ICS 27.140
P 10
备案号：J519—2006

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5337 — 2006

水电水利工程
边坡工程地质勘察技术规程

Technical code for engineering geological investigation of slope for hydropower and water resources project

2006-05-06发布　　2006-10-01实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会　发布

目　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 2
3　术语和定义 3
4　基本规定 8
5　边坡工程地质勘察内容 9
6　边坡工程地质勘察方法 12
7　边坡稳定性分析评价 15
8　边坡监测 18
9　边坡工程地质勘察报告 20
附录 A（资料性附录）　边坡工程地质分类 23
附录 B（资料性附录）　边坡岩体质量分类 28
附录 C（资料性附录）　滑坡分类 33
附录 D（资料性附录）　工程边坡治理 35
附录 E（资料性附录）　边坡稳定性计算极限平衡分析方法 37
附录 F（资料性附录）　工程边坡安全监测 48
条文说明 51

前　言

本标准是根据《关于印发2005年行业标准项目计划的通知》（发改办工业［2005］739号）的要求制定的。

边坡失稳将严重危害建筑物和人民生命财产的安全，随着水电水利工程规模的加大，边坡稳定性问题更加突出。为了提高水电水利工程边坡工程地质勘察成果的质量，根据GB 50287—1999《水利水电工程地质勘察规范》中确定的边坡工程地质勘察任务和内容，编制了本标准，规定了具体的要求、方法、手段以及评价标准。

本标准的附录A、附录B、附录C、附录D、附录E、附录F均为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电规划标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准起草单位：水电水利规划设计总院、中国水电顾问集团中南勘测设计研究院。

本标准起草人：杜伯辉、曹永成、张性一、王惠明、钟辉亚、李跃、胡大可、邹文志。

1 范　　围

本标准规定了水电水利工程边坡工程地质勘察的内容、技术要求和方法。

本标准适用于大型水电水利工程边坡工程地质勘察。地质条件复杂的中型水电水利工程边坡的工程地质勘察可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 50123 土工试验方法标准

GB 50218 工程岩体分级标准

GB 50287 水利水电工程地质勘察规范

DL 5073 水工建筑物抗震设计规范

DL 5077 水工建筑物荷载设计规范

DL/T 5109 水电水利工程施工地质规程

DL /T 5180 水电枢纽工程等级划分及设计安全标准

DL/T 5185 水电水利工程地质测绘规程

SL 264 水利水电工程岩石试验规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.0.1

边坡 slope

位于主体（建筑物、城镇、河流、水库等）一侧具有一定倾斜度地形的地质体。

3.0.2

自然边坡 natural slope

自然营力作用下形成的边坡。

3.0.3

工程边坡 cut slope

由人类工程活动而形成的边坡。

3.0.4

库岸边坡 reservoir bank slope

水库周边受库水作用影响的边坡。

3.0.5

岩质边坡 rock slope

由各种结构面切割的岩体组成的边坡。

3.0.6

土质边坡 fill slope

由土、砂石土或土石混杂组成的边坡。

3.0.7

顺向边坡 consequent slope

边坡与层面同向，坡面与层面走向夹角小于30°。

3.0.8

反向边坡　obsequent slope

边坡与层面反向，坡面与层面走向夹角小于30°。

3.0.9

横向边坡　transverse slope

边坡与层面斜交，坡面与层面走向夹角大于60°。

3.0.10

斜向边坡　insequent slope

边坡与层面斜交，坡面与层面走向夹角介于30°～60°之间。

3.0.11

平叠边坡　horizontally bedded slope

近于水平的岩层构成的边坡。

3.0.12

稳定性系数　factor of stability

作用在滑动面（或滑体）的抗滑力（或力矩）与滑动力（或力矩）的比值。

3.0.13

安全系数　factor of safety

为保证边坡稳定而采用的具有一定安全储备的稳定性系数。

3.0.14

崩塌　falling

陡崖前缘岩体，在重力作用下，突然下坠滚落的现象。

3.0.15

倾倒　toppling

层状结构边坡，表部岩层逐渐向外弯曲、拉裂、倒塌的现象。

3.0.16

溃屈　buckling

层状结构顺向边坡的上部坡体沿软弱面蠕滑，由于下部受阻而出现岩层鼓起、拉裂、脱层的现象。

3.0.17

拉裂　tensile

边坡岩体向临空方向产生蠕变，局部拉应力集中而出现拉开、扩展、移动的现象。

3.0.18

流动　flow

碎屑类土石堆积体饱水后在重力作用下，向坡脚或沟谷流动形成碎屑流动的现象。

3.0.19

滑坡　landslide

岩（土）体，沿一定的滑动面或滑动带，在重力作用下发生整体下滑的现象。

3.0.20

滑坡体　slip mass

产生滑动的岩土体。

3.0.21

滑动面　slip surface

滑坡体沿之滑动的剪切破坏面。

3.0.22

滑动带　slip zone

滑床与滑坡体间具一定厚度的滑动碾碎物质的剪切带。

3.0.23

滑床　slip bed

滑坡体下伏未发生移动的岩土体。

3.0.24

滑坡壁　slip cliff

滑坡体后缘因滑坡而形成的裸露的陡壁。

3.0.25

滑坡舌　landslide tongue

滑坡体前缘推覆于地面而形成的舌状伸展部分。

3.0.26

滑坡裂隙　landslide crack

滑坡过程中形成的裂隙。

3.0.27

滑坡洼地　landslide graben

滑坡体后缘中相对低洼的负地形。

3.0.28

滑坡鼓丘　landslide drumlin

滑坡前缘受阻，受到挤压而隆起形成的小丘。

3.0.29

滑坡体前缘　landslide toe

滑坡堆积体前边界线。

3.0.30

滑坡体后缘　slip top

滑坡体后部边界线。

3.0.31

顺层滑坡　consequent landslide

沿岩层层面滑动的滑坡。

3.0.32

切层滑坡　insequent landslide

滑动面切过岩层层面的滑坡。

3.0.33

推移式滑坡　push-type landslide

由边坡上部失稳坡体推动下部坡体而产生的滑坡。

3.0.34

牵引式滑坡　drag（retrogressive）landslide

由边坡下部坡体失稳滑动，引起上部坡体失稳而产生的由下而上依次下滑的滑坡。

3.0.35

平移式滑坡　horizontal-push landslide

由于后缘推力（主要是水压力）骤然增大而发生于平迭边坡中的顺层滑坡。

4 基 本 规 定

4.0.1 为统一边坡工程地质勘察的内容、技术要求，并使其能符合 GB 50287 及有关规程的要求，提高勘察成果质量，制定本技术规程。

4.0.2 边坡工程地质勘察任务是查明水电水利工程建设区边坡的工程地质条件，分析影响边坡稳定性的工程地质因素，评价边坡稳定的现状，预测边坡变化趋势，为边坡工程的设计提供地质资料，参与边坡治理方案的设计研究和治理效果的检验。

4.0.3 边坡工程地质勘察可结合建筑物区工程地质勘察进行，当存在对工程有影响的失稳或潜在失稳或高陡边坡时，应进行专门性勘察。

4.0.4 应重视和加强边坡施工地质工作。施工地质工作内容和要求应符合 DL/T 5109 的有关规定。

4.0.5 水电水利工程边坡工程地质勘察除应符合本技术规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

5 边坡工程地质勘察内容

5.1 岩 质 边 坡

5.1.1 岩质边坡勘察内容应包括边坡的工程地质条件、工程地质分类、边坡岩体质量分级和边坡稳定性分类、边坡变形破坏机理分析与稳定性评价等。

5.1.2 边坡工程地质勘察应包括下列内容：

1 调查河谷和溪沟的形态、对称情况、切割深度、阶地分布与掩埋情况，查明自然边坡的高度、坡度及坡形。

2 查明组成边坡的地层岩性、软弱夹层（带）的分布、性状与成因类型，划分工程地质岩组。

3 确定边坡所在的褶皱部位和岩层产状及其变化，划分边坡结构类型；查明对边坡稳定性有影响的结构面分布、产状、性状；进行节理裂隙统计，计算节理连通率；分析各类结构面及其组合的块体与坡面的关系，初步确定可能的变形破坏方式。

4 查明边坡岩体卸荷裂隙的分布、规模及特征，进行卸荷带划分；查明边坡岩体风化程度，划分风化带；分析卸荷与风化的关系。

5 收集边坡区水文、气象资料；查明地下水的类型、补排条件、地下水位埋深及变幅、泉水分布与流量变化；查明边坡岩体的渗透性和水文地质结构；地下水位观测时段不宜小于 1 个水文年。

6 进行边坡岩体物理力学特性测试，重点研究对边坡稳定性有影响的软弱夹层（带）的变形特性和不同条件下的抗剪强度。

5.1.3 边坡工程地质勘察应进行边坡工程地质分类，边坡的一般性分类参见附录 A 中表 A.1；岩质边坡按岩体结构分类参见附录

A 中表 A.2。

5.1.4 根据边坡岩体变形破坏特征和变形破坏机理进行边坡的变形破坏分类，参见附录 A 中表 A.4。

5.1.5 进行边坡岩体质量分级和稳定性分类，参见附录 B。

5.2 土 质 边 坡

5.2.1 土质边坡勘察内容应包括地形地貌、土层性质、水文地质条件、物理地质现象、土体物理力学性质、边坡类型划分及破坏形式和稳定性评价。

5.2.2 调查边坡所处地貌单元、沟谷发育情况；查明土质边坡坡度、高度和坡面形态。

5.2.3 查明土体的厚度、物质组成、成因类型，进行土层划分。必要时，查明土层底部基岩面起伏形态。

5.2.4 收集边坡区水文、气象资料；调查泉水露头的分布和流量变化；查明地下水类型、含水层分布与埋藏条件、含水层的水力联系、补排条件和透水性；必要时进行地下水位观测，观测时段不宜小于 1 个水文年。

5.2.5 查明边坡坡面上的隆起、塌陷、张裂缝等变形迹象的分布，在雨后应加强观察。

5.2.6 进行边坡土体物理力学特性测试，根据土体的成因类型和颗粒组成，进行渗透稳定性、振动液化、膨胀性、耐崩解性、湿陷性等专门性研究。

5.2.7 按土的性状进行边坡分类，参见附录 A 中表 A.3。

5.3 滑 坡

5.3.1 滑坡的勘察应包括下列内容：

1 滑坡区的地形地貌、地层岩性、地质构造及水文气象。

2 滑坡体的分布范围、边界条件、物质组成、厚度和体积。

3 滑动面（带）的形态、物质组成和物理力学性质。

4 滑床的岩性及完整程度。

5 滑坡引起的变形、破坏迹象。

6 滑坡区的水文地质条件。

7 研究其形成年代。

5.3.2 研究滑坡的成因、发展规律；进行滑坡类型的划分，参见附录 C 中表 C.1；区分滑坡的发育阶段，滑坡发育阶段的划分参见附录 C 中表 C.2。

5.3.3 根据勘察成果，进行稳定性分析，预测稳定性变化趋势，进行稳定性分区。必要时布置或完善监测系统，监测其动态变化。

5.3.4 应依据滑坡所处的部位、滑坡类型、发育阶段、稳定性及发展趋势分析滑坡对水工建筑物施工、运行和交通、航道的不利影响，以及滑坡涌浪的危害性。

6 边坡工程地质勘察方法

6.1 工程地质测绘

6.1.1 工程地质测绘方法与要求应按 DL/T 5185 进行。

6.1.2 地质测绘的范围，应包括工程所涉及的边坡及可能对边坡稳定性有影响的地段。

6.1.3 地质测绘的比例尺，可根据边坡的规模、地形地质条件确定，平面测绘为 1:500～1:2000，剖面测绘为 1:200～1:1000。

6.1.4 应选择具有代表性的部位按方格网布置地质纵横剖面测绘。地质纵剖面宜沿主要位移或滑动方向布置；横剖面宜在其上、中、下三部位布置。当边坡变形破坏范围较大时，应适当加密剖面。

6.1.5 在工程地质测绘中宜利用计算机建立岩体节理模拟网络模型。

6.2 勘　　探

6.2.1 勘探工作的布置应在地质测绘工作的基础上进行。勘探方法应根据勘察目的、岩土特性和综合利用的原则确定，一般以钻探、洞（井）探为主，同时可采用物探、槽探。每一个工程边坡的勘察不宜少于 2 条勘探线。

6.2.2 物探方法应根据边坡环境条件、岩土体物理性状选择。常用的方法有地震波法、电法、测井和孔内电视等。物探方法应与其他勘探方法综合使用，相互验证。

6.2.3 钻探工作应符合下列要求：

1 每一条主勘探剖面至少有 3 个钻孔控制，钻孔应深入可能变形失稳界面以下 10m～20m。

2 布置钻孔时，宜结合测试和监测网的布设一并考虑。

3 在软弱带或滑动带重要部位，应采取原状样。

4 钻进时应对不同的含水层进行地下水位观测，记录冲洗液的渗漏情况，并视需要进行水文地质试验，了解岩土体的透水性，取水样进行水质分析。

6.2.4 洞、井勘探应根据具体地质条件布置。当软弱结构面或滑动面（带）为中、高倾角时宜采用平洞，缓倾角时宜采用竖井，其深度应穿过可能失稳界面或弱风化带。

6.3 测 试

6.3.1 岩土物理力学性质试验应符合下列要求：

1 岩土的室内试验及现场试验应分别按 SL 264 及 GB/T 50123 进行。

2 试验项目可根据边坡的地质条件、规模、重要性参照表 6.3.1 选择；试验样品和现场试验地点应具有代表性。

3 对控制边坡稳定性的主要岩土层及软弱夹层，或滑动面（带）土层的物理力学性质试验，每层试验组数不应小于 6 组。

4 直剪试验的最大一级法向应力及三轴试验最大一级侧压力的大小应结合工程荷载和边坡岩体应力选定，剪切方向宜与滑移方向一致；直剪试验应分别测定峰值强度和残余强度。

表 6.3.1 边坡岩土物理力学性质试验项目表

岩土种类	试验项目
土（包括黏性土、砂性土、黄土、软土、砂砾石等）	成分测定： 黏土矿物、水溶盐含量、有机质含量
	物理性质： 颗粒分析、天然含水率、孔隙比、干（湿）密度、液限、塑限、比重、膨胀性
	水理性质： 渗透系数，必要时作耐崩解、湿陷、渗透变形、溶滤
	力学性质： 压缩试验、承载试验、标贯试验、触探试验、直剪试验、三轴试验

表 6.3.1（续）

岩土种类	试验项目	
岩石（包括硬质岩、软质岩及软弱夹层）	成分测定： 矿物、化学成分、水溶盐含量、水质分析	
	物理性质： 含水率、颗粒密度、块体密度、孔隙率、吸水率及饱和吸水率	
	水理性质： 耐崩解性、软弱夹层渗透变形、溶滤及渗透系数	
	力学性质	单轴抗压强度、点荷载强度
		直剪试验：岩体结构面直剪和岩体直剪
		变形试验：承压板法、钻孔法
		岩块及岩体声波波速
		岩体应力

6.3.2 为研究滑坡的变迁历史宜测定滑动带物质的绝对年龄，常用的方法有：热释光法（TL）、电子自旋共振法（ESR）和放射性碳（^{14}C）等。各种方法的测定对象和适用范围可参照表 6.3.2。

表 6.3.2 滑动面测龄主要方法表

方 法	测定对象	可测年限 万年	成果分析和应用
放射性碳（^{14}C）	含碳淤泥、方解石、骨骼、碳化木、贝壳等	0～6	测定年龄区间
热释光（TL）	石英、方解石、碳酸钙沉淀物、烘烤层	0.1～300	测定年龄区间，最晚一次活动年龄
电子自旋共振（ESR）	碳酸钙类、石英、火山灰、石膏等	0.1～150	测定年龄区间，最晚一次活动年龄

6.3.3 为研究边坡变形破坏部位、破坏机制及破坏过程，对重要的边坡视需要进行模型试验。主要方法有：边坡模型试验、底面摩擦模型试验和离心模型试验。

7 边坡稳定性分析评价

7.1 一 般 规 定

7.1.1 依据建筑物地段自然边坡的稳定性状和可能产生变形破坏模式及规模等，分析评价工程边坡的稳定性。当自然边坡稳定差，可能产生失稳时；或自然边坡稳定性好，但由于环境和工程因素的影响，可能造成工程边坡失稳时，应对工程边坡提出相应的治理措施建议。

7.1.2 稳定性分析评价应包括下列工作内容：

1 依据边坡岩土体结构、性状等资料，确定边坡可能的变形破坏模式和边界条件。

2 分析影响边坡稳定性的环境和工程因素，确定工程边坡的稳定性及可能的变形破坏模式和边界条件。

3 选择合适的分析方法，确定分析计算中的各种荷载组合、岩土体物理力学性质参数。

4 稳定性分析与综合评价。

5 提出潜在不稳定和变形破坏边坡的治理措施建议及监测方案意见。边坡治理原则和措施参见附录 D。

7.2 参数选择与荷载

7.2.1 边坡稳定性计算参数应包括下列内容：

1 边坡岩土体主要物理力学参数。

2 滑动面、控制性结构面的抗剪强度参数和岩土体变形特征参数。

7.2.2 确定计算参数时，应根据试验统计成果或反分析计算成果，结合经验数据综合分析确定。

1　根据试验成果选定参数时应符合 GB 50287 的规定。

2　反分析中稳定系数 F_s 取值建议：蠕动挤压阶段宜采用 F_s=1.00～1.05，初滑阶段宜采用 F_s=0.95～1.00。

7.2.3　应根据具体情况，确定荷载组合。作用在边坡上的荷载包括：

1　自然作用力：包括自重、地下水作用力（静水压力、动水压力）、地震作用力和岩体应力。地震基本烈度Ⅶ度和Ⅶ度以上的地区应考虑地震作用力，地震荷载的确定参见附录 E。

2　工程作用力：影响边坡稳定的工程作用力，包括建筑物传递至边坡的作用力、库水压力、加固边坡时的锚固力、渗透水压力等。

7.3　稳 定 性 分 析

7.3.1　边坡稳定性分析方法可分为定性分析和定量分析。应根据边坡结构特征、岩土体性质、边坡破坏类型等选择合适的稳定性分析方法，对重要的边坡应选择两种或两种以上方法综合分析，评价其稳定性。

7.3.2　边坡稳定性分析方法有自然历史分析法、工程地质类比法、图解分析法、岩体质量分级法、有限元法和极限平衡分析法等，前三种为定性分析方法，后三种为定量—半定量分析方法，其中极限平衡分析法是边坡稳定计算的基本方法。

7.3.3　极限平衡分析法。根据可能失稳边坡的物质组成和边界条件、变形破坏模式，可分别采用圆弧型滑面滑动分析法、平面型滑面滑动分析法、楔形体滑动分析法、折线型滑面滑动分析法和倾倒破坏分析法（参见附录 E）。

7.3.4　提出工程边坡开挖坡形、坡比的建议。

7.4　稳定性评价标准

7.4.1　水电水利工程边坡的级别，根据边坡所影响建筑物级别及

边坡失事的危害程度，按表 7.4.1 的规定划分为 3 级。边坡失事仅对建筑物运行有影响而不危害建筑物和人身安全的，经论证，该边坡级别可降低一级。

表 7.4.1　水电水利工程边坡级别划分表

边坡级别	所影响水工建筑物级别
1 级	1 级
2 级	2、3 级
3 级	4、5 级
注：水工建筑物级别按 DL 5180 确定。	

7.4.2　水电水利工程边坡稳定计算分析应区分不同的荷载组合或运用情况。采用平面刚体极限平衡方法中的下限解法进行计算时，抗滑稳定安全系数不小于表 7.4.2 的规定。

表 7.4.2　水电水利工程边坡最小抗滑稳定安全系数表

边坡级别	荷载组合或运用情况		
	基本组合 （正常运用）	特殊组合 I （非常运用）	特殊组合 II （非常运用）
1 级	1.30～1.25	1.20～1.15	1.15～1.10
2 级	1.25～1.15	1.15～1.05	1.05
3 级	1.15～1.05	1.10～1.05	1.05
注 1：荷载计算及组合，应满足 DL 5077 的有关规定。 注 2：特殊组合 I 的安全系数适用于特殊组合 II 以外的其他非常运用荷载组合。			

8 边 坡 监 测

8.0.1 边坡监测可直接获得边坡信息，掌握边坡稳定状况；检验稳定性分析结果与治理措施的效果；对边坡变形发展趋势作出预测，为优化工程设计、安全施工及运行服务。

8.0.2 边坡监测可分为勘察期间监测和施工运行期间监测。施工运行期间监测要求参见附录F。

8.0.3 应在充分研究边坡地质勘察资料基础上，结合工程边坡的设计方案布设监测网。监测网布设应满足下列要求：

1 监测网应能控制工程边坡及其潜在变形边界，并沿可能滑移方向布置重点监测剖面。

2 边坡监测应采用多种方法与手段分期进行，地面（外部）监测、地下（内部）监测和地质巡视观察相结合，各种监测手段应相互配合、相互佐证。

3 监测项目的选择应重点突出、目的明确，并根据边坡开挖过程中出现的地质异常情况及时调整。

4 监测点的布设宜利用已有的钻孔、平洞。

8.0.4 根据边坡的地形地质条件、监测目的进行监测手段的选择。常用的监测手段有：

1 边坡地面（外部）监测：高等级三角网及水准测量、对标监测、测缝计、倾斜计、视准线等。

2 边坡内部监测：钻孔倾斜仪、多点位移计、应力计、应变计、地下水位计、水压力计、断层活动监测仪、静力水准仪等。

3 水文气象监测：雨量计、水尺等。

8.0.5 应根据边坡变形破坏类型和现场工作条件选择合适的观测仪器设备。

1 当边坡已经产生滑动时，可采用钻孔倾斜仪，当产生拉裂

时可采用测缝计，浅层差异性的块体运动可用伸长计、静力水准仪、倾斜仪等。

2 应视可能位移量大小选择量程与其相适应的仪器。

3 根据安装点的工作条件选择仪器类型。

8.0.6 观测周期应根据边坡的变形阶段、水文气象条件确定。一般情况下是定期观测，当边坡处于位移加速阶段或暴雨、洪水时，应加密监测。

8.0.7 监测数据要及时整理。并结合地质条件和环境因素等进行监测数据综合分析，提出监测简报、年度监测报告和总报告。监测报告应包括下列内容：

1 边坡的地形地质概况、变形的发生发展情况。

2 监测布置、方法、精度。

3 各种监测数据的历时变化统计。

4 分析监测数据的动态规律及相关性，比较边坡不同部位的监测数据的差异性，结合地质条件和环境因素等分析其对监测数据的影响程度。

5 依据监测数据判断边坡稳定性现状，预测变化趋势。

6 提出施工和运行期间监测工作的意见。

8.0.8 监测报告应包括下列附图：

1 监测地段主要地质图。

2 监测网布设图。

3 主要监测项目结构安装图。

4 位移（或变形）历时曲线、位移平面矢量图。

5 地下水位（或水压）历时曲线图。

6 降雨量历时曲线图。

7 其他各种监测数据分析图件。

9 边坡工程地质勘察报告

9.1 一 般 规 定

9.1.1 当进行边坡专门性勘察后，应编写边坡工程地质勘察报告。

9.1.2 搜集、调查、测绘、勘探、测试、监测等原始资料，应进行整理、检查、分析后方可作为报告编制的依据。

9.1.3 边坡工程地质勘察报告应包括正文部分和附件部分。

9.2 边坡工程地质勘察报告内容

9.2.1 报告正文应包括前言、自然地理与地质概况、岩土体结构、岩土体物理力学特性、变形机制分析、稳定性分析与评价、结论和建议等。

9.2.2 前言宜包括下列内容：

1 勘察任务、目的和要求。

2 工程概述、勘察工作概况、完成的工作项目和工作量。

9.2.3 自然地理与地质概况应包括下列内容：

1 自然地理概况（包括气象与水文）。

2 地形地貌。

3 地层岩性。

4 地质构造。

5 水文地质。

6 物理地质现象。

7 地震。

9.2.4 岩土体结构应包括下列内容：

1 岩质边坡一般应包括：边坡各区岩体结构特性与岩体质量

评价，主要结构面组合及其与边坡的关系，不稳定或潜在不稳定岩体的范围、边界条件及规模。

2 土质边坡一般应包括：土体分布范围、厚度与规模，基岩面形态特性，土体结构，各土层分布、厚度及土质类型。

9.2.5 岩土体物理力学特性应包括下列内容：

1 岩质边坡应包括岩石和主要结构面的物理力学试验成果、边坡稳定性计算所需要的参数建议值。

2 土质边坡（包括滑坡）应包括各土层、土体与基岩接触面的物理力学试验成果、边坡稳定性计算所需要的参数建议值。

3 必要时应包括地下水水质分析成果和侵蚀性评价。

9.2.6 边坡变形机制分析宜包括：自然边坡形态、变形迹象、监测资料的整理与分析、变形破坏机制、影响诱发因素、发展阶段。

9.2.7 稳定性分析与评价宜分区进行，可分定性与定量分析，内容包括：

1 边坡稳定性分区及破坏模式确定。

2 稳定性计算的工况及参数、计算成果分析。

3 边坡稳定性分析与评价。

4 工程边坡坡形、坡比的建议。

5 边坡施工运行期间监测意见和治理建议。

9.2.8 结论与建议。

9.2.9 报告附件可包括下列内容：

1 附图。

1）工程地质平面图；

2）工程地质剖面图；

3）主要钻孔柱状图；

4）主要平洞、竖井素描图；

5）岩体节理裂隙等值线图、玫瑰图；

6）结构面赤平投影图。

视需要附工程地质平切面图、地下水等水位线图、基岩面等

高线图、变形观测曲线图、地质素描及照片等。

2 附表。

1）岩土试验成果汇总表；

2）水质分析成果表；

3）位移（变形）观测成果表。

附 录 A
（资料性附录）
边坡工程地质分类

边坡一般性分类按表 A.1 确定。

表 A.1 边坡一般性分类表

分类依据	分类名称	分类特征说明
与工程关系	自然边坡	自然营力作用下形成的边坡
	工程边坡	由人类工程活动而形成的边坡
	库岸边坡	水库周边受库水作用影响的边坡
岩性	岩质边坡	由各种结构面切割的岩体组成的边坡
	土质边坡	由土、砂石土或土石混杂组成的边坡
边坡坡度	缓坡	$\alpha \leqslant 10°$
	斜坡	$10° < \alpha \leqslant 30°$
	陡坡	$30° < \alpha \leqslant 45°$
	峻坡	$45° < \alpha \leqslant 65°$
	悬坡	$65° < \alpha \leqslant 90°$
	倒坡	$\alpha > 90°$
边坡高度	超高边坡	$h \geqslant 100m$
	高边坡	$30m \leqslant h < 100m$
	中边坡	$10m \leqslant h < 30m$
	低边坡	$h < 10m$

岩质边坡按表 A.2 进行分类。

表 A.2 岩质边坡分类表（按岩体结构）

序号	边坡结构分类		岩石类型	岩体特征	边坡稳定特征
	类型	亚类			
1	块体结构边坡		岩浆岩、厚层变质岩、厚层沉积岩	岩体呈块状巨厚层状，结构面不发育，多为刚性结构面，贯穿性软弱结构面少见	边坡稳定条件好，易形成高陡边坡，失稳形态多沿某一结构面崩塌或复合结构面滑动。滑动稳定性受结构面抗剪强度与岩石抗剪断强度控制
2	层状结构边坡	层状顺向	各种厚度的沉积岩、层状变质岩和成分复杂多次喷发的火山岩	边坡与层面同向，坡面与层面走向夹角小于 30°，岩体多呈互层状，结构面发育，软弱夹层和层间错动带常为贯穿性软弱结构面	层面或软弱夹层形成滑动面，坡脚切断后易产生滑动，倾角较陡时易产生溃屈或倾倒。稳定性受坡角与岩层倾角组合关系、顺坡向软弱结构面的发育程度及抗剪强度所控制
		层状反向		边坡与层面反向，坡面与层面走向夹角小于 30°，岩体特征同顺向	岩层较陡时易产生倾倒弯曲松动变形，坡脚有软层时，上部易拉裂，局部崩塌滑动。稳定性受坡角与岩层倾角组合、岩层厚度、层间结合力及反倾结构面发育与否所控制
		层状横向		边坡与层面斜交，坡面与层面走向夹角大于 60°，岩体特征同顺向	边坡稳定性较好，注意楔形体结构面产生的失稳现象
		层状斜向		边坡与层面斜交，坡面与层面走向夹角介于 30° ～ 60° 之间，岩体特征同顺向	易形成层面与节理组成的楔形体滑动或崩塌。层面与坡面走向夹角越大稳定性愈好

表 A.2（续）

序号	边坡结构分类		岩石类型	岩体特征	边坡稳定特征
	类型	亚类			
2	层状结构边坡	层状平叠	各种厚度的沉积岩、层状变质岩和成分复杂多次喷发的火山岩	近于水平岩层构成的边坡，岩体特征同顺向	在坡底有软弱夹层时，在孔隙水压力或卸荷作用下产生向临空面的滑移、崩塌
3	碎裂结构边坡		构造影响带、破碎带、蚀变带或风化破碎岩体	岩体结构面发育，岩体宏观的工程力学特性已基本不具备由结构面造成的各向异性	边坡稳定性较差，稳定坡角取决于岩块间的镶嵌情况和岩块间的咬合力
4	散体结构边坡		构造破碎及其强烈影响带、强风化破碎带	由碎屑泥质物夹大小不规则的岩块组成，软弱结构面发育成网	边坡稳定性差，稳定坡角取决于岩体的抗剪强度，滑动面呈圆弧状

土质边坡按表 A.3 进行分类。

表 A.3　土质边坡分类表（按土性分类）

边坡类型	主要特征	影响稳定的主要因素	可能主要变形破坏形式
黏性土边坡	以黏土颗粒为主，干燥时坚硬开裂，遇水膨胀崩解，干湿效应明显。某些黏土具孔隙性（山西南部）；某些黏土甚坚固（南方网纹红土）；某些黏土呈半成岩状，但含可溶盐量高（黄河上游）；某些黏土具水平层理（淮河下游）	1. 矿物成分，特别是亲水膨胀、溶滤性矿物含量； 2. 节理裂隙的发育状况； 3. 水的作用； 4. 冻融作用	1. 滑动：裂隙性黏土常沿光滑裂隙或黏土内部形成滑面，含膨胀性亲水矿物黏土，易产生滑坡，巨厚层半成岩黏土高边坡，因坡脚蠕变可导致高速滑坡； 2. 冻融产生剥落； 3. 坍塌
砂性土边坡	以砂性土为主，结构较疏松，黏聚力低为其特点，透水性较大	1. 颗粒成分及均匀程度； 2. 含水情况； 3. 振动； 4. 外水及地下水作用； 5. 密实程度	1. 饱和含水的均质砂性土边坡，在振动力作用下，易产生液化滑坡； 2. 管涌、流土； 3. 崩塌、剥落

表 A.3（续）

边坡类型	主要特征	影响稳定的主要因素	可能主要变形破坏形式
黄土边坡	以粉粒为主，质地均一。一般含钙量高，无层理，但柱状节理发育，天然含水量低，干时坚硬，部分黄土遇水湿陷，有些呈团结状，有时呈多元结构	主要是水的作用，遇水湿陷，或水对边坡浸泡，水下渗使下垫隔水黏土层泥化等	1. 崩塌； 2. 张裂； 3. 湿陷； 4. 滑坡：高边坡可能出现快速滑坡
软土边坡	以淤泥、泥炭、淤泥质土等抗剪强度极低的土为主，塑流变形严重	1. 土性软弱（低抗剪强度、高压缩性塑流变形特征）； 2. 外力作用、振动	1. 滑坡； 2. 塑流变形； 3. 坍滑
膨胀土边坡	因富含蒙脱石等易膨胀矿物，内摩擦角很小，干湿效应明显	1. 干湿变化； 2. 水的作用	1. 浅层滑坡； 2. 浅层崩解
碎石土边坡	由岩石碎块和砂土颗粒或砾质土组成的边坡，可分为堆积、残积混合结构、多元结构	1. 黏土颗粒的含量及分布特征； 2. 坡体含水情况； 3. 下伏基岩面产状	1. 土体滑坡； 2. 坍滑

边坡变形破坏按表 A.4 进行分类。

表 A.4　边坡变形破坏分类表

序号	变形破坏		变形破坏特征	变形破坏机制	破坏面形态
	类型	亚类			
1	崩塌		边坡局部岩体松动、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向下滑移	剪切—滑移。结构面临空或坡脚岩体被剪断	层面或贯通性结构面形成滑动面

表 A.4（续）

序号	变形破坏		变形破坏特征	变形破坏机制	破坏面形态
	类型	亚类			
2	滑动	圆弧型	土质及散体结构的边坡，沿圆弧滑动面滑移，坡脚隆起	剪切—滑移。岩土体抗剪强度偏低，坡高、坡角偏大	圆弧形滑动面
		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	倾倒		层状反向结构的边坡，表部岩层逐渐向外弯曲、拉裂、倒塌的现象。陡倾层状同向边坡也可出现弯曲倒塌	弯曲—拉裂。由于岩层薄，强度低，表部岩层在风化及重力作用下产生弯矩	沿软弱结构面与折断面追踪形成
4	溃屈		层状顺向结构边坡，岩层倾角与坡角大致相近，上部坡体沿软弱面蠕滑，由于下部受阻而出现岩层鼓起、拉裂、脱层的现象	滑移—弯曲。顺坡向剪应力过大，层面间的结合力偏小，上部坡体沿软弱面蠕滑，由于下部受阻而发生纵向弯曲	层面拉裂，局部滑移
5	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，软岩变形流动使上部岩体失稳	软岩中变形带
6	流动		碎屑类土石堆积在重力作用下，向坡脚或沟谷流动，形成碎屑流，多发生在具较大自然坡降的沟谷地区及施工堆渣边坡	流动。碎屑体饱水后在重力作用下产生流动	碎屑堆积体内流动，无明显滑动面

附 录 B
（资料性附录）
边坡岩体质量分类

B.1 岩体基本质量分级。

B.1.1 岩体基本质量分级见表 B.1。

表 B.1 岩体基本质量分级

基本质量级别	岩体基本质量的定性特征	岩体基本质量指标（*BQ*）
Ⅰ	坚硬岩，岩体完整	>550
Ⅱ	坚硬岩，岩体较完整； 较坚硬岩，岩体完整	550～451
Ⅲ	坚硬岩，岩体较破碎； 较坚硬岩或软硬岩互层，岩体较完整； 较软岩，岩体完整	450～351
Ⅳ	坚硬岩，岩体破碎； 较坚硬岩，岩体较破碎—破碎； 较软岩或软硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整—较破碎； 软岩，岩体完整—较完整	350～251
Ⅴ	较软岩，岩体破碎； 软岩，岩体较破碎—破碎； 全部极软岩及全部极破碎岩	≤250

岩体基本质量指标 BQ 按式（B.1）计算：

$$BQ = 90 + 3R_c + 250K_v \qquad \text{(B.1)}$$

式中：

R_c——岩石单轴饱和抗压强度，MPa；

K_v——岩体完整性指数。

B.1.2 边坡工程岩体详细定级时，应按不同坡高考虑地下水、地表水、初始应力场、结构面的组合、结构面的产状与边坡坡面间的关系等因素对边坡岩体级别的影响进行修正。

B.2 *CSMR* 边坡岩体质量分类。

B.2.1 *CSMR* 分类是岩质边坡的稳定性分类，即根据边坡的岩体质量和影响边坡的各种因素进行综合测评，然后对其稳定性进行分类，半定量地进行稳定性评价。

CSMR 分类因素基本上分为两部分：一部分是岩体基本质量（*RMR*），由岩石强度、*RQD*、结构面间距、结构面条件及地下水等因素综合确定；另一部分是各种边坡影响因素的修正，包括边坡高度系数（ξ）、结构面方位系数（F_1、F_2、F_3）、结构面条件系数（λ）及边坡开挖方法系数（F_4）。采用积差评分模型，其表达式定为：

$$CSMR = \xi \cdot RMR - \lambda \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 + F_4 \qquad \text{(B.2)}$$

B.2.1.1 坡高系数ξ按式（B.3）计算：

$$\xi = 0.57 + \frac{34.4}{H} \qquad \text{(B.3)}$$

式中：

H——边坡高度，m。

B.2.1.2 *RMR* 值的确定方法。

RMR 值是对岩体的 5 个因素，即岩石强度（单轴抗压强度或点荷载强度）、*RQD* 值、结构面间距、结构面特征、地下水状况按权重给以评分，再对各因素的评分求和，得到总评分，总评分最高为 100 分，最低为 0 分，*RMR* 取值见表 B.2。

表 B.2 *RMR* 分类参数及评分标准表

参数			评分标准				
1	岩石强度 MPa	点荷载强度	>10	4~10	2~4	1~2	<1，不宜采用
		单轴抗压强度	250~100	100~60	60~30	30~15	15~5
	评分		15~10	8	5	3	2~0
2	岩石质量指标 *RQD* %		90~100	75~90	50~75	25~50	<25
	评分		20	17	13	8	3
3	结构面间距 cm		200~100	100~50	50~30	30~5	<5
	评分		20~15	13	10	8	5
4	结构面条件	粗糙度	很粗糙	粗糙	较粗糙	光滑	擦痕、镜面
		评分	6	4	2	1	0
		充填物 mm	无	<5（硬）	>5（硬）	<5（软）	>5（软）
		评分	6	4	2	2	0
		张开度 mm	未张开	<0.1	0.1~1	1~5	>5
		评分	6	5	4	1	0
		结构面长度 mm	<1	1~3	3~10	10~20	>20
		评分	6	4	2	1	0
		岩石风化程度	未风化	微风化	弱风化	强风化	全风化
		评分	6	5	3	1	0
5	地下水条件	状态	干燥	湿润	潮湿	滴水	流水
		透水率 Lu	<0.1	0.1~1	1~10	10~100	>100
		评分	15	10	7	4	0

B.2.1.3 F_1、F_2、F_3 的确定方法：

F_1：反映结构面倾向与边坡倾向间关系的系数；F_2：与结构面的倾角相关的系数；F_3：反映边坡倾角与结构面倾角关系的系数。

F_1、F_2、F_3取值见表 B.3。

表 B.3 结构面方向修正

破坏机制	情 况	非常有利	有 利	一 般	不 利	非常不利
P T	$\gamma_1=\lvert\alpha_j-\alpha_s\rvert$ $\gamma_1=\lvert\alpha_j-\alpha_s-180°\rvert$	>30°	30°～20°	20°～10°	10°～5°	<5°
P，T	F_1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$\gamma_2=\lvert\beta_j\rvert$	<20°	20°～30°	30°～35°	35°～45°	>45°
P T	F_2 F_2	0.15 1	0.40 1	0.70 1	0.85 1	1.00 1
P	$\gamma_3=\beta_j-\beta_s$	>10°	10°～0°	0°	0°～(−10°)	<−10°
T	$\gamma_3=\beta_j+\beta_s$	<110°	110°～120°	>120°	—	—
P，T	F_3	0	5	25	50	60

注：P—滑动，T—倾倒，α_s—边坡倾向，α_j—结构面倾向，β_s—边坡倾角，β_j—结构面倾角。

B.2.1.4 结构面条件系数λ，其取值见表 B.4。

表 B.4 结构面条件系数λ

结构面条件	λ
断层、夹泥层	1.0
层面、贯穿裂隙	0.8～0.9
节理	0.7

B.2.1.5 开挖方法系数 F_4，其取值见表 B.5。

表 B.5 边坡开挖方法修正

方法	自然边坡	预裂爆破	光面爆破	常规爆破	无控制爆破
F_4	+5	+10	+8	0	−8

B.2.2 通过上述的边坡岩体质量评分和各项边坡工程因素的修

正后，求得的 *CSMR* 总分，即可根据表 B.6 确定边坡岩体类别，半定量地评价岩体质量和稳定性。

表 B.6　根据 *CSMR* 评价边坡稳定性

类　别	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
CSMR	0～20	21～40	41～60	61～80	81～100
岩体质量	很差	差	中等	好	很好
稳定性	很不稳定	不稳定	基本稳定	稳定	很稳定

附 录 C
（资料性附录）
滑 坡 分 类

滑坡类型按表 C.1 进行分类。

表 C.1 滑坡分类表

分类依据	类 型	特 征	
滑动规模	小型滑坡	体积 V	$V<10$ 万 m^3
	中型滑坡		10 万 $m^3 \leqslant V<100$ 万 m^3
			100 万 $m^3 \leqslant V<1000$ 万 m^3
	大型滑坡		$V \geqslant 1000$ 万 m^3
	巨型滑坡		
滑坡体厚度	浅层滑坡	最大垂直厚度 D	$D \leqslant 5m$
	中层滑坡		$5m<D \leqslant 20m$
	厚层滑坡		
			$20m<D \leqslant 50m$
	深层滑坡		$D>50m$
岩层产状	顺层滑坡	沿岩层层面滑动的滑坡	
	切层滑坡	滑动面切过岩层层面的滑坡	
滑动面部位	土质滑坡	滑动面在土层内或基岩接触面	
	岩质滑坡	滑动面在岩体内	
滑动速度	快速滑坡	突然发生的滑坡，易造成突发性的灾害	
	蠕动滑坡	坡体沿滑动面缓慢断续的滑动	

滑坡发育阶段按表 C.2 划分。

表 C.2 滑坡发育阶段

序号	发育阶段		主要特征	稳定系数
1	蠕动阶段		滑坡某一部分（常是中部主滑段）处于封闭条件下的软弱带，由于种种原因，抗剪强度降低，产生蠕动变形的阶段。此时，软弱带并未形成连续的剪切面，但由于中部滑体向前移动，引起后部岩（土）体产生破坏。反映在地表上，滑坡后缘处出现一些不连续的弧形拉张裂缝，呈张开微下错状。滑坡微地貌特征不明显	1.05～1.0
2	挤压阶段		滑体的中部、后部继续向前移动，致使前端的抗滑部分受挤压，产生破裂面的阶段（没有抗滑段的滑坡无此阶段）。此时，除抗滑段外，中、后部软弱带的剪切面已贯通，滑带业已形成。在地面上的反映为后缘的弧形拉裂隙，并有局部塌滑现象，滑坡微地貌特征相继出现	1.05～1.0
3	滑动阶段	初滑阶段	整个滑坡沿滑动面作缓慢移动的阶段。当抗滑段滑动带一旦形成，滑坡的整个滑动带即已全部贯通。随着滑坡的缓慢移动，地面变形加剧，滑坡体结构松弛，地表纵向平均坡度降低，后缘张开裂缝错距增大，后部反倾裂缝逐渐清晰，两侧羽毛状裂纹已被错断，前缘隆起、产生放射状裂缝、并出现小量坍塌。滑坡微地貌特征比较明显。有时，在滑坡出口一带会出现带状分布的泉水和湿地。如滑坡区有树木，则会出现“醉汉林”	1.0～0.95
		剧滑阶段	即滑坡作加速移动至急剧滑动阶段。此时，滑坡体结构进一步松弛，地表纵坡更趋平缓。后缘错壁高陡，擦痕鲜明，并出现封闭洼地。前缘斜坡产生大量坍塌。滑坡微地貌特征更加清楚。有的滑坡常因舌部移动而带大量浊水。如滑动速度很大，前部可产生气浪，并伴随有声响。当滑坡中前部移动速度有差异时，则纵横裂缝错开并扩大，滑坡前缘一带可能形成垄状堆积	<1
4	固结阶段		滑坡停止移动后，滑体逐渐压实，滑带亦因排水而逐渐固结，强度也相应的有所增加。地表裂缝逐渐闭合，斜坡表面台坎变缓而稳定，滑壁坍塌变缓，擦痕渐趋模糊，有的新生了植被，大部分滑坡微地貌特征渐不清晰	>1
5	重复滑移阶段（复活阶段）		稳定固结后的滑坡，当地形，地质条件的变化，如河流的冲刷、下切、滑动面物质的风化、崩解、地震、降水、以及人类活动因素的影响都可能促使滑坡复活	1.0～0.95

附 录 D
（资料性附录）
工 程 边 坡 治 理

D.1 边坡治理是为提高边坡的稳定性，改善边坡工作状态，以保证工程的安全运行和人民财产的安全。

D.2 边坡治理应符合下列原则：

D.2.1 以预防为主，减少开挖爆破对岩体的扰动，及时加固，充分利用边坡岩土体自身的强度，控制渗流对岩土体稳定的不利影响。

D.2.2 针对边坡的不同变形破坏形式，因地制宜地采取综合治理措施。

D.2.3 根据边坡等级，使治理后边坡的安全系数满足要求。

D.3 边坡治理方案设计时应收集下列资料：

D.3.1 工程地质勘察资料、稳定分析资料、边坡监测资料。

D.3.2 工程设计资料。

D.3.3 施工开挖方式和施工条件。

D.3.4 施工工期和投资等。

D.4 根据对边坡稳定性的作用，可将治理措施分为：

D.4.1 减少滑动力的主要措施：减载、排水。

D.4.2 增加抗滑力的主要措施：压脚、支撑、抗滑键、抗滑桩、锚杆、预应力锚索、排水等。

D.5 根据加固治理的部位，可将治理措施分为：

D.5.1 表部治理措施：减载、压脚、支撑、地面排水等。

D.5.2 深部治理措施：抗滑键、抗滑桩、锚桩、锚杆、预应力锚索、地下水疏干等。

D.6 应根据边坡的地形地质、施工条件等选择具体的治理方法：

D.6.1 削坡减载及压脚。对于具有圆弧形或座椅形滑动面或推移式滑坡，在上部主滑区减载，在下部阻滑区压脚具有显著的效果。

D.6.2 排水。地表水或降雨，将使岩土体饱和，增加重量，减少有效应力，降低岩土体强度，软化结构面。地表排水可在边坡上方设置截水沟，边坡表面设置排水沟网；地下排水措施主要有截水墙、排水平洞、排水井等。

D.6.3 锚杆、锚索。适用于岩质工程边坡，锚固端应设置在滑动面（或变形失稳界面）以下的较完整岩体中。

D.6.4 抗滑桩。适用于较破碎或呈散体状态的已变形坡坏的边坡。抗滑桩要深入到滑动面或变形失稳界面以下完整岩土体中。

附 录 E
（资料性附录）
边坡稳定性计算极限平衡分析方法

E.1 圆弧型滑面滑动分析。

对于土质边坡或由全强风化岩体、极为破碎的岩体组成的岩质边坡，易产生旋转破坏，滑动面呈圆弧形，宜采用总应力法或有效应力法计算。

E.1.1 滑面在地下水位以上时用总应力法，稳定系数 F_s 可按式（E.1）计算：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_i \mathrm{tg}\varphi_i + \sum_{i=1}^{n} c_i L_i}{\sum_{i=1}^{n} T_i} \qquad \text{(E.1)}$$

式中：

N_i——第 i 块重量垂直于潜在滑移面上的法向分量，kN；

T_i——第 i 块重量平行潜在滑移面上的切法向分量，kN；

φ_i——第 i 块潜在滑移面（带）的内摩擦角，（°），用直接快剪或三轴不排水剪求得；

c_i——第 i 块潜在滑移面（带）的黏聚力，kPa，用直接快剪或三轴不排水剪求得；

L_i——第 i 块潜在滑弧长度，m。

E.1.2 滑面在地下水位以下时宜用有效应力法，稳定系数 F_s 可按式（E.2）计算：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} (N_i - u_i)\mathrm{tg}\varphi_i + \sum_{i=1}^{n} c_i L_i}{\sum_{i=1}^{n} T_i} \qquad \text{(E.2)}$$

式中：

u_i——第 i 块的孔隙水压力，kPa。

其余符号意义同式（E.1）。

E.2 平面型滑面滑动分析。

当岩质边坡的主要结构面走向平行于坡面，结构面倾角小于坡角且大于内摩擦角时，易产生平面破坏。稳定系数 F_s 可按式（E.3）计算：

$$F_s = \frac{W\cos\beta \mathrm{tg}\varphi + cL}{W\sin\beta} \tag{E.3}$$

当上述边坡结构面充水，坡体受静水压力时如图 E.1 所示，稳定系数 F_s 可按式（E.4）计算：

$$F_s = \frac{(W\cos\beta - u - v\sin\beta)\mathrm{tg}\varphi + cL}{W\sin\beta + v\cos\beta} \tag{E.4}$$

$$L = \frac{(H - Z)}{\sin\beta} \tag{E.5}$$

$$\text{水的上举力 } u = \frac{1}{2}\gamma_w Z_w L \tag{E.6}$$

$$\text{水的水平力 } v = \frac{1}{2}\gamma_w Z_w^2 \tag{E.7}$$

$$W = \frac{1}{2}\gamma H^2 \left\{ \left[1 - \left(\frac{Z}{H} \right)^2 \right] \mathrm{ctg}\beta - \mathrm{ctg}\alpha \right\} \tag{E.8}$$

当边坡位于Ⅶ度或Ⅶ度以上地震区时，需考虑地震波所传递的地震力（P_b），则：

$$F_s = \frac{(W\cos\beta - u - v\sin\beta - P_b\sin\beta)\mathrm{tg}\varphi + cL}{W\sin\beta + v\cos\beta + P_b\cos\beta} \tag{E.9}$$

$$\text{地震力 } P_b = K_H W \tag{E.10}$$

式中：

W——滑体的重力，kN；

c_i——滑面黏聚力，kPa；

φ——滑面内摩擦角，(°)；

L——滑面长度，m；

α——坡角，(°)；

β——结构面倾角，(°)；

γ_w——水的密度，kN/m^3；

γ——滑体密度，kN/m^3；

V——渗流部分体积，m^3；

I——平均水力坡降；

K_H——地震系数，根据地震烈度确定；

H、Z、Z_w——如图 E.1 所示。

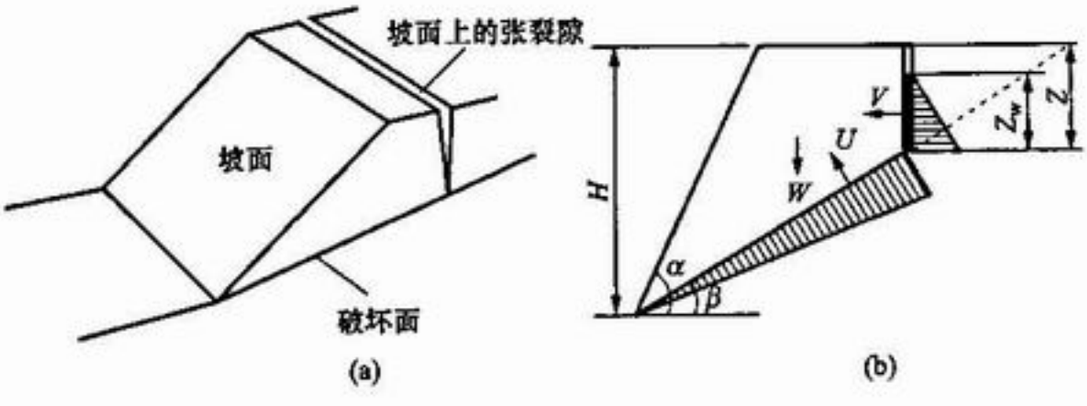


图 E.1　坡面上有张裂隙的边坡平面型破坏

(a) 立体图；(b) 剖面图

地震系数 K_H 按 DL 5073 所规定的不同地震烈度的水平向地震系数，见表 E.1。在重要的边坡且地震影响因素较大时，可采取实测地震系数的方法。

表 E.1　水平向地震系数

设计烈度	7	8	9
K_H	0.1	0.2	0.4

E.3 楔形体滑动分析。

当岩质边坡的两组结构面的交线倾向坡外，且具有临空面等滑动条件时，楔形体可能沿结构面交线滑动。稳定系数 F_s 可按式（E.11）计算，式中的相关参数则分别按式（E.12）～式（E.17）求出。

$$F_s=\frac{N_A\mathrm{tg}\varphi_A+N_B\mathrm{tg}\varphi_B+c_AA_A+c_BA_B}{W\sin\beta_{AB}} \tag{E.11}$$

$$N_A=W\cos\beta_{AB}\frac{\sin\beta'_B}{\sin(\beta'_A+\beta'_B)} \tag{E.12}$$

$$N_B=W\cos\beta_{AB}\frac{\sin\beta'_A}{\sin(\beta'_A+\beta'_B)} \tag{E.13}$$

$$\beta'_A=\mathrm{tg}^{-1}\left[\sqrt{\mathrm{tg}^2\beta_A-\mathrm{tg}^2\beta_{AB}}\cos\beta_{AB}\right] \tag{E.14}$$

$$\beta'_B=\mathrm{tg}^{-1}\left[\sqrt{\mathrm{tg}^2\beta_B-\mathrm{tg}^2\beta_{AB}}\cos\beta_{AB}\right] \tag{E.15}$$

$$\beta_{AB}=\mathrm{tg}^{-1}[\mathrm{tg}\beta_A\cos\alpha_{AB}] \tag{E.16}$$

$$\alpha_{AB}=\mathrm{tg}^{-1}\left[\frac{1}{\sin\theta}\cdot\frac{\mathrm{tg}\beta_A}{\mathrm{tg}\beta_B}-\mathrm{ctg}\theta\right] \tag{E.17}$$

式中：

W——楔形体的重力，kN；

A_A、A_B——结构面 A、B 的面积，m^2；

φ_A、φ_B——结构面 A、B 的内摩擦角，（°）；

c_A、c_B——结构面 A、B 的黏聚力，kPa；

N_A、N_B——由 W 引起的作用于结构面 A、B 上的法向分力，kN；

β_A、β_B——结构面 A、B 的倾角，（°）；

β'_A、β'_B——与结构面交线垂直剖面上的结构面 A、B 的视倾角，（°）；

α_{AB}、β_{AB}——结构面 A、B 交线倾向的方位角和倾角，(°)；

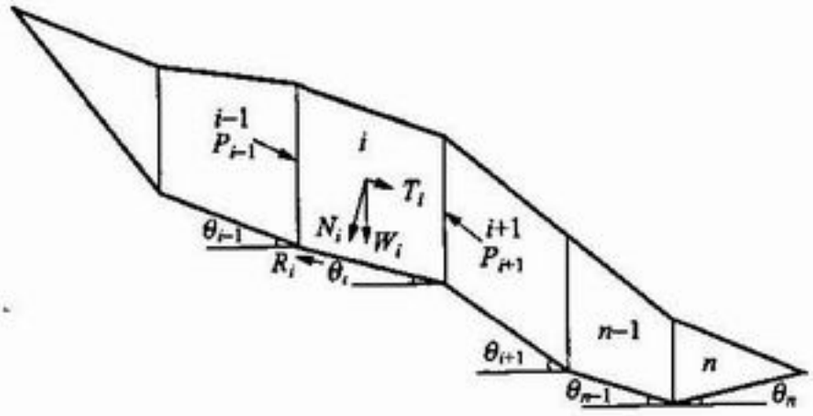
θ——结构面 A、B 倾向线间的夹角，(°)。

E.4 折线型滑面分析。

当岩质边坡由不同结构面组合的滑动面为折线型滑面时，可按传递系数法、等 F_s（等 K）法或萨尔玛法进行计算。

E.4.1 传递系数法。

当滑动面为折线时，如图 E.2 所示。



$N_i = W_i\cos\theta_i \qquad T_i = W_i\sin\theta_i$

图 E.2 折线滑动面稳定系数计算

按式（E.18）～式（E.22）计算：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}\left(R_i\prod_{j=i}^{n-1}\psi_j\right)+R_n}{\sum_{i=1}^{n-1}\left(T_i\prod_{j=i}^{n-1}\psi_j\right)+T_n} \tag{E.18}$$

$$\psi_j = \left[\cos(\theta_i-\theta_{i+1})-\sin(\theta_i-\theta_{i+1})\,\mathrm{tg}\varphi_{i+1}\right]/F_s \tag{E.19}$$

$$\prod_{j=1}^{n-1}\varphi_j = \varphi_i\cdot\varphi_{i+1}\cdot\varphi_{i+2}\cdots\varphi_{n-1} \tag{E.20}$$

$$R_i = N_i\,\mathrm{tg}\varphi_i + c_iL_i \tag{E.21}$$

$$R_n = N_n\,\mathrm{tg}\varphi_n + c_nL_n \tag{E.22}$$

式中：

W_i——第 i 块滑体的重力，kN；

R_i——第 i 块滑动面上的抗滑力，kN；

R_n——最末块滑动面上的抗滑力，kN；

N_i——第 i 块滑动面上的法向分力，kN；

T_i——第 i 块滑动面上的切向分力，kN；

φ_i——第 i 块滑动面的内摩擦角，(°)；

c_i——第 i 块滑动面的黏聚力，kPa；

L_i——第 i 块滑动面的长度，m；

ψ_j——第 i 块剩余下滑力传递至 i+1 块时的传递系数（j=i）；

θ_i——第 i 块滑动面与水平面的夹角，(°)。

E.4.2 等 F_s 法（或称等 K 法）。

等 F_s 法是考虑滑坡整体稳定系数是相同的，计算步骤是先假定一个 F_s 值，自上而下从第一块算起，求出它的不平衡推力（剩余下滑力）并逐块向下传递，至最后一块的剩余下滑力为 0 或接近 0，如最后一块剩余下滑力不接近于 0，其 F_s 值与假定的 F_s 相差较大，则将计算出的 F_s 作为初始 F_s 按上一次次序计算剩余下滑力及 F_s 值，依次反复计算，直到计算出的 F_s 与代入的 F_s 相同或相差很小时，则此 F_s 值即为边坡的稳定系数。第 i 块的剩余下滑力（E_i）按式（E.23）计算：

$$E_i=F_sW_i\sin\theta_i-W_i\cos\theta_i\mathrm{tg}\varphi_i-c_iL_i+E_{i-1}\cos(\theta_{i-1}-\theta_i)-E_{i-1}\sin(\theta_{i-1}-\theta_i)\mathrm{tg}\varphi_i \quad (E.23)$$

令 $\psi=\cos(\theta_{i-1}-\theta_i)-E_{i-1}\sin(\theta_{i-1}-\theta_i)\mathrm{tg}\varphi_i$，则：

$$E_i=F_sW_i\sin\theta_i-W_i\cos\theta_i\mathrm{tg}\varphi_i-c_iL_i+\psi E_{i-1} \quad (E.24)$$

E.4.3 萨尔玛（Sarma）法。

当滑动面起伏较大，滑坡体结构较为复杂，滑动时出现块体间相互错动，不平衡推力传递的边界条件就与实际不符，尤其有不规则软弱面切割时，垂直分块的缺点就更为突出，这种情况下宜采用萨尔玛法进行分析。

萨尔玛法最早于 1979 年提出，其思路认为岩质边坡破坏时，不是整体性的刚体滑移，而是岩体内部首先发生剪切破坏，形成相对的滑动块体，最后导致整体性破坏，因而在分析时应考虑块体间的相互作用力。目前常用的是 E·Hoek 于 1981 年改进的“非垂直分块的边坡稳定分析方法”（Sarma—non—Verticl Slice Method of Slope Stability analysis）。计算时可根据边坡岩体中的结构面划分块体，并考虑块体间的相互摩擦力，计算除可求得稳定系数外，还可以得到不同影响因素（如水位、地震、加固措施等）与稳定系数的关系。

目前国内已有萨尔玛法的计算机程序，均可进行较为便捷的分析和计算。

E.5　倾倒破坏分析。

目前尚无成熟方法，建议按 E·Hoek 提出的方法分析。此法按照极限平衡原理，研究岩块在阶梯状斜面上的倾倒破坏（如图 E.3 所示）。倾倒破坏的判据是每一岩块最不稳定的转动中心力矩 $\Sigma M>0$。

分析时假定：每一岩块厚度ΔX和底部阶梯高度 b 均相等；底面与侧面的摩擦系数取同一值。

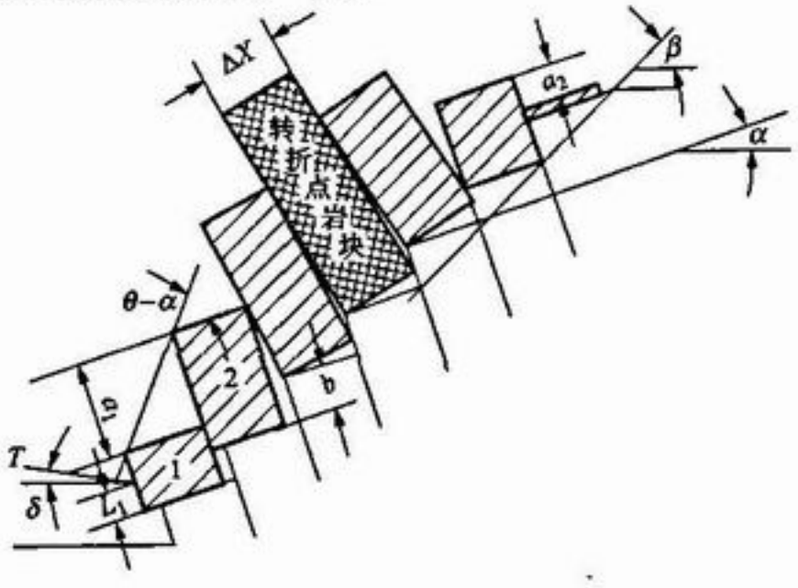


图 E.3　阶梯状底面上岩块倾倒的极限平衡分析模型

设组成岩体的岩层倾角为 $90°-\alpha$，边坡角为θ。底面呈阶梯状，其总倾角为β。图 E.3 中常数 a_1、a_2 和 b 可由式（E.25）～式（E.27）确定：

$$a_1=\Delta X\text{tg}\ (\theta-\alpha) \tag{E.25}$$

$$a_2=\Delta X\text{tg}\ \alpha \tag{E.26}$$

$$b=\Delta X\text{tg}\ (\beta-\alpha) \tag{E.27}$$

式中：

ΔX——每个岩块的宽度，m。

在这个理想化的模型里，位于转折点岩块（如图 E.3 所示）处及以下的第 n 个岩块的高度为：

$$Y_n=Y_{n-1}+a_1-b \tag{E.28}$$

而位于转折点岩块以上的第 n 个岩块的高度则为：

$$Y_n=Y_{n-1}-a_2-b \tag{E.29}$$

当具有图 E.3 所示形态的岩块系统开始破坏时，一般皆有可能按其行为模式划分为三种不同的组别：坡脚区的滑动岩块组；坡顶区的稳定岩块组；中间区的倾倒岩块组。

在某些几何条件下，也可能不存在滑动岩块组，此时倾倒岩块组就会向坡脚区扩展。

图 E.4 中（a）表示一典型岩块（n），其底面上作用有力 R_n 及 S_n，其侧面上有相邻岩块的作用力 P_n、Q_n、P_{n-1} 及 Q_{n-1}。

当该岩块属于倾倒岩块组时，所有力的作用点都已知。如果第 n 个岩块位于转折点岩块以下，则 $M_n=Y_n$，$L_n=Y_n-a_1$；如果第 n 个岩块为转折点岩块，则 $M_n=Y_n-a_2$，$L_n=Y_n-a_1$；如果第 n 个岩块位于转折点岩块以上，则 $M_n=Y_n-a_2$，$L_n=Y_n$。

对于不规则的岩块排列系统的 Y_n、L_n、M_n 可以图解确定。

岩块侧面上的极限摩擦力：$Q_n=P_n\text{tg}\varphi$，$Q_{n-1}=P_{n-1}\text{tg}\ \varphi$，按垂直和平行于岩块底面分解：

$$\text{垂直分力}\ R_n=W_n\cos\alpha+(P_n-P_{n-1})\ \text{tg}\ \varphi \tag{E.30}$$

平行分力 $S_n=W_n\sin\alpha+（P_n-P_{n-1}）$ （E.31）

当所研究的岩块转动时，恰够阻止倾倒的力 P_{n-1} 值为：

$$PT=P_{n-1,t}=\frac{P_n(M_n-\Delta X\mathrm{tg}\varphi)+(W_n/2)(Y_n\sin\alpha-\Delta X\cos\alpha)}{L_n} \quad (E.32)$$

当所研究的岩块为一滑动岩块时：

$$S_n=R_n\mathrm{tg}\varphi \quad (E.33)$$

恰够阻止滑动的力 P_{n-1} 的数值为：

$$PS=P_{n-1,s}=P_n-\frac{W_n(\mathrm{tg}\varphi\cos\alpha-\sin\alpha)}{1-\mathrm{tg}^2\varphi} \quad (E.34)$$

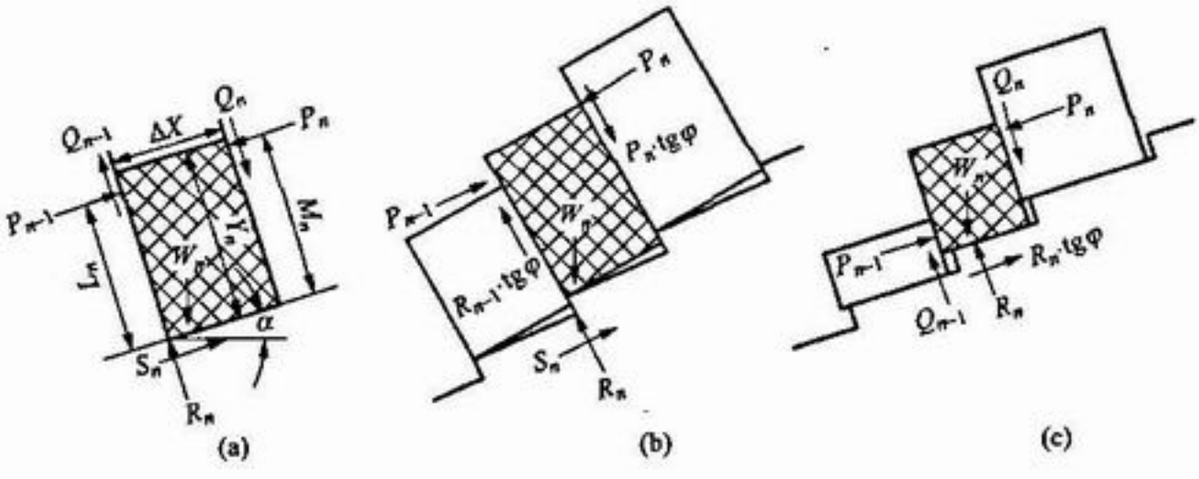


图 E.4　第 n 个岩块倾倒与滑动的极限平衡条件

（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

上述计算中，底面（节理面）都假定全部连通，不考虑 c 值，显然是偏保守的，中国水利水电科学研究院作了改正，利用蒙特卡罗法模拟裂隙网络，然后通过搜索确定连通率，对岩体部分考虑抗拉强度进行计算，这较符合实际情况。

多块体倾倒极限平衡稳定分析基本原理可以以构成边坡的第 n 块典型岩柱为例，如图 E.4 中（a）。P_n、P_{n-1} 为相邻岩柱对第 n 块岩柱的作用力，W_n 为岩柱所受重力。若底裂面有岩桥分布，则假定其集中于中部。

岩柱倾倒时的力矩平衡关系式为：

$$P_{n-1}L_n + P_n \mathrm{tg}\varphi_u \Delta X + W_n \cos\alpha \frac{\Delta X}{2} + (1-k)\Delta X \sigma_t \frac{\Delta X}{2} = P_n M_n + W_n \sin\alpha \frac{Y_n}{2} \quad \text{(E.35)}$$

即岩柱传递的下推力 PT 为：

$$PT = P_{n-1} = \frac{P_n(M_n - \Delta X \mathrm{tg}\varphi_u) + (W_n/2)(Y_n \sin\alpha - \Delta X \cos\alpha) - (1-k)\sigma_t(\Delta X^2/2)}{L_n} \quad \text{(E.36)}$$

岩柱滑动时的平衡关系式为：

$$P_{n-1} + (W_n \cos\alpha + P_n \mathrm{tg}\varphi_u)\mathrm{tg}\varphi_b + C_b \Delta X = P_n + W_n \sin\alpha + P_{n-1}\mathrm{tg}\varphi_d \mathrm{tg}\varphi_b \quad \text{(E.37)}$$

即岩柱传递的下滑力 PS 为：

$$PS = P_{n-1} = \frac{P_n(1 - \mathrm{tg}\varphi_u \mathrm{tg}\varphi_b) - W_n(\mathrm{tg}\varphi_b \cos\alpha + \sin\alpha) - C_b \Delta X}{1 - \mathrm{tg}\varphi_d \mathrm{tg}\varphi_b} \quad \text{(E.38)}$$

其中：

$$\mathrm{tg}\varphi_b = k\mathrm{tg}\varphi_j + (1-k)\mathrm{tg}\varphi_r \quad \text{(E.39)}$$

$$C_b = kC_j + (1-k)C_r \quad \text{(E.40)}$$

式（E.35）～式（E.36）中：

φ_u、φ_d——岩柱上、下游侧面内摩擦角；

$\mathrm{tg}\varphi_b$、C_b——底裂面综合抗剪强度值；

$\mathrm{tg}\varphi_r$、C_r——岩桥抗剪强度值；

$\mathrm{tg}\varphi_j$、C_j——节理面抗剪强度值；

k——底裂面连通率。

其余参数意义如图 E.4 中（a）所示。

岩柱的稳定状态可依据下列关系式判断：$PT<0$ 且 $PS<0$，岩柱处于稳定状态，则 $P=0$；$PT>0$ 且 $PT>PS$，岩柱处于倾倒状态，则 $P=PT$；$PS>0$ 且 $PS>PT$，岩柱处于滑动状态，则 $P=PS$。

由于层面或层间结构面抗剪强度一般相对较低，因此岩柱（块）的抗倾倒能力，主要取决于岩柱底面岩桥的抗拉强度所能提供的抗弯力矩的大小，其次与岩柱（块）的几何尺寸和形态亦关系密切。为了提高边坡多块体倾倒稳定分析的可信度，必须建立符合实际的多块体计算模型和确定相应的结构面强度，应用近年发展起来的岩体结构面网络模拟方法，可以获得较满意的效果。

附 录 F
（资料性附录）
工程边坡安全监测

F.1 监测设计原则。

F.1.1 监测应目的明确，重点突出。边坡安全监测应以边坡整体稳定性为主，兼顾局部稳定性。位移（变形）监测是边坡安全监测的重点，不利结构面的位移是边坡安全监测的重点对象，开挖爆破和水的作用是边坡安全监测的重要项目。

F.1.2 监测网点应在施工开挖前建立，并贯穿工程活动（施工、加固、运行）的全过程，安全监测应做到及时埋设监测仪器、及时整理监测资料、及时反馈监测信息。

F.1.3 监测应采用多种方法，以仪器监测为主，简易监测和人工巡视为辅，地表监测和地下监测相结合。

F.1.4 监测仪器应力求少而精，选用的仪器应能满足工程边坡要求的精度和量程。

F.1.5 应避免或减少施工干扰，尽量利用勘探平洞、施工支洞、排水洞等布设监测点和埋设仪器。

F.2 监测项目。

F.2.1 监测项目应根据边坡的地质条件、结构设计、重要性和工程阶段（施工期、运行期）等因素选择。

F.2.2 边坡监测项目参见表 F.1。

表 F.1 边坡监测项目

序号	监测项目	施工期	运行期
1	大地测量水平位移	√	√
2	大地测量垂直位移	√	√
3	正、倒垂线		√

表 F.1（续）

序号	监测项目	施工期	运行期
4	表面倾斜	√	
5	地表裂缝	√	√
6	钻孔深部位移	√	√
7	爆破影响监测	√	
8	渗流渗压监测	√	√
9	雨量监测	√	√
10	水位监测		√
11	松动范围监测	√	
12	加固效果监测	√	√
13	巡视检查	√	√

F.3 监测仪器选型。

F.3.1 适合边坡的地形地质条件和边坡岩土体的力学特性。

F.3.2 可靠耐用。边坡安全监测仪器首先要准确、可靠，由于施工条件的复杂性，要求仪器耐用。

F.3.3 具有边坡所要求的精度和量程。

F.3.4 结构简单、安装操作简单。

F.3.5 同一边坡的监测仪器类型宜相同。

F.4 监测频率。

F.4.1 监测周期应根据边坡的地质条件、监测项目、水文气象、工程阶段、施工方式、爆破程序、临时支护及工程的要求等情况确定。

F.4.2 监测可分为正常监测和特殊监测。正常监测是按照规定的时间间隔进行，测得各种参量随时间的连续变化情况。特殊监测是根据工程的需要，在施工或运行期有代表性的时刻或因参量发生异常变化时进行的监测。

F.4.3 监测频率应与相关参量的变化速率和可能发生显著变化的时间间隔相适应，同时还要与监测装置相适应。常用仪器的监

测频率，一般是在仪器安装埋设后测定基准值，初期每天 1 次~2 次，施工影响消除后，可按参量变化速率调整。

F.5 监测资料。

F.5.1 监测资料应及时整理，并要求资料可靠、真实、实用。

F.5.2 监测报告应包括下列内容：

F.5.2.1 工程概况。

F.5.2.2 地形地质条件。

F.5.2.3 边坡施工情况。

F.5.2.4 监测布置、仪器埋设、监测方法。

F.5.2.5 分析各种物理量的空间分布和随时间的变化规律。

F.5.2.6 评价边坡稳定现状，预测变化趋势。

F.5.2.7 提出加固处理的意见。

F.5.2.8 各种物理量沿不同深度、不同方向的分布曲线和物理量随时间变化的过程曲线等。

水电水利工程
边坡工程地质勘察技术规程

条 文 说 明

目　　录

4　基本规定 53
5　边坡工程地质勘察内容 54
6　边坡工程地质勘察方法 58
7　边坡稳定性分析评价 61
8　边坡监测 62
9　边坡工程地质勘察报告 63

4 基 本 规 定

4.0.1 边坡工程地质勘察是水电水利工程地质勘察的主要内容之一。勘察工作的内容与技术要求，除应符合规范 GB 50287 及有关规程外，还应遵循本规程有关规定，如术语、分类、稳定性标准等。

4.0.2 本条阐述了边坡工程地质勘察的任务。针对我国目前水电水利建设的实际状况，勘察的对象是工程建设区的边坡，重点是岩质边坡。边坡工程实际是对地质岩体的改造和完善，因此本规程强调了地质勘察人员对边坡设计、施工、治理方案研究及效果检验的参与。

4.0.3 边坡工程地质勘察一般不单独进行，可结合建筑物区的勘察一并评价，当存在对工程有影响的失稳边坡或潜在失稳边坡或需要开挖的高陡边坡时，则需进行专门性的工程地质勘察，并提出专题报告。

5 边坡工程地质勘察内容

5.1 岩 质 边 坡

5.1.1 本条为岩质边坡勘察内容的基本要求。边坡的失稳是各种内、外地质因素综合作用的结果，地形地貌条件反映了边坡的应力状况和临空状况，岩体的地层岩性及其物理力学性质、构造特点、风化卸荷特征等是影响边坡稳定的内在因素，地表水与地下水的作用往往成为边坡稳定的关键因素，边坡现今变形现象是边坡稳定性的直观反映。因此，本规程规定勘察内容应包括上述内容。

5.1.2 基本地形地质勘察内容

1 在调查河谷与边坡形态的基础上，应注意对不对称谷、谷中谷、河谷历史、河流的冲刷堆积特点、微地貌等现象的研究。

2 边坡地质勘察中应重视对软弱夹层（带）的调查。如侵入岩中的蚀变岩、蚀变带和易风化的岩脉，喷发岩喷发间歇期形成的接触面（带），沉积岩中的软弱薄层，变质岩中的片理发育带。

软弱夹层（带）可分为原生沉积型（含变质）、构造型和次生型三类。其性状调查主要包括厚度、物质组成（颗粒级配、矿物成分）、含水量和起伏度等。

3 根据岩层产状与边坡坡向的关系，边坡结构可划分为顺向坡、横向坡、反向坡、斜向坡、平迭坡。

断层的产状、位置与边坡稳定性极为密切，分布于边坡中上部的走向平行边坡走向的陡倾断层，易形成边坡的后缘拉裂面；分布于坡体中部的中倾与缓倾的顺坡向断层，易形成滑动面；坡脚有反倾的较厚的断层带，易形成压缩变形破坏。

节理裂隙统计，包括组数、产状、长度、间距、起伏度、粗

糙度、张开度与充填物性状，分析节理裂隙发育程度与岩性、构造部位的相关性，进行节理参数统计分析。

4 卸荷裂隙调查包括裂隙的产状、张开宽度、充填情况、充填物性状、延展度、密度、通风情况等。卸荷强度可依据卸荷裂隙（缝）的宽度、次生充填情况及弹性波波速，进行定性划分。

5 水文地质调查宜及时分析降雨量、河水位与地下水位变化的关系，同时注意成群、带泉水，裂隙集中出水点水量变化与地下水位变幅的关系。

6 对于块状结构岩体，应研究节理裂隙面的强度、变形特性；对于层状结构的岩体，应研究层面与软弱夹层的力学特性；对于碎裂结构岩体，应研究断层、夹层、节理岩体的强度和变形特性；对于板裂结构岩体，应研究其抗弯与抗拉强度；对于散体结构岩体，应研究岩体的强度与变形特性。

在研究软弱层（带）强度时，应尽量保持其天然状态，重点对其中夹泥层进行试验，必要时应测试其长期强度。

5.2 土 质 边 坡

5.2.1 本条为土质边坡勘察内容的基本要求。地形地貌条件反映了边坡的应力状况和临空状况，土体类型与性质（物理力学性质和水理性质）、土体结构等是影响边坡稳定的内在因素，地表水与地下水的作用往往成为土质边坡稳定的关键因素，边坡现今变形现象是边坡稳定性的直观反映。因此，规程规定勘察内容应包括地形地貌、土层性质和结构、水文地质条件、土体物理力学性质和水理性质、物理地质现象。

5.2.2 边坡所处的地貌单元及边坡微地貌特征是分析判别边坡土体成因的标志之一，地形地貌勘察应着重对边坡前缘临空状况（坡度、高度）和水流冲蚀情况、边坡冲沟的分布与发育深度、沟壁及沟底岩土层出露情况及物质组成进行调查；边坡坡面形态应重点调查有无洼地分布、是否存在地形的陡缓突变和缓坡平台，

并分析其成因。

5.2.3 边坡土体的厚度、物质组成及分层情况，是土质边坡勘察的重点；土体中粗颗粒（如块石、碎石、卵石和砾石等）对土体的强度影响较大，而室内外强度试验难以真实反映，工程地质勘察过程中应注意对粗颗粒含量进行调查和统计；若沿基岩面滑动失稳是土质边坡的破坏形式时，其埋深及形态特征是土质边坡勘察需解决的问题。

5.2.4 大量边坡失稳事故的发生说明，雨季、暴雨过程、地表径流及地下水对边坡稳定的影响非常大，必要的水文地质参数是边坡稳定性评价、预测及排水系统设计所必需的。因此，规程规定边坡勘察应收集场区的水文、降雨资料，对地面水体的分布及植被发育情况进行调查；通过地下水露头调查、勘探查明地下水的类型、含水层分布、地下水位及补径排条件。

5.2.5 边坡变形情况直观地反映边坡稳定现状，变形在坡面的表现一般为隆起、塌陷、产生张裂缝等，此类变形现象一般在雨后表现较为明显，因此，规程强调在雨后应加强观察。

5.2.6 土质边坡除滑动变形外，因物质组成的不同，还可能存在渗透稳定、振动液化、湿陷等变形问题。对黄土、软土、膨胀土、红黏土等特殊性土的测试按有关规范进行。

5.3 滑　　坡

5.3.1 勘察时可依据下列标志进行滑坡综合判别：

1 地貌上显示出与一般平直斜坡不一致的波状起伏地面，前缘鼓丘，并在较高处有陡崖的特征；在斜坡上可出现多级平台；坡体两侧多被冲沟切割，亦可见双沟同源或圈椅状地貌；在坡体内冲沟较密集，地形零乱；较大的滑坡常使河道或冲沟出现收缩与凸岸。

2 岩层产状突变、岩层缺失、岩体结构破碎或有较厚的堆积物分布。

3 滑动变形迹象：如环形裂缝、剪切裂缝、“醉汉林”、“马刀树”等。

4 坡脚泉水呈群、带状出露，坡体内地下水位埋深相对较深。

5.3.2 滑坡发育阶段可依据滑动过程中地表裂缝出现的部位、性质及发育顺序，滑坡的微地貌特征，岩土结构的变化及大滑动前的预兆等进行划分。

5.3.3 具有相当规模、且稳定性较差、危害性较大的滑坡应布置监测系统。

6 边坡工程地质勘察方法

6.1 工程地质测绘

6.1.1～6.1.4 规定了地质测绘的范围、比例尺、方法和要求。地质剖面间距应依据边坡规模、地形地质条件复杂程度而选定，故条文未作具体规定。

6.1.5 通过大量的节理裂隙调查统计，获取各组节理裂隙倾向、倾角、间距、长度、宽度等有关参数，从而建立岩体节理模拟网络模型。通过模型可求出不同方向的连通率和最弱抗剪面，从而有利于分析可能滑动面的形态、组合及综合抗剪强度，为稳定性分析提供依据。

6.2 勘　　探

6.2.1 勘探方法根据勘察目的和工程经验总结一般可参照表 1 选择：

表 1 勘探方法选择表

调查项目	物探	洞探	钻探	槽坑探
地层岩性及风化情况	√	√	√	√
覆盖层厚度、物质组成	√		√	√
结构面产状		√		
破碎带物质组成、产状、宽度	√	√	√	√
软弱夹层物质组成、厚度		√	√	√
坍滑体厚度、物质组成	√	√	√	
滑动面位置	√	√	√	
滑动带物质组成、厚度		√	√	√
滑床物质组成、位置、深度		√	√	

表 1（续）

调 查 项 目	物探	洞探	钻探	槽坑探
地下水位	√		√	
岩土体的渗透性试验			√	√
地下水位长期观测			√	
取样		√	√	√

6.2.2 本条列出了一些主要物探方法。一般情况下，地震波法、电法可探测覆盖层及滑坡体厚度，测井和孔内电视可确定软弱结构面或滑动带（面）性状及位置、岩体和岩石声波波速及动弹参数。鉴于物探成果解译的多解性，故强调应与其他勘探方法综合使用。

6.2.3 钻探是水电水利工程地质勘察中最常用方法，在边坡勘探中亦是查明工程地质条件的主要方法。传统钻孔技术在勘察滑动面和软弱夹层时，往往容易漏掉；滑坡体内崩石、块石多，成孔困难，难以保证勘探精度。近年来钻探技术的发展，双层或三层岩心管钻进、SM 胶取心技术和绳索取心跟管钻进一定程度上解决了软弱带、滑动带的取心和成孔问题。

6.2.4 平洞宜垂直边坡走向或倾角较陡的滑动面、拉裂面布置，以确定滑动面性状与深度。必要时需要在平洞内开挖支洞，追索结构面或滑动面的形态、性质的空间变化或开展测试工作。

6.3 测　　试

6.3.1 边坡岩土体物理力学性质试验的目的主要是获取边坡稳定性分析和治理设计的岩土体参数和数据，其中软弱层（带）和结构面的抗剪强度尤为重要。同时，岩体应力对高陡边坡稳定性有着重要影响，在有限元分析中需考虑岩体应力因素。

6.3.2 热释光法（TL）是通过滑动带中的石英碎粒的热释光能量来研究滑坡年龄的方法；电子自旋共振法（ESR）是利用测定某

矿物晶体的顺磁电子的数量来研究滑坡年龄的方法；放射性碳（^{14}C）法是利用衰变定律，通过测定滑动物质中脱变后 ^{14}C 的含体量来研究滑坡年龄的方法。

6.3.3 边坡块体结构模型试验，主要是研究工程边坡在荷载（作用）变化时，边坡破坏的机制。结构模型主要侧重于岩体材料的模拟，模型与原型的几何尺寸、强度、物理性质应成比例相似，砌块间的摩擦系数应和天然结构面的摩擦系数相一致。底面摩擦模型试验是一种较简单的块体结构模型试验，将边坡的一个断面砌于活动的底板上，移动底板，观察模型破坏情况。模型制作较简单，易于变换假定条件反复试验。离心模型试验是近年来发展起来的一种新型试验方法，它除了保证与原型之间的相似外，还保证了两者之间的体积力和应力的相似性，因而更真实地反映原型结构的工作状态。但试验条件较复杂，除模型制做外，还需要大型的离心机等设备，仅对工程有重要意义的边坡结合科研工作进行此项试验。

7 边坡稳定性分析评价

7.2 参数选择与荷载

7.2.2 经过大量水电水利工程边坡勘察积累了各类软弱层（带）和结构面的试验参数，并得到实践检验，而考虑到某个边坡试验点的数量和代表性难以全面准确反映实际情况，因此本条强调了参数的选取应结合经验数据综合分析确定。

7.3 稳 定 性 分 析

7.3.1 鉴于岩土条件的复杂性，边坡稳定性分析的各种方法中均对地质原型进行了一定的概化或简化，其计算分析条件与实际存在一定程度的差异。基于分析成果的可靠性和工程的安全性考虑，本规程规定对重要的边坡应选择两种或两种以上方法综合分析，评价其稳定性。

7.3.2～7.3.3 边坡稳定性分析方法较多，大体可归纳为定性分析和定量分析两种。本规程只列出了通用的几种方法，其中定量分析方法中的极限平衡分析法是较为成熟和公认的方法。由于边坡的组成物质、滑动面或潜在滑动面的形态、变形破坏模式不同，本规程亦列出了几种常用的极限平衡分析方法。鉴于各种类型边坡的地形地质条件差异很大，影响边坡稳定的因素较多，边坡变形破坏的形式多样，因此本规程规定应根据边坡结构特征、岩土体性质、边坡破坏类型等选择合适的稳定性分析方法。

7.4 稳定性评价标准

7.4.1～7.4.2 全部引用于 DL 5180 中水工建筑物边坡抗滑稳定安全标准的相关内容。

8 边 坡 监 测

8.0.1～8.0.8 边坡监测可分为勘察期间监测和施工运行期间监测。勘察期间监测主要为评价边坡稳定性、检测分析评价成果、预测边坡变形发展趋势、优化工程边坡设计提供资料。施工运行期间监测主要为保证工程安全，修改设计指导施工，验证边坡加固处理效果，更新边坡勘察、设计、施工技术提供依据。本章主要是规定勘察期间监测的要求，有关施工运行期间监测要求参见附录 F。

监测的方法、手段很多，布置时应根据边坡变形破坏模式、现场条件和经济条件确定有效的监测方法；此外监测仪器的发展变化很快，在本规程中只列举了目前一般使用的仪器；对监测资料的分析本规程只规定了应考虑的一般影响因素。

9 边坡工程地质勘察报告

9.1 一 般 规 定

9.1.1～9.1.3 原始资料是岩土工程分析评价和编写成果报告的基础，加强原始资料的编录工作、提高基本资料的准确性，是保证成果报告质量的基本条件。在以往工程实践中，勘探、测试工作做得不少，但由于对原始资料的检查、整理、分析重视程度不够，因而不能如实客观反映边坡实际情况，甚至造成假象，导致分析评价失误。因此，本条强调，对勘察报告所依据的一切原始资料，均应进行整理、检查、分析后方可利用。

9.2 边坡工程地质勘察报告内容

9.2.1～9.2.9 鉴于边坡规模大小各不相同，勘察目的和要求、工程特点、岩土条件等差别较大，因此，对所规定的边坡工程地质勘察报告的内容，可根据各自的特点适当调整和增减部分章节和内容。