚀 <input type="checkbox"/> 软弱基座 <input type="checkbox"/> 风化 <input type="checkbox"/> 融冻 <input type="checkbox"/> 胀缩 <input type="checkbox"/> 孔隙水压力升高 <input type="checkbox"/> 洪水冲 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> 植物根劈 <input type="checkbox"/> 临空卸荷 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> 溶蚀								
		人类工程活动	(人工切坡、矿山开采情况、采空区等)								
可能引起的次生灾害类型		类型		规模		影响范围					
崩塌危险区范围					威胁对象(人数、财产)						
崩塌堆积体特征	崩塌源							崩塌方式	发生时间		
	位置		高程		规模		岩性				
	崩塌堆积体										
	分布范围	分布高程	形态规模	物质组成	分选情况	块度	结构	密实度	架空情况	植被生长情况	
	崩塌体运移斜坡										
	形态	地形坡角/(°)	岩性	起伏差	粗糙度	运动路线	运动距离/m				
	崩塌堆积床					水文地质情况					
	形态	地形坡角/(°)	坡体结构	岩性	产状	裂隙充水状态	分布情况	补给情况	径流情况	排泄情况	
	堆积体稳定性初步评价										
	在危岩再次崩塌条件下稳定性评价										
	堆积体在暴雨作用下向泥石流、滑坡等转化的可能性评价										
	防治措施建议										

表 A.1 崩塌地质调查表(续)

危 岩 总 体 照 片	
崩 塌 堆 积 体 照 片	
崩 塌 平 面 示 意 图	

调查单位：  
检查人：

调查人：  
调查时间：      年    月    日

表 A.2 危岩基本要素特征表

危岩 编号	危岩 位置	X: Y:	分布高 程/m	崩塌高 差/m	主崩 方向	素描图、正立面图
危岩 形态		危岩大小 (高×宽×厚) /m×m×m			体积/m <sup>3</sup>	
危岩地 层岩性		基座地 层岩性			岩层产状	
崩塌 方式		运动距离/m			裂隙充水 高度/m	
危险性 大小		现状稳定性			防治措施	
落石 路径		威胁对象				
危岩照片						
结构面特征 及稳定性 分析						
结构面赤 平投影图						

表 A.3 节理裂隙调查表

节理裂隙编号		位置	X:	Y:
		分布高程/m		
性质	裂隙类型			
	两侧岩性			
	两侧岩层产状			
	条数及间距			
几何特征	产状			
	延伸长度/m			
	裂隙宽度/mm			
	连通性			
	起伏特征			
充填物特性	颜色			
	厚度/mm			
	成分			
	蚀变特征			
	风化情况			
	胶结程度			
	密实程度			
可能充水条件				
示意图			照片	

调查单位:

审核人:

调查人:

调查时间: 年 月 日





表 A.5 崩塌影响区实物指标调查表

陡崖或危岩名称				地理位置		区 乡(镇) 村 组		
陡崖或危岩编号				坐标		X: Y:		
影响区边界及面积								
户数		农业		户数		人数		
人数		非农业		户数		人数		
房屋住宅	砖混结构	砖混(条石)预制盖		间	m <sup>2</sup>	管(道)线	耕地林地	
		砖混(条石)预瓦盖		间	m <sup>2</sup>		hm <sup>2</sup> ,水塘	
	砖木结构		间	m <sup>2</sup>	hm <sup>2</sup> ,宅基地		hm <sup>2</sup>	
	土木结构		间	m <sup>2</sup>	电力线路	供水管道(线)	m	
	简易结构		间	m <sup>2</sup>		污水管道(线)	m	
	地坝			m <sup>2</sup>		天然气管(线)	m	
	道路	水泥路面	省(县)道			m	水井	9m 以上圆电杆
乡道				m	方电杆(含 9m 以下圆电杆)	m		
村级路				m	室外照明电线	m		
碎石路面		乡道			m	树木	动力电线	m
		村级路			m		果树	棵
其他基础设施(学校等)						水渠	杂树	棵
							混凝土砌	m
								石砌
						水塘		口
序号	户主姓名	人数	备注	序号	户主姓名	人数	备注	

调查单位:  
审核人:

调查人:  
调查时间: 年 月 日

## 附录 B

(规范性附录)

## 崩塌地质环境复杂程度

表 B.1 崩塌地质环境复杂程度划分表

判定条件	地质环境复杂程度		
	复杂	中等复杂	简单
地形地貌	崩塌分布区陡崖相对高度 $>50\text{ m}$ , 周边环境地形变化大, 地形零碎, 可能的崩塌破坏方向多	$15\text{ m}<$ 崩塌分布区陡崖相对高度 $\leq 50\text{ m}$ , 周边环境地形变化大, 可能的崩塌破坏方向较多	崩塌分布区陡崖相对高度 $\leq 15\text{ m}$ , 地形单一
地质构造	地震频发, 地震加速度 $>0.1\text{ g}$ , 结构面发育, 陡崖不利结构面(包括软弱夹层)3组以上	地震较频发, $0.05\text{ g}<$ 地震加速度 $\leq 0.1\text{ g}$ , 结构面较发育, 陡崖不利结构面(包括软弱夹层)2~3组	地震少, 地震加速度 $\leq 0.05\text{ g}$ , 结构面不发育, 陡崖不利结构面(包括软弱夹层)小于2组
岩土体特征	岩土体破碎, 分层多, 岩性变化大, 风化卸荷裂隙发育	岩土体较破碎, 分层较多, 岩性变化较大, 风化卸荷裂隙较发育	岩土体较完整, 分层少, 岩性稳定, 风化卸荷裂隙不发育
水文及水文地质特征	地表、地下水对崩塌稳定性的影响大	地表、地下水对崩塌稳定性的影响中等	地表、地下水对崩塌稳定性的影响小
破坏地质环境的人类工程活动	地面开挖边坡高度 $>30\text{ m}$ , 地下采空区开采深厚比 $<120$	$15\text{ m}<$ 地面开挖边坡高度 $\leq 30\text{ m}$ , $120\leq$ 地下采空区开采深厚比 $\leq 200$	地面开挖边坡高度 $\leq 15\text{ m}$ , 地下采空区开采深厚比 $>200$
<p>注1:从复杂条件向简单条件推定,除地形地貌、破坏地质环境的人类工程活动,首先满足其中两项条件者,即为该等级。</p> <p>注2:地形地貌、破坏地质环境的人类工程活动两项中,任一项为复杂时即为复杂条件,任一项为中等复杂时即为中等复杂条件。</p> <p>注3:长度较大、地质环境复杂程度差异较大的崩塌带地质环境复杂程度应根据其差异分段划分。</p>			

## 附录 C

## (规范性附录)

## 结构面抗剪强度指标标准值

C.1 无试验资料时,岩体结构面抗剪强度指标标准值可根据结构面结合强度参照表 C.1 确定。

表 C.1 结构面抗剪强度指标标准值

结构面类型		结构面结合程度	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	黏聚力 $c/\text{kPa}$
硬性结构面	1	结合良好	$>35$	$>130$
	2	结合一般	$35\sim 27$	$130\sim 90$
	3	结合差	$27\sim 18$	$90\sim 50$
软弱结构面	4	结合很差	$18\sim 12$	$50\sim 20$
	5	结合极差(泥化层)	$<12$	$<20$

注1:除结合极差外,结构面两壁岩性为极软岩、软岩时取表中较低值。  
 注2:取值时应考虑结构面的贯通程度。  
 注3:结构面浸水时取表中较低值。  
 注4:表中数值已考虑结构面的时间效应。  
 注5:本表未考虑结构面参数在施工期和运行期受其他因素影响发生的变化,判定为不利因素时,可进行适当折减。

C.2 结构面的结合程度可参照表 C.2 选用。

表 C.2 结构面的结合程度

结合程度	结构面特征
结合好	张开度小于 1 mm,胶结良好,无充填;张开度 1~3 mm,硅质或铁质胶结
结合一般	张开度小于 1 mm,钙质胶结;张开度大于 3 mm,表面粗糙,钙质胶结
结合差	张开度 1~3 mm,表面平直,无胶结;张开度大于 3 mm,岩屑充填或岩屑夹泥质充填
结合很差、结合极差(泥化层)	表面平直光滑,无胶结;泥质充填或泥夹岩屑充填,充填物厚度大于起伏差;分布连续的泥化夹层;未胶结的或强风化的小型断层破碎带

## 附 录 D

(规范性附录)

## 岩石与锚固体极限黏结强度标准值

当无试验资料时,岩石与锚固体极限黏结强度标准值可按表 D.1 确定。

表 D.1 岩石与锚固体极限黏结强度标准值

岩石类别	极限黏结强度标准值/kPa
极软岩	270~360
软 岩	360~760
较软岩	760~1 200
较硬岩	1 200~1 800
坚硬岩	1 800~2 600

注 1:表中数据适用于注浆强度等级为 M30。  
注 2:岩体结构面发育时,取表中下限值。  
注 3:表中岩石类别根据天然单轴抗压强度  $f_r$  划分: $f_r < 5$  MPa 为极软岩,  $5 \text{ MPa} \leq f_r < 15$  MPa 为软岩,  $15 \text{ MPa} \leq f_r < 30$  MPa 为较软岩,  $30 \text{ MPa} \leq f_r < 60$  MPa 为较硬岩,  $f_r \geq 60$  MPa 为坚硬岩。  
注 4:当需提供岩石与锚固体黏结强度特征值时,可将表中极限黏结强度标准值除以 2.2~2.7 后确定(对硬质岩和较硬岩取 2.7,软质岩和软岩取 2.5,极软岩取 2.3)。

附录 E  
(规范性附录)  
危岩稳定性计算

E.1 后缘有陡倾裂隙的滑移式危岩稳定性可按式计算(图 E.1):

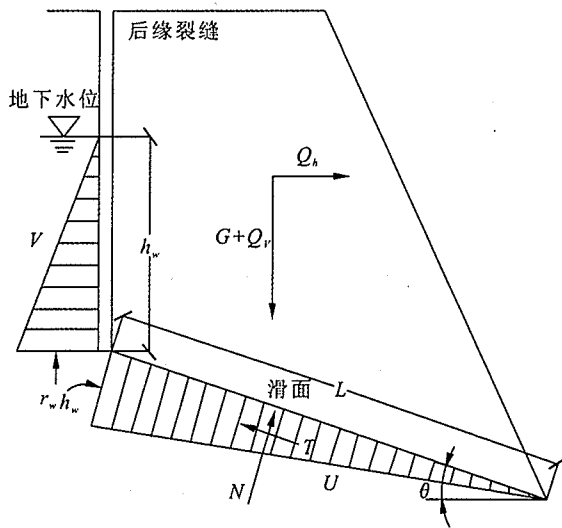


图 E.1 后缘有陡倾裂隙的滑移式危岩稳定性计算

$$F = \frac{[(G + Q_v) \cos \theta - (Q_h + V) \sin \theta - U] \tan \varphi + cL}{(G + Q_v) \sin \theta + (Q_h + V) \cos \theta} \quad \text{..... (E.1)}$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2 \quad \text{..... (E.2)}$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w h_w L \quad \text{..... (E.3)}$$

式中:

$V$ ——后缘陡倾裂隙水压力,单位为千牛每米(kN/m);

$h_w$ ——后缘陡倾裂隙充水高度,单位为米(m),对现状工况根据调查资料确定,对暴雨工况根据汇水面积、裂隙蓄水能力和降雨情况确定,当汇水面积和裂隙蓄水能力较大时不应小于裂隙高度的 1/3;

$U$ ——滑面水压力,单位为千牛每米(kN/m),滑面受基座岩体强度控制时,取 0;

$L$ ——滑面长度,单位为米(m);

$c$ ——滑面黏聚力,单位为千帕(kPa),当充当滑面的裂隙未贯通时取贯通段和未贯通段黏聚力按长度加权的加权平均值,未贯通段黏聚力取岩体黏聚力,滑面受基座岩体强度控制时,取岩体黏聚力;

$\varphi$ ——滑面内摩擦角,单位为度( $^{\circ}$ ),当充当滑面的裂隙未贯通时取滑面平均内摩擦系数的正切,滑面平均内摩擦系数取贯通段和未贯通段内摩擦系数按长度加权的加权平均值,未贯通段内摩擦系数取岩体内摩擦系数,滑面受基座岩体强度控制时,取岩体内摩擦角;

$\theta$ ——滑面倾角,单位为度( $^{\circ}$ );

$Q_h$ 、 $Q_v$ ——水平地震荷载和垂直地震荷载。按第 8.2.6 条~第 8.2.8 条计算;

$G$ ——危岩的重量(含地面荷载),单位为千牛每米(kN/m)。

E.2 后缘无陡倾裂隙的滑移式危岩稳定性可按式计算(图 E.2):

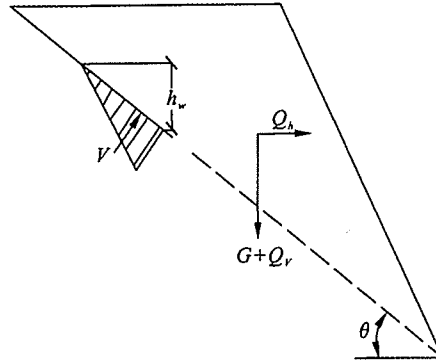


图 E.2 后缘无陡倾裂隙的滑移式危岩稳定性计算

$$F = \frac{[(G + Q_v) \cos \theta - Q_h \sin \theta - V] \tan \varphi + cL}{(G + Q_v) \sin \theta + Q_h \cos \theta} \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

式中:

$V$ ——充当滑面的裂隙贯通段水压力,单位为千牛每米(kN/m);

其余符号意义同前。

E.3 坠落式危岩下切坠落稳定性可按式计算(图 E.3):

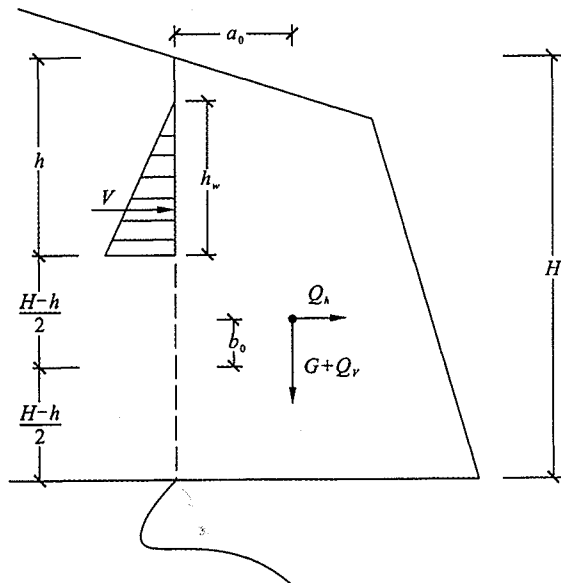


图 E.3 坠落式危岩下切坠落稳定性计算

$$F = \frac{(H-h)c}{G + Q_v} \quad \dots\dots\dots (E.5)$$

式中:

$c$ ——危岩黏聚力,单位为千帕(kPa);

$H$ ——后缘裂隙上端到未贯通段下端的垂直距离(即危岩悬臂高度),单位为米(m);

$h$ ——后缘裂隙深度,单位为米(m)。

其余符号意义同前。

E.4 坠落式危岩折断坠落稳定性可按式计算(图 E.4):

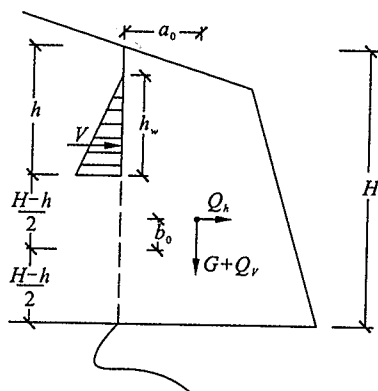


图 E.4 坠落式危岩折断坠落稳定性计算

$$F = \frac{\sigma_t (H-h)^2}{6[(G+Q_v)a_0 + Q_h b_0] + V[2h_w + 3(H-h)]} \quad \dots\dots\dots (E.6)$$

式中:

$a_0, b_0$ ——块体重心与后缘铅垂面中点的水平距离和垂直距离,单位为米(m);

$\sigma_t$ ——岩体抗拉强度,单位为千帕(kPa)。

其余符号意义同前。

E.5 当危岩重心位于危岩底面中点内侧时,倾倒式危岩底部折断倾倒稳定性可按式计算(图 E.5):

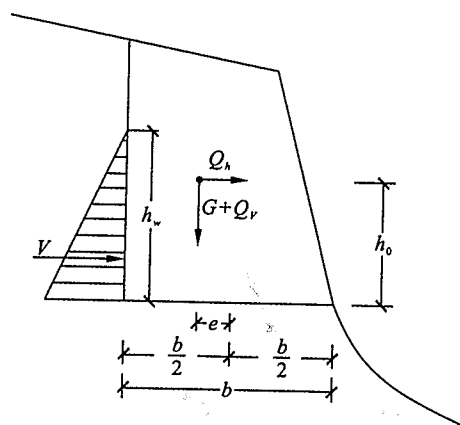


图 E.5 倾倒式危岩底部折断倾倒稳定性计算

$$F = \frac{\sigma_t b^2 + 6Ge}{6(Q_h h_0 - Q_v e) + 2Vh_w} \quad \dots\dots\dots (E.7)$$

当危岩重心位于危岩底面中点外侧时, 倾倒是危岩底部折断倾倒稳定性可按式计算:

$$F = \frac{\sigma_t b^2}{6[Q_h h_0 + (G + Q_v)e] + 2Vh_w} \quad \dots\dots\dots (E.8)$$

式中:

$e$ ——块体重心到块体底面中点的水平距离(即块体重心偏心距), 单位为米(m);

$h_0$ ——块体重心到块体底面中点的竖直距离(即块体重心高度), 单位为米(m)。

其余符号意义同前。

当块体的截面宽度变化较大时, 应将若干截面宽度变化较大处的截面视为可能的块体底面计算稳定系数。

E.6 对危岩重心在基座顶面前缘内侧情形, 倾倒是危岩后部拉断倾倒稳定性可按式计算(图 E.6):

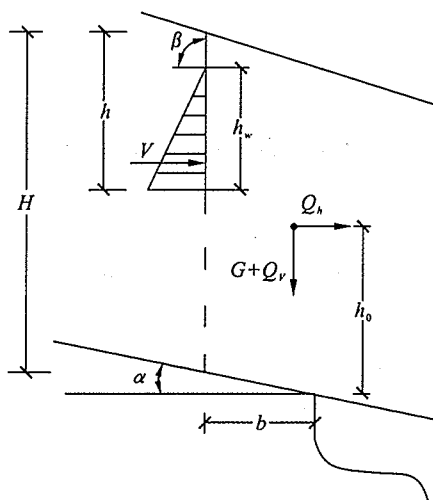


图 E.6 倾倒是危岩后部拉断倾倒稳定性计算

$$F = \frac{(G + Q_v)a + \frac{1}{2}\sigma_t \frac{H-h}{\sin\beta} \left( \frac{2}{3} \frac{H-h}{\sin\beta} + \frac{b \sin\alpha}{\cos\alpha \sin\beta} \right)}{(Q_h h_0 - Q_v a) + V \left[ \frac{1}{3} \frac{h_w}{\sin\beta} + \frac{H-h}{\sin\beta} + \frac{b \sin\alpha}{\cos\alpha \sin\beta} \right]} \quad \dots\dots\dots (E.9)$$

对危岩重心在基座顶面前缘外侧情形, 倾倒是危岩后部拉断倾倒稳定性可按式计算:

$$F = \frac{\frac{1}{2}\sigma_t \frac{H-h}{\sin\beta} \left( \frac{2}{3} \frac{H-h}{\sin\beta} + \frac{b \sin\alpha}{\cos\alpha \sin\beta} \right)}{(G + Q_v)a + Q_h h_0 + V \left[ \frac{1}{3} \frac{h_w}{\sin\beta} + \frac{H-h}{\sin\beta} + \frac{b \sin\alpha}{\cos\alpha \sin\beta} \right]} \quad \dots\dots\dots (E.10)$$

式中:

$a$ ——块体重心到基座顶面前缘的水平距离, 单位为米(m);

$\beta$ ——后缘陡倾结构面倾角, 单位为度( $^{\circ}$ );

$h_0$ ——水平地震力作用线到基座顶面前缘的垂直距离, 单位为米(m);

$\alpha$ ——块体与基座接触面倾角, 单位为度( $^{\circ}$ );



$b$  ——后缘裂隙的延伸段下端到基座顶面前缘的水平距离(即块体与基座接触面长度的水平投影),单位为米(m)。

其余符号意义同前。

完全分离的倾倒式危岩倾倒稳定性可按式(E.9)计算。

附 录 F  
(规范性附录)  
崩塌运动学分析方法

崩塌运动学分析可采用下列方法(图 F.1、图 F.2):

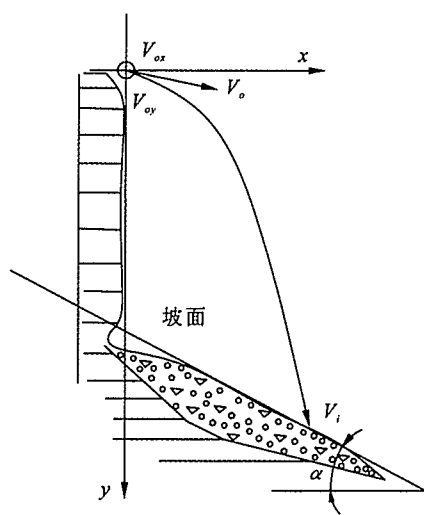


图 F.1 危岩崩落分析模型

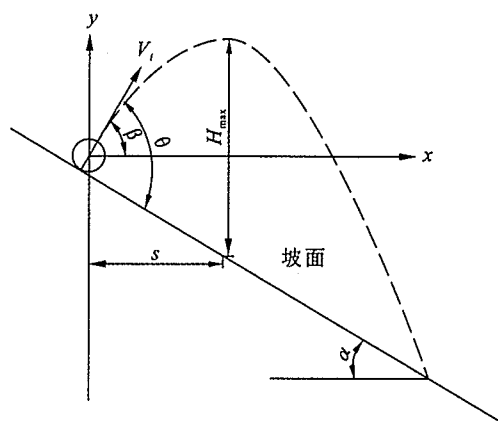


图 F.2 危岩弹跳分析模型

F.1 危岩最大弹跳高度由下式确定:

$$H_{\max} = s \cdot \tan \alpha + \frac{(V'_i \sin \beta)^2}{2g} \quad \text{..... (F.1)}$$

$$s = \frac{V'^2_i \sin \beta \cos \beta}{g} \quad \text{..... (F.2)}$$

$$V'_i = V_i \sqrt{(e_n \cos \alpha)^2 + (e_t \cos \alpha)^2} \quad \text{..... (F.3)}$$

$$V_i = \sqrt{V_{ox}^2 + (V_{oy} + gt)^2} \quad \text{..... (F.4)}$$

$$\beta = \theta - \alpha \quad \text{..... (F.5)}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{e_n}{e_t} \cot \alpha\right) \quad \text{..... (F.6)}$$

式中:

$H_{\max}$ ——危岩最大弹跳高度,单位为米(m);

$s$ ——危岩弹跳最高点距离起跳点的水平距离,单位为米(m);

$V'_i$ ——危岩碰撞坡面后的反弹速度,单位为米每秒(m/s);

$V_i$ ——危岩碰撞坡面的入射速度,单位为米每秒(m/s);

$V_{ox}$ ——危岩脱离母岩后沿  $x$  轴的初速度,单位为米每秒(m/s);

$V_{oy}$ ——危岩脱离母岩后沿  $y$  轴的初速度,单位为米每秒(m/s);

$g$ ——重力加速度,单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ );

- $t$ ——危岩系坠落时间,单位为秒(s),由坠落初速度及具体地形按自由落体的公式试算得出;  
 $e_n, e_t$ ——岩块法向回弹系数和切向回弹系数,由表 F.1 确定;  
 $\alpha$ ——斜坡坡角,单位为度( $^{\circ}$ );  
 $\beta$ ——危岩运动方向与水平面的夹角,单位为度( $^{\circ}$ );  
 $\theta$ ——危岩反弹方向与坡面的夹角,单位为度( $^{\circ}$ )。

表 F.1 岩块回弹系数

碰撞系数	地面岩性				
	硬岩	软岩	硬土	普通土	松土
法向回弹系数( $e_n$ )	0.40	0.35	0.30	0.26	0.22
切向回弹系数( $e_t$ )	0.86	0.84	0.81	0.75	0.65

F.2 危岩最大滚动距离由下式确定:

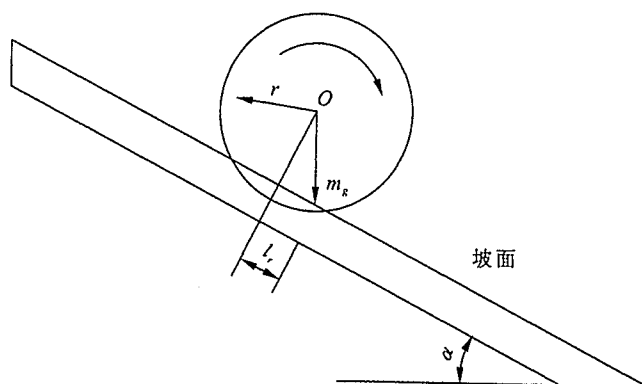


图 F.3 危岩滚动计算示意图

$$S_{\max} = 0.7 \times \frac{V'^2_{iu}}{g \cos \alpha (\tan \alpha - \tan \phi_d)} \quad \text{..... (F.7)}$$

$$V'_{iu} = e_t V_i \sin \alpha \quad \text{..... (F.8)}$$

$$\tan \phi_d = \frac{l_r}{r} \quad \text{..... (F.9)}$$

式中:

- $\tan \phi_d$ ——滚动摩擦系数,可由式(F.9)得出,也可按表 F.2 取经验值;  
 $V'_{iu}$ ——危岩碰撞坡面后沿坡面的反弹速度,即初始滚动速度,单位为米每秒(m/s);  
 $V_i$ ——危岩碰撞坡面的入射速度,单位为米每秒(m/s);  
 $e_t$ ——岩块切向回弹系数,由表 F.1 确定;  
 $r$ ——危岩的半径,单位为米(m);  
 $l_r$ ——危岩在坡面的支撑点距离重心在坡面法线方向上的距离,单位为米(m);  
 $S_{\max}$ ——危岩最大滚动距离,单位为米(m).  
 $\alpha$ ——坡角,单位为度( $^{\circ}$ )。

表 F.2 岩块滚动摩擦系数

坡面特征	滚动摩擦系数
光滑岩面、混凝土表面	0.30~0.60
软岩面、强风化硬岩面	0.40~0.60
块石堆积坡面	0.55~0.70
密实碎石堆积坡面、硬土坡面、植被(灌木丛为主)发育	0.55~0.85
密实碎石堆积坡面、硬土坡面、植被不发育或少量杂草	0.50~0.75
松散碎石坡面、软土坡面、植被(灌木丛为主)发育	0.50~0.85
软土坡面、植被不发育或少量杂草	0.50~0.85

## 附录 G

(规范性附录)

## 危岩崩塌后的冲击力计算

危岩崩塌后的最大冲击力( $P_{\max}$ )可按下列公式计算:

$$P_{\max} = \left[ \frac{4E_2}{3(1-\mu_2^2)} \sqrt{r_1} \right]^{\frac{2}{5}} \times \left[ \frac{2}{5} m_1 (e_n V_n)^2 \right]^{\frac{3}{5}} \quad \text{..... (G. 1)}$$

$$V_n = V_{oy} + gt \quad \text{..... (G. 2)}$$

式中:

$P_{\max}$ ——危岩崩塌后的最大冲击力,单位为牛(N);

$E_2$ ——受冲击体的弹性模量,单位为牛每平方米(N/m<sup>2</sup>);

$\mu_2$ ——受冲击体的泊松比;

$r_1$ ——危岩的半径,单位为米(m);

$m_1$ ——危岩的质量,单位为千克(kg);

$e_n$ ——危岩法向回弹系数,由表 F. 1 确定;

$V_n$ ——危岩碰撞坡面的法向入射速度,单位为米每秒(m/s);

$V_{oy}$ ——危岩脱离母岩后沿 y 轴的初速度,单位为米每秒(m/s);

$g$ ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s<sup>2</sup>);

$t$ ——危岩系坠落时间,单位为秒(s),由坠落初速度及具体地形按自由落体的公式试算得出。