

UDC

中华人民共和国行业标准

YS

P

YS 5230-96

边坡工程勘察规范

Code for investigation of engineering
of slope

1996-11-20 发布

1997-05-01 实施

中国有色金属工业总公司发布

中华人民共和国行业标准

边坡工程勘察规范

Code for investigation of engineering
of slope

YS 5230-96

主编单位：中国有色金属工业昆明勘察院
批准部门：中国有色金属工业总公司

中国计划出版社

1996 北京

中华人民共和国行业标准

边坡工程勘察规范

YS 5230—96

☆

中国有色金属工业昆明勘察院主编

中国计划出版社出版发行

(北京市西城区月坛北小街2号)

北京北方印刷厂印刷

850×1168mm 1/32 2.5印张 65千字

1997年8月第一版 1997年8月第一次印刷

印数：1—1500册

统一书号：1580058·363

定价：10.00元

关于发布《边坡工程勘察规范》的通知

中色投字〔1996〕0703号

由中国有色金属工业昆明勘察院主编的《边坡工程勘察规范》，已通过审查。现批准《边坡工程勘察规范》YS 5230-96为强制性行业标准，自1997年5月1日起施行。各单位在执行中要注意总结经验，积累资料，如有意见和建议请与中国有色金属工业总公司工程建设标准规范管理处联系。

中国有色金属工业总公司

1996年11月20日

目 次

1	总 则	(1)
2	主要符号与术语	(2)
3	勘察基本要求	(5)
3.1	可行性研究勘察	(5)
3.2	初步勘察	(6)
3.3	详细勘察	(7)
3.4	施工补充勘察	(8)
4	工程地质调查与测绘	(9)
4.1	一般规定	(9)
4.2	工程地质调查	(9)
4.3	工程地质测绘	(10)
5	勘探与取样	(12)
5.1	一般规定	(12)
5.2	钻 探	(13)
5.3	井探、槽探和洞探	(14)
5.4	工程物探	(14)
5.5	取 样	(15)
6	测 试	(16)
6.1	一般规定	(16)
6.2	土工试验	(16)
6.3	岩石试验	(17)
6.4	模型模拟试验	(17)
6.5	原位测试	(18)
7	边坡监测	(19)
7.1	一般规定	(19)
7.2	位移监测	(19)
7.3	水压监测	(20)
8	边坡稳定性评价	(21)

8.1	一般规定	(21)
8.2	参数选择	(21)
8.3	因素分析	(22)
8.4	分析评价方法	(23)
8.5	边坡防护和病害防治	(24)
9	边坡工程勘察报告	(25)
9.1	一般规定	(25)
9.2	边坡工程勘察报告书内容	(25)
附录A	边坡工程勘察分级	(29)
附录B	边坡容许坡度值表	(32)
附录C	赤平极射投影图解法	(34)
附录D	边坡稳定性定量分析	(35)
D.1	滑移破坏的稳定系数计算	(35)
D.2	倾倒破坏的稳定性分析计算	(43)
附录E	边坡加固设计参数表	(46)
附录F	本规范用词说明	(48)
	附加说明	(49)
附:	边坡工程勘察规范条文说明	(51)

1 总 则

1.0.1 为了统一边坡工程勘察技术要求，做到技术先进，经济合理，确保边坡工程勘察质量，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于工业与民用建筑场地及已有露天矿边坡设置建（构）筑物地段局部稳定性的边坡岩土工程勘察；不适用于水利工程、铁道工程、公路工程等边坡的岩土工程勘察。

1.0.3 边坡工程勘察必须按勘察阶段的要求，正确反映场地岩土条件，提出合理的工程评价，为边坡工程设计、施工提供依据。

1.0.4 边坡工程勘察阶段的划分，可分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察。必要时，可进行施工补充勘察。可行性研究勘察应符合确定场地方案的要求；初步勘察应符合确定坡形、坡度角及稳定性评价的要求；详细勘察应符合失稳地段治理设计的要求。勘察阶段可根据实际需要进行合并或简化。

1.0.5 边坡工程勘察等级应根据工程安全等级、场地等级和边坡高度等级综合确定，并应符合本规范附录A的有关规定。

1.0.6 各勘察阶段的勘探线、勘探点的布置，应符合下列要求：

- a) 在具有代表性地段或设置支挡结构的地段应布置勘探线；
- b) 勘探线应垂直边坡走向；
- c) 在边坡（帮）地层层位齐全、代表性强的部位应注意布置勘探点。

1.0.7 边坡工程勘察除执行本规范外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

2 主要符号与术语

2.0.1 主要符号

- A ——结构面面积
 a ——边坡坡角
 c ——粘聚力
 F ——作用于潜在滑移体的地震力
 F_s ——边坡的稳定系数
 $F_{s,1}$ ——边坡的安全系数
 h ——边坡高度
 k_0 ——地基系数
 L ——潜在滑移面长度
 m, m_0 ——比例系数
 N ——作用于潜在滑移面上的法向力
 Q ——作用于潜在滑移体上的重力
 R_n ——潜在滑移体最末条块的抗滑力
 T ——作用于潜在滑移面的滑动力
 U_i ——作用于第*i*条块底面水压力
 W ——潜在滑移体重量
 α ——潜在滑移面倾角
 β ——结构面倾角
 $\beta_{A, B}$ ——结构面交线倾角
 γ ——土的重力密度
 γ_w ——水的重力密度
 μ ——摩擦系数
 τ ——抗剪强度

ϕ ——内摩擦角

ψ ——传递系数

2.0.2 术语

a) 边坡——工业与民用建筑场地近旁的天然斜坡或经人工开挖后的斜坡。

b) 天然边坡——由自然营力作用形成的斜坡。

c) 人工边坡——由人工开挖形成的斜坡。

d) 岩质边坡——由岩层组成的边坡。

e) 土质边坡——由土层组成的边坡。

f) 岩土混合边坡——由部分岩层和部分土层组成的边坡。

g) 边坡工程——对边坡采取的各种勘察、设计、整治、监测等工作的总称。

h) 边坡角——边坡坡面与水平面的夹角。

i) 稳定边坡——系指在工程运行期间,在天然和承受工程荷载条件下,变形量在允许范围内且不发生变形破坏的边坡。

j) 不稳定边坡——系指在工程运行期间,在天然和承受工程荷载条件下,变形量超过允许范围且发生变形破坏的边坡。

k) 基本稳定边坡——系指在天然状态下,处于稳定状态,但在承受工程荷载或自然条件改变后,可能发生变形破坏的边坡;或在稳定性评价中稳定性指标略低于规定的安全指标的边坡。

l) 结构面——指岩体中的各种地质界面,包括物质分异面及不连续面。是地质发展历史中,在岩体内形成的具有不同方向、不同规模、不同特征的面、缝、层、带状的地质界面。

m) 结构体——是由各种不同产状的各种结构面组合起来,将岩体切割而形成的不同规模的单元体。

n) 抗剪强度——岩土体在剪切面上所能承受的最大剪应力。

o) 动水压力——指渗流在土体中运动所受到的阻力,由渗透水压力和渗透水摩擦力构成,其大小与渗流的水力梯度成正比,其方向与渗流方向相同。

p) 静水压力——指在地下水面以下，地下水作用在岩土颗粒上的作用力，与地下水的水柱高度成正比。

q) 边坡稳定系数——系指边坡稳定分析中，潜在滑移体的抗滑力与下滑力之比。当比值等于1.0时，边坡处于极限平衡状态；当比值大于1.0时，边坡处于稳定状态；当比值小于1.0时，边坡处于不稳定状态。

r) 边坡安全系数——系指在边坡工程设计、施工或使用过程中，要求潜在滑移体的抗滑力与滑动力的比值达到工程允许范围的系数；有时，边坡的安全系数采用变形控制，此时，工程允许边坡的最大变形值与边坡实际变形值的比值称为边坡安全系数。

s) 单元层——边坡是由不同种类岩土组成的地质体，在边坡的勘察和评价过程中，把工程性质相近的岩土划归同一单元，这种岩土单元称为单元层。

3 勘察基本要求

3.1 可行性研究勘察

3.1.1 可行性研究勘察应包括下列内容：

- a) 调查了解场地工程地质条件和水文地质条件；
- b) 对边坡的总体稳定性进行定性评价；
- c) 对人工边坡的边坡角提出初步推荐值；
- d) 评价人工边坡对周围环境的影响。

3.1.2 可行性研究勘察应以收集资料为主，并应符合下列要求：

- a) 收集并研究下列资料：
 - 1) 区域地质、地震资料；
 - 2) 场地的工程、水文地质资料；
 - 3) 当地的边坡勘察、设计经验；
 - 4) 与场地条件相似的自然边坡和人工边坡的总结资料；
 - 5) 对工程勘察等级为 I 级的场地，在有条件时，宜收集航片、卫片资料。
- b) 对收集到的资料进行现场校核。
- c) 当收集资料不能满足要求时，应进行工程地质调查和少量物探、槽探工作。工程地质调查应按本规范第 4 章有关规定进行；物探、槽探应按本规范第 5 章有关规定进行。
- d) 可行性研究勘察的边坡稳定性评价，应符合确定场地的要求，并应着重调查分析是否存在对边坡总体稳定性构成威胁的规模较大的软弱结构面。当存在对稳定性有重大影响不良地质条件，且不能避让时，应建议另行专题研究。

3.2 初步勘察

3.2.1 初步勘察应包括下列内容:

- a) 查明场地工程地质条件和水文地质条件;
- b) 定性、定量评价边坡的总体稳定性和局部稳定性,预测工程活动对边坡稳定性的影响;
- c) 提出边坡开挖坡形和坡角的建议;
- d) 对稳定性差的地段,提出初步防治措施及设计所需的岩土参数。

3.2.2 查明场地的工程地质条件应符合下列要求:

- a) 场地岩土种类、成因、物理力学性质及分布,对各类岩土应按其工程特性进行单元层的划分;
- b) 场地的地质构造、结构面类型、产状,节理优势面发育特征、软弱结构面的分布情况及其抗剪强度;
- c) 不良地质现象的分布范围和性状及对边坡稳定性的影响;
- d) 对地质构造复杂的工程勘察等级为Ⅰ级的边坡,尚需调查了解地应力分布情况。

3.2.3 查明场地的水文地质条件应符合下列要求:

- a) 调查地表水对坡面和坡脚的冲蚀作用;
- b) 场地地下水的类型、补给来源、与地表水体的关系、排泄条件、地下水位深度和变化幅度、地下水的化学成份等;
- c) 含水层的特征、分布规律、渗透性以及各含水层间的水力联系;
- d) 分析场区水文地质条件与地形、岩性、地质构造间的联系;
- e) 研究水对岩土体浸泡所产生的软化作用。

3.2.4 初步勘察应收集场地已有资料,对工程勘察等级为Ⅲ级的场地应进行工程地质调查,对工程勘察等级为Ⅰ、Ⅱ级的场地应进行工程地质测绘,并应采用勘探、测试等手段进行综合勘察。

3.2.5 工程地质调查和测绘,应按本规范第4章有关规定进行;

勘探、取样应符合本规范第5章的规定；测试应符合本规范第6章的有关规定。

3.2.6 初步勘察的边坡稳定性评价,应符合初步设计的要求,并应根据勘察成果,对边坡进行稳定性分区,分别对各区按本规范第8章的规定进行评价。

3.3 详细勘察

3.3.1 详细勘察应对不稳定或基本稳定的地段进行专门性勘察,并应包括下列内容:

- a) 查明工程、水文地质条件;
- b) 查明潜在滑移面和切割面的抗剪强度;
- c) 对潜在滑移体进行稳定性分析,提出切实可行的治理措施建议。

3.3.2 查明工程、水文地质条件,应符合下列要求:

- a) 岩土种类、成因、性质及分布;
- b) 潜在滑移面的产状、性质、分布及其组合关系;
- c) 地下水的类型、水位、水量、补给、排泄及动态变化;
- d) 岩土的透水性以及地下水出露情况。

3.3.3 详细勘察应采用工程地质测绘、勘探、测试等手段;工程勘察等级为I级的工程,必要时,尚应进行实验室模型模拟试验、位移监测和水压监测。

3.3.4 工程地质测绘,应按本规范第4章有关规定进行;勘探、取样应符合本规范第5章的规定;测试应符合本规范第6章的有关规定;监测应按本规范第7章的有关规定进行。

3.3.5 详细勘察的边坡稳定性评价,应符合施工图设计和施工的要求。并应根据潜在滑移面的产状及其组合与坡面的关系、潜在滑移面的工程力学性质结合各种影响因素,按本规范第8章的规定进行综合评价。

3.4 施工补充勘察

3.4.1 施工补充勘察应包括下列内容：

- a) 查明设计、施工提出的局部地段的工程、水文地质条件；
- b) 按设计或施工要求进行岩土工程评价，并提出设计所需的岩土参数。

3.4.2 查明局部地段工程、水文地质条件，应主要研究分析与局部失稳有关的岩土条件。

3.4.3 施工补充勘察应进行工程地质测绘，必要时可进行少量的钻探、物探工作。取样、测试一般不进行。

3.4.4 工程地质测绘，应按本规范第4章有关规定进行；勘探应符合本规范第5章有关规定。

3.4.5 施工补充勘察的边坡稳定性评价，应符合局部地段的设计修改的要求，并应根据勘察成果，按本规范第8章的规定进行评价。

4 工程地质调查与测绘

4.1 一般规定

4.1.1 工程地质调查,宜在可行性研究勘察和工程勘察等级为Ⅱ级场地的初步勘察阶段进行。

4.1.2 工程地质测绘,应在工程勘察等级为Ⅰ、Ⅱ级场地的初步勘察和详细勘察、施工补充勘察阶段进行。

4.2 工程地质调查

4.2.1 工程地质调查范围应包括场区和邻近地段,必要时可扩大到相邻地区。

4.2.2 调查所用地形图比例尺应符合下列要求:

- a) 可行性研究勘察宜采用1:5000~1:25000;
- b) 初步勘察宜采用1:1000~1:5000。

4.2.3 影像资料的比例尺应符合下列要求:

- a) 航片,宜采用1:25000~1:100000;
- b) 卫片宜采用不同时间各个波段的1:250000~1:500000的黑白片和假彩色合成或其它增强处理的图像;
- c) 热红外图像,不宜小于1:50000。

4.2.4 工程地质调查应根据不同的目的采用下列方法:

- a) 调查整个场区的工程、水文地质条件,宜采用线路调查法,选择有代表性、垂直于构造线和岩层走向的线路,布置观测点进行调查;
- b) 调查与稳定性评价有关的节理裂隙和不良地质现象,宜采用详细测线测量法,沿测线布置观测点进行测量;

c) 调查工程勘察等级为 I 级场地的区域地质与场区地质关系，宜采用航片、卫片解译法。

4.2.5 观测点的布置应符合下列要求：

a) 观测点应布置在各种地质地界线上，在主要结构面上必须布点，观测点的密度根据地质单元体的大小确定；

b) 观测点的定位宜采用目测法或半仪器法；

c) 观测点精度在图上的误差不应超过 $\pm 5\text{mm}$ 。

4.2.6 工程地质调查成果汇编，应在综合分析研究原始资料的基础上，编制有关的图件和文字说明。调查成果应纳入勘察报告，并应包括下列内容：

a) 工程地质调查说明书；

b) 综合工程地质图、地层柱状图、代表性剖面图、节理裂隙统计图、素描图、照片及必要的文字说明等。工程勘察等级为 I、II 级的场地，调查成果可适当简化。

4.3 工程地质测绘

4.3.1 工程地质测绘范围一般包括边坡及可能对边坡稳定性有影响的所有地段。

4.3.2 测绘所用地形图的比例尺应符合下列要求：

a) 初步勘察阶段宜采用 $1:1000\sim 1:2000$ ；

b) 详细勘察和施工补充勘察宜采用 $1:500\sim 1:1000$ ；对边坡稳定性有重要影响的复杂地段宜采用 $1:200$ 。

4.3.3 工程地质测绘，应根据场地工程地质条件，分别采用下列方法：

a) 测绘线路法，测线应垂直于岩层走向和主要构造线方向布置。测线间距可按边坡投影宽度的 $1/2$ ，当场地工程勘察等级为 I 级时，测线间距可适当加密。观测点的布置应符合本规范第 4.3.4 条的规定；

b) 界线追踪法，应沿重要的地质界线和大的不连续面布置观

点测，进行追踪测绘；

c) 露头标绘法，在第四系大部覆盖区，将所有露头观察成果和已有地质资料绘制于测绘底图上，其间的地质迹线用内插法处理，在成图上应与实际依据区别表示。

4.3.4 地质观测点的布置，应符合下列要求：

a) 在地质构造线、地层接触线、岩性分界线、标准层和每个地质单元体，应布置地质观测点；

b) 地质观测点的密度，应根据场地地形、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，应充分利用天然和人工露头，当露头少时，宜布置一定数量的探槽揭露。

4.3.5 地质观测点定位方法、精度应符合下列要求：

a) 当所用地形图的比例尺小于等于1：10000时，可采用目测法；

b) 当所用地形图的比例尺小于1：2000时，可采用半仪器法，对重要观测点宜采用仪器法；

c) 当所用地形图的比例尺大于或等于1：2000时，应采用仪器法；

d) 地质界线、地质观测点测绘精度在图上的误差不应超过 $\pm 3\text{mm}$ ；

e) 对边坡有重大影响的地质单元体，需要时，可采用扩大比例尺表示。

4.3.6 工程地质测绘成果的编绘，应在校审原始资料的基础上，综合分析研究测绘成果，编制有关的图件和文字说明，测绘成果应纳入勘察报告，并应包括下列内容：

a) 工程地质测绘说明书；

b) 根据需要编绘工程地质实际材料图、综合工程地质图、综合工程地质分区图、工程地质剖面图、综合地质柱状图、节理裂隙统计图、极点图、各种素描图、照片等。

5 勘探与取样

5.1 一般规定

5.1.1 边坡工程的勘探方法,应根据勘察目的及岩土特性确定。

勘探以钻探为主,同时可采用井探、槽探、洞探和工程物探。

5.1.2 对钻孔、探井、探槽及探洞,在勘探结束后,应妥善回填。

5.1.3 可行性研究勘察,只进行少量物探、槽探等勘探。勘探点应布置在需要的部位。

5.1.4 初步勘察的勘探工作量布置,应符合下列要求:

a) 勘探线、点的布置

1) 勘探线的间距可按表5.1.4确定;

勘探线间距

表5.1.4

工程勘察等级	土质边坡 (m)	岩质边坡 (m)
I	25~50	50~100
II	35~75	75~150
III	65~150	125~250

2) 每一边坡工程的勘察不宜少于2条勘探线;

3) 勘探点分别在坡顶、坡腰、坡脚各布置1个点,工程勘察等级为I级的场地可在坡腰上增加2~3个点;

4) 控制性钻孔宜为勘探钻孔总数的 $1/5 \sim 1/3$;

5) 计算断面上的控制性钻孔不少于3个。

b) 勘探点的深度

1) 一般钻孔进入潜在滑移面(破坏面)以下的稳定层2~

3m;

2) 控制性钻孔进入潜在滑移面(破坏面)以下的稳定层5~10m;

3) 预定深度内遇见软弱层时,可适当加深。

5.1.5 详细勘察的勘探工作量布置,应符合下列要求:

a) 勘探线、点在初勘的基础上加密,增加的数量应符合准确确定失稳和可能失稳的边界条件的要求;

b) 勘探点深度参照初步勘察阶段一般性钻孔的深度要求。

5.1.6 施工补充勘察,只进行少量钻探、物探等勘探。勘探工作应利用原有勘探线加密或延伸。

5.2 钻 探

5.2.1 钻探应符合下列规定:

a) 钻孔孔径

1) 一般性钻孔应符合岩芯鉴定要求,宜为76~150mm;

2) 测试钻孔应符合测试要求,宜为110~200mm;

3) 取原状土样钻孔不宜小于110mm;

4) 取岩样钻孔不宜小于76mm。

b) 钻探方法

1) 土层宜采用无水钻进,套管护壁;

2) 岩层宜采用合金或金刚石钻头钻进,当接近软弱层(面)顶部时,应采用无水钻进;

3) 定向取芯应采用双重岩芯管;取软弱层原状样宜采用对开式双重或三重岩芯管。

c) 岩芯采取率

1) 土层和软弱层应达到100%;

2) 岩石应大于95%。

d) 当采用定向取芯确定构造带和岩层产状时,定向段岩芯采取率应达到100%,定向成功率应达到95%以上。

5.2.2 钻探应及时测量地下水初见水位和静止水位。当有一层以上地下水时，应分别测定分层水位，并经常观察钻孔水位变化，记录冲洗液渗漏情况。

5.2.3 钻探岩芯应按规定内容进行描述、计算岩石完整性质量指标RQD和编录，并按顺序摆放于岩芯箱中，采用垂直摄影法拍摄彩照。

5.3 井探、槽探和洞探

5.3.1 当潜在滑移面埋藏不大于20m时，可采用井探。探井尺寸的确定，应便于操作、取样。当地层岩性软弱、井壁易坍塌时，应采取支护措施。

5.3.2 当覆盖层厚度小于3m，需要准确查明岩性分界线、构造线、破碎带宽度、软弱结构面位置等时，可采用槽探。探槽方向应垂直于岩层、构造线、破碎带、软弱结构面走向或滑坡周界；探槽长度应根据需要和所查明的地质条件确定；宽度和深度应根据覆盖层性质和厚度确定。

5.3.3 当工程勘察等级为I级的场地需要详细查明深部潜在滑移面的位置及特征时，可采用洞探。竖井、平洞的深度、长度及断面应按工程需要确定。

5.3.4 对探井、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，尚应以剖面图、展开图等反映井、槽、洞壁及底面的地层、岩性分界、构造特征、取样及原位测试位置，并对具代表性部位拍摄彩照。

5.4 工程物探

5.4.1 工程物探可在下列方面采用：

a) 与工程地质测绘配合采用，探查隐蔽的结构面的位置、分布；

b) 与钻探配合采用，为钻探成果的内插、外推提供依据；

c) 测试岩土体的动力参数。

5.4.2 工程物探方法，应根据工程任务要求、场地岩土性状和物理特征等选择。常用的主要方法有电法、地震法、声波测试等方法，并宜采用多种方法进行探测。

5.4.3 工程物探成果及相应的地质解释，应有已知物探参数或一定数量的钻孔验证。

5.5 取 样

5.5.1 取样方法、规格类型，应根据地层性质和试验要求，按国家现行有关标准、规范的规定选用。

5.5.2 岩土试样的数量应符合下列要求：

a) 一般性的物理力学指标宜在钻孔内取样进行实验室岩、土试样试验，每个单元层的岩土样数不少于6件（组）；

b) 对工程勘察等级为Ⅱ、Ⅲ级的场地的弱面（带）抗剪强度指标的测定，宜进行实验室岩土试验。每一类弱面（带）的试样数不少于6组。

5.5.3 土样的采取应符合下列要求：

a) 土样可在钻孔、探井、探槽中采取；

b) 软弱土层应连续取样；

c) 土样应及时妥善密封送交实验室，运输中应避免振动。

5.5.4 岩石试样的采取应符合下列要求：

a) 岩石试样可由钻探岩芯选取或在探井、探槽、竖井、平洞中刻取；

b) 毛样尺寸应符合试样加工的要求，其数量应符合试验项目的要求；

c) 试样应标注可能滑移方向；软质岩石试样应及时妥善密封；

d) 有特殊要求时，试样形状、尺寸和方向由岩石力学试验要求设计确定。

6 测 试

6.1 一般规定

- 6.1.1 测试应根据岩土类型和试验项目分别采用土工试验、岩石试验、模型模拟试验和原位测试等方法。
- 6.1.2 测试必须测定岩土体中软弱结构面的抗剪强度。
- 6.1.3 试验的边界条件应尽可能符合边坡的实际条件。
- 6.1.4 可行性研究勘察,可进行一定数量的点荷载试验、轻便剪切试验等原位测试。
- 6.1.5 初步勘察,对工程等级为 I 级的场地,每一软弱结构面(带)的原位剪切试验不应少于 3 组,每一单元层的原位测试数量不应少于 6 个。
- 6.1.6 详细勘察应尽量利用初勘成果,不足部分可以补取少量的岩土试样进行实验室试验和现场原位测试;工程勘察等级为 I 级的工程的实验室模型模拟试验应根据设计要求确定。
- 6.1.7 施工补充勘察,一般不进行测试。

6.2 土工试验

6.2.1 土工试验包括下列项目:

a) 物理性质试验

- 1) 颗粒分析、重力密度、比重、含水量、塑限、液限等;
- 2) 碎石类土,需要时,可作现场大体积重力密度试验;
- 3) 特殊土,应测定其特殊性指标。

b) 力学性质试验

- 1) 剪切试验;

2) 压缩试验。

6.2.2 土工试验方法及资料整理,应符合国家现行有关标准、规范的规定。

6.3 岩石试验

6.3.1 岩石试验包括下列项目:

a) 岩块的物理性质试验

1) 重力密度、饱和重力密度、干密度、湿密度、孔隙率、吸水率等;

2) 崩解性、膨胀性试验。

b) 岩块的力学性质试验

1) 抗剪强度、抗压强度、抗拉强度(劈裂试验)、抗剪断强度、摩擦强度、弹性模量等试验;

2) 点荷载试验;

3) 轻便剪切试验;

4) 抗水性弱的岩石或经常处于湿润状态的岩石的饱和剪切试验。

c) 软弱结构面(层)力学性质试验

1) 天然软弱结构面和滑移面的剪切试验;

2) 断层碎裂岩及结构面充填物的剪切试验。

d) 力学性质试验应作干抗剪强度和饱和抗剪强度试验。

6.3.2 岩石试验方法及资料整理,应符合国家现行有关标准、规范的规定。

6.4 模型模拟试验

6.4.1 模型模拟试验宜包括下列项目:

a) 室内模型模拟试验;

b) 电子计算机数值模拟试验。

6.4.2 模型模拟试验成果应提交专门的试验报告。

6.5 原位测试

6.5.1 原位测试应符合下列要求：

a) 原位测试的方法应根据岩土条件、设计对参数的要求、方法的可靠性和经济上的合理性进行选择；

b) 原位测试仪器、设备必须标定。应注意仪器设备、试验方法、条件对试验的影响，并结合岩土条件、剔除异常数据。

6.5.2 原位测试包括下列项目：

a) 原位剪切试验；

b) 变形模量、弹性模量测定；

c) 地应力测量；

d) 混凝土与岩土表面摩擦系数试验；

e) 地下水流速、流向测定，抽水、注水、压水等水文地质试验；

f) 岩土承载力试验。

6.5.3 各种原位测试应提出相应的测试结果。在使用原位测试结果时，应与室内试验和已有工程反算参数进行对比。

7 边坡监测

7.1 一般规定

7.1.1 边坡监测为边坡设计提供参数,检验防治措施的效果及边坡稳定预报。

7.1.2 边坡监测项目包括位移监测和水压监测。

7.2 位移监测

7.2.1 位移监测分地表位移监测和土体内部位移监测。

7.2.2 地表位移监测应根据场地地形、工程地质条件、边坡失稳规模、滑移状态等因素按国家现行行业标准《岩土工程监测规范》的规定布设监测网。

7.2.3 土体内部位移监测可采用平巷或钻孔进行观测。钻孔应沿边坡位移方向和垂直于位移方向的观测线上布置;钻孔数量不宜少于5个;孔深进入潜在破坏面以下的稳定层3~5m;孔径应符合安装观测仪器的要求。

7.2.4 监测可采用电磁波测距仪、水准仪、钻孔倾斜仪、应变传感器、沉降仪、位移计等。仪器的测距、精度应符合监测要求。

7.2.5 观测时间应根据位移速率及季节变化情况确定。每月观测1~2次,雨季每半月一次,暴雨前后应增加次数。在边坡变形加速期间应逐日连续观测。

勘察期间应每周观测2~3次,必要时可增加观测次数或按日连续观测。

7.2.6 观测资料应及时整理,并应分析判定不稳定体的周界及不

稳定层的厚度，作为稳定性评价分析的基础资料。

7.2.7 监测成果应绘制下列图表：

- a) 位移矢量图；
- b) 位移与深度曲线图；
- c) 位移与时间关系曲线图；
- d) 位移、时间与大气降雨关系曲线图；
- e) 其它图表。

7.3 水压监测

7.3.1 监测孔的布置应根据含水层的赋存、排泄条件、流向、流速及含水层的层数等因素综合确定。

7.3.2 监测采用的水压计应坚固、可靠，并应符合精度要求。一般可采用竖管式水压计。

7.3.3 水压监测周期宜为1个水文年。每月观测1~2次；当季节变化或数据变化较大时，应增加次数；勘察期间每周2~3次。

7.3.4 观测资料应及时整理，根据坡体内部水压力及其变幅结合坡体渗流场进行分析，确定地下水压力参数，作为边坡稳定性分析和地下水控制设计的基础资料。

7.3.5 监测成果应绘制地下水压力与时间曲线图和地下水压与大气降雨关系曲线图等。

8 边坡稳定性评价

8.1 一般规定

8.1.1 边坡稳定性评价，应与边坡工程勘察阶段的要求相对应。

8.1.2 边坡稳定性评价时，应根据潜在滑移体的形态特征确定破坏模式，并研究论证影响边坡变形的主要因素，选择合适的分析方法进行。

8.1.3 边坡稳定系数 F_s 的取值应符合下列要求：

a) 已有边坡的稳定性验算时， F_s 值可采用1.10~1.25。

b) 对新设计的边坡和对已有边坡加荷、增大边坡角或开挖边坡角时，其稳定系数可按表8.1.3选取：

边坡稳定系数值

表8.1.3

工程安全等级	F_s
一级	1.30~1.50
二级	1.15~1.30
三级	1.05~1.15

注：当边坡采用峰值强度设计时取大值，采用残余强度设计时取小值。

8.2 参数选择

8.2.1 边坡稳定性计算的参数应包括下列内容：

- 潜在滑移体的岩土的主要物理力学指标；
- 潜在滑移面抗剪强度指标和变形特征指标；
- 滑移体在计算断面上的几何要素。

8.2.2 确定计算参数时，应根据各勘察阶段的原位测试、实验

室试验指标数理统计成果及失稳边坡的反算成果,结合当地经验综合分析确定。

8.2.3 对已变形的边坡,选取滑移面抗剪强度指标时,应根据边坡的变形形态按下列相应条件进行选取:

a) 边坡局部蠕动地段应采用1.1倍残余抗剪强度;局部滑动地段应采用残余抗剪强度;对未滑动地段,应采用0.9~1.0倍峰值抗剪强度。

b) 滑移面贯通的边坡,采用残余抗剪强度。

8.2.4 对按变形控制的边坡,潜在滑移面的抗剪强度应按设计允许的边坡变形程度选取:

a) 不允许边坡变形,可采用峰值抗剪强度;

b) 允许边坡产生一定的松动变形,但不能产生滑移变形,可根据剪切试验变形曲线,按允许变形值所对应的抗剪强度计取。

8.2.5 当采用反算法选取潜在滑移面(或滑移面)的抗剪强度指标时,宜按表8.2.5边坡变形状态所对应的稳定系数,采用本规范附录D中D.1.2式进行反算,反算所得的 c 、 ϕ 值即为反算法所得滑移面的抗剪强度指标。

边坡稳定系数 F_s 值

表8.2.5

边坡变形状态	F_s
边坡整体稳定、局部蠕动	1.01~1.05
边坡处于临界状态	1.00
剪切破坏贯穿边坡,沿滑移面发生位移	0.98~0.99

8.3 因素分析

8.3.1 在边坡勘察评价过程中,应对影响因素进行全面的研究论证,为正确利用和改造边坡提供依据。影响边坡稳定性因素可分为自然因素和人为因素。

8.3.2 影响边坡稳定性的自然因素分析应包括下列内容:

a) 地层岩性对坡体岩土体抗剪强度、抗风化和软化能力及渗透性能的影响；

b) 地质构造对边坡破坏模式的影响；

c) 风化作用对边坡岩土强度减弱和对坡形坡度的影响；

d) 冻融作用的影响；

e) 地震作用引起下滑力和岩土中孔隙水压力增加的影响；

f) 地表水冲刷的影响；

g) 地下水的埋藏条件、流动、潜蚀以及动态变化的影响；

h) 其他自然因素的影响。

8.3.3 影响边坡稳定性的人为因素分析应包括下列内容：

a) 设计边坡的几何形态及规模的影响；

b) 施工方法、施工顺序对坡体应力分布变化的影响；

c) 施工季节的影响；

d) 坡体上方堆载引起下滑力增大的影响；

e) 振动作用的影响；

f) 其他人为因素的影响。

8.4 分析评价方法

8.4.1 边坡稳定性分析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、有限元数值解析等方法，做出定性或定量评价。

8.4.2 采用工程类比法分析边坡稳定性时，应参照已有边坡工程地质资料及当地经验，与拟建边坡工程的相应条件进行全面系统的对比，研究其相似性和差异性，分析其稳定状态，提供建议坡形和容许坡度值。一般情况下，容许坡度值可按本规范附录B表B.1采用。

8.4.3 采用图解分析法分析边坡稳定性，适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，按本规范附录C进行定性分析。

8.4.4 采用极限平衡计算法分析研究边坡稳定性时,可根据边坡破坏模式,按本规范附录D进行定量分析。

8.4.5 采用有限元数值解析法解析边坡体稳定性时,应注意地质模型和边界条件的合理简化。

8.5 边坡防护和病害防治

8.5.1 对稳定的边坡,应采取相应的坡面防护措施。对基本稳定和
不稳定的边坡,应采取防护和加固措施。

8.5.2 在制定边坡加固措施时,应根据边坡稳定性评价结果,针对边坡失稳的影响因素,选择相应的治理措施。治理方法要技术可靠,经济合理。

8.5.3 对地表水应采取截流和疏导措施。

8.5.4 对土质或风化的岩质边坡,可采用植草、种树保护坡面。

8.5.5 对表层破碎的岩质边坡,应采用非爆破法清除表面松动岩块,并用喷射混凝土加固表面或块石砌筑护面、扶垛护脚的措施。局部不稳定块体,可采用销钉加固。

8.5.6 对地下水丰富的边坡,可根据地层的渗透性采取支撑盲沟、水平钻孔、地下巷道泄水等措施疏排坡体内的地下水。

8.5.7 对推移式的潜在滑移体,可采用减载、压脚的措施。

8.5.8 对埋藏较深的潜在破碎滑移带,可采用注浆法加固措施。

8.5.9 对潜在滑移面有一定的埋深,且推力较大的潜在滑移体,可采用重力式挡墙、锚杆、锚索、抗滑桩等支挡措施。

8.5.10 对失稳因素复杂的潜在滑移体,可采用地面排水、地下疏干、上部削坡、下部加固等综合治理措施。

8.5.11 当采用挡墙、抗滑桩、锚杆、锚索加固失稳坡体时,岩土与挡墙基底的摩擦系数、地基系数、砂浆与岩土间的粘结强度等设计参数,宜通过现场试验确定,当无试验条件时可按本规范附录E采用。

9 边坡工程勘察报告

9.1 一般规定

9.1.1 边坡工程勘察报告，应在对搜集资料、工程地质调查、测绘、勘探、测试等一系列勘察成果进行逐项检查、全面分析鉴定、参数处理、综合分析的基础上编写。成果内容应与工程勘察等级、勘察阶段相对应。

9.1.2 边坡工程勘察报告内容应符合下列要求：

a) 文字部分：要求文字简练，条理清晰，论证有据，结论明确；

b) 图表部分：要求比例尺选择合理，图面整洁、美观、清晰，数据准确无误，表格简明实用，与文字部份相符；

c) 附件部分：应包括建设、设计单位对勘察工作的要求以及有关设计更改文件。

9.1.3 勘察工作的原始资料，应分项整理验收，与报告书一并归档。

9.2 边坡工程勘察报告书内容

9.2.1 文字部分应包括下列内容：

- a) 勘察任务、目的及要求。
- b) 工程概述、勘察方法及工作量布置。
- c) 场地工程地质条件
 - 1) 地形、地貌；
 - 2) 地层、岩性；
 - 3) 岩土结构；

- 4) 不良地质现象;
 - 5) 岩土工程性质。
 - d) 场地水文地质条件
 - 1) 含水层的基本特征;
 - 2) 地下水渗流、补给、排泄条件;
 - 3) 地下水对边坡稳定性的影响。
 - e) 边坡稳定性评价
 - 1) 边坡坡形和坡角的选择;
 - 2) 边坡分区及破坏模式确定;
 - 3) 稳定性计算的有关条件及参数;
 - 4) 边坡稳定性分析与评价。
 - f) 边坡防护加固措施论证。
 - g) 结论与建议。
- 9.2.2 图表部分可包括下列内容:**
- a) 平面图
 - 1) 勘探点平面配置图;
 - 2) 工程地质综合(或分区)图;
 - 3) 基岩面、地下水位、岩层厚度等值线图。
 - b) 剖面图
 - 1) 图例;
 - 2) 工程地质岩性剖面图;
 - 3) 钻孔(综合)柱状图;
 - 4) 探井、探槽、竖井、平洞展开图;
 - 5) 边坡稳定性计算断面图。
 - c) 其他图
 - 1) 岩体节理裂隙玫瑰图、等密图;
 - 2) 赤平极射投影图。
 - d) 表
 - 1) 勘探点数据一览表;

2) 实验室岩土试验成果表;

3) 原位测试成果图表;

4) 地质描述表等。

9.2.3 附件部分可包括下列内容:

a) 边坡勘察任务书;

b) 会议纪要、任务变更通知等;

c) 设计更改文件。

附录A 边坡工程勘察分级

A.0.1 边坡工程勘察等级，应根据工程安全等级、场地等级和边坡高度等级，综合分析确定。

A.0.2 工程安全等级，应根据工程类型按表A.0.2划分。

工程安全等级划分表

表A.0.2

工程类型	工程安全等级
重要工程	一级
一般工程	二级
次要工程	三级

注：①重要工程：竖井、大型矿仓、大型露采矿坑等采矿工业场地；大型选厂、冶炼厂、冶金加工厂等主厂房；总降压站、高压电塔、煤气管道等生命线工程；国道公路、国家铁路线、安全等级为一级的高层建筑物等。

②一般工程：中小型矿坑及中小型采矿、选矿、冶炼、冶金加工厂工业场地；永久性的皮带运输廊道，安全等级为二级的建筑物。

③次要工程：次要建筑物。

A.0.3 场地等级应根据场地的复杂程度分为三级，按表A.0.3-1、表A.0.3-2划分。

场地等级确定表

表A.0.3-1

等级	一级	二级	三级
场地条件			
地形地貌	很复杂	较复杂	简单
地层	很复杂	较复杂	简单
软弱结构面	很发育	较发育	不发育
水文地质条件	很复杂	较复杂	简单
不良地质现象	很发育	较发育	不发育

注：①符合表中第1栏内条件之一者为一级场地。

②符合表中第2栏内条件之一者为二级场地。

③符合表中第3栏内所有条件者为三级场地。

场地复杂程度主要特征表

表A.0.3-2

主要特征 场地条件	很复杂或很发育	较复杂或较发育	简单或不发育
地形地貌	地形起伏大，坡面破碎不连续	地形起伏较大，坡面零乱不平整	地形平缓，坡面平整
地 层	岩土种类多于3种，性质变化大	岩土种类2~3种，性质变化较大	岩土种类单一，性质变化不大
软弱结构面	规则的裂隙多于3组，并有很多不规则裂隙，同时有延伸较长的大裂隙，面张开、夹泥	规则裂隙多于3组，一般延伸长度超过10m，闭合、无充填或充填岩脉	规则裂隙3组以下，延伸长度小于10m，闭合
水文地质条件	地下水埋藏浅，水压高，影响整个潜在滑移面的抗剪强度	地下水埋藏较深，水压较低，影响坡脚处潜在滑移面抗剪强度	坡体无地下水
不良地质现象	坡面崩塌、滑坡、塌陷、岸边冲刷、地下强烈潜蚀等不稳定的现象普遍存在，直接威胁工程安全	虽有滑坡、塌陷等不良地质现象，但并不强烈，对工程安全影响不大	无不良地质现象

A.0.4 边坡高度等级，应根据边坡高度分为三级，按表 A.0.4 划分。

边坡高度等级划分表

表A.0.4

等 级 边坡类型	边坡高度 (m)		
	一级	二级	三级
土质边坡	>20	20~10	<10
软质岩石边坡	>30	30~15	<15
硬质岩石边坡	>40	40~30	<30

A.0.5 边坡工程勘察等级，应按下列步骤确定：

a) 边坡重要性等级由工程安全等级和边坡高度等级按表

A.0.5-1确定:

边坡重要性等级确定表

表A.0.5-1

边坡重要性等级 工程安全等级	边坡高度等级		
	一级	二级	三级
一级	一等		
二级	二等	三等	
三级	二等	三等	

b) 工程勘察等级由边坡重要性等级和场地等级按表A.0.5-2确定。

工程勘察等级确定表

表A.0.5-2

工程勘察等级 边坡重要性等级	场地等级		
	一级	二级	三级
一等	I级		II级
二等	I级		II级
三等	I级	II级	

附录B 边坡容许坡度值表

边坡容许坡度值表

表B.1

边坡岩土类别	状 态	边坡容许坡度值 (高宽比)			
		坡高<8m	坡高8~15m	坡高15~30m	坡高30~40m
硬质岩石	微风化	1:0.10~1:0.20	1:0.20~1:0.35	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75
	中等风化	1:0.20~1:0.35	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00
	强风化	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.50
软质岩石	微风化	1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00	
	中等风化	1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.50	
	强风化	1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25		
碎石土		坡高<5	坡高5~10m		
		1:0.35~1:0.50	1:0.50~1:0.75		
		1:0.50~1:0.75	1:0.75~1:1.00		
		1:0.75~1:1.00	1:1.00~1:1.25		
粉 土	Sr<0.5	1:1.00~1:1.25			
		1:1.25~1:1.50			
粘 性 土	坚硬 硬塑	1:0.75~1:1.00			
		1:1.00~1:1.25			

边坡岩土类别	状态	边坡容许坡度值 (高宽比)			
		坡高<5m	坡高5~10m	坡高10~15m	
黄土	地质年代 次生黄土Q ₁ 马兰黄土Q ₂ 离石黄土Q ₃ 午黄土Q ₄	1:0.50-1:0.75	1:0.75-1:1.00	1:1.00-1:1.25	
		1:0.20-1:0.50	1:0.50-1:0.75	1:0.75-1:1.00	
		1:0.20-1:0.30	1:0.30-1:0.50	1:0.50-1:0.75	
		1:0.10-1:0.20	1:0.20-1:0.30	1:0.30-1:0.50	
填土	碎石 卵石	坡高<8m	坡高8~15m		
		1:1.25-1:1.50	1:1.50-1:1.75		
	砂夹石 (其中碎石、卵石占全重30-50%) 土夹石 (其中碎石、卵石占全重30-50%) 粘性土 ($10 < I_p < 14$)	1:1.25-1:1.50	1:1.50-1:1.75		
		1:1.25-1:1.50	1:1.50-1:2.00		
		1:1.50-1:1.75	1:1.75-1:2.25		

注: 1. 对于岩层面或主要节理面有顺坡向滑动可能的边坡不适用。
 2. 表中碎石土的充填物为坚硬或硬塑的粘性土、粉土, 对于砂土或充填物为砂土的碎石土, 其边坡坡度容许值均按自然休止角确定。

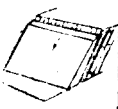

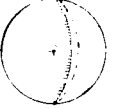
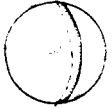
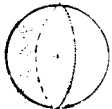
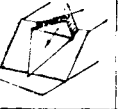




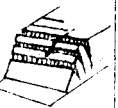
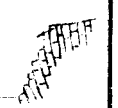
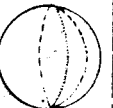
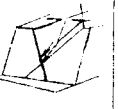




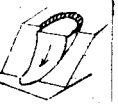
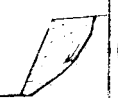

3. 新近堆积黄土不适用本表。

4. 表中填土的压实系数 λ_c 为0.94~0.97。压实系数 λ_c 为土的控制干土重度 γ_{dmax} 与最大干重度 γ_{dmax} 的比值。

附录C 赤平极射投影图解法

赤平极射投影判断边坡稳定类型及破坏模式

表C.1

结构面 组合	典型破坏模式		赤平投影图			
	模式	立体图	剖面图	不稳定型	基本稳定型	稳定型
单一结构面	梯状破坏 或阶					
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D 边坡稳定性定量分析

D.1 滑移破坏的稳定系数计算

D.1.1 边坡稳定性计算时，应按潜在滑移面的形态，并考虑影响边坡稳定性的因素选择相应的公式计算。

D.1.2 均质土坡、节理裂隙极为发育的岩坡、弃石堆场边坡的稳定系数，应按下列圆弧形计算公式计算：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot \tan \phi_i + \sum_{i=1}^n c_i L_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (\text{D.1.2})$$

式中 F_s ——稳定系数；

N_i ——第*i*条块重量垂直于潜在滑移面上的法向分力 (kN)；

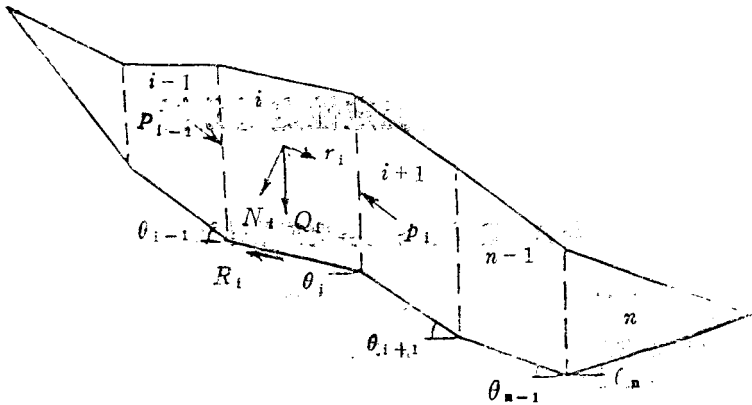
T_i ——第*i*条块重量平行潜在滑移面上的切向分力(kN)；

c_i ——第*i*条块潜在滑移面(带)的粘聚力(kPa)；

ϕ_i ——第*i*条块潜在滑移面(带)的内摩擦角(°)；

L_i ——第*i*条块潜在滑弧长度(m)。

D.1.3 非均质土坡、岩土混合边坡、多组同倾向不同倾角节理发育岩坡的稳定系数 F_s ，应按图D.1.3和折线形计算公式计算：



图D.1.3 折线形稳定系数计算示意图

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + T_n} \quad (D.1.3-1)$$

$$\psi_j = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \phi_{i+1} \quad (D.1.3-2)$$

$$\prod_{j=1}^{n-1} \psi_j = \psi_1 \cdot \psi_{i+1} \cdot \psi_{i+2} \cdots \cdots \cdot \psi_{n-1} \quad (D.1.3-3)$$

$$N_i = Q_i \cos \theta_i \quad (D.1.3-4)$$

$$T_i = Q_i \sin \theta_i \quad (D.1.3-5)$$

$$R_i = N_i \tan \phi_i + c_i L_i \quad (D.1.3-6)$$

$$R_n = N_n \tan \phi_n + c_n L_n \quad (D.1.3-7)$$

式中 R_i ——第*i*条块潜在滑移面上的抗滑力；
 R_n ——最末条块潜在滑移面上的抗滑力；

- Q_i ——潜在滑移体第*i*条块所受重力 (kN) ;
 N_i ——第*i*条块重量垂直于潜在滑移面上的法向分力 (kN) ;
 T_i ——第*i*条块重量平行于潜在滑移面上的切向分力 (kN) ;
 c_i ——第*i*条块潜在滑移面上的粘聚力 (kPa) ;
 ϕ_i ——第*i*条块潜在滑移面上的内摩擦角 (°) ;
 L_i ——第*i*条块潜在滑移面的长度 (m) ;
 ψ_i ——第*i*条块剩余下滑力递至*i*+1块时的传递系数 ($j=i$) ;
 θ_i ——第*i*条块潜在滑移面与水平面的夹角 (°) 。

D.1.4 岩质边坡被一组或多组节理切割成的岩块, 其块体的稳定性计算, 可根据其破坏的边界条件, 按平面或空间两大类型课题进行稳定性分析计算。

a) 平面课题

当岩质边坡的主要结构面走向平行于坡面走向, 结构面的倾角小于坡面倾角且大于结构面的内摩擦角时, 形成平面破坏, 其边坡稳定系数 F_s 应按下列平面计算公式计算:

$$F_s = \frac{cA + N \tan \phi}{T} \quad (D.1.4-1)$$

- 式中 N ——潜在滑移体所受重力的法向分力 (kN) ;
 T ——潜在滑移体所受重力的切向分力 (kN) ;
 A ——潜在滑移面面积 (m) ;
 c ——潜在滑移面的粘聚力 (kPa) ;
 ϕ ——潜在滑移面的内摩擦角 (°) 。

b) 空间课题

1) 当岩质边坡的两组结构面的交线倾向坡面, 交线倾角小于坡角且大于其摩擦角时, 易发生楔形破坏, 楔形体沿结构面交线下滑, 其边坡稳定系数 F_s 应按下列楔形体计算公式计算:

$$F_s = \frac{N_A \tan \phi_A + N_B \tan \phi_B + c_A A_A + c_B A_B}{T_{AB}} \quad (D.1.4-2)$$

式中 N_A, N_B ——潜在滑移体所受重力作用于A、B结构面上的法向分力 (kN) ;

T_{AB} ——潜在滑移体所受重力在组合交线上的切向分力;

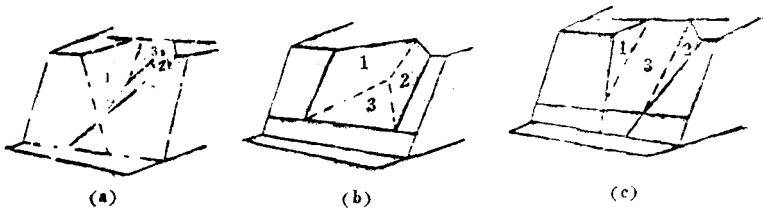
A_A, A_B ——A、B结构面的面积 (m^2) ;

c_A, c_B ——A、B结构面的粘聚力 (kPa) ;

ϕ_A, ϕ_B ——A、B结构面上的内摩擦角 ($^\circ$) ;

$\beta_{A,B}$ ——A、B结构面交线的倾角 ($^\circ$) 。

2) 在岩质边坡中, 由三组结构面切割形成的潜在滑移楔形体, 一般有三种情况, 其边坡稳定系数 F_s 应根据不同情况按图 D.1.4和楔形体计算公式计算:



D.1.4 三个结构面构成的滑动块体形状图

a) 沿1、2面交线下滑; b) 沿1、2面交线和3面下滑;

c) 3面为主滑面, 1、2面为次滑面

第一种情况, 如图D.1.4中 (a) 所示, 块体沿结构面1与2的组合交线方向下滑, 结构面3起切割作用, 3的法向力为拉力, 其边坡稳定系数 F_s 应按下列楔形体计算公式计算:

$$F_s = \frac{1}{T} [(N_1 \tan \phi_1 + c_1 A_1) + (N_2 \tan \phi_2 + c_2 A_2) + (-N_3 \tan \phi_3 + c_3 A_3)] \quad (D.1.4-3)$$

第二种情况, 如图 (b) 所示, 块体沿结构面1与2的组合交线方向下滑, 结构面3为主滑面, 其边坡稳定系数 F_s 应按下列楔

形体计算公式计算:

$$F_s = \frac{1}{T} [(N_1 \tan \phi_1 + c_1 A_1) + (N_2 \tan \phi_2 + c_2 A_2) + (N_3 \tan \phi_3 + c_3 A_3)] \quad (D.1.4-4)$$

第三种情况,如图(c)所示,结构面3为主滑面,1、2为次滑面,边坡稳定系数 F_s 应按下列楔形体计算公式计算:

$$F_s = \frac{1}{T_1 + T_2 + T_3} [(N_1 \tan \phi_1 + c_1 A_1) + (N_2 \tan \phi_2 + c_2 A_2) + (N_3 \tan \phi_3 + c_3 A_3)] \quad (D.1.4-5)$$

式中 N_1, N_2, N_3 ——潜在滑移体所受重力作用在1-1、2-2、3-3结构面上的法向分力(kN);

T, T_1, T_2, T_3 ——潜在滑移体所受重力作用在组合交线或主滑面上和次滑面上的切向分力〔(受拉力时为负值(kN))〕;

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 ——结构面上的内摩擦角($^\circ$);

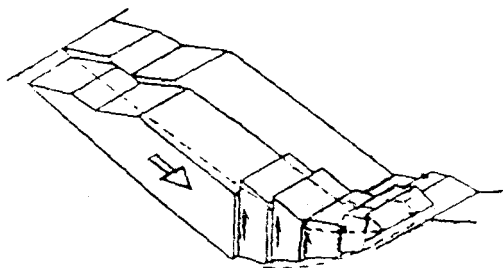
c_1, c_2, c_3 ——结构面上的粘聚力(kPa);

A_1, A_2, A_3 ——结构面面积(m^2)。

D.1.5 上述所列的圆弧形、折线形、岩质边坡块体稳定系数计算公式,其潜在滑移体的受力状态仅考虑受重力作用的情况,在实际工程中,尚应根据勘察场区具体情况,计入地下水动水压力、浮托力、地震力、地应力、地面堆载等力系对潜在滑移体的作用。

D.1.6 潜在滑移面为平面滑动、楔形滑动、圆弧滑动和非圆弧滑动等各种复杂剖面的岩土坡的稳定系数 F_s ,应根据下列图D.1.6-1、D.1.6-2、D.1.6-3和萨尔玛法计算公式计算:

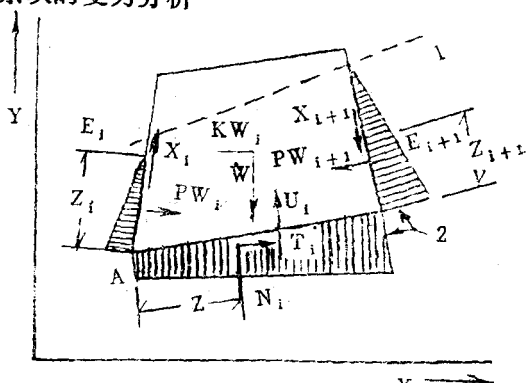
a) 破坏模式示意图



图D.1.6-1 边坡岩体在滑动中的破坏模式示意图

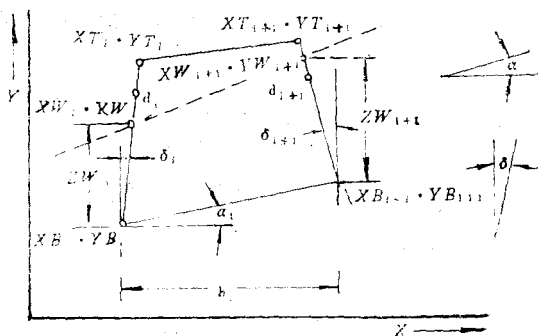
b) 力学平衡条件

1) 条块的受力分析



图D.1.6-2 潜在滑体第1条块中的作用力图
1—地下水位；2—压力分布

2) 条块的几何条件



图D.1.6-3 潜在滑体第1条块几何条件图

3) 潜在滑体处于平衡状态力的平衡条件

$$K_c = \frac{a_n + a_{n-1} \cdot e_n + a_{n-2} \cdot e_n \cdot e_{n-1} + \dots + a_1 \cdot e_n \cdot e_{n-1} \dots e_3 \cdot e_2}{P_n + P_{n-1} \cdot e_n + P_{n-2} \cdot e_n \cdot e_{n-1} + \dots + P_1 \cdot e_n \cdot e_{n-1} \dots e_3 \cdot e_2} \quad (D.1.6-1)$$

$$e_i = Q_i [\cos (\phi_{B_i} - a_i + \phi_{S_i} - \delta_i) \sec \phi_{S_i}] \quad (D.1.6-2)$$

$$P_i = Q_i \cdot W_i \cos (\phi_{B_i} - a_i) \quad (D.1.6-3)$$

$$a_i = Q_i [W_i \cdot \sin (\phi_{B_i} - a_i) + R_i \cos \phi_{B_i} + S_{i+1} \sin (\phi_{B_i} - a_i - \delta_{i+1}) - S_i \cdot \sin (\phi_{B_i} - a_i - \delta_i)] \quad (D.1.6-4)$$

$$S_i = (c_{S_i} \cdot d_i - P W_i \cdot \tan \phi_{S_i}) \quad (D.1.6-5)$$

$$S_{i+1} = (c_{S_{i+1}} \cdot d_{i+1} - P W_{i+1} \cdot \tan \phi_{S_{i+1}}) \quad (D.1.6-6)$$

$$R_i = (c_{B_i} \cdot b_i \sec a_i - U_i \cdot \tan \phi_{B_i}) \quad (D.1.6-7)$$

$$Q_i = \sec (\phi_{B_i} - a_i + \phi_{S_{i+1}} - \delta_{i+1}) \cos \phi_{S_{i+1}} \quad (D.1.6-8)$$

式中 W_i ——第*i*条块重量；

KW_i ——由于地震加速度产生的水平力，作用于第*i*条块体重心 (kN)；

Q_i ——作用于第*i*条块上的重力 (kN)；

R_i ——第*i*条块底面的抗滑力 (kN)；

PW_i, PW_{i+1} ——作用于第*i*、*i*+1条块侧面水压力 (kN)；

U_i ——作用于第*i*条块底面水压力 (kN)；

E_i, E_{i+1} ——第*i*、*i*+1条块侧面的法向力 (kN)；

X_i, X_{i+1} ——第*i*、第*i*+1条块侧面的剪切力 (kN)；

N_i ——第*i*条块底面的法向力 (kN)；

T_i ——第*i*条块底面的剪切力 (kN)；

ϕ_{B_i} ——第*i*条块底面摩擦角 (°)；

c_{B_i} ——第*i*条块底面粘聚力 (kN)；

ϕ_{S_i} ——第*i*条块侧面摩擦角 (°)；

c_{S_i} ——第*i*条块侧面粘聚力 (kN)。

c) 稳定性计算

1) 几何参量计算

$$d_{i+1} = [(XT_{i+1} - XB_{i+1})^2 + (YT_{i+1} - YB_{i+1})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{D.1.6-9})$$

$$\delta_{i+1} = \arcsin[(XT_{i+1} - XB_{i+1}) / d_{i+1}] \quad (\text{D.1.6-10})$$

$$b_i = XB_{i+1} - XB_i \quad (\text{D.1.6-11})$$

$$a_i = \arctan[(YB_{i+1} - YB_i) / b_i] \quad (\text{D.1.6-12})$$

$$W_i = 1/2\gamma[(XB_i + XT_i)(YB_i - XT_i) + (XT_i - XT_{i+1})(YT_i - YT_{i+1}) + (XT_{i+1} + XB_{i+1})(YT_{i+1} - YB_{i+1}) + (XB_{i+1} + XB_i)(YB_{i+1} - YB_i)] \quad (\text{D.1.6-13})$$

$$ZW_{i+1} = (YW_{i+1} - YB_{i+1}) \quad (\text{D.1.6-14})$$

2) 水压力计算

$$U_i = 1/2\gamma_w (ZW_i + ZW_{i+1}) b_i \sec\alpha_i \quad (\text{D.1.6-15})$$

$$PW_i = 1/2\gamma_w ZW_i^2 \sec\delta_i \quad (\text{D.1.6-16})$$

$$PW_{i+1} = 1/2\gamma_w ZW_{i+1}^2 \sec\delta_{i+1} \quad (\text{D.1.6-17})$$

3) 剪切强度计算

$$\tau_{B_i} = c_{B_i} + (U_{B_i} - U_i / b_i \sec\alpha_i) \tan\phi_{B_i} \quad (\text{底面}) \quad (\text{D.1.6-18})$$

$$\tau_{S_i} = c_{S_i} + (U_{S_i} - PW_i / ZW_i \sec\delta_i) \tan\phi_{S_i} \quad (\text{侧面}) \quad (\text{D.1.6-19})$$

4) 稳定系数计算

对于实际边坡，一般情况下(除地震动荷载作用的情况外)，水平加速度为零，因而地震加速度亦为零。当按D.1.6-1式计算得出的 K 值不为零时，就采用降低条块侧面和底面的剪切强度值，此时，剪切强度参数减少到： c_{B_i}/F ； $\tan\phi_{B_i}/F$ ； c_{S_i}/F ； $\tan\phi_{S_i}/F$ ； $c_{S_{i+1}}/F$ ； $\tan\phi_{S_{i+1}}/F$ 。直至当 $K=0$ 时， F 就是边坡具有的稳定系数。

5) 解的合理性校核

确定了 F 值以后，应逐条块进行合理性校核。

$$E_i = 0 \quad (\text{D.1.6-20})$$

$$E_{i+1} = a_i - P_i K + E_i e_i \quad (D.1.6-21)$$

$$X_i = (E_i - PW_i) \tan \phi_{B_i} + c_{B_i} a_i \quad (D.1.6-22)$$

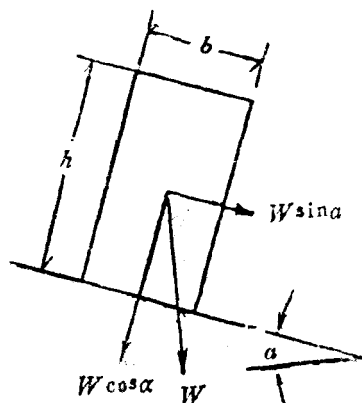
$$N_i = (W_i + X_{i+1} \cos \delta_{i+1} - X_i \cos \delta_i - E_{i+1} \sin \delta_{i+1} + E_i \sin \delta_i + U_i \tan \phi_{B_i} \sin \alpha_i - c_{B_i} b_i \tan \alpha_i) \cos \phi_{B_i} \sec(\phi_{B_i} - \alpha_i) \quad (D.1.6-23)$$

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \phi_{B_i} + c_{B_i} b_i \sec \alpha_i \quad (D.1.6-24)$$

解的合理性标志是所有的 E 、 X 、 N 、 T 诸力均为正值。

D.2 倾倒破坏的稳定性分析计算

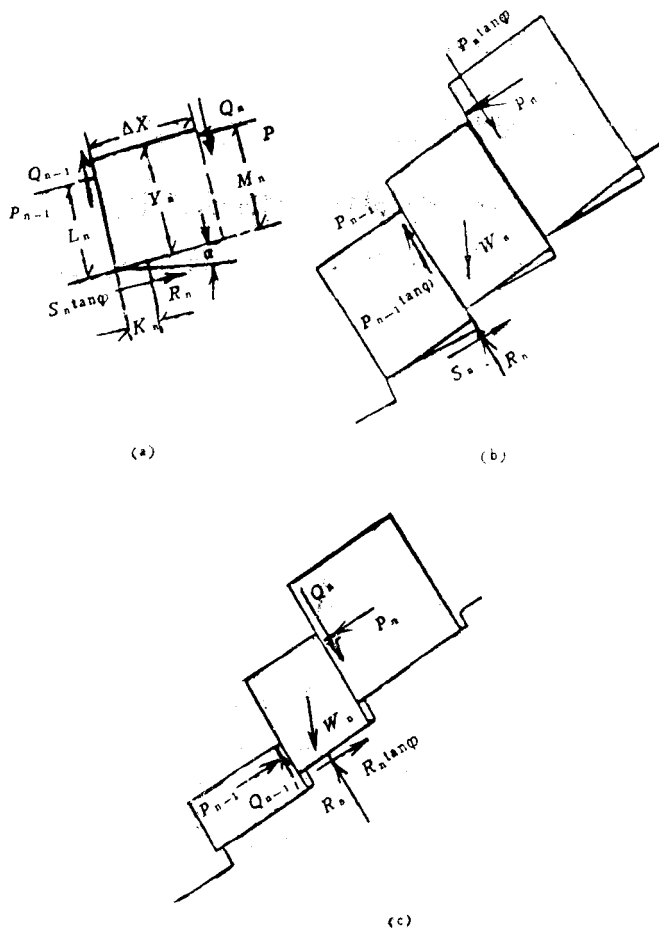
D.2.1 倾倒破坏如图 D.2.1 所示，略去粘聚力影响的定性分析如下：



图D.2.1 倾倒岩块的几何要素图

- a) 当 $\alpha < \phi$, $b/h > \tan \alpha$ 时, 块体稳定;
- b) 当 $\alpha < \phi$, $b/h < \tan \alpha$ 时, 仅发生倾倒;
- c) 当 $\alpha > \phi$, $b/h > \tan \alpha$ 时, 仅发生滑动;
- d) 当 $\alpha > \phi$, $b/h < \tan \alpha$ 时, 又滑动, 又倾倒。

D.2.2 倾倒破坏可认为倾倒体不再受地应力、其底面的抗拉力及倾倒体层间粘聚力的作用，岩块倾倒的极限平衡分析计算方法为：



图D.2.2 第n块倾倒与滑动的极限平衡条件

(a) 作用于第n块岩块上的力，(b) 第n块岩块的倾倒，
(c) 第n块岩块的滑动

a) 如图D.2.2 (a)、(b)所示, 据力矩平衡条件, 抗倾倒力 $P_{n-1,t}$ 为:

$$P_{n-1,t} = \frac{P_n(M_n - \Delta x \tan \phi) + (W_n/2)(Y_n \sin \alpha - \Delta x \cos \alpha)}{L_n} \quad (\text{D.2.2-1})$$

式中符号含义见图示。

b) 如图D.2.2 (c)所示, 据滑动方向的平衡条件, 抗滑动力 $P_{n-1,s}$ 为:

$$P_{n-1,s} = P_n - \frac{W_n(\tan \phi \cos \alpha - \sin \alpha)}{1 - \tan^2 \phi} \quad (\text{D.2.2-2})$$

式中符号含义见图示。

c) 当 $P_{n-1,t} > P_{n-1,s}$ 时, 岩块处于倾倒状态。

d) 当 $P_{n-1,t} < P_{n-1,s}$ 时, 岩块处于滑动状态。

e) 边坡加固所需的锚固力计算, 取 $P_{n-1,t}$ 和 $P_{n-1,s}$ 的大者。

附录E 边坡加固设计参数表

E.0.1 采用抗滑桩加固措施所需的非岩类桩底侧向地基系数 m 和竖向地基系数的比例系数 m_0 ，以及岩石类地基系数，可按表E.0.1-1和E.0.1-2所列数据选用。

6

非岩石地基 m 和 m_0 值

表E.0.1-1

土的名称	m 和 m_0 (MN/m ⁴)
流塑粘性土 $I_L \geq 1$, 淤泥	3~5
软塑粘性土 $1 > I_L \geq 0.5$, 粉砂	5~10
硬塑粘性土 $0.5 > I_L > 0$, 细砂, 中砂	10~20
半坚硬的粘性土、粗砂	20~30
砾砂、角砾、碎石、卵石	30~80
块石、漂石	80~120

岩石地基系数

表E.0.1-2

极限抗压强度 R (kPa)	地基系数 K_0 (MN/m ⁴)
1000	300
≥ 25000	15000

E.0.2 采用重力式挡土墙加固措施所需的土对挡土墙基底摩擦系数，可按表E.0.2选用。

土对挡土墙基底的摩擦系数

表E.0.2

土的类别	摩擦系数 μ	
粘性土	可塑	0.25~0.30
	硬塑	0.30~0.35
	坚硬	0.35~0.45
粉砂	$S_r \leq 0.5$	0.30~0.40
中砂、粗砂、砾砂 碎石土 软质岩石 表面粗造的硬质岩石		0.40~0.50
		0.40~0.60
		0.40~0.60
		0.65~0.75

E.0.3 采用锚杆、锚索加固措施所需的岩土层与砂浆间的粘结力设计估算值，可按表E.0.3-1和表E.0.3-2选用。

砂浆与岩石间的粘结强度设计值 f_{cr} (MPa) 表E.0.3-1

页 岩	白云岩、石灰岩	砂岩、花岗岩
0.1~0.18	0.30	0.45

砂浆与土层间的粘结强度设计值 f_{cr} (kPa) 表E.0.3-2

淤泥 质土	粘性土				粉土	砂 土			
	坚硬	硬塑	可塑	软塑	中密	松散	稍密	中密	密实
20~25	60~70	50~60	40~50	30~40	100~150	90~140	160~200	220~250	270~400

注①表中数仅用作设计估算。

②表中 f_{cr} 系采用一次常压灌浆测定的数据。

附录F 本规范用词说明

F.0.1 为了正确执行本标准的条文，对表示严格程度的用词作如下说明，以便执行过程中按不同要求区别对待：

(1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 对表示允许稍有选择，但在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

F.0.2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

附加说明:

**本规范主编单位和主要起草人
名 单**

主 编 单 位: 中国有色金属工业昆明勘察院

主要起草人: 黄经秋 贺德智 杨晓祥

统一书号：1580058·363

定 价 15.50 元