



团 体 标 准

T/CSPSTC XXX-202X

## 花岗岩地区建筑边坡工程勘察规范

Specification for investigation of slope engineering in granite region

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 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、符号	1
4 基本规定	3
4.1 勘察基本要求	3
4.2 安全等级	3
4.3 勘察等级	5
4.4 风化岩及残积土的分类与鉴定	6
4.5 边坡岩体分级、岩体完整程度及结构类型的定性划分	7
5 勘察技术要求	9
5.1 通用要求	9
5.2 可行性研究勘察	10
5.3 初步勘察	10
5.4 详细勘察	11
6 勘察方法	13
6.1 通用要求	13
6.2 工程地质调查与测绘	13
6.3 水文地质调查	14
6.4 自然环境与人类活动调查	15
6.5 钻探	15
6.6 井探、槽探和洞探	16
6.7 工程物探	16
6.8 取样	16
6.9 原位测试与现场试验	16
6.10 室内试验	17
7 边坡岩土物理力学参数取值	18
7.1 通用要求	18
7.2 参数取值	18
8 边坡稳定性评价	21
8.1 通用要求	21
8.2 影响因素分析	22
8.3 分析评价方法	22
8.4 边坡防治	24
8.5 边坡监测	28
9 勘察报告	28
9.1 通用要求	28
9.2 报告要求	29
附录 A (资料性) 野外节理裂隙等结构面调绘记录、孤石特征野外调查与统计	31
附录 B (资料性) 断裂带、孤石、滑坡体、土岩分界面的工程物探方法选择	33
附录 C (资料性) 花岗岩类风化岩及残积土边坡变形破坏类型划分	34
附录 D (资料性) 花岗岩类岩质边坡变形破坏模式	35
附录 E (资料性) 花岗岩类土质边坡坡体结构类型与变形破坏模式	36
附录 G (资料性) 边坡稳定性定量分析(刚体极限平衡法)	40
附录 H (资料性) 边坡加固设计参数	45
参考文献	48
条文说明	48

## 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。

本文件由广东省重工建筑设计院有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：广东省重工建筑设计院有限公司等。

本文件主要起草人：林健、连长江等。

# 引 言

我国经济发展迅速，城市化进程高速发展，用地紧张、削坡多，常有削高填低现象，易形成不稳定的人工边坡，建设边坡工程失稳及次生灾害屡有发生，人民生命、财产损失巨大。据不完全统计，全国近年来每年均有边坡失稳案例，花岗岩类边坡失稳比例较大，边坡一旦出问题，涉及经济损失巨大、环境破坏严重，且会造成较大的不良社会影响。防止边坡失稳及次生灾害发生，保障人民生命、财产安全和环境保护，做好边坡防护成为全国迫切需要解决的问题，工程勘察提供边坡治理的第一手资料，规范化边坡工程勘察成为重中之重。

本文件针对花岗岩地区建筑边坡工程勘察实践中的技术问题，特别是花岗岩地区独有的技术问题，提出技术措施和要求，同时针对工程实践中出现的许多新的技术、材料和工艺，编制建筑边坡工程勘察技术标准，促进建筑边坡工程健康可持续发展。

# 花岗岩地区建筑边坡工程勘察规范

## 1 范围

本文件给出了花岗岩地区建筑边坡工程勘察的基本规定，规定了勘察技术要求、勘察方法、边坡岩土物理学参数取值、边坡稳定性评价、边坡工程勘察报告的要求。

本文件适用于花岗岩地区建筑工程开挖形成的人工边坡、基坑边坡，以及破坏后危及边坡周边环境安全的自然斜坡的岩土工程勘察。

本文件适用于花岗岩地区建设工程场地岩质边坡高度不大于 100 m、土质边坡高度不大于 50 m 的边坡工程勘察。对于边坡高度大于上述限定或地质和环境条件特别复杂的边坡工程，尚应进行专门论证。

## 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（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 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50026—2020 工程测量标准
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB/T 50218—2014 工程岩体分级标准
- GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
- GB 55017—2021 工程勘察通用规范
- JGJ/T 87 建筑工程地质勘探与取样技术规程
- NB/T 10513—2021 水电工程边坡工程地质勘察规程

## 3 术语和定义、符号

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**花岗岩地区** granite region

建筑场地基岩为花岗岩（含花岗混合岩、混合花岗岩等类花岗岩类岩石）的地区。

#### 3.1.2

**花岗岩类土质边坡** slope composed of soil weathered from granite

花岗岩类岩石风化形成的残（坡）积土、全风化、土状强风化为花岗岩类风化土，由其组成的边坡为花岗岩类土质边坡。

#### 3.1.3

**建筑边坡** building slope

在建（构）筑物场地及其周边、由于建（构）筑物和市政工程开挖或填筑施工所形成的人工边坡（含基坑边坡）和对建（构）筑物安全或稳定有不利影响的自然斜坡。

注：在本文件中的边坡系指花岗岩地区的建筑边坡。

#### 3.1.4

**边坡工程** slope engineering

对边坡所进行的工程勘察、设计、整治、检测、监测系列工作的活动。

#### 3.1.5

**边坡环境** slope environment

边坡影响范围内或影响边坡安全的岩土体、水系、建（构）筑物、道路及管网等的统称。

#### 3.1.6

**边坡地质环境** slope geological environment

边坡以及影响范围内或影响边坡安全的地形地貌、地质构造、工程地质条件、水文地质条件及现状

地质灾害发育情况等的统称。

3.1.7

**永久性边坡 permanent slope**

设计使用年限为2年及以上的边坡。

3.1.8

**临时性边坡 temporary slope**

设计使用年限不超过2年的边坡。

3.1.9

**不良地质作用 adverse geologic actions**

由地球内力或外力产生的对工程可能造成危害的地质作用。

3.1.10

**倾倒 topple**

陡倾逆向坡在重力作用下向临空一侧的弯曲折断。

3.1.11

**崩塌 fall**

自由崩塌、弹跳式下落和土或基岩碎块的滚落等。

3.1.12

**老滑坡 elder landslide**

全新世以来发生滑动，现今整体稳定的滑坡。

3.1.13

**孤石 solitary stone of weathering**

花岗岩土状风化带中，风化残留的似球形岩体。

3.1.14

**软弱结构面 weak structural plane**

断层破碎带、软弱夹层、含泥或岩屑等结合程度很差、抗剪强度极低的结构面。

3.1.15

**外倾结构面 out-dip structural plane**

倾向与坡向的夹角小于 $30^\circ$ 的结构面。

3.1.16

**反倾结构面 anti-dip structural plane**

倾向与坡向的夹角大于 $150^\circ$ 且小于 $180^\circ$ 的结构面。

3.1.17

**斜交结构面（切向结构面） oblique-crossing structural plane**

倾向与坡向的夹角大于 $30^\circ$ 且小于 $150^\circ$ 的结构面。

3.1.18

**陡倾结构面 steep-dip structural plane**

陡倾结构面系指其倾角为 $27^\circ \sim 75^\circ$ 的结构面。

3.1.19

**边坡滑塌区 landslide zone of slope**

计算边坡最大侧压力时潜在滑动面和控制边坡稳定的外倾结构面以外的区域。

3.1.20

**边坡滑塌影响范围 impact scope of slope slump**

边坡滑塌对周边环境造成影响的范围，边坡滑塌区在坡顶、坡脚外延一定距离。

3.1.21

**等效内摩擦角 equivalent angle of internal friction**

包括边坡岩土体黏聚力、重度和边坡高度等因素影响的综合内摩擦角。

3.1.22

**土壤入渗率 soil infiltration rate**

单位时间内通过土壤表面单位面积入渗的水量。

## 3.2 符号

下列符号适用于本文件。

### 3.2.1 岩土物理力学性质参数

- $c$ —黏聚力；
- $\gamma$ —岩土的重力密度；
- $\gamma_w$ —水的重力密度；
- $\gamma_m$ —岩土体等效重度；
- $\mu$ —摩擦系数；
- $\tau$ —抗剪强度；
- $\varphi$ —内摩擦角；
- $\varphi_{\text{岩土体等效}}$ ——岩土体的等效内摩擦角；
- $\varphi_{\text{结构面等效}}$ ——结构面的等效内摩擦角；
- $N$ —标准贯入试验实测锤击数。

### 3.2.2 几何参数

- $A$ —滑动面面积；
- $H$ —边坡高度；
- $H_{\text{自稳}}$ —边坡岩土体的垂直自稳高度；
- $L$ —潜在滑动面长度；
- $\alpha$ 、 $\theta$ —边坡坡角、潜在滑动面倾角、结构面倾角；
- $S$ —边坡滑塌影响范围。

### 3.2.3 作用和作用效应

- $N$ —作用在潜在滑动面上的法向力；
- $Q$ —作用在潜在滑动面上的重力；
- $T$ —作用在潜在滑动面的滑动力。

### 3.2.4 计算系数

- $F_S$ —边坡稳定系数；
- $F_{st}$ —边坡稳定安全系数；
- $K$ —安全系数；
- $\psi$ —传递系数。

## 4 基本规定

### 4.1 勘察基本要求

4.1.1 边坡工程勘察应按工程建设勘察阶段的要求，进行策划、实施，选择适宜的勘察方法，勘察成果反映边坡工程地质和水文地质条件，查明不良地质作用和地质灾害，提出评价合理、结论可靠、建议可行的勘察报告。

4.1.2 边坡工程勘察宜在数字化建设基础上使用勘察信息平台系统，实现勘察作业、成果制作和后期服务的全流程信息化管理，勘察成果鼓励采用三维BIM地质模型。

### 4.2 安全等级

4.2.1 边坡工程安全等级应按表 1 确定。

表1 边坡工程安全等级

边坡类型与级别		边坡高度 (H) m	破坏等级	安全等级
岩质边坡	岩体级别为 I 类或 II 类	$60 < H \leq 100$	很严重	特级
		$50 < H \leq 60$	很严重	一级
		$30 < H \leq 50$	很严重	一级
			严重	二级
		$H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
	不严重		三级	
	岩体级别为 III 类或 IV 类	$H > 50$	很严重	特级
		$30 < H \leq 50$	很严重	一级
			严重	二级
		$15 < H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
$H \leq 15$		很严重	一级	
	严重	二级		
	不严重	三级		
岩体级别为 V 类或土质边坡		$30 < H \leq 50$	很严重	特级
		$15 < H \leq 30$	很严重	一级
		$10 < H \leq 15$	很严重	一级
			严重	二级
		$H \leq 10$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级
边坡工程可根据实际情况分段采用不同的安全等级； 很严重：造成重大人员伤亡或财产损失（边坡滑塌影响范围内存在重要的保护对象；或者边坡滑塌影响范围内人流或车辆密集；或者边坡破坏社会环境影响大；或边坡治理难度很大）； 严重：可能造成人员伤亡或财产损失（很严重与不严重以外的其他情况）； 不严重：可能造成财产损失（边坡滑塌影响范围内不存在重要的保护对象）； 对于土岩复合边坡，宜按边坡岩体类型的具体情况进行综合分级，且不应低于同等高度的岩质边坡				

4.2.2 边坡滑塌影响范围(S)应根据现场坡高、坡度、边坡岩土体性质综合确定。对于不存在软弱层、滑坡的土质边坡以及无外倾结构面的岩质边坡(包括坡顶无建筑荷载的永久性岩质边坡和坡顶有建筑荷载的临时岩质边坡和基坑岩质边坡)，边坡滑塌影响范围(S)可按下列公式估算。

$$S=L_1+L_2 \quad (1)$$

$$L_1=\eta H/\tan\theta \quad (2)$$

$$L_2=[2H/(2H+L)]H \quad (3)$$

式中：

$S$ ——边坡滑塌影响范围，单位为米(m)；

$H$ ——边坡高度，单位为米(m)；

$L$ ——边坡对应坡高的水平距离，单位为米(m)，对人工边坡按照设计边坡对应坡高的水平距离与处理前自然边坡对应坡高的水平距离的大值；对直立边坡 $L=0$ ；

$L_1$ ——边坡坡脚以上的滑塌区影响区域，单位为米(m)；

$L_2$ ——边坡坡脚处滑塌影响区域，单位为米(m)，对于危岩体、泥石流或滑坡区域的坡脚影响范围，应根据实际情况确定；

$\theta$ ——坡顶水平、无荷载时边坡岩土体的破裂角，可取 $45^\circ + \varphi/2$ ， $\varphi$ 为岩体或土体的内摩擦角，当边坡岩土体由多个岩土层组成时， $\theta$ 取影响范围最大的那个角度；

$\eta$ ——边坡坡脚以上影响范围修正系数，可取 2~3，对于土层黏聚力小、边坡高度大或者坡顶以上为斜坡地带，应取大值；对于边坡高度小且坡顶平缓取小值。

对于稳定性由外倾结构面控制的岩质边坡，边坡滑塌影响范围可参考上式计算，此时的边坡破裂角 ( $\theta$ ) 取结构面倾角。

对于存在老滑坡土层及易发展形成泥石流的边坡，其滑塌影响范围 ( $S$ ) 应根据边坡的高度、岩土体性质、边坡坡度、边坡周边地形地貌情况等综合确定。

边坡滑塌影响范围见图1。

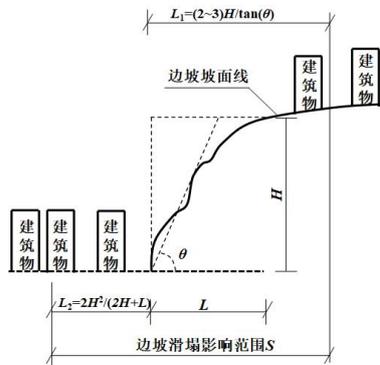


图1 边坡滑塌影响范围示意图

### 4.3 勘察等级

#### 4.3.1 边坡地质环境复杂程度可按表2判别。

表2 边坡地质环境复杂程度

判定因素	复杂	中等复杂	简单
地形和地貌类型	地形起伏变化大，地形坡度 $>30^\circ$ ；自然陡坡高度岩坡 $>30\text{ m}$ ，土坡 $>15\text{ m}$ ；地貌类型复杂，坡面破碎不连续	简单与复杂以外的其他情况	地形起伏变化小，坡面平整，地形坡度 $<15^\circ$ ；自然陡坡高度岩坡 $<15\text{ m}$ ，土坡 $<10\text{ m}$ ；地貌类型简单，坡面平整
地质构造	地质构造复杂，裂隙多于3组，且延伸长度超过 $15\text{ m}$ ，张开或夹泥，岩体结构面组合属不稳定类型	简单与复杂以外的其他情况	地质构造简单，裂隙少于2组，延伸长度小于 $10\text{ m}$ ，闭合，岩体结构面组合属稳定类型
岩土组成	岩土种类多于3种，性质变化大	简单与复杂以外的其他情况	岩土种类单一，性质均一
水文地质条件	具2层及以上含水层；存在构造裂隙水；富水性中等及以上；影响整个潜在滑移面的抗剪强度；周边江、湖等水体的水位变动对拟建边坡稳定有重大影响，汇水面积超过 $50\text{万 m}^2$	简单与复杂以外的其他情况	无地下水；拟建边坡影响范围内不存在江、湖等水体，汇水面积小于 $10\text{万 m}^2$
不良地质作用或地质灾害	坡面危岩、崩塌、滑坡、塌陷等不良地质作用或地质灾害普遍存在，直接威胁工程安全	简单与复杂以外的其他情况	场地及周边范围无不良地质作用或地质灾害
<p>地质环境复杂程度应由复杂向简单推定，有任两项首先满足该等级标准时，地质环境复杂程度即为该等级。            自然陡坡系指坡度<math>\geq 35^\circ</math>的自然土坡或坡度<math>\geq 60^\circ</math>的自然岩坡。            同一边坡工程的不同地段，可根据高度等情况划分不同的地质环境复杂程度等级。            对岩土混合边坡高度等级，可分别在对土质边坡、岩质边坡以及岩土接触面进行评价基础上确定。            边坡岩土体存在软硬相间岩层、结构面外倾等不利条件时，应进行专门研究</p>			

4.3.2 边坡工程勘察等级应根据边坡工程安全等级和地质环境复杂程度按表 3 划分。

表 3 边坡工程勘察等级

边坡工程安全等级	边坡地质环境复杂程度		
	复杂	中等复杂	简单
特级	特级	特级	一级
一级	一级	一级	二级
二级	一级	二级	二级
三级	二级	三级	三级

#### 4.4 风化岩及残积土的分类与鉴定

4.4.1 岩石坚硬程度、岩体完整程度和岩体基本质量等级的划分应执行 GB 50021 及 GB/T 50218 的相关规定。

4.4.2 岩石风化程度可按表 4 确定。

表 4 岩石风化程度的划分

风化程度	野外特征	风化层度参数指标	
		波速比 ( $K_v$ )	风化系数 ( $K_f$ )
未风化	岩质新鲜, 偶见风化痕迹	0.9~1.0	0.9~1.0
微风化	结构基本未变, 仅节理面有渲染或略有变色, 有少量风化裂隙	0.8~0.9	0.8~0.9
中等风化	结构部分破坏, 沿节理面有次生矿物, 风化裂隙发育, 岩体被切割成岩块。用镐难挖, 岩芯钻方可钻进	0.6~0.8	0.4~0.8
强风化	结构大部分破坏, 矿物成分显著变化, 风化裂隙很发育, 岩体破碎。用镐可挖, 干钻不易钻进	0.4~0.6	<0.4
全风化	结构基本破坏, 已风化成土状, 但尚可辨认, 有残余结构强度。可用镐挖, 干钻可钻进	0.2~0.4	
残积土	组织结构全部破坏, 已风化成土状, 锹镐易挖掘, 干钻易钻进, 具可塑性	<0.2	

对于花岗岩类的岩石风化带残积土~强风化, 可采用实测标准贯入击数  $N'$  划分,  $N' \geq 70$  为强风化;  $70 > N' \geq 40$  为全风化;  $N' < 40$  为残积土。  
强风化带应进一步划分为土状强风化、碎块状强风化 2 类

4.4.3 花岗岩类残积土应据含砾或含砂量定名为黏性土(不含粒径大于 2 mm 颗粒者)、砂质黏性土(大于 2 mm 颗粒含量不超过总质量的 20%者)、砾质黏性土(大于 2 mm 颗粒含量超过总质量的 20%者)。

## 4.5 边坡岩体分级、岩体完整程度及结构类型的定性划分

4.5.1 边坡工程勘察应根据岩石坚硬程度、岩体完整性程度、地下水发育情况进行边坡岩体级别划分，并按表5确定。

表5 边坡岩体分级

边坡岩体级别	岩体基本质量的定性特征	边坡工程岩体质量指标 ([BQ])
I	微风化-未风化，岩体完整	>550
II	微风化-未风化，岩体较完整 中等风化，岩体完整	550~451
III	微风化，岩体较破碎 中等风化，岩体较完整	450~351
IV	中等风化，岩体较破碎~破碎 碎块状强风化，破碎	350~251
V	碎块状强风化，岩体极破碎 土状强风化，按土进行边坡稳定性评价	≤250

4.5.2 边坡工程岩体质量指标[BQ]，可按下列公式计算。其修正系数 $\lambda$ 、 $K_1$ 和 $K_2$ 值，可分别按表6、表7、表8确定。

$$[BQ]=BQ-100 \cdot (K_1+\lambda K_2) \quad (4)$$

$$BQ=100+3R_c+250K_v \quad (5)$$

$$K_2=F_1 \times F_2 \times F_3 \quad (6)$$

式中：

$\lambda$ ——边坡工程主要结构面类型与延伸性修正系数；

$K_1$ ——边坡工程地下水影响修正系数；

$K_2$ ——边坡工程主要结构面产状影响修正系数；

$F_1$ ——反映主要结构面倾向与边坡倾向间关系影响的系数；

$F_2$ ——反映主要结构面倾角影响的系数；

$F_3$ ——反映边坡倾角与主要结构面倾角间关系影响的系数。

$BQ$ ——岩体基本质量指标；

$R_c$ ——岩石饱和单轴抗压强度，单位为兆帕 (MPa)；

$K_v$ ——岩体完整性指数，按GB/T 50218方法确定。

表6 边坡工程主要结构面类型与延伸性修正系数 $\lambda$ 

结构面类型与延伸性	修正系数 $\lambda$
断层、夹泥层	1.0~0.9
贯通性较好的节理和裂隙	0.9~0.8
断续节理和裂隙	0.7~0.5

表7 边坡工程地下水影响修正系数  $K_1$ 

边坡地下水发育程度	$BQ$				
	>550	550~451	450~351	350~251	≤250
潮湿或点滴状出水, $p_w \leq 0.2H$	0	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6
线流状出水, $0.2H < p_w \leq 0.5H$	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.9
涌流状出水, $p_w > 0.5H$	0.1~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.9	0.9~1.0

注1:  $p_w$ 为边坡内潜水或承压水头(m)。  
注2:  $H$ 为边坡高度(m)。  
注3: 本表与GB/T 50218—2014表5.3.2-2相比,调整了修正系数的区间范围,避免了系数不连续情况。

表8 边坡工程主要结构面产状影响修正

序号	条件与修正系数	影响程度				
		轻微	较小	中等	显著	很显著
1	结构面与边坡坡面倾向间的夹角/ $^\circ$	>30	30~20	20~10	10~5	≤5
	$F_1$	0~0.15	0.15~0.4	0.4~0.7	0.7~0.85	0.85~1.0
2	结构面倾角/ $^\circ$	<20	20~30	30~35	35~45	≥45
	$F_2$	0~0.15	0.15~0.4	0.4~0.7	0.7~0.85	0.85~1.0
3	结构面倾角与边坡坡面倾角之差/ $^\circ$	>10	10~0	0	0~-10	≤-10
	$F_3$	0	0~0.2	0.2~0.8	0.8~2.0	2.0~2.5

注1: 表中负值表示结构面倾角小于坡面倾角,在坡面出露。  
注2: 本表与GB/T 50218—2014中表5.3.2-3相比,调整了修正系数的区间范围,避免了系数不连续情况。

4.5.3 当边坡岩体由不同等级的岩体互层组成且每层厚度小于或等于5m的岩体组成时,视为由低级别岩体组成的边坡。当边坡岩体由两层以上单层厚度大于5m的岩体组成时,可分段确定边坡岩体类型。

4.5.4 岩体完整程度及结构类型的定性划分应符合表9的规定。

表9 岩体完整程度及结构类型的定性划分

名称	结构面发育程度			主要结构面的结合程度	主要结构面类型	$RQD$ 值 %	岩体完整性指数	相应结构类型
	组数	平均间距 m	节理(结构面)发育程度					
完整	1~2	>1.0	不发育	结合好或结合一般	节理、裂隙	>90	>0.75	整体状结构
较完整	1~2	>1.0		结合差				块状结构
	较破碎	2~3	1.0~0.4	较发育	结合好或结合一般	节理、裂隙、小断层、岩脉	75~90	0.75~0.55
2~3		1.0~0.4	结合差		裂隙块状结构			
破碎	≥3	0.4~0.2	发育	结合好	各种类型结构面	50~75	0.55~0.35	镶嵌碎裂结构
		≤0.2		结合一般				裂隙块状结构
极破碎	无序	0.4~0.2	极发育	结合差		25~50	0.35~0.15	裂隙块状结构
		≤0.2		结合一般或结合差				碎裂结构
极破碎	无序			结合很差		<25	≤0.15	散体状结构

注: 平均间距指主要结构面间距的平均值。

## 5 勘察技术要求

### 5.1 通用要求

5.1.1 边坡工程勘察阶段应与建筑场地的岩土勘察阶段相适应，边坡专项勘察时，可分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察三个阶段。对于勘察等级为二级且无特殊要求的边坡工程，根据实际情况可直接进行详细勘察；勘察等级为一级且地质环境复杂的边坡工程宜分初步勘察、详细勘察二阶段勘察；对于勘察等级为特级的边坡工程尚宜进行可行性研究勘察；当地质环境复杂、施工过程中发现地质环境与原勘察资料变化较大且可能影响边坡治理效果时应进行施工勘察。

注：施工勘察不单独作为一个独立的勘察阶段，视工程的必要性决定是否进行。

5.1.2 边坡工程各勘察阶段应符合下列要求。

- a) 可行性研究阶段勘察在充分搜集和分析已有资料的基础上，通过现场工程地质调绘，初步确定场地地层、构造、岩性、不良地质作用或地质灾害和地下水等工程地质条件，对拟建场地的稳定性和适宜性做出评价。
- b) 初步勘察应搜集地质资料，进行工程地质测绘、适量的勘探和室内试验，初步查明场地周边环境、地形地貌、地质构造、边坡岩土体分布及工程特性、地下水埋藏条件，初步查明不良地质作用或地质灾害的分布、规模和发展趋势，初步评价边坡的稳定性。
- c) 详细勘察应对边坡及相邻地段进行工程地质测绘、勘探、试验、观测和分析计算，查明场地周边环境、地形地貌、地质构造、边坡岩土体分布及工程特性、主要结构面特征、地下水埋藏和补给径流排泄条件，查明不良地质作用或地质灾害的范围、性质和发展趋势，评价边坡的稳定性，并对可能失稳的边坡提出治理措施的建议。
- d) 施工勘察应配合施工开挖进行地质编录、核对、补充前阶段勘察的资料，也可采用工程地质测绘辅以少量钻探、物探、测试以及室内试验等工作；判定开挖后不稳定区域的破坏模式，必要时计算、反演设计所需的岩土抗剪强度指标；调查已形成边坡的稳定性，标绘出潜在不稳定坡段并预测变形发展趋势；并应提出治理措施和监测建议，必要时进行施工安全预报。

5.1.3 边坡工程勘察在策划时应开展现场踏勘、编制勘察纲要，宜取得下列资料：

- a) 附有坐标和地形的拟建边坡支挡结构的总平面图。
- b) 边坡高度、坡底高程和边坡平面尺寸。
- c) 拟建场地的整平标高和挖方、填方情况。
- d) 拟建支挡结构的性质、结构特点及拟采用的基础形式、尺寸和埋置深度。
- e) 边坡滑塌区影响范围内的建（构）筑物的相关资料。
- f) 边坡位置与拟建工程的关系。
- g) 边坡工程区域的相关气象资料，包括场地区域最大暴雨强度和二十年一遇及五十年一遇最大降水量；
- h) 河湖历史最高水位和二十年一遇及五十年一遇的水位资料；可能影响边坡水文地质条件的工业和市政管线、江河等水源因素，以及相关水库水位调度方案资料。
- i) 收集能满足汇水面积、排水坡度、长度计算的场地现状地形图。
- j) 边坡周围山洪、冲沟和河流冲淤等情况。
- k) 历史地震资料。
- l) 对已经治理过的既有边坡勘察时，尚应收集支护的结构形式、尺寸（含挡墙尺寸、锚杆长度及分布、抗滑桩长度与直径及分布等）、使用时间与有效性等。

注：本条详细勘察时严格执行，可行性研究勘察、初步勘察、施工勘察参考执行。

5.1.4 边坡工程勘察范围应包括坡面区域和坡面外围一定的区域，勘察范围不应小于边坡滑塌影响范围。当边坡工程勘探范围之外的自然斜坡分布危岩（石）并对边坡工程构成危害的，应提出对危岩（石）开展专门勘察的建议。

5.1.5 初步勘察阶段、详细勘察阶段的勘探线、勘探点的布置，应符合下列规定：

- a) 具有代表性地段应布置勘探线，勘探线应以垂直边坡走向或平行主滑方向为主；
- b) 设置支挡结构的地段应布置勘探线；
- c) 成图比例尺应大于或等于 1:500，剖面的纵横比例应相同。

5.1.6 拟建工程场地或其附近存在对工程安全有影响的滑坡时，应进行专门的滑坡防治工程勘察。滑坡防治工程勘察应根据工程特点按 GB/T 32864 执行。

5.1.7 边坡工程勘察中的探井、浅井、探坑和探槽应及时用原土封填密实；除用于埋设监测设备钻孔

外，其他的钻孔应及时封堵，封堵宜采用水泥浆或水泥砂浆灌满。

5.1.8 勘探、取样和原位测试、室内试验等的原始记录、影像资料和工程勘察报告均应归档保存，并应可追溯。

5.1.9 勘探、取样、测试和试验仪器设备应保持正常使用状态。测试和试验仪器应在标定的有效期内使用。

5.1.10 勘察单位应参与施工验槽，检验开挖揭露的地质条件与工程勘察报告的一致性。如有异常情况，应提出处理措施或修改设计的建议。

5.1.11 边坡工程勘察纲要内容应符合 GB 55017 的规定。

## 5.2 可行性研究勘察

5.2.1 可行性研究勘察，应对边坡整体稳定性进行定性评价、对拟建场地的稳定性和适宜性做出评价，应进行下列工作：

- a) 搜集区域地质、地震、气象、水文资料、航片、卫片等；
- b) 搜集场地工程地质、水文地质资料等；
- c) 现场踏勘调查边坡地层、岩性、边坡特征及地下水等工程地质、水文地质条件；
- d) 勘察等级为特级的边坡工程应布置控制性勘探孔，对影响边坡稳定的断裂、古（老）滑坡等辅以必要的物探工作；
- e) 收集类似边坡的工程设计及治理经验；
- f) 评价人工边坡对周围环境的影响；
- g) 提出建设措施建议。

5.2.2 当场地工程地质条件复杂、搜集资料不能满足要求时，应根据工程情况进行地质调查和物探、钻探、井探或槽探工作，采集样品进行室内试验。

## 5.3 初步勘察

5.3.1 初步勘察应为场地边坡初步设计提供依据，应对边坡整体稳定性和局部稳定性进行评价，应进行下列工作：

- a) 搜集场地工程地质、水文地质资料；
- b) 进行工程地质测绘及勘探、测试和试验工作，对影响边坡稳定的断裂、古（老）滑坡等辅以必要的物探工作；
- c) 初步查明场地工程地质、水文地质条件；
- d) 初步评估边坡开挖岩土体的土石比及岩土施工工程分级；
- e) 提供初步设计所需的岩土参数，定性、定量评价边坡稳定性；
- f) 评估工程活动对边坡稳定性的影响；
- g) 提出边坡治理设计方案建议。

5.3.2 初步查明工程地质、水文地质条件，应包括下列内容：

- a) 边坡分类、高度、坡度、形态、坡顶高程、坡底高程、边坡平面尺寸（当边坡工程概况较明确时）；
- b) 场地地形和地貌单元；
- c) 场地岩土种类，成因，类型、覆盖层厚度、岩石风化程度、岩体完整程度；
- d) 场地地质构造、结构面，特别是软弱结构面的分布、类型、产状、发育特征、充填状况、组合关系、与临空面关系等；
- e) 岩体、土体的物理力学性质；
- f) 不良地质作用或地质灾害的分布范围和性质及对边坡稳定性的影响；
- g) 坡顶存在建（构）筑物时，应调查建（构）筑物荷载、结构形式、基础形式及埋深，地下设施分布和埋深等。
- h) 地区气象条件，汇水面积，坡面植被，地表水对坡面、坡脚的冲刷情况；
- i) 调查地下水的类型、水位、变化幅度及补、径、排条件，地下水出露情况；
- j) 土和水对建筑材料的腐蚀性；
- k) 分析场地水文地质条件与地形、岩性、地质构造之间的联系。

5.3.3 初步勘察的工作量布置应符合下列规定。

- a) 勘探线勘探点的布置：

- 1) 勘探线应垂直边坡走向布置，勘探线间距应根据边坡工程勘察等级和边坡物质组成按表 10 确定；

表 10 勘探线间距

单位为米

边坡工程勘察等级	土质边坡	岩质边坡
特级、一级	20~40	40~80
二级	40~60	60~120
三级	60~80	100~200

- 2) 每一单独边坡段不应少于 1 条勘探线，每条勘探线不宜少于 2 个勘探点。
- 3) 勘探点宜分别在坡顶、坡腰、坡脚至少布置 1 个点，边坡工程安全等级为一级、特级的边坡，可在坡腰上增加 2~3 个勘探点。
- 4) 控制性钻孔应为勘探钻孔总数的 1/5~1/3。
- 5) 勘探线、勘探点的布置，应满足边坡治理工程的需要。
- 6) 对因地形条件难于布置钻孔且已开挖显示为全岩质等特殊条件的边坡，可采用物探、地质调绘等勘察手段进行勘察。
- b) 勘探点深度：
- 1) 边坡勘探点的深度应穿过最下层潜在滑动面进入稳定层 5 m~10m，控制性钻孔取大值，一般性钻孔取小值。
- 2) 岩质边坡和土岩混合边坡，勘探点深度应进入连续较完整的中、微风化岩不小于 8 m。
- 3) 预定深度内遇见软弱层或不利结构面时，应加深至能够查明软弱夹层或不利结构面埋藏深度及空间分布情况；
- 4) 预定深度内遇到岩石且有可能为孤石时，应加深钻孔至能准确判别。
- c) 原位测试及水文地质试验：
- 1) 技术孔中应进行标贯测试，当钻孔揭露强风化带时尚应进行重型动力触探测试，技术孔数量不应少于总钻孔数量的 1/2。
- 2) 每场地应布置不少于 1 个波速测试孔。
- 3) 若边坡中布置钢制锚杆（索）等地下钢结构时，宜布置不少于 1 个电阻率测试孔。
- 4) 勘察等级为一级、特级的类土质边坡应进行现场地表入渗试验，每地表土层试验数量不宜少于 1 组。
- 5) 勘察等级为一级、特级的边坡宜进行孔内电视测试工作，每场地不宜少于 1 个孔。
- d) 在技术孔中采取岩土试样，岩土试样及水试样的数量应符合下列规定：
- 1) 采取岩土试样的技术孔不少于 1/2。
- 2) 软弱面（带）土应取不扰动土试样。
- 3) 每个场地每含水层水试样数量不应少于 1 组，场地附近存在地表水时应采取地表水试样；
- 4) 对地下水位以上土层采取扰动土样进行易溶盐分析，每主要土层不少于 1 件；
- 5) 若边坡开挖的岩土体作为工程建筑材料使用时，应单独取样进行测试，具体取样数量、要求按相关标准执行。

## 5.4 详细勘察

5.4.1 详细勘察应为边坡治理设计、维护管理及监测提供依据，对边坡整体稳定性和局部稳定性进行定量评价，应进行下列工作：

- 查明边坡工程地质环境条件，确定边坡类型及可能破坏形式；
- 确定边坡潜在滑动面的位置，提供边坡治理设计所需的岩土工程参数；
- 评估边坡开挖岩土体的土石比及岩土施工过程分级；
- 分析评价边坡稳定性，提出稳定性结论；
- 提出边坡工程治理和监测方案建议。

5.4.2 查明工程地质、水文地质条件，应包括下列内容：

- 边坡分类、高度、坡度、形态、坡顶高程、坡底高程、边坡平面尺寸；
- 勘察区地质构造、地形和地貌特征，边坡基岩面的形态和坡度；

- c) 岩土类型、成因、性质及分布，岩石风化和完整程度；
  - d) 岩体、土体的物理力学性质，岩质边坡的岩体分类、结构面的抗剪强度等边坡治理设计与施工所需的岩土参数；
  - e) 岩土体主要结构面的类型、产状、发育程度、延展情况、贯通程度、闭合程度、充填状况、充水状况、组合关系、力学属性及其与临空面的关系；
  - f) 地下水的类型、水位、主要含水层的分布情况、变化幅度及与地表水体的关系、岩体和软弱结构面中的地下水情况、岩土的透水性和地下水的出露情况、地下水对边坡稳定性的影响以及地下水控制措施建议；
  - g) 不良地质作用或地质灾害的范围、成因、性质、发展趋势，判定其对边坡稳定性的影响；
  - h) 判定水、土对支挡结构材料的腐蚀性。
- 5.4.3 详细勘察的勘探工作量布置应符合下列规定。

a) 勘探线勘探点的布置。

- 1) 勘探线、勘探点应在初步勘察的基础上加密，增加的数量应符合确定失稳和潜在失稳边界条件的要求，勘探线、勘探点间距可根据表 11 确定。

表 11 勘探线、勘探点间距

单位为米

边坡工程安全等级	勘探线间距	勘探点间距
一级、特级	≤20	≤15
二级	20~30	15~20
三级	30~40	20~25

- 2) 每一单独边坡段勘探线不应少于 2 条、特级边坡不应少于 3 条；勘探点宜分别在坡顶、坡腰、坡脚布置，且每条勘探线不应少于 3 个勘探点。
  - 3) 市政及轨道交通工程边坡应在代表性的区段布设工程地质横断面，每一边坡不宜少于 2 条横勘探线，每条横断面上的勘探点不应少于 2 个。
  - 4) 控制性勘探点应占勘探点总数的 1/3~1/2，地质环境条件简单、大型的边坡工程，控制性勘探点占比可按 1/3 取值，地质环境条件复杂、小型的边坡工程控制性勘探点占比应按 1/2 取值，每条勘探线均应有控制性勘探点。
  - 5) 对因地形条件难于布设钻孔且已开挖显示为全岩质等特殊条件的边坡，可采用物探、地质调绘等勘察手段进行勘察。
- b) 勘探点深度：
- 1) 边坡勘探点的深度应穿过最下层潜在滑动面进入稳定层 5 m~10 m，岩质边坡和土岩混合边坡，勘探点深度应进入连续较完整的中、微风化岩 5 m~8 m，控制性钻孔取大值，一般性钻孔取小值。
  - 2) 支挡位置的控制性勘探点深度应根据可能选择的支护结构型式确定：对于重力式挡墙、扶壁式挡墙，应沿挡土墙基底中心线布置勘探线，勘探点深度应进入持力层不宜小于 5 m；对于悬臂桩支护，勘探点进入嵌固段的深度，土质时不宜小于悬臂长度的 1.5 倍，岩质时不宜小于悬臂长度的 1.0 倍；对于锚杆（索），在布置锚杆（索）范围内，均应有勘探点控制，勘探点深度应穿过拟布置锚索对应的最低标高不少于 5 m；对于抗滑桩，沿抗滑桩中心线布置勘探线，当抗滑桩采用人工挖孔施工时，应进行一桩一钻的超前钻勘察，勘探点深度应穿过拟布置抗滑桩桩底不少于 5 m；对可能有多种支护型式时，应根据勘探点深度要求最深的方案确定。
  - 3) 预定深度内遇见软弱层或不利结构面时，应加深至能够查明软弱夹层或不利结构面埋藏深度及空间分布情况。
  - 4) 预定深度内遇到岩石且有可能为孤石时，应加深钻孔至能准确判别。
- c) 原位测试及水文地质试验（试验数量含初步勘察阶段等前期采取的试样数量）：
- 1) 技术孔中应进行标贯测试，当钻孔揭露强风化带时尚应进行重型动力触探测试，技术孔数量不应少于总钻孔数量的 1/2。
  - 2) 每场地应布置不少于 3 个波速测试孔。

- 3) 若边坡中布置钢制锚杆(索)等地下钢结构时,宜布置不少于2个电阻率测试孔。
  - 4) 勘察等级为特级、一级的边坡,软弱结构面、边坡主要土体宜进行现场原位剪切试验,且不宜少于3组。
  - 5) 勘察等级为一级、特级的类土质边坡应进行现场地表入渗试验,每地表土层试验数量不宜少于3组。
  - 6) 勘察等级为特级、一级的边坡宜进行孔内电视测试工作,每场地不宜少于3个孔。
  - 7) 宜进行水文地质测试并提供水文地质参数。对于土质边坡及碎裂结构的岩质边坡,在不影响边坡安全条件下宜通过注水试验、抽水试验、压水试验或渗水试验确定岩土层渗透系数。
- d) 在技术孔中采取岩土试样,岩土试样及水试样的数量符合下列规定(含初步勘察阶段等前期采取的试样数量):
- 1) 边坡坡体以土体为主时,每一主要土层的不扰动土样数量不应少于6件,并保证主要力学指标有效统计数不少于6个;边坡坡体较大部分为岩体时,岩石抗压强度不应少于9组试样,岩石抗剪强度不应少于3组,对于一级、特级勘察岩石抗剪强度尚不应少于6组。
  - 2) 软弱面(带)土应取不扰动土试样,对勘察等级为特级、一级、二级的边坡工程,每一软弱面(带)的试样数量不宜少于6件,并保证主要力学指标有效统计数不少于6个。
  - 3) 每个场地每含水层水试样数量不应少于2组,场地附近存在地表水时应采取地表水试样;
  - 4) 对地下水位以上土层采取扰动土样进行易溶盐分析,每主要土层不少于2件;
  - 5) 若边坡开挖的岩土体作为工程建筑材料使用时,应单独取样进行测试,具体取样数量、要求按相关标准执行。

## 6 勘察方法

### 6.1 通用要求

6.1.1 边坡工程勘察应先进行工程地质调查与测绘、水文地质调查、人类活动调查工作,测绘和调查工作应查明边坡的形态、坡角、结构面产状和性质以及周边地面环境条件等,必要时重新进行边坡地形测绘、设计断面位置测量工作,测绘和调查范围应包括可能对边坡稳定有影响及受边坡影响的所有地段。

6.1.2 边坡工程的勘探方法应根据勘察等级、勘察阶段、勘察目的及边坡工程地质条件确定,勘察方法以钻探为主,同时可辅以井探、槽探、洞探和工程物探。勘察等级为一级、特级的边坡勘探可辅以孔内电视测试。边坡工程勘探方法可参考表12执行。

表12 勘探方法选择参考表

勘察等级	勘察阶段		
	可行性研究勘察	初步勘察	详细勘察
特级	收集资料,调查、测绘,布置少量控制性勘探点	收集资料,调查、测绘,布置一定数量勘探点(包括钻探、井探、槽探等),并应布置原位测试、取样进行室内试验,必要的孔内电视测试、物探工作	收集资料,调查、测绘,布置足够数量勘探点(包括钻探、井探、槽探等),并应布置原位测试、取样进行室内试验,技术孔孔均应布置标准贯入或动力触探试验。必要时进行孔内电视测试、岩土参数反演分析、水文地质试验、物探工作
一级			
二级			收集资料,调查、测绘,布置足够数量勘探点,并应布置原位测试、取样进行室内试验,每个钻孔均应布置标准贯入或动力触探试验,必要的物探工作
三级			

6.1.3 对断裂带、孤石发育区、老滑坡宜采用钻探结合工程地质测绘、物探的方法进行综合勘察。

6.1.4 安全等级为一级、特级的边坡工程,可根据工程要求进行数值模拟分析。

6.1.5 原位测试和室内试验方法要求及评价应符合 GB 50021、GB/T 50123 和 GB/T 50266 的相关规定。

### 6.2 工程地质调查与测绘

6.2.1 工程地质调查与测绘的范围应视场地地质环境特点、工程需要而定,一般不宜小于边坡滑塌影响范围线,且包含各种地质界线。

6.2.2 工程地质调查与测绘的方法选用应以界线追踪法、露头标绘法为主，线路穿越法为辅，并应符合下列规定：

- a) 线路穿越法测线应垂直于断层走向构造线方向布置；
- b) 界线追踪法应沿地质界线、不连续面和构造形迹等布置，进行追踪测绘；
- c) 露头标绘法，在第四系大部分覆盖区，应将所有露头观察成果和已有地质资料绘制于测绘底图上，地质界线应采用内插法处理，成图应与实际依据区分表示。

6.2.3 工程地质调查与测绘的地质观测点布置符合下列规定：

- a) 对工程有影响的地质构造线、不良地质体分界线、地质灾害体及环境破坏的边界线等各种地质界线和主要结构面上宜布置地质观测点；
- b) 地质观测点的密度宜根据场地地形、地貌、地质条件、成图比例尺及工程特点等因素综合确定；
- c) 地质观测点应利用天然和人工露头，当无露头时，宜布置探井、探槽或探洞。

6.2.4 工程地质调查与测绘的地质观测点定位宜采用仪器法。

6.2.5 地质界线、地质观测点测绘精度在图上的尺寸允许偏差应为 $\pm 2$  mm。

6.2.6 工程地质调查与测绘应包括下列内容。

- a) 调查分析边坡场地的地形、地貌特征、地层、构造与不良地质作用和地质灾害的关系。
- b) 调查边坡场地的岩土年代、成因、性质及分布。
- c) 调查边坡场地滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、活动断裂和地震以及边坡场地的地表水和冲沟发育情况，并应分析对工程建设的影响。
- d) 危岩体或孤石的位置、形态、规模、分布特征、结构面特征等，崩塌特征，坡面形态、坡面植被等。
- e) 对于孤石，还应调查微地貌形态、孤石群的特征、埋在地下的形态特征、基座有无冲刷迹象或冲刷可能、基座岩土体特征、稳定性判别，未开挖的边坡在开挖后应进行补充调绘。
- f) 断层的分布、产状、形态、规模、类型、性质、组合形式、交切关系、构造线的走向及其所属大地构造单元或构造体系，各类构造的发育程度和分布规律。
- g) 结构面的形态、类型、分布密度、产状、间距、延伸长度、张开宽度、充填物性状和成分；主要结构面组数和各组间相互切割关系，结构面面粗糙、起伏、风化、蚀变等情况，缓倾角结构面与其他结构面、断层的的关系等；岩、土接触面和软弱夹层的特性。
- h) 岩脉形态、成分及风化程度、分布密度、产状及与坡面关系、间距、延伸长度等，岩脉力学特性等。
- i) 石英晶洞位置、形态、规模、分布特征等。
- j) 搜集边坡场地的植被资料。

6.2.7 工程地质调查与测绘的成果宜包括下列内容：

- a) 工程地质调查与测绘说明；
- b) 实际材料图、综合工程地质图、综合工程地质分区图、节理裂隙统计图、各种素描图、照片及统计分析图表等。野外结构面调绘记录、孤石野外调查与统计可按附录 A 执行。

### 6.3 水文地质调查

6.3.1 水文地质调查应包括对边坡工程有影响的地表水和地下水。

6.3.2 地表水调查应包括下列内容：

- a) 搜集工程区水文、气象及附近湖泊、河流水文观测资料；
- b) 调查影响边坡水文地质条件的工业和市政管线、江河、水库等水源因素，以及相关水库水位调度方案资料；
- c) 调查工程区的汇水面积、地表径流系数，调查地表水入渗情况、渗流条件、径流强度及冲刷作用；
- d) 当工程需要进行非饱和土降雨渗流分析时，应提供土壤入渗率。  
注：现场试坑渗透试验测试非饱和土渗透系数，可近似取渗透系数为土壤的入渗率。
- e) 地表沟渠的分布、位置、尺寸、支护及渠底硬化情况等。

6.3.3 地下水调查应包括下列内容：

- a) 调查含水层的岩性特征、埋藏深度、分布情况、含水性及渗透性；
- b) 调查地下水类型、埋藏深度、变化幅度、补给、排泄条件及与地表水的联系；
- c) 分析水文地质条件与地形、岩性与构造之间的联系；

d) 工程需要时,可利用钻孔、探井进行地下水位动态观测。

#### 6.3.4 井、泉调查时应包括以下内容:

- a) 泉出露条件、成因类型和补给来源;
- b) 泉的出露位置、类型、流量、水质、水温及动态变化;
- c) 井的位置、类型、口径、深度、井壁结构、建成时间、出水量、水位及变化情况、水质;
- d) 地下水的开采方式、开采量和用途等。

#### 6.3.5 进行对边坡有影响的给排水设施、蓄水构筑物调查,可包括以下内容:

- a) 构筑物结构、建成时间及构筑物内水流情况;
- b) 构筑物完好性,有无渗漏情况。

### 6.4 自然环境与人类活动调查

#### 6.4.1 人类活动调查宜包括人类活动对边坡环境影响及既有建(构)筑物工程调查。

#### 6.4.2 人类活动对边坡环境的影响调查应包括下列内容:

- a) 人类活动的类型、强度、规模、分布及对边坡环境的影响;
- b) 人类活动诱发的地质灾害类型以及危害程度。

#### 6.4.3 既有建(构)筑物工程条件调查应包括下列内容:

- a) 边坡工程所处的城镇、乡村、工矿区及自然保护区社会经济概况;
- b) 边坡工程影响范围内公路、铁路、人防工程、露天采场、水库、大坝、堤防等分布、规模、稳定状态及与边坡工程的位置关系;
- c) 边坡工程场地周边地下管线、抽水排水情况及与边坡工程的空间位置及相互影响关系;
- d) 边坡工程影响范围内的已有建(构)筑物的荷载、结构类型、基础形式及与边坡工程的空间位置关系;
- e) 已有工程边坡类型、防治工程措施及防治效果。

#### 6.4.4 调查边坡植被种类、分布以及覆盖的程度、古树名木情况等。

### 6.5 钻探

#### 6.5.1 钻探作业符合下列规定。

- a) 钻探孔径和钻具规格应符合 GB 50021 和 JGJ/T 87 的相关规定,成孔直径应满足取样、测试和钻进工艺的要求,并符合下列规定:
  - 1) 一般性钻孔的直径应符合岩芯鉴定要求,宜为76 mm~150 mm;
  - 2) 取不扰动土样钻孔的直径不宜小于110 mm;
  - 3) 取岩样钻孔的直径不宜小于76 mm;
  - 4) 测试用钻孔的直径应满足测试要求。
- b) 钻探方法应符合下列规定。
  - 1) 土层宜用干法岩芯钻进,套管护壁。
  - 2) 岩层宜采用合金或金刚石钻头钻进,当钻进到软弱土层(面)顶部1 m位置时,应采用干法岩芯钻进。
  - 3) 定向取芯应采用双重岩芯管;取软弱土层、滑动带原状样宜采用双重或三重岩芯管连续取芯。
- c) 岩芯采取率应符合下列规定:
  - 1) 非软弱土层应达到100%,软弱土层不应小于95%;
  - 2) 完整岩石不应小于80%破碎岩石不应小于65%。
- d) 勘探点位误差应满足 JGJ/T 87 的规定

#### 6.5.2 钻探应量测地下水初见水位和稳定水位,并应符合下列规定:

- a) 遇地下水时应量测初见水位;
- b) 稳定水位的量测间隔时间按地层的渗透性确定,场地存在砂土和碎石土含水层时不应少于0.5 h,场地主要为残坡积土和风化岩时不应少于8 h;
- c) 当有多层地下水时,应分层量测;
- d) 量测读数允许偏差应为 $\pm 20$  mm。

#### 6.5.3 钻探岩芯描述、分层深度误差应符合 JGJ/T 87 的相关规定,应进行结构面倾角测量及结构面光滑程度、充填情况、张开程度等的描述。

## 6.6 井探、槽探和洞探

### 6.6.1 探井、浅井、探槽和探洞符合下列规定：

- a) 探井、浅井、探槽和探洞的深度、长度、断面尺寸等应按勘探任务要求确定；
- b) 探井、浅井、探槽和探洞时，应采取相应的安全措施；
- c) 应及时进行探井、浅井、探洞或探槽展示图绘制和地质编录，展示图比例尺宜为 1:50~1:100；
- d) 宜按要求进行岩土层的原位试验，同时在预定层位按要求采取岩、土、水试样。

6.6.2 探查深度不大于 20 m 时，可采用井探，探井尺寸应便于开挖、描述和取样，探井深度不宜低于地下水位。当井壁可能发生掉块、坍塌时，应采取支护措施。

6.6.3 探查深度小于 3 m 时，可采用槽探，探槽方向应垂直于岩性分界线、构造线、破碎带、软弱结构面走向或滑坡周界，探槽长度应根据地质条件确定，宽度和深度应根据覆盖层性质和厚度确定。

6.6.4 勘察等级为一级、特级的边坡工程，需要详细查明深部岩土性质、构造特征及潜在滑动面的位置时，可采用洞探，洞探的深度、长度及断面应根据工程需要确定。

6.6.5 探井、探槽、竖井或平洞，除文字描述记录地层岩性、软弱面（带）地质构造等外，应以剖面图、展开图等反映井、槽、洞壁及底面的岩性、地层分界、构造特征、取样及测试位置，并宜采用数字图像记录。

## 6.7 工程物探

6.7.1 工程物探可用于探查隐蔽的地质界线、结构面、软弱夹层、不良地质体的位置及分布，测试岩土体的动力参数，提供钻探成果的内插、外推依据。

6.7.2 工程物探宜与工程地质测绘和钻探相互配合进行，相互验证；工程物探方法应根据工程要求、探测对象的地球物理特征和场地地形地质条件等因素选择，进行地球物理勘探前，应通过现场试验，研究方法有效性，确定合适的野外观测系统和仪器工作参数。

6.7.3 断裂带、孤石、滑坡体、土岩分界面的物探方法适用性，可按附录 B.1 选择。

6.7.4 勘探线宜布置在拟设主剖面线上、剖面线间及支挡线附近。

6.7.5 工程物探成果应结合地质情况进行分析提出地质解释成果，并应有已知物探参数或钻孔进行验证，或已有的物探经验、开挖形成的剖面露头等进行验证。

## 6.8 取样

6.8.1 对土状风化岩及残积土，原状样宜采用多重管回转式取土器进行取样，建议多采用现场环刀取样，且样盒取样样品直径不应小于 70 mm；其余类型样品取样方法、规格类型应根据地层性质和试验要求，按 GB 50021 和 JGJ/T 87 的相关规定选用。

6.8.2 土试样和水试样的采取符合下列规定：

- a) 土样可在钻孔、探井及探槽中采取；
- b) 软弱土层应连续取样；
- c) 土样应及时密封，运输中不应扰动；
- d) 水试样应在工程结构所在的位置采取，应能代表天然条件处的水质情况，当场地有多个含水层对工程有影响时，应分含水层分别采取地下水样。

6.8.3 岩石试样的采取应符合下列规定：

- a) 岩石试样可由钻探岩芯采取或在探井、探槽、竖井、平洞中刻取；
- b) 碎块状强风化、中等风化应取样进行点荷载试验；
- c) 毛样尺寸应满足试样加工的要求，数量应满足试验项目的要求；
- d) 有特殊要求的试样形状、尺寸和剪切方向应按照岩石力学试验要求确定。

## 6.9 原位测试与现场试验

6.9.1 原位测试与现场试验根据工程特点和需要选择，试验方法及测试指标宜按表 13 确定。

表 13 原位测试、现场试验方法及测试目的、指标

测试方法名称	测试目的、指标
标准贯入试验	划分全、强风化岩的风化界线；估算土的变形模量、地基承载力；推测软弱面或软弱夹层
圆锥动力触探试验	判定碎石土的密实度，推测软弱面或软弱夹层；划分土状强风化与碎块状强风化，估算强风化带的变形模量、地基承载力
现场岩土密度试验	碎石类、砂类土风化岩等天然密度、饱和密度
现场直接剪切试验	岩土体的天然及饱和抗剪强度指标；岩土体中软弱结构面的抗剪强度
岩土波速测试	剪切波速、压缩波速、动弹性模量、动剪切模量和动泊松比，判定岩石完整程度。区分土状强风化、碎块状强风化。
岩体应力测试	对高应力区安全等级为一级、特级的边坡，可测定岩体平面应力及空间应力，岩石弹性参数，评价岩体应力状态。
岩土摩擦试验	混凝土与岩石表面摩擦系数
旁压试验	岩土的原位水平应力、静止土压力系数、不排水抗剪强度
荷载试验和 $K_{30}$ 平板荷载试验	岩土承载力特征值、土的变形模量、垂直基床系数、地基系数 $K_{30}$
岩土电阻率测试	岩土层视电阻率，判断岩土体的导电性能、土对地下钢结构的腐蚀性
试坑渗透试验	测试非饱和土的渗透系数系数（即地表入渗率）
注水试验	用于测试渗透性较强但水量贫乏的土体及破碎岩体的渗透系数，并可计算透水率 $q$
压水试验	用于岩石渗透性测试，直接测定岩石透水率 $q$ ，并可计算渗透系数 $k$ ，进而可以判断节理发育程度、岩体完整性，也可用来检测帷幕注浆效果
抽水试验	测定岩土体渗透系数，判定含水层富水性；采用非稳定流抽水试验时还可测定含水层渗透系数（或导水系数）、给水度（或弹性释水系数）

## 6.10 室内试验

6.10.1 室内试验项目应根据工程要求和岩土性质确定，室内试验可分为土工试验、岩石试验、水和土的腐蚀性试验，工程需要时可进行岩土化学成分分析试验。对特殊试验项目，应制定专门的试验方案。

6.10.2 室内试验应包括岩土的物理性质试验和力学性质试验。

6.10.3 土的物理性质试验可根据工程需要选定下列试验项目：

- a) 含水率试验和界限含水率试验；
- b) 密度试验；
- c) 土粒比重试验；
- d) 颗粒分析试验；
- e) 渗透试验；
- f) 击实试验（开挖出的土石方作为填料使用时）。

6.10.4 土的力学性质试验可根据工程需要选定下列试验项目：

- a) 直接剪切试验（包括直接快剪、固结快剪、饱和固结快剪试验等）；
- b) 三轴压缩试验；
- c) 固结试验；
- d) 自由膨胀率试验；
- e) 冻融试验。

6.10.5 岩石的物理性质试验可根据工程需要选定下列试验项目：

- a) 块体密度试验（主要进行天然重度试验）；
- b) 崩解试验；
- c) 岩矿鉴定试验；
- d) 放射性测试等建筑材料特殊试验；
- e) 岩块波速试验。

6.10.6 岩石的力学性质可根据工程需要选定下列试验项目：

- a) 抗压强度试验（包括天然及饱和抗压强度）；
- b) 弹性模量和泊松比试验；
- c) 点荷载试验；

- d) 抗拉强度试验;
- e) 抗剪断强度试验;
- f) 结构面强度试验;
- g) 反复直接剪切试验 (存在老滑面时需要进行);
- h) 动三轴试验、动单剪试验、共振柱试验 (视工程需要进行)。

6. 10.7 水和土腐蚀性的测试项目应符合 GB 50021 的规定。

## 7 边坡岩土物理力学参数取值

### 7.1 通用要求

7.1.1 边坡岩土体滑动面、软弱面、控制性结构面的抗剪强度参数宜按边坡破坏形式选取。

7.1.2 边坡稳定性计算的参数应包括下列内容:

- a) 潜在滑移体的岩土主要物理力学指标;
- b) 潜在滑动面抗剪强度指标;
- c) 老滑坡滑面残余抗剪强度指标;
- d) 潜在滑移体在计算断面上的几何要素。

7.1.3 采用反算法选取潜在滑动面的抗剪强度指标时, 宜根据边坡变形状态所对应的稳定系数, 采用公式进行反算。

7.1.4 当边坡已产生变形或滑动时, 可采用反演分析法确定滑动面抗剪强度指标。对出现变形的边坡工程, 其稳定性系数 ( $F_S$ ) 宜取 1.00~1.05; 对产生滑动或蠕动的边坡工程, 其稳定系数 ( $F_S$ ) 宜据滑坡发育阶段按 NB/T 10513—2021 中附表 E.0.2 取值。

### 7.2 参数取值

7.2.1 岩土参数应根据工程特点和地质条件选用, 并按下列内容评价可靠性和适用性:

- a) 取样方法或运输因素对试样的影响;
- b) 试验方法和取值标准;
- c) 不同试验和测试方法所得数据的对比分析;
- d) 测试结果的离散程度;
- e) 测试方法与计算模型的匹配性。

7.2.2 土质边坡计算土压力、抗倾覆计算、土质边坡计算整体稳定、局部稳定和抗滑稳定性时, 抗剪强度试验方法的选择符合下列规定。

- a) 一般工况下, 对于一般黏性土、饱和软黏土, 宜选择天然状态下的直剪快剪或三轴不固结不排水剪试验; 对于花岗岩类土状风化岩及残积土, 宜采用天然状态下直接快剪试验; 当存在老滑面时, 宜对滑动带取样进行反复剪试验, 并采用残余抗剪强度, 条件具备时也可采用十字板土强度。

- b) 雨季工况下, 宜分两种情况进行考虑。

- 1) 暴雨工况下, 对一般黏性土、饱和软黏土, 平均入渗深度范围内土体抗剪强度宜采用饱和状态下的固结快剪试验, 重度采用饱和重度。对于花岗岩类土状风化岩及残积土, 可采用天然状态下的直接快剪试验, 平均入渗深度范围内土体强度指标可采用修正后的直接快剪强度指标, 重度采用饱和和重度指标; 平均入渗深度以下的非饱和土采用天然状态下的直接快剪强度, 重度采用天然重度指标; 稳定地下水位以下土层可采用不修正的直接快剪指标 (自地下水位以下土层采取的样品的试验结果), 但重度应采用饱和和重度。

花岗岩类土状风化岩或残积土平均入渗深度宜据当地经验进行取值, 当缺乏经验数据时可按表 14 取值。

表 14 暴雨工况下花岗岩类土状风化岩或残积土平均入渗深度经验值

土体类型	平均入渗深度 m
花岗岩类土状风化岩或残积土	3~6
按照降雨量10 mm/h、降雨时长72 h、坡角45°估计； 降雨后仅浅表层土体可达到完全饱和，其余浸润深度内土体仅能达到近似饱和状态，降雨后土体的体积含水量大约为0.8~0.9倍饱和含水量； 土层渗透系数大的取大值； 坡面或坡顶倾角越大入渗深度越小； 参考当地暴雨气候条件取值，降雨量越大（降雨量小于土层渗透系数时）、降雨时长越大，平均入渗深度越大	

- 2) 长时小雨工况下，对于组成边坡所有花岗岩类土状风化岩及残积土，可采用天然状态下直接剪切强度试验，采用修正后的直接快剪指标，重度采用饱和重度指标；稳定地下水水位以下土层可采用不修正的直接快剪指标（自地下水水位以下土层采取的样品的试验结果），但重度应采用饱和重度。
- 3) 在雨季工况下，当存在老滑面时，宜对滑动带取样进行饱和反复剪试验，并采用残余抗剪强度。

7.2.3 岩体结构面抗剪强度指标宜试验确定，当无条件进行试验时，岩体结构面的抗剪强度指标标准值可按表15并结合地质条件相似的类似工程经验确定。

表 15 岩体结构面抗剪强度指标标准值

序号	两侧岩石的风化程度及结构面结合程度	内摩擦角 $\Phi$ (°)	黏聚力 $c$ (kPa)
1	微风化~未风化，结合好	>37	>220
2	微风化~中等风化，结合一般	37~29	220~120
3	微风化~中等风化，结合差； 碎块状强风化或中等风化，结合一般	29~20	120~80
4	中等风化，结合差~结合很差； 碎块状强风化，结合差	20~13	80~50
5	中等风化及碎块状强风化，结合很差（滑石、绿泥石 等泥化结构面或泥质充填）	20~10	<50
6	残积土及土状风化岩，已风化成土的煌斑岩脉、云煌 岩脉等泥化夹层，各种原岩结构面，结合极差	<15	<30
取值时应考虑结构面的贯通程度； 结构面浸水时取较低值； 临时性边坡可取高值； 已考虑结构面的时间效应； 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，当判定为不利因素时，可适当折减			

7.2.4 花岗岩类土质边坡中的结构面抗剪强度可按下述情况进行试验与取值。

- a) 平直光滑的节理面：宜采用一般的直接剪切试验确定摩擦角，一般可取其黏聚力为0，摩擦角可取为12°~22°。
- b) 粗糙无充填物节理面：采用土体的强度作为结构面的强度，或进行一定程度的折减。
- c) 具有充填物的结构面：依充填物性质取抗剪强度经验值。
- d) 软弱夹层：宜取样进行室内剪切试验确定抗剪强度指标。对于未曾沿其错动的结构面取峰值

强度，对于曾经沿其错动过的结构面则取其残余强度。

- e) 岩土风化界面：一般取力学指标较低的那一组土体的指标，并且根据界面积水情况和土体性质进行折减。

注：由于软弱夹层厚度一般可满足取样要求，故要求取样。

### 7.2.5 岩体结构面的结合程度可按表16确定。

表 16 结构面的结合程度

结合程度	胶结状况	起伏粗糙程度	结构面张开度 mm	充填状况	岩体状况
结合好	铁硅钙质胶结	起伏粗糙	≤3	胶结	未风化、微风化
结合一般	铁硅钙质胶结	起伏粗糙	3~5	胶结	微风化、中等风化
	铁硅钙质胶结	起伏粗糙	≤3	胶结	碎块状强风化
	分离	起伏粗糙	≤3 (无充填时)	无充填或岩块、岩屑充填	微风化、中等风化
结合差	分离	起伏粗糙	≤3	干净无充填	碎块状强风化
	分离	平直光滑	≤3 (无充填时)	无充填或岩块、岩屑充填	微风化、中等风化、碎块状强风化
	分离	平直光滑		岩块、岩屑夹泥或附泥膜	微风化、中等风化、碎块状强风化
结合很差	分离	平直光滑、略有起伏		泥质或泥夹岩屑充填	微风化、中等风化、碎块状强风化
	分离	平直很光滑	≤3	无充填	微风化、中等风化、碎块状强风化
结合极差	结合极差			泥化夹层	残积土及土状风化岩

注1：起伏度：当 $R_A \leq 1\%$ ，平直；当 $1\% < R_A \leq 2\%$ 时，略有起伏；当 $2\% < R_A$ 时，起伏；其中 $R_A = A/L$ ， $A$ 为连续结构面起伏幅度，单位为厘米（cm）， $L$ 为连续结构面取样长度，单位为厘米（cm），测量范围 $L$ 一般为100 cm~300 cm。

注2：粗糙度：很光滑，感觉非常细腻如镜面；光滑，感觉比较细腻，无颗粒感觉；较粗糙，可以感觉到一定的颗粒状；粗糙，明显感觉到颗粒状。

7.2.6 花岗岩地区各类岩体的物理力学指标宜通过试验确定，岩体抗剪断峰值强度可通过岩石抗剪断峰值强度修正后的结果取值。

7.2.7 当无试验资料和缺少当地经验时，岩体内摩擦角标准值应根据天然状态岩块的内摩擦角标准值结合边坡岩体完整程度进行折减确定，折减系数可按表17取值。

表17 边坡岩体内摩擦角的折减系数

边坡岩体完整程度	内摩擦角的折减系数
完整	0.95~0.90
较完整	0.90~0.85
较破碎	0.85~0.70

7.2.8 边坡岩土体、结构面的等效内摩擦角应按其用途采用经验值或经验公式计算。

7.2.9 对已经治理过的既有边坡，设计人员应根据支护结构的使用时间与有效性等对已有支护结构抗力进行取值。

## 8 边坡稳定性评价

### 8.1 通用要求

8.1.1 边坡稳定性评价应在查明地质条件和环境条件的基础上，根据边坡地质特征，采用定性分析和定量分析相结合的方法进行，并按破坏模式选择相应的计算方法，确定计算参数，进行边坡稳定性计算。

8.1.2 边坡破坏模式和破坏边界应根据边坡地质界面、地质结构类型及其空间组合特征为基础进行综合判定。边坡潜在的破坏模式，可按附录 C、D、E 判定。

8.1.3 边坡勘察时应据边坡岩体级别、岩体主要结构面产状与坡面间的关系判定边坡自稳能力，当边坡由单一岩体类型组成且无外倾结构面或不同结构面组合线时，可按表 18 进行初判。

表 18 边坡工程岩体自稳能力判定表

判定条件			坡度70° 以上的边坡自稳能力
边坡岩体分级	风化程度	结构面产状	
I	微风化~未风化	无外陡倾结构面或不同结构面组合线	高度≤100 m可长期较稳定，但高倾角或反倾结构面可造成倾倒、崩塌，从而造成偶有掉块
II	中等风化~微风化	无外陡倾结构面或不同结构面组合线	高度≤30 m可长期稳定，但高倾角或反倾结构面可造成倾倒、崩塌，从而造成偶有掉块； 高度30 m~60 m 可基本稳定，坡面松动岩石较多，掉块常有发生（具体视结构面胶结情况）
III	中等风化~微风化	无外陡倾结构面或不同结构面组合线	高度≤15 m可基本稳定，局部可发生高倾角或反倾结构面倾倒、崩塌； 高度15 m~30 m可稳定数月，可发生高倾角或反倾结构面倾倒、崩塌
IV	中等风化	无外陡倾结构面或不同结构面组合线	高度<8 m可稳定数月，局部可发生楔形体破坏； 高度8 m~15 m可稳定数日至1个月，可发生由结构面及岩体组成的平面或楔形体破坏，或由反倾结构面引起的倾倒破坏
V	碎块状强风化	有外陡倾结构面或不同结构面组合线	不稳定
	土状强风化	结构面无明显规律	
结构面指原生结构面，不包括风化裂隙； 外倾结构面系指走向与边坡走向夹角小于 30°、倾角小于坡面倾角的硬性结构面； 陡倾结构面或不同结构面组合线系指其倾角为 27° ~75° ； 不包括全风化基岩，全风化基岩可视为土体； 当边坡由多个岩体类型组成时，应分别考虑每种岩体的自稳能力，然后再综合评价边坡的自稳能力			

对外倾结构面的边坡（或外倾结构面影响小的边坡），当确定了组成边坡岩土体的抗剪强度后，也可通过式（7）估算边坡自稳高度。

$$H_{\text{自稳}} = 2 * c / [\gamma_m * \text{tg} (45 - \varphi / 2)] \quad (7)$$

式中：

$H_{\text{自稳}}$ ——边坡岩土体的垂直自稳高度（m）；

$\gamma_m$ ——岩土体底面以上岩土体等效重度（kN/m<sup>3</sup>）；

$c$ ——岩土体的黏聚力（kPa）；

$\varphi$ ——岩土体的内摩擦角（°）。

8.1.4 存在下列情况之一的边坡，可初步判别为潜在失稳的边坡：

- 已发生倾倒变形或蠕变的边坡；
- 已发生张裂变形的下软上硬的双层或多层结构边坡；
- 在碎裂结构岩体中和散体结构岩体中开挖的边坡；
- 存在有倾向坡外的结构面，且结构面的倾角小于坡角并大于其等效内摩擦角的岩质边坡；
- 坡面上出现平行边坡走向的张裂缝或环形裂缝的边坡；
- 分布有巨厚层崩积物的边坡；

- g) 坡脚被水淹没或被开挖的新、老滑坡体、崩塌体和土质边坡；
- h) 坡脚受水流淘刷或水位急剧升降的土质边坡；
- i) 经常遭受水浸泡的边坡；
- j) 有其他迹象表明边坡有可能失稳或曾经失稳的边坡。

8.1.5 不同工况边坡稳定安全系数 ( $F_{st}$ ) 应符合表 19 的规定, 边坡稳定系数小于边坡稳定安全系数时, 应对边坡进行治理。

表 19 不同工况边坡稳定安全系数  $F_{st}$

边坡工程安全等级 工程重要性		特级、一级	二级	三级
永久边坡	一般工况	1.35	1.30	1.25
	雨季工况	1.25	1.20	1.15
	地震工况	1.15	1.10	1.05
临时边坡	一般工况	1.25	1.20	1.15
	雨季工况	1.10	1.05	1.05
雨季工况包括暴雨工况、长时小雨工况, 是否考虑雨季工况及考虑何种工况应结合边坡地质条件、场地位置的气候条件综合确定				

8.1.6 除校核工况外, 边坡稳定状态可划分为稳定、欠稳定、基本稳定和不稳定四种状态, 可根据边坡稳定系数按表 20 确定。

表 20 边坡稳定状态划分

边坡稳定系数 $F_s$	$F_s < 1.00$	$1.00 \leq F_s < 1.05$	$1.05 \leq F_s < F_{st}$	$F_s \geq F_{st}$
边坡稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

## 8.2 影响因素分析

8.2.1 影响边坡稳定性因素可分为自然因素和人为因素, 评价时应影响因素按主次进行分析。

8.2.2 影响边坡稳定性的自然因素分析宜包括下列内容:

- a) 岩土性质;
- b) 孤石、地质构造及结构面;
- c) 风化作用;
- d) 地下水与地表水作用;
- e) 气候作用;
- f) 地震作用;
- g) 地貌因素。

8.2.3 影响边坡稳定性的人为因素分析宜包括下列内容:

- a) 设计边坡的几何形态及规模;
- b) 施工方法、施工顺序对坡体应力分布变化;
- c) 施工季节;
- d) 坡体上方堆载及坡脚切坡开挖;
- e) 爆破及其他振动作用;
- f) 水库水位升降、灌溉水下渗;
- g) 边坡上植被破坏、大面积填方及人为因素。

注: 人为因素种类较多, 具体情况具体分析, 主要还是边坡施工过程的控制问题, 如边坡开挖的顺序要严格遵守从上到下的规则, 切忌先开挖坡脚, 松动土方不要采取大爆破的方式, 尽量选择旱季施工等。

## 8.3 分析评价方法

8.3.1 边坡稳定性应根据边坡变形破坏形态、边坡勘察等级及勘察阶段的要求, 采用工程地质类比、图解分析、极限平衡计算及数值模拟等方法, 做出定性或定量评价。

8.3.2 工程地质类比法应根据已有边坡工程地质资料及当地经验, 提供拟建边坡工程建议坡形和坡率

允许值。

8.3.3 图解分析法可用于岩质边坡的破坏模式和稳定类型分析，可根据岩体结构面产状与边坡面产状的组合关系按附录 F 进行定性分析。

8.3.4 当边坡可能存在多个滑动面时，对各个可能的滑动面均应进行稳定性计算。当边坡地质条件和开挖方向发生变化时，应分段分析。

8.3.5 边坡抗滑移稳定性计算可采用刚体极限平衡法，宜以安全系数作为评价指标。

8.3.6 对具有两组及以上结构面的岩质边坡，可结合采用极射赤平投影法和实体比例投影法；勘察等级为一级及特级或边坡破坏模式复杂的边坡，可在极限平衡方法基础上，结合数值分析法进行分析。

8.3.7 计算沿结构面滑动的稳定性时，应根据结构面形态采用平面或折线形滑面。计算土质边坡、破碎或极破碎岩质边坡的稳定性时，宜采用简化毕肖普法或摩根斯坦—普赖斯法进行稳定性计算。

8.3.8 边坡岩土体破坏模式为平面滑动时，宜采用平面滑动法进行稳定性计算；破坏模式为复合型破坏或折线型破坏时，宜采用摩根斯坦—普赖斯法或不平衡推力传递法进行稳定性计算；对两组及两组以上结构面切割形成的楔形破坏模式边坡，宜采用楔形体法进行稳定性计算。

8.3.9 边坡应分别按不同工况及荷载组合进行边坡稳定性计算，地震荷载可采用拟静力法确定，具体由边坡治理设计工程师进行验算。

8.3.10 对于土岩组合边坡，首先应分别考虑土体内部圆弧面滑动和岩体可能的破坏模式，采用相应稳定性计算方法；同时需要考虑土岩接触面滑动和岩土体复合破坏的可能性，宜采用传递系数法进行计算。

注：土岩组合边坡指“上土下岩”结构的边坡。

8.3.11 滑坡稳定计算应符合以下规定：

- a) 具有次滑面的滑坡体，应计算分析沿不同滑面或滑面组合构成滑体的整体稳定性和局部稳定性；
- b) 对于具有特定滑面的滑坡，经过处理已经满足边坡设计安全系数后，应检验在滑体内部是否存在沿新的滑面发生破坏的可能性。

8.3.12 花岗岩地区各类型岩土边坡宜选用表 21 的稳定性分析方法，部分方法的计算公式可参考附录 G。

表 21 花岗岩地区各类型岩土边坡稳定性分析方法

边坡分类	边坡类型	潜在破坏模式	边坡稳定性分析方法
土质边坡	岩脉（墙）隔挡型边坡（I 型边坡）	一般较稳定	图解定性分析岩脉（墙）作用
	网状结构型边坡（II 型边坡）	局部结构体的陨落，为坡面破坏，圆弧滑动	图解定性分析结构面影响，简化 Bishop 法
	外倾结构型边坡（III 型边坡）	沿外倾结构面做平面滑动、楔形体滑动或圆弧-直线复合滑动，为坡体破坏	图解定性分析结构面影响、楔形体稳定性验算、平面滑动法、摩根斯坦—普赖斯法或不平衡推力传递法进行稳定性
	浮石型边（IV 型边坡）	圆弧滑动	简化 Bishop 法
	均匀型（V 型边坡）	圆弧滑动	简化 Bishop 法
	高倾角外倾结构面控制型（VI 型边坡）	崩塌，又称“崩岗”，单块破坏体厚度一般不大于 2 m，往往形成叠瓦状	图解定性分析结构面影响、楔形体稳定性验算
土岩组合边坡	基底控制型（TY I 型边坡）	沿基底表面的折线或直线滑动或圆弧-直线复合滑动，	摩根斯坦—普赖斯法或不平衡推力传递法
	土岩组合边坡（TY II 组合型）	土质坡体按土质边坡破坏，岩质坡体按岩质边坡破坏	根据坡体岩土特点选择合适的方法分析各种可能的破坏模式，进而综合确定边坡的稳定性

表 21 花岗岩地区各类型岩土边坡稳定性分析方法（续）

边坡分类	边坡类型	潜在破坏模式	边坡稳定性分析方法
岩质边坡	整体结构 (Y I型)	稳定, 偶有掉块	按岩体强度及边坡坡角、坡高等综合分析边坡稳定性, 图解定性分析结构面影响, 也可结合数值分析法进行分析
	块状结构 (Y II型)	崩塌、平面滑动、折线滑动、倾 倒破坏	图解定性分析结构面影响、楔形体稳定性验算、平 面滑动法、摩根斯坦—普赖斯法或不平衡推力传递 法
	裂隙块状结构 (Y III型)	弧形滑动、平面滑动、折线滑动 中最不利的模式, 圆弧-直线复 合滑动模式, 崩塌、倾倒破坏	图解定性分析结构面影响、楔形体稳定性验算、平 面滑动法、摩根斯坦—普赖斯法或不平衡推力传递 法, 简化 Bishop 法
	镶嵌结构 (Y IV型)	崩塌、平面滑动、块体滑动、折 线滑动	图解定性分析结构面影响、楔形体稳定性验算、平 面滑动法、摩根斯坦—普赖斯法或不平衡推力传递 法
	碎裂结构 (Y V型)	弧形滑动、平面滑动、折线滑动 中最不利的模式, 圆弧-直线复 合滑动模式	简化 Bishop 法、平面滑动法、摩根斯坦—普赖斯 法或不平衡推力传递法
	散体结构 (Y VI型)	弧形滑动、平面滑动、折线滑动 中最不利的模式, 圆弧-直线复 合滑动模式	简化 Bishop 法、平面滑动法、摩根斯坦—普赖斯 法或不平衡推力传递法
勘察等级为一级及特级或边坡破坏模式复杂的边坡, 可在极限平衡方法基础上, 结合数值分析法进行分析。 对于可能产生倾倒破坏的边坡, 宜采用力矩平衡法计算抗倾覆稳定性			

8.3.13 孤石稳定性可根据表22进行定性判别。

表 22 孤石稳定性野外判定

序号	特征分类	稳定性差	稳定性较差	稳定性好
1	孤石所处斜坡 坡度 $\theta$	$\theta \geq 40^\circ$	$25^\circ < \theta \leq 40^\circ$	$\theta \leq 25^\circ$
2	坡面汇排水条 件	汇水面积大, 坡面排水条 件不通畅, 强降雨时雨水 大量渗入土体, 植被稀少	汇水面积较大, 坡面排水条 件比较通畅, 强降雨时雨水 容易渗入土体, 植被比较茂盛	汇水面积小, 坡面排水条 件好, 强降雨时雨水渗入土 体较少, 植被茂盛
3	孤石母体工程 性质	土体结构松散、透水性好	土体结构较松散、质量不均 匀、透水性较好	土体密实、土质均匀、土 体干燥; 岩层单一、无软弱 结构面
4	孤石与基岩的 联系	孤石与基岩(母岩)之 间有较厚填充物, 且填充物 结构松散; 无埋深或埋藏 浅, 甚至部分悬空	孤石与基岩(母岩)之 间有填 充物; 埋藏较浅	孤石直接坐落于基岩之 上, 且基岩面较平缓; 埋深大
5	孤石基底和周 边岩土体受雨 水冲刷程度	孤石基底和周边岩土体受 雨水冲刷或淘蚀严重, 可 见明显的冲沟或空腔	孤石基底和周边岩土体受 雨水冲刷淘蚀的迹象明显, 程 度较重	孤石基底和周边岩土体受 雨水冲刷程度小
6	孤石岩体风化 程度	孤石岩体风化程度严重、 完整程度差, 节理裂隙发 育	孤石岩体风化程度较严重、 完整程度较差, 节理裂隙较 发育	孤石岩体风化程度较弱、 完整程度较好, 节理裂隙不 发育
7	孤石及周边岩 土体有无变形 破坏	孤石及周边岩土体局部有 变形破坏迹象, 且进一步 变形的趋势明显	孤石及周边岩土体局部有 变形破坏迹象	孤石及周边岩土体无变形 破坏迹象
根据孤石特征分类从上到下依次判别, 按照稳定性差、较差、好的顺序, 首先满足三条的按不利判别。 当孤石所在的边坡稳定性相比于按上表判断的孤石稳定性等级差时, 孤石稳定性应按边坡稳定性定级				

## 8.4 边坡防治

8.4.1 应根据场地地质和环境条件、边坡高度和特点、对边坡变形控制的难易程度以及边坡工程安全等级等因素, 确定边坡支护结构型式, 可按表 23 选定。

表 23 边坡支护结构常用型式

序号	边坡支护结构型式	适宜的边坡高度 ( $H$ ) m	适用的边坡工程 安全等级	适用条件	备注	
1	坡率法	土质边坡, $H \leq 25$ 岩质边坡, $H \leq 50$	一、二、三	适用于工程场地有放坡条件, 且无不良地质作用或地质灾害的区域	不良地质段, 地下水发育区、软塑及流塑状土时不应采用	
2	重力式挡墙	土质边坡, $H \leq 10$ 岩质边坡, $H \leq 12$	一、二、三	适用于放坡空间受限的填方或挖方边坡	不利于控制边坡变形。土方开挖后边坡稳定较差时不应采用	
3	悬臂式挡墙和扶壁式挡墙	悬臂式挡墙, $H \leq 6$ 扶壁式挡墙, $H \leq 10$	一、二、三	适用于填方边坡		
4	锚杆格构梁	土质边坡 $H \leq 25$ 岩质边坡 $H \leq 50$	一、二、三	适用于各类边坡	对变形有较高要求的边坡, 宜采用预应力锚杆	
5	岩石锚喷	I类岩质边坡, $H \leq 50$	一、二、三	适用于岩质边坡	有深层外倾滑动面或坡体渗水明显的岩质边坡不宜采用	
		II类岩质边坡, $H \leq 40$	二、三			
		III类岩质边坡, $H \leq 25$	二、三			
6	排桩及桩锚	悬臂式排桩	土质边坡, $H \leq 8$	二、三	适用于开挖土石方可能危及相邻建筑物或环境安全的边坡、挖方边坡支挡以及工程滑坡治理	
		桩锚	土质边坡, $H \leq 25$ ; 岩质边坡, $H \leq 50$	一、二、三		
		抗滑桩		一、二、三		适用于最深滑动面不超过 25m 的滑坡防治工程
		锚索抗滑桩				适用于深大滑坡
		双排桩	土质边坡, $H \leq 12$	二、三		适用于单排悬臂桩刚度不够, 或变形过大, 且具有一定施工空间
7	加筋土挡墙	土质边坡, $H \leq 15$	二、三	适用于地势平坦且宽阔的填方边坡		
8	格宾挡墙	土质边坡, $H \leq 6$	二、三	适用于地基承载力较低的填方边坡		
9	微型桩	土质边坡, $H \leq 6$	二、三	适用于挖方形成的边坡支挡、边坡加固以及中小型滑坡治理		
10	桩基托梁挡土墙	土质边坡, $H \leq 10$	二、三	适用于在高陡边坡、严重冲刷的河岸、稳定性较差的陡坡或地基承载力较低且厚度较大的边坡防护		

表 23 边坡支护结构常用型式（续）

序号	边坡支护结构型式	适宜的边坡高度 (H) m	适用的边坡工程 安全等级	适用条件	备注
11	坡面工程防护	砌体防护		适用于坡面浅层崩塌、风化剥落、溜坍或落石等坡面	针对稳定边坡设置。对欠稳定或存在不良地质因素的边坡，应先进行边坡治理后再进行坡面防护
		钢筋混凝土墙		适用于坡面浅层崩塌、风化剥落、溜坍或落石等坡面	
		主动柔性防护系统		较破碎的岩质边坡，受雨水冲刷及冲蚀或有严重剥落的岩质边坡	
		被动柔性防护系统		适用于坡度相对较缓的坡面中下部或具有一定缓冲空间的平台、坡脚的防护	
		生态防护法		适用于土质边坡等的坡面防护，包括植草等防护措施	
安全等级为特级的边坡防治形式应进行专项研究					

## 8.4.2 当场地条件具备时，可采用坡率进行防护。

- a) 土质边坡的坡率允许值应根据工程经验按照工程类比的原则，并结合已有稳定边坡的坡率值分析确定。当无工程经验时，在土质均匀、地下水贫乏、无不良地质作用或地质灾害的情况下，边坡坡率允许值可按表 24~表 25 确定。

表 24 土质边坡坡率允许值

边坡土体类别	状态	坡率允许值	
		坡高 < 5 m	坡高 5 m~10 m
碎石土	密实	1: 0.35~1: 0.50	1: 0.50~1: 0.75
	中密	1: 0.50~1: 0.75	1: 0.75~1: 1.00
	稍密	1: 0.75~1: 1.00	1: 1.00~1: 1.25
粉土	饱和度 $S_r < 0.5$	1: 1.00~1: 1.25	1: 1.25~1: 1.50
黏性土	坚硬	1: 0.75~1: 1.00	1: 1.00~1: 1.25
	硬塑	1: 1.00~1: 1.25	1: 1.25~1: 1.50
花岗岩残积土、全风化	坚硬土、全风化	1: 0.70~1: 0.90	1: 0.90~1: 1.05
	可塑~硬塑	1: 0.90~1: 1.05	1: 1.05~1: 1.20
花岗岩土状强风化	强风化	1: 0.60~1: 0.85	1: 0.85~1: 1.10
注 1: 坡率允许值指边坡高度与宽度的比值。 注 2: 表中碎石土的充填物为坚硬或硬塑的黏性土、粉土，对砂土或充填物为砂土的碎石土，边坡坡率允许值应按自然休止角确定。 注 3: 当坡高大于 5 m 时建议设置马道。			

表 25 填土边坡坡率允许值

填料类别	坡率允许值	
	坡高 < 5 m	坡高 5 m~10 m
碎石、卵石	1: 1.25~1: 1.50	1: 1.50~1: 1.75
碎石、卵石占全重 30%~50% 的砂夹石	1: 1.25~1: 1.50	1: 1.50~1: 1.75
碎石、卵石占全重 30%~50% 的土夹石	1: 1.25~1: 1.50	1: 1.50~1: 2.00
塑性指数大于 10 且小于 14 的黏性土	1: 1.50~1: 1.75	1: 1.75~1: 2.25
注 1: 坡率允许值指边坡高度与宽度的比值。 注 2: 压实系数 $\lambda_c$ 为土的干重度 $\gamma_d$ 与最大干重度 $\gamma_{max}$ 的比值。 注 3: 本表适用于压实系数 $\lambda_c$ 为 0.94~0.97 的填土。 注 4: 当坡高大于 5 m 时建议设置马道。		

- b) 在边坡保持整体稳定的条件下，岩质边坡开挖的坡率允许值应根据工程经验，并按工程类

比的原则结合已有稳定边坡的坡率值分析确定。对无外倾软弱结构面的边坡，岩质边坡坡率允许值可按表26确定。

表 26 岩质边坡坡率允许值

边坡岩体类型	状态	坡率允许值			
		坡高<8 m	坡高 8 m~15 m	坡高 15 m~25 m	坡高 25 m~50 m
I 类	微风化	1: 0.00~1: 0.10	1: 0.10~1: 0.15	1: 0.15~1: 0.25	1: 0.25~1: 0.35
	中等风化	1: 0.10~1: 0.15	1: 0.15~1: 0.25	1: 0.25~1: 0.35	1: 0.35~1: 0.45
II 类	微风化	1: 0.10~1: 0.15	1: 0.15~1: 0.25	1: 0.25~1: 0.35	1: 0.35~1: 0.45
	中等风化	1: 0.15~1: 0.25	1: 0.25~1: 0.35	1: 0.35~1: 0.50	1: 0.50~1: 0.60
III 类	微风化	1: 0.25~1: 0.35	1: 0.35~1: 0.50	1: 0.50~1: 0.65	
	中等风化	1: 0.35~1: 0.50	1: 0.50~1: 0.75	1: 0.75~1: 0.90	
IV 类	中等风化	1: 0.50~1: 0.75	1: 0.75~1: 1.00		
V 类	碎块状强风化	1: 0.60~1: 0.85	1: 0.85~1: 1.10		

注：表中坡率允许值指边坡高度与宽度的比值；当坡高大于 8 m 时建议设置马道。

- c) 下列边坡不应单独采用坡率法，应与其他边坡支护方法联合使用：
- 1) 边坡开挖对相邻建（构）筑物有不利影响的边坡；
  - 2) 地下水发育的边坡；
  - 3) 软弱土层等稳定性差的边坡；
  - 4) 坡体内有外倾软弱结构面或滑动面深度大于坡脚剪出口的边坡；
  - 5) 单独采用坡率法不能改善整体稳定性的边坡。
- d) 下列边坡的坡率允许值应通过稳定性计算分析确定：
- 1) 有外倾软弱结构面的岩质边坡；
  - 2) 土质软弱的边坡以及边坡的岩体存在软硬相间岩层的边坡；
  - 3) 坡顶边缘有荷载的边坡；
  - 4) 坡高超过 10 m 的土质边坡，坡高超过 15 m 的填土边坡和坡高超过 50 m 的岩质边坡。
- 8.4.3 边坡出露的孤石，当稳定性差或较差时，可按以下措施进行治理。
- a) 孤石清除。在对坡面散布孤石的边坡，在坡脚进行开发前，对于稳定性差的孤石宜优先清除。孤石体积较大时，可用爆破或机械方法将其破碎成小块后清除。孤石清除应避免引发坡体失稳，孤石清除后应对坡体采用必要的护面、加固措施。对于半埋地的孤石，可只清除裸露部分，并对剩余部分采取必要的加固措施。
  - b) 孤石原位加固。除清除外，对于稳定性较差的孤石应对其进行原位加固。加固有若干方法可以使用，包括混凝土基座加固、块石灌浆形成约束扶壁、主动防护网、钢丝网喷射混凝土或锚杆（索）锚定、护面和排水等技术。孤石加固应根据孤石的形态采用合适的加固形式。
  - c) 被动防护措施。可使用被动防护网、拦石墙、棚洞等措施对潜在威胁对象进行被动防护。采用被动防护应首先进行落石运动分析，以确定防护位置、高度以及防护结构强度。分析方法有：现场滚石试验、计算模拟、经验估算。
  - d) 在落石防治总体方案的基础上，应结合工程地质、地形、地下水、降雨条件以及本区域生态环境，制定地表截排水、地下排水或两者相结合的方案。
- 8.4.4 对于地表水，应采取截排和疏导措施。
- 8.4.5 对地下水发育的边坡，应采取引排和疏导措施，可根据地层的渗透性采取支撑盲沟、水平疏干孔、地下巷道泄水等措施疏排坡体内的地下水。
- 8.4.6 土质边坡或风化的岩质边坡，可采用植草、种灌木措施。
- 8.4.7 表层破碎的岩质边坡宜采用非爆破法清除表面松动岩块，并应采用喷射混凝土加固表面或块石砌筑护面，扶垛护脚的措施，对于局部不稳定块体，可采用锚杆、锚索及挂防护网等加固措施。
- 8.4.8 对推移式的潜在滑移体，可采用减载、压脚的措施。
- 8.4.9 对潜在滑动面埋藏较深的滑移体，在确保施工期间边坡稳定的情况下，可采用注浆法加固措施。
- 8.4.10 对潜在滑动面有一定埋深的滑移体，可采用锚杆、锚索及抗滑桩等支挡措施。
- 8.4.11 对失稳因素复杂的潜在滑移体，可采用地面截水、排水、地下疏干、上部削坡及下部加固或分

级加固等治理措施。

8.4.12 当采用挡墙、抗滑桩、锚杆、锚索加固坡体时，岩土与挡墙基底摩擦系数、地基系数、砂浆与岩土间的黏结强度等设计参数，宜通过现场试验确定，当无试验条件时，可按附录 H 选取。

## 8.5 边坡监测

8.5.1 边坡存在变形或边坡坡顶有重要工程或存在以下情况时，应对边坡进行监测。

- a) 开挖或填筑高度超过5 m；
- b) 开挖或填筑高度虽未超过5 m，但地质条件、周边环境或地下管线复杂；
- c) 影响毗邻建（构）筑物安全的边坡工程，应实施边坡工程监测；
- d) 在边坡野外勘察期间，若发现有危岩、滑坡迹象，应及时监测边坡变形情况。

8.5.2 边坡工程除了采用专用测量仪器监测外，尚应辅以现场巡视检查。

8.5.3 用于边坡工程监测的仪器设备应定期进行计量检定或校准，使用时应在有效的检定或校准周期内。

8.5.4 边坡监测应根据工程要求提供监测数据和报告，应满足边坡稳定性预测和边坡工程治理设计、信息化施工的要求。

8.5.5 边坡工程监测应由设计方提出监测项目和技术要求，监测范围应涵盖边坡施工和运行影响范围内的全部建（构）筑物和设施。监测单位应编制监测方案，监测方案应有监测依据、目的、项目、方法和精度要求，应包括监测点布置、监测期及频率和信息反馈制度等内容。

8.5.6 当边坡工程周边有地铁、隧道或其他对变形有特殊要求的建（构）筑物及设施时，应向相关管理部门或单位调查了解相应保护监测要求与监测预警值，相应的监测方案应得到相关管理部门或单位认可并备案后实施。

8.5.7 边坡工程监测应根据边坡和周边条件选用合适的监测手段。在传统监测技术手段基础上，可采用自动监测、远程监控、航空摄影测量、激光雷达监测等新技术手段。

8.5.8 地表位移监测可采用 GNSS 法或大地测量法等。在通视条件较差的环境下，宜采用 GNSS 法监测为主；在通视条件较好的情况下宜采用大地测量法；在监测范围广、监测精度要求不高的情况下，可采用 INSAR 法。边坡变形监测与测量精度应符合 GB 50026 的相关规定。

8.5.9 对采用新技术治理的一级、特级边坡工程，应建立边坡工程长期监测系统。

8.5.10 边坡监测项目宜根据边坡工程安全等级按表 27 确定。

表 27 边坡监测项目

监测项目	边坡工程安全等级			
	特级	一级	二级	三级
坡顶水平、各级台阶、坡底位移和沉降	应测	应测	应测	应测
地表裂缝、错位	应测	应测	应测	宜测
坡顶建（构）筑物变形	应测	应测	应测	宜测
管线位移	应测	应测	应测	应测
锚杆拉力	应测	应测	宜测	可测
边坡岩土内部应力监测	宜测	可测	可测	可测
支护结构内力	宜测	宜测	宜测	可测
深层水平位移	应测	宜测	宜测	可测
地下水位	应测	宜测	可测	可测
降雨量	应测	应测	可测	可测

## 9 勘察报告

### 9.1 通用要求

9.1.1 边坡的岩土工程分析与评价应根据地形地貌、地质构造、工程地质及水文地质条件等进行，充分考虑当地工程或类似工程经验，结合边坡工程特点和具体要求进行，必要时应进行工程地质分区或边坡分区评价、确定边坡破坏模式；对工程地质条件、边坡形态、坡面倾角等条件相同的地段可划为同一区段，可使用同一工程地质剖面及计算参数。

9.1.2 边坡工程勘察报告应包括正文、图表和附件，且应满足资料使用和保存要求。

9.1.3 勘察报告宜根据工程特点和管理需求进行数字化建设和信息化管理。

## 9.2 报告要求

9.2.1 勘察报告应根据任务要求、勘察阶段、工程特点和地质环境等具体情况进行编写，并宜包括如下内容。

注：详细勘察阶段应严格执行，工可研究阶段、初勘阶段参照执行。

a) 任务来源、边坡工程概况和有关的设计参数、勘察等级、勘察方法（含物探方法）及工作量布置。

b) 勘察目的、任务要求和依据的技术标准。

c) 边坡的工程地质条件，应包括下列内容：

1) 区域和场区的气象、水文、地形、地貌、地层、岩性、构造及地震等自然和地质概况；

2) 场地岩土的类型、成因、性状、分布，岩石风化程度、节理（结构面）发育程度，边坡岩体完整程度、结构类型、基本质量等级，边坡岩体质量分级。

d) 边坡的水文地质条件，应包括下列内容：

1) 地表水特征；

2) 水文地质特征（类型、埋藏条件、透水性、富水性、水位及变化幅度），地下水补给、径流及排泄条件、地下水出露情况、水文地质试验及参数计算。

e) 岩土参数的统计和选用：

1) 关于参数统计和建议值的说明；

2) 试验数据可靠性分析；

3) 原位测试指标统计；

4) 室内试验指标统计；

5) 岩土层物理力学参数综合分析与建议（也可放在 f 中单独章节进行）。

f) 岩土工程分析和评价。

1) 场地地震效应影响。

2) 水文地质作用评价：

——地表水作用评价；

——地下水作用评价；

——水土腐蚀性评价。

3) 不良地质作用及地质灾害评价。

4) 拟建场地的稳定性和适宜性评价

5) 边坡工程分析，应包括下列内容：

——边坡岩开挖岩土体的土石比分析及岩土施工工程分级。

——边坡工程稳定性影响因素分析。

——边坡自稳能力及变形破坏模式初判。

——边坡分区破坏模式。

注：确定边坡各区段是直线滑动、折线滑动、圆弧滑动、楔形体滑动、崩塌、坡面局部破坏等的哪种破坏模式或多种组合破坏模式，宜列表说明。

——稳定性计算的边界条件及参数确定（含边坡稳定性参数、边坡防护参数建议）。

——边坡稳定性分析与评价（含自然边坡和人工边坡的稳定性分析与评价，结构面稳定性分析与评价）；宜进行定量分析，宜列表进行结构面稳定性定性评价。

g) 边坡防护与加固措施建议。

h) 边坡监测措施建议。

i) 环境影响分析。

j) 地质条件可能造成的工程风险评价。

注：可参考基坑工程来判定边坡工程是否为危险性较大的分部分项工程。

k) 结论与建议。

l) 其他说明。

9.2.2 边坡工程勘察报告宜根据工程需要附下列图表。

a) 平面图宜包括下列内容：

1) 勘探点平面布置图；

- 2) 工程地质分区或边坡分区图；
  - 3) 基岩面、地下水位、岩层厚度等值线图（视边坡复杂程度绘制）。
- b) 剖面图应包括下列内容：
- 1) 工程地质剖面图；
  - 2) 边坡稳定性计算断面图。
- c) 钻孔柱状图或综合柱状图。
- d) 探井、探槽、竖井及平洞展开图。
- e) 图表宜包括下列内容：
- 1) 勘探点数据一览表；
  - 2) 室内试验土工试验成果表；
  - 3) 原位测试成果图表；
  - 4) 其他相关分析图表。

附录 A  
(资料性)

野外节理裂隙等结构面调绘记录、孤石特征野外调查与统计

野外节理裂隙等结构面调绘记录表如表 A.1。

表 A.1 野外节理裂隙等结构面调绘记录表

工程名称:		勘察阶段:		工点名称:			年 月 日						
调绘点 编号	位置	统计点 高程 m	结构面 编号	倾向 (°)	倾角 (°)	延伸长度 m	结构面密度 (条/m) (按组)			结构面宽度 mm	结构面表 面特征	充填物、 胶结状况 与其他	边坡描述
							测线长度 或面积	条数	线密度				
S10-1 (例)	RK141+726 右 45	680	J1-1	275	85	5	1	3	3	2~3	平直粗糙	无充填	边坡产状 200° ∠30, 边坡现状 较为稳定
			J1-2	270	90	3				2~3	平直粗糙	无充填	
			J1-3	280	80	3				2~3	平直粗糙	无充填	

校核:

记录:

测量:

说明: 1、岩石露头编号: (D1-0, 1-单位、0-序号), 露头编号位置需注明于地形图上, 同时提交地形图, 挖探编号: WK1; 2、结构面编号: 如: 层面 C1, 节理面 J1, 软弱层 R1 等; 3、结构面密度按 GB/T 50218—2014 附录 B 执行 (真间距= $L \sin\theta$  水平测线方向视间距\* $\sin\theta$  结构面走向线与测线夹角\* $\sin\theta$  结构面倾角, 或真间距= $L \cos\theta$  结构面倾角); 4、充填物、胶结状况及其他: 若为层面应描述岩石名称及风化程度 (如微风化粉砂岩等) 和层厚或沉积韵律描述 (厚层、薄层、互层、夹极薄层等); 5、计算岩体体积节理时, 水平测线长度不小于 5 m, 垂直测线长度不宜小于 2 m; 6、未尽事宜按有关标准执行。

孤石特征按表 A. 2 进行调查、统计。

表 A. 2 孤石特征野外调查、统计表

工程名称：

勘察阶段：

工点名称：

年 月 日

序号	统一编号	投影坐标(米)		坡向(°)	坡度(°)	高程 m	尺寸(m)			总方量 m <sub>3</sub>	埋深 m	基座岩土类型、性质、受冲刷程度及与孤石的连系	坡面汇排水条件	孤石岩体风化程度	孤石及周边岩土体变形情况	孤石稳定性评价
		X	Y				长	宽	高							

校核：

记录：

调查：

## 附录 B

(资料性)

## 断裂带、孤石、滑坡体、土岩分界面的工程物探方法选择

断裂带、孤石、滑坡体、土岩分界面的物探方法优选等级划分见表 B.1。

表 B.1 断裂带、孤石、滑坡体、土岩分界面的物探方法优选等级划分

方法		探测目的			
		断裂带	孤石	滑坡体	土岩分界面
直流电法	电剖面法	○			
	电测深法	●	○	○	○
	高密度电法	●	○	○	○
电磁法	大地电磁法	●			○
	瞬变电磁法	●			○
	探地雷达	○	●	○	●
浅层地震法	反射波法	○	●	●	●
	折射波法	●			●
	微动勘探法	●	●	●	●
孔中物探法	弹性波层析成像	●	●	●	●
	电磁波层析成像	●	●		●
	管波探测法	●		●	●
	孔中雷达法	●	●		●

注：●推荐方法；○可选方法。

## 附录 C

(资料性)

## 花岗岩类风化岩及残积土边坡变形破坏类型划分

花岗岩类风化岩及残积土边坡变形破坏类型划分见表 C.1。

表 C.1 花岗岩类风化岩及残积土边坡变形破坏类型划分

序号	变形破坏类型		变形破坏特征	变形破坏机制	破坏面形态
1	崩塌		边坡岩体松动、脱落，主要运动形式为自由坠落或滚动	拉裂。 岩体存在临空面，在结合力小于重力时，发生崩塌	
2	滑动	平面型	边坡岩体沿某一结构面整体滑移	剪切-滑移。 结构面临空或坡脚岩体被剪断	贯通性结构面形成滑动面
		弧面型	土质及散体结构的边坡，沿弧形滑动面滑移	剪切-滑移。 岩土体剪切强度偏低。坡高、坡角偏大	弧形滑动面
		折线型	边坡岩体沿两个或两个以上结构面的平面型滑动	剪切-滑移。 结构面临空或坡脚岩体被剪断	贯通性结构面形成的组合滑动面
		楔形体	两个或两个以上结构面组合而成的楔形体，沿两个滑动面交线方向滑动	剪切-滑移。 结构面临空	两个以上滑动面组合
3	蠕动	倾倒	结构面反向的边坡，似层状岩体逐渐向外弯曲、拉裂、倒塌的现象，陡倾似层状同向边坡也可出现弯曲倒塌	弯曲-拉裂。 由于岩石薄，强度低，表部岩层在风化及重力作用下产生弯曲	沿软弱结构面与折断面追踪形成
		拉裂	边坡岩体沿平缓面向临空方向产生蠕变滑移，使局部拉应力集中而出现拉裂、扩展、移动的现象	塑流-拉裂。 重力作用下，软岩变形使上部岩体失稳	软岩中变形带
4	流动		碎屑类土石堆积体在重力作用下，向坡脚或沟谷运移，形成碎屑流	流动。 碎屑体饱水后在重力作用下产生流动	无明显滑动面

附录 D  
(资料性)  
花岗岩类岩质边坡变形破坏模式

不同结构类型的花岗岩类岩质边坡变形破坏模式见表 D.1。

表 D.1 不同结构类型的花岗岩类岩质边坡变形破坏模式

序号	岩石名称	风化程度	边坡结构类型	边坡结构特征	边坡稳定特征	潜在变形破坏模式
1	花岗岩 混合花岗岩 花岗混合岩	微-未风化	整体结构 (YI型)	结构面不发育,多呈闭合型,无危险结构面	岩体稳定,可视为均质弹性各向同性体	稳定,偶有掉块
2	花岗岩 混合花岗岩 花岗混合岩	中-微风化	块状结构 (YII型)	结构面不发育~较发育,多为硬性结构面,软弱面较少	边坡稳定性受贯穿性结构面和块体滑动控制,破坏类型以崩塌和滑动为主	崩塌、平面滑动、折线滑动、倾倒破坏
3	花岗岩 混合花岗岩 花岗混合岩	碎块状强风化带、较破碎中等风化带	裂隙块状结构 (YIII型)	结构面较发育~发育,岩体破碎~较破碎,结构面结合差~一般	滑动抗滑稳定性受破碎岩体质量控制,易发生崩塌、剥落和弧面形滑动	弧形滑动、平面滑动、折线滑动中最不利的模式,圆弧-直线复合滑动模式,崩塌、倾倒破坏
4	一般为劈理带、裂隙密集带		镶嵌结构 (YIV型)	结构面或原生节理,裂隙发育,岩体较破碎但结合较紧密	边坡稳定性相对较好,抗滑稳定性受构造结构面控制	崩塌、平面滑动、块体滑动
5	断层构造岩带、劈理带、裂隙密集带、构造影响严重的破碎岩层		碎裂结构 (YV型)	断裂结构面或原生节理、风化裂隙发育,岩体破碎	滑动抗滑稳定性不仅受断裂结构面控制,还受破碎岩体质量控制,边坡稳定性较差,易发生崩塌、剥落和弧面形滑动	弧形滑动、平面滑动、折线滑动中最不利的模式,圆弧-直线复合滑动模式
6	未胶结的断层破碎带		散体结构 (YVI型)	由岩块、岩屑和泥质物组成	边坡稳定性差,易发生弧面型滑动、沿其底面滑动	弧形滑动、平面滑动、折线滑动中最不利的模式,圆弧-直线复合滑动模式

说明:参考NB/T 10513 编制。

附录 E  
(资料性)

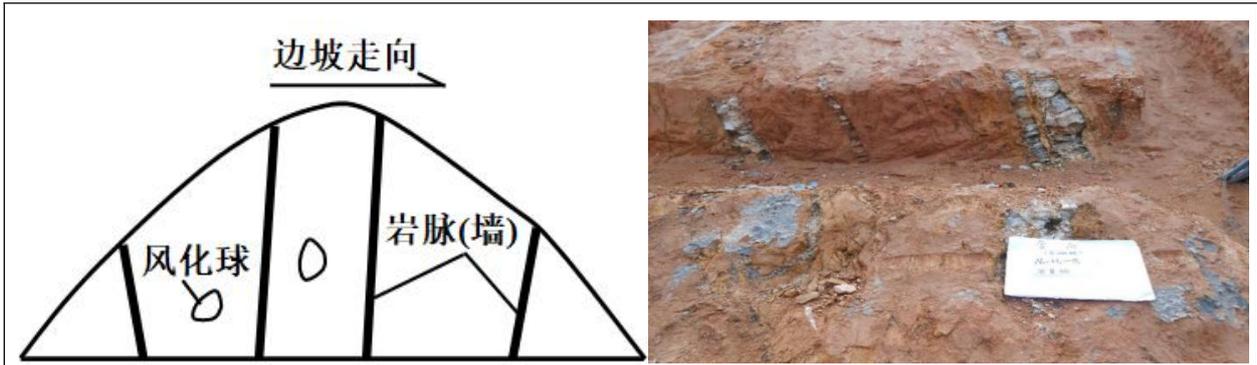
花岗岩类土质边坡坡体结构类型与变形破坏模式

花岗岩类土质边坡类型划分及相关特征见表 E.1。

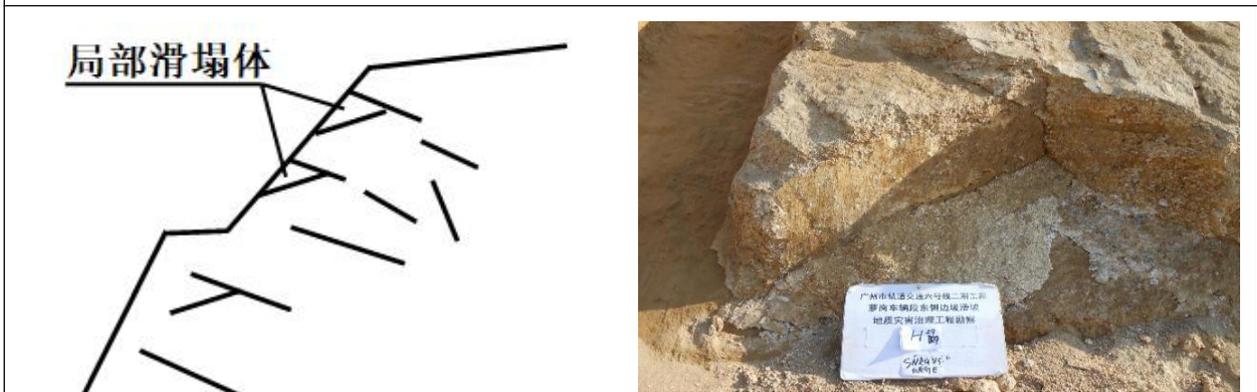
表 E.1 花岗岩类土质边坡类型划分及相关特征

边坡结构类型	坡体结构特征	稳定性控制因素	潜在破坏模式
岩脉(墙)隔挡型边坡 (I型边坡)	微风化至中等风化陡倾岩脉(倾角多 60° 左右)与边坡大角度相交(多 60° 以上),在坡体内形成隔挡。坡体中无延伸性较好的外倾结构面,坡面多见花岗岩球状风化体	岩脉(墙)风化程度	一般较稳定
网状结构型边坡 (II型边坡)	结构面延伸方向无明显规律性,贯通性和延伸性较差,局部倾向坡外	结构面的组合情况及外倾结构面的产状和力学性质,土体抗剪强度	局部结构体的砾落,为坡面破坏,圆弧滑动
外倾结构型边坡 (III型边坡)	结构面或结构面交线多倾向坡外,结构面延伸性好,多附着黑色铁锰质风化背膜,结构面平整、光滑、力学强度低	外倾结构面的产状和力学性质	沿外倾结构面做平面滑动、楔形体滑动或圆弧-直线复合滑动,为坡体破坏
浮石型边 (IV型边坡)	坡面或坡体内残存少量球状风化体,其间无接触,均为风化程度较深的残积土包裹	风化岩残积土的物理力学性质,特别是抗剪强度	圆弧滑动
均匀型 (V型边坡)	坡体为较为均匀的花岗岩类土状风化岩或残积土,土体中的原生构造节理不发育或虽有发育但延伸近	风化岩残积土的物理力学性质,特别是抗剪强度	圆弧滑动
高倾角外倾结构面控制型 (VI型边坡)	坡体中的结构面倾向坡体临空面且倾角很大、近于直立时。边坡开挖时卸荷作用,降雨时,上部拉张裂缝充水,由于动静水压力作用,软弱面前面的土体向临空面倾覆,从而产生崩塌破坏	外倾结构面的产状和力学性质,开挖卸荷,雨水、地下水作用	崩塌,又称“崩岗”,单块破坏体厚度一般不大于 2 m,往往形成叠瓦状

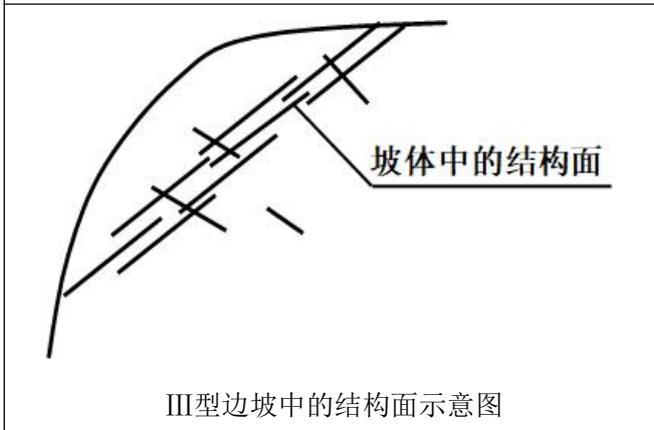
备注:表中各结构类型边坡如下图所示。



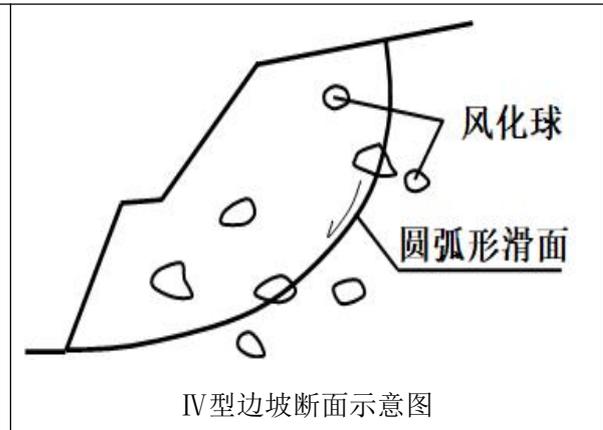
I 型边坡立面示意图及照片



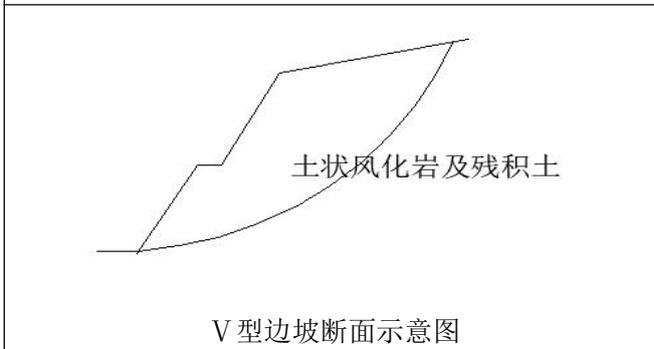
II 型边坡断面示意图及照片



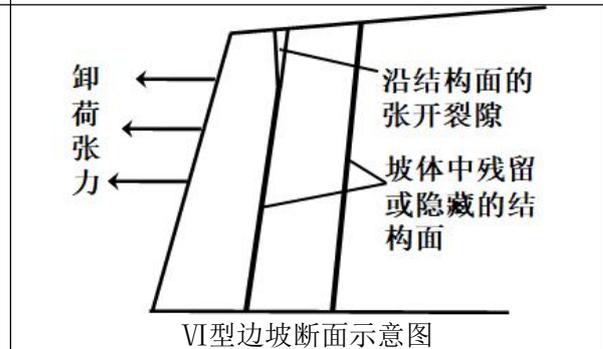
III型边坡中的结构面示意图



IV型边坡断面示意图



V 型边坡断面示意图



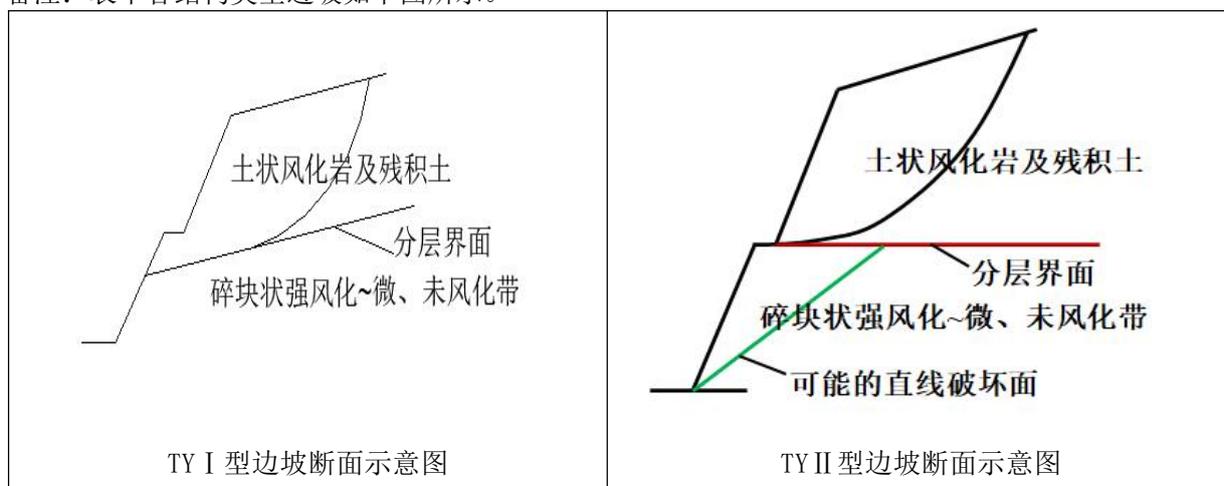
VI型边坡断面示意图

花岗岩地区土岩组合边坡类型划分及相关特征见表 E. 2。

表 E. 2 花岗岩地区土岩组合边坡类型划分及相关特征

边坡结构类型	坡体结构特征	稳定性控制因素	破坏模式
基底控制型 (TY I 型边坡)	坡体花岗岩类土状风化物覆盖于岩石(碎块状强风化~微、未风化)上组成,覆盖物与岩石的强度相差较大,接触面抗剪强度低且陡倾角外倾	接触面地下水情况、接触面抗剪强度、接触面附近土体抗剪强度	沿基底表面的折线或直线滑动或圆弧-直线复合滑动,
土岩组合边坡 (TY II 型)	坡体花岗岩类土状风化物覆盖于岩石(碎块状强风化~微、未风化)上组成,接触面抗剪强度较高且非陡倾角外倾	岩体、土体强度,岩土体中的结构面产状、强度等	根据坡体岩土特点选择合适的方法分析各种可能的破坏模式,进而综合确定边坡的稳定性

备注:表中各结构类型边坡如下图所示。



花岗岩类土质边坡坡面冲刷分类见表 E. 3。

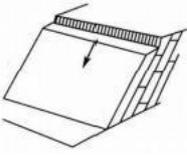
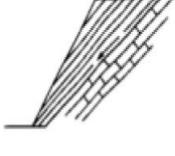
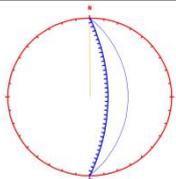
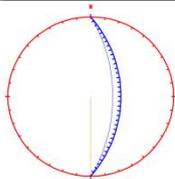
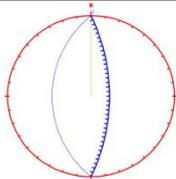
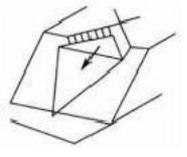
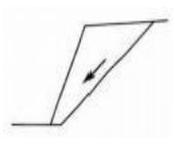
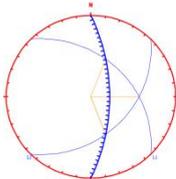
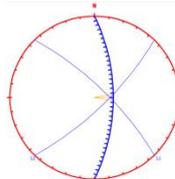
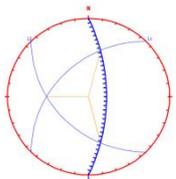
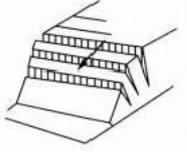
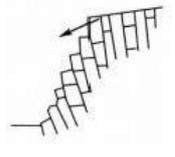
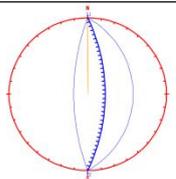
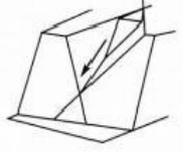
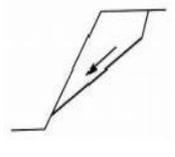
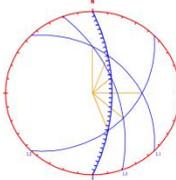
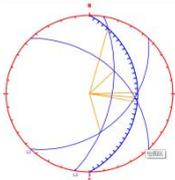
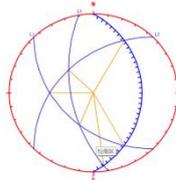
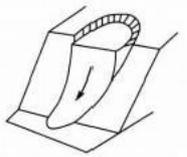
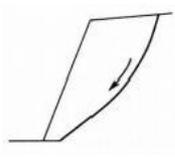
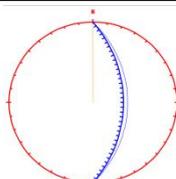
表 E. 3 花岗岩类土质边坡坡面冲刷分类

分类标准	冲刷的形态特征					
	片蚀			沟蚀		
类型	溅蚀	面蚀	细沟侵蚀	浅沟侵蚀	切沟侵蚀	冲沟侵蚀

附录 F  
(资料性)  
极射赤平投影图解法

极射赤平投影判释边坡稳定类型及破坏模式见 F.1。

表 F.1 极射赤平投影判释边坡稳定类型及破坏模式

结构面组合	典型破坏模式			极射赤平投影		
	模式	立面图	剖面图	不稳定型	基本稳定型	稳定型
单一结构面	单面或阶梯型破坏					
两组结构面	楔形破坏					
	倾倒型破坏					
三组结构面	楔形破坏					
碎裂结构	圆弧形破坏					

附录 G  
(资料性)  
边坡稳定性定量分析 (刚体极限平衡法)

### G.1 滑移破坏的稳定系数计算

G.1.1 边坡稳定性计算时, 应按边坡破坏机理和潜在滑动面形态及性状, 同时应根据影响边坡稳定性的因素选择相应的公式计算。

G.1.2 圆弧形滑动面的边坡稳定性宜采用简化毕肖普法进行计算, 简化毕肖普法和瑞典条分法计算符合下列规定:

简化毕肖普法受力分析应按图 G.1 进行, 并可按下列公式计算:

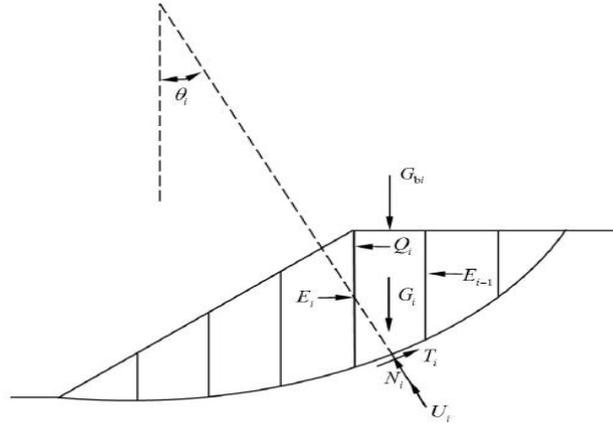


图 G.1 简化毕肖普法受力分析

$$F_S = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_{ai}} [c_i L_i \cos \theta_i + (G_i + G_{bi} - U_i \cos \theta_i) \tan \varphi_i]}{\sum_{i=1}^n [(G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + Q_i \cos \theta_i]} \quad (\text{G.1})$$

$$m_{ai} = \cos \theta_i + \frac{\tan \varphi_i \tan \theta_i}{F_S} \quad (\text{G.2})$$

$$U_i = \frac{1}{2} \gamma_w (h_{wi} + h_{wi-1}) L_i \quad (\text{G.3})$$

式中:

$F_S$ ——边坡稳定系数;

$c_i$ ——第  $i$  计算条块滑面黏聚力 (kPa);

$\varphi_i$ ——第  $i$  计算条块滑动面内摩擦角 ( $^\circ$ );

$L_i$ ——第  $i$  计算条块滑动面长度 (m);

$\theta_i$ ——第  $i$  计算条块滑动面倾角 ( $^\circ$ ), 滑动面倾向与滑动方向相同时应取正值, 底面倾向与滑动方向相反时应取负值;

$G_i$ ——第  $i$  计算条块单位宽度自重 (kN/m);

$U_i$ ——第  $i$  计算条块滑动面单位宽度总水压力 (kN/m);

$G_{bi}$ ——第  $i$  计算条块单位宽度竖向附加荷载 (kN/m), 方向指向下方时应取正值, 指向上方时应取负值;

$Q_i$ ——第  $i$  计算条块单位宽度水平荷载 (kN/m), 方向指向坡外时应取正值, 指向坡内时应取负值;

$h_{wi}, h_{wi-1}$ ——第  $i$  及第  $i-1$  计算条块滑动面前端水头高度 (m);

$\gamma_w$ ——水重度, 应取  $10 \text{ kN/m}^3$ 。

注: 在瑞典条分法的基础上做了改进, 假定滑面形状为滑裂圆弧面、条块之间仅有水平作用力而无垂向作用力, 即条块在滑动过程中无垂向的相对运动趋势。该法的安全系数比瑞典条分法的精度较高, 适用于圆弧形滑裂面。

G.1.3 折线形滑动面的边坡稳定系数可采用传递系数法的隐式解，传递系数法受力分析应按图 G.2 进行，边坡稳定性可按下列公式计算，使用折线形滑面计算推力时，应将式 (G.5) 和式 (G.6) 中的稳定系数  $F_s$  替换为稳定安全系数  $F_{st}$ ，并应以此计算的  $P_n$  作为滑坡推力：

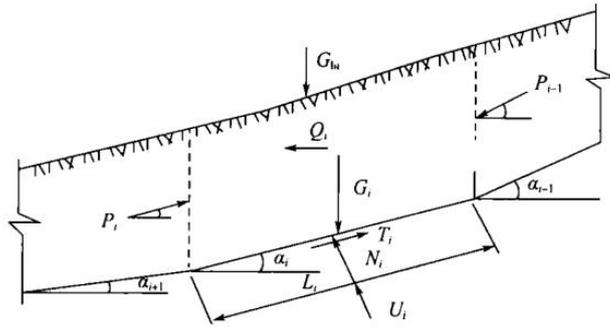


图 G.2 传递系数法受力分析

$$P_n = 0 \quad (G.4)$$

$$P_i = P_{i-1}\psi_{i-1} + T_i - R_i/F_s \quad (G.5)$$

$$\psi_{i-1} = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i/F_s \quad (G.6)$$

$$T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \alpha_i + Q_i \cos \alpha_i \quad (G.7)$$

$$R_i = c_i L_i + [(G_i + G_{bi}) \cos \alpha_i - Q_i \sin \alpha_i - U_i] \tan \varphi \quad (G.8)$$

式中：

$P_n$ —第  $n$  条块单位宽度剩余下滑力，单位为千牛每米 (kN/m)；

$P_i$ —第  $i$  计算条块与第  $i+1$  计算条块单位宽度剩余下滑力，单位为千牛每米 (kN/m)，当  $P_i < 0 (i < n)$  时，取  $P_i = 0$ ；

$T_i$ —第  $i$  计算条块单位宽度重力及其他外力引起的下滑力，单位为千牛每米 (kN/m)；

$R_i$ —第  $i$  计算条块单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力，单位为千牛每米 (kN/m)；

$\alpha_i$ —第  $i$  计算条块滑动面倾角，单位为度 ( $^\circ$ )，滑动面倾向与滑动方向相同时应取正值，底面倾向与滑动方向相反时应取负值；

$\psi_{i-1}$ —第  $i-1$  计算条块对第  $i$  计算条块的传递系数。

在用折线滑面计算滑坡推力时，应将式 (G.5) 和式 (G.6) 中的稳定系数  $F_s$  替换为安全系数  $F_{st}$ ，以此计算的  $P_n$  即为滑坡的推力。

G. 1.4 对于岩质边坡被一组节理切割的情况，块体稳定性应按平面问题进行分析，块体平面滑动分析应按图 G.3 进行，块体稳定性可按下列公式计算：

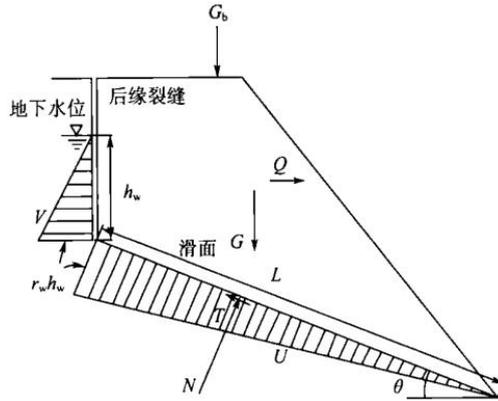


图 G.3 岩质边坡平面滑动受力分析

$$F_S = \frac{[(G+G_b) \cos \theta - Q \sin \theta - V \sin \theta - U] \tan \varphi + cL}{(G+G_b) \sin \theta + Q \cos \theta + V \cos \theta} \quad (G.9)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2 \quad (G.10)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w L h_w \quad (G.11)$$

式中：

$c$ ——滑动面的黏聚力 (kPa)；

$\varphi$ ——滑动面的内摩擦角 ( $^\circ$ )；

$L$ ——滑动面的长度 (m)；

$G$ ——滑移体的单位宽度自重 (kN/m)；

$G_b$ ——滑移体单位宽度竖向附加荷载 (kN/m)，方向指向下方时应取正值，指向上方时应取负值；

$\theta$ ——滑动面的倾角 ( $^\circ$ )；

$U$ ——滑动面的单位宽度总水压力 (kN/m)；

$V$ ——后缘陡倾裂隙面上的单位宽度总静水压力 (kN/m)；

$Q$ ——滑移体单位宽度水平荷载 (kN/m)，方向指向坡外时应取正值，指向坡内时应取负值；

$h_w$ ——后缘陡倾裂隙充水高度 (m)，根据裂隙情况及汇水条件确定。

G. 1.5 当采用楔形体法计算抗滑稳定性系数时，楔形体的滑动模式包括单面滑动、双面滑动，其滑动模式判断与稳定性系数应按以下公式计算 (图 G.4)。

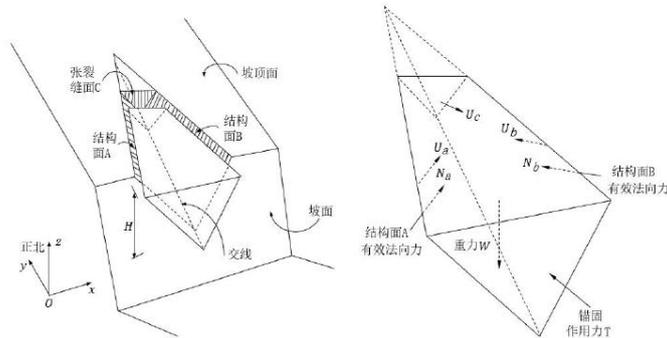


图 G.4 楔形体法稳定性分析计算简图

$$N_a = (m_{ab} R \cdot n_b - R \cdot n_a) / (1 - m_{ab}^2) \quad (G.12)$$

$$N_b = (m_{ab} R \cdot n_a - R \cdot n_b) / (1 - m_{ab}^2) \quad (G.13)$$

$$m_{ab} = \sin \psi_a \sin \psi_b \cos(\alpha_a - \alpha_b) + \cos \psi_a \cos \psi_b \quad (G.14)$$

$$R = U_a n_a + U_b n_b + U_c n_c + W_W + T_t \quad (G.15)$$

$$n_a = (\sin \psi_a \sin \alpha_a, \sin \psi_a \cos \alpha_a, \cos \psi_a) \quad (G.16)$$

$$n_b = (\sin \psi_b \sin \alpha_b, \sin \psi_b \cos \alpha_b, \cos \psi_b) \quad (G.17)$$

$$n_c = (\sin \psi_c \sin \alpha_c, \sin \psi_c \cos \alpha_c, \cos \psi_c) \quad (G.18)$$

$$w = (0, 0, -1) \quad (G.19)$$

$$t = (\cos \psi_t \sin \alpha_t, \cos \psi_t \cos \alpha_t, -\sin \psi_t) \quad (G.20)$$

- a) 当  $N_a > 0$ ,  $N_b > 0$  时, 楔形体沿结构面 A 和 B 的交棱线滑动, 其稳定性系数应按式 (G.21) 计算:

$$F_S = \frac{N_a \tan \phi'_a + c'_a A_a + N_b \tan \phi'_b + c'_b A_b}{|R(n_a \times n_b)| / |n_a \times n_b|} \quad (G.21)$$

- b) 当  $N_a$  或  $N_b$  出现负值时, 若  $N_a$  和  $N_b$  满足  $N_a + m_{ab} N_b \geq 0$ , 楔形体沿结构面 A 滑动, 其稳定性系数应按式 (G.22) 计算:

$$F_S = \frac{|R \cdot n_a| \tan \phi'_a + c'_a A_a}{|R \times n_a|} \quad (G.22)$$

- c) 当  $N_a$  和  $N_b$  满足  $N_b + m_{ab} N_a \geq 0$ , 楔形体沿结构面 B 滑动, 其稳定性系数应按式 (G.23) 计算:

$$F_S = \frac{|R \cdot n_b| \tan \phi'_b + c'_b A_b}{|R \times n_b|} \quad (G.23)$$

式中:

$A_a$ 、 $c'_a$ 、 $\phi'_a$ ——结构面 A 的面积 ( $m^2$ ), 有效黏聚力 (kPa) 和内摩擦角 ( $^\circ$ );

$A_b$ 、 $c'_b$ 、 $\phi'_b$ ——结构面 B 的面积 ( $m^2$ ), 有效黏聚力 (kPa) 和内摩擦角 ( $^\circ$ );

$\psi_a$ 、 $\alpha_a$ ——结构面 A 的倾角和倾向 ( $^\circ$ );

$\psi_b$ 、 $\alpha_b$ ——结构面 B 的倾角和倾向 ( $^\circ$ );

$\psi_c$ 、 $\alpha_c$ ——张裂缝面 C 的倾角和倾向 ( $^\circ$ );

$\psi_t$ 、 $\alpha_t$ ——锚杆或锚索加固力 T 的倾角和倾向 ( $^\circ$ );

$U_a$ ——结构面 A 上的孔隙压力 (kN);

$U_b$ ——结构面 B 上的孔隙压力 (kN);

$U_c$ ——张裂缝面 C 上的孔隙压力 (kN);

$W_w$ ——楔形体重量 (kN);

$T_t$ ——锚杆或锚索加固力 (kN)。

G.1.6 在实际工程中, G.1.2~G.1.4 所列稳定系数计算公式除计入的重力作用外, 还应根据勘察区实际情况, 并应计入地下水动水压力、浮托力、地震力、地应力及地面堆载等力系对潜在滑移体的作用。

## G.2 倾倒破坏的稳定性分析计算

G.2.1 略去黏聚力影响的边坡倾倒岩块几何要素 (图 G.5) 应按下列情况进行定性分析:

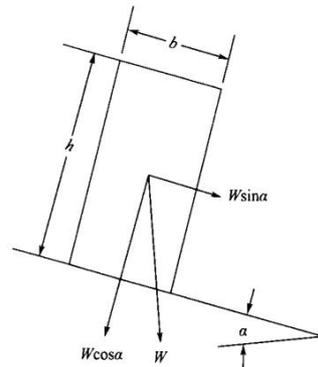


图 G.5 边坡倾倒岩块几何要素

- a) 当岩块潜在滑动面的倾角小于滑动面的等效内摩擦角、岩块宽度与高度的比值大于岩块潜在滑动面倾角的正切值时, 应判定岩块体稳定;
- b) 当岩块潜在滑动面的倾角滑动面小于滑动面的等效内摩擦角、岩块宽度与高度的比值小于

岩块潜在滑动面倾角的正切值时，应判定岩块体发生倾倒；

- c) 当岩块潜在滑动面的倾角大于滑动面的等效内摩擦角、岩块宽度与高度的比值大于岩块潜在滑动面倾角的正切值时，应判定岩块体发生滑动；
- d) 当岩块潜在滑动面的倾角大于滑动面的等效内摩擦角、岩块宽度与高度的比值小于岩块潜在滑动面倾角的正切值时，应判定岩块体既发生滑动，又发生倾倒。

G. 2.2 倾倒破坏可认为倾倒体不再受地应力、底面的抗拉力及倾倒体层间黏聚力的作用，岩块倾倒和滑动的极限平衡条件（图 G. 6）应按下列方法进行分析计算。

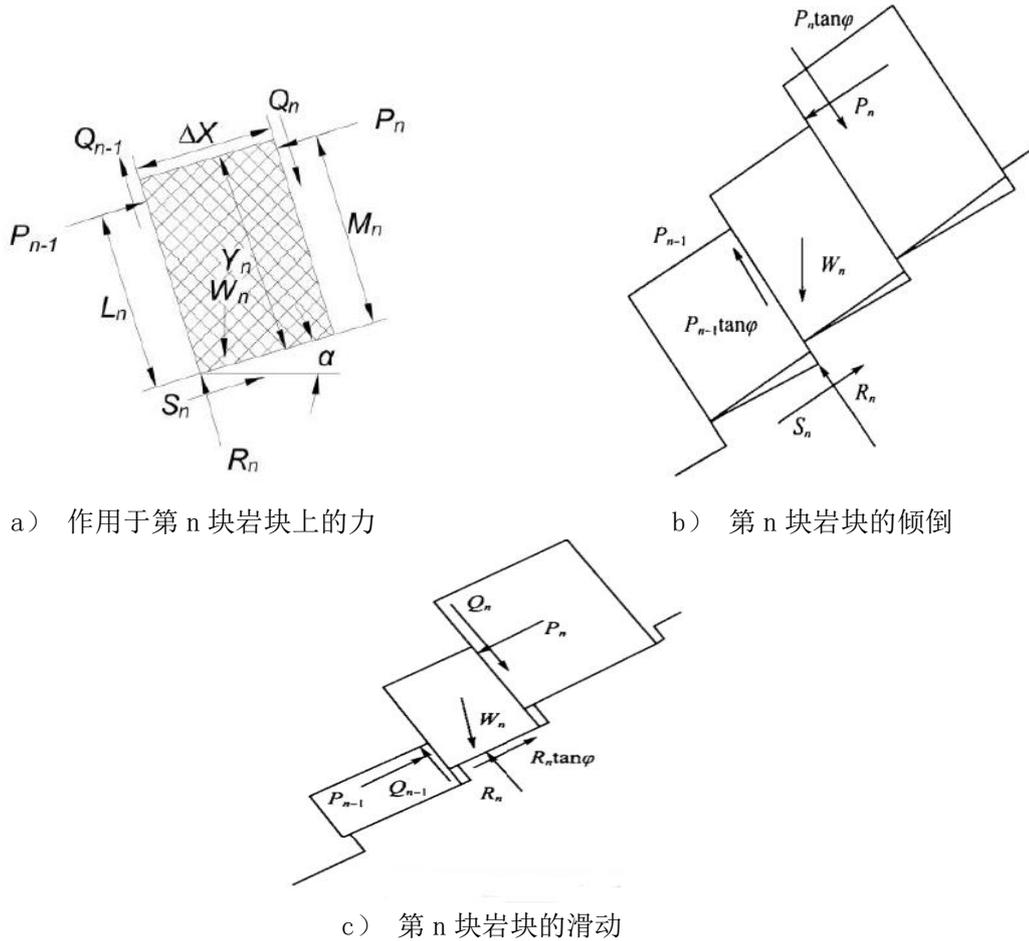


图 G. 6 岩块的倾倒和滑动的极限平衡条件

a) 对图 G. 6a)、图 G. 6b) 情况，根据力矩平衡条件，抗倾倒力 $P_{n-1t}$ 应按式 (G. 24) 计算：

$$P_{n-1t} = \frac{P_n(M_n - \Delta X \tan \varphi) + (W_n/2)(Y_n \sin \alpha - \Delta X \cos \alpha)}{L_n} \quad (G. 24)$$

式中：

- $\alpha$ ——结构面倾角的余角(°)；
- $\varphi$ ——岩块侧面、底裂面的等效内摩擦角(°)。

b) 对图 G. 6c) 情况，根据滑动方向的平衡条件，抗滑动力 $P_{n-1s}$ 应按式 (G. 25) 计算：

$$P_{n-1s} = P_n - \frac{W_n(\tan \varphi \cos \alpha - \sin \alpha)}{1 - \tan^2 \varphi} \quad (G. 25)$$

- c) 当抗倾倒力大于抗滑动力时，应判定岩块处于倾倒状态；
- d) 当抗倾倒力小于抗滑动力时，应判定岩块处于滑动状态；
- e) 边坡加固所需的锚固力计算，应取抗倾倒力和抗滑动力的大者。

注：参考YS/T 5230编制，原文“岩块的内摩擦角”改为“滑动面的等效内摩擦角”。

附录 H  
(资料性)  
边坡加固设计参数

H.1 较完整岩层的地基系数和土质地基系数可按表 H.1 和表 H.2 取值。

表 H.1 较完整岩层的地基系数

岩体单轴极限抗压强度 MPa	水平方向 ( $K_h$ ) MPa/m	垂直方向 ( $K_v$ ) MPa/m
10	60~160	100~200
15	150~200	250
20	180~240	300
30	240~320	400
40	360~480	600
50	480~640	800
60	720~960	1200
80	900~2000	1500~2500

注:  $K_h = (0.6 \sim 0.8) K_v$ 。

表 H.2 土质地基系数的比例系数

土的名称	水平方向 ( $m_h$ ) MN/m <sup>4</sup>	竖向方向 ( $m_v$ ) MN/m <sup>4</sup>
0.75 < $I_L$ < 1.0 软塑黏土及粉质黏土; 淤泥	0.5~1.4	1~2
0.5 < $I_L$ ≤ 0.75 可塑粉质黏土及黏土	1~2.8	2~4
0.25 < $I_L$ ≤ 0.5 可塑粉质黏土及黏土	1.5~3.5	3~5
硬塑粉质黏土及黏土; 细砂和中砂	2~4.2	4~6
坚硬的粉质黏土及黏土; 粗砂	3~7	6~10
砾砂; 碎石土, 卵石土	5~14	10~20
密实的大漂石	40~84	80~120
花岗岩残积土 (可塑)	2~4	3.5~5.5
花岗岩残积土 (硬塑、坚硬)	2.5~6	5~8
花岗岩全风化带	3~7	6~10
花岗岩土状强风化带	4~10	7~15
花岗岩碎块状强风化带	5~14	10~20

注 1:  $I_L$  为土的液性指数。  
注 2:  $m_h$  和  $m_v$  的值, 相应于桩顶位移 6 mm~10 mm。  
注 3: 从经验上来说, 对冲洪积、淤积成因土层, 水平向抗变形能力较好, 有时强过垂直向, 此时  $m_h$  取大值、 $m_v$  取小值。  
注 4: 有实测资料和经验时, 可不受本表的限制。

说明: 参考 GB 50330 编制, 在花岗岩地区, 土质边坡各岩土层的地基系数是一个变数, 对同一土层来说, 地基系数随深度增加而增加, 所以给出各种岩土层地基系数的比例系数经验值列表; 对于岩层来说, 地基系数相对较为稳定, 一般仅随岩石强度变化, 所以对岩层给出地基系数的经验值列表。

H.2 采用重力式挡土墙加固措施所需的岩土对挡土墙基底摩擦系数，可按表 H.3 选用。

表 H.3 岩土对挡土墙基底的摩擦系数

岩土类别		摩擦系数 ( $\mu$ )
黏性土	可塑	0.20~0.25
	硬塑	0.25~0.30
	坚硬	0.30~0.40
粉土		0.25~0.35
中砂、粗砂、砾砂		0.35~0.40
碎石土		0.40~0.50
花岗岩残积土（可塑）		0.25~0.30
花岗岩残积土（硬塑、坚硬）		0.30~0.35
花岗岩全风化带		0.35~0.40
花岗岩土状强风化带		0.40~0.45
花岗岩碎块状强风化带		0.45~0.65
表面粗糙的花岗岩未风化带、微风化带、中等风化带		0.65~0.75

说明：参考 GB 50330 制定，增加花岗岩各风化带参数。

H.3 采用锚杆、锚索加固措施所需的岩石、土层与锚固体极限黏结强度标准值估算，可按表 H.4 选用。

表 H.4 锚固体与岩土体间的极限粘结强度标准值

岩土层种类	岩土状态	$Q_{sk}$ kPa
黏性土	软塑	20~40
	可塑	40~60
	硬塑	60~80
	坚硬	80~100
粉土、粉细砂	稍密	20~40
	中密	40~60
	密实	60~80
砂土	稍密	80~100
	中密	100~160
	密实	160~200
中砂	中密	40~80
	密实	60~90
粗砂	中密	60~100
	密实	80~120
砾砂	中密、密实	100~140

表 H.4 锚固体与岩土体间的极限粘结强度标准值（续）

岩土层种类	岩土状态	$Q_{sk}$ kPa
碎石土	稍密	100~140
	中密	140~180
	密实	180~260
花岗岩残积土	可塑	60~80
	硬塑、坚硬	80~120
花岗岩类土状风化岩	全风化	140~200
	土状强风化	200~300
花岗岩类土状风化岩及残积土 (泥浆护壁或清水钻进成孔)	可塑	20~40
	硬塑、坚硬	30~50
	全风化	40~60
	土状强风化	50~70
花岗岩类岩石	碎块状强风化	280~700
	较软中等风化	700~1100
	中等风化	1100~1600
	微风化~未风化	1600~2200
注1: 砂土在密实度相同的情况下, 粉细砂取较低值、中砂取中值、粗砾砂取较高值。 注2: 岩石结构面发育时, 取下限值。 注3: 高压二次注浆可取较高值。		

说明: 参考SJG 85、DBJ 15-31, 单独列花岗岩风化残积土指标, 锚固体与岩石粘结强度指标较DBJ 15-31有增加, 花岗岩类土状风化岩及残积土(泥浆护壁或清水钻进成孔)锚杆参数参考DBJ 15-31取值。

## 参 考 文 献

- [1] GB 50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范
- [2] GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- [3] JTG C20 公路工程地质勘察规范
- [4] YS/T 5230 边坡工程勘察规范
- [5] DBJ 15-31 建筑地基基础设计规范
- [6] SJG 85—2020 边坡工程技术标准

## 条文说明

我国花岗岩出露广泛，广东省花岗岩出露面积占全省总面积的30%~40%，福建省约有40%，香港特别行政区有30%以上，广西壮族自治区、湖南省、江西省分别占本省面积的10%~20%。

目前，国内有关边坡的技术标准，包括国标、行标、地标，适用的边坡高度范围：一般土质边坡应用高度限值为15 m~25 m，岩质边坡应用高度限值为30 m~50 m。SJG 85适用的边坡高度范围：一般土质边坡应用高度限值为25 m，岩质边坡应用高度限值为50 m。正在编制中的广东省《建筑边坡工程技术规范》，适用范围与深圳市标准相同。仅规定对于高度超出限值的边坡应参考标准的原则进行专项勘察。为在花岗岩地区建筑边坡工程勘察中贯彻国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、确保质量、保护环境、经济合理，特制定本标准。

本标准将边坡高度100 m以下的岩质边坡和50 m以下的土质边坡工程纳入本标准研究范围，以拓展适用性，主要因为花岗岩地区工程建设中经常碰到高大的边坡，是为满足工程需要的一次尝试。但同时需要说明的是，随着边坡高度的增大，边坡工程风险、岩土工程勘察风险明显增大，对勘察、设计要求也越高，具有一定高度或较为复杂的边坡工程仍需要进行专项研究确定。

### 表1条文说明：

边坡工程安全等级不同规范划分方法不同，YS/T 5230—2019按边坡高度与工程重要性进行划分，广东省标准《建筑边坡工程技术标准》（送审稿）仅按边坡损坏后可能造成后果的严重性进行划分，本文件参考GB 50330、SJG 85按边坡岩体级别、边坡高度与破坏后果3项指标进行划分，参考广东省标准送审稿并结合花岗岩地区边坡特点对“很严重”、“严重”、“不严重”进行了说明，便于实操。

GB 50330—2013中3.2.2的规定，由外倾软弱结构面控制的边坡工程、工程滑坡地段的边坡工程、边坡滑塌区有重要建（构）筑物的边坡工程，破坏后果为很严重和严重的边坡工程，安全等级应定为一级。本标准将该条文删除，理由如下。

- 1) 破坏后果很严重。本来就应该定为一级或特级，不存在争议，没有必要重新进行定义。
- 2) 破坏后果严重。其安全等级笼统定为一级，不合理。

对于有外倾软弱结构面控制的边坡工程，如果是对软弱结构面的抗剪强度参数没把握，需要提高安全度，适当提高安全系数可以理解，但外倾软弱结构面控制也存在多种情况，应具体情况具体分析。

对于滑坡地段的边坡工程，有的滑坡只是浅层的、小范围的，并没有必要定为一级。

对于滑塌区有重要建（构）筑物的边坡工程，其破坏后果自然是很严重，已在备注2中说明。

- 3) 破坏后果不严重。是否需要提高，条文没有规定。

### 4.2.2条文说明：

坡上滑塌区影响范围 $L_1$ 主要与边坡的坡高、边坡地形、边坡岩土体的性状有关系，引入边坡坡脚以上影响范围修正系数 $\eta$ 。对于相同土层，边坡高度大，黏聚力对边坡稳定性的贡献较小，因此修正系数 $\eta$ 应取大值；对于坡顶以上为斜坡地带，斜坡坡度越大，边坡坡脚以上的影响范围也越大，因此修正系数 $\eta$ 也应取大值。本条文中，不区分直立边坡还是斜面边坡，边坡坡脚以上的滑塌区影

响区域 $L_1$ 为国标规定的直立边坡的塌滑区范围的2倍~3倍，解决了国标规定的边坡角度越平缓，其边坡塌滑区范围越大的不合理问题。

坡脚滑塌区影响范围 $L_2$ 主要与边坡的坡高、边坡的坡度有关系。但是对于危岩体、泥石流和滑坡地带，其影响范围较大，且影响因素众多，其坡脚的滑塌区影响范围 $L_2$ 应结合现场地形、汇水面积、坡面及坡体岩土体性质、植被发育情况等因素综合确定。

#### 表3条文说明：

增加特级勘察等级，更新了边坡工程安全等级为二级、边坡地质环境复杂程度为简单时的勘察等级。

#### 4.4条文说明：

花岗岩地区边坡工程勘察的配套要求，是本文件其他各项勘察要求的基础。

#### 4.5.1条文说明：

参考广东省标准《建筑边坡工程技术标准》（送审稿）编制。

按当前国标规定，边坡岩体分级是岩质边坡工程勘察的重要内容，是岩质边坡工程设计的基础，并将边坡岩体分级用于确定边坡工程安全等级、岩质边坡等效内摩擦角、岩体破裂角、主动岩石压力、锚喷支护、坡率允许值、锚杆验收试验数量等条文的规定中。

然而国标边坡规范关于边坡岩体分级存在诸多问题，国内学者对此提出不同看法，主要意见有：边坡岩体分级的条件相互矛盾、无从验证或选择性缺失，使用目的不明确及类别用途有不当之处，很难用于工程实践，如利用边坡岩体分级确定岩质边坡等效内摩擦角、岩体破裂角就是不合理的。

#### 表9条文说明：

参考GB/T 50218，增加了节理（结构面）发育程度、RQD值、岩体完整性指数评价列，均用来作为划分岩体完整程度的辅助评价指标。

#### 5.1.1条文说明：

参考GB 50330编制，增加了第6款“边坡位置与拟建工程的关系”，修改了第9款。

#### 5.1.4条文说明：

相较国标GB 50330，勘察范围适当外扩，这不仅考虑了边坡的高度，也考虑了坡度，还结合了岩土体的性质，按滑塌区影响范围确定勘探范围是合理的。当 $L_2$ 范围无建筑物时，此范围可采取调查手段或布置适量勘探点。

#### 5.1.5条文说明：

参考GB 50330—2013的4.2.6，增加第3款：勘探点应尽量布置在勘探线上，当现场条件受限，部分勘探点没有位于勘探线上，应根据边坡的整体地质条件将勘探点揭露的地层信息投影到勘探线上，进而绘制相关剖（断）面图。第4款，剖面纵横比例尺相同便于迭加边坡开挖断面，也便于边坡稳定性计算时按照剖面输入地层数据，当边坡很长，按纵横比例尺相同时绘制的剖面图可能不美观，可不受此规定限制。

#### 5.1.8~5.1.10 条文说明：

按GB 55017规定，对勘察工作的资料归档、数据溯源、测试仪器检定与校准、勘察单位参与施工验槽等的规定。

#### 5.4.2条文说明：

强调对于土状风化岩、残积土边坡，其原岩结构面、透镜体、岩脉等在风化后往往也成为软弱带对边坡稳定性不利，也需要查明。

#### 表11条文说明：

该表与国标一致，增加特级勘探线、勘探点间距要求。

## 6.2.2条文说明:

在花岗岩地区,基岩类型单一且无褶皱构造,与其他沉积岩、变质岩地区不同,线路穿越法往往为辅助性的地质调绘方法。

## 6.2.6条文说明:

对危岩与孤石调绘,具体调查与测绘内容包括:危岩体或孤石的位置、形态、分布高程、规模、岩性、临空面、侧边界、底界岩土体特征,发生失稳次数、崩塌前兆特征,滚石运动距离、运动方式和轨迹、堆积场所、诱发因素、危害对象,坡面形态、坡面植被等;对于危岩体,还应调查裂隙或结构面特征、历史上危岩体形成的时间、分析危岩体崩塌的可能性、失稳模式等。

## 6.8.1条文说明:

明确土状风化岩及残积土的取样要求。花岗岩土状风化岩及残积土含砂量大、特别易扰动,采用不同取样器、试验方法,试验结果差别大;场地位置不同,花岗岩类风化土成分不同,其物理力学性质也差别很大。

据广东某单位曾采用不同取样器采取花岗岩全风化、土状强风化样品进行试验, $\Phi 108$ 厚壁取样器取样的天然直快强度测试结果较环刀取样测试结果小30%左右,如下表:

不同取样方式采取样品试验结果对比表

样品名称	统计项目	108厚壁取样器取样测试结果						现场环刀取样测试结果			
		直接快剪		固结快剪		饱和固块		直接快剪		饱和固块	
		黏聚力 $c$	内摩擦角 $\phi$	黏聚力 $c$	内摩擦角 $\phi$	黏聚力 $c$	内摩擦角 $\phi$	黏聚力 $c$	内摩擦角 $\phi$	黏聚力 $c$	内摩擦角 $\phi$
		kPa	( $^{\circ}$ )	kPa	( $^{\circ}$ )	kPa	( $^{\circ}$ )	kPa	( $^{\circ}$ )	kPa	( $^{\circ}$ )
花岗岩全风化带	样本数	21	21	6	6	3	3	6	6	3	3
	最大值	19.1	27.2	22.7	27.7	7.3	34.3	32.1	36.2	10.0	36.7
	最小值	7.3	20.2	17.0	24.4	3.1	23.0	17.0	28.5	8.2	28.8
	平均值	13.8	24.0	20.3	26.5	4.8	26.8	23.7	33.5	9.1	32.6
	标准差	2.97	2.06	2.24	1.31			5.25	2.63		
	变异系数	0.215	0.086	0.111	0.049			0.222	0.078		
	标准值	12.7	23.3	18.4	25.5			19.3	31.4		
花岗岩土状强风化带	样本数	42	42	14	14	1	1	8	8	2	2
	最大值	24.8	29.2	25.6	31.6	3.3	34.6	39.4	36.6	9.5	36.3
	最小值	10.4	19.7	11.3	25.1	3.3	34.6	11.1	31.1	6.1	31.8
	平均值	13.9	25.5	19.6	27.7	3.3	34.6	25.8	35.0	7.8	34.1
	标准差	2.90	1.93	3.78	1.72			10.21	1.71		
	变异系数	0.209	0.076	0.193	0.062			0.396	0.049		
	标准值	13.1	25.0	17.8	26.9			18.9	33.8		

据上海某单位野外直剪、环刀取样室内试验试验资料,试验结果表明黏聚力离散性很大,对残积土环刀取样试验结果与现场直剪试验结果相差较大,说明样品试验时扰动较大、残积土环刀取样试验扰动也较大。

室内试验成果统计表

试验土层名称	统计参数	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数	统计修正系数	标准值	样本
砂质黏	抗剪 C/kPa	58.00	16.20	22.21	8.625	0.388	0.87	19.39	28

性土	强度	$\Phi/^\circ$	31.20	11.50	16.34	4.508	0.276	0.91	14.86	(试验 33组)

现场剪切试验成果统计表

试验土层名称	统计参数		最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数	统计修正系数	标准值	样本
砂质黏性土	抗剪强度	C/kPa	43.40	15.60	28.33	9.695	0.342	0.75	21.16	7 (试验9组)
		$\Phi/^\circ$	34.30	20.30	27.90	4.522	0.162	0.88	24.56	
花岗岩全风化带	抗剪强度	C/kPa	50.00	20.00	30.00	9.26	0.31	0.79	23.75	8 (试验8组)
		$\Phi/^\circ$	37.24	26.68	32.52	3.75	0.12	0.92	29.99	

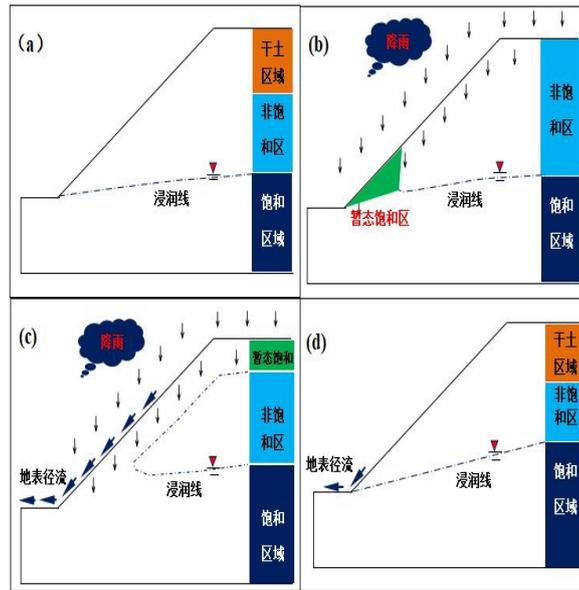


#### 7.1.1条文说明:

对边坡整体圆弧滑动型侧重于边坡岩土体的整体强度指标，对整体平面型、折线型滑动、崩塌型破坏、坡面局部破坏、沿原软弱面滑动等侧重于岩土体滑动面、软弱面、控制性结构面的抗剪强度参数。

#### 7.2.2条文说明:

降雨入渗及其对边坡稳定性的影响较为复杂，是否考虑雨季工况及考虑哪种雨季工况视当地气候条件而定，以工程安全为原则。国内这方面的研究也较多，据文献[1-2]，暴雨下雨水在边坡范围的运动过程解析如下：



边坡雨水运动过程图

相关的文献将雨季工况分成了短时大雨工况（降雨量10 mm/h，降雨时长36 h）与长时小雨工况（降雨量1.5 mm/h，降雨时长240 h）对边坡进行分析，认为短时大雨工况下边坡以浅层水平渗流为主，浅层土体孔隙水压力变化快，浅层形成暂态饱和带，易发生浅层滑坡；长时小雨条件下，渗流以竖向渗流为主，雨水持续入渗至坡体内部，边坡整体含水量增加，但浅层不易形成暂态饱和带，边坡稳定性持续缓慢下降，最终可导致降雨期间以非饱和区域为主的滑坡产生，最危险滑移面深度更深，范围更大，覆盖整个坡面。两种工况下，在坡脚处均产生应变集中，降雨诱发残积土坡失稳，应注重坡脚的防护。认为长时小雨工况下边坡更不安全。

按相关研究成果，由于花岗岩类风化岩及残积土具一定的渗透性、亲水性，含水量变化可造成土的抗剪强度发生变化，由于其遇水、扰动易崩解特性，造成土的室内饱和状态固结快剪试验强度偏低，与土的原状真实强度差异较大，暂态饱和带或长时小雨工况下非饱和土的强度指标可采用直接快剪指标进行修正后得到（黏聚力可乘以0.8的系数，内摩擦角减少 $2^\circ$ ）。

据某教育基地项目花岗混合岩残积土试验结果（土层均位于地下水位以上），饱和固快的试验结果抗剪强度均较低，特别是黏聚力，反应土样在试验室经饱和处理后抗剪强度急剧降低，这能大致模拟表层残积土层在雨季工况下抗剪强度随含水量的变化情况，对原始状态就位于地下水位以下的土层，参考意义不大，土层天然状态下的抗剪强度指标就能代表其强度。

#### 表15条文说明：

按照花岗岩特点并参考GB/T 50218—2014附录D、GB 50330制定该表，对结构面两侧岩石进行了具体化。

#### 7.2.4条文说明：

按照赵晓彦等著《花岗岩类土质边坡特性及其组合锚杆设计》编制。

#### 表16条文说明：

本表参考GB 50330编制，并结合花岗岩的特点，对岩体状况进行了具体化。根据节理的力学成因，可将其分为剪节理和张节理两种。剪节理产状较稳定，沿走向延伸较远，节理面平直光滑；张节理产状不甚稳定，往往延伸较短，单个节理短而弯曲，张节理面粗糙不平。一般情况下花岗岩节理面胶结的情况较少，而存在变质作用的花岗混合岩或混合花岗岩的节理面可能存在胶结的情况。花岗岩节理面附近风化较内部强，斜长石可能绢云母化甚至风化为高岭土，钾长石往往风化稍弱，黑云母等黑色矿物可能蚀变为蛭石、绿泥石、伊利石或高岭土等，再加上地下水对节理的作用，节理面的充填物可能为绿泥石、蛭石、滑石、绢云母、伊利石、高岭石、其他泥质等，节理面往往染铁、锰质而呈铁锈色。

## 7.2.6条文说明:

据编写人收集的花岗岩 I、II 级岩体的抗剪断峰值强度试验结果, 其值较 GB/T 50218—2014 附录 D 差异较大, 不同地区差别也较大, 编写人收集的资料如下。

广州地区花岗岩类岩石物理力学指标经验值

地层	统计项目	天然密度	弹性模量	泊桑比	天然抗剪断指标	
		$\rho_c$	$E$	$\nu$	凝聚力	内摩擦角
		$g/cm^3$	GPa		MPa	$^\circ$
花岗岩中等风化带	统计样本数	92	29	29	21	21
	最大值	2.76	18.20	0.33	22.47	43.80
	最小值	2.42	0.77	0.15	2.01	34.60
	平均值	2.60	6.83	0.25	9.76	38.69
	标准差	0.06	5.21	0.05	6.46	2.24
	变异系数	0.02	0.76	0.21	0.66	0.06
	标准值				7.29	37.84

广州地区花岗岩类岩石物理力学指标经验值 (续)

地层	统计项目	天然密度	弹性模量	泊桑比	天然抗剪断指标	
		$\rho_c$	$E$	$\nu$	凝聚力	内摩擦角
		$g/cm^3$	GPa		MPa	$^\circ$
花岗岩微风化带	统计样本数	307	168	181	106	106
	最大值	2.75	20.80	0.38	27.30	45.20
	最小值	2.54	1.45	0.11	5.34	32.24
	平均值	2.65	9.90	0.22	16.63	38.61
	标准差	0.04	4.51	0.06	5.38	2.67
	变异系数	0.01	0.46	0.29	0.32	0.07
	标准值				15.73	38.17
花岗混合岩中等风化带	统计样本数	247	45	55	19	19
	最大值	2.78	19.37	0.36	12.90	42.52
	最小值	2.23	0.24	0.16	1.64	38.90
	平均值	2.50	6.01	0.27	5.82	40.69
	标准差	0.11	5.21	0.05	3.86	1.16
	变异系数	0.04	0.87	0.17	0.66	0.03
	标准值				4.26	40.22
花岗混合岩微风化带	统计样本数	715	115	127	65	65
	最大值	2.87	9.68	0.33	25.70	43.20
	最小值	2.32	1.25	0.18	2.50	39.40
	平均值	2.61	4.71	0.26	12.43	41.49
	标准差	0.10	1.77	0.03	5.97	0.73
	变异系数	0.04	0.38	0.11	0.48	0.02
	标准值				11.17	41.34

深圳地区花岗岩类岩石物理力学指标经验值

地层	天然密度	弹性模量	泊桑比	天然抗剪断指标	
	$\rho_c$	$E$	$\nu$	凝聚力	摩擦系数
	g/cm <sub>3</sub>	GPa		MPa	
花岗岩	2.3~3.0	14~69	0.10~0.36	0.28~0.68	1.10~1.46
花岗片麻岩	2.5~2.9	15~94	0.05~0.30	0.16~0.28	1.00~1.35
混合花岗岩	2.4~2.9	14~60	0.10~0.30	0.10~0.22	0.90~1.20

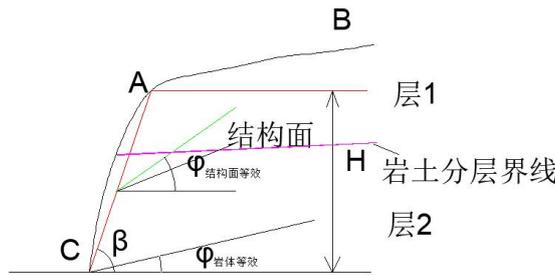
表17条文说明：

参考GB 50330制定，全风化往往呈散体状，强风化呈碎块或散体状，无法取岩块进行室内剪切试验测定内摩擦角，此处删除了原规范中的注解；原规范中的“可”，此处改为了“应”；扩大了较破碎岩体内摩擦角的折减系数取值范围。

7.2.8条文说明：

等效内摩擦角由于适用目的不同，计算方法也不同，对于边坡工程等效内摩擦角主要用来计算边坡的岩土压力、锚杆锚固范围、判断边坡稳定性等。

基于朗肯主动土压力相等原则进行计算，不难推出边坡岩土体等效内摩擦角计算公式：



边坡岩体及结构面等效内摩擦角计算示意图

$$\varphi_{\text{岩体等效}} = 90 - 2 * \text{tg}^{-1}(\text{sqrt}(\text{tg}^2(45 - \varphi/2) - 4 * c * \text{tg}(45 - \varphi/2) / (\gamma_m * H) + 4 * C^2 / (\gamma_m^2 * H^2)))$$

式中：

$H$ ——岩土体底面以上的边坡垂直高度 (m)；

$\gamma_m$ ——岩土体底面以上岩土体等效重度 (kN/m<sup>3</sup>)；

$c$ ——岩土体的黏聚力 (kPa)；

$\varphi$ ——岩土体的内摩擦角 (°)；

$\varphi_{\text{岩体等效}}$ ——岩土体的等效内摩擦角 (°)。

$c$ 、 $\varphi$ 值采用岩石抗剪断试验结果时应据岩体完整性进行折减， $c$ 值可取抗剪断试验结果乘以完整性系数， $\varphi$ 值可依据抗剪断试验结果按表 17 进行折减。

上式基于墙背直立、光滑挡墙所受主动土压力相等原则计算，若边坡高度 ( $H$ ) 小于边坡直立自稳高度  $2 * c / (\gamma_m * \text{tan}(45 - \varphi/2))$ ，则边坡不会对挡墙产生岩土压力，此时岩土体等效内摩擦角、与破裂角无意义，计算结果失真。

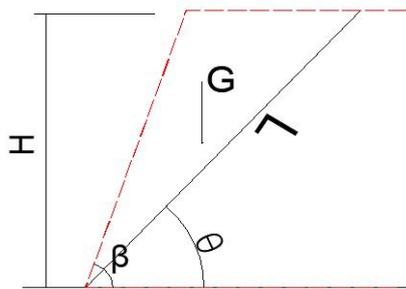
边坡岩土体等效内摩擦角计算结果 示例

天然重度 kN/m <sup>3</sup>	直接快剪黏聚力 (C) kPa	直接快剪内摩擦角 (°)	岩土层距坡顶深度 m	等效内摩擦角 (°)	备注

26	200	45	3	-66.13	坡高小于直立高度，计算异常区
26	200	45	6	-40.18	
26	200	45	9	-14.72	
26	200	45	12	8.04	
26	200	45	15	27.06	
26	200	45	18	42.41	
26	200	45	21	54.64	
26	200	45	24	64.40	
26	200	45	30	78.70	
26	200	45	35	87.07	
26	200	45	40	86.63	
26	200	45	45	81.75	计算结果正常
26	200	45	47	80.09	
26	200	45	50	77.86	
26	200	45	55	74.70	
26	200	45	60	72.08	
26	200	45	65	69.88	
等效内摩擦角是一个随倾角变化的值，距离坡顶越远值越小。 当边坡坡角大于岩体等效内摩擦角时，边坡易不稳定（具体应按圆弧滑动进行计算）					

该等效内摩擦角可用来计算岩土体主动岩土压力，但有很多限制条件，如墙背直立、光滑挡墙、无顺倾结构面、坡顶水平无超载等。对由单一、均质岩土体组成的边坡，经按简化BISHOP圆弧滑动法验算，用该等效内摩擦角判断边坡稳定性偏于安全（因为有黏性土破坏模式非直线滑动造成）；若按破裂角 $45^\circ + \varphi_{\text{等效}}/2$ 判定岩土体抗直线滑动时锚杆锚固范围，相比按真实破裂角 $45^\circ + \varphi/2$ 判定偏于不安全。随着计算机发展，可直接通过带黏聚力C的公式进行岩土压力、边坡稳定性计算，不必兜兜转转。从上述分析可知，岩土体等效内摩擦角对边坡工程意义不大。

在边坡坡面倾斜时，外倾结构面的等效内摩擦角计算原理如下图所示，考虑结构面上岩土体的抗滑摩擦力相等 $G \cdot \cos\theta \cdot \tan\varphi_{\text{结构面等效}} = C \cdot L + G \cdot \cos\theta \cdot \tan\varphi$ ，不难推出等效内摩擦角计算公式如下：



结构面等效内摩擦角计算原理示意图

$$\varphi_{\text{结构面等效}} = \arctan \left( \frac{2 \cdot c}{\gamma_m \cdot H \cdot (\cos^2\theta - \text{ctg}\beta \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta)} + \tan\varphi \right)$$

式中：

$\gamma_m$ ——结构面以上岩土体等效重度，单位为千牛每立方米（ $\text{kN}/\text{m}^3$ ）；

$\beta$ ——边坡坡角，单位为度（ $^\circ$ ）；

$\theta$ ——结构面的倾角，单位为度（ $^\circ$ ）；

$\varphi_{\text{结构面等效}}$ ——结构面的等效内摩擦角，单位为度（ $^\circ$ ）。

注： $\theta$ 值不宜大于80度，否则计算结果失真。

结构面等效内摩擦角计算结果 示例

天然重度 kN/m <sup>3</sup>	直接快剪黏聚力 (C) kPa	直接快剪内摩擦角 (°)	岩土层距坡顶深度 m	结构面倾角 (°)	坡面倾角 (°)	等效内摩擦角 (°)	备注
17	20	16	3	30	90	53.14	稳定
17	20	16	9	30	90	32.44	稳定
17	20	16	15	30	90	26.38	不稳定
17	20	16	21	30	90	23.57	不稳定
17	20	16	27	30	90	21.95	不稳定
17	20	16	3	40	80	61.71	稳定
17	20	16	9	40	80	39.01	不稳定
17	20	16	15	40	80	30.99	不稳定
17	20	16	21	40	80	27.07	不稳定
17	20	16	27	40	80	24.76	不稳定
17	20	16	20	50	80	32.92	不稳定
17	20	16	20	50	75	35.19	不稳定
17	20	16	20	50	70	38.30	不稳定
17	20	16	20	50	65	42.86	不稳定

结构面等效内摩擦角计算结果 示例 (续)

天然重度 kN/m <sup>3</sup>	直接快剪黏聚力 (C) kPa	直接快剪内摩擦角 (°)	岩土层距坡顶深度 m	结构面倾角 (°)	坡面倾角 (°)	等效内摩擦角 (°)	备注
17	20	16	20	50	60	50.20	稳定
17	20	16	20	10	80	22.39	稳定
17	20	16	20	20	80	23.23	稳定
17	20	16	20	30	80	24.77	不稳定
17	20	16	20	40	80	27.57	不稳定
17	20	16	20	50	80	32.92	不稳定
17	20	16	20	70	80	65.93	不稳定

注1: 等效内摩擦角是一个随倾角变化的值, 距离坡顶越远值越小。  
注2: 当结构面倾角大于等效内摩擦角、顺坡且小于边坡倾角时, 易造成顺结构面滑动。

对外倾结构面等效内摩擦角计算公式推导过程是严密的, 可用来判断这种情况下结构面的抗滑稳定性, 当结构面倾角大于等效内摩擦角、顺坡且小于边坡倾角时, 易造成顺结构面滑动(附录G.2.1有类似描述)。

按相关文献, 实例中现场坡面上出现裂缝, 高度位置与结构面分布的位置有关, 大都由于结构面抗剪强度不足失稳。若认为结构面各深度均存在, 理论上说边坡越高结构面等效内摩擦角越小, 为保证边坡不发生沿结构面破坏的坡面破坏, 即边坡的坡角应越小。

### 8.1.3条文说明:

当边坡存在临空外倾软弱结构面或不同结构面组合线时, 边坡可能发生沿单面或楔形体滑移破坏, 当结构面延伸范围小时, 边坡仅发生局部破坏, 具体破坏位置视结构面分布位置而定, 不影响边坡的整体自稳; 当结构面延伸范围大(如断层面、断裂带), 边坡就可能发生大面积的平面或折线滑塌, 边坡的自稳能力将大打折扣, 其自稳能力可通过上式或岩土工程相关计算软件进行计算。

广州市轨道交通某停车场北部为原采石留下的边坡, 边坡最高109 m, 如下图所示, 坡顶10 m~20 m为土质坡, 其下均为岩质坡, 岩石为混合花岗岩, 坡角为70°~85°, 边坡岩体主要为II类较完整微风化、III类较破碎中等风化岩质边坡, 少量IV类碎块状强风化岩质边坡。通过调查发现, 岩

体中发育多组节理，节理延伸1 m~3 m，节理面平直、胶结程度差，部分张开达1 mm~5 mm，该边坡已存在多年，边坡总体较为稳定，但松动岩石有掉块现象，地上可见坠石堆，有楔形体破坏发生；顶部土质边坡有被雨水冲刷、坍塌现象；停车场东侧低矮边坡在治理时发生了滑塌现象（原山沟边，小断层影响）。该案例表明II类、III类花岗岩类岩体的自稳能力也是较强的，顺坡结构面对边坡稳定性影响较大。



主边坡外貌，整体较为稳定，局部有危岩，坡脚在水抽干后见坠石



楔形体破坏现场照片

（①顺坡结构面，倾角基本与坡角一致；②斜交结构面；③顺坡结构面，倾角大于坡角）



东侧边坡坡脚沿断层面发生滑塌

（中微风化表面存在破碎带，破碎带外倾，倾角基本与开挖的坡角一致）

对于无外倾结构面的岩土体，自稳高度式（7）基于朗肯土压力理论。按照经验数据，按式（7）计算，结果如下：

#### 边坡自稳高度计算

边坡岩体类型	天然重度 kN/m <sup>3</sup>	黏聚力 (C) kPa	内摩擦角 (°)	自稳高度 m
I	26	7000	36	1057.41
II	26	1800	33	255.17
III	25.5	400	31	55.48
IV	23.5	150	28	21.26

V	17	50	25	9.24
注： $H=2 * c / [\gamma_m * \tan (45-\varphi/2)]$				

从上表也可看出 I、II 级岩体组成的边坡自稳能力强，V 类岩体自稳能力较差。

### 8.1.5 条文说明：

暴雨按下表进行等级划分。

暴雨等级划分

单位为毫米

等级	12 h降雨量	24 h降雨量
暴雨	30.0~69.9	50.0~99.9
大暴雨	70~139.9	100~249.9
特大暴雨	≥140.0	≥250.0

### 8.2.2 a) 条文说明：

花岗岩类岩石风化土的物理力学性质与其云母、粗颗粒石英含量、密实度、含水量等关系密切，造成不同地区花岗岩类岩石风化土性质变化大，对土体强度指标影响较大，进而对边坡稳定性影响较大，在进行勘察时须注意采取原状样品进行测试或进行原位测试。

花岗岩类岩石的岩性包括矿物组成、矿物粒径大小结构等的不同，可能造成岩石坚硬程度不同，进而造成边坡岩体类型不同、边坡自稳能力不同，在进行勘察时应进行岩石抗压强度试验。

据相关的研究通过土样的人工配置制样，使样品具有不同的云母含量，样品的膨胀量与回弹模量随云母含量而变化，在转折点（6%左右）前面膨胀量随云母含量的增多而增大。当云母含量超过转折百分点，膨胀量逐渐减小且趋于不变。回弹模量以相反的规律变化，转折点（6%左右）前随云母含量基本呈线性减小，而转折点后趋于平缓逐增。

据相关研究人员对花岗岩风化土抗剪强度进行了多次试验，试图找出抗剪强度与土的颗粒组成、密实度、含水量等内在因素的联系，一般认为对 $\varphi$ 角起决定作用的是粗颗粒组， $\varphi$ 取决于土粒表面粗糙度、粒径大小及级配，细粒组对 $c$ 值有较大影响， $c$ 值由土颗粒间的胶结作用、静电引力效应等因素引起， $\varphi$ 值均一性较好， $c$ 值离散性较大，含水量增加 $c$ 、 $\varphi$ 值均减少，说明密实度对原状土的 $c$ 、 $\varphi$ 值影响较大。

### 8.2.2 b) 条文说明：

地质构造及结构面是花岗岩地区影响边坡稳定性的主要因素，许多边坡的失稳均匀该因素有关。

在花岗岩地区，岩脉、岩墙等因素也不能忽视，广州市某轨道交通停车场边坡由于云煌岩脉影响，在削坡时坡面上云煌岩脉发育位置发生局部错动，错动位移可达20cm，主要为浅表性的坡面破坏。

在花岗岩地区，场地原始地貌为自然斜坡或沟谷地带往往有断层分布，且有可能为未知名的顺坡小断层，勘察单位有可能不能发现，在边坡治理时常发生边坡滑塌现象，有较大的安全隐患，如广州市某轨道交通停车场在近山沟的边坡治理时就发生了沿断层面的小型滑塌（好在边坡不高）。

另外，在花岗岩地区，若有球状风化岩—孤石在斜坡上外露，常有落石现象发生，如广州某山庄就发生过孤石滑落造成坡下房屋受损，有较大的安全隐患。

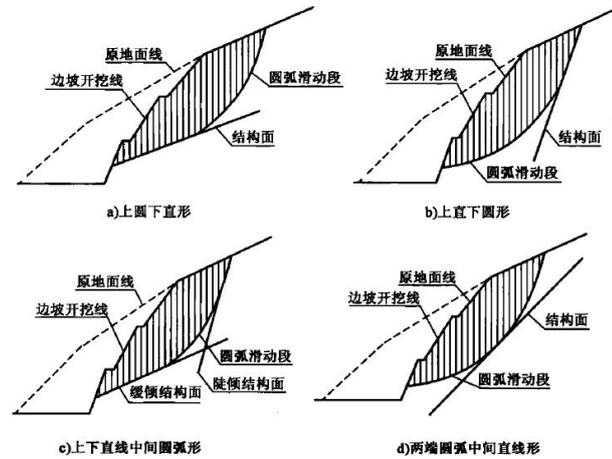
花岗岩类土质边坡稳定性不同于一般的土质边坡，按均质土进行勘察、设计可能会带来失败或浪费，应考虑其非均质性、结构特性。

非均质性，残积土中常分布有岩脉（如石英脉、云煌岩脉、二长岩脉、煌斑岩脉等）、岩墙、球状风化岩—孤石等，石英脉及孤石表现为风化残留的硬核，而云煌岩脉风化后表现为软弱带。

结构特性，土体中具有从母岩继承的原岩结构面、硬核等，原岩结构面风化后往往成为软弱结构面（卸荷裂隙不起主导作用），从而具有各项异性，影响边坡稳定与破坏模式；较一般均质土具

有更显著的开挖卸荷效应。

相关研究人员基于坡体中结构面的空间特征，提出了下图所示的几种滑面形状，并以这些滑面形状和传递系数法为基础，设计了边坡稳定性计算软件。



受结构面控制的类土质边坡滑面形式

结构面具有隐蔽性，且结构面性质在风化过程中得以减弱，不如岩质边坡中的结构面易于勘察和观测，这些结构面极易被忽视，花岗岩类土质边坡也从而被认为是均质土边坡。

除岩脉、岩墙外，花岗岩结构面主要为构造节理及一些风化节理，结构面延伸性较差，且产状多较紊乱，这些结构面往往造成边坡的浅表部坡面破坏（具体位置与结构面分布位置有关）[3]，在边坡开挖时及坡面绿化防护时应注意这种破坏。

#### 8.2.2 c) 条文说明：

风化作用可使岩土体的强度减弱，裂隙增加，影响边坡的形态和坡度，使地面水易于侵入，改变地下水的动态等；当风化作用沿裂隙进行时，可使岩土体脱落或沿边坡崩塌、堆积、滑移等。

#### 8.2.2 d) 条文说明：

花岗岩类土状风化岩与残积土中含较多的粉粒、砂、砾，黏粒含量较少，造成其具有一定的渗透性、较强的结构性，遇水扰动易崩解，强度迅速降低，含水量增加土体抗剪强度降低，饱水带与非饱和带土体抗剪强度相差较大。

花岗岩类风化岩及残积土的渗透系数一般认为残积土——全风化——土状强风化——中等风化——碎块状强风化逐渐增大，但均为弱透水层，但土状风化岩与残积土、微-未风化带的渗透系数与中等风化、碎块状强风化带的渗透系数小较多，一般认为土状风化岩与残积土、微-未风化带为相对隔水层，中等风化与碎块状强风化为含水层。

花岗岩类土大多含砂量较高、长石风化不够深入，土体粘结性较差，雨水、地表水易对坡面形成冲刷破坏，地表水还可通过下渗引起坡体地下水位变化、冲刷坡脚等影响坡体稳定性。

#### 8.2.2 e) 条文说明：

岩土层状态、风化速度、风化厚度以及岩石风化后的机械变化和化学变化（矿物成分的改变）、坡面植被，均与气候有关；降雨强度、持续时间影响地表水下渗量，影响坡体中饱和带的范围；冻融作用包括我国北方地区表层土的冻结与融化作用及我国新采用的冻结法施工造成的人为冻结与融化，会给花岗岩类土带来较大的扰动，对土体强度、体积均会产生影响。

#### 8.2.2 f) 条文说明：

地震作用除了岩土体受到地震加速度的作用而增加下滑力外，在地震作用下，岩土中的孔隙水压力增加和岩土体强度降低都对边坡的稳定不利。

#### 8.3.7 条文说明：

岩质边坡在发育 3 组以上结构面，且不存在优势外倾结构面组的条件下，可以认为岩体为各向同性介质，在斜坡规模相对较大时，其破坏通常按照近似圆弧滑面发生，宜采用圆弧滑面条分法计算。

### 8.3.7~8.3.8 条文说明：

各种稳定性分析方法对比表

分析方法	满足平衡条件		条间力的假定	滑面形状
	力的平衡	力矩平衡		
瑞典法	部分满足	部分满足	不考虑土条间作用力	圆弧
Bishop 法	部分满足	满足	条间力合力方向水平	圆弧
郎畏勒法	部分满足	部分满足	条间力合力方向水平	任意
Janbu 法	满足	满足	假定条间力作用于土条底以上 1/3 处	任意
Spencer 法	满足	满足	假定各条间的合力方向相互平行	任意
Morgenstem-price 法	满足	满足	法向和切向条间力存在一个函数关系	任意
Saram 法	满足	满足	对土条侧向力大小分布做出假定	任意
不平衡推力法	满足	不满足	条间的合力方向与前一土条滑动面倾角一致	任意

### 表22条文说明

参考广东省标准《建筑边坡工程技术规范》（送审稿）。

### 8.4.3 条文说明

参考广东省标准《建筑边坡工程技术规范》（送审稿）。

根据建筑边坡特点，孤石防治应以清除、加固为主，控制其稳定性；被动拦挡为辅，主要针对不易发现的小块块石。当边坡存在孤石滚落隐患时，往往涉及的孤石不止一块，需要根据不同孤石的特点采取多种处理措施。

对于稳定性较差的孤石应采取清理或加固措施。孤石原位加固对象可分为两类：一是对孤石本身进行加固，二是对其基座岩土体进行加固。对于单个体积较大的孤石可单独加固；对于孤石群或孤石堆，宜进行整体加固；孤石体积大于 1 m<sup>3</sup> 时，若使用主动防护网应配合其他加固措施。当孤石基座岩土体不稳定或易受冲刷时，应对其采取护面和排水措施防止孤石基土侵蚀。

现场滚石试验：现场选择代表性或危险断面直接进行滚石试验，测定滚石速度观察记录孤石运动轨迹，计算落石动能；计算模拟：根据运动学原理进行计算机模拟，其中需要考虑运动方式、坡面形态、坡面摩擦和阻力作用等；经验估算：根据边坡坡角和坡面状态对落石动能进行经验估算。

### 表24条文说明：

较GB 50330增加了粉土、花岗岩残积土、全风化、土状强风化指标，花岗岩地区边坡土体中存在粉土、碎石土的可能性较小，但为了资料的完整性，本标准仍提供了相关土体的放坡坡率参数经验值；对花岗岩残积土，可塑状态残积土边坡坡率取较平缓的值。

### 表25条文说明：

参考YS/T 5230。

### 表 26 条文说明：

较 SJG 85 增加 V 类岩体的岩质坡坡率允许值，参考广东省标准《建筑边坡工程技术标准》（送审稿）增加边坡高度 25 m~50 m 的坡率指标与碎块状强风化带的坡率指标。坡高大于 50 m 的岩质

边坡应进行专项分析是否可选用坡率法。

#### 8.5.5 条文说明：

参考 SJG 85—2020 中 19.2.1。

#### 8.5.6 条文说明：

参考 SJG 85—2020 中 19.2.2。

#### 8.5.10 条文说明：

对边坡工程安全等级为特级的边坡，由于边坡高度大，坡体中岩土应力大，应力过大有发生岩爆的风险，有必要进行监测；另外，地下水位变化可能影响坡体岩土层的强度，从而影响边坡稳定性，在水位观测孔不成为地表水灌入通道、地下水联络通道的情况下应进行监测。

#### 9.2.1a) 条文说明：

边坡工程概况一览表 示例

分段	设计边坡高度 m	设计边坡 倾向 (°)	设计边坡 倾角 (°)	坡脚挖填方情 况	支挡结 构特性	拟采用支护 结构特点	坡脚与建 筑物最近 距离 m	坡底线周边建筑物	
								基础形式	结构形式
A-B	15.0~37.0	22	45	坡脚为原状残 积土及风化 岩，需挖方	永久支 护	格构梁+植 被护坡	20.0	预制管桩 基础	混凝土框 架结构

#### 9.2.1c) 条文说明：

据表9进行边坡岩体完整程度、结构类型划分，边坡岩体质量分级不同于国标GB50330，不必考虑边坡与结构面产状组合关系的影响。

#### 9.2.1f) 条文说明：

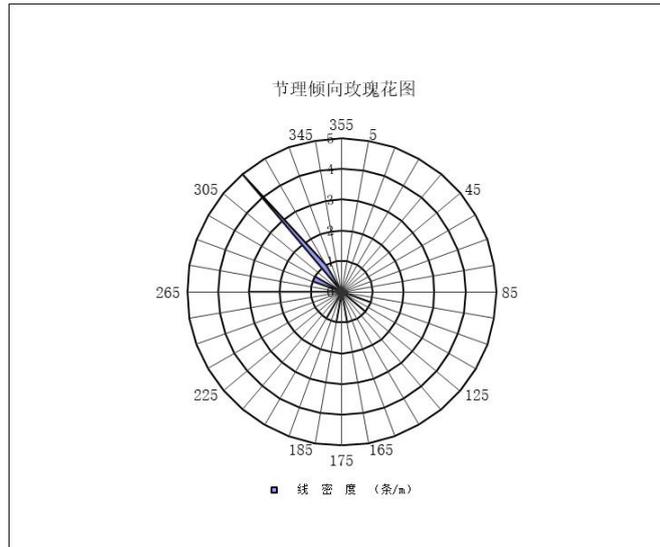
##### 4) 边坡工程分析

边坡开挖岩土体的土石比分析及岩土施工过程分级参考JTJ C20或GB 50307执行。

按8.2要求逐项进行边坡稳定性影响因素分析。

a) 岩土性质：包括花岗岩类土状风化带的颗粒组成（石英颗粒含量与粒径、云母含量、黏粒含量等）、密实程度、含水性能、透水性、抗剪强度、抗崩解能力等；花岗岩岩质风化带的岩石矿物组成、矿物粒径大小与结构、岩石坚硬程度、风化程度与抗风化能力、完整程度等。

b) 孤石、地质构造与结构面：包括花岗岩类土状风化带的岩脉（如石英脉、云煌岩脉、二长岩脉、煌斑岩脉等）、岩墙、球状风化岩—孤石、从母岩继承的原岩结构面、硬核等；花岗岩岩质风化带的节理的发育程度、延展情况、贯通程度、闭合程度、充填（胶结）状况、充水状况、组合关系、力学性质及软弱结构面与临空面的关系；断层破碎带的分布、产状、性质及与边坡的相互关系；下伏岩土面的形态、坡向、坡度及与边坡的相互关系等。包括结构面产状量测结果统计表、孤石特征野外调查、统计表（格式可参考附录A）、绘制结构面走向或倾向玫瑰花图等。



绘制结构面倾向玫瑰花图 示例

c) 风化作用。

d) 地下水与地表水作用：包括地下水埋藏条件，岩体和软弱结构面中的地下水情况，流动、潜蚀情况以及动态变化，孔隙水压力及渗流产生动水压力及变化，地下水的出露情况等；地表水对坡面的冲刷、坡脚的冲刷、对坡体中地下水位的影响等。

e) 气候作用：包括地区气候条件，降雨强度、持续时间，冻融作用。

岩土层状态、风化速度、风化厚度以及岩石风化后的机械变化和化学变化（矿物成分的改变）、坡面植被，均与气候有关；降雨强度、持续时间影响地表水下渗量，影响坡体中饱和带的范围；冻融作用包括我国北方地区表层土的冻结与融化作用及我国新采用的冻结法施工造成的人为冻结与融化，会给花岗岩类土带来较大的扰动，对土体强度、体积均会产生影响。

f) 地震作用。

地震作用除了岩土体受到地震加速度的作用而增加下滑力外，在地震作用下，岩土中的孔隙水压力增加和岩土体强度降低都对边坡的稳定不利。

g) 地貌因素：包括边坡的高度、坡度和形态。

h) 人为因素。

边坡自稳能力及变形破坏模式初判：建议按照各边坡岩土层分层进行初判。

边坡工程岩体自稳能力判定表 示例

边坡分段	边坡岩土体分层深度范围 m	判定条件			坡度70° 以上的边坡自稳能力
		边坡岩体分级	风化程度	结构面产状	
B4-B5	0~5	V	土状强风化带	无外陡倾结构面或不同结构面组合线	无自稳能力
	5~15	II	微风化带	无外陡倾结构面或不同结构面组合线	高度≤30 m可长期稳定，但高倾角或反倾结构面可造成倾倒、崩塌，从而造成偶有掉块；高度30 m~60 m可基本稳定，坡面松动岩石较多，掉块常有发生

边坡变形破坏模式初判表格 示例

序号	岩石名称	风化程度	边坡结构类型	边坡结构特征	边坡稳定特征	可能发生的主要变形破坏模式

边坡分区破坏模式判别：确定边坡各区段是直线滑动、折线滑动、圆弧滑动、楔形体滑动、崩塌、坡面局部破坏等的哪种破坏模式或多种组合破坏模式，建议列表说明

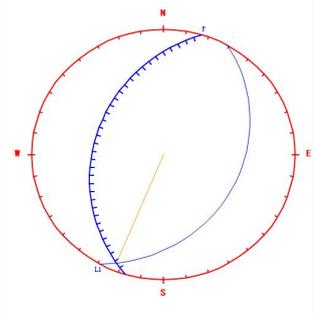
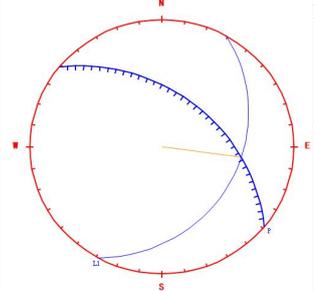
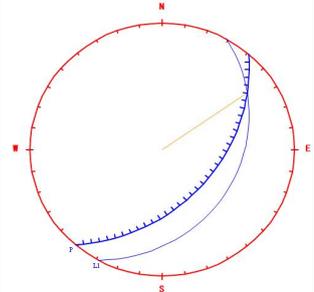
边坡各区段破坏模式判别结果表 示例

边坡位置	分段	设计边坡高度 m	设计边坡产状 (倾向/倾角)	是否存在外陡倾软弱结构面或不同结构面组合线	边坡结构类型	边坡岩体分类	破坏形式
1#监舍北侧	B1-B2	1.0~7.0	219° ∠51°	无	均匀型 (V型边坡)	V级	圆弧滑移
	B2-B3	8.0~11.00	204° ∠51°	无	均匀型 (V型边坡)	V级	圆弧滑移
	B3-B4	0~11.3	311° ∠51°	299° ∠29°	裂隙块状结构 (VIII型)	IV级	直线滑移

注：软弱结构面系指结构面抗剪强度小于周围围岩的抗剪强度。

边坡稳定性分析与评价：建议列表进行结构面稳定性定性评价。

结构面稳定性分析与评价表 示例

边坡位置	分段	设计边坡高度 m	设计边坡倾向、倾角 (°)	节理面产状	赤平极射投影简图	边坡稳定性评价
7/8/9号楼南侧	A1-A2	1.0~2.8	107° ∠34°	299° ∠29°		节理面与边坡反向相交，为逆向坡。边坡稳定性受岩体自身控制。边坡稳定性评价为：稳定
1#监舍北侧	B2-B3	8.0~11.0	204° ∠51°	299° ∠29°		节理面与边坡切向相交。边坡稳定性受岩体自身控制。边坡稳定性评价为：基本稳定
1#监舍北侧	B3-B4	6.3~9.3	311° ∠51°	299° ∠29°		节理面与边坡切向相交，结构面外倾，为顺向坡。边坡稳定性评价为：不稳定