

ICS 01.040.07
P 14
备案号: 47906-2015

DB63

青 海 省 地 方 标 准

DB63/T 1427—2015

公路滑坡勘察设计规范

2015 - 09 - 24 发布

2015 - 12 - 20 实施

青海省质量技术监督局

发 布

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语与定义 1

4 符号及代号 3

5 总则 3

6 基本要求 4

 6.1 滑坡工程地质勘察 4

 6.2 滑坡防治工程设计 4

7 滑坡勘察 5

 7.1 一般规定 5

 7.2 工程地质选线 6

 7.3 可行性研究勘察 6

 7.4 初步勘察 6

 7.5 详细勘察 7

 7.6 滑坡地质调绘 8

 7.7 滑坡勘探 11

 7.8 滑坡测试 15

 7.9 滑坡稳定性评价 16

8 滑坡防治工程设计荷载及安全系数 18

 8.1 防治工程设计荷载 18

 8.2 防治工程设计安全系数 18

9 滑坡推力计算 18

 9.1 一般规定 18

 9.2 滑动带（面）土强度指标选取 19

 9.3 滑坡推力计算 19

10 滑坡防治工程设计 21

 10.1 一般规定 21

 10.2 滑坡防治工程措施 22

 10.3 滑坡防治工程设计 22

11 滑坡监测及防治工程检测 34

 11.1 滑坡动态监测 35

 11.2 滑坡防治工程检测 35

12 滑坡治理工程养护 35

12.1 定期对滑坡治理工程巡查，检查工程构筑物的完整性及运行情况。 35

12.2 排水工程应定期疏通、清理、维护。 35

12.3 锚固工程应定期抽查锚杆（索）的受力情况，出现松弛及时补张拉。 35

12.4 检查挡墙等构筑物排水孔，保持排水顺畅。 35

附录 A（资料性附录） 滑坡要素平、剖面示意图..... 36

附录 B（资料性附录） 滑坡分类 37

附录 C（资料性附录） 滑坡岩土物理力学性质试验项目..... 39

附录 D（资料性附录） 滑坡稳定性计算公式 41

附录 E（资料性附录） 抗滑桩计算中的地基系数..... 45

附录 F（规范性附录） 滑坡动态监测与预应力锚杆（索）工程检测..... 47

前 言

本规范的编写符合GB/T 1.1—2009的要求。

本规范由青海省交通运输厅提出并归口。

本规范起草单位：青海省公路建设管理局、中铁西北科学研究院有限公司

主要起草人：苗广营、朱本珍、王文祖、郑静、王振、马惠民、张红利、宋响军、张俊德、戴玉、戚宗轲、李晓军、赵科。

公路滑坡勘察设计规范

1 范围

本规范规定了公路滑坡勘察、防治工程设计及监测、检测等技术要求等内容。
本规范适用于新建、改扩建及既有公路滑坡的勘察和防治工程设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
- JTG B02 公路工程抗震规范
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG D70 公路隧道设计规范
- JTG/T D33 公路排水设计规范
- JGJ8 建筑变形测量规范
- JTJ/T B07-01 公路工程混凝土结构防腐技术规范

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

滑坡

斜坡上的部分土体或岩体在自然或人为因素影响下，沿一定部位的软弱带（面）或结构面向下和向前滑动的现象。

3.2

滑坡体

与稳定坡体脱离而滑动的土体或岩体。

3.3

滑动带（面）

滑坡体滑动时与稳定坡体间形成并沿其下滑的软弱带（面）或结构面。

3.4

软弱结构面

岩体中存在一定厚度软弱物质的结构面。

3.5

滑床

滑动带（面）以下的稳定土体或岩体。

3.6

老滑坡

历史上形成的，保留部分滑动特征的滑坡。

3.7 **工程滑坡**

因工程活动而诱发的滑坡。

3.8

抗滑桩

部分桩体插入滑动带（面）以下的稳定地层中，以平衡滑坡推力、稳定滑坡的一种结构物。

3.9

锚索抗滑桩

桩身设置预应力锚索的抗滑桩。

3.10

微型桩

直径小于30 cm的钻孔灌注桩，通过桩—土接触面提供的锚固力及结构本身的抗力稳定滑坡的抗滑结构。

3.11

预应力锚杆（索）

将拉力传至稳定岩土层的构件。当采用钢绞线并施加一定的预拉应力时称为预应力锚索。

3.12

反力结构

设置于坡面，为预应力锚杆（索）提供反力的结构，结构形式分为框架、地梁、锚墩。

3.13

抗滑挡土墙

依靠自身重力与地基的摩阻力抵抗滑坡推力的支护结构。

4 符号及代号

C ——滑动带（面）土的粘聚力

L ——滑面长度

R ——抗滑力

T ——下滑力

W ——滑体的重力

F_s ——滑坡稳定系数

F_{st} ——滑坡防治工程设计安全系数

I_p ——塑性指数

I_L ——液性指数

K_e ——水平地震影响系数

R_c ——岩石单轴饱和抗压强度

e ——孔隙比

h_w ——裂隙充水高度

n_i ——孔隙率

α ——滑面倾角

γ ——岩土体的重度

φ ——滑动带（面）土的内摩擦角

ψ ——推力传递系数

ω ——含水率

γ_w ——水的重度

ω_p ——塑限

ω_L ——液限

$[f_{a0}]$ ——地基承载力基本允许值

5 总则

5.1 公路选线阶段，宜采取绕避或尽可能减少扰动滑坡的方案。

5.2 滑坡勘察应分阶段查清滑坡性质、规模、成因、稳定性，预测其发展趋势，为滑坡防治工程设计提供依据和防治工程建议。

5.3 滑坡防治工程设计应在贯彻“动态设计与信息化施工”原则的基础上，综合考虑公路与滑坡的位置关系、施工条件等因素，因地制宜，科学设计。

5.4 滑坡勘察设计工程除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行的有关规范、标准的规定。

6 基本要求

6.1 滑坡工程地质勘察

6.1.1 滑坡应按可行性研究勘察阶段、初步勘察阶段、详细勘察阶段开展工作。对于既有公路的滑坡，可直接进行详细勘察。

6.1.2 滑坡勘察应在充分搜集资料的基础上，明确工作重点，提出针对性的勘察原则、方法、质量要求等。

6.1.3 滑坡勘察应在地质调绘的基础上，根据不同勘察阶段应用遥感、物探、钻探、坑探、测试等方法，进行勘探和综合分析，查明工程地质与水文地质条件。

6.1.4 控制路线方案、影响公路安全的复杂大型滑坡（群）地段，应加深地质工作或开展专题地质研究。

6.2 滑坡防治工程设计

6.2.1 滑坡防治工程安全等级，应根据滑坡危害对象、施工难度和工程投资等因素综合考虑，按表1对滑坡防治工程安全等级进行划分。

表1 滑坡防治工程安全等级划分表

防治等级	I	II	III
危害对象	高速公路、一级公路、其他公路的特大桥、大桥，特长隧道、长隧道等重要构筑物	国省道二级公路、二级及以下等级公路的中桥、中隧道、短隧道等较重要的构筑物及国道专项设施	三级及以下公路、小桥梁、涵洞及一般专项设施
危害等级	特严重	严重	中等或较轻
施工难度	复杂	一般	简单
工程投资/万元	>1 000	1 000~500	<500
注1：表中只要满足一项就按相应级别划分。如：施工难度为复杂时，工程投资1 000万元~500万元，防治工程安全等级按Ⅰ级。 注2：滑坡影响区有高压输电塔、油气管道、村庄和学校等重要建筑物时，防治工程按Ⅰ级考虑。			

6.2.2 滑坡防治设计应根据滑坡规模、公路穿越滑坡的部位及其公路工程结构类型等，按表2进行滑坡危害等级划分。

表2 滑坡危害等级

单位：×10⁴m³

危害对象		小型滑坡 体积≤4	中型滑坡 4<体积≤30	大型滑坡 30<体积≤100	巨型滑坡 体积>100
公路通过 滑坡前缘	路堤	较轻	较轻	严重	严重
	路堑	中等	严重	特严重	特严重
	桥梁	中等	严重	特严重	特严重
	隧道	中等	严重	特严重	特严重
公路通过 滑坡后缘	路堤	中等	严重	特严重	特严重
	路堑	较轻	较轻	中等	严重
	桥梁	中等	中等	严重	严重
	隧道	中等	严重	特严重	特严重
注：滑坡影响区内有高压输电塔、油气管道、村庄和学校等时，滑坡危害程度可定为严重或特严重。					

- 6.2.3 滑坡防治工程设计，分为可行性研究、初步设计和施工图设计三个阶段。对既有公路的滑坡治理工程，根据滑坡的规模与复杂程度，可适当简化设计阶段。
- 6.2.4 可行性研究阶段，应根据防治目标，在相应的地质勘察资料基础上，对多种防治方案从技术、经济、社会和环境效益等方面予以论证与比选，提交可行性研究文件。
- 6.2.5 初步设计阶段，应在可行性研究及初步工程地质勘察资料的基础上，对需治理滑坡进行方案设计，提交初步设计文件。
- 6.2.6 施工图设计阶段，应在初步设计和详细工程地质勘察的基础上，对滑坡防治工程进行详细的结构设计，对施工组织设计、监测和检测等提出要求，提交施工图设计文件。
- 6.2.7 应急抢险工程勘察、设计、施工可同时进行。险情控制或排除后，其抢险工程尚不能满足根治要求时，应按正常治理工程设计阶段进行。
- 6.2.8 滑坡防治工程设计使用年限不小于被保护对象的设计使用年限。

7 滑坡勘察

7.1 一般规定

- 7.1.1 滑坡勘察应查明滑坡区的地质环境，滑坡类型、性质、成因、变形机制，边界、规模、分条、分级和分层，变形阶段、稳定状况、预测其发展趋势及其危险程度；提出评价计算的有关岩土物理力学参数及地下水的有关参数；阐明滑坡防治的必要性和可行性，为防治工程设计提供地质依据。
- 7.1.2 具有老滑坡地貌特征、可能产生滑动，且威胁公路安全的斜坡体应按滑坡勘察。
- 7.1.3 在开展地质勘察之前，应编制滑坡地质勘察大纲，大纲包括以下内容：
- a) 项目概况：包括任务依据、公路建设规模和标准、滑坡危害的工程结构物、前期的地质工作。
 - b) 工程地质勘察执行的技术标准；
 - c) 自然地理和工程地质概况：包括勘察区的地理概况、气象水文、地形地貌、地层岩性、地质构造、地震、水文地质条件，滑坡的分布与发育情况等；
 - d) 勘察实施方案：包括勘察内容、方法和精度、勘探点布置原则、主要工作量，以及针对滑坡的关键性地质问题采取的勘察措施等；
 - e) 组织机构、人员组成、设备配置、计划进度、质量管理、安全和环保措施；

- f) 提交的成果资料;
- g) 其他需要说明的问题;
- h) 当现场地质条件、工程结构设置、勘察要求等发生变化时, 勘察大纲应酌情进行调整。

7.1.4 滑坡勘察的范围应包括滑坡及其邻区。勘察区后部应包括滑坡后缘以上的稳定斜坡, 前部应包括剪出口以下的稳定地段, 两侧应到达滑坡体以外稳定斜坡或邻近沟谷。涉水滑坡尚应到达河(库)心或对岸。

7.1.5 滑坡勘察以地质调绘、物探、钻探、坑探、岩土及水样测试等手段为主, 必要时应采用井探、洞探。

7.1.6 施工时易发生滑坡的地段, 如堆积层、岩层顺倾地段等, 应按潜在滑坡进行勘察。

7.2 工程地质选线

7.2.1 公路选线应贯彻地质选线原则, 绕避规模大、性质复杂、稳定性差、整治困难的滑坡(群)及易发工程滑坡的地段。

7.2.2 当滑坡规模小、边界条件清楚, 整治方案技术可行、经济合理时, 公路可选择在有利于滑坡稳定的安全部位通过, 不宜在其主滑段填方或抗滑段挖方。

7.2.3 具有滑坡产生条件或因修建公路可能产生滑坡地段, 应确保斜坡的稳定条件不受到削弱或破坏。

7.2.4 公路走向不应与大断裂平行, 不宜切割松散堆积体或风化破碎岩斜坡的坡脚。

7.2.5 公路应绕避岩层倾向路线的地段, 宜选择在逆向坡(岩层反倾)一侧。

7.2.6 越岭地段公路宜绕避岩层严重风化破碎带或构造破碎带形成的垭口; 在山坡的同一侧展线时, 上、下线位应避免相互影响。

7.2.7 公路通过区域有软弱岩性地层分布时, 路线宜选在阳坡一侧。

7.2.8 公路应远离高陡地段, 避免开挖扰动引起边坡失稳。

7.3 可行性研究勘察

7.3.1 滑坡勘察应搜集区域地质、水文地质、地貌、气象、地震及遥感图像资料, 了解巨型、大型滑坡在山体构造格局中所处的位置及其与四周坡体之间的稳定关系。当巨型、大型滑坡工程地质条件复杂, 所搜集资料不能满足可行性研究评价要求时, 应进行必要的地质勘察工作。

7.3.2 滑坡资料编制应包括下列内容:

- a) 工程地质说明: 应阐明巨型、大型滑坡的工程地质条件和方案比选意见, 对下阶段工程地质勘察工作的建议;
- b) 在全线工程地质图上应标明滑坡的分布位置、类型、规模及其与路线的关系, 比例为 1:10 000~1:50 000。

7.4 初步勘察

7.4.1 滑坡地质调绘应符合下列要求:

- a) 查明影响公路范围内滑坡的分布、规模、类型和稳定性;
- b) 控制和影响公路方案的滑坡地段应进行重点地质调绘, 查明其工程地质和水文地质条件, 地貌特征, 滑坡的分条、分级及变形情况等;
- c) 与公路方案有关的、可能形成新滑坡的地段, 应进行地质调绘。

7.4.2 控制和影响公路方案的滑坡工点勘探与测试应符合下列要求:

- a) 滑坡勘探至少布置 1 条主轴断面, 有必要时布置一条横断面。勘探点应布置在滑坡主轴断面及横断面上, 主轴断面上勘探点数量不得少于 3 个;
- b) 滑动带(面)及其上、下土层中, 应分别采取土样进行物理力学性质试验;

- c) 有地下水时应查明地下水的分布层数，含水层的组成和厚度，各层地下水的初见和稳定水位、流量等，并取样作水质分析；
- d) 堆积土滑坡可采用瑞利波法、地震反射波法和高密度电法等综合物探方法确定滑动带（面）位置或岩土分界线。

7.4.3 滑坡勘察资料编制应包括下列内容：

- a) 工程地质说明：应阐明滑坡的勘探过程，滑坡的特征、类型、规模、地层结构、滑动带（面）的岩性特征、水文地质条件，稳定性评价，工程设计所需参数，采取的防治措施建议等；
- b) 工程地质平面图：应标明滑坡周界、滑动方向、滑坡体开裂变形特征等，比例为 1:1 000~1:2 000；
- c) 工程地质断面图：应标明滑坡的滑动带（面）层数和形态、地层分界线和裂缝位置，若有地下水，标明初见水位和稳定水位线，比例为 1:500~1:1 000；
- d) 将勘探、测试、气象、地震资料，地质观测点、地质照片等资料纳入工程地质说明。

7.5 详细勘察

7.5.1 滑坡地质调绘应查明下列内容：

- a) 地形、微地貌形态，地表裂缝和公路及其构筑物的破坏变形及其发展进程，井、泉、池塘、湿地等的分布与变化，植被的分布等滑坡要素；
- b) 滑坡的规模、物质组成、性质、边界、与路线的关系；
- c) 滑坡区地层岩性、地质构造、各种结构面特征及组合关系、层间软弱夹层，含水层性质、地下水补给源等水文地质条件。

7.5.2 滑坡勘探与测试应符合下列规定：

- a) 根据滑坡规模、滑床形态，结合可能设置整治工程的位置，布置纵向和横向地质断面；
- b) 每条地质断面至少布设 3 个勘探点，间距和深度应满足稳定性评价和工程整治设计的需要，必要时可在主要断面上进行综合勘探；
- c) 滑动带（面）及其上、下土层中分别采取代表性土样和滑床岩样作物理力学性质试验，滑动带（面）土样不少于 6 组；
- d) 有条件时，宜在滑动带（面）处进行大面积剪切试验；
- e) 地下水发育时应进行水文地质试验，并对地表、地下水分别取样进行水质分析，必要时测定地下水流速、流向；
- f) 需要采取分期治理的滑坡、对路线方案影响大、地质复杂、滑动带（面）和稳定性难以判断的滑坡，必要时应进行动态监测。

7.5.3 滑坡勘察资料编制应包括下列内容：

- a) 工程地质说明：应阐明滑坡的勘探过程，滑坡的要素及特征、类型、规模、岩层结构、滑动带（面）的岩性特征、水文地质条件，工程设计所需参数，滑坡成因分析和稳定性评价，需要采取的防治措施建议等；
- b) 工程地质平面图：应标明滑坡周界、主滑方向、开裂变形特征、地层时代及分界线、岩层产状、地下水出露点等，比例为 1:500~1:1 000；
- c) 工程地质断面图：应标明滑坡的滑动带（面）层数、形状，地层分界和岩层风化界线，裂缝位置、地下水位线，比例为 1:200~1:500；
- d) 必要时绘制水文地质图、滑床或基岩等高线图、滑体上过湿带分布图，比例为 1:200~1:500；
- e) 将勘探、测试、气象、地震资料，观测点、地质照片等资料纳入工程地质说明；
- f) 当开挖揭露的地质条件、滑坡特征认识与勘察期间的资料差异较大时，应进行补充地质勘察。
- g)

7.6 滑坡地质调绘

7.6.1 滑坡地质调绘前应收集地形图，区域地质资料，遥感图像，气象、地震、水文地质资料和拟建公路位置等资料，以及地方志、地震史料中有关滑坡灾情的记载等。

7.6.2 滑坡自然地理环境调查：地理区位，属地，交通条件等。

7.6.3 基础地质条件、地质背景调查：大地构造体系，山脉、水系，区域地质单元划分、区内地层岩性特征及水文地质条件等。

7.6.4 滑坡区的地质构造、地层岩性、水文地质条件，及三者的相互关系调查包括：

- a) 调查滑坡区构造特点、断层分布、岩体构造特征，及其与滑坡的关系，水文特征与构造的关系；
- b) 调查滑坡区地层岩性，包括完整性、风化程度、力学特征、渗透特征，地层结构与滑坡的关系，地层与水文特征及其相互关系，重点查明可能形成滑动带（面）的地层；
- c) 水文地质调查，包括地表水和地下水来源、径流特征及其相互补给关系，重点查明地下水补给与构造、岩性的关系。

7.6.5 区域地质反映到滑坡调绘图上时以实际调查为准。地层划分应精确到组，同一组地层岩性差异较大时应精确到层，特别是与滑坡形成关系密切的软弱层。

7.6.6 滑坡地质调绘精度应达 1:500~1:1 000，范围应为滑坡及其邻近地域。有早期地形图的可以进行对比，了解滑坡发展变形情况。

7.6.7 滑坡地表特征调绘应包括下列内容：

- a) 沟谷或陡坎的分布、形态特征、与斜坡走向的关系，河岸或谷坡受冲刷、淤积情况及河道的变迁等；
- b) 地面坡度、相对高度，平台位置、个数、宽度，阶坎高度，反坡、洼地；醉汉林和马刀树、喜水植物分布等；
- c) 确定滑坡的周界形状，分条和分级，后缘走向、坡度、高度与擦痕的指向和倾角，前缘形态，临空面特征，滑动带（面）剪出口位置。裂缝的分布位置、性质、形状、宽度、深度、延伸长度、充填情况，裂缝产生的时间和变化情况。

7.6.8 滑坡的地层、岩性、地质构造调绘应包括下列内容：

- a) 土的成因类型、物质成份、颗粒级配、结构特征、潮湿程度、密实程度；
- b) 岩层层序、岩性，斜坡内硬、软岩的分布，岩石风化破碎程度、软弱带及层间错动带等在坡体上的展布特征；
- c) 褶皱、断层、节理、劈理等的性质、产状、组合延伸状况、发育程度；新构造运动、地震对滑坡的影响；
- d) 可能形成滑动带（面）的软弱夹层的层位和物质组成；
- e) 高寒地区滑坡，调查区内冻土特征，冻结融化规律，滑坡与冻融的关系等。

7.6.9 滑坡的水文地质条件调绘应包括下列内容：

- a) 地表水、大气降水与地下水的关系；
- b) 井、泉、水塘、湿地的位置，泉的类型、流量及季节性变化情况，沟系发育特征、径流条件；
- c) 水文地质条件对滑坡形成机理的影响关系；
- d) 高寒地区地下水、地表水冻融特征对滑坡的影响。

7.6.10 滑坡的历史和现状调查应包括下列内容：

- a) 发生、发展历史及相关因素，危害及防治的经验教训；
- b) 地貌演变，地表水渗漏，修路、开矿、弃渣等人为活动情况；
- c) 房屋、水渠、道路、古墓等的变形特征，井、泉、水塘等的突然干枯或浑浊现象。

7.6.11 不同类型滑坡地质调绘

7.6.11.1 黏性土滑坡地质调绘应包括下列内容：

- a) 地貌形态、裂缝的性质与发育程度；
- b) 地表水的汇集与排泄，地下水活动情况；
- c) 层间的软弱层、砾石层、结核层，上覆土层与下伏岩层接触面的形态。

7.6.11.2 黄土滑坡地质调绘应包括下列内容：

- a) 新、老黄土的分界面，古土壤层、粉细砂层、砂卵石层、钙质结核等夹层的分布和倾斜度产状，与下伏岩层接触面的形态、含水情况；
- b) 黄土柱状节理、卸荷裂隙等的分布、发育程度、组合情况；
- c) 黄土底层积水软化带的厚度和分布；
- d) 新构造发育地区老黄土中构造裂隙的组合分布，特别是倾向临空裂隙的产状和受水气作用的情况；
- e) 黄土下伏地层，调查其渗透特征、地层产状，含水情况，顶面形态等。

7.6.11.3 堆积土滑坡地质调绘应包括下列内容：

- a) 堆积土的成因类型。不同堆积土沉积的层序和物质成分、地层结构、分布情况；
- b) 不同堆积土顶底面、软弱夹层、下伏岩层顶面等的形态特征与富水情况；
- c) 地表、地下水的活动情况，以及补给、排泄条件；
- d) 调查自然状态下堆积体自然坡面的休止角。

7.6.11.4 填土滑坡地质调绘应包括下列内容：

- a) 填土类别、特征，以及填土方式；
- b) 软弱土层分布、含水条件，以及下伏岩土层顶面形态特征；
- c) 原地面形态、坡度，填土周围积水与地下水出露位置、排泄条件；
- d) 路基积水和路堤坡面变形、冲蚀情况；
- e) 填筑岩土遇水后物理力学性质变化对路堤稳定性的影响；
- f) 地下水对填土可能存在的影响。

7.6.11.5 破碎岩体滑坡地质调绘应包括下列内容：

- a) 破碎岩体的分布范围、厚度、风化破碎程度与结构面胶结情况；
- b) 断层产状、性质，上、下盘接触面特征，断层破碎带的部位；
- c) 可能产生滑动带（面）岩土的分布、厚度、松散程度和含水条件；
- d) 地下水发育情况及其与滑坡的关系。

7.6.11.6 岩体滑坡地质调绘应包括下列内容：

- a) 滑坡分布区的大地构造格局，局部短轴构造及其成生关系。沟谷或陡坎的分布、形态特征，与岩层走向的关系；
- b) 岩层性质、结构特征、成层与节理发育情况；
- c) 软岩与硬岩接触带、顺坡结构面等在斜坡上的产状变化，层间错动情况，以及软弱夹层在临空面上出露的位置；
- d) 构造裂隙面的组数、组合、产状、宽度、长度、贯通性、充填情况、力学性质，以及地下水活动情况。

7.6.12 特殊地区滑坡地质调绘

7.6.12.1 水库地区滑坡地质调绘应包括下列内容：

- a) 水库最高、最低水位资料；
- b) 风速、风向，波浪侵袭高度，岸边水流流向、流速，以及岸坡坡脚冲蚀、淤积对滑坡的影响；
- c) 滑坡地段岩土的特征、水理性质、冻融危害、以及岩石风化破碎程度；
- d) 水库蓄、放水的速度，库水位变化幅度和速度对具有滑坡条件地段和滑坡稳定性的影响。

7.6.12.2 采空区滑坡地质调绘应包括下列内容：

- a) 采空区、残采区和规划开采区等的平面、剖面，以及保留矿柱、回填、加固等资料；
- b) 采空作业方式、顺序、速率等与斜坡体的关系；
- c) 采空塌陷地面移动区的变动、地表裂隙发展变化和性状等与斜坡体的关系，必要时应进行地表变形位移观测；
- d) 抽取地下水、排除地表水、爆破等与滑坡的关系；
- e) 背向采空塌陷区的坡体应查明因塌陷使底部岩土松弛，造成坡体内倾向临空方向的构造裂隙面松弛、贯通和地下水变动情况。

7.6.12.3 地震区滑坡地质调绘应包括下列内容：

- a) 地震史、震中位置、地震动峰值加速度、地震频率、发震季节；
- b) 建筑物破坏痕迹，崩塌、滑坡、错落、地裂情况；
- c) 地震堰塞湖周边山体的稳定性；
- d) 岩层结构特征、风化破碎程度、层间软弱夹层；
- e) 断层的展布特征、性质，破碎带宽度，含水情况。

7.6.12.4 融冻土地区滑坡地质调绘点应包括下列内容：

- a) 地表冲沟、坡体内含冰（水），地表草皮的分布等与融冻土的关系；
- b) 冻土的类型、结构特征、厚度；
- c) 当地气温、地温，在工程保证安全年代内多年冻土上限埋深及其可能的变化，融冻季节及冻融变化规律；
- d) 地下水类型，地表水、热融水对滑坡的补给关系。

7.7 滑坡勘探

7.7.1 勘探目的

滑坡勘探应查明滑坡范围、滑体厚度、滑体物质、滑动带（面）的层数、形状、滑动带（面）厚度及其物质组成；查明滑体内含水层的层数、分布和地下水的流向、水力坡度、水位、水量及动态变化。

7.7.2 勘探方法

滑坡勘探应采用物探、钻探、坑探等相结合的综合勘探手段，必要时可采用井探或洞探。滑坡勘探方法应按表3执行。初步勘察阶段以钻探和物探为主；详细勘察阶段充分利用初勘阶段的钻探和物探等资料，在需要的部位加密钻探，在滑坡后壁和出口增加坑探。滑坡复杂时增加井探或洞探。

表3 滑坡勘探方法适用条件及勘探点布设位置

勘探方法	适用条件及勘探点布设位置
钻探	用于了解滑体结构，滑动带（面）深度、层数、地下水位及水量，观测深部位移，采集滑体、滑动带（面）及滑床岩、土、水样
坑探	用于确定滑坡周界、后缘滑壁和前缘剪出口附近滑动带（面）的产状及裂隙延伸情况，采集原状土样，有时也可用作现场原位剪切试验
井探	用于观察滑体结构和滑动带（面）特征、采集原状土样和进行原位剪切试验。主要应布在滑坡的中前部主轴附近，可与抗滑桩井相结合
洞探 (平洞或斜洞)	用于了解滑坡内部特征，采集原状土样和进行原位剪切试验。适用于地质环境复杂，厚层、巨厚层滑坡。洞口宜选在滑坡两侧沟壁或滑坡前缘。平洞可兼作观测洞，也可用于汇、排地下水，常结合滑坡排水盲洞施工布置

表 3 滑坡勘探方法适用条件及勘探点布设位置（续）

勘探方法		适用条件及勘探点布设位置
物探	电法勘探	常用高密度电法。用于了解滑体厚度、岩性变化，了解下伏基岩起伏和断裂破碎带的分布，了解滑坡区含水层、富水带的分布和埋深。在滑坡规模较大、物性差异较大、地形地物变化较小时采用。勘探线宜布置在拟设勘探线上及支挡工程附近
	地震勘探	常用浅震反射波法。用于探测滑坡区基岩埋深，滑动带（面）位置、形状。在非人口密集区滑坡规模较大时采用。勘探线宜布置在拟定勘探线及支挡工程附近

7.7.3 勘探线的布设

滑坡勘探线的布设应遵循先勘探主轴断面，后勘探辅助断面的原则，并符合下列规定：

- a) 初步勘察阶段应平行主滑方向布置主、辅勘探线，垂直主滑方向布置控制滑体厚度横向变化的横向勘探线，横向勘探线宜布置在滑坡中部和拟设工程位置；当同一滑坡有多个次级滑体时，各次级滑体均应平行其主滑方向布置勘探线，必要时在其两侧可布置辅助勘探线；勘探线间距宜为 40 m～100 m，应根据滑坡防治工程等级、地质环境复杂程度及滑坡宽度选择，当滑坡防治工程等级为 I 级时取小值。勘探点间距应根据滑坡结构复杂程度和规模按表 4 确定。勘探点之间可用物探方法进行验证连接，主勘探线勘探点不应少于 3 个；
- b) 详细勘察阶段应在初步勘察的基础上确认主滑方向及主滑线，在主勘探线两侧增布辅助勘探线，勘探线间距应防治工程等级而定，宜为 30 m～60 m，当滑坡防治工程等级为 I 级取小值。当需进行支挡时应沿拟建工程部位布置勘探线；需采取地下排水措施时，应在拟设排水构筑物位置增布勘探线；
- c) 主轴勘探线上勘探点布置应考虑构成横向勘探线的需要，滑坡分条分块时剪出口难以确定或横向勘探线可能作为支挡工程线时，应适当加密勘探点。

表4 初步勘察阶段勘探线、点间距布置要求

单位：m

地质条件类型	勘探线	主辅勘探线间距	主勘探线勘探点间距	辅勘探线勘探点间距
简单	纵向	60～100	60～100	80～120
	横向	60～100	60～100	80～120
复杂	纵向	40～80	40～80	40～100
	横向	40～80	40～80	40～100

7.7.4 勘探深度的确定

滑坡勘探深度的确定应符合下列规定：

- a) 滑坡勘探深度应根据滑动带（面）的可能深度确定，钻孔应进入可能的最深滑动带（面）以下 3m～5m。滑坡深层滑动带（面）难以判断时，加深控制性勘探点深度，揭穿最深滑动带（面）即可；
- b) 土质滑坡的少数控制性钻孔，应加深至下伏基岩中等风化层 1m～3m；
- c) 土质滑坡勘探孔进入滑床的深度，应大于土层中所见同类岩性最大块石直径的 2.0 倍～3.0 倍；
- d) 拟建工程部位的控制性钻孔进入滑床的深度不宜大于滑体厚度的 1/2，且不小于 10 m。

7.7.5 钻探

7.7.5.1 钻探应全采芯钻进，宜采用单动双管、塑胶护壁、无泵反循环或小水量钻进等钻探工艺，水文孔应采用滤水管护壁。为保证采样和试验，钻孔终孔直径不应小于 110 mm。

7.7.5.2 在活动的滑坡体上钻探时，应安排专人监视滑动体位移情况，发现异常时应及时采取措施，确保人身和设备的安全。

7.7.5.3 岩芯采取率，土质滑坡滑体不应小于 85%，岩质滑坡滑体不应小于 75%，滑动带（面）土不应小于 90%，滑床不应小于 85%。

7.7.5.4 钻进过程中应观测记录钻进的难易程度及速度的变化，测量记录缩径、掉块、塌孔、卡钻、涌水、漏水及套管变形的部位。钻至预计滑动带（面）以上约 5 m 或发现滑动带（面）迹象（软弱面、地下水）时，宜增大钻压，降低转速，回次进尺长度宜为 0.3 m~0.5 m，提高岩芯采取率。

7.7.5.5 观测记录起、下钻水位和地下水的初见水位、稳定水位；发现多层地下水时，应分层止水测量每层地下水的初见水位、稳定水位。每隔 10 min~15 min 测一次，三次水位相差小于 2 cm，可视为稳定水位，并于次日进行再次观测核对。

7.7.5.6 查明含水层的位置、性质、厚度，地下水的水质、水温及其流向、补给及排泄条件。

7.7.5.7 对钻孔中滑动带（面）土的物质组成、滑动面应进行鉴定，测量滑动带（面）倾角和擦痕倾角。

7.7.5.8 采集相关样品并做相应试验。

7.7.5.9 所有钻孔终孔后都应填写终孔验收表。

7.7.5.10 钻孔验收后对不需保留的钻孔进行封孔处理。

7.7.5.11 勘察报告验收前，各孔全部岩芯均要妥善保留。勘察报告验收后按业主要求，对代表性钻孔及重要钻孔，应全孔保留岩芯，其他钻孔岩芯可分层缩样存留。

7.7.5.12 钻孔地质编录应符合下列要求：

- a) 钻孔地质编录必须在现场真实、及时和按回次逐次记录，不得将若干回次合并记录或事后追记；
- b) 编录时要注意回次进尺和残留岩芯的分配，以免人为划错层位；
- c) 完整或较完整地段，可分层计算岩芯采取率，对于断层、破碎带、裂缝、滑动带（面）和软弱夹层等，应单独计算；
- d) 钻孔地质编录应按统一的表格记录。其内容一般包括日期、班次、回次孔深（回次编号、起始孔深、回次进尺）、岩芯（长度、残留、采取率）、岩芯编号、分层孔深及分层采取率、地质描述、标志面与轴心线夹角、样本（取样号码、位置和长度）、备注等；
- e) 岩芯的地质描述应客观、准确、详细。滑动带（面）、软弱夹层、裂缝、空洞等重要地质现象应详细描述，并用素描及照片辅助说明，滑动带（面）擦痕的观察与编录，水文地质观测记录，钻进异常记录和取样记录；
- f) 岩芯照相应垂直向下照，除特殊部位特写镜头外，每箱岩芯照至少一张照片，有标注孔深、岩性的岩芯标牌。

7.7.6 井探

7.7.6.1 防治等级为 I 级的滑坡宜采用井探，可结合抗滑桩井开挖进行。

7.7.6.2 探井位置确定后，应编制典型井探设计书以指导挖掘施工，设计书内容包括：目的、类型、深度、结构、施工流程、安全措施、地质要求、封井要求。

7.7.6.3 应根据探井截面形状、井径、深度、滑动带（面）、软弱夹层、可能的地下水位、含水层、隔水层和可能的漏水部位，说明挖掘中应采取的措施。

7.7.6.4 矩型探井截面短边长宜大于 1.5 m，圆截面探井直径宜大于 1 m。探井开挖应避免诱发滑坡滑动。

7.7.6.5 每一探井均应采集不同深度（每米 1 件）的土样测定含水量、饱和度，绘制含水量随深度变化曲线。

7.7.6.6 应进行详细的地质描述并绘制相应的井壁展示图。

7.7.7 洞探

7.7.7.1 洞探在滑坡勘察中属于大型勘探工程，由于施工相对复杂、工期较长、风险大、造价高，应慎重使用。对结构与成因复杂，使用其他方法难以定论，且防治等级为 I 级的滑坡可用探洞进行勘探。

7.7.7.2 洞探工程轴线上应布置一定数量的钻孔或探井并安排优先施工，取得的地质资料用于指导探洞施工。探洞净截面高×宽宜大于 1.8 m×1.8 m。

7.7.7.3 洞探应进行临时支护或永久支护以确保施工安全。洞探工程应综合利用，竣工后可作为滑坡截排水隧洞、深部监测隧洞等。护壁应预留足够的观测窗，面积不小于 20 cm×20 cm。

7.7.7.4 洞探工程应编制专门的设计书或在滑坡勘察大纲中编写专门章节论证其必要性和可行性内容包括：

- a) 洞探目的：探洞需要查明的主要地质问题和进行各种实验目的及其必要性；
- b) 探洞的类型：平洞或斜洞；
- c) 地质概况和施工分析：洞口及沿程洞室围岩类别、岩性、破碎情况、掘进难易程度、水文地质条件的初步分析、评估施工难易程度、风险性和可行性；
- d) 探洞深度：标明探洞设计深度，说明何种情况下，探洞深度可以适当减少或加深以及终止挖掘的条件；
- e) 探洞结构：包括探洞主轴线方向、截面尺寸、深度、坡度、洞壁支护方式。根据地质测绘、钻探和地质露头，合理推测探洞沿程地质断面图，标示挖掘过程中可能遇到的重要层位深度、岩性、断层、裂隙、破碎带、岩溶洞穴、滑动带（面）、软弱夹层、可能的地下水位、含水层、隔水层和可能的漏水部位，说明针对上述情况，挖掘过程中应采取的措施；
- f) 施工工艺设计：测量放线、挂口、掘进、出渣、排水、通风排烟、支护等施工流程设计。选择适宜的挖掘、支护、抽排水等机械设备；
- g) 施工组织设计：施工现场总体布置图，进度控制要求，施工顺序、运输道路、照明线路等施工规划，主要材料、动力、施工设备和劳动力投入，施工安全监控，包括掘进方法的限制（爆破能量）、洞室截面变形、塌方、突水涌水、有毒有害气体的检测和防范预案，施工区生态、水环境保护措施；
- h) 探洞地质要求：包括探洞轴线测量对控制方法、取样和原位试验要求、水文地质观测和试验要求，提出挖掘过程地质编录工作的要求，随探洞掘进，应完成洞身展示图和详细的地质描述；
- i) 施工后探洞处理：提出竣工处理意见，如作为滑坡治理工程的一部分、监测隧洞或废弃封洞等。

7.7.8 坑探

7.7.8.1 滑坡主轴断面采用钻探与坑探相结合的方法进行勘探，探坑数量不宜少于 2 个。

7.7.8.2 滑坡前缘、后缘、侧缘、勘探线上地质露头不清及滑坡出口滑动带（面）倾角难以确定时，根据需要布设探坑。

7.7.8.3 滑坡体地表出现裂缝时，宜布设探坑，采用追踪开挖方法查明裂缝延伸、裂缝宽度及充填物情况。

7.7.8.4 探坑宽度一般为 0.6 m~1.0 m，长度视需要而定，深度不大于 3 m。

7.7.8.5 探坑开挖完成后，应进行详细的地质描述并绘制相应的坑壁展示图。

7.7.9 地球物理勘探

7.7.9.1 地球物理勘探可作为辅助勘察手段，不应单独以物探结果直接作为防治工程设计依据，须与钻孔、探井、探坑资料相结合，合理推断勘探点之间的地质界线及异常。

7.7.9.2 地球物理勘探线的布设应与滑坡主要的勘探线相重合。当物探反映有重大异常时，应补充钻探、井探、洞探和坑探等予以验证。

7.7.9.3 地球物理勘探方法可用于探测滑坡范围、结构、地层变化和滑动带（面）埋深；判断过湿带及富水情况。

7.7.9.4 当滑坡前缘位于地表水面以下时，须展开水上物探工作，根据实际情况布置 2 条～3 条物探断面，断面测深应达到滑动面以下 20 m。

7.7.9.5 进行地球物理勘探前，应通过现场试验，研究方法的有效性，确定最佳的野外环境和仪器工作参数。

7.7.10 勘探编录

7.7.10.1 各类勘探工程应按工程进度及时作相应的地质编录。

7.7.10.2 编录滑动带（面）的位置、特征、产状，并绘制滑动带（面）素描图或拍照留像。

7.7.10.3 编录图应以基线为准，量测、现场绘制坑壁、井壁及洞壁展示图，钻孔绘制柱状图。

7.7.10.4 编录图比例尺应能反映滑动带（面）特征，宜为 1:50～1:100。

7.7.11 试样采集

7.7.11.1 岩样采集位置应布置在拟建支挡工程部位。每种岩性的岩样不应少于 3 组，每组岩样不应少于 3 件，但抗剪强度试验的岩样不应少于 6 组。钻孔岩芯样品直径不小于 85 mm，高度不小于 150 mm。

7.7.11.2 钻孔中采集土样应使用薄壁取土器，采用静力压入法，土样样品直径不应小于 85 mm，高度不应小于 150 mm，所采样品应及时蜡封。

7.7.11.3 土样采集位置应布置在滑坡主轴勘探线上。初步勘察阶段，滑动带（面）土和滑体土数量均不应少于 6 组；详细勘察阶段，滑动带（面）土和滑体土数量均不应少于 9 组，且不应少于勘探点总数的五分之一。

7.7.11.4 采用井探、洞探、坑探揭露的滑动带（面）应取原状土样进行试验，原状土样尺寸不宜小于 200 mm×200 mm×200 mm，土样不应少于 6 件，并标明滑动方向。当采用钻探等无法采取原状土样时，可取保持天然含水量的扰动土样，作重塑土样试验。

7.8 滑坡测试

7.8.1 滑坡物理力学试验应在详细了解滑坡地质特征和变形演化过程的基础上进行，应充分参考同类滑坡的物理力学试验结果。

7.8.2 滑动带（面）土抗剪强度指标的确定，应依据试验成果，结合经验采用反演和类比法，综合推荐合理的设计参数。

7.8.3 滑体土、滑动带（面）土、岩样的物理力学性质测试项目见附录 C。依据滑坡滑动阶段取样测试滑带（面）土的峰值强度和残余强度，结合滑坡实际情况选用相应参数。

7.8.3.1 整体暂时稳定的滑坡稳定性验算可采用滑动带（面）土的峰值强度。

7.8.3.2 正在滑动的滑坡稳定性验算可采用滑动带（面）土的残余强度。

7.8.3.3 潜在滑坡稳定性验算可采用滑体土的峰值强度。

7.8.4 滑体土、滑动带（面）土的剪切试验应根据现场含水情况和排水条件选择天然快剪、固结快剪、残余强度剪、浸水饱和剪切、滑面重合剪切等方法测试。应以原状土的剪切试验为主，难以取得原状土时，也可以根据天然含水量配土进行。

7.8.5 对含易溶盐或膨胀岩（土）的滑坡，应进行不少于 3 组的滑体易溶盐及膨胀性试验。

7.8.6 当采用抗滑桩、锚索等措施进行滑坡防治时，应在工程部位对滑床不同岩组取样进行常规物理力学试验。

7.8.7 采用探井、探坑揭露的滑动带（面）宜进行原位大面积直剪试验，可在天然含水状态和人工浸水状态下进行剪切。并应对现场开挖及制样过程、滑动带（面）形状、成份、含水状态、力学性质进行详细描述，并照（摄）像留存。

7.8.8 单个滑坡（或地质条件相同且相邻的几个滑坡）大面积直剪试验不宜少于 2 组，每组试验不少于 3 件。

7.8.9 大面积直剪试验的试件尺寸，对岩体（含结构面）不应小于 600 mm×500 mm×350 mm，对土体不应小于 500 mm×500 mm×500 mm，试验结束后，应对剪切面特征进行描述，量测其剪切角和实际剪切面积，并修正剪切结果。

7.8.10 原位直剪试验的推力方向应与滑体的滑动方向一致，剪切缝的宽度宜为推力方向试体长度的 5%。

7.8.11 样品的保存和送检应符合 GB 50021 的有关规定。

7.8.12 岩土室内试验和现场剪切应符合 GB 50021、GB/T 50123、GB/T 50266 有关规定。

7.8.13 对于不存在滑动面的潜在滑动带的土体宜进行室内三轴压缩试验。当不具备试验条件而又需要提供有效应力强度指标时，可采用慢剪试验。

7.8.14 三轴压缩试验的试验方法可按下列要求确定：

a) 当不需要提供有效应力强度指标时，对饱和粘性土，若加荷速度较快宜采用不固结不排水（UU）试验。对饱和软土尚应先对试件在有效自重压力下预固结再进行试验；需验算水位迅速下降时的土坡稳定性时，可采用固结不排水（CU）试验；

b) 当需要提供有效应力强度指标时，应采用固结不排水剪试验（CU），同时测孔隙水压力系数。

7.8.15 无法判定勘察区地表水和地下水的腐蚀性时，应采集水样进行腐蚀性评价，水样数量不应少于 4 件，分析样均为 250 ml～500 ml。

7.8.16 水对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括：PH 值、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻、HCO₃⁻、CO₃⁻、侵蚀性 CO₂、游离 CO₂、HCO₃⁻、NH₄⁺、OH⁻、总矿化度。

7.8.17 水的腐蚀性试验参数应符合 JTJ C20 的规定。

7.8.18 滑坡存在地下水时，应进行抽水试验；滑体内地下水量较小时，可采用简易抽水试验（提筒抽水）；滑体内地下水量较大时，应进行一次最大降深抽水试验，其稳定时间应为 4 h～8 h；当滑坡体具多个含水层时应进行分层抽水试验。

7.8.19 水文地质参数、测定方法及适用条件应符合 GB 50021 的规定。

7.9 滑坡稳定性评价

7.9.1 滑坡的稳定性评价应包括定性分析、定量计算和综合评价。

7.9.2 滑坡稳定性的定性分析应以区域地质资料为基础，结合滑坡区地貌、地质调绘、勘探和监测等资料进行定性分析与评价。

7.9.2.1 滑坡地质条件分析包括：

a) 滑坡所在山坡地形地貌演变情况：山坡相对高度、坡度、形态、冲沟发育情况，河（沟）岸形态和冲刷岸坡情况、山坡植被覆盖状况；

b) 地层、岩性、地质结构和构造，软弱地层的分布、产状、性质及其与临空面之间的关系；

c) 滑坡的水文地质结构特征、地下水的层数、分布、水量、补给和排泄条件等。

7.9.2.2 滑坡的成因因素分析包括：

a) 地震烈度及频率；

b) 降雨（雪）量情况；

- c) 滑坡上的加载情况;
- d) 水库水位变动情况;
- e) 人类活动情况, 包括坡脚开挖、坡上堆载、采空塌陷、灌溉、爆破等。

7.9.2.3 滑坡动态监测资料分析包括:

- a) 滑坡变形发展过程;
- b) 滑坡地面位移与相关因素的关系;
- c) 滑坡深部位移情况;
- d) 滑坡地下水的变化, 包括水位、水量、水质等。

7.9.3 滑坡稳定性的定量计算应在定性分析判断的基础上进行, 根据滑动带(面)条件, 选用正确的计算模型, 进行稳定性定量计算。滑坡稳定系数 F_s 的计算, 按本规范附录 D 的方法计算。

7.9.3.1 滑坡计算断面应选择滑坡主轴断面及其两侧有代表性的断面; 滑坡有两层以上滑动带(面)及多个滑块时, 应分别进行计算; 除整体稳定性验算外, 尚应检算局部滑动的可能性。

7.9.3.2 正确选用滑动带(面)强度指标, 宜根据滑动带(面)岩土室内试验资料、极限平衡反演值、工程地质类比经验数据, 结合滑坡可能出现的最不利工况进行分析确定, 必要时可由现场原位大面积直剪试验资料进行确定。

7.9.3.3 滑坡稳定性计算必须按以下三种工况:

- a) 工况 I: 经常发生或持续时间较长的工况;
- b) 工况 II: 暴雨或连续降雨工况;
- c) 工况 III: 地震工况。

7.9.3.4 滑坡稳定性分析中, 除应考虑滑坡沿已查明的滑动带(面)滑动外, 还应考虑沿其它可能的滑动带(面)滑动的情况。对推移式滑坡, 应分析从新的剪出口剪出的可能性及前缘崩塌对滑坡稳定性的影响; 对牵引式滑坡, 除应分析沿不同的滑动带(面)滑动的可能性外, 还应分析前方滑体滑动后引起后方滑体滑动的可能性。

7.9.4 滑坡稳定状态应根据滑坡稳定系数、滑坡稳定性安全系数分别按表 5、表 6 确定。

表5 滑坡稳定状态划分

滑坡稳定系数 F_s	$F_s < 1.00$	$1.00 \leq F_s < 1.05$	$1.05 \leq F_s < F_{st}$	$F_s \geq F_{st}$
滑坡稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定
注1: F_{st} 为滑安稳定性全系数。 注2: F_s 为滑坡的稳定系数。				

表6 滑坡稳定性安全系数

公路等级	滑坡稳定性安全系数		公路等级	滑坡稳定性安全系数		公路等级	滑坡稳定性安全系数	
高速公路、一级公路	工况 I	1.20~1.30	二级公路	工况 I	1.15~1.25	三级及三级以下公路	工况 I	1.15~1.2
	工况 II	1.10~1.20		工况 II	1.10~1.15		工况 II	1.05~1.15
	工况 III	1.05~1.10		工况 III	1.05~1.10		工况 III	1.02~1.05

8 滑坡防治工程设计荷载及安全系数

8.1 防治工程设计荷载

应考虑使用年限内作用在滑体上的设计荷载：

- a) 永久荷载有滑体自重、滑体上建筑物产生的附加荷载等；
- b) 可变荷载有汽车荷载，地下水的静水压力和动水压力，以及作用在滑体上的施工临时荷载等；
- c) 偶然荷载有地震作用力等。

8.2 防治工程设计安全系数

8.2.1 滑坡防治工程设计安全系数，应根据滑坡防治工程安全等级、作用于滑坡体的荷载、作用力出现的频率综合分析确定，应考虑以下三种工况：

- a) 工况 I：经常发生或持续时间较长的工况；
- b) 工况 II：暴雨或连续降雨工况；
- c) 工况 III：地震工况。

8.2.2 滑坡防治工程设计安全系数按表 7 选取。

表7 滑坡防治工程设计安全系数

级别	I 级防治工程			II 级防治工程			III 级防治工程		
工况	工况 I	工况 II	工况 III	工况 I	工况 II	工况 III	工况 I	工况 II	工况 III
安全系数	1.2~1.3	1.1~1.2	1.05~1.1	1.15~1.25	1.1~1.15	1.05~1.1	1.15~1.2	1.05~1.15	1.02~1.05

9 滑坡推力计算

9.1 一般规定

- 9.1.1 推力计算必须以工程地质勘察资料为依据。
- 9.1.2 推力计算应在确定安全系数和滑动带（面）抗剪强度指标前提下进行。

9.2 滑动带（面）土强度指标选取

- 9.2.1 滑动带（面）土的抗剪强度指标包括粘聚力 C 值和内摩擦角 φ 值。
- 9.2.2 滑动带（面）土抗剪强度指标的选取，可采用试验资料或用反算值以及经验数据等综合分析确定。
- 9.2.3 抗剪强度指标应根据滑动带（面）组成物质、含水状态及滑体的受力状态分段选取。

9.3 滑坡推力计算

- 9.3.1 滑坡推力应根据其边界条件（滑动面和周界）和滑动带（面）强度指标通过计算确定。
- 9.3.2 滑坡推力计算宜采用传递系数法，必要时与其他计算方法进行验算比较。
- 9.3.3 滑坡体上加载或刷方时，应根据加载或刷方后的断面线进行推力计算。
- 9.3.4 滑坡推力应按不同工况分别计算，最不利工况下的推力作为防治工程设计依据。对土质滑坡尚应进行滑坡推力和主动土压力比较，取大者设计。
- 9.3.5 滑坡推力计算必须考虑基本力系及不同工况下的附加力系。
 - 9.3.5.1 基本力系在任何条件下都应计入，包括上一条块推力、本条块重力、滑动带（面）土的摩阻力。滑坡基本力系见图 1，基本力系作用下推力计算公式见公式（1）、公式（2）。

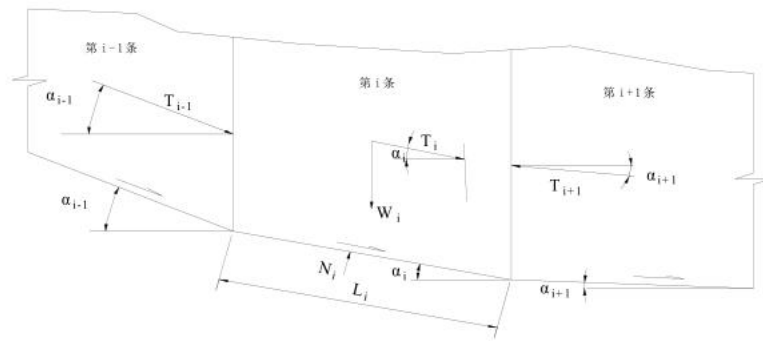


图1 滑坡任一条块上的基本力系

$$T_i = F_{st} W_i \sin \alpha_i + \psi_i T_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i - C_i L_i \dots \dots \dots (1)$$

式中:

- C_i ——第*i*条滑块滑动带(面)土的粘聚力(kPa);
- L_i ——第*i*条滑块滑动带(面)长度(m);
- T_i 、 T_{i-1} ——第*i*条、第*i-1*条滑块剩余下滑力(kN/m);
- W_i ——第*i*条滑块重力(kN/m);
- F_{st} ——安全系数;
- α_i 、 α_{i-1} ——第*i*条、第*i-1*条滑块滑面倾角。

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \dots \dots \dots (2)$$

式中:

- ψ_i ——滑块间推力传递系数;
- α_i 、 α_{i-1} ——第*i*条、第*i-1*条滑块滑面倾角(°);
- φ_i ——第*i*条滑块滑动带(面)土的内摩擦角(°)。

9.3.5.2 附加力系在出现的条件下应列入计算,附加力系见图2。

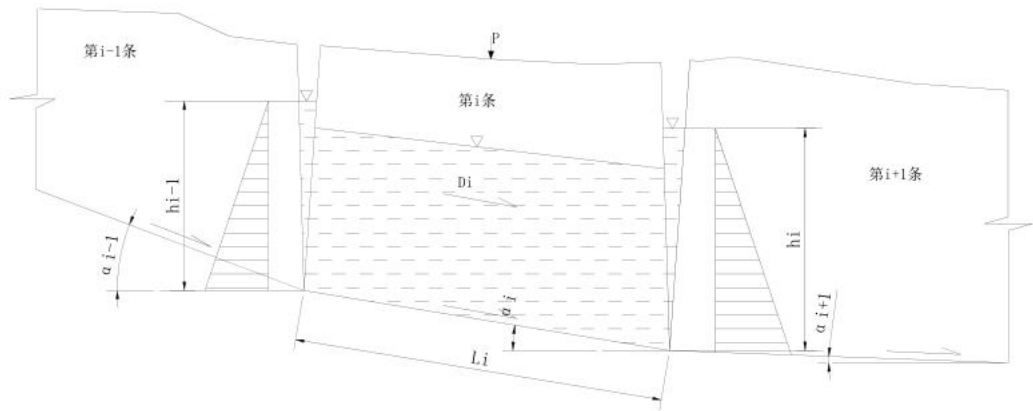


图2 滑坡任一条块上的附加力系

- a) 滑体上有外加荷载时，要考虑外加荷载的作用。
- b) 滑体裂隙充水或有上层滞水但不与滑动带（面）水连通时，水重 W_w 按增加滑体自重考虑，计算见公式（3）。

$$W_w = \gamma_w \Omega_i n_i \dots \dots \dots (3)$$

式中：

W_w ——水的自重（kN/m）；

γ_w ——水的容重（kN/m³）；

Ω_i ——滑体条块饱水面积（m²）；

n_i ——滑体土的孔隙度。

- c) 滑体有水，且与滑动带（面）水连通时，应考虑动水压力 D_i ，见公式（4），作用于饱水面积的重心，方向与水力坡度平行。同时应考虑浮力 P_{fi} ，方向垂直于滑面，见公式（5）。

$$D_i = \gamma_w \Omega_i n_i \sin \alpha_{wi} \dots \dots \dots (4)$$

式中：

D_i ——滑体水的动水压力（kN/m）；

γ_w ——水的容重（kN/m³）；

Ω_i ——滑体条块饱水面积（m²）；

n_i ——滑体土的孔隙度；

α_{wi} ——第 i 条块滑体中水的水力坡度（°）。

- d) 滑体有水，且与滑动带（面）水连通时，不但应考虑动水压力 D_i ，同时应考虑浮力 P_{fi} ，方向垂直于滑面，见公式（5）。

$$P_{fi} = \gamma_w \Omega_i n_i \cos \alpha_{wi} \dots \dots \dots (5)$$

式中：

P_{fi} ——滑体水的浮力（kN/m）；

γ_w ——水的容重（kN/m³）；

Ω_i ——滑体条块饱水面积（m²）；

n_i ——滑体土的孔隙度；

α_{wi} ——第 i 条块滑体中水的水力坡度（°）。

- e) 当滑动带（面）水有承压水头 H_0 时，应考虑承压水产生的浮力 P_{fi}' ，其方向垂直于滑面，见公式（6）。

$$P_{fi}' = \gamma_w H_0 \dots \dots \dots (6)$$

式中：

H_0 ——滑动带（面）水有承压水头（m）。

P_{fi}' ——滑体水的浮力（kN/m）；

γ_w ——水的容重 (kN/m^3)。

f) 滑体有贯通至主滑动带(面)的裂隙,滑动时裂隙充水,应考虑后缘裂隙水对滑体的静水压力 P_{ji} , 作用于 $h_i/3$ 处, 方向水平, 见公式 (7)。

$$P_{ji} = \frac{\gamma_w h_i^2}{2} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

P_{ji} ——裂隙水对滑体的静水压力 (kN/m) ;

h_i ——裂隙中水位至滑面的高度 (m);

γ_w ——水的容重 (kN/m^3)。

g) 在抗震设防烈度大于或等于 7 度的地区, 应考虑地震力的作用。地震力按 JTG B02 的规定计算。

10 滑坡防治工程设计

10.1 一般规定

10.1.1 防治工程设计应在相应勘察阶段资料的基础上, 复核勘察资料, 准确确定滑动带(面)土强度指标和安全系数等参数, 计算滑坡推力, 论证确定适宜治理方案。

10.1.2 防治工程设计应考虑支挡结构与排水措施相结合, 临时工程与永久工程相协调, 防治工程与周围环境相协调。

10.1.3 防治工程设计应充分考虑施工可行性, 在满足设计原则和治理目的条件下, 提倡新材料、新技术的应用。

10.1.4 防治工程结构设计须满足防腐蚀、防冻胀等要求。高寒地区混凝土、水泥砂浆等宜提高一个强度等级, 挡土墙、地表排水措施, 宜采用混凝土浇筑。

10.1.5 黄土滑坡治理工程应充分考虑黄土湿陷性, 防止因黄土湿陷造成结构失效。

10.1.6 高寒地区截排水沟的设置应进行必要性分析论证, 尽量减少植被破坏。

10.2 滑坡防治工程措施

10.2.1 滑坡防治工程主要措施见表 8。

表8 滑坡防治工程主要措施

支挡工程	坡面防护工程	排水工程	其它工程
(1)抗滑桩 (2)抗滑挡墙 (3)锚固结构 (4)微型桩	(1)护面墙 (2)骨架护坡 (3)挂网喷混凝土 (4)柔性防护网 (5)植草绿化	(1)地表排水 ①截水沟 ②排水沟 (2)地下排水 ①渗沟 ②仰斜排水孔 ③集水井 ④截水隧洞	(1)刷方减重 (2)填土反压

10.2.2 防治工程优先采用减重反压、排水,辅以支挡工程措施。

10.2.3 高含水滑坡防治工程应以综合疏排水为主,结合局部支挡工程措施进行治理。

10.2.4 治理工程要充分考虑生态保护与恢复,慎用挂网喷混凝土。

10.3 滑坡防治工程设计

10.3.1 抗滑桩

10.3.1.1 一般规定

10.3.1.1.1 抗滑桩一般应设在抗滑段,且选择滑体较薄、锚固段地层强度较高的地段。

10.3.1.1.2 抗滑桩截面尺寸、桩长、间距和平面布置应根据滑坡推力、滑体厚度、地质和地形条件、拟保护对象位置等综合分析、计算确定。

10.3.1.1.3 抗滑桩的长轴应平行于滑坡的主滑方向,桩排方向宜垂直于滑坡滑动方向。

10.3.1.1.4 抗滑桩设计必须保证滑体不越过桩顶或从桩间滑动。

10.3.1.1.5 地层锚固条件容许的情况下,宜优先采用预应力锚索抗滑桩。

10.3.1.1.6 抗滑桩应按受弯构件设计,应满足 GB 50010 的要求。

10.3.1.1.7 抗滑桩井口应设置锁口,桩井位于土和风化破碎的岩层时宜设置护壁,锁口和护壁混凝土强度等级不应低于 C20。

10.3.1.2 抗滑桩设计

10.3.1.2.1 抗滑桩滑面以上部分应按静力平衡法计算,滑动面以下应按弹性地基梁进行计算设计。

10.3.1.2.2 抗滑桩上滑坡推力可按矩形分布或梯形分布,当滑体为松散的土体时按三角形分布。

10.3.1.2.3 普通抗滑桩桩前抗力可按桩前滑体处于极限平衡时的剩余下滑力或桩前被动土压力确定,取小值。预应力锚索抗滑桩桩前抗力可按桩前滑体处于极限平衡时的剩余下滑力或桩前主动土压力确定,取小值。

10.3.1.2.4 桩底支承方式宜选用自由端,嵌入岩石较深可选用自由端或铰支。

10.3.1.2.5 滑动面以上的桩身内力应根据滑坡推力和桩前抗力计算,滑动面以下的桩身变位和内力,应根据滑动面处的弯矩和剪力采用地基系数法进行计算,根据岩土条件可选用“K”法或“m”法,地基系数 K、m 可根据试验资料和地区经验、工程类比综合确定,或参考附录 E。

10.3.1.2.6 滑面以下抗滑桩的长度,与滑坡剩余下滑力大小、锚固段地层强度、抗滑桩刚度、桩身截面及桩间距有关,锚固段桩侧应力必须满足锚固段岩土允许应力要求,还应考虑滑动面是否有向下发展的可能,以确保桩的稳定。桩侧地基横向允许应力按下式计算。

a) 较完整的岩质地层,矩形截面桩,地基的横向允许应力可按公式(8)计算:

$$[\sigma_H] = K_H \eta R_c \dots\dots\dots (8)$$

式中:

K_H ——水平方向换算系数,根据岩层产状的倾角大小,可采用0.5~1.0;

η ——折减系数,根据岩层的破碎及软化程度,可采用0.3~0.45;

R_c ——岩石单轴抗压极限强度标准值(kPa);

$[\sigma_H]$ ——地基的横向允许应力(kPa)。

b) 土层或风化严重岩层,桩侧应力应小于地基的横向容许应力。当地面无横坡或横坡较小时,地基 y 点的横向容许承载力可按公式(9)计算:

$$[\sigma_H] = \frac{4[(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 y) \tan \varphi_y + c_y]}{\cos \varphi_y} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

c_y ——滑动带(面)以下土体的黏聚力(kPa);

h_1 ——设桩处滑动带(面)至地面的距离(m);

y ——设桩处滑动带(面)至桩底的距离(m);

γ_1 ——滑动带(面)以上土体的重度(kN/m^3);

γ_2 ——滑动带(面)以下土体的重度(kN/m^3);

φ_y ——滑动带(面)以下土体的内摩擦角($^\circ$)。

c) 当地面横坡 i 较大且 $i \leq \varphi$ 时,地基 y 点的横向容许承载力可按公式(10)计算:

$$[\sigma_H] = \frac{4[(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 y) \cos^2 \varphi_y \sqrt{\cos^2 \varphi_y - \cos^2 \varphi_0}]}{\cos^2 \varphi_0} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

c_y ——滑动带(面)以下土体的黏聚力(kPa);

h_i ——设桩处滑动带(面)至地面的距离(m);

γ_1 ——滑动带(面)以上土体的重度(kN/m^3);

γ_2 ——滑动带(面)以下土体的重度(kN/m^3);

φ_y ——滑动带(面)以下土体的内摩擦角($^\circ$);

φ_y ——滑动带(面)以下土体的内摩擦角($^\circ$);

$[\sigma_H]$ ——地基的横向容许应力(kPa)。

10.3.1.2.7 桩身内力计算的基本假设和方法:

a) 基本假定包括:

- 1) 抗滑桩的计算宽度,将抗滑桩空间受力状态简化为平面受力状态,计算桩侧应力时引入抗滑桩的计算宽度 B_p 的概念。当矩形桩抗滑桩截面宽度 B 大于 1.0m 时,桩的计算宽度按公式(11)计算:

$$B_p = B + 1 \dots\dots\dots (11)$$

式中:

B ——抗滑桩截面宽度(m);

B_p ——抗滑桩的计算宽度(m)。

- 2) 当圆形桩抗滑桩直径 d 大于 1.0m 时,桩的计算宽度按公式(12)计算:

$$B_p = 0.9(d + 1) \dots\dots\dots (12)$$

式中：
 d ——抗滑桩直径（m）；
 B_p ——抗滑桩的计算宽度（m）。

3) 较完整岩层，地基系数为常数，相应的弹性地基梁的计算方法为“K”法。地层为土层、风化破碎岩层，地基系数随深度呈直线规律变化，相应的计算方法为“ m ”法。滑面以下任一点的水平地基系数按公式（13）计算：

$$C_H = A_H + m_H y \dots\dots\dots (13)$$

式中：
 A_H ——滑面处水平地基系数；
 C_H ——抗滑桩锚固段水平地基系数；
 y ——滑动面至计算点的距离；
 m_H ——水平地基系数的比例系数；

b) 刚性桩与弹性桩。桩的刚度大于围岩刚度时属刚性桩，小于围岩刚度时属弹性桩，可按以下方法进行区分。
1) K 法，桩的变形系数按公式（14）计算：

$$\beta = \left(\frac{KB_p}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots (14)$$

公式中：
 E ——桩身弹性模量(kPa)；
 I ——桩的截面惯性矩(m⁴)；
 K ——地基系数(kPa/m)；
 B_p ——桩的计算宽度(m)；
 β ——桩的变形系数(m⁻¹)。

当 $\beta h \leq 1$ ，属刚性桩；当 $\beta h > 1$ ，属弹性桩。

2) 按“ m ”法，桩的变形系数可按公式(15) 计算：

$$\alpha = \left(\frac{mB_p}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} \dots\dots\dots (15)$$

式中：
 E ——桩的弹性模量(kPa)；
 I ——桩的截面惯性矩(m⁴)；
 m ——随深度增加的土质地基系数的比例系数(kPa/m²)；

B_p ——桩的计算宽度(m);

α ——桩的变形系数(m^{-1})。

当 $\alpha h \leq 2.5$ ，属刚性桩；当 $\alpha h > 2.5$ ，属弹性桩。

10.3.1.2.8 预应力锚索抗滑桩宜按超静定体系设计，将桩视为下端弹性嵌固于滑床，上端锚索视为一弹性支座。锚索伸长量和桩身变位可按弹性变形协调原理计算。

10.3.1.2.9 预应力锚索抗滑桩应考虑二种受力状态设计计算：

- a) 滑坡处于相对稳定状态，滑坡推力还未对桩作用，锚索预应力达到设计值；
- b) 锚索预应力与滑坡推力同时达到设计值。

10.3.1.2.10 计算桩身内力并绘制桩身弯矩图和剪力图，应根据弯矩和剪力包络图进行桩身配筋。

10.3.1.3 抗滑桩构造要求

10.3.1.3.1 抗滑桩的截面形状宜采用矩形，桩最小边宽度不宜小于 1.25 m。

10.3.1.3.2 桩身混凝土强度等级不应低于 C30，当地下水存在腐蚀性时，应符合 JTG/T B07-01 的要求。

10.3.1.3.3 纵向受力钢筋应采用 HRB400 级及以上的带肋钢筋，钢筋直径应不小于 28 mm，净距不小于 120 mm。采用束筋时，每束不宜多于三根。配置多排钢筋时，排距宜控制在 180 mm~200 mm 之内。钢筋混凝土保护层应不小于 70 mm。

10.3.1.3.4 纵向受力钢筋宜采用对焊焊接或直螺纹等机械连接，应符合 GB 50010 的要求。

10.3.1.3.5 为使钢筋笼具有足够的刚度，桩身两侧应适当配置纵向构造钢筋，钢筋直径应大于 28 mm，间距宜为 400 mm~500 mm。桩的受压边两侧，应配置架立钢筋，其直径宜不小于 16 mm。

10.3.1.3.6 为便于施工桩内不宜配置弯起钢筋，可采用调整箍筋的直径、间距和桩身截面尺寸等措施，满足斜截面的抗剪强度要求。

10.3.1.3.7 箍筋宜采用封闭式，肢数不宜多于四肢，直径宜在 12 mm~16 mm 之间，间距宜为 250 mm~400 mm。

10.3.2 抗滑挡土墙

10.3.2.1 抗滑挡土墙可适用于治理小型滑坡，或配合其他支挡工程进行滑坡治理，宜设于滑坡前缘或局部剪出口。

10.3.2.2 抗滑挡土墙应垂直于滑坡的主滑方向布设，基础必须埋入滑动带（面）以下，以确保抗滑效果。滑床为土层时，基础埋入滑动带（面）下 1.5m~2m；滑床为岩层时，基础埋入滑动带（面）下 0.5m~1m。

10.3.2.3 墙高的设计必须经越顶验算，防止滑坡从墙顶剪出，结构计算参考规范《挡墙设计规范》（SL379）。

10.3.2.4 设计荷载应取滑坡推力与主动土压力两者中的大值。

10.3.2.5 当地下水较多时，抗滑挡土墙宜结合墙后纵向盲沟共同使用，防止墙后积水影响稳定。

10.3.2.6 受水流冲刷时，挡墙基底应置于最大冲刷线以下不小于 1.0m；

10.3.2.7 当冻结深度小于 1.0m 时，基底应在冻结线以下不小于 0.25m，并符合基础最小埋置深度不小于 1.0m 的要求。当冻结深度大于 1.0m 时，基底最小埋置深度应不小于 1.25m，同时应将基底至冻结线以下 0.25m 深度范围的地基土采取措施，防止冻害。

10.3.2.8 高原高寒条件下，抗滑挡土墙可采用混凝土或片石混凝土浇筑，强度不低于 C20。

10.3.2.9 抗滑挡土墙结构计算、抗滑稳定、抗倾覆稳定和截面抗剪等计算尚应符合 JTGD30 的要求。

10.3.3 预应力锚杆(索)

- 10.3.3.1 预应力锚杆（索）由钢筋（高强度钢绞线）、注浆体及外锚头组成。
- 10.3.3.2 锚固型式应根据岩土体类型、工程特征、锚杆（索）承载力大小、锚杆（索）材料和长度、施工工艺等条件综合确定。对软质岩、风化岩地层，宜采用拉（压）力分散型锚杆（索）；强度较高的硬质岩石地层，宜采用拉（压）力集中型锚杆（索）。
- 10.3.3.3 为确定地层与锚固体粘结强度标准值、锚杆（索）设计参数和施工工艺，应进行现场锚杆（索）基本试验，试验应符合 GB50330 的要求。
- 10.3.3.4 锚杆（索）轴向拉力标准值应按公式（16）计算：

$$N_{ak} = \frac{H_{tk}}{\cos \alpha} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

N_{ak} ——锚索（杆）轴向拉力标准值（kN）；

H_{tk} ——锚索（杆）水平拉力标准值（kN）；

α ——锚索（杆）倾角（°）。

- 10.3.3.5 预应力锚杆（索）截面面积应满足公式（17）、公式（18）的要求：
- 普通钢筋锚杆：

$$A_s \geq \frac{K_b N_{ak}}{f_y} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

A_s ——锚杆钢筋或预应力锚索截面面积（m²）；

K_b ——锚杆杆体抗拉安全系数；

N_{ak} ——锚索（杆）轴向拉力标准值（kN）；

f_y ——普通钢筋抗拉强度设计值（kPa）。

预应力锚杆（索）：

$$A_s \geq \frac{K_b N_{ak}}{f_{py}} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

A_s ——锚杆钢筋或预应力锚索截面面积（m²）；

K_b ——锚杆杆体抗拉安全系数，应按表9取值；

N_{ak} ——锚索（杆）轴向拉力标准值（kN）；

f_{py} ——预应力钢绞线抗拉强度设计值（kPa）。

表9 锚杆杆体抗拉安全系数

滑坡防治工程安全等级	安全系数	
	临时性锚杆	永久性锚杆
I 级	1.8	2.2
II 级	1.6	2.0
III级	1.4	1.8

10.3.3.6 锚杆（索）锚固体与岩土层间的长度应满足公式（19）的要求：

$$l_a \geq \frac{KN_{ak}}{\pi D f_{rbk}} \dots\dots\dots (19)$$

式中：
D——锚杆（索）锚固段钻孔直径（mm）；
K——锚杆（索）锚固体抗拔安全系数，按表10取值；
N_{ak}——锚索（杆）轴向拉力标准值（kN）。
l_a——锚杆（索）锚固段长度（m）；
f_{rbk}——岩土层与锚固体极限粘结强度标准值（kPa），应通过试验确定；当无试验资料时可按表11、12取值；

表10 岩土锚杆锚固体抗拔安全系数

滑坡防治工程安全等级	安全系数	
	临时性锚杆	永久性锚杆
I 级	2.0	2.6
II 级	1.8	2.4
III级	1.6	2.2

表11 岩石与锚固体极限粘结强度标准值

岩石类别	<i>f_{rbk}</i> 值 (kPa)
极软岩	270~360
软岩	360~760
较软岩	760~ 1200
较硬岩	1 200~1 800
坚硬岩	1 800~2 600

注1：适用于注浆强度等级为M30水泥砂浆；
 注2：仅适用于初步设计，施工时应通过试验检验；
 注3：岩体结构面发育时，取表中下限值；
 注4：岩石类别根据天然单轴抗压强度*f_r*划分：*f_r* < 5MPa为极软岩，5MPa ≤ *f_r* < 15MPa为软岩，15MPa ≤ *f_r* < 30MPa为较软岩，30MPa ≤ *f_r* < 60MPa为较硬岩，*f_r* ≥ 60MPa为坚硬岩。

表12 土体与锚固体极限粘结强度标准值

土层种类	土的状态	f_{rbk} 值 (kPa)
黏性土	坚硬	65~100
	硬塑	50~65
	可塑	40~50
	软塑	20~40
砂土	稍密	100~140
	中密	140~200
	密实	200~280
碎石土	稍密	120~160
	中密	160~220
	密实	220~300
注1: 适用于注浆强度等级为 M30		
注2: 仅适用于初步设计, 施工时应通过试验检验		

10.3.3.7 锚杆（索）杆体与锚固砂浆间的锚固长度应满足公式（20）的要求：

$$l_a \geq \frac{KN_{ak}}{\pi d f_b} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

K ——锚杆锚固体抗拔安全系数，按表10取值；

N_{ak} ——锚索（杆）轴向拉力标准值（kN）；

d ——锚筋直径（m）；

n ——杆体（钢筋、钢绞线）根数（根）；

l_a ——锚筋与砂浆间的锚固长度（m）；

f_b ——钢筋与锚固砂浆体间的粘结强度设计值（kPa），应通过试验确定；当无试验资料时可按表13取值。

表13 钢筋、钢绞线与砂浆之间的粘结强度设计值 f_b

锚杆类型	水泥浆或水泥砂浆强度等级		
	M25	M30	M35
水泥砂浆与螺纹钢筋间的粘结强度设计值 f_b （kPa）	2.10	2.40	2.70
水泥砂浆与钢绞线、高强钢丝间的粘结强度设计值 f_b （kPa）	2.75	2.95	3.40
注1: 当采用二根钢筋点焊成束的作法时，粘结强度应乘以 0.85 的折减系数；			
注2: 当采用三根钢筋点焊成束的作法时，粘结强度应乘以 0.7 的折减系数；			
注3: 成束钢筋的根数不应超过三根，钢筋截面总面积不应超过锚孔面积的 20%。当锚固段钢筋和注浆材料采用特殊设计，并经试验验证锚固效果良好时，可适当增加锚筋用量。			

10.3.3.8 锚杆(索)间距宜为3 m~6 m,最小间距不宜小于2.5 m,小于2.5 m时,相邻锚杆(索)的倾角应相差 1° ~ 3° 。

10.3.3.9 预应力锚杆(索)包括锚固段和自由段两部分,长度不宜超过50 m,锚头外应预留张拉段,各部分长度应满足下列要求:

10.3.3.10 锚固段长度不应小于5 m,拉力型锚索锚固长度不宜大于10 m;

10.3.3.11 锚杆(索)自由段长度受滑动带(面)深度控制,在设计中应考虑自由段进入滑面或潜在滑面以下稳定地层的长度不小于1.5 m,且自由段长度不得小于5 m;

10.3.3.12 张拉段长度应根据张拉机具确定,宜为1.0 m~1.5 m。

10.3.3.13 预应力锚杆(索)孔深应预留1 m的沉渣段;注浆采用孔底反压注浆,保证浆液饱满。

10.3.3.14 锚杆(索)长度应根据钻孔施工钻进及出渣情况,进行动态设计,确保锚固段长度。

10.3.4 反力结构

10.3.4.1 反力结构形式有锚墩、地梁和框架等。锚墩适用于较完整的硬质岩坡面,土质边坡或破碎的岩质边坡,宜采用地梁或框架。

10.3.4.2 锚墩是单孔锚索的反力结构。锚墩尺寸按坡面的承载力的大小计算确定。

10.3.4.3 地梁(框架)是两孔以上锚索的反力结构,间距由锚索间距控制,宜为3 m~4 m。地梁(框架)的设计、主要包括以下内容:

- a) 地梁(框架)的截面尺寸受锚索设计拉力和坡体岩土承载力的控制。地梁截面必须满足锚索设计拉力要求,同时应满足坡体表面岩土体的承载力要求;
- b) 地梁(框架)设计可按弹性地基梁计算;
- c) 地梁(框架)按以下两种受力阶段进行设计计算和配筋;
 - 1) 滑坡处于相对稳定状态,地梁主要承受锚索施加的预应力;
 - 2) 锚索预应力与滑坡推力同时达到设计值。
- d) 地梁(框架)倾角较小时,为防止受力后沿坡面向上滑移,造成预应力损失,应加大锚索倾角,或于地梁(框架)底部增设防滑结构;
- e) 锚索应分级对称张拉,防止地梁(框架)受力不均匀造成破坏。

10.3.4.4 反力结构宜采用钢筋混凝土浇筑,混凝土强度等级不宜低于C30。受条件限制浇筑困难时,宜采用钢筋混凝土预制构件。

10.3.4.5 反力结构截面可采用矩形、正方形及梯形。除硬质岩外,反力结构嵌入坡面深度不应小于0.2 m。

10.3.5 微型桩

微型桩可用于滑坡应急抢险工程、临时工程、以及滑坡预加固工程,其设计应符合下列要求:

- a) 微型桩一般通过钻孔成孔,放入钢筋束或钢管并灌入混凝土或水泥砂浆成桩。微型桩直径一般150 mm~300 mm;
- b) 微型桩(群)通常在其顶部设置钢筋混凝土框架梁或板,以增强微型桩的整体性能,框架梁宽度不宜小于300 mm;
- c) 微型桩灌浆压力根据滑体岩土性质,由现场试验确定,一般0.3 MPa~1.0 MPa。

10.3.6 坡面防护工程

10.3.6.1 坡面防护是滑坡防治工程的附属工程,主要包括护面墙、骨架护坡、挂网喷混凝土、柔性防护网、及植草绿化等。

10.3.6.2 护面墙宜设于一级边坡坡脚或结合主体工程设置,应符合下列规定:

- a) 可采用浆砌片石或混凝土预制块等砌筑，也可根据需要现浇素混凝土；
- b) 单级护面墙的高度不宜超过 10 m，顶宽不应小于 0.5 m，底宽不应小于 1.0 m，并设置伸缩缝及泄水孔；
- c) 护面墙基础应设置在稳定的地基上，基础应设于冻结深度以下不小于 0.25 m。

10.3.6.3 骨架护坡宜设于土质边坡或风化极严重的岩质边坡工程，应符合下列规定：

- a) 适用于坡率不陡于 1:1 的坡面，可采用浆砌片石或混凝土预制块等砌筑；
- b) 骨架护坡的形式分为菱形和拱形，菱形骨架间距 3 m~5 m，拱形主骨架间距 4 m~6 m；
- c) 骨架厚度不小于 25 cm，应嵌入坡面不小于 10 cm，骨架内可植草绿化。

10.3.6.4 挂网喷混凝土适用于坡面岩体破碎的硬质岩边坡，应符合下列规定：

- a) 锚杆应嵌入稳固基岩内，锚固深度应根据岩体性质确定；
- b) 钢筋网喷射混凝土厚度不应小于 10 cm，亦不应大于 25 cm。钢筋保护层厚度不应小于 2 cm；
- c) 在地下水丰富、对景观要求严格地段，应慎用挂网喷混凝土防护。

10.3.6.5 柔性防护网适用于危岩、掉块和落石易发地段，应符合下列规定：

- a) 防护网形式分为主动防护网和被动防护网，根据现场情况选用；
- b) 当坡面岩体松弛变形厚度大于 2 m 以上时，可结合长锚杆主动防护；
- c) 坡面出露易风化岩石及易发生小型坍塌地段，应慎用主动防护网。

10.3.6.6 在滑坡治理工程形成的工程露裸坡面及弃方体表面，应根据坡面情况选用适宜方式进行植草绿化。植草绿化的类型主要有种草、灌木绿化、铺草皮、客土喷播等。

10.3.7 排水工程

10.3.8 一般规定

10.3.8.1 排水工程应与公路排水、天然排水系统互相衔接与协调，形成完善的排水体系。

10.3.8.2 在滑坡防治总体设计的基础上，综合考虑地形条件、汇水面积、径流量、降雨量和坡体渗水量等因素，计算分析确定排水工程设置的位置、数量和断面尺寸。

10.3.8.3 排水结构应满足使用功能要求，结构安全可靠，便于施工、检查和养护维修。

10.3.8.4 排水系统的设置应充分考虑高原生态脆弱、植被恢复困难等特点，尽量减少植被破坏。

10.3.8.5 地下水排水工程应设于最大冻深线以下，无法满足时，应采取保温措施。

10.3.8.6 排水工程设计尚应符合 JTG/T D33 的要求。

10.3.9 排水工程

10.3.9.1 地表排水工程

10.3.9.1.1 地表排水工程应符合下列要求：

10.3.9.1.2 为防止排水沟淤塞，沟底纵坡坡度一般不宜小于 0.3%。排水沟可采用梯形或矩形断面；

10.3.9.1.3 排水沟的顶面高度应高出设计水位 0.2 m 以上。

10.3.9.1.4 截水沟宜结合地形进行布设，且距滑坡周界不应小于 5 m。

10.3.9.1.5 滑坡体上出露的泉水应设排水沟引出。

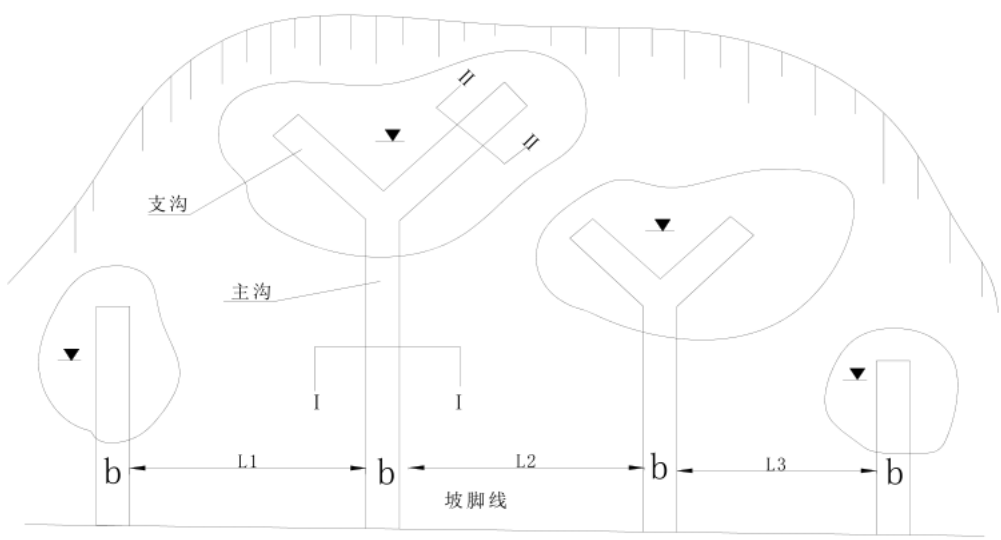
10.3.9.1.6 截、排水沟水流坡度大于 10%，水头高差大于 1.0 m 时，可设置跌水或急流槽。

10.3.9.2 地下排水工程

10.3.9.2.1 地下水丰富的中型及以上滑坡，宜采用截水隧洞、集水井等排水措施，但应从技术、经济和安全等方面论证其可行性。

10.3.9.2.2 地下排水工程应符合下列要求：

- a) 渗沟包括支撑渗沟、截水渗沟及边坡渗沟，其设计包括下列内容：
- 1) 水量大、规模较小的土质滑坡和破碎岩石滑坡，考虑施工安全宜用于滑动带（面）埋深小于 5 m 的滑坡；
 - 2) 支撑渗沟采用成组的条带形布置，其轴线应与滑动方向平行，截面宽度及间距根据渗沟所承担的滑坡推力计算确定，截面采用矩形，宽度为 2 m~4 m，间距 8 m~15 m。支撑渗沟平面及断面示意图（见图 3、图 4、图 5）——复核（铁路路基扫描）；
 - 3) 支撑渗沟基础应置于稳定地层以下不小于 0.5 m。当滑动面坡度较大时，基底应设置为台阶状，台阶宽度宜为 2 m~3 m，台阶向外倾斜坡度宜为 2%~4%；
 - 4) 支撑渗沟内部填料宜选用干砌片石、块石、碎石及卵石等渗水性材料。两侧沟壁和顶部应设置反滤层，反滤层厚度不宜小于 0.25 m，反滤层可采用透水性砂砾或透水土工布。沟底采用 C20 混凝土封底，厚度不宜小于 0.30 m，渗沟出口应考虑保温防冻措施。



注：一般b不小于1.3m-1.5m， L1、L2、L3视局部湿地的部位而定。

图3 支撑渗沟平面示意图

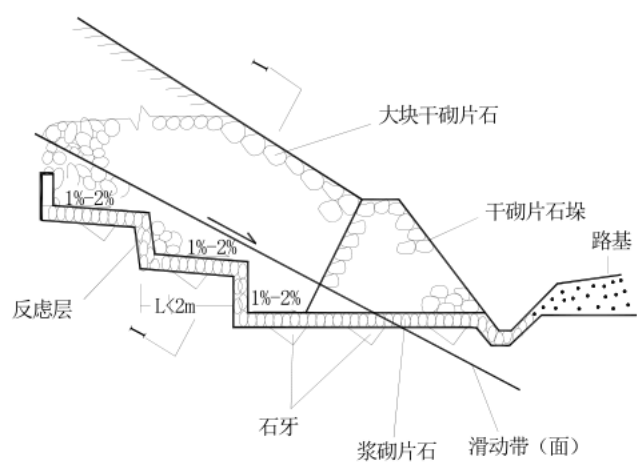


图4 主沟纵断面意图

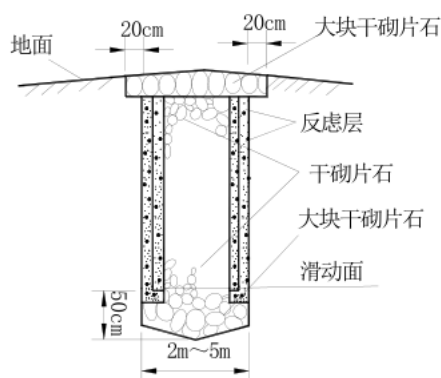


图5 横断面示意图

- 5) 截水渗沟适用于拦截并排除滑坡后部地下水,或滑坡范围 外补给滑动带(面)的地下水,平面上呈环形或折线形布置;
 - 6) 截水渗沟基底应埋入最低一层含水层下的不透水层或基岩内,当基底未埋入完整基岩时,应采用浆砌片石修筑沟槽;
 - 7) 截水渗沟深度不超过 5 m 时,宽度应不小于 1 m,沟底按汇水量设排水沟(或管);深度超过 5 m 时,宽度不应小于 2 m,沟底设直径不小于 1 m 的排水管,便于人工清淤;截水渗沟长而深时,应于转折点、变坡点和直线段每隔 30 m~40 m 设检查井;截水渗沟迎水面应设反滤层,背水面及沟顶应设隔渗层,截水渗沟填料采用块石、卵石等渗水材料;
 - 8) 截水渗沟沟底宜采用较陡的流水纵坡;
 - 9) 用于疏干潮湿的边坡和引排边坡上局部出露的上层滞水或泉水,适用于不陡于 1:1 的土质边坡边坡;
 - 10) 边坡渗沟可按垂直、分叉形或拱形等布设,边坡渗沟的深度不宜小于 2 m,宽度宜为 1.5 m~2 m,间距宜采用 6 m~10 m;
 - 11) 边坡渗沟两侧沟壁设反滤层,基底应设置于含水层以下,宜修筑成台阶状,并铺设防渗层,内部填料与支撑渗沟相同。
- b) 仰斜排水孔设计包括下列内容:
- 1) 仰斜排水孔适用于疏排滑体、滑动带(面)的地下水,宜根据滑坡地下水情况成群布置;
 - 2) 仰斜排水孔应穿过滑动带(面) 2 m~3 m,宜采用孔径 110 mm~150 mm,仰角 5° ~ 10° ,内置软式透水软管,孔深不宜超过 40 m;
 - 3) 仰斜排水孔间距宜为 3 m~6 m,排距不宜小于 3 m。
- c) 集水井设计包括下列内容:
- 1) 集水井适用于含水层不止一层大型滑坡,井壁设置放射状仰斜排水孔,井底采用排水管多井相连;
 - 2) 集水井直径以 3.5 m~4 m 为宜,应伸入稳定地层 2 m~3 m;
 - 3) 集水井井壁应采用钢筋混凝土浇筑,井口应高出地面,设钢筋混凝土井盖。
- d) 截水隧洞设计包括下列内容:
- 1) 截水隧洞适用于截排滑体的深层地下水。截水隧洞宜垂直于地下水流向布置,必要时可设支洞;
 - 2) 截水隧洞包括隧洞、洞顶渗管及检查井,隧洞纵断面可设成折线型;
 - 3) 截水隧洞的净空高度不小于 1.8 m,宽度不小于 1.2 m,衬砌厚度 0.3 m~0.4 m,考虑机械施工可扩大截面;

- 4) 截水隧洞顶部应在滑动带（面）以下不小于 2 m~3 m，洞底排水纵坡不小于 1%，洞顶渗管间距 5 m~10 m，检查井间距 60 m~100 m；
- 5) 土体中和风化严重的岩体中开挖的隧洞需进行衬砌支护；
- 6) 截水隧洞的结构设计应符合 JTG D70 的要求。

10.3.10 刷方减载

10.3.10.1 滑坡中后部刷方减载可提高滑坡稳定性，减小滑坡推力。

10.3.10.2 刷方减载不应影响减载区及以上坡体的稳定性。

10.3.10.3 应根据滑坡稳定性和推力计算确定刷方减载量。

10.3.10.4 刷方减载应符合以下技术要求：

- a) 刷方减载高度大时，应设多级坡，宜按坡率法设计。相邻两级坡间设平台，宽度不宜小于 2m；
- b) 刷方减载后的坡面应进行环境整治、坡面绿化和排水处理。

10.3.11 填土反压

10.3.11.1 滑坡前部填土反压可提高滑坡稳定性。

10.3.11.2 填土反压不应影响填土区及以下坡体的稳定性。

10.3.11.3 应根据滑坡稳定性和推力计算确定反压高度和填土量。

10.3.11.4 填土反压应符合以下技术要求：

- a) 基底软弱层应挖除或换填，陡坡地段应挖台阶；
- b) 沟槽或地下水出露的填方区，填土底部应铺填一定厚度碎块石、砂卵石等透水材料，必要时设暗管、盲沟；
- c) 填土反压范围较大时，应增设排水设施。

11 滑坡监测及防治工程检测

11.1 滑坡动态监测

11.1.1 一般规定

11.1.2 对工程治理困难、采用分期治理以及滑坡失稳危害严重的大型、复杂滑坡，应进行动态监测。

11.1.2.1 监测工作应制定详细的监测方案，监测网点尽可能满足滑坡治理过程全过程及工后治理效果评价要求。

11.1.3 监测内容包括地表位移监测（含裂缝监测）、地下位移监测（深孔位移监测）、地下水位监测及支挡结构物的变形和应力监测。

11.1.4 滑坡监测应符合下列规定：

- a) 治理工程实施前已建立、且完好的地表位移监测网宜延续使用，治理工程实施前未设监测网时，应选择在治理工程顶部及其他不易破坏的部位设置监测点，监测网不应少于 3 个监测点；
- b) 应选择滑坡主滑断面作为深部位移监测孔监测断面，监测孔不少于 3 个；
- c) 地下水位监测可在深孔位移监测时同时进行；
- d) 支挡结构物的变形和应力监测应选择受力最大、最易发生变形的结构物进行监测；
- e) 滑坡监测宜 5 天~10 天一次，降雨以及其他外界因素对滑坡稳定有不利影响时，或监测结果显示滑坡有变形迹象时，应加密监测；
- f) 工程竣工后的监测时间不宜少于 2 年；
- g) 滑坡位移监测与测量精度应符合 JGJ8 的有关规定。

11.2 滑坡防治工程检测

11.2.1 滑坡防治工程检测主要包括抗滑桩桩身结构完整性、预应力锚索长度、锚索预应力损失、锚杆长度等检测。

11.2.2 抗滑桩应全部进行桩身结构完整性检测。检测方法宜采用低应变反射波法或预埋管声波投射法。当桩长大于 20m 时，宜采用预埋管声波投射法。抗滑桩检测应符合 JGJ 106 的规定。

11.2.3 预应力锚杆（索）检测以验收试验为主，可结合预应力锚杆（索）监测，通过多种方法对预应力锚杆（索）长度、注浆体结构完整性、锚固力等进行全面检测。预应力锚杆（索）检测应按 GB 50330 规范的规定进行。

12 滑坡治理工程养护

12.1 定期对滑坡治理工程巡查，检查工程构筑物的完整性及运行情况。

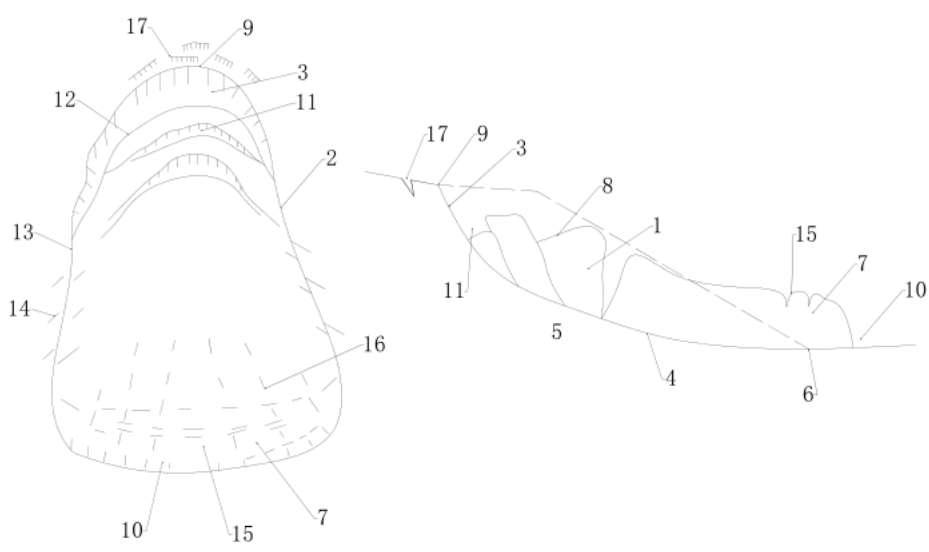
12.2 排水工程应定期疏通、清理、维护。

12.3 锚固工程应定期抽查锚杆（索）的受力情况，出现松弛及时补张拉。

12.4 检查挡墙等构筑物排水孔，保持排水顺畅。

附 录 A
(资料性附录)
滑坡要素平、剖面示意图

图A.1 给出了滑坡要素平、剖面示意图



注：1—滑坡体；2—滑坡周界；3—滑坡壁；4—滑动面；5—滑坡床；6—滑坡剪出口；7—滑坡舌和滑坡鼓丘；8—滑坡台阶；9—滑坡后缘；10—滑坡前缘；11—滑坡洼地（滑坡湖）；12—拉张裂缝；13—剪切裂缝；14—羽状裂缝；15—鼓胀裂缝；16—放射状裂缝；17—牵引性张裂缝；

图 A.1 滑坡要素平、剖面示意图

附 录 B
(资料性附录)
滑坡分类

表 B.1 给出了按照不同指标对滑坡的分类。

表 B.1 滑坡单一指标分类

序号	分类指标	类 型
1	按滑体物质组成	土质滑坡：堆积土滑坡；填土滑坡；黄土滑坡；粘性土滑坡
		岩质滑坡：层状岩体滑坡；块状岩体滑坡；破碎岩体滑坡
2	按滑体受力状态	牵引式滑坡
		推动式滑坡
3	按滑坡发生时代	古滑坡（全新世以前发生的滑坡）
		老滑坡（全新世以来发生的滑坡，现未活动）
		新滑坡（正在活动的滑坡）
4	按主滑面与层面的关系	顺层滑坡（主滑面沿岩层层面滑动）
		切层滑坡（主滑面切割岩层层面滑动）
5	按滑坡的规模	小型滑坡（滑坡体积 $V \leq 4 \times 10^4 \text{m}^3$ ）
		中型滑坡（ $4 \times 10^4 \text{m}^3 < V \leq 30 \times 10^4 \text{m}^3$ ）
		大型滑坡（ $30 \times 10^4 \text{m}^3 < V \leq 100 \times 10^4 \text{m}^3$ ）
		巨型滑坡（ $V > 100 \times 10^4 \text{m}^3$ ）
6	按滑体的含水状态	一般滑坡
		塑性滑坡
		流塑性滑坡
7	按滑体的厚度	浅层滑坡（厚度 $H \leq 6\text{m}$ ）
		中层滑坡（ $6 \text{m} < H \leq 20\text{m}$ ）
		厚层滑坡（ $20 \text{m} < H \leq 50\text{m}$ ）
		巨厚层滑坡（ $H > 50\text{m}$ ）
8	按滑坡与工程活动关系	自然滑坡
		工程滑坡

表B.1 滑坡单一指标分类（续）

序号	分类指标	类 型
9	按滑坡滑动速度	缓慢滑坡
		间歇性滑坡
		崩塌性滑坡
		高速滑坡

附 录 C
(资料性附录)
滑坡岩土物理力学性质试验项目

表 C.1 给出了滑坡岩土物理力学性质试验项目。

表 C.1 滑坡岩土物理力学性质试验项目

试验项目		粘性土滑坡			黄土滑坡			堆积层滑坡			填土滑坡			破碎岩石滑坡			岩体滑坡		
		滑动带	滑体	滑床	滑动带(面)	滑体	滑床	滑动带(面)	滑体	滑床	滑动带(面)	滑体	滑床	滑动带(面)	滑体	滑床	滑动带(面)	滑体	滑床
天然含水率 ω		+	+	+	+	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
天然密度 ρ		+	+	+	+	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
重度 γ		+	+	+	+	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
天然孔隙比 e		+	+	+	+	+	+				+	+	+	+			+		
饱和度 S_r		+	+	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+		±	+			
塑限 ω_p		+	+	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+		±	+			
液限 ω_L		+	+	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+		±	+			
塑性指数 I_p		+	+	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+		±	+			
液性指数 I_L		+	+	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+		±	+			
颗粒分析		±	±	±	±	±	±	±			+	+	+	±	±		±		
自由膨胀率 F_s		±	±	±														+	+
渗透系数	垂直 k_v	±	±	±			+	±		±	±	±			±				
	水平 k_h		±	±				+		±	±	+	±	±	+		±		
剪切试验	快剪 τ_q	+	+	+	+	+	+	±		+	±	±	+		±		+		
	固结快剪 τ_{cq}	+			±		+			+			±	+		+	+		
	残余强度剪 τ_r	+			±		+	±		+		+		+		+	+		
	浸水饱和剪 τ_{CH}	+			+		+			+				+					
	重合剪 τ_{OH}	+			+		+			+			+		+		+		
压缩试验	压缩系数 a_{1-2}			+					±			±				±			
	压缩模量 E_s			+					±			±				±			

表C.1 滑坡岩土物理力学性质试验项目（续）

试验项目		粘性土滑坡			黄土滑坡			堆积层滑坡			填土滑坡			破碎岩石滑坡			岩体滑坡		
		滑动带	滑体	滑床	滑动带（面）	滑体	滑床	滑动带（面）	滑体	滑床	滑动带（面）	滑体	滑床	滑动带（面）	滑体	滑床	滑动带（面）	滑体	滑床
原位试验	大面积剪切试验	±		±	±		±		±			±	±			±	±		
	静力触探	±	±	±	±														
岩石抗剪试验	干 τ_c			±											±	±		±	±
	湿 τ_w			±											±	±		±	±
崩解性		±	±	±			±	±			±		±	±	±	±	±	±	±
湿陷性						±	±												
易溶盐含量		±	±	±										±	±	±	±	±	±
矿物分析		±	±	±				±			±			±			±		
耐冻性															±	±		±	±
注：“+”表示必做项目，“±”表示根据需要确定。																			

附 录 D
(资料性附录)
滑坡稳定性计算公式

图D.1 给出了滑体受力示意图。

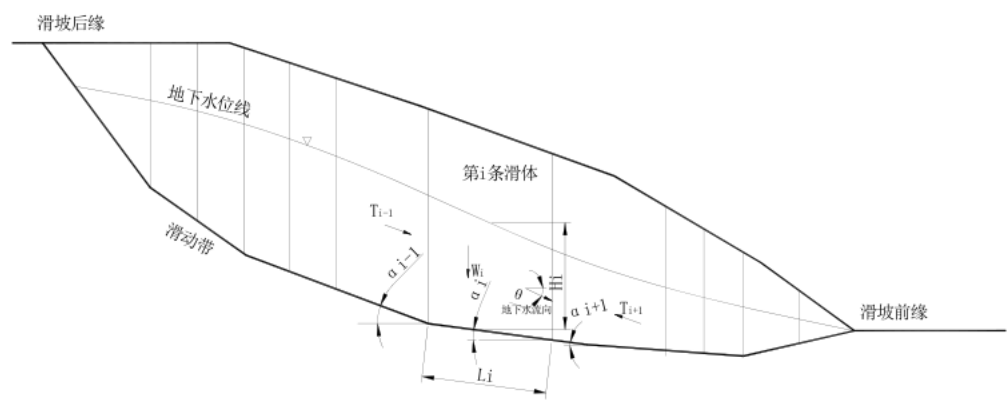


图 D.1 滑体受力示意图

图D.2 给出了单块滑动面受力示意图。

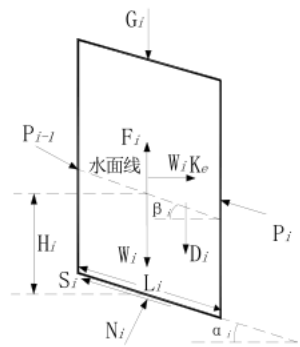


图 D.2 单块滑动面受力示意图

式 D.3 给出了稳定性计算公式。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i+1}^n \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i+1}^n \psi_j) + T_n} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中：
 F_s ——稳定系数；

R_i ——第 i 条块的抗滑力 (kN/m), 方向平行于第 i 条块的滑动面;
 ψ_j ——条块间推力传递系数, 当滑动面起伏 ($\alpha_{j-1} < \alpha_j$) 导致 $\psi_j > 1$ 时, 取 $\psi_j = 1$;
 T_i ——第 i 条块的下滑力 (kN/m), 方向平行于第 i 条块的滑动面;
 T_n ——第 i 条块的下滑力 (kN/m), 方向平行于第 i 条块的滑动面。

式D. 4——D4-11 给出了推力计算公式及各附加力的计算公式:

$$P_i = F_{st}T_i - R_i + P_{i-1}\psi_i = F_{st}(T_i + \sum_{k=1}^{i-1} T_k \prod_{j=k+1}^i \psi_j) - (R_i + \sum_{k=1}^{i-1} R_k \prod_{j=k+1}^i \psi_j) \dots\dots\dots (D. 4)$$

式中:

F_s ——稳定系数;
 F_{st} ——安全系数, 计算实际推力时取 1, 计算设计推力时按表 7 取值;
 P_i ——计算至第 i 条块的剩余下滑力 (kN/m), 即第 $i+1$ 条块对第 i 条块的支持力, 方向平行于第 i 条块的滑动面。当 $P_i < 0$ 时必须继续传递, 得出稳定系数大于 F_{st} ;
 N_i ——滑床对第 i 条块的法向支持力 (kN/m);
 R_i ——第 i 条块的抗滑力 (kN/m), 方向平行于第 i 条块的滑动面;
 T_i ——第 i 条块的下滑力 (kN/m), 方向平行于第 i 条块的滑动面;
 ψ_j ——条块间推力传递系数, 当滑动面起伏 ($\alpha_{j-1} < \alpha_j$) 导致 $\psi_j > 1$ 时, 取 $\psi_j = 1$ 。

$$R_i = c_i L_i + N_i \tan \varphi_i \dots\dots\dots (D. 4-1)$$

式中:

L_i ——第 i 条块滑动面的长度 (m);
 N_i ——滑床对第 i 条块的法向支持力 (kN/m);
 c_i ——第 i 条块滑带土的粘聚力 (kPa);
 φ_i ——第 i 条块滑带土的内摩擦角 ($^\circ$)。

$$N_i = (W_i + G_i - F_i) \cos \alpha_i - K_e W_i \sin \alpha_i - D_i \sin(\alpha_i - \beta_i) \dots (D. 4-2)$$

式中:

D_i ——第 i 条块的动水压力 (kN/m);
 F_i ——第 i 条块的浮力 (kN/m), 当滑带为非隔水层、地下水已与滑动面贯通时应考虑浮力;
 G_i ——作用于第 i 条块的垂直外荷载 (kN/m);
 K_e ——水平地震系数, 按 JTG B02-2013 的规定计算;
 W_i ——第 i 条块的重力 (kN/m), 水面以上取天然重度, 水面以下取饱和重度;
 α_i, α_{i-1} ——第 i 条块、第 $i-1$ 条块滑动面与水平面的倾角 ($^\circ$), 滑动面顺倾为正, 反倾为负。当 $\alpha_i < 0$ 时, T_i 和 R_i 按下式调整:
 β_i ——第 i 条块的水面与水平面的夹角 ($^\circ$)。

$$T_i = (W_i + G_i - F_i) \sin \alpha_i + K_e W_i \cos \alpha_i + D_i \cos(\alpha_i - \beta_i) \dots\dots (D. 4-3)$$

式中:

D_i ——第 i 条块的动水压力 (kN/m);
 F_i ——第 i 条块的浮力 (kN/m), 当滑带为非隔水层、地下水已与滑动面贯通时应考虑浮力;
 G_i ——作用于第 i 条块的垂直外荷载 (kN/m);
 K_e ——水平地震系数, 按 JTG B02-2013 的规定计算;

T_i ——第 i 条块的下滑力 (kN/m)，方向平行于第 i 条块的滑动面；

W_i ——第 i 条块的重力 (kN/m)，水面以上取天然重度，水面以下取饱和重度；

α_i 、 α_{i-1} ——第 i 条块、第 $i-1$ 条块滑动面与水平面的倾角 (°)，滑动面顺倾为正，反倾为负。当 $\alpha_i < 0$ 时， T_i 和 R_i 按下式调整；

β_i ——第 i 条块的水面与水平面的夹角 (°)。

$$\psi_j = \cos(\alpha_j - \alpha_{j-1}) + \sin(\alpha_j - \alpha_{j-1}) \tan \varphi_j \dots \dots (D. 4-4)$$

式中：

α_i 、 α_{i-1} ——第 i 条块、第 $i-1$ 条块滑动面与水平面的倾角 (°)，滑动面顺倾为正，反倾为负。当 $\alpha_i < 0$ 时， T_i 和 R_i 按下式调整；

β_i ——第 i 条块的水面与水平面的夹角 (°)；

φ_i ——第 i 条块滑带土的内摩擦角 (°)；

ψ_j ——条块间推力传递系数，当滑动面起伏 ($\alpha_{j-1} < \alpha_j$) 导致 $\psi_j > 1$ 时，取 $\psi_j = 1$ 。

$$R_i = c_i L_i + N_i \tan \varphi_i - (W_i + G_i - F_i) \sin \alpha_i \dots \dots \dots (D. 4-5)$$

式中：

F_i ——第 i 条块的浮力 (kN/m)，当滑带为非隔水层、地下水已与滑动面贯通时应考虑浮力；

G_i ——作用于第 i 条块的垂直外荷载 (kN/m)；

L_i ——第 i 条块滑动面的长度 (m)；

N_i ——滑床对第 i 条块的法向支持力 (kN/m)；

R_i ——第 i 条块的抗滑力 (kN/m)，方向平行于第 i 条块的滑动面；

W_i ——第 i 条块的重力 (kN/m)，水面以上取天然重度，水面以下取饱和重度；

c_i ——第 i 条块滑带土的粘聚力 (kPa)；

α_i ——第 i 条块条块滑动面与水平面的倾角 (°)，滑动面顺倾为正，反倾为负；

φ_i ——第 i 条块滑带土的内摩擦角 (°)。

$$T_i = K_e W_i \cos \alpha_i + D_i \cos(\alpha_i - \beta_i) \dots \dots \dots (D. 4-6)$$

式中：

D_i ——第 i 条块的动水压力 (kN/m)；

K_e ——水平地震系数，按 JTG B02 的规定计算；

T_i ——第 i 条块的下滑力 (kN/m)，方向平行于第 i 条块的滑动面；

W_i ——第 i 条块的重力 (kN/m)，水面以上取天然重度，水面以下取饱和重度；

α_i ——第 i 条块条块滑动面与水平面的倾角 (°)，滑动面顺倾为正，反倾为负；

β_i ——第 i 条块的水面与水平面的夹角 (°)。

$$F_i = \gamma_w L_i H_i \cos \alpha_i \dots \dots \dots (D. 4-7)$$

式中：

F_i ——第 i 条块的浮力 (kN/m)，当滑带为非隔水层、地下水已与滑动面贯通时应考虑浮力；

H_i ——第 i 条块的平均水位高度 (m)；

α_i ——第 i 条块条块滑动面与水平面的倾角 (°)，滑动面顺倾为正，反倾为负；

γ_w ——水的重度 (kN/m³)。

$$D_i = F_i \sin \beta_i = \gamma_w L_i H_i \cos \alpha_i \sin \beta_i \dots \dots \dots (D. 4-8)$$

式中：

D_i ——第 i 条块的动水压力 (kN/m);

F_i ——第 i 条块的浮力 (kN/m), 当滑带为非隔水层、地下水已与滑动面贯通时应考虑浮力;

H_i ——第 i 条块的平均水位高度 (m);

L_i ——第 i 条块滑动面的长度 (m);

α_i ——第 i 条块条块滑动面与水平面的倾角 ($^\circ$), 滑动面顺倾为正, 反倾为负;

β_i ——第 i 条块的水面与水平面的夹角 ($^\circ$);

γ_w ——水的重度 (kN/m³)。

$$S_i = c_i L_i + N_i \tan \varphi_i \dots \dots \dots (D. 4-9)$$

式中:

L_i ——第 i 条块滑动面的长度 (m);

N_i ——滑床对第 i 条块的法向支持力 (kN/m);

S_i ——与 c_i 、 φ_i 有关的抗滑力 (kN/m), 方向平行于第 i 条块的滑动面; 必要时 T_1 可考虑后缘裂缝水平静水压力的切向分力;

c_i ——第 i 条块滑带土的粘聚力 (kPa);

φ_i ——第 i 条块滑带土的内摩擦角 ($^\circ$)。

$$V_i = 0.5 \gamma_w H_0^2 \cos \alpha_i \dots \dots \dots (D. 4-10)$$

式中:

H_0 ——后缘裂缝的蓄水高度(m);

V_i ——第 i 条块后缘裂缝水平静水压力的切向分力;

α_i ——第 i 条块条块滑动面与水平面的倾角 ($^\circ$), 滑动面顺倾为正, 反倾为负;

γ_w ——水的重度 (kN/m³)。

附 录 E
(资料性附录)
抗滑桩计算中的地基系数

表E.1 给出了“ m ”法地基系数。

地层为密实土层或严重风化破碎岩层时，地基系数随深度呈直线规律变化，地基系数随深度变化的比例系数以符号“ m ”表示，相应的抗滑桩内力计算方法称为“ m ”法。垂直方向和水平方向地基系数随深度变化的比例系数分别以 m_v 和 m_H 表示，可参考表E.1选取。

表 E.1 土层地基的系数 m_v 和 m_H 值

序号	土的名称	m_v (kPa/m ²)	m_H (kPa/m ²)
1	0.75 < I_L < 1.0 的软塑粘土及粉质粘土；淤泥	1 000~2 000	500~1400
2	0.5 < I_L < 0.75 的软塑粉质粘土及粘土	2 000~4 000	1 000~2 800
3	硬塑粉质粘土；细砂和中砂	4 000~6 000	2 000~4 200
4	坚硬的粉质粘土；粗砂	6 000~10 000	3 000~7 000
5	砾砂；碎石、卵石土	10 000~20 000	5 000~14 000
6	密实的大漂石	80 000~120 000	40 000~84 000
注 1：本表适用于结构在地表处位移不超过 6 mm。			
注 2：有可靠资料和经验时，可不受本表限制。			

表E.2 给出了“ K ”法地基系数。

地层为较完整岩层时，地基系数采用常数，不随深度变化，以符号“ K ”表示，垂直方向和水平方向地基系数分别以 K_v 和 K_H 表示。抗滑桩内力计算方法称为“ K ”法，相应的地基系数可参考表E.2、表E.3选取。

表 E.2 较完整岩层的地基系数 K_v 值

序号	饱和极限抗压强度 R^a (MPa)	K_v^b (kPa/m)	序号	饱和极限抗压强度 R (MPa)	K_v^b (kPa/m)
1	10	$12 \times 10^5 \sim 2 \times 10^5$	6	50	8×10^5
2	15	2.5×10^5	7	60	12×10^5
3	20	3×10^5	8	80	$15 \times 10^5 \sim 25 \times 10^5$
4	30	4×10^5	9	>80	$25 \times 10^5 \sim 28 \times 10^5$
5	40	6×10^5			
^a R 为 10Mpa~20Mpa 的半岩质岩层或位于构造破碎影响带的岩质岩层，应根据实际情况采用 $K = A + my$ 。					
^b 一般 K_H 为 K_v 的 0.6~0.8 倍，当岩层为厚层或块状而整体时 $K_H = K_v$ 。					

表E.3 给出了岩层的地基系数K及物理力学指标。

表 E.3 岩层的地基系数 K 及物理力学指标

地层类别	内摩擦角 (°)	弹性模量 K_0 (kPa)	泊松比 μ	地基系数 K (kPa/m)	剪切应力 (kPa/m)
细粒花岗岩、正长岩	80 以上	5 430~6 900	0.25~0.30	$2.0 \times 10^6 \sim 2.5 \times 10^6$	1500 以上
辉绿岩、玢岩		6 700~7 870	0.28	2.5×10^6	
中粒花岗岩	80 以上	5 430~6 500	0.25	$1.8 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6$	1500 以上
粗粒正长岩、坚硬白云岩		6 560~7 000	0.25		
坚硬石灰岩	80	4 400~10 000	0.25~0.30	$1.2 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6$	1500
坚硬砂岩、大理岩		4 660~5 430			
粗粒花岗岩、花岗片麻岩		5 430~6 000			
较坚硬石灰岩	75~80	4 400~9 000	0.25~0.30	$0.8 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^6$	1200~ 1400
较坚硬砂岩		4 460~ 5000			
不坚硬花岗岩		5 430~6 000			
坚硬页岩	70~75	2 000~5 500	0.15~0.30	$0.4 \times 10^6 \sim 0.8 \times 10^6$	700~1200
普通石灰岩		4 400~8 000	0.25~0.30		
普通砂岩		4 600~5 000	0.25~0.30		
坚硬泥灰岩	70	800~1 200	0.29~0.38	$0.3 \times 10^6 \sim 0.4 \times 10^6$	500~700
较坚硬页岩		1 980~3 600	0.25~0.30		
不坚硬石灰岩		4 400~6 000	0.25~0.30		
不坚硬砂岩		1 000~2 780	0.25~0.30		
较坚硬泥灰岩	65	700~900	0.29~0.38	$0.2 \times 10^6 \sim 0.3 \times 10^6$	300~500
普通页岩		1 900~3 000	0.15~0.20		
软石灰岩		4 400~5 000	0.25		
不坚硬泥灰岩	45	30~500	0.29~0.38	$0.06 \times 10^6 \sim 0.12 \times 10^6$	150~300
硬化粘土		10~300	0.30~0.37		
软片岩		500~700	0.15~0.18		
硬煤		50~300	0.30~0.40		
密实粘土	30~45	10~300	0.30~0.37	$0.03 \times 10^6 \sim 0.06 \times 10^6$	100~150
普通煤		50~300	0.30~0.40		
胶结卵石		50~100	—		
掺石土		50~100	—		

附 录 F
(规范性附录)
滑坡动态监测与预应力锚杆（索）工程检测

表F.1 规定了滑坡动态监测目的、方法及内容。

表F.1 滑坡监测

监测内容		监测方法	监测目的
地表 监测	水平位移监测	全站仪、光电测距仪	观测地表位移、变形发展情况。
	垂直变形监测	水准仪	
	裂缝监测	标桩、直尺或裂缝计	观测裂缝发展情况。
深部位移监测		测斜仪	探测相对于稳定地层的地下岩土体位移，证实和确定正在发生位移的构造特征，确定潜在滑动面深度，判断主滑方向，定量分析评价滑坡的稳定状况，评判滑坡加固工程效果。
地下水 监测	地下水位监测	人工测量	观测地下水位变化与降雨关系，评判排水措施的有效性。
	孔隙水压监测		可作项目，观测孔隙水压的变化
支挡结构物变形、应力应变		测斜仪、分层沉降仪 压力盒、钢筋应力计	支挡结构物岩土体的变形观测，支挡构造物与岩土体间接触压力、应力应变观测。

表F.2 规定了预应力锚杆（索）工程检测目地、方法及要求。

表F.2 预应力锚杆（索）工程检测

检测阶段	检测目的	检测项目	检测方法及要求
施工期	施工安全 施工质量	预应力	应作项目，包括锚杆张拉力和预应力损失。
		锚头位移	应作项目，宜用位移监测常规方法
		岩土体深部位移	应作项目，可用测斜仪法；
运营期	工作状态	预应力	应作项目，包括锚杆张拉力和预应力损失。
		锚头位移	宜作项目，宜用位移监测常规方法
		岩土体深部位移	可作项目，可用预埋仪器法

《公路滑坡勘察设计规范》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明，不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

3 术语和定义和符号

本章列出了规范中一些主要术语，对在条文中已加阐明的术语，本章均不再重复列出。术语的解释只是术语概括性含义，仅供引用时参考。

本章列出了规范中的一些主要符号，一般按现行国家标准的规定采用。符号的文字说明只是结合规范的内容所作的注解，一个符号也可能代表几个不同的含义。

4 总则

4.2 滑坡勘察，尤其是对规模大、性质复杂的滑坡，需要经历从宏观到微观、定性到定量认识的过程。应根据公路不同勘察设计阶段的工作任务，循序渐进，有的放矢，逐步加深对滑坡地质特征的认识。

4.3 “动态设计和信息化施工”是滑坡防治工程设计与施工中一条重要原则。受勘察技术的限制，滑坡工程地质勘察具有一定的局限性，工程施工开挖所揭露的地质情况，对进一步验证勘察结论具有重要意义，在此基础上对防治工程设计进行调整、完善，可确保工程可靠、经济、合理。

5 基本规定

5.1 滑坡防治工程勘察

5.1.1 既有公路沿线发生的滑坡大多威胁公路的安全运营，多以应急抢险工程为主，因此滑坡可直接进行详细勘察。

5.2 滑坡防治工程设计

5.2.3 既有公路沿线发生的滑坡大多威胁公路的安全运营，为减轻保通压力，确保运营、施工安全，大型及以上复杂滑坡可按初步设计、施工图设计两阶段进行，中、小型滑坡可直接进行施工图设计。当滑坡影响公路断道或威胁重要构筑物安全时，可按应急抢险工程进行设计。

6 滑坡勘察

6.2 工程地质选线阶段

6.2.1 规模较大、性质复杂的滑坡，由于岩土勘察技术、手段等方面的限制，正确认识滑坡有一定的困难，加之治理工程量大、造价高，设计时要优先予以绕避。

6.3 可行性研究阶段

6.3.1 工程可行性研究阶段的滑坡勘察是十分重要的，其重要任务是识别滑坡，判断滑坡的分布范围、规模、稳定状况及对公路危害程度，为确定公路路线走廊带方案提供可靠的地质依据。

6.5 详细勘察阶段

6.5.2 岩质滑坡的滑动带（面）土往往很薄，难以利用钻探取得原状土样，甚至连扰动土样也难以得到试验需要的数量，为满足设计需要，可进行滑动面重合剪切试验；

滑坡地区的水文地质试验，对涌水量不大的中、浅层滑坡，可采用提水试验或抽水试验，不能在滑坡钻孔中作压水或注水试验，以免恶化滑坡的稳定条件。

6.6 滑坡地质调查测绘

6.6.8 滑坡的地层、岩性、地质构造调绘应包括下列内容：

b) 依据区域地质资料和滑坡附近沟谷中出露较好的露头，确定工作区稳定地层的层序，根据需要实测地质断面；在滑坡体周围稳定地层中逐层测量岩层产状，对岩体中各种软弱夹层应仔细调查，查明其厚度、含水状况、延展范围、有无错动痕迹等，并结合环境条件推断可能滑动的层位，也应考虑取样测定

粘土矿物成分、易溶岩含量等，以协助确定最易于形成滑动面的层位；土质滑坡，则应分层查明土的成因、密实程度、潮湿程度，并应分层取样测定颗粒的级配、天然含水量、重度、液限、塑限等指标（这些工作亦可在钻探时进行），查明不同成因土层间的软弱夹层、相对隔水层及下伏的隔水底板的岩性及形态等。

c) 首先实地调查核实工作区内区域地质资料中的断层和褶皱，其次重点调查上述资料中没有的小型构造，并判明其性质、规模和滑坡的关系；结合构造应力场分析，查明主要节理的组数、产状、判断其力学性质，调查其发育程度和规模；查明层面、片理面、节理面、断层面等各种结构面的相互切割关系及其与临空面的空间关系，查明断层中的物质成分及特点；应特别注意倾向临空软弱夹层的产状、规模、延伸方位及其在临空面上的出露位置等。

6.6.11.1 粘性土滑坡主要指青海地区第三系红泥岩风化后形成的粘土滑坡。

6.6.11.3 堆积土滑坡物质组成复杂，结构变化大，密实程度不均，具有较强的透水性，地表水易沿孔隙下渗至相对隔水层或下伏基岩顶面，在内外营力作用下，常沿不同时代、不同成因堆积土界面、基岩顶面或古剥蚀面滑动。一般滑床顶面呈凹槽状，雨季发生较多。

6.6.11.5 破碎岩体滑坡多发育于断裂带的上盘破碎岩体，沿倾向临空的断层破碎带产生多层多级的滑动。此类滑坡常因岩体破碎地表水易于下渗为特点，亦有受断层带地下水补给。因此，破碎岩体滑坡勘察在查明破碎岩体的组成、岩石软化性能及抗剪强度等基础上，重点在于查清坡体内隔水软层与临空面的关系，分析破碎岩体滑坡发生发展机理。

6.6.11.6 岩体滑坡指发生在第四系以前相对完整岩体中的滑坡，主要受岩层内各种软弱结构面或泥化夹层所控制，易沿倾向临空的结构面下滑。

6.8 滑坡测试

6.8.4 滑动面（带）土样宜为原状土，以取得较为切合实际的物理力学试验数据。按常规方法难以取得原状土时，应取扰动土样 3kg~5kg，进行重塑土试验。

室内剪切试验方法，视滑坡性质、滑动带（面）土结构、滑坡稳定状态和发展情况确定，具体如下：

- （1）正在活动的滑坡，滑动带（面）为粘性土时，优先采用残余强度剪或多次快剪；
- （2）已稳定滑坡（包括处于暂时稳定的滑坡），优先采用固结快剪或三轴剪切试验；
- （3）若滑动带（面）的稠度不大，滑动面清晰时，优先采用滑动面重合剪切试验；
- （4）若滑动带（面）土为饱和状或泥化流动状时，优先采用浸水饱和快剪试验。

滑动带（面）土体在不同部位的物质组成和含水状态往往是不同的，取样时要特别注意选取具有代表性的样品。

6.9 滑坡稳定性评价

6.9.2 滑坡的定性分析方法主要以工程地质比拟法为主。

地形、地貌对比：地貌是地层在地质营力综合作用的结果，从地貌的演变来考察滑坡，并进行稳定性评价。对需要判断稳定性的滑坡，应将已变形的斜坡与周围稳定斜坡的地貌特征进行对比，各个不同发育阶段的滑坡在地貌形态特点进行对比，分析判断出滑坡当前的稳定性。

工程地质条件对比：把滑坡区的地层、岩性、地质构造和滑动带（面）土性质等与类似地质条件下的稳定山坡、不稳定山坡及不同滑动阶段滑坡的地质条件逐项进行对比。根据地质条件及其差异对该滑坡的稳定性判断。

滑动因素及其变化趋势分析：滑坡的滑动或稳定性取决于下滑力与抗滑力的相互消长程度。促使上述两者变化的因素很多，有的将引起下滑力增长，有的可促使稳定状态的好转。因此采用工程地质工作的各种手段如调查、访问、测绘、勘探和测试等找出引起滑坡的主次要因素及其变化趋势，即可定性判断滑坡的稳定性。

滑动迹象（先兆）分析：根据多年的实践，依据滑坡滑动过程中地表裂缝的位置、性质及发育的程序，滑坡的微地貌特征，岩土结构的变化以及大滑动前的预兆等，把滑坡的发育阶段分为以下 5 个阶段，

按附表 1 执行。

附表 1 滑坡的发育阶段及其稳定系数

滑坡发育阶段	变形迹象	稳定系数
蠕动阶段	软弱带并未形成连续的剪切面，但由于中部滑体产生蠕动，引起后部岩（土）体产生破坏，在地表上反映为滑坡后缘出现一些不连续的，隐约可见的微裂缝，后缘裂缝呈张开微下错状，仍未贯通。	1.05~1.15
挤压阶段	除抗滑段外，中后部软弱带的剪切面已贯通，滑动带（面）已形成。地面上反映为后缘的拉张裂缝已贯通，并有少量下错，两侧出现羽状裂隙，但未贯通并未沿剪切裂缝方向错断。挤压阶段向滑动阶段过渡时，两侧羽状裂缝已贯通，但仍未错断，滑坡前缘受挤压，斜坡出现 X 型裂纹，并有局部坍塌。有时滑坡出口出现带状分布的泉水或湿地。前部出现放射状裂缝和鼓胀裂缝。	1.00~1.05
滑动阶段	抗滑段滑动带（面）一旦形成，滑坡的整个滑动带（面）已全部贯通。此时地表变形加剧，滑体结构松弛，地表平均坡度降低，后缘张开裂缝错距增大，有的滑体并在后部出现反方向的下错裂缝，两侧的剪切裂缝已贯通，羽毛状裂缝被错开，前缘隆起，并出现小量坍塌。	0.95~1.00
剧滑阶段	滑体结构进一步松弛，地表纵坡更趋平缓，后缘错壁高陡，擦痕鲜明。错壁后缘产生断续的张裂缝，且不断坍塌，错壁底部出现封闭洼地或滑坡湖。	0.90~0.95
趋稳阶段	地表裂缝逐渐闭合，有的出现因垂直压密而产生的沉降性裂缝，斜坡表面台坎变缓而趋稳定，滑坡壁坍塌变缓，擦痕渐趋模糊，有的长出了植被。	0.95~1.15

6.9.3 滑坡稳定性的定量分析，是在地质分析的基础上，通过静力平衡计算，确定稳定系数。对于滑坡稳定性计算方法较多，我国公路、铁路、建筑部门目前广泛采用的是传递系数法，已经积累了大量的经验，有鉴于此，本规范推荐采用传递系数法。

7 滑坡防治工程设计荷载及安全系数

7.3 防治工程设计安全系数

7.2.2 下列情况，滑坡防治工程设计安全系数可取大值：

规模较大、危害严重的滑坡；

性质复杂的大型滑坡，难于查清其性质，滑动带（面）岩土强度指标的可靠性低；

活动频繁的浅层滑坡；

不易修复的重要建筑物，不允许变形破坏的桥梁、隧道等重要构筑物，以及对生命财产带来较大危害的工程。

8 滑坡推力计算

8.2 滑动带（面）土强度指标选取

8.2.2 滑动带（面）土强度指标可通过试验、经验、反算方法取得，但均有局限性，因此单一途径取得指标都难以代表最不利组合条件的滑带（面）强度，建议应根据试验、经验和反算数据，再结合可能出现的最不利组合条件选定供计算用的强度指标。另外，一般折线形滑面的滑坡，由于各段变形和受力不同，应结合具体条件选取不同的强度指标。反算指标时，应根据不同情况给出后缘及抗滑段强度指标值，反算主滑带（面）强度指标值。

8.3 滑坡推力计算

8.3.2 传递系数法最基本的假定条件，简化了各条块间滑坡推力的传递方式，计算方便。由于土体抗拉强度极低，当滑坡推力传递到某一条块出现负值时将不再向下传递。对复杂的大型滑坡稳定性分析，可采用传递系数法和有限元分析法等进行计算比较。

9 滑坡防治工程设计

9.1 一般规定

9.1.7 青海省位于青藏高原东北部，生态脆弱，植被破坏后恢复困难。滑坡防治工程应充分考虑生态保护问题，尽量减少对植被的破坏，地表截排水沟的设置须进行充分论证。

9.3 滑坡防治工程设计

9.3.1 抗滑桩

9.3.1.1 一般规定

9.3.1.1.2 抗滑桩截面为矩形时抗弯、抗剪最有利，因此抗滑桩截面宜为矩形。采用人工挖孔桩时，抗滑桩截面设计应考虑开挖的安全性及可操作性。

9.3.1.1.3 单根抗滑桩长边方向必须平行于滑动方向，抗滑桩的抗弯等性能最佳。从滑坡的整体变形及推力情况分析，抗滑桩排垂直于滑动方向时治理效果最好。

9.3.1.1.4 滑体厚度较大时，在满足滑坡不从桩顶剪出的情况下，可采用埋入式抗滑桩设计，以减短桩长，降低造价。桩间距与桩后土体形成的土拱有关，宜为5~8m。

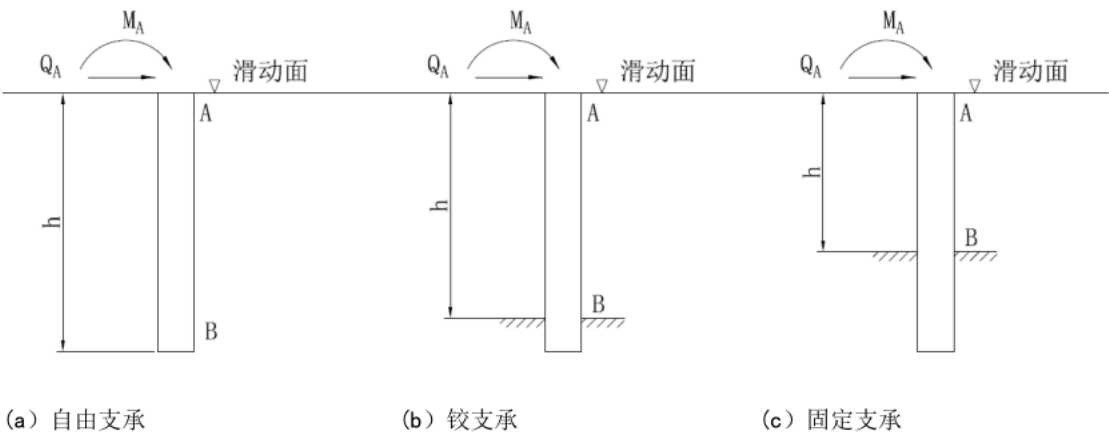
9.3.1.2 抗滑桩设计

9.3.1.2.4 一般情况的抗滑桩均可视为悬臂桩，计算时根据入岩情况选择桩底支承方式，有自由支承、铰支承及固定支承三种情况。

自由支承，如图1(a)所示，当锚固段地层为土层，松散破碎岩时，在滑坡推力作用下，桩底有明显的位移和转动，桩底可按自由支承处理，即令 $Q_B=0$ ， $M_B=0$ 。

铰支承，如图1(b)所示，当桩底岩层完整，并较AB段地层坚硬，但桩嵌入该层不深时，桩底可按铰支处理，即令 $x_B=0$ ， $M_B=0$ 。

固定支承，如附图1(c)所示，当桩底岩层完整、极坚硬，桩嵌入该层较深时，桩身B点处可按固定端处理，即令此处 $x_B=0$ ， $\varphi_B=0$ 。该情况一般出现在较硬岩层（完整的灰岩、砂岩等）的顺层岩石滑坡治理工程中。



附图1 桩底支承条件图

9.3.1.2.7 桩身内力计算基本假定

作用在抗滑桩上的荷载包括：滑坡推力、桩前抗力和锚固段地层的抗力，桩侧摩阻力和粘聚力以及桩身重力和桩底反力可不计算。滑坡推力是作用于抗滑桩上的主要外力，推力分布有矩形、三角形或梯形等形式，可根据滑坡的实际情况具体选用。

抗滑桩的变形不但与抗滑桩本身的刚度有关，也与抗滑桩锚固段桩周岩土体的刚度有关，引入抗滑桩变形系数的概念，便于抗滑桩内力计算，也是刚性桩与弹性桩的判别依据。

9.3.3 预应力锚杆（索）

9.3.3.6 锚杆（索）安全系数是考虑结构设计中的不确定因素和危险程度而设立的，包括地层岩性、地下水及周边环境变化等。

9.3.7 排水工程

9.3.7.1.5 高寒地区，地下排水工程应尽量设于当地最大冻结深度以下，否则须采用保温措施防冻。出口应尽量利用自然沟，从桥、较大涵洞排出，否则需采用渗沟、暗沟或排水管下穿路基排出。出口应采用保温措施防止冻结堵塞。

9.3.8 刷方减载

9.3.8.1 刷方减载治理滑坡具有施工简单、见效快、造价低的优点，但必须查清滑坡性质，严禁在滑坡前部刷方削弱抗滑力，引起滑坡范围扩大甚至剧滑。

9.3.8.4 刷方后形成的边坡需要支护时，应分级支护，且开挖一级，支护一级，严禁一次开挖到位，引起边坡失稳。

9.3.9 回填反压

9.3.9.3 回填反压提供的抗滑力，应计算比较填方体被动土压力和填方体与原地面摩擦力，取二者中小值。