DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0219—2006

滑坡防治工程设计与施工技术规范

Specification of design and construction for landslide stabilization

2006-06-05 发布　　2006-09-01 实施

中华人民共和国国土资源部　发布

目　次

前言 …… Ⅲ
引言 …… Ⅳ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　滑坡防治工程设计基本规定 …… 1
4　滑坡分类及防治工程勘查 …… 3
5　滑坡防治工程分级及设计安全系数 …… 5
6　排水工程 …… 7
7　抗滑桩 …… 12
8　预应力锚索 …… 18
9　格构锚固 …… 24
10　重力挡墙 …… 28
11　其他防治工程 …… 32
12　滑坡防治监测 …… 35
13　施工组织 …… 36
14　质量检验与工程验收 …… 37
附录A（规范性附录）　滑坡稳定性评价和推力计算公式 …… 44
附录B（规范性附录）　重力挡土墙土压力计算公式 …… 49
附录C（规范性附录）　抗滑桩设计地基系数表 …… 51

前　言

本规范的附录A、附录B、附录C为规范性附录。

本规范由国土资源部地质环境司提出。

本规范由国土资源部国际合作与科技司归口管理。

本规范主要起草单位：中国地质调查局。

本规范主要起草人：殷跃平、张作辰、贺模红、潘世兵、胡瑞林、张国全、康宏达、邹毅、唐辉明、程温鸣、黎力、李晓春、张开军、刘真。

本规范由国土资源部地质环境司负责解释。

引　言

为提高滑坡防治技术水平，统一技术标准，确保地质依据充分、安全可靠、经济合理、技术可行，特制定本规范。

本规范是在充分研究国内外有关滑坡防治技术标准和较为成熟的方法技术基础上编写而成，并以各种方式充分征求了全国有关单位和专家的意见，在三峡工程库区移民迁建，以及其他市政与工程建设，自然地质景观保护滑坡防治工程中试行并反复修改完善，最后经审查定稿。

本规范对滑坡防治工程的可行性方案设计、初步设计和施工图设计，以及应急治理工程设计进行了规定，并对实施防治工程的排水、抗滑桩、预应力锚索、格构锚固、重力挡墙、注浆加固、刷方减载、回填压脚和植物防护等技术方法，以及施工技术方法提出了要求。

滑坡防治工程设计与施工技术规范

1 范围

本规范规定了滑坡防治工程设计基本规定、滑坡分类及防治工程勘查、滑坡防治工程分级及设计安全系数、排水工程、抗滑桩、预应力锚索、格构锚固、重力挡墙、注浆加固、刷方减载、回填压脚、植物防护、滑坡防治监测、施工组织、质量检验及工程验收等内容。

本规范适用于指导滑坡防治工程设计。

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，其随后所有的修改单(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 50010—2002 混凝土结构设计规范

GB 50119—2003 砼外加剂应用技术规范

GB 50204—2002 混凝土结构工程施工及质量验收规范

GB 50290—1998 土木合成材料应用技术规范

SL 18—1991 渠道防渗工程技术规范

SDJ 34—1989 溢洪道设计规范

JGJ 94—1994 建筑桩基技术规范

3 滑坡防治工程设计基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 滑坡防治工程设计，可划分为可行性方案设计、初步设计和施工图设计三个阶段。对于规模小、地质条件清楚的滑坡，可简化设计阶段。

3.1.2 可行性方案设计：根据防治目标，在已审定的滑坡防治地质勘查报告基础上进行编制；应对多种设计方案的技术、经济、社会和环境效益等进行论证，并作出工程估算；提交可行性方案设计报告及可行性方案设计附图册，并提交滑坡工程地质勘查报告及有关试验报告等附件；计算和估算内容可以计算书和估算书的形式作为附件提交。

3.1.3 初步设计：对可行性方案设计推荐方案进行充分论证和试验；提出具体工程实现步骤和有关工程参数，进行结构设计，编制相应的报告及图件，进行工程概算；提交初步设计报告及设计附图册，并提交有关试验报告等附件；计算和概算内容可以计算书和概算书的形式作为附件提交。

3.1.4 施工图设计：对初步设计确定的工程图进行细部设计；提出施工技术、施工组织和安全措施要求；并满足工程施工和工程招投标要求；编制工程施工图件及说明，进行工程预算；提交施工设计图册及施工图说明书、预算书等。

3.1.5 应急治理工程设计是滑坡灾害防治工程设计中的特殊内容，可简化上述设计阶段。但应急治理应与后续的正常治理相适应，并为正常治理提供基础。

3.2 滑坡防治工程可行性方案设计

3.2.1 滑坡防治工程可行性方案设计是滑坡防治工程设计的重要阶段。根据任务书要求，从技术可行、经济合理，以及社会、环境等因素对防治工程进行两个以上方案的分析论证，进行投资估算，确定优化方案。

3.2.2 滑坡防治工程可行性方案设计，应在已审定的工程地质勘查报告的基础上编制，并依据有关文件进行。

3.2.3 滑坡防治工程可行性方案的选定，应在遵循防治工程目标和原则的基础上，结合当地地质条件和技术经济条件等进行。

3.2.4 滑坡防治工程可行性方案设计，应对滑坡的危害性和实施防治工程的必要性进行充分论证，应统计核实滑坡发生时可能对生命财产造成的直接损失和间接损失。

3.2.5 滑坡防治工程可行性方案设计，应论证工程实施的可能性，阐明在现今技术经济条件下，实施工程的可能性，并与避让搬迁、监测预警等方案进行对比。

3.2.6 滑坡防治工程可行性方案设计，应根据工程地质勘查报告，选定有关的岩土体物理力学参数，并结合防治工程要求，建立和完善地质力学模型。

3.2.7 滑坡防治工程可行性方案设计，应根据滑坡防治工程的级别，选定设计安全系数标准，考虑有关工况，并结合拟布置的工程位置，专门对滑坡推力进行计算。

3.2.8 滑坡防治工程可行性方案的比较，均应达到论证深度要求，具备技术经济可比性。

3.2.9 滑坡防治工程可行性方案设计，应根据所在地域，明确气温、降雨、库水位、地震、附加荷载等基本设计参数，确定荷载来源及其组合特征，根据任务书要求，明确设计技术依据和定额标准；根据防治工程目标和级别确定设计标准。

3.2.10 滑坡防治工程可行性方案设计，应对滑坡防治工程进行效益评估，包括工程实施后的经济效益、社会效益和环境效益。

3.2.11 对于1级滑坡防治工程，应专门编制监测设计，内容包括施工安全监测、防治工程效果和动态长期监测等。根据具体情况，确定适当的监测技术和监测频次。

3.2.12 施工组织是滑坡防治工程可行性方案设计的重要内容，应结合雨季和库水位变化等特征，安排合理的施工程序和工程实施顺序，并确定切实可行的工期。

3.2.13 应结合城镇规划，编制防治工程的保护和灾害风险管理措施。

3.2.14 滑坡防治工程可行性方案设计，应提交相应的设计附图册，一般为A3幅面，平面布置图可采用A1、A0或更大幅面。

3.2.15 滑坡防治工程可行性方案设计，应详细说明设计的计算公式、计算步骤和计算结果，也可以计算书的形式单独提交。

3.2.16 滑坡防治工程可行性方案设计，应详细说明估算的编制办法、费率标准、实际工程量及定额依据等，也可以估算书的形式单独提交。

3.3 滑坡防治工程初步设计

3.3.1 滑坡防治工程初步设计，应在已审定的防治工程可行性方案设计的基础上编制；根据推荐方案，补充必要的设计参数，进行结构设计。

3.3.2 滑坡防治工程初步设计，应对推荐方案所依据参数进行充分论证，并进行现场专项试验和室内模拟分析。

3.3.3 滑坡防治工程初步设计，应对各工程单元充分计算，进行结构设计。

3.3.4 滑坡防治工程初步设计，应提交相应的设计附图册，一般为A3幅面，平面布置图可采用A1、A0或更大幅面。

3.3.5 滑坡防治工程初步设计，应详细说明设计的计算公式、计算步骤和计算结果，也可以计算书的形式单独提交。

3.3.6 滑坡防治工程初步设计，应详细说明概算的编制办法、费率标准、实际工程量及定额依据等，也可以概算书的形式单独提交。

3.4 滑坡防治工程施工图设计

3.4.1 滑坡防治工程施工图设计，应对滑坡防治工程涉及的各工程单元进行施工图设计，并编制相应

的施工图设计说明书。

3.4.2 滑坡防治工程施工图设计，应详细说明设计的基本思路、施工条件、施工方法、施工机械、施工顺序、进度计划、施工管理和施工监理等。

3.4.3 滑坡防治工程施工图设计，应提交相应的设计图册，一般为A3幅面，平面布置图可采用A1、A0或更大幅面。

3.4.4 滑坡防治工程施工图设计，应详细说明设计的计算公式、计算步骤和计算结果，并以计算书的形式单独提交。

3.4.5 滑坡防治工程施工图设计，应详细说明预算的编制办法、费率标准、实际工程量及定额依据等，并以预算书的形式单独提交。

4 滑坡分类及防治工程勘查

4.1 滑坡分类

4.1.1 滑坡类型按主要因素划分

根据滑坡体的物质组成和结构型式等主要因素，可按表1对滑坡进行分类。

表1 滑坡物质和结构因素分类

类型	亚类	特征描述
堆积层(土质)滑坡	坡积堆积体滑坡	由前期滑坡形成的块碎石堆积体，沿下伏基岩或体内滑动
	崩塌堆积体滑坡	由前期崩塌等形成的块碎石堆积体，沿下伏基岩或体内滑动
	崩滑堆积体滑坡	由前期崩滑等形成的块碎石堆积体，沿下伏基岩或体内滑动
	黄土滑坡	由黄土构成，大多发生在黄土体中，或沿下伏基岩面滑动
	黏土滑坡	由具有特殊性质的粘土构成。如昔格达组、成都粘土等
	残坡积层滑坡	由基岩风化壳、残坡积土等构成，通常为浅表层滑动
	人工填土滑坡	由人工开挖堆填弃渣构成，次生滑坡
岩质滑坡	近水平层状滑坡	由基岩构成。沿缓倾岩层或裂隙滑动，滑动面倾角≤10°
	顺层滑坡	由基岩构成。沿顺坡岩层滑动
	切层滑坡	由基岩构成。常沿倾向山外的软弱面滑动。滑动面与岩层层面相切，且滑动面倾角大于岩层倾角
	逆层滑坡	由基岩构成。沿倾向坡外的软弱面滑动，岩层倾向山内，滑动面与岩层层面相反
	楔体滑坡	在花岗岩、厚层灰岩等整体结构岩体中，沿多组弱面切割成的楔形体滑动
变形体	危岩体	由基岩构成，受多组软弱面控制，存在潜在崩滑面，已发生局部变形破坏
	堆积层变形体	由堆积体构成，以蠕滑变形为主，滑动面不明显

4.1.2 滑坡类型按其他因素划分

根据滑体厚度、运移方式、成因属性、稳定程度、形成年代和规模等其他因素，可按表2进行滑坡分类。

4.2 滑坡防治工程勘查

4.2.1 滑坡防治工程实施前，应进行专门的工程地质勘查；可采用主-辅剖面相结合的方法，随岩工程的实施，不断提高勘查精度，并进行反馈设计和信息化施工。

4.2.2 滑坡勘查可采用主-辅剖面法进地，沿滑坡主滑方向，详细查明滑坡体的结构，根据滑坡复杂程度和工程重要性，确定1～数条主剖面，并布置辅助剖面，滑坡两主剖面之间的间距不宜大于200 m，辅助剖面之间及辅助剖面与主剖面之间的间距，一般为40 m～100 m。

表 2　滑坡其他因素分类

有关因素	名称类别	特征说明
滑体厚度	浅层滑坡	滑坡体厚度在 10 m 以内
	中层滑坡	滑坡体厚度在 10 m～25 m 之间
	深层滑坡	滑坡体厚度在 25 m～50 m 之间
	超深层滑坡	滑坡体厚度超过 50 m
运动形式	推移式滑坡	上部岩层滑动，挤压下部产生变形，滑动速度较快，滑体表面波状起伏，多见于有堆积物分布的斜坡地段
	牵引式滑坡	下部先滑，使上部失去支撑而变形滑动。一般速度较慢，多具上小下大的塔式外貌，横向张性裂隙发育，表面多呈阶梯状或陡坎状
发生原因	工程滑坡	由于施工或加载等人类工程活动引起滑坡，还可细分为： 1. 工程新滑坡：由于开挖坡体或建筑物加载所形成的滑坡； 2. 工程复活古滑坡：原已存在的滑坡，由于工程扰动引起复活的滑坡
	自然滑坡	由于自然地质作用产生的滑坡，按其发生的相对时代可分为古滑坡、老滑坡、新滑坡
现今稳定程度	活动滑坡	发生后仍继续活动的滑坡。后壁及两侧有新鲜擦痕，滑体内有开裂，鼓起或前缘有挤出等变形迹象
	不活动滑坡	发生后已停止发展，一般情况下不可能重新活动，坡体上植被较盛，常有老建筑
发生年代	新滑坡	现今正在发生滑动的滑坡
	老滑坡	全新世以来发生滑动，现今整体稳定的滑坡
	古滑坡	全新世以前发生滑动的滑坡，现今整体稳定的滑坡
滑体体积	小型滑坡	$<10\times10^4$ m^3
	中型滑坡	10×10^4 m^3～100×10^4 m^3
	大型滑坡	100×10^4 m^3～$1\,000\times10^4$ m^3
	特大型滑坡	$1\,000\times10^4$ m^3～$10\,000\times10^4$ m^3
	巨型滑坡	$>10\,000\times10^4$ m^3

4.2.3　滑坡勘查，主要用地面测绘与钻探、井探、槽探等方法结合进行；必要时，可采用硐探和地球物理方法。应重点查明滑坡体、滑带和滑床的结构特征，特别应了解滑带的基本性状和物理力学特征。

4.2.4　滑坡区及邻区工程地质调查与测绘，采用的比例尺为 1∶200～1∶2 000，应提供滑坡工程地质平面图、沿主滑方向的主剖面及相关剖面图及横断面图等。

4.2.5　在进行滑坡勘查中，应因地制宜地进行相应的滑坡地面变形、深部位移、地下水动态等监测，为防治工程设计、施工和效果评估提供充分依据。

4.2.6　根据滑坡的变形破坏过程和地质环境，进行相应的物理力学试验，提供滑体天然容重、饱和容重、滑带土的峰值和残余抗剪强度、滑床地基承载参数、地下水位以及孔隙水压力等参数，并结合反演法和类比法，推荐出合理的设计参数。

4.2.7　根据滑坡区的地貌形态、地表裂缝、建筑物和树木变形、地下水动态、人工扰动等特征，结合地表变形和深部位移监测结果，对滑坡体稳定现状和蓄水后可能的变化进行科学评价，并作出滑坡防治工程的经济、社会和环境效益评估。

4.2.8　在施工过程中，应实时对滑坡进行跟踪测绘编录，检验、补充及更正勘查结论，并进行反馈设计。

4.2.9　在滑坡防治工程的前期勘查期间，应收集大气降雨、库(江)水位动态及附加荷载等数据，以科学

合理地进行滑坡稳定性评价和设计。

4.2.10 滑坡防治工程设计，应依据审定后的滑坡工程地质勘查报告进行。

5 滑坡防治工程分级及设计安全系数

5.1 滑坡防治工程级别划分

根据受灾对象、受灾程度、施工难度和工程投资等因素，可按表3对滑坡防治工程进行综合划分。

表3 一般滑坡防治工程分级表

级别		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
危害对象		县级和县级以上城市	主要集镇、或大型工矿企业、重要桥梁、国道专项设施	一般集镇、县级或中型工矿企业、省道及一般专项设施
受灾程度	危害人数/人	>1 000	1 000～500	<500
受灾程度	直接经济损失/万元	>1 000	1 000～500	<500
受灾程度	潜在经济损失/万元	>10 000	10 000～5 000	<5 000
施工难度		复杂	一般	简单
工程投资/万元		>1 000	1 000～500	<500

5.2 滑坡荷载及强度标准

5.2.1 荷载

a) 滑坡体自重；

b) 滑坡体上建筑物等产生的附加荷载；

c) 地下水产生的荷载，包括静水压力和渗透压力等；

d) 地震荷载；

e) 动荷载，如汽车荷载等；

f) 江(库)水位。

5.2.2 荷载强度标准

a) 暴雨强度按10年～100年的重现期计；

b) 地震荷载按50年～100年超越概率为10%的地震加速度计；

c) 库水位按坝前高程计，并根据不同地段作调整，即接洪水线。

滑坡防治工程暴雨和地震荷载强度取值标准参见表4。

表4 滑坡防治工程荷载强度标准表

滑坡防治工程级别	暴雨强度重现期/a		地震荷载(年超越概率10%)/a	
	设计	校核	设计	校核
Ⅰ	50	100	50	100
Ⅱ	20	50		50
Ⅲ	10	20		

5.3 滑坡稳定性评价计算公式

滑坡稳定性评价应根据滑坡滑动面类型和物质成分选用恰当的方法，并可参考有限元法、有限差分法、离散元法等方法进行综合考虑。滑坡稳定性评价和推力计算公式推荐如下。

5.3.1 堆积层(包括土质)滑坡

包括两种滑动面类型。

a) 滑动面为折线形

用传递系数法进行稳定性评价和推力计算，可用詹布法(Janbu)等方法进行校核。计算公式见附

录 A。

b) 滑动面为单一平面或圆弧形

可用瑞典条分法等进行稳定性评价和推力计算，可用毕肖普法(Bishop)等方法进行校核。计算公式见附录 A。

5.3.2 岩质滑坡

用平面极限平衡法进行稳定性评价和推力计算。计算公式见附录 A。

5.3.3 滑坡滑带参数确定

滑带力学参数，可采用试验、经验数据类比与反演相结合的方法确定。反演公式推荐为：

内聚力

$$C=\frac{K_s\sum W_i\sin\alpha_i-\tan\phi\sum W_i\cos\alpha_i}{L} \quad \cdots\cdots(1)$$

内摩擦角

$$\phi=\arctan\left(\frac{K_s\sum W_i\sin\alpha_i-CL}{\sum W_i\cos\alpha_i}\right) \quad \cdots\cdots(2)$$

一般条件下，稳定系数 K 可根据下列情况确定：

滑坡处于整体暂时稳定-变形状态：$K=1.00\sim1.05$；

滑坡处于整体变形-滑动状态：$K=0.95\sim1.00$。

5.4 滑坡防治工程设计安全系数

a) 抗滑安全系数

设计：自重，$K_s=1.2\sim1.4$；

自重＋地下水，$K_s=1.1\sim1.3$。

校核：自重＋暴雨＋地下水，$K_s=1.02\sim1.15$；

自重＋地震＋地下水，$K_s=1.02\sim1.15$。

b) 抗倾安全系数

对于崩滑体防治工程，应采用抗倾安全系数进行设计。

设计：自重，$K_s=1.5\sim3.0$；

自重＋地下水，$K_s=1.3\sim1.7$。

校核：自重＋暴雨＋地下水，$K_s=1.1\sim1.5$；

自重＋地震＋地下水，$K_s=1.1\sim1.5$。

c) 抗剪断安全系数

当采用注浆或微型桩加固滑带时，应采用抗剪断安全系数进行设计。

设计：自重，$K_s=2.0\sim2.5$；

自重＋地下水，$K_s=1.7\sim2.2$。

校核：自重＋暴雨＋地下水，$K_s=1.2\sim1.5$；

自重＋地震＋地下水，$K_s=1.2\sim1.5$。

d) 滑坡防治工程设计，应根据其工程级别进行，即Ⅰ级防治工程的安全系数取高值，Ⅲ级防治工程的安全系数取低值。

e) 滑坡防治工程设计，可采用分级方法进行，即主体防治工程安全系数可取高值，附属或临时防治工程安全系数可相应降低。

f) 滑坡防治工程设计安全系数取值，推荐如下(参见表 5)。

表 5　滑坡防治工程设计安全系数推荐表

安全系数类型	工程级别与工况											
	Ⅰ级防治工程				Ⅱ级防治工程				Ⅲ级防治工程			
	设计		校核		设计		校核		设计		校核	
	工况Ⅰ	工况Ⅱ	工况Ⅲ	工况Ⅳ	工况Ⅰ	工况Ⅱ	工况Ⅲ	工况Ⅳ	工况Ⅰ	工况Ⅱ	工况Ⅲ	工况Ⅳ
抗滑动	1.3～1.4	1.2～1.3	1.10～1.15	1.10～1.15	1.25～1.30	1.15～1.30	1.05～1.10	1.05～1.10	1.15～1.20	1.10～1.20	1.02～1.05	1.02～1.05
抗倾倒	1.7～2.0	1.5～1.7	1.30～1.50	1.30～1.50	1.6～1.9	1.4～1.6	1.20～1.40	1.20～1.40	1.5～1.8	1.3～1.5	1.10～1.30	1.10～1.30
抗剪断	2.2～2.5	1.9～2.2	1.40～1.50	1.40～1.50	2.1～2.4	1.8～2.1	1.30～1.40	1.30～1.40	2.0～2.3	1.7～2.0	1.20～1.30	1.20～1.30
注：工况Ⅰ—自重；工况Ⅱ—自重＋地下水；工况Ⅲ—自重＋暴雨＋地下水；工况Ⅳ—自重＋地震＋地下水。												

6　排水工程

6.1　一般规定

6.1.1　排水工程设计，应在滑坡防治总体方案基础上，结合工程地质、水文地质条件及降雨条件，制定地表排水、地下排水或二者相结合的方案。

6.1.2　地表排水工程的设计标准，应根据防护对象等级所确定的防洪标准予以确定，并依此确定排水工程建筑物的级别、安全超高及安全系数。

6.1.3　当滑坡体上存在地表水体，且应保留时，应进行防渗处理，并与拟建排水系统相接。

6.1.4　地下排水工程，应视滑动面状况、滑坡所在山坡汇水范围内的含水层与隔水层水文地质结构及地下水动态特征，选用隧硐排水、钻孔排水或盲沟排水等方案。

6.1.5　当地质条件和水文条件复杂时，排水工程对于滑坡稳定系数的提高值可不作为设计依据，但可作为安全储备加以考虑。

6.2　排水工程设计

6.2.1　地表排水

6.2.1.1　地表排水工程，应根据滑坡的规模、范围及其重要程度，准确、合理地选定设计标准，即选定某一降雨频率作为计算流量的标准，将大于设计标准或在非常情况下使工程仍能发挥其原有作用的安全标准，作为校核标准。

6.2.1.2　地表排水工程设计的频率地表汇水流量计算，可根据中国水利科学院水文研究所提出的小汇水面积设计流量公式计算。即：

$$Q_P = 0.278\phi S_p F / \tau^n \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：

Q_P——设计频率地表水汇流量(m^3/s)；

ϕ——径流系数；

S_p——设计降雨强度(mm/h)；

F——汇水面积(km^2)；

τ——流域汇流时间(h)；

n——降雨强度衰减系数。

当缺乏必要的流域资料时，可按中国公路科学研究所提出的经验公式计算，即：

当 $F \geqslant 3\ km^2$ 时，

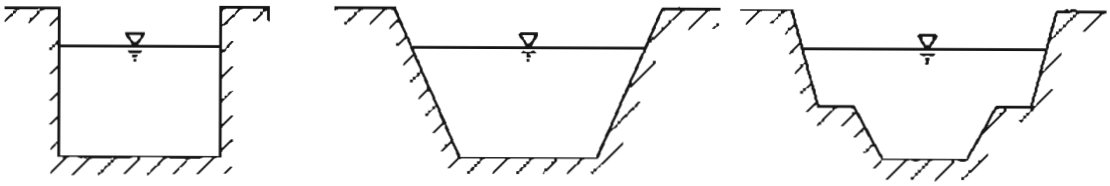
$$Q_p = \phi S_p F^{2/3} \qquad \cdots\cdots(4)$$

当 $F < 3\ km^2$ 时，

$$Q_p = \phi S_p F \qquad \cdots\cdots(5)$$

式中：各量同式(3)。

6.2.1.3 排水沟断面形状可为矩形、梯形、复合型及U形等(图1)。梯形、矩形断面排水沟，易于施工，维修清理方便，具有较大的水力半径和输移力，在滑坡防治排水工程设计时应优先考虑。



(a) 矩形断面　　(b) 梯形断面　　(c) 复合型断面

图 1　滑坡地面排水沟断面形状示意图

6.2.1.4 地表排水工程水力设计，应首先对排水系统各主、支沟段控制的汇流面积进行分割计算，并根据设计降雨强度和校核标准分别计算各主、支沟段汇流量和输水量，在此基础上，确定排水沟断面或校核已有排水沟过流能力。

6.2.1.5 排水沟过流量计算公式为式(6)。

$$Q = WC\sqrt{Ri} \qquad \cdots\cdots(6)$$

式中：

Q——过流量(m^3/s)；

W——过流断面面积(m^2)；

C——流速系数(m/s)；

R——水力半径(m)；

i——水力坡降，宜采用下列二式计算：

a) 巴甫洛夫斯基公式：

$$C = R^y/n \qquad \cdots\cdots(7)$$

式中，y 为与 n、R 有关的指数。

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.10) \qquad \cdots\cdots(8)$$

b) 满宁公式：

$$C = R^{1/6}/n \qquad \cdots\cdots(9)$$

式(7)和式(8)中：

R——水力半径(m)；

n——糙率。

对刚性材料的排水沟，n 的取值，建议采用 DL/T 5166—2002《溢洪道设计规范》、SL 18—2004《渠道防渗工程技术规范》的推荐数值。

6.2.1.6 外围截水排水沟应设置在滑坡体或老滑坡后缘，远离裂缝 5 m 以外的稳定斜坡面上。依地形而定，平面上多呈"人"字形展布。沟底比降无特殊要求，以能顺利排除拦截的地表水为原则。根据外围坡体结构，截水沟迎水面需设置泄水孔，推荐尺寸为 100 mm×100 mm～300 mm×300 mm。

6.2.1.7 当排水沟通过裂缝时，应设置成叠瓦式的沟槽，可用土工合成材料或钢筋混凝土预制板制成。

6.2.1.8 有明显开裂变形的坡体，应及时用粘土或水泥浆填实裂缝，整平积水坑、洼地，使降雨能迅速沿排水沟汇集、排走。

6.2.1.9 滑坡体上若有水田，应改为旱地耕作。若有积水的池、塘、库，应停止耕作。滑坡体后缘（外围），若分布有可能影响滑坡的积水的池、塘、库时，宜停止耕作；否则其底和周边均应实施防渗工程。

6.2.1.10 排水沟进出口平面布置，宜采用喇叭口或八字形导流翼墙。导流翼墙长度可取设计水深的3～4倍。

6.2.1.11 当排水沟断面变化时，应采用渐变段衔接，其长度可取水面宽度之差的5～20倍。

6.2.1.12 排水沟的安全超高，不宜小于0.4 m，最小不应小于0.3 m；对弯曲段凹岸，应考虑水位壅高的影响。

6.2.1.13 排水沟弯曲段的弯曲半径，不应小于最小容许半径及沟底宽度的5倍。最小容许半径可按式(10)计算：

$$R_{min} = 1.1v^2A^{1/2} + 12 \qquad \cdots\cdots(10)$$

式中：

R_{min}——最小容许半径(m)；

v——沟道中水流流速(m/s)；

A——沟道过水断面面积(m^2)。

6.2.1.14 在排水沟纵坡变化处，应避免上游产生壅水。断面变化，宜改变沟道宽度，深度保持不变。

6.2.1.15 设计排水沟的纵坡，应根据沟线、地形、地质以及与山洪沟连接条件等因素确定，并进行抗冲刷计算。当自然纵坡大于1∶20或局部高差较大时，可设置陡坡或跌水。

6.2.1.16 跌水和陡坡进出口段，应设导流翼墙，与上、下游沟渠护壁连接。梯形断面沟道，多做成渐变收缩扭曲面；矩形断面沟道，多做成"八"字墙形式。

6.2.1.17 陡坡和缓坡连接剖面曲线，应根据水力学计算确定；跌水和陡坡段下游，应采用消能和防冲措施。当跌水高差在5 m以内时，宜采用单级跌水；跌水高差大于5 m时，宜采用多级跌水。

6.2.1.18 排水沟，宜用浆砌片石或块石砌成；地质条件较差、如坡体松软段，可用毛石混凝土或素混凝土修建。砌筑排水沟砂浆的标号，宜用M7.5～M10。对坚硬块片石砌筑的排水沟，可用比砌筑砂浆高1级标号的砂浆进行勾缝，且以勾阴缝为主。毛石混凝土或素混凝土的标号，宜用C10～C15。

6.2.1.19 陡坡和缓坡段沟底及边墙，应设伸缩缝，缝间距为10 m～15 m。伸缩缝处的沟底，应设齿前墙，伸缩缝内应设止水或反滤盲沟或同时采用。

6.2.2 地下排水

6.2.2.1 当滑坡体表层有积水湿地和泉水露头时，可将排水沟上端做成渗水盲沟，伸进湿地内，达到疏干湿地内上层滞水的目的。渗水盲沟，应采用不含泥的块石、碎石填实，两侧和顶部做反滤层(图2)。

6.2.2.2 为拦截滑坡体后山和滑坡体后部深层地下水及降低滑坡体内地下水位，应将横向拦截排水隧硐修于滑坡体后缘滑动面以下，与地下水流向基本垂直；纵向排水疏干隧硐，可建在滑坡体(或老滑坡)内，两侧设置与地下水流向基本垂直的分支截排水隧硐和仰斜排水孔。配有排水孔的截排水隧硐，其排水能力可由式(11)计算(图3)：

$$Q = \frac{1.36K(2H - S_w)S_w}{\lg(d/\pi r_w) + 1.36b_1b_2/d\,b} \qquad \cdots\cdots(11)$$

式中：

Q——单井涌水量(m^3/d)；

K——渗透系数(m/d)；

H——水头或潜水含水层厚度(m)；

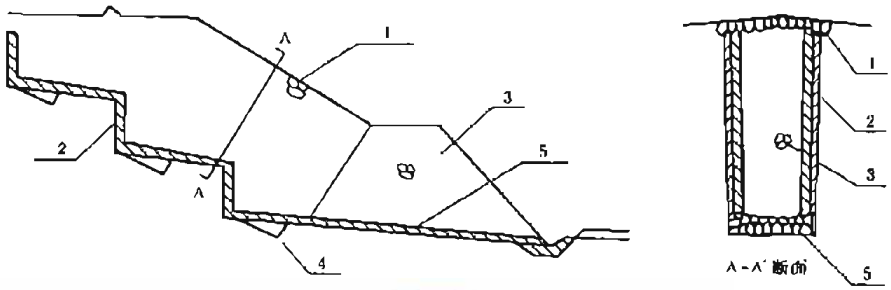
S_w——排水孔中水位降深(m)；

d——井距之半(m)；

r_w——井半径(m)；

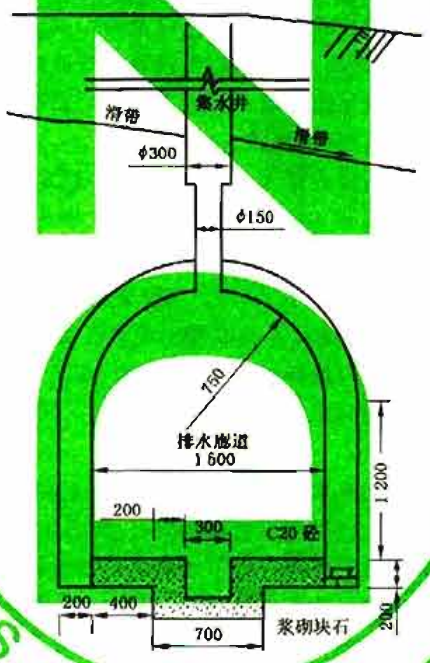
b_1——井排至排泄边界的距离(m)；

b_2——井排至补给边界的距离(m)。



1——大块干砌片石；
2——反滤层；
3——干砌片石；
4——浆砌片石；
5——牙石。

图 2　滑坡地下排水支撑盲沟断面示意图



注：图中数字单位为毫米。

图 3　滑坡地下排水廊道剖面示意图

6.2.2.3　对于规模小、滑面埋深较浅的滑坡，宜采用支撑盲沟排除滑坡体内地下水。

a)　支撑盲沟长度计算

采用公式(12)：

$$L=\frac{K_1 T\cos\alpha - T\sin\alpha\tan\phi}{\gamma h b\tan\phi} \qquad \cdots\cdots(12)$$

式中：

L——支撑盲沟长度(m)；

K_1——设计安全系数，取值 1.3；

T——作用于盲沟上的滑坡推力(kN)；

α——支撑盲沟后的滑坡滑动面倾角(°)；

ϕ——盲沟基础与地基内摩擦角(°)；

γ——盲沟内填料容量，采用浮容量(kN/m³)；

h、b——支撑盲沟的高、宽(m)。

b) 支撑盲沟排除地下水的出水量计算

1) 当设计盲沟长度大于50 m时：

$$Q = LK\frac{H^2 - h^2}{2R} \qquad \cdots\cdots(13)$$

式中：

Q——盲沟出水量(m³/d)；

L——盲沟长度(m)；

K——渗透系数(m/d)；

H——含水层厚度(m)；

h——动水位至含水层底板的高度(m)；

R——影响半径(m)。

2) 当设计盲沟长度小于50 m时，

$$Q = 0.685K\frac{H^2 - h^2}{\lg\left(\frac{R}{0.25L}\right)} \qquad \cdots\cdots(14)$$

式中的公式中符号意义同式(13)。

6.3 排水工程施工

6.3.1 地表排水

6.3.1.1 地表排水工程施工，首先应按设计要求，选定位置，确定轴线。然后按设计图纸尺寸、高程量定开挖基础范围，准确放出基脚大样尺寸，进行土方开挖与沟体砌(浇)筑。宜根据土质结构进行放坡。

6.3.1.2 开挖土方基坑时，应留够稳定边坡，以防滑塌。对淤泥质土、软粘土、淤泥等松软土层，应尽量挖除。重要的大落差跌水、陡坡地基，还可夯压加固处理。

6.3.1.3 填方基础，应按规定尺寸分层夯实，达到设计要求，并做必要的土样测试检验。

6.3.1.4 石方开挖中，打炮眼、装炸药和爆破等工序，应严格按照有关爆破操作规程进行，以杜绝工伤事故。

6.3.1.5 开挖出的沟基，如地基承载力达不到设计要求时，应进行地基处理加固。如除泥换土，填砂砾石料，扰动土夯实、灰土夯实，打木桩，混凝土桩等。

6.3.1.6 排水沟底板和边墙砌筑为人工操作，质量不易均匀。砌筑工艺总的要求为：平(砌筑层面大体平整)、稳(块石大面向下，安放稳实)、紧(石块间应靠紧)、满(石缝要以砂浆填满捣实，不留空隙)。

6.3.1.7 砌砖宜用座浆法，砌片石用座浆法或灌浆法，石料或砖，使用前应洗刷干净。

6.3.1.8 砌石时，基础应敷设50 mm～80 mm砂浆垫层。第一层宜选用较大片石；分层砌筑，每层厚约250 mm～300 mm，由外向里，先砌面石，再灌浆塞实，铺灰座浆要牢实。

6.3.1.9 砌片石(砖)时，应注意纵、横缝互相错开，每层横缝厚度保持均匀。未凝固的砌层，避免震动。

6.3.1.10 应勾缝的砌石面，在砂浆初凝后，应将灰缝抠深30 mm～50 mm，清净湿润，然后填浆勾阴缝。

6.3.2 地下排水

6.3.2.1 地下排水隧硐施工时，当地层比较完整、地质条件较好时，开挖、衬砌和灌浆三个施工过程可依次进行，即先将隧硐全部挖通，以后再进行衬砌和灌浆；但当岩层破碎、地质条件不良时，应边开挖边衬砌。

6.3.2.2 隧硐开挖，可依据滑坡具体地质情况，选择人工开挖方法或钻孔爆破方法进行；当使用钻孔爆

破法时，应根据岩层完整程度，确定全断面开挖或导洞开挖；在地下水比较丰富的地段，宜采用下导洞开挖。

6.3.2.3 对于不稳定地层，在开挖爆破后，永久衬砌前，应采用木支撑、钢支撑或喷混凝土锚杆支护等临时支护措施。

6.3.2.4 在特别软弱或大量涌水的地层中开挖隧硐，应采用超前灌浆或管棚加固方法，先将地层预先加固，然后再进行开挖。

6.3.2.5 隧硐浇砌，应沿轴线方向分段进行。当结构设有永久缝时，按永久缝施工和设置止水。如永久缝间距过大或无永久缝时，应设临时施工缝分段浇砌，段长宜为 8 m～15 m。为避免窝工，可采用跳仓浇砌。在横断面上，浇砌顺序应为先底拱、后边墙和顶拱；因地质条件差，也可先顶拱、后边墙，最后底拱。

6.3.2.6 支撑盲沟施工时，开挖基础应置于滑动面 0.5 m 以下的稳定地基上。基底纵向为台阶式，每级台阶长度不应小于 4 m，放坡系数控制在 0.05 以内。

6.3.2.7 支撑盲沟基础砌筑，宜每隔 1 m～3 m 设一牙石凸榫，可采用 100 mm～200 mm 填料片石；沟壁砂砾石反滤层厚度不应低于 150 mm。

7 抗滑桩

7.1 一般规定

7.1.1 抗滑桩是滑坡防治工程中较常采用的一种措施。采用抗滑桩对滑坡进行分段阻滑时，每段宜以单排布置为主，若弯矩过大，应采用预应力锚拉桩。

7.1.2 抗滑桩桩长宜小于 35 m。对于滑带埋深大于 25 m 的滑坡，采用抗滑桩阻滑时，应充分论证其可行性。

7.1.3 抗滑桩间距（中对中）宜为 5 m～10 m。抗滑桩嵌固段应嵌入滑床中，约为桩长的 1/3～2/5。为了防止滑体从桩间挤出，应在桩间设钢筋砼或浆砌块石拱形挡板。在重要建筑区，抗滑桩之间应用钢筋砼联系梁联接，以增强整体稳定性。

7.1.4 抗滑桩截面形状以矩形为主，截面宽度一般为 1.5 m～2.5 m，截面长度一般为 2.0 m～4.0 m。当滑坡推力方向难以确定时，应采用圆形桩。

7.1.5 抗滑桩按受弯构件设计。对于利用抗滑桩作为建筑物桩基的工程，即“承重阻滑桩”，应进行桩基竖向承载力、桩基沉降、水平位移和挠度验算，并考虑地面附加荷载对桩的影响。

7.2 抗滑桩设计

7.2.1 抗滑桩所受推力可根据滑坡的物质结构和变形滑移特性，分别按三角形、矩形或梯形分布考虑。

7.2.2 抗滑桩设计荷载包括：滑坡体自重、孔隙水压力、渗透压力、地震力等。对于跨越库水位线的滑坡，应考虑库水位变动时对滑坡体产生的渗透压力。

7.2.3 抗滑桩推力应按滑坡滑动面类型选用相应的推力计算公式（见附录 A）。

7.2.4 抗滑桩桩前应进行土压力计算。若被动土压力小于滑坡剩余抗滑力时，桩的阻滑力按被动土压力考虑。被动土压力计算公式如式（15）：

$$E_p = \frac{1}{2}\gamma_1 \times h_1^2 \times \tan^2(45 + \phi_1/2) \qquad \cdots\cdots(15)$$

式中：

E_p——被动土压力（kN/m）；

γ_1、ϕ_1——分别为桩前岩土体的容重（kN/m³）和内摩擦角（°）；

h_1——抗滑桩受荷段长度（m）。

7.2.5 布置于地表水体水位一带的抗滑桩可不考虑滑体前缘的抗力，即抗滑力为 0，但应进行嵌固段侧压力验算。

7.2.6 抗滑桩受荷段桩身内力应根据滑坡推力和阻力计算，嵌固段桩身内力根据滑面处的弯矩和剪力按地基弹性的抗力地基系数(K)概念计算，简化式为式(16)：

$$K = m(y + y_0)^n \qquad \cdots\cdots(16)$$

式中：

m—— 地基系数随深度变化的比例系数；

y——嵌固段距滑带深度(m)；

y_0——与岩土类别有关的常数(m)；

n——随岩土类别变化的常数，如0，0.5，1……

地基系数与滑床岩体性质相关，可概括为下列情况：

a) K法。地基系数为常数K，即$n=0$。滑床为较完整的岩质和硬粘土层。

b) m法。地基系数随深度呈线性增加，即$n=1$。一般地，简化为$K=my$。滑床为硬塑-半坚硬的砂粘土、碎石土或风化破碎成土状的软质岩层。

c) 当$0<n<1$时，K值随深度为外凸的抛物线，按这种规律变化的计算方法通常称为C法；当$n>1$时，K值随深度为内凸的抛物线变化。

抗滑桩地基系数的确定可简化为K法和m法两种情况。若采用C法，应通过现场试验确定。

7.2.7 抗滑桩嵌固段桩底支承根据滑床岩土体结构及强度，可采用自由端、铰支端或固定端。

7.2.8 抗滑桩的稳定性与嵌固段长度、桩间距、桩截面宽度、以及滑床岩土体强度有关，可用围岩允许侧压力公式判定：

a) 较完整岩体、硬质粘土岩等：

$$\sigma_{max} \leqslant \rho_1 \times R \qquad \cdots\cdots(17)$$

式中：

σ_{max}——嵌固段围岩最大侧向压力值(kPa)；

ρ_1——折减系数，取决于岩土体裂隙、风化及软化程度，沿水平方向的差异性等，一般为0.1～0.5；

R——岩石单轴抗压极限强度(kPa)。

b) 一般土体或严重风化破碎岩层：

$$\sigma_{max} \leqslant \rho_2 \times (\sigma_p - \sigma_a) \qquad \cdots\cdots(18)$$

式中：

σ_{max}——嵌固段围岩最大侧向压力值(kPa)；

ρ_2——折减系数，取决于土体结构特征和力学强度参数的精度，宜取值为0.5～1.0；

σ_p——桩前岩土体作用于桩身的被动土压应力(kPa)；

σ_a——桩后岩土体作用于桩身的主动土压应力(kPa)。

7.2.9 抗滑桩嵌固段的极限承载能力与桩的弹性模量、截面惯性矩和地基系数相关。在进行内力计算时，应判定抗滑桩属刚性桩还是弹性桩，以选取适当的内力计算公式。判定式如下：

a) 按"K"法计算，即地基系数为常数时，

当$\beta h_2 \leqslant 1.0$，属刚性桩；

当$\beta h_2 > 1.0$，属弹性桩。

其中，β为桩的变形系数(m^{-1})，其值为：

$$\beta = (KB_p/4EI)^{1/4} \qquad \cdots\cdots(19)$$

式中：

K——地基系数(kN/m^3)；

B_p——桩正面计算宽度(m)，矩形桩$B_p=B+1$，圆形桩$B_p=0.9(B+1)$；

E——桩弹模(kPa)；

I——桩截面惯性矩(m^4)。

b) 按“m”法计算，即地基系数为三角形分布时，

当 $ah_2 \leqslant 2.5$，属刚性桩；当 $ah_2 > 2.5$，属弹性桩。

其中 a——桩的变形系数，(m^{-1})，其值为：

$$\alpha = (mB_p/EI)^{1/5} \qquad \cdots\cdots(20)$$

式中：

m——地基系数随深度变化的比例系数(kN/m^4)；

其余符号注释同式(19)。

7.2.10 当滑坡对抗滑桩产生的弯矩过大时，推荐采用预应力锚拉桩(见图4)。其桩身可按弹性桩计算，但根据施加预应力的大小，抗滑桩配筋与上两种桩型明显不同。

7.2.11 锚拉桩宜按超静定体系设计，将桩视为下端弹性嵌固于岩质滑床，上端锚索(杆)视为一弹性支座。桩在外荷载作用下，对桩锚和地基按弹性协调变形计算，求出各部分内力和位移。

7.2.12 矩形抗滑桩纵向受拉钢筋配置数量应根据弯矩图分段确定，其截面积按如下公式计算：

$$A_s = \frac{K_1 M}{\gamma_s f_y h_0} \qquad \cdots\cdots(21)$$

或

$$A_s = \frac{K_1 \xi f_{cm} b h_0}{f_y} \qquad \cdots\cdots(22)$$

且要求满足条件 $\xi \leqslant \xi_b$。

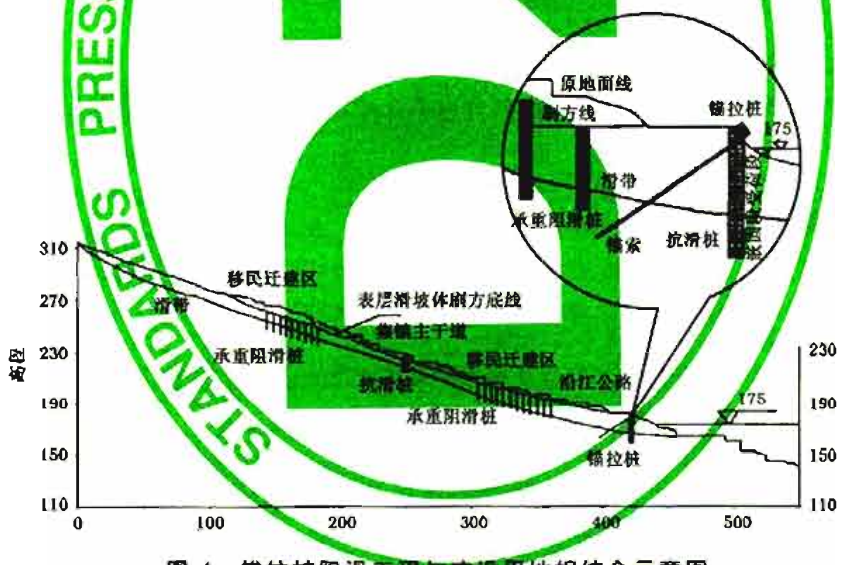


图4 锚拉桩阻滑工程与建设用地相结合示意图

当采用直径 $d \leqslant 25$ mm HRB335级热轧钢筋时，相对界限受压区高度系数 $\xi_b = 0.544$；当采用直径 $d = 28$ mm～40 mm HRB335级热轧钢筋时，相对界限受压区高度系数 $\xi_b = 0.566$。α_s、ξ、γ_s 计算系数由下式给定：

$$\alpha_s = \frac{K_1 M}{f_{cm} b h_0^2} \qquad \cdots\cdots(23)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s} \qquad \cdots\cdots(24)$$

$$\gamma_s = \frac{1+\sqrt{1-2\alpha_s}}{2} \qquad \cdots\cdots(25)$$

式中：

A_s——纵向受拉钢筋截面面积(mm^2)；

M——抗滑桩设计弯矩(N·mm)；

f_y——受拉钢筋抗拉强度设计值(N/mm^2)；

f_{cm}——砼弯曲抗压强度设计值(N/mm^2)；

h_0——抗滑桩截面有效高度(mm)；

b——抗滑桩截面宽度(mm)；

k_1——抗滑桩受弯强度设计安全系数，取 1.05。

7.2.13 矩形抗滑桩应进行斜截面抗剪强度验算，以确定箍筋的配置。其计算公式为：

$$V_{cs} = 0.7 f_t b h_0 + 1.5 f_{yv} \frac{A_{sv}}{S} h_0 \qquad \cdots\cdots(26)$$

且要求满足条件

$$0.25 f_c b h_0 \geqslant K_2 V \qquad \cdots\cdots(27)$$

式中：

V——抗滑桩设计剪力(N)；

V_{cs}——抗滑桩斜截面上砼和箍筋受剪承载力(N)；

f_t——砼轴心抗拉设计强度值(N/mm^2)；

f_{yv}——箍筋抗拉设计强度设计值(N/mm^2)，取值不大于 310 N/mm^2；

h_0——抗滑桩截面有效高度(mm)；

b——抗滑桩截面宽度(mm)；

A_{sv}——配置在同一截面内箍筋的全部截面面积(mm^2)；

S——抗滑桩箍筋间距(mm)；

K_2——抗滑桩斜截面受剪强度设计安全系数，取 1.10。

7.3 抗滑桩构造

7.3.1 为保护环境，桩顶宜埋置于地面以下 0.5 m，但应保证滑坡体不越过桩顶。当有特殊要求时，如作为建筑物基础等，桩顶可高于地面。

7.3.2 桩身混凝土可采用普通混凝土。当施工许可时，也可采用预应力混凝土。桩身混凝土的强度宜采用 C20、C25 或 C30。地下水或环境土有侵蚀性时，水泥应按有关规定选用。

7.3.3 纵向受拉钢筋应采用Ⅱ级以上的带肋钢筋或型钢。

7.3.4 纵向受拉钢筋直径应大于 16 mm。净距应在 120 mm～250 mm 之间。如用束筋时，每束不宜多于三根。如配置单排钢筋有困难时，可设置两排或三排，排距宜控制在 120 mm～200 mm 之内。钢筋笼的混凝土保护层应大于 50 mm。

7.3.5 纵向受拉钢筋的截断点应在按计算不需要该钢筋的截面以外，其伸出长度应不小于表 6 规定的数值。

7.3.6 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，以满足斜截面的抗剪强度。

7.3.7 箍筋宜采用封闭式。肢数不宜多于三肢，其直径在 10 mm～16 mm 之间，间距应小于 500 mm。

7.3.8 钢筋应采用焊接、螺纹或冷挤压连接。接头类型以对焊、帮条焊和搭接焊为主。当受条件限制，应在孔内制作时，纵向受力钢筋应以对焊或螺纹连接为主。

表 6 纵向受拉钢筋的最小搭接长度 单位为毫米

钢筋类型		混凝土强度等级		
		C20	C25	≥C30
HPB235 级钢筋		30d	25d	20d
月牙纹	HRB335 级钢筋	40 d	35 d	30 d
	HBR400 级钢筋	45 d	40 d	35 d

注 1：表中 d 为钢筋直径。

注 2：月牙纹钢筋直径 d>25 mm 时，其伸出长度应按表中数值增加 5 d 采用。

7.3.9 桩的两侧及受压边，应适当配置纵向构造钢筋，其间距宜为 400 mm～500 mm，直径不应小于 12 mm。桩的受压边两侧，应配置架立钢筋，其直径不宜小于 16 mm。

7.3.10 当采用预应力混凝土时，应符合下列要求：

a) 预应力施加方法宜采用后张法。如采用先张法时，应充分论证其可靠性；

b) 预应力筋宜为低松弛高强钢绞线；

c) 下端锚固于桩身下部 3 m～5 m 范围内。锚固段内，根据计算布置钢筋网片；

d) 上段锚固应选用可靠的锚具，并在锚固部位预埋钢垫板。垫板应与锚孔垂直；

e) 水泥砂浆强度等级不应低于 M25。

7.4 抗滑桩施工

7.4.1 抗滑桩应严格按设计图施工。应将开挖过程视为对滑坡进行再勘查的过程，及时进行地质编录，以利于反馈设计。

7.4.2 抗滑桩施工包含以下工序：施工准备、桩孔开挖、地下水处理、护壁、钢筋笼制作与安装、混凝土灌注、混凝土养护等。

7.4.3 施工准备应按下列要求进行。

a) 按工程要求进行备料，选用材料的型号、规格符合设计要求，有产品合格证和质检单；

b) 钢筋应专门建库堆放，避免污染和锈蚀；

c) 使用普通硅酸盐水泥。

7.4.4 桩孔以人工开挖为主，并按下列原则进行：

a) 开挖前应平整孔口，并做好施工区的地表截、排水及防渗工作。雨季施工时，孔口应加筑适当高度的围堰；

b) 采用间隔方式开挖，每次间隔 1～2 孔；

c) 按由浅至深、由两侧向中间的顺序施工；

d) 松散层段原则上以人工开挖为主，孔口做锁口处理，桩身作护壁处理。基岩或坚硬孤石段可采用少药量、多炮眼的松动爆破方式，但每次剥离厚度不宜大于 30 cm。开挖基本成型后再人工刻凿孔壁至设计尺寸；

e) 根据岩土体的自稳性、可能日生产进度和模板高度，经过计算确定一次最大开挖深度。一般自稳性较好的可塑——硬塑状粘性土、稍密以上的碎块石土或基岩中为 1.0 m～1.2 m；软弱的粘性土或松散的、易垮塌的碎石层为 0.5 m～0.6 m；垮塌严重段宜先注浆后开挖；

f) 每开挖一段应及时进行岩性编录，仔细核对滑面(带)情况，综合分析研究，如实际情况与设计有较大出入时，应将发现的异常及时向建设单位和设计人员报告，及时变更设计。实挖桩底高程应会同设计、勘查等单位现场确定；

g) 弃渣可用卷扬机吊起，吊斗的活门应有双套防开保险装置，吊出后应立即运走，不得堆放在滑坡体上，防止诱发次生灾害。

7.4.5 桩孔开挖过程中应及时排除孔内积水。当滑体的富水性较差时，可采用坑内直接排水；当富水性好，水量很大时，宜采用桩孔外管深降排水。

7.4.6 桩孔开挖过程中应及时进行钢筋混凝土护壁，宜采用C20砼。护壁的单次高度根据一次最大开挖深度确定，一般为1.0 m～1.5 m。护壁厚度应满足设计要求，一般为100 mm～200 mm，应与围岩接触良好。护壁后的桩孔应保持垂直、光滑。

7.4.7 钢筋笼的制作与安装可根据场地的实际情况按下列要求进行。

a) 钢筋笼尽量在孔外预制成型，在孔内吊放竖筋并安装，孔内制作钢筋笼应考虑焊接时的通风排烟；

b) 竖筋的接头采用双面搭接焊、对焊或冷挤压，接头点需错开；

c) 竖筋的搭接处不得放在土石分界和滑动面(带)处；

d) 孔内渗水量过大时，应采取强行排水、降低地下水位措施。

7.4.8 桩芯混凝土灌注。应符合下列要求：

a) 待灌注的桩孔应经检查合格；

b) 所准备的材料应满足单桩连续灌注；

c) 当孔底积水厚度小于100 mm时，可采用干法灌注，否则应采取措施处理；

d) 当采用干法灌注时，混凝土应通过串筒或导管注入桩孔，串筒或导管的下口与混凝土面的距离为1 m～3 m；

e) 桩身混凝土灌注应连续进行，不留施工缝；

f) 桩身混凝土，每连续灌注0.5 m～0.7 m时，应插入振动器振捣密实一次；

g) 对出露地表的抗滑桩应按有关规定进行养护，养护期应在7 d以上。

7.4.9 桩身混凝土灌注过程中，应取样做混凝土试块。每班、每百立方米或每搅百盘取样应不少于一组。不足百立方米时，每班都应取。

7.4.10 当孔底积水深度大于100 mm，但有条件排干时，应尽可能采取增大抽水能力或增加抽水设备等措施进行处理。

7.4.11 若孔内积水难以排干，应采用水下灌注方法进行混凝土施工，保证桩身混凝土质量。

7.4.12 水下混凝土应具有良好的和易性，其配合比按计算和试验综合确定。水灰比宜为0.5～0.6，坍落度宜为160 mm～200 mm，砂率宜为40%～50%，水泥用量不宜少于350 kg/m³。

7.4.13 灌注导管应位于桩孔中央，底部设置性能良好的隔水栓。导管直径宜为250 mm～350 mm，导管使用前应进行试验，检查水密、承压和接头抗拉、隔水等性能。进行水密试验的水压不应小于孔内水深的1.5倍压力。

7.4.14 水下混凝土灌注应按下列要求进行：

a) 为使隔水栓能顺利排出，导管底部至孔底的距离宜为250 mm～500 mm；

b) 为满足导管初次埋置深度在0.8 m以上，应有足够的超压力能使管内混凝土顺利下落并将管外混凝土顶升；

c) 灌注开始后，应连续地进行，每根桩的灌注时间不应超过表7的规定：

表7 单根抗滑桩的水下混凝土灌注时间

灌注量/m³	<50	100	150	200	250	≥300
灌注时间/h	≤5	≤8	≤12	≤16	≤20	≤24

d) 灌注过程中，应经常探测井内混凝土面位置，力求导管下口埋深在2 m～3 m，不得小于1 m；

e) 对灌注过程中的井内溢出物，应引流至适当地点处理，防止污染环境。

7.4.15 若桩壁渗水并有可能影响桩身混凝土质量时，灌注前宜采取下列措施予以处理：

a) 使用堵漏技术堵住渗水口。

b) 使用胶管、积水箱(桶),并配以小流量水泵排水。

c) 若渗水面积大,则应采取其他有效措施堵住渗水。

7.4.16 抗滑桩的施工应符合下列安全规定。

a) 监测应与施工同步进行,当滑坡出现险情,并危及施工人员安全时,应及时通知人员撤离;

b) 孔口应设置围栏,严格控制非施工人员进入现场,人员上下可用卷扬机和吊斗等升降设施,同时应准备软梯和安全绳备用,孔内有重物起吊时,应有联系信号,统一指挥,升降设备应由专人操作;

c) 井下工作人员应戴安全帽,且不宜超过2人;

d) 每日开工前应检测井下的有害气体,孔深超过10 m后,或10 m内有CO、CO_2、NO、NO_2、甲烷及瓦斯等有害气体并且含量超标或氧气不足时,均应使用通风设施向作业面送风,井下爆破后,应向井内通风,待炮烟粉尘全部排除后,方能下井作业;

e) 井下照明应采用36 V安全电压,进入井内的电气设备应接零接地,并装设漏电保护装置,防止漏电触电事故;

f) 井内爆破前,应经过设计计算,避免药量过多造成孔壁坍塌,应由已取得爆破操作证的专门技术工人负责。起爆装置宜用电雷管,若用导火索,其长度应能保证点炮人员安全撤离。

7.4.17 抗滑桩属于隐蔽工程,施工过程中,应做好滑带的位置,厚度等各种施工和检验记录。对于发生的故障及其处理情况,应记录备案。

8 预应力锚索

8.1 一般规定

8.1.1 预应力锚索是对滑坡体主动抗滑的一种技术。通过预应力的施加,增强滑带的法向应力和减少滑体下滑力,有效地增强滑坡体的稳定性。

8.1.2 预应力锚索主要由内锚固段、张拉段和外锚固段三部分构成。预应力锚索材料宜采用低松弛高强钢绞线加工,应满足GB/T 5224—2003《预应力混凝土用钢绞线》标准。

8.1.3 预应力锚索设置应保证达到所设计的锁定锚固力要求,避免由于钢绞线松弛而被滑坡体剪断;同时,应保证预应力钢绞线有效防腐,避免因钢绞线锈蚀导致锚索强度降低,甚至破断。

8.1.4 预应力锚索长度一般不超过50 m。单束锚索设计吨位宜为500 kN～2 500 kN级,不超过3 000 kN级。预应力锚索布置间距宜为4 m～10 m。

8.1.5 当滑坡体为堆积层或土质滑坡,预应力锚索应与钢筋砼梁、格构或抗滑桩组合作用。

8.1.6 预应力锚索设计时应进行拉拔试验。锚索试验内容包括内锚固段长度确定、砂浆配合比、拉拔时间、造孔钻机及钻具选定等。应根据公式计算和工程类比,选取合适的内锚固段长度,进行设计锚固力和极限锚固力试验,推荐合适的内锚固段长度和砂浆配合比是试验的主要内容。

8.2 预应力锚索设计

8.2.1 计算滑坡预应力锚固力前,应对未施加预应力的滑坡稳定系数进行计算,作为设计的依据。滑坡设计荷载包括:滑坡体自重、静水压力、渗透压力、孔隙水压力、地震力等。对跨越库水位线的滑坡,应考虑每年库水位变动时对滑坡体产生的渗透压力或动水压力。

8.2.2 预应力锚索极限锚固力通常由破坏性拉拔试验确定。极限拉拔力指锚索沿握裹砂浆或砂浆固结体沿孔壁滑移破坏的临界拉拔力;容许锚固力指极限锚固力除以适当的安全系数(通常为2.0～2.5),它将为设计锚固力提供依据,通常容许锚固力为设计锚固力的1.2～1.5倍;设计锚固力可根据滑坡体推力和安全系数确定。

8.2.3 预应力锚索将根据滑坡体结构和变形状况确定锁定值。即:

a) 当滑坡体结构完整性较好时,锁定锚固力可达设计锚固力的100%。

b) 当滑坡体蠕滑明显,预应力锚索与抗滑桩相结合时,锁定锚固力应为设计锚固力的

50%～80%。

c) 当滑坡体具崩滑性时，锁定锚固力应为设计锚固力的30%～70%。

8.2.4 预应力锚索设计锚固力的确定可分为两种情况。

a) 岩质滑坡

根据极限平衡法进行计算，应考虑预应力沿滑面施加的抗滑力和垂直滑面施加的法向阻滑力。稳定系数和锚固力计算公式见附录A。

b) 堆积层(包括土质)滑坡

根据传递系数法进行计算，考虑预应力锚索沿滑面施加的抗滑力，可不考虑垂直滑面产生的法向阻滑力。计算公式参见第7.2.3条。所需锚固力为：

$$T = P/\cos\theta \qquad \cdots\cdots(28)$$

式中：

T——设计锚固力(kN/m)；

P——滑坡推力(kN/m)；

θ——锚索倾角(°)。

8.2.5 内锚固段长度不宜大于10 m，可根据下列三种方法综合确定，其中经验类比方法更为重要。

a) 理论计算

1) 按锚索体从胶结体中拔出时，计算锚固长度(单位m)：

$$L_{m_1} = KT/\mu\pi dC_1 \qquad \cdots\cdots(29)$$

2) 按胶结体与锚索体一起沿孔壁滑移，计算锚固长度(单位m)：

$$L_{m_2} = KT/\pi DC_2 \qquad \cdots\cdots(30)$$

式中：

T——设计锚固力(kN)；

K——安全系数，取值2.0～4.0；

n——钢绞线根数；

d——钢绞线直径(mm)；

D——孔径(mm)；

C_1——砂浆与钢绞线允许粘结强度(MPa)；

C_2——砂浆与岩石的胶结系数(MPa)，为砂浆强度的1/10除以安全系数1.75～3.0。

b) 类比法

根据链子崖危岩体锚固工程等经验，推荐内锚固长度如表8。

表8 锚固长度推荐值表

序号	吨位	内锚固段长度
1	3 000 kN级以上	7 m～8 m
2	3 000 kN～2 000 kN级	6 m～7 m
3	2 000 kN～1 000 kN级	5 m～6 m
4	1 000 kN级以下	4 m～5 m

c) 拉拔试验

当滑坡体地质条件复杂，或防治工程重要时，可结合上述方法，并对锚索进行破坏性试验，以确定内

锚固段的合理长度。拉拔试验可分为7天、14天、28天三种情况进行，水灰比按0.38～0.45调配。

8.2.6 预应力锚索的最优锚固角

预应力锚索倾角主要由施工条件确定。也可根据两种方法综合考虑其最优倾角：

a) 理论公式

锚索倾角推荐公式如式(31)：

$$\theta = \alpha - (45° + \phi/2) \qquad \cdots\cdots(31)$$

式中：

θ——锚索倾角(°)；

α——滑面倾角(°)；

ϕ——滑面内摩擦角(°)。

b) 实际经验

对于自由注浆锚索，锚固角倾角应大于11°，否则应增设止浆环进行压力注浆。

8.2.7 群锚效应

预应力锚索的数量取决于滑坡产生的推力和防治工程安全系数。锚索间距宜大于4 m。若锚索间距小于4 m，应进行群锚效应分析。推荐公式如下：

a) 日本《VSL锚固设计施工规范》采用公式：

$$D = 1.5\sqrt{L \times d/2} \qquad \cdots\cdots(32)$$

b) 本规范推荐公式：

$$D = \ln(T^2 \times L/\rho) \qquad \cdots\cdots(33)$$

式中：

D——锚索最小间距(m)；

L——锚索长度(m)；

d——锚索钻孔孔径(m)；

T——设计锚固力(kN)；

ρ——修正系数，取10^5(kN^2×m)。

8.2.8 锚索内端排列

相邻锚索不宜等长设计，可根据岩体强度和完整性交错布置，长短差宜在2 m～5 m之间。

8.3 预应力锚索构造

8.3.1 预应力锚索所采用的钢绞线应符合国家标准(GB/T 5223—2002、GB/T 5224—2003)，7丝标准型钢绞线参数如表9。

表9 国标7丝标准型钢绞线参数表

公称直径/mm	公称面积/mm^2	每1000 m理论质量/kg	强度级别/(N·mm^{-2})	破坏荷载/kN	屈服荷载/kN	伸长率/%	70%破断荷载1 000 h的松弛/%
9.50	54.8	432	1 860	102	86.6	3.5	2.5
11.10	74.2	580	1 860	138	117	3.5	2.5
12.70	98.7	774	1 860	184	156	3.5	2.5
15.20	139.0	1 101	1 860	259	220	3.5	2.5

8.3.2 预应力锚索所采用的钢绞线亦可按照美国标准(ASTM A416—90a)、英国标准(BS5896:80)、日本标准(JIS G3536—88)执行。ASTM A 416—90a 7丝标准型钢绞线(270级)参数如表10。

表 10 ASTM A 416—90a7 丝标准型钢绞线(270 级)参数

公称直径 /mm	公称面积 /mm²	每 1000 m 理论质量 /kg	强度级别 /(N·mm⁻²)	破坏荷载 /kN	屈服荷载 /kN	伸长率/%	70%破断荷载 1 000 h 的松弛 /%
9.53	54.84	432	1 860	102.3	92.1	3.5	2.5
11.11	74.19	582	1 860	137.9	124.1	3.5	2.5
12.70	98.71	775	1 860	183.7	165.3	3.5	2.5
15.24	140.00	1 102	1 860	260.7	234.6	3.5	2.5

8.3.3 对中支架

预应力锚索应设置对中支架(架线环),避免钢绞线打缠和砂浆握裹效果降低。对中支架可用钢板或硬塑料加工。每间隔 1.5 m～3.0 m,设置一个对中支架。

8.3.4 注浆管

用高压胶管或塑料软管加工,直径 ϕ 宜为 25 mm。注浆完毕后,应拔出注浆管。

8.3.5 固结砂浆

固结砂浆用砂含泥量不应超过总重量的 3%;云母及轻物质含量不应超过总重量的 3%;有机质含量用比色法试验时,不应深于标准色。

8.3.6 添加剂

为了加速内锚固段的固结强度,可在砂浆中掺入无腐蚀性添加剂。

8.3.7 内锚固段及注浆

为了达到预应力锚索对滑带的加固效果,锚索张拉段应穿过滑带 2 m 以上,对于隐蔽型滑面的松散层滑坡,张拉段要求进入新鲜基岩面 1.5 m 以上,见图 A.4。

8.3.8 锚具

预应力锚索锚具品种较多,工程设计单位应在工程设计施工图上注明锚具的型号、标记和锚固性能参数。OVM 锚具的基本参数如表 11。

表 11 OVM 锚具基本参数表

单位为毫米

OVM 锚具	钢绞线直径	钢绞线根数	锚垫板 边长×厚度×内径	锚板 直径×厚度	波纹管 外径×内径
OVM15—6,7	15.2～15.7	6 根,7 根	200×180×140	135×60	77×70
OVM15—12	15.2～15.7	12 根	270×250×190	175×70	97×90
OVM15—19	15.2～15.7	19 根	320×310×240	217×90	107×100

8.4 预应力锚索施工

8.4.1 造孔

a) 孔径:预应力锚索孔径与钢绞线根数、砂浆保护层厚度和滑坡体结构有关。一般地:

5～10 根钢绞线构成的锚索,孔径为 75 mm～115 mm;

11～15 根钢绞线构成的锚索,孔径为 115 mm～135 mm;

15～20 根钢绞线构成的锚索,孔径为 135 mm～175 mm。

当滑坡体结构松散,或钻孔缩径明显时,可增大孔径。

b) 造孔采用锚杆工程钻机。按照锚索设计要求,将钻机固定,调整方位角及倾角,校核钻孔位置,然后将所有紧固件拧紧,就绪后即可开钻作业。

钻孔结束后,拔出钻杆和钻具。用一根含标尺的聚乙烯管复核孔深,并以高风压吹孔,或高压水洗孔。待孔内粉尘吹洗净,且孔深达到要求时,拔出聚乙烯管,并将孔口盖住备用。

8.4.2 造孔精度要求

a) 孔斜误差：成孔后，用孔斜仪量测，孔斜不超过 1/100；

b) 钻孔位置误差：小于 100 mm；

c) 钻孔倾角、水平角误差：与设计锚固轴线的倾角、水平角误差在±1°；

d) 孔深：应保证张拉段穿过滑带 2 m。

8.4.3 锚索加工（见图 5）

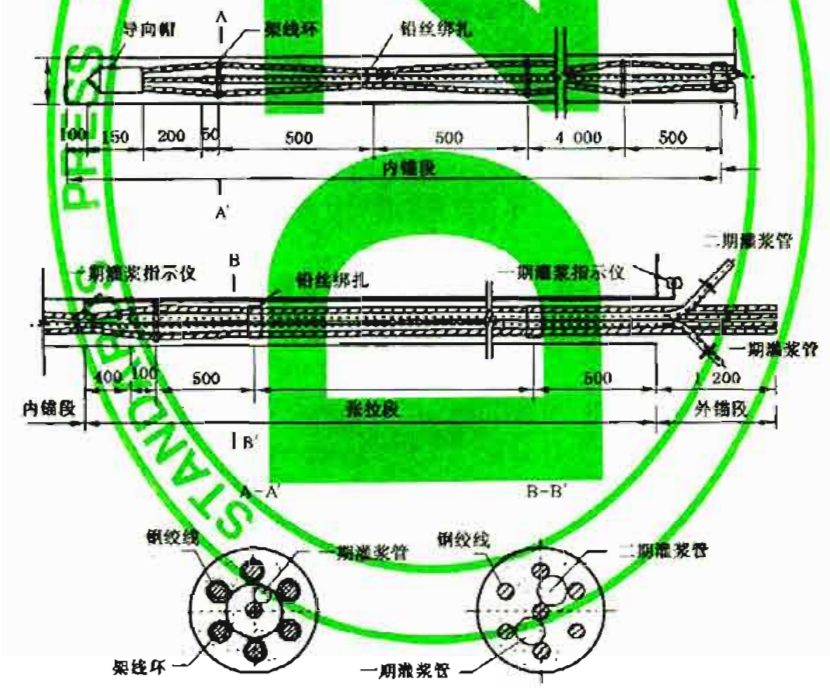
a) 钢绞线设计荷载：对于Ⅰ级滑坡防治工程，钢绞线设计荷载可按破坏荷载的 65%进行折减；对于Ⅱ、Ⅲ级滑坡防治工程，钢绞线设计荷载可按 65%～80%进行折减。

b) 钢绞线的截断：钢绞线的加工长度严格按照锚索参数表确定，包括内锚段（L_1）、张拉段（L_2）和外锚段（L_3）三部分。为便于千斤顶张拉，外锚段（L_3）长度宜大于 1.2 m。钢绞线用无齿锯（砂轮锯）截断。亦可用气割，但应避免烧伤钢绞线。

c) 锚索组装：在脚手架上进行。对于长度过大的锚索可在有棚架的场地上组装，然后搬运并吊装入孔。在平整场地上架设高约 0.5 m、宽 1.5 m 的工作台架，将截好的钢绞线平顺放在架上，逐根检查，凡有损伤的钢绞线均应剔除。

d) 锚索组装验收：组装好的锚索应有专人进行验收检查，并登记。检查长度、对中架安装、钢绞线有无重叠。合格后进行编号，作好标记，待入孔安装。

e) 锚索入孔：在入孔前，应校对锚索编号与孔号是否一致。确认孔深和锚索长度无误后，用导向探头探孔，无阻时，可进行锚索入孔。



注：数字单位为毫米。

图 5 1000 kN 级预应力锚索结构图

8.4.4 内锚固段固结灌浆

水泥砂浆胶结。水泥标号 525*、普通硅酸盐水泥。水灰比 0.4～0.5，灰砂比 3∶1。为加速进度，在浆液中可掺加 0.3‰～0.5‰的早强剂（占水泥重量），且要求 7 天抗压强度 $R_7 \geqslant 25$ MPa～30 MPa。

当锚索倾角小于 11°，或要求拉拔力较高时，可采用压力注浆方式，但应在内锚固段设置止浆环。

为了保证注浆均匀，注浆速度不宜太快。可用毫安表作一期注浆指示仪，但应保证两探头之间相隔

80 mm 以上，裸露部分不能与钢绞线接触。用含标尺的聚乙烯管复校内锚固段的灌浆长度，达不到要求时，应补浆。

所用砂浆应用搅拌机拌匀，使其达到规定指标，搅拌直至灌浆结束方可停止。在砂浆未完全固化前，不应拉拔和移动锚索。注浆完毕后，将一期灌浆管拔出。

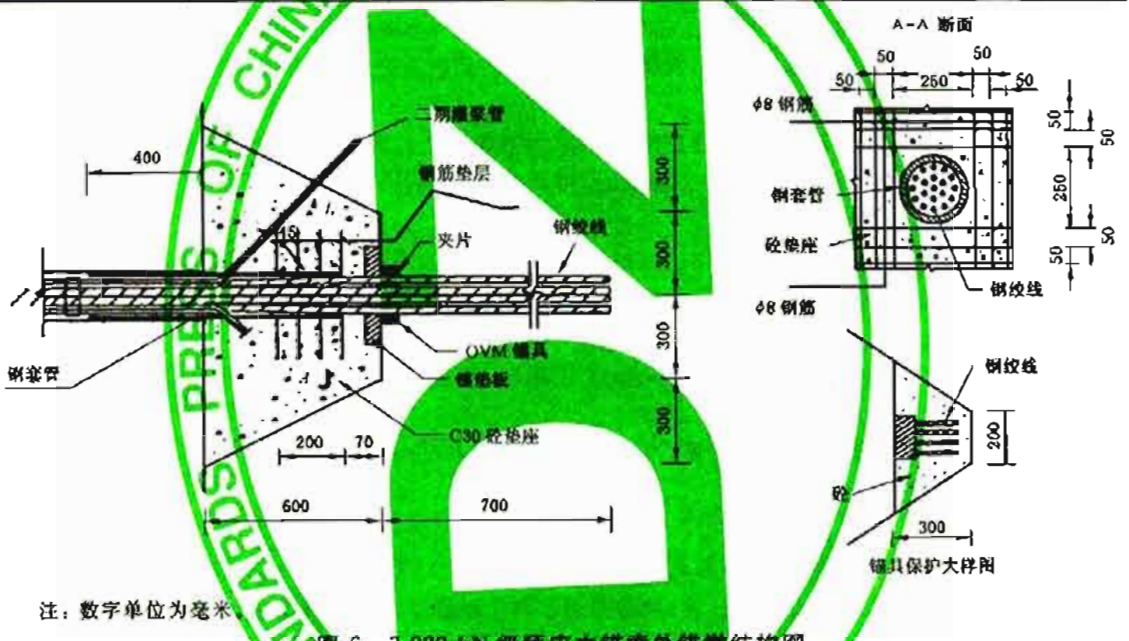
8.4.5 外锚墩打筑

采用 C25 号以上现浇钢筋混凝土结构，宜为梯形段面。其尺寸推荐如表 12。

外锚墩结构见图 6。

表 12 外锚墩尺寸

级/kN	底面积/m²	顶面积/m²	高/m	备 注
1 000	0.8×0.8	0.4×0.4	0.4	加二层钢筋网 φ8@50
2 000	1.0×1.0	0.5×0.5	0.5	加三层钢筋网 φ8@50
3 000	1.2×1.2	0.6×0.6	0.6	加四层钢筋网 φ8@50



注：数字单位为毫米。

图 6 3 000 kN 级预应力锚索外锚墩结构图

8.4.6 锚索张拉段及外锚墩防腐处理

滑坡体中的锚索，特别是位于库水位之下时，防腐处理极为重要。在锚索编束时，应对钢绞线张拉段预先进行防腐处理。张拉锁定后，进行二次灌浆。当砂浆达外锚墩时，可停止注浆。封孔口，从锚具最起，留 100 mm 的钢绞线，将多余段截除，外覆厚度不小于 100 mm 的水泥砂浆保护层。

8.4.7 锚索的张拉与锚固力锁定

在内锚固段浇浆 7 天后进行张拉。

a) 张拉作业前，应对张拉设备进行标定。标定时，千斤顶、油管、压力表和高压泵联好。在压力机上用千斤顶主动出力的方法反复三次，取平均值，绘出千斤顶出力(kN)与压力表指示压强曲线，作为锚索张拉的依据。标定时，千斤顶的最大出力应高于锚索超张拉时的值。

b) 先对锚索进行单根预张拉二次，以提高锚索各钢绞线的受力均匀度。对于 3 000 kN 级锚索，单根张拉为 30 kN；2 000 kN 级锚索，单根张拉为 20 kN；1 000 kN 级锚索，单根张拉为 10 kN。

c) 隔时分级施加荷载，直至压力表无返回现象时，方可进行锁定作业。若预应力损失过大，应进行整体张拉与重新锁定。

d) 锁定锚固力的大小可用两种方法确定：测力传感器直接测定及张拉锁定时预应力钢铰线变形量计算得出。计算公式如下：

$$P_x = P - 6(P_0 - P_i)/\Delta L \qquad \cdots\cdots(34)$$

式中：

P_x——锁定后可获得的预应力(kN)；

P——锚固所应张拉力(kN)；

P_0——最大张拉荷载(kN)；

P_i——初始张拉荷载(kN)；

ΔL——P_i 加载至 P_0 时的锚索回缩量(mm)，夹片回缩量为 6 mm。

8.4.8 当采用无粘结钢绞线加工锚索时，对张拉段不应进行专门的涂层防腐。可采用一次注浆方法安装锚索。

9 格构锚固

9.1 一般规定

9.1.1 格构锚固技术是利用浆砌块石、现浇钢筋砼或预制预应力砼进行坡面防护，并利用锚杆或锚索固定的一种滑坡综合防护措施。

9.1.2 格构技术应与美化环境结合，利用框格护坡，并在框格之间种植花草，达到美化环境的目的。同时，应与市政规划、建设相结合，在防护工程前沿，可规划为道路、广场或其他建设用地，在护坡工程体内，可预留管网通道。

9.1.3 根据滑坡结构特征，选定不同的护坡材料

a) 当滑坡稳定性好，但前缘表层开挖失稳，出现坍滑时，可采用浆砌块石格构护坡，并用锚杆固定；

b) 当滑坡稳定性差，且滑坡体厚度不大，宜用现浇钢筋砼格构＋锚杆(索)进行滑坡防护，应穿过滑带对滑坡阻滑；

c) 当滑坡稳定性差，且滑坡体较厚，下滑力较大时，应采用砼格构＋预应力锚索进行防护，并应穿过滑带对滑坡阻滑。

9.2 格构锚固设计

9.2.1 在对格构进行设计前，应对滑坡稳定系数进行计算，作为设计的依据。滑坡设计荷载包括：滑坡体自重、静水压力、渗透压力、孔隙水压力、地震力等。对于跨越库(江)水位线的滑坡应考虑每年库水位变动时对滑坡体产生的渗透压力。

9.2.2 对于整体稳定性好，并满足设计安全系数要求的滑坡，可采用浆砌块石格构进行护坡。采用经验类比法进行设计，前缘形成坡度不宜大于 35°，即 1∶1.5。当边坡高度超过 30 m 时，应设马道放坡，马道宽 2.0 m～3.0 m。

9.2.3 对于滑坡整体稳定性好，但前缘出现溜滑或坍滑，或坡度大于 35°时，可采用现浇钢筋砼格构进行护坡，并用锚杆(管)进行固定。采用经验类比和极限平衡法相结合的方法进行设计，锚杆(管)应穿过潜在滑面 1.5 m～2.0 m，采用全粘结灌浆。

9.2.4 对于滑坡整体稳定性差，且坡面应防护时，可采用现浇钢筋砼格构与锚杆或锚索进行防护。采用预应力锚索相同的锚固力计算公式确定锚固荷载时，宜采用单束锚杆或锚索设计吨位。采用简支梁或多跨连续梁公式计算两锚杆之间格构内力。

a) 格构弯矩设计值的确定

按典型剖面承受的土压力和锚杆设计锚固力计算。

b) 钢筋砼格构强度判定

格构提供的弯矩，

$$M = f_y A_{s1} \gamma_s h_0 + f'_y A'_{s1} (h_0 - a') \quad \cdots\cdots (35)$$

若

$$M > K M_{max} \quad \cdots\cdots (36)$$

则格构强度满足设计要求。

式中：

M_{max}——格构承受的弯矩设计值(10^{-6} kN·m)；

K——安全系数，取值为1.5；

f_y、f'_y——钢筋抗拉、抗压强度(N/mm²)；

A_{s1}、A'_{s1}——受拉钢筋、受压钢筋截面面积(mm²)；

γ_s——受拉区砼塑性影响系数；

h_0——截面有效高度(mm)；

a'——纵向受压钢筋合力砂浆保护层厚度(mm)。

9.2.5 对于滑坡整体稳定性差、滑坡推力过大、且前沿坡面应防护时，可采用预制预应力钢筋砼格构与锚索进行防护。采用与预应力锚索相同的锚固力计算公式确定锚固荷载，并推荐单束锚索的设计吨位。

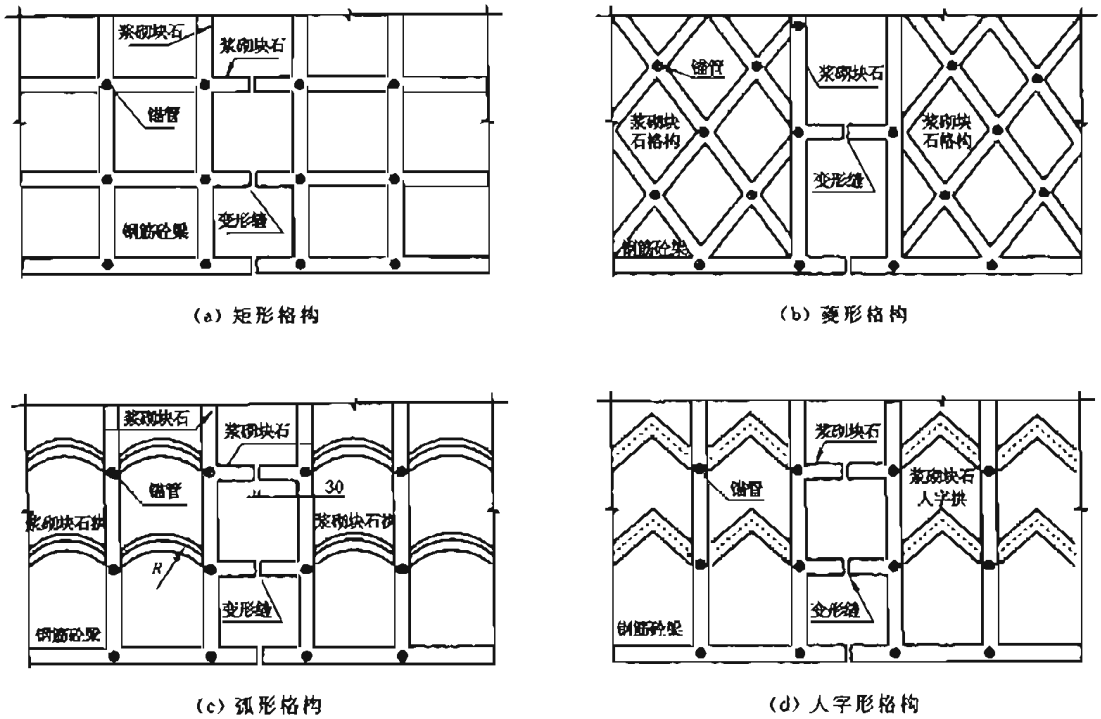
9.2.6 当格构梁承受较大滑坡推力时，宜按"倒梁法"进行设计，且预应力格构梁与滑体土的接触压应力，应小于地基承载力的特征值。

9.3 格构锚固构造

9.3.1 浆砌块石格构

9.3.1.1 型式

浆砌块石格构可分为下列型式(图7)。



(a) 矩形格构　　(b) 菱形格构

(c) 弧形格构　　(d) 人字形格构

图7 格构平面布置型式图

a) 方型：指顺边坡倾向和沿边坡走向设置方格状浆砌块石，格构水平间距应小于 3.0 m。

b) 菱型：指沿平整边坡坡面斜向设置浆砌块石，格构间距应小于 3.0 m。

c) 弧型：指顺边坡倾向设置浆砌块石条带，沿条带之间向上设置弧型浆砌块石拱，格构横向间距应小于 3.0 m。

d) 人字型：指顺边坡倾向设置浆砌块石条带，沿条带之间向上设置人字型浆砌块石拱；格构横向间距应小于 3.0 m。

9.3.1.2 浆砌块石设计

浆砌块石格构设计以类比法为主。采用断面高×宽不宜小于 300 mm×200 mm，最大不超过 450 mm×350 mm。水泥砂浆采用 M7.5，格构框条宜采用里肋式或柱肋式，并每 10 m～20 m 设一变形缝。

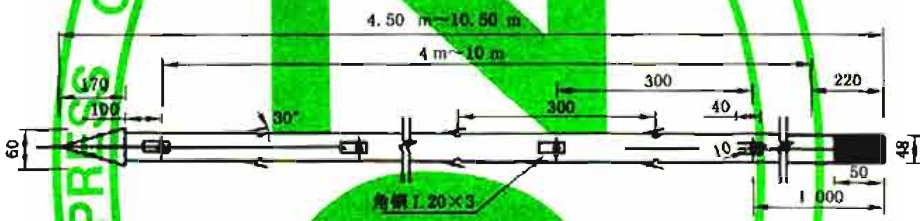
9.3.1.3 边坡坡度

浆砌块石格构边坡坡面应平整，坡度不宜大于 35°。当边坡高于 30 m，应设马道。

9.3.1.4 锚杆(管)

为了保证格构的稳定性，可根据岩土体结构和强度在格构节点设置锚杆，长度宜大于 4 m，全粘结灌浆。若岩土体较为破碎和易溜滑时，可采用锚管加固，全粘结灌浆，注浆压力宜为 0.5 MPa～1.0 MPa。锚杆(管)埋置在浆砌块石格构中(见图 8)。

9.3.1.5 注浆停止前应稳压至少 10 min，漏浆时应补浆。



注：未注数字单位为毫米。

图 8 格构锚管结构图

9.3.1.6 培土植草

为了美化环境和防护表层边坡，在格构间应培土和植草。

9.3.2 现浇钢筋砼格构

9.3.2.1 格构型式

现浇钢筋砼格构型式可分为(见图 7)。

a) 方型：指顺边坡倾向和沿边坡走向设置方格状钢筋砼梁。格构水平间距应小于 5.0 m。

b) 菱型：指沿平整边坡坡面斜向设置钢筋砼。格构间距应小于 5.0 m。

c) 弧型：指顺边坡倾向设置浆钢筋砼，沿条带之间向上设置弧型钢筋砼，若岩土体完整性好时，亦可浆砌块石拱。格构水平间距应小于 4.5 m。

d) 人字型：指顺边坡倾向设置钢筋砼条带，沿条带之间向上设置人字型钢筋砼，若岩土体完整性好时，亦可将砌块石拱；格构水平间距应小于 4.5 m。

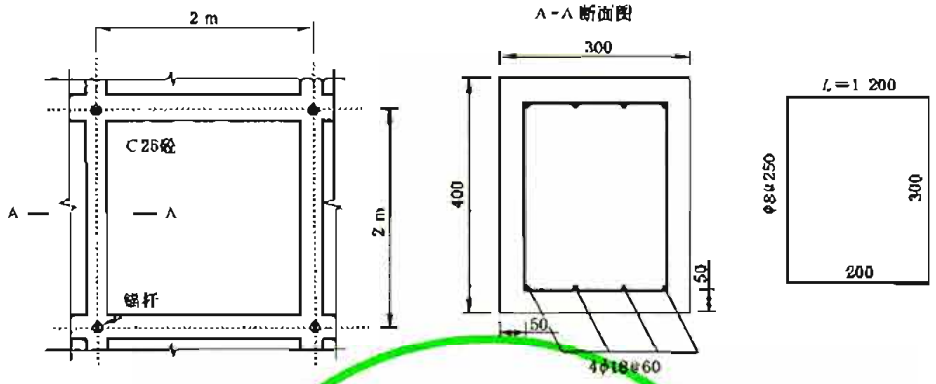
9.3.2.2 钢筋砼断面与配筋(见图 9)

a) 钢筋砼断面设计应采用简支梁法进行弯矩计算，并采用类比法校核。断面高×宽不宜小于 300 mm×250 mm，最大不宜超过 500 mm×400 mm。

b) 主筋确定

纵向钢筋应采用 ϕ14 HRB335 级以上的热轧钢筋，箍筋应采用 ϕ8 以上的钢筋加工。若配筋率过小，可按少筋梁结构处理。

c) 砼：宜采用 C25 以上强度等级。



注：未注数字单位为毫米。

图 9　现浇钢筋砼格构断面图

9.3.2.3　边坡坡度

现浇钢筋格构边坡坡面应平整，坡度不宜大于 70°。当边坡高于 30 m 时，应设置马道。

9.3.2.4　锚杆(管)或锚索

为了保证格构的稳定性，可根据岩土体结构和强度在格构节点设置锚杆。锚杆应采用 ϕ25～ϕ40 的 HRB335～HRB400 级钢筋加工，长度宜为 4 m 以上，全粘结灌浆，并与钢筋笼点焊连接。若岩土体较为破碎和易溜滑时，可采用锚管加固，锚管用 ϕ50 钢管加工，全粘结灌浆，注浆压力宜为 0.5 MPa～1.0 MPa，并与钢筋笼点焊连接。锚杆(管)埋置在浆砌块石格构中。锚杆(管)均应穿过潜在滑动面。ϕ50 钢管设计拉拔力可取为 100 kN～140 kN。

当滑坡整体稳定性差或下滑力较大时，应采用预应力锚索进行加固。其设计同第七章预应力锚索的规定。

9.3.2.5　为了美化环境和防护表层边坡，在格构间应培土和植草。

9.4　格构锚固施工

9.4.1　浆砌块石格构

9.4.1.1　浆砌块石格构应嵌置于边坡中，嵌置深度大于截面高度的 2/3。

9.4.1.2　浆砌块石格构护坡坡面应平整、密实，无表层溜滑体和蠕滑体。

9.4.1.3　格构可采用毛石或条石，但毛石最小厚度应大于 150 mm，条石以 300 mm×300 mm×900 mm为宜，强度 MU30；用水泥砂浆浆砌，砂浆强度 M7.5～M10。

9.4.1.4　每隔 10 m～25 m 宽度设置伸缩缝，缝宽 20 mm～30 mm，填塞沥青麻筋或沥青木板。

9.4.2　现浇钢筋砼格构

9.4.2.1　钢筋砼格构可嵌置于边坡中或上覆在边坡上。

9.4.2.2　钢筋砼格构护坡坡面应平整、夯实，无溜滑体、蠕滑体和松动岩块。

9.4.2.3　格构钢筋应专门建库堆放，避免污染和锈蚀；水泥宜使用 425# 普通硅酸盐水泥，避免使用受潮或过期水泥。

9.4.2.4　应对边坡开挖的岩性及结构进行编录和综合分析，将开挖的岩性与设计对比。当存在较大差异时，应进行设计变更。

9.4.2.5　开挖的弃渣应按设计或建设单位的要求堆放，不得造成次生灾害。

9.4.2.6　钢筋可在现场进行制作与安装，但钢筋的数量、配置按设计确定。

9.4.2.7　混凝土的浇注应架设模板，模板应加支撑固定。与岩石接触处不架设模板，混凝土紧贴岩体浇注。

9.4.2.8　混凝土灌注过程中，当应留置施工缝时，应留置在两相邻锚杆(管)作用的中心部位。

9.4.2.9 对已浇注完毕的格构，应及时派专人进行养护，养护期应在 7 d 以上。

9.4.3 锚杆(管)施工

9.4.3.1 用凿岩机或轻型钻机造孔，孔径由设计确定。

9.4.3.2 锚杆(管)杆体在入孔前应清洗孔、除锈、除油，平直，每隔 1.0 m～2.0 m 应设对中支架。

9.4.3.3 砂浆配合比宜为：灰砂比 1∶1～1∶2，水灰比 0.38～0.45。砂浆强度不应低于 M25。

9.4.3.4 压力注浆应加止浆环，注浆后，应将注浆管拔出。

9.4.4 预应力锚索施工(见第 8 章)。

10 重力挡墙

10.1 一般规定

10.1.1 重力挡墙适用于居民区、工业和厂矿区以及航运、道路建设涉及的规模小、厚度薄的滑坡阻滑治理工程。

10.1.2 设计挡土墙应与其他治理工程措施相配合，根据地质地形条件设计多个方案，通过技术经济分析、对比后，确定最优方案，以达到最佳工程效果。

10.1.3 挡土墙工程应布置在滑坡主滑地段的下部区域。当滑体长度大而厚度小时宜沿滑坡倾向设置多级挡土墙。

10.1.4 当坡面无建筑物或其他用地，且地质和地形条件有利时，挡土墙宜设置为向坡体上部凸出的弧形或折线形，以提高整体稳定性。

10.1.5 挡土墙墙高不宜超过 8 m，否则应采用特殊形式挡土墙，或每隔 4 m～5 m 设置厚度不小于 0.5 m、配比适宜构造钢筋的混凝土构造层。

10.1.6 墙后填料应选透水性较强的填料，当采用粘土作为填料时，宜掺入适量的石块且夯实，密实度不小于 85%。

10.2 重力挡墙设计

10.2.1 挡土墙所受压力可采用附录 A 滑坡推力公式(A.10)和土压力计算公式计算，取其最大值。挡土墙工程结构设计安全系数根据 5.4 推荐如下：

基本荷载情况下，抗滑稳定性 $K_c \geqslant 1.3$；抗倾覆稳定性 $K_c \geqslant 1.5$；

特殊荷载情况下，抗滑稳定性 $K_c \geqslant 1.2$；抗倾覆稳定性 $K_c \geqslant 1.3$。

10.2.2 作用在挡土墙上的荷载力系及其组合，视挡土墙型式不同分别考虑。基本荷载应考虑墙背承受由填料自重产生的侧压力、墙身自重的重力、墙顶上的有效荷载、基底法向反力、摩擦力及常水位时静水压力和浮力；附加荷载涉及库水位的静水压力和浮力、江水位降落时的水压力和波浪压力等；特殊荷载考虑地震力及临时荷载。

10.2.3 墙身所受的浮力应根据地基渗水情况，按下列原则确定：位于砂类土、碎石类土和节理很发育的岩石地基，按计算水位的 100%计算；位于完整岩石地基，其基础与岩石间灌注混凝土，按计算水位的 50%计算；不能肯定地基土是否透水时，宜按计算水位的 100%计算。

10.2.4 土压力的计算方法及有关规定如下：

a) 作用在墙背上的主动土压力，可按库仑理论计算。计算公式见附录 B.1。

b) 挡土墙前部的被动土压力，一般可不考虑。但当基础埋置较深、地层稳定、不受水流冲刷和扰动破坏时，结合墙身位移条件，可采用 1/3～1/2 被动土压力值或静止土压力。被动土压力可按库仑理论计算，计算公式见附录 B.2。

c) 衡重式挡土墙上墙土压力，当出现第二破裂面时，用第二破裂面公式计算，不出现第二破裂面时，以边缘点联线作为假想墙背按库仑公式计算，下墙土压力采用力多边形法计算，不计入墙前土的被动土压力。

10.2.5 墙背后填料的内摩擦角，应根据试验资料确定。当无试验资料时可参照有关规范所给出的数

值选用。

10.2.6 挡土墙设计应进行抗滑和抗倾覆稳定性验算

抗滑稳定系数计算公式见附录 B。

10.2.7 基底压力计算方法

$$P_{max} = (F + A)/A + (M/W) \quad \cdots\cdots (37)$$

$$P_{min} = (F + G)/A - (M/W) \quad \cdots\cdots (38)$$

式中：

P_{max}——基础底面边缘的最大压力设计值(kPa)；

F——上部结构传至基础顶面的竖向力设计值(kN)；

G——基础自重设计值和基础上的土重标准值(kN)；

A——基础底面面积(m^2)；

M——作用于基础底面的力矩设计值(kN·m)；

W——基础底面的抵抗矩(kN·m)；

P_{min}——基础底面边缘的最小压力设计值(kPa)。

当偏心距 $e > b/6$ 时，P_{max} 按式(39)计算：

$$P_{max} = 2(F + G)/(3 \cdot l \cdot a) \quad \cdots\cdots (39)$$

式中：

l——垂直于力矩作用方向的基础底面边长(m)；

a——合力作用点至基础底面最大压力边缘的距离(m)；

当地基受力层范围内有软弱下卧层时，应验算其顶面压力。

10.2.8 挡土墙偏心压缩承载力计算

$$N \leqslant \phi f A \quad \cdots\cdots (40)$$

式中：

N——荷载设计值产生的轴向力(kN)；

ϕ——高厚比 β 和轴向力的偏心距 e 对受压构件承载力的影响系数；

f——砌体抗压强度设计值(kPa)；

A——截面积(m^2)。

当 $0.7y < e < 0.95y$ 时，除按上式进行验算外，并按正常使用极限状态验算

$$N_K \leqslant \frac{f_{tm,k} A}{\frac{Ae}{w} - 1} \quad \cdots\cdots (41)$$

式中：

N_K——轴向力标准值(kN)；

$f_{tm,k}$——砌体弯曲抗拉强度标准值，取 $f_{tm,k} = 1.5 f_{tm}$；

f_{tm}——砌体抗弯曲抗拉强度设计值(kPa)；

w——截面抵抗矩(kN·m)；

y——截面重心到轴向力所在方向截面边缘距离(m)；

e——按荷载标准值计算的偏心距。

当 $e > 0.95y$ 时，按式(42)进行计算：

$$N_K \leqslant \frac{f_{tm} A}{\frac{Ae}{w} - 1} \quad \cdots\cdots (42)$$

10.2.9 受剪构件的承载力按式(43)计算：

$$V \leqslant (f_v + 0.18\sigma_k)A \quad \cdots\cdots (43)$$

式中：

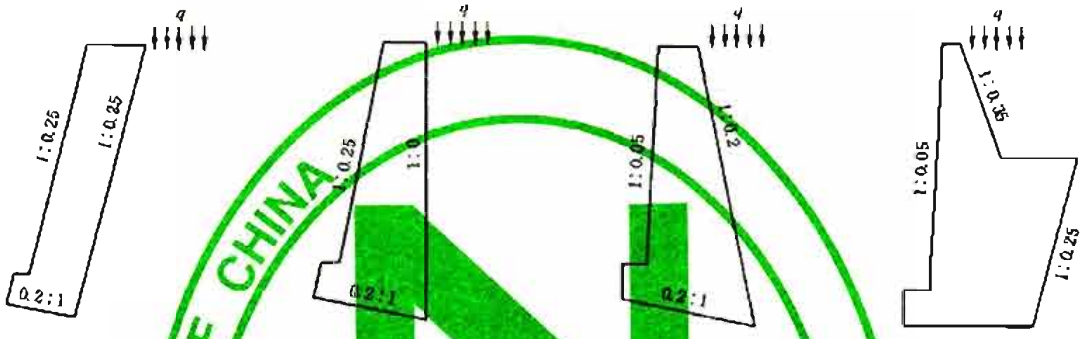
V——剪力设计值(kN)；

f_v——砌体抗剪强度设计值(kPa)；

σ_q——荷载标准值产生的平均压力(kPa)，但仰斜式挡土墙不考虑其影响。其他符号同上。

10.3 重力挡墙构造

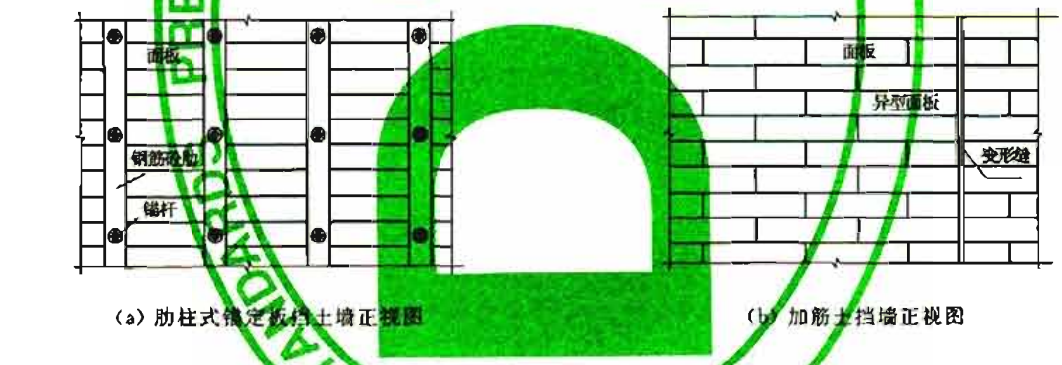
10.3.1 挡土墙墙型的选择宜根据滑坡稳定状态、施工条件、土地利用和经济性等因素确定。在地形地质条件允许情况下，宜采用仰斜式挡土墙；施工期间滑坡稳定性较好且土地价值低，宜采用直立式；施工期间滑坡稳定性较好且土地价值高，宜采用俯斜式(见图 10)。



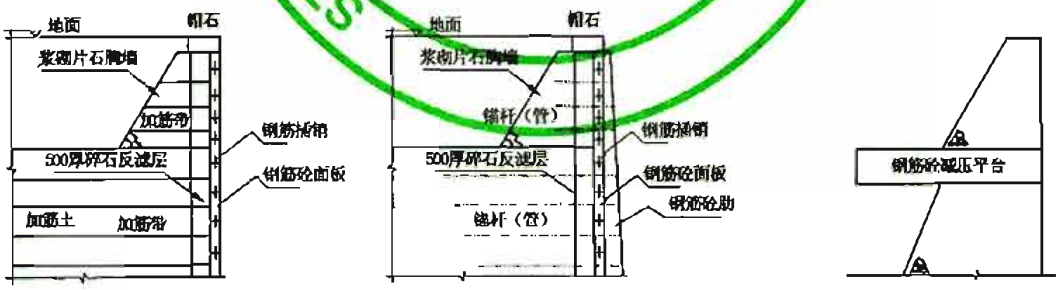
(a) 仰斜式挡土墙　(b) 直立式挡土墙　(c) 俯斜式挡土墙　(d) 衡重式挡土墙

图 10 重力挡墙断面一般型式图

10.3.2 在设计中可根据地质条件采用特殊形式挡土墙，如减压平台挡土墙、锚定板挡土墙及加筋土挡土墙等(见图 11)。



(a) 肋柱式锚定板挡土墙正视图　(b) 加筋土挡墙正视图



(c) 加筋土挡墙结构剖面图　(d) 加筋土挡墙结构剖面图　(e) 带减压平台的重量式挡土墙剖面图

注：图中数字单位为毫米。

图 11 锚定板、加筋土和减压平台挡土墙型式图

STANDARDS PRESS OF CHINA

10.3.3 挡土墙基础埋置深度应根据地基变形、地基承载力、地基抗滑稳定性、挡土墙抗倾覆稳定性、岩石风化程度以及流水冲刷计算确定。土质滑坡挡土墙埋置深度应置于滑动面以下且不小于1 m～2 m。

10.3.4 重力式挡土墙采用毛石砼或素砼现浇时，毛石混凝土或素凝土墙顶宽不宜小于0.6 m，毛石含量15%～30%。

10.3.5 挡土墙墙胸宜采用1∶0.5～1∶0.3坡度。墙高小于4.0 m时，可采用直立墙胸。地面较陡时，墙面坡度可采用1∶0.2～1∶0.3。

10.3.6 挡土墙墙背可设计为倾斜的、垂直的台阶形的，整体倾斜度不宜小于1∶0.25。

10.3.7 挡土墙基础宽度与墙高之比宜为0.5～0.7，基底宜设计为0.1∶1～0.2∶1的反坡，土质地基取小值，岩质地基取大值。

10.3.8 墙基沿纵向有斜坡时，基底纵坡不大于5%，当纵坡大于5%时，应将基底做成台阶式。

10.3.9 当基础砌筑在坚硬完整的基岩斜坡上而不产生侧压力时，可将下部墙身切割成台阶式，切割后应进行全墙稳定性验算。

10.3.10 在挡土墙背侧应设置200 mm～400 mm的反滤层，孔洞附近1 m范围内应加厚至400 mm～600 mm。回填土为砂性土时，挡土墙背侧最下一排泄水孔下侧应设倾向坡外，厚度不小于300 mm的防水层。

10.3.11 挡土墙后回填表面设置为倾坡外的缓坡，坡度取1∶20～1∶30，或墙顶内侧设置排水沟，可通过挡土墙顶引出，但注意墙前坡体冲刷。

10.3.12 为排出墙后积水，应设置泄水孔。根据水量大小，泄水孔孔眼尺寸宜为50 mm×100 mm、100 mm×100 mm、100 mm×150 mm方孔，或ϕ50～ϕ200圆孔。孔眼间距2 m～3 m，倾角不小于5%。上下左右交错设置，最下一排泄水孔的出水口应高出地面≥200 mm。

10.3.13 在泄水孔进口处应设置反滤层，且应用透水性材料（如卵石、砂砾石等）为防止积水渗入基础，应在最低排泄水孔下部，夯填至少300 mm厚的粘土隔水层。

10.3.14 挡墙沉降缝每5 m～20 m设置一道，缝宽20 mm～30 mm，缝中填沥青麻筋、沥青木板或其他有弹性的防水材料，沿内、外、顶三方填塞，深度不小于150 mm。

10.4 **重力挡墙施工**

10.4.1 当挡墙基坑全面开挖可能诱发滑坡活动时，应采用分段开挖，先开挖一段，浆砌、回填后再开挖下一段，施工期应对滑坡进行监测。

10.4.2 浆砌块石挡土墙应采用座浆法施工，砂浆稠度不宜过大，块片石表面清洗干净。

10.4.3 墙顶用1∶3水泥砂浆抹成5%外斜护顶，厚度不小于30 mm。

10.4.4 尽可能选用表面较平的毛石砌筑，其最小厚度为150 mm。外露面用M7.5砂浆勾缝。

10.4.5 应在坡脚设置截水沟，以截地表水。可能时，结合使用要求做墙顶封闭处理（如三合土地面等），或夯实填土顶面和地表松土，以减少地表水下渗。

10.4.6 砌筑挡土墙时，要分层错缝砌筑，基底及墙趾台阶转折处，不得做成垂直通缝，砂浆水灰比应符合要求，并填塞饱满。

10.4.7 施工前要作好地面排水，保持基坑干燥，岩石基坑应使基础砌体紧靠基坑侧壁，使其与岩层结为整体。

10.4.8 墙身砌出地面后，基坑应及时回填夯实，并做成不小于5%的向外流水坡，以免积水下渗而影响墙身稳定。

10.4.9 基底力求粗糙，对粘性土地基和基底潮湿时，应夯填50 mm厚砂石垫层。

10.4.10 墙后原地面横坡陡于1∶5时，应先处理填方基底（铲除草皮和耕植土，或开挖台阶等）再填土，以免填方沿原地面滑动。

10.4.11 墙后填土宜采用透水性好的碎石土，应分层夯实。仰斜挡土墙，当砌体强度达到设计强度的70%时，应立即进行填土并分层夯实，注意墙身不要受到冲击影响，以保证施工过程中自身的稳定。

10.4.12 下列地段应设置栏杆：

a) 墙顶高出地面 6 m，且连续长度大于 20 m；

b) 墙顶高出地面 4 m，且位于码头、道路附近或靠近居民集中点；

c) 位于悬崖、陡坎或地面横坡陡于 1∶0.75，且连续长度大于 20 m。

11 其他防治工程

11.1 一般规定

11.1.1 根据滑坡体具体环境，可选用注浆加固、刷方减载、前缘回填压脚，以及植物防护等工程措施。

11.1.2 注浆加固适用于以岩石为主的滑坡、崩塌堆积体、岩溶角砾岩堆积体，以及松动岩体。注浆加固目的在于通过对崩滑堆积体、岩溶角砾岩堆积体以及松动岩体注入水泥砂浆，以固结围岩或堆积体，从而提高其地基承载力，避免不均匀沉降。

11.1.3 刷方减载是滑坡防治工程中最为有效的工程措施，目的在于通过减少后缘滑体的体积来降低滑坡下滑力，或通过消除滑坡体表层不稳定滑体，或通过改变坡体形态降低坡角等措施来增强滑坡稳定性。

11.1.4 前缘回填压脚是滑坡防治工程中最为有效的工程措施，目的在于通过增加前缘滑体的体积来增大滑坡抗滑力。

11.1.5 植物防护主要指利用植草、植树等来防护滑坡表层并起到美化环境的目的。

11.2 注浆加固工程

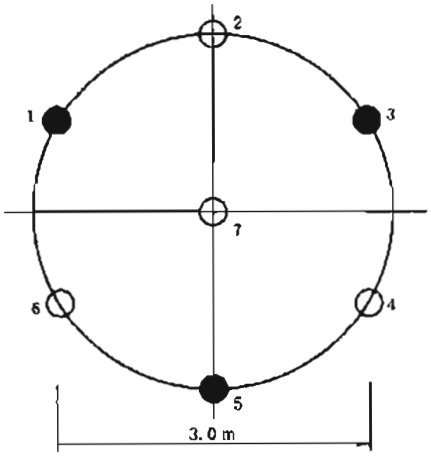
11.2.1 注浆加固可作为滑坡体滑带改良的一种技术。通过对滑带压力注浆，从而提高其抗剪强度及滑体稳定性。滑带改良后，滑坡的安全系数评价应采用抗剪断标准。

11.2.2 注浆前应进行注浆试验和效果评价，注浆后应进行开挖或钻孔取样检验。

11.2.3 注浆设计与施工

11.2.3.1 注浆通过钻孔进行。钻孔深度取决于堆积体的厚度以及所要求的地基承载力。一般以提高地基承载力为目的的灌浆深度可小于 15 m，以提高滑带抗剪强度为目的的灌浆应穿过滑带至少 3 m。

11.2.3.2 钻孔应呈梅花状分布，孔间距为注浆半径的 2/3。注浆半径应通过现场试验确定，宜为 1.0 m～3.0 m(见图 12)。



注：1、3、5、7 为观测孔，2、4、6 为灌浆孔。

图 12 滑坡加固注浆试验钻孔平面布置示意图

11.2.3.3 造孔采用机械回转或潜孔锤钻进，不应采用泥浆护壁，土体宜干钻，岩体可采用清水或空气钻进。

11.2.3.4 钻孔设计孔径宜为 91 mm～130 mm，宜用 130 mm 开孔。

11.2.3.5 作好地质编录，尤其是遇洞穴、塌孔、掉块、漏水等各种情况应进行详细编录。

11.2.3.6 注浆所用水泥标号不应低于425#，水灰比采用逐级变换方式，宜用5∶1～2∶1开灌，然后根据耗浆量逐渐变换水灰比，最后为0.5∶1，具体参数通过现场灌浆试验确定。

11.2.3.7 若岩土体空隙大时，可改用水泥砂浆。砂为天然砂或人工砂，要求有机物含量不宜大于3%，SO_3含量宜小于1%。

11.2.3.8 注浆压力以不掀动岩体为原则。采用1.0 MPa～8.0 MPa。注浆采用不同级别压力，宜按1.0 MPa、2.0 MPa、2.5 MPa、3.0 MPa、3.5 MPa、4.0 MPa、5.0 MPa、6.0 MPa、8.0 MPa逐级增大。

11.2.3.9 当注浆在规定压力下，注浆孔(段)注入率小于0.4 L/ min，并稳定30 min时即可结束。

11.2.3.10 双管法灌浆：浆液从内管压入，外管返浆。浆液注入后，通过返浆管检查止浆效果、测压及控制注浆压力，主要是通过胶塞挤压变形止浆。

11.2.3.11 单管法灌浆：利用高压灌浆管直接向试段输浆，可利用胶塞止浆。

11.2.3.12 采用自上而下分段注浆法。每段4 m，孔口至地下1 m～2 m留空。

11.2.4 注浆效果检验

11.2.4.1 设置测试孔用声波法对注浆前后的岩土体性状进行检测，作垂向单孔和水平跨孔检测。要求如下：

a) 用作检测注浆效果的观测孔跨孔间距宜为注浆孔间距的1～2倍。

b) 注浆前应对岩土体进行声波测试，提供加固前波速；灌浆后28天，应对岩土体进行波速测试，提供灌浆后波速的增加值。根据需要，亦可增加灌浆后7天声波测试。

11.2.4.2 注浆养护期满后，在建筑物修建前，应对灌浆岩体进行静载试验，提供岩土体的极限和容许承载力指标、必要时，可进行岩土体变形试验。

11.2.4.3 用钻探取样进行室内岩土体力学参数试验，同时以建筑地基加固为目的的注浆，应直接开挖进行检查。

11.3 刷方减载工程

11.3.1 刷方减载一般包括滑坡后缘减载、表层滑体或变形体的清除、削坡降低坡度以及设置马道等。刷方减载对于滑坡稳定系数的提高值可以作为设计依据。

11.3.2 当开挖高度大时，宜沿滑坡倾向设置多级马道，沿马道应设横向排水沟。边坡开挖设计时，应确定纵向排水沟位置，并且与城市或公路排水系统衔接。

11.3.3 刷方减载后形成的边坡高度大于8 m时，开挖应采用分段开挖，边开挖边护坡，只有在护坡之后才允许开挖至下一个工作平台，不应一次开挖到底。根据岩土体实际情况，分段工作高度宜3 m～8 m。

11.3.4 边坡高度大于8 m，宜采用喷锚网、钢筋砼格构等护坡。如果高边坡设有马道，坡顶开口线与马道之间，马道与坡脚之间，也可采用格构护坡。

11.3.5 边坡高度小于8 m，可以一次开挖到底，采用浆砌块石挡墙等护坡。

11.3.6 当堆积体或土质边坡高度超过10 m时，应设马道放坡，马道宽2.0 m～3.0 m。当岩质边坡高度超过20 m时，应设马道放坡，马道宽1.5 m～3.0 m。

11.3.7 为了减少超挖及对边坡的扰动，机械开挖应预留0.5 m～1.0 m保护层，人工开挖至设计位置。

11.3.8 采用爆破方法对后缘滑体或危岩体进行刷方减载，应专门对周围环境进行调查，对爆破振动对整体稳定性的影响和爆破飞石对周围环境的危害作出评估。

11.3.9 在清除表层危岩体和确保施工安全的情况下，宜采用导爆索进行光面爆破或预裂爆破。凿岩一般3 m～4 m，由上至下一次成型。以机械浅孔台阶爆破为主，并对超、欠挖部分进行修整成型。

11.3.10 块石爆破采用岩体内浅孔爆破与块体表面聚能爆破相结合的方式。对于块体厚度大于1.5 m，又易于凿岩的块石，以块体内浅孔爆破为主；厚度小于1.5 m，凿岩施工条件极差的块石，以表面

聚能爆破为主，厚度在 1.5 m 左右，宽厚比近于 1 的块石，可以两种方法并用。

11.4 回填压脚工程

11.4.1 碎石土回填

11.4.1.1 回填压脚是通过采用土石等材料堆填滑坡体前缘，以增加滑坡抗滑能力，提高其稳定性。

11.4.1.2 回填体应经过专门设计，其对于滑坡稳定系数的提高值可作为工程设计依据；未经专门设计的回填体，其对于安全系数的提高值不得作为设计依据，但可作为安全储备加以考虑。

11.4.1.3 回填压脚填料宜采用碎石土，碎石土碎石粒径小于 8 cm，碎石土中碎石含量 30%～80%。碎石土最优含水量应做现场碾压试验，含水量与最优含水量误差小于 3%。

11.4.1.4 碎石土应碾压，无法碾压时应夯实，距表层 0～80 cm 填料压实度≥93%，距表层 80 cm 以下填料压实度＞90%。

11.4.1.5 库(江)水位变动带的回填压脚应对回填体进行地下水渗流和库岸冲刷处理，设置反滤层和进行防冲刷护坡。

11.4.2 加筋土挡墙

11.4.2.1 加筋挡土墙作为柔性支挡结构工程，由基础、面板、筋带和填土等部分组成，通过土体一筋体的相互摩擦加固，以平衡侧向土压力。可应用于填沟用地和填方路段的斜坡工程，以及小型滑坡前缘的压脚支挡。

11.4.2.2 加筋挡土墙设计应进行方案比选，体现合理、经济、实用、美观的原则。单级墙高不宜超过 10 m，超过 10 m 时，应进行特殊设计，以免出现极端负荷。

11.4.2.3 在满足加筋体内部稳定性要求的情况下，填料选择可以就地取材建设区挖方弃土为主，若填料质量不能满足时，应按设计要求进行级配选取。

11.4.2.4 在地基软弱和富水地段，应先对其进行处理，以满足加筋体整体稳定性要求。

11.4.2.5 加筋挡土墙可根据地形和地质条件采用矩形或梯形断面设计，面板和基础类型的选用，应分别进行弯折强度和地基应力验算。

11.4.2.6 筋带类型应充分考虑抗拉强度、抗蠕变和抗老化等因素，优先采用土工格栅或高强土工布作为加筋材料。当采用加筋带作为筋材时，宽度应大于 50 mm，厚度应大于 3 mm。

11.4.2.7 加筋挡土墙作用荷载应根据挡土墙类型及工况确定。基本荷载包括加筋体自重、外带土体侧压力、下卧基底反力、墙顶活载、墙体静水压力及浮托力；特殊荷载考虑地震力和动水压力。

11.4.2.8 挡墙的整体稳定性应考虑抗滑稳定性、抗倾覆稳定性和地基承载力，设计安全系数推荐如下：

a) 基本荷载情况

抗滑稳定性 $K_c \geq 1.5$，抗倾覆稳定性 $K_c \geq 2.0$，地基承载力 $K_c \geq 2.0$；

b) 特殊荷载情况

抗滑稳定性 $K_c \geq 1.3$，抗倾覆稳定性 $K_c \geq 1.6$，地基承载力 $K_c \geq 1.7$。

11.4.2.9 作用于加筋体的推力综合两种作用力考虑，选最大值。

a) 滑坡推力。滑坡推力由滑坡体传递至挡墙位置的剩余下滑力。

b) 主动土压力。遵照附录 B 中有关重力式挡墙土压力计算公式确定。

11.4.2.10 加筋土挡墙结构设计和施工参照《GB 50290—1998《土工合成材料应用技术规范》》执行。

11.5 植物防护工程

11.5.1 植物防护工程通过种植草、灌木、树，或铺设工厂生产的绿化植生带等对滑坡表层进行防护，以防治表层溜塌、减少地表水入渗和冲刷等。宜与格构、格栅等防护工程结合使用。

11.5.2 植物防护工程可作为美化滑坡防治工程及环境的一种工程措施加以采用。

11.5.3 在顺层滑坡、残积土滑坡中，采用植树等植物防护措施时，应论证滑坡由于植物根系与水的作用加剧顺层或沿基岩顺坡滑动的可能性。

11.5.4 植物防护一般不作为滑坡稳定性计算因素参与设计，仅在表层土体溜塌和美化环境中加以考虑。

12 滑坡防治监测

12.1 一般规定

12.1.1 滑坡防治监测包括施工安全监测、防治效果监测和动态长期监测。应以施工安全监测和防治效果监测为主，所布网点应可供长期监测利用。在施工期间，监测结果应作为判断滑坡稳定状态、指导施工、反馈设计和防治效果检验的重要依据。

12.1.2 对于Ⅰ级滑坡防治工程，应建立地表与深部相结合的综合立体监测网，并与长期监测相结合；对于Ⅱ级滑坡防治工程，在施工期间应建立安全监测和防治效果监测点，同时可建立以群测为主的长期监测点；对于Ⅲ级滑坡防治工程，可建立群测为主的简易长期监测点。

12.1.3 滑坡监测方法的确定、仪器的选择，既要考虑到能反映滑坡体的变形动态，又要考虑到仪器维护方便和节省投资。对所选仪器应遵循以下原则：

a) 仪器的可靠性和稳定性好；

b) 仪器有能与滑坡体变形相适应的足够的量测精度；

c) 仪器的灵敏度高；

d) 仪器具有防风、防雨、防潮、防震、防雷、防腐等与环境相适应的性能。

12.1.4 滑坡监测系统包括仪器安装、数据采集、传输和存储、数据处理、预测预报等。

12.1.5 滑坡监测应采用先进和经济实用的方法技术，与群测群防相结合。

12.2 滑坡防治监测类型

12.2.1 施工安全监测应对滑坡体进行实时监控，以了解由于工程扰动等因素对滑坡体的影响，并及时指导工程实施、调整工程部署、安排施工进度等。

12.2.2 施工安全监测点应布置在滑坡体稳定性差，或工程扰动大的部位，力求形成完整的剖面，采用多种手段互相验证和补充。

12.2.3 施工安全监测包括地面变形监测、地表裂缝监测、滑体深部位移监测、地下水位监测、孔隙水压力监测、地应力监测等内容。

12.2.4 施工安全监测宜采用连续自动定时观测方式进行监测。如果滑坡稳定性好，且工程扰动小，可采用 8 h～24 h 观测一次的方式进行。

12.2.5 防治效果监测将结合施工安全和长期监测进行，以了解工程实施后滑坡体的变化特征，为工程的竣工验收提供科学依据。

12.2.6 防治效果监测时间长度不应小于一个水文年，数据采集时间间隔宜为 7 d～10 d。在外界扰动较大时，如暴雨期间，应加密观测次数。

12.2.7 防治效果监测一方面了解滑坡体变形破坏特征，另一方面针对实施的工程进行监测。例如，监测预应力锚索应力值的变化、抗滑桩的变形和土压力、排水系统的过流能力等，以直接了解工程实施效果。

12.2.8 滑坡长期监测在防治工程竣工后，对滑坡体进行动态跟踪，了解滑坡体稳定性变化特征。长期监测主要对Ⅰ级滑坡防治工程进行。

12.2.9 滑坡长期监测宜沿滑坡主剖面进行，监测点的布置少于施工安全监测和防治效果监测。监测内容宜包括滑带深部位移、地下水位变化和地面变形等。数据采集时间间隔宜为 10 d～15 d。动态变化较大时，可适当加密观测次数。

12.3 滑坡防治监测方法

12.3.1 滑坡监测内容一般包括：地表大地变形监测、地表裂缝位错监测、地面倾斜监测、建筑物变形监测、滑坡裂缝多点位移监测、滑坡深部位移监测、地下水监测、孔隙水压力监测、滑坡地应力监测等。对

于Ⅰ级滑坡防治工程，应建立地表与深部相结合的综合立体监测网。

12.3.2 地表大地变形监测是滑坡监测中常用的方法。采用经纬仪、全站仪、GPS 等测量仪器了解滑坡体水平位移、垂直位移以及变化速率。点位误差要求不超过±5.4 mm，水准测量每公里中误差小于±1.5 mm。对于土质滑坡，精度可适当降低，但要求水准测量每公里中误差不超过±3.0 mm。

12.3.3 地表裂缝位错监测是了解地裂缝伸缩变化和位错情况。可采用伸缩仪、位错计、千分卡等进行量测。测量精度 0.1 mm～1.0 mm。

12.3.4 地下水动态监测以了解地下水位为主，可进行地下水孔隙水压力、扬压力、动水压力及地下水水质监测。

12.3.5 滑坡深部位移监测是监测滑坡体整体变形的重要方法，用以指导防治工程的实施和效果检验。采用钻孔倾斜仪进行滑坡深部位移监测可了解滑坡深部，特别是滑带的位移情况。系统总精度不超过±5 mm/15 m。

12.3.6 锚索测力计用于预应力锚索监测，以了解预应力动态变化和锚索的长期工作性能，为工程实施提供依据。采用轮幅式压力传感器、钢弦式压力盒、应变式压力盒、液压式压力盒进行监测。长期监测的锚杆数不少于总数的 5%。

12.3.7 压力盒用于抗滑桩受力和滑带承重阻滑受力监测，以了解滑坡体传递给支挡工程的压力。压力传感器依据结构和测量原理区分，类型繁多，使用中应考虑传感器的量程与精度、稳定性、抗震及抗冲击性能、密封性等因素。

12.3.8 监测数据的采集和处理建议尽可能采用自动化方式。建立监测数据库、数据和图形处理系统、趋势预报模型、险情预警系统等。监测设计中应提出滑坡体险情预警标准，并在施工过程中逐步加以完善。监测方应定期向建设单位、监理方、设计方和施工方提交监测报告，必要时应提供实时监测数据。

13 施工组织

13.1 一般规定

13.1.1 为了确保滑坡防治工程的安全、顺利，开工前应编制切实可行的施工组织设计。

13.1.2 对于重要的分部分项工程应编制分部分项工程施工组织设计。

13.1.3 滑坡防治工程的施工，应根据施工的难度，安排分段施工。根据气候条件，安排施工季节。

13.1.4 施工组织设计中，应积极采用和推广先进技术和先进工艺。

13.2 准备工作与编制施工组织设计依据

13.2.1 编制施工组织设计前，应做好下列准备工作。

a) 收集滑坡勘查报告、可行性研究报告和设计图纸，熟悉设计图纸的依据、目的和内容；

b) 研究工程施工合同；

c) 调查场地的自然条件，如施工现场地上和地下障碍物情况、周围建筑物的坚固程度、交通运输与水电状况，为编制施工现场的“三通一平”计划提供依据；

d) 现场调查与工程的实施相关的主要建筑材料、设备及特种物质在当地的生产与供应情况。

13.2.2 编制施工组织设计应有以下依据。

a) 计划文件，包括国家批准的建设计划文件、防治工程项目情况，工程所在地主管部门的批件，以及施工任务书等；

b) 技术文件，包括本工程的全部施工图纸、说明书、会审记录，以及所需的标准图等；

c) 工程预算中的分部、分项工程量等；

d) 滑坡勘查报告以及施工现场的地形图测量控制网；

e) 与工程有关的国家和地方法规、规定、施工验收规范、质量标准、操作规程和预算定额；

f) 与工程有关的新技术、新工艺和类似工程的经验资料。

13.3 编制内容和方法

13.3.1 施工组织设计的内容应包括编制依据、工程概况、施工部署和施工方案、施工安全措施、特殊工程结构的施工方法，施工进度计划、各项资源需要量计划、施工平面图、主要技术措施、技术经济指标等。

13.3.2 根据工程量，工期要求、材料、构件、机具和劳动力的供应情况，结合现场情况拟定施工方案，编制计划网络图。

13.3.3 施工方法应根据各分部分项工程的特点选择，着重于施工的机械化、专业化。对新结构、新材料、新工艺和新技术，尚应说明其工艺流程。明确保证工程质量和安全的技术措施。

13.3.4 应在满足工期要求的情况下，确定施工顺序，划分施工项目和流水作业段，计算工程量，确定施工项目的作业时间，组织各施工项目间的衔接关系，编制进度图表。

13.3.5 施工组织设计中应对各项资源需要量进行计划，包括材料、构件和加工半成品、劳动力、机械设备等，编制资源需要量计划表。

13.3.6 施工平面图应标明单位工程所需的施工机械、加工场地、材料等的堆放场地和水电管网与公路运输、防火设施等合理布置。

13.3.7 根据工程特点和工期，制定切实可行的保证工程质量、安全、进度、雨季施工等具体措施。

13.3.8 为便于工程的实施，应在施工组织设计中提出临时设施计划，包括工地临时房屋、临时供水、临时供电等设施。

13.3.9 滑坡地质情况复杂地段，施工组织设计中可根据滑坡勘查、设计及现场调查情况，提出可能出现的故障和变更情况，并提出解决措施。

13.3.10 对于一级防治工程的滑坡，应在施工组织设计中明确施工勘查的目的、依据、任务、工作量和勘查方法，采取措施保证施工勘查所得的滑坡信息和可能的变更措施及时反馈给设计人员。

13.3.11 对于稳定性差的滑坡在施工期间可能会发生地面开裂、变形加剧等紧急险情，应编制抢险预案。

14 质量检验与工程验收

14.1 一般规定

14.1.1 滑坡防治工程质量检验评定标准，适用于中间检查和竣(交)工验收。

14.1.2 滑坡防治工程实施过程中，应由专门的具有地质灾害勘查设计咨询资质的单位，或业主认定的专家组对各阶段的设计文件进行审查。

14.1.3 滑坡防治工程应实行监理制。监理工作应由专门的具有地质灾害防治监理资质的监理单位承担，负责检查、督促工程的施工。

14.1.4 施工单位应在每道工序完成后进行相应的自检和验收，监理工程师应参加验收，并做好隐蔽工程记录。不合格时，不允许进入下道施工工序。重要的中间工程和隐蔽工程检查应由建设单位代表、监理工程师和设计代表共同参加检查验收。

14.1.5 工程完成后，施工单位应对工程质量进行自检和评定，自检合格后，将竣工验收报告和有关资料提交建设单位。由建设单位或承包单位组织当地工程质量监督部门、监理工程师、设计代表进行检查、验收和质量评定。验收文件应经以上各方签字认可。

14.1.6 工程验收应检查竣工档案、工程数量和质量，填写工程质量检查评定表，评定工程质量等级。

14.1.7 工程检查项目由保证项目、基本项目、允许偏差项目和竣工档案资料四部分组成。保证项目应符合质量评定标准的规定。在该前提下根据其他项目的情况评定质量等级。

14.1.8 滑坡防治工程质量按下列规定分为优良、合格两个等级。

a) 合格

1) 保证项目应符合本规程有关章节的规定；

2) 允许偏差项目抽查的点数中，70%以上的实测值应在本规程有关章节的允许偏差范围内；

3） 竣工档案资料基本齐全。

b） 优良

1） 保证项目应符合本规程有关章节的规定；

2） 允许偏差项目抽查的点数中，90%以上的实测值应在本规程有关章节的允许偏差范围内，且最大偏差值不得超过允许偏差值的2倍；

3） 竣工档案资料齐全、准确。

14.1.9 不合格的工程经返工达到要求后，只能评定为合格。未达到要求的，不能通过验收。

14.2 排水工程

14.2.1 质量检验

a） 排水工程的质量检验内容

包括原材料质量、砌石、混凝土及导（引）水钻孔检验。

b） 实测项目

1） 排水明沟：长度、平面位置、断面尺寸、沟底纵坡、跌水、表面平整度、砂浆强度等项目；

2） 排水盲沟：长度、混凝土强度、平面位置、断面尺寸、沟底纵坡、砂浆强度、反滤层等项目；

3） 排水隧洞：长度、平面位置、断面尺寸、洞底纵坡、渗井位置与数量、仰斜排水孔位置与数量、混凝土强度等项目；

4） 引（排）水钻孔：钻孔深度、孔径、孔斜度等项目。

14.2.2 质量评定标准

a） 保证项目

1） 排水工程的原材料质量应符合设计要求，砂浆、混凝土的配合比应经试验确定；

2） 排水明沟的沉降缝的数量应符合设计要求，且沟底、沟壁及沉降缝处应按设计要求进行防渗处理；

3） 排水盲沟的埋置深度、反滤层、防渗处理应符合设计要求；

4） 排水隧洞的埋置深度、渗井的数量、仰斜排水孔的数量及混凝土的强度应符合设计要求；

5） 引（排）水钻孔的深度、孔径应符合设计要求。

b） 允许偏差项目

1） 排水明（盲）沟的平面位置、断面尺寸、沟底纵坡、沟底高程及表面平整度应符合表13的规定；

2） 排水隧洞的平面位置、断面尺寸、洞底纵坡、洞底高程应符合表14的规定；

表13 排水明（盲）沟允许偏差项目表

序号	检查项目		允许偏差	检查方法
1	长度		−500 mm	不小于2条沟
2	平面位置	临近建（构）筑物	±50 mm	每20 m用经纬仪或全站仪检查3点
		远离建（构）筑物	±50 mm	
3	断面尺寸		−20 mm	每20 m用直尺检查3处
4	沟底纵坡		±1%	每20 m用水准仪检查1点
5	沟底高程		±50 mm	每20 m用水准仪检查1点
6	表面平整度（凹凸差）		±20 mm	每20 m用2 m直尺检查3处

3） 引（排）水钻孔的孔斜度应不大于1%，应符合设计要求。检查数为5%且不小于2孔。

14.3 抗滑桩

14.3.1 质量检验

a） 抗滑桩的质量检验内容

包括原材料质量、桩孔开挖、护壁、钢筋制作与安装、桩身混凝土灌注质量检验。

b) 实测项目

1) 桩孔开挖：桩孔开挖中心位置、开挖断面尺寸、孔底高程、孔底浮土厚度、桩周土与滑带土等项目；

2) 护壁：混凝土强度、混凝土与围岩的结合情况、护壁后净空尺寸、壁面垂直度；

3) 桩身：钢筋配置、钢筋笼焊接、竖向主钢筋的搭接位置、主筋间距、箍筋间距、混凝土种类、混凝土强度、混凝土密实度、混凝土与护壁的结合情况、桩顶高程等。

c) 检查方法

目测、尺检、测量、取样试验等。

d) 抗滑桩的整体桩身质量检测

按表 15 规定执行。

表 14 排水隧洞允许偏差项目表

序号	检查项目	允许偏差	检查方法
1	长度	−100 mm	全部实测
2	平面位置	±100 mm	每 20 m 用经纬仪或全站仪检查 3 点
3	断面尺寸	−50 mm	每 20 m 用直尺检查 3 处
4	洞底纵坡	±0.5%	每 20 m 用水准仪检查 1 点
5	洞底高程	±50 mm	每 20 m 用水准仪检查 1 点
6	渗井位置	±100 mm	用经纬仪或全站仪检查 5%且不少于 3 点
7	仰斜排水孔位置	±100 mm	用经纬仪或全站仪检查 5%且不少于 3 点

表 15 抗滑桩检测数量表

序号	防治工程级别	检验数量		检查方法
		占总桩数	最少数	
1	Ⅰ级	10%	5	动力检测或钻孔取芯检测
2	Ⅱ级	8%	4	动力检测或钻孔取芯检测
3	Ⅲ级	3%	2	动力检测或钻孔取芯检测

14.3.2 质量评定标准

a) 保证项目

1) 成桩深度、锚固段长度和桩身断面应达到设计要求；

2) 实际浇注混凝土体积不应小于计算体积，桩身连续完整；

3) 原材料和混凝土强度应符合设计要求和有关规范的规定；

4) 钢筋配置数量应符合设计要求，竖向主钢筋或其他钢材的搭接应避免设在土石分界和滑动面处。

b) 允许偏差项目

抗滑桩的允许偏差项目应符合表 16 规定。

14.4 预应力锚索

14.4.1 质量检验

a) 预应力锚索的质量检验内容

包括锚孔、锚索杆体的组装与安放、注浆、张拉与锁定等。

b) 实测项目

1) 锚孔：孔位、孔径、锚固角度、内锚固段长度等项目；

2) 锚索杆体的制作与安放：钢铰线强度、钢铰线配置、杆体长度、架线环密度，采用钢铰线时应无接头；

3) 注浆：砂浆配合比、强度、注浆管的插入深度等；

4) 张拉与锁定：外锚墩混凝土强度、钢垫板平面与孔轴线垂直情况、张拉荷载、锁定荷载、锚具、锚具保护层等项目。

表 16 抗滑桩允许偏差项目表

序号	检查项目	允许偏差	检查方法
1	桩位	±100 mm	每桩，经纬仪测、尺量
2	桩身断面尺寸	−50 mm	尺检，每桩上、中、下部各计一点
3	桩的垂直度	$H\leqslant 5$ m，50 mm； $H>5$ m；0.01H 但不大于 250 mm	每桩吊线测量
4	主筋间距	±20 mm	每桩 2 个断面、尺量
5	箍筋间距	±10 mm	每桩 5～10 个间距、尺量
6	保护层厚度	±10 mm	每桩沿护壁检查 8 处、尺量

c) 每一个独立的滑坡防治工程均应进行锚索承载力检验。宜随机抽取总数的 10%～20%进行超张拉检验，张拉力为设计锚固力的 120%。若工程重要时，可对所有锚索进行设计锚固力的 120%超张拉检验。

d) 锚索质量合格条件

为所试验锚索的锚固力应达到设计锚固力的 120%以上。

e) 当设计对锚索有特殊要求时

可增做相应的检查验收试验。

14.4.2 质量评定标准

a) 保证项目

1) 孔径、内锚固段长度、钢铰线强度、钢铰线配置、杆体长度、砂浆强度应达到设计要求；

2) 单根钢铰线不允许断丝；

3) 承载力检验用的千斤顶、油表、钢尺等器具应经检查校正；

4) 锚具应经检验合格方可使用；

5) 承载力应符合 14.4.1 的规定；

6) 锁定荷载应符合设计要求。

b) 允许偏差项目

预应力锚索的允许偏差项目应符合表 17 规定。

表 17 预应力锚索允许偏差项目表

序号	检查项目		允许偏差	检查方法
1	孔距误差	水平方向	±50 mm	全部，经纬仪、钢尺测量
		垂直方向	±100 mm	全部，水准仪、钢尺测量
2	锚固角度		<2.5°	全部，钻孔测斜仪

14.5 格构锚固

14.5.1 质量检验

a) 格构锚固质量检验的内容

包括块石、砌筑砂浆或混凝土、钢筋、锚管(杆、索)原材料质量及制作质量的检查。

b) 实测项目

1) 砌石(钢筋混凝土)格构:平面位置、长度、断面尺寸、块石和砌筑砂浆(混凝土)强度、坡度、表面平整度等项目;

2) 锚管(杆):孔位、孔径、锚固角度、孔深、锚管(杆)杆体材料强度、杆体长度、砂浆配合比与强度等项目;

3) 预应力锚索:参照 13.4.1 的规定。

c) 锚管(杆)应做承载力试验

试验方法参照锚索的有关规定执行。

d) 锚管(杆)的抗拔力应符合设计要求

当锚管(杆)抗拔力不符合要求时,应加密锚管(杆)补强。

e) 预应力锚管(杆)的抗拔力应符合设计要求

当锚管(杆)抗拔力不符合要求时,应加密锚管(杆)补强。

14.5.2 质量评定标准

a) 保证项目

1) 砌石(钢筋混凝土)格构的原材料质量应符合设计要求,砂浆、混凝土的配合比应试验确定;

2) 锚管(杆)的原材料质量、孔径、锚固段长度、砂浆强度应达到设计要求;

3) 预应力锚索按 14.4.2 规定执行。

b) 允许偏差项目

1) 砌石(钢筋混凝土)格构的允许偏差项目应符合表 18 规定;

2) 锚管(杆)的允许偏差项目应符合表 19 规定。

c) 预应力锚索的允许偏差项目应符合表 17 规定。

表 18 砌石(钢筋混凝土)格构允许偏差项目表

序号	检查项目		允许偏差	检查方法
1	轴线位置	浆砌块(片)石	±50 mm	每 20 m 用经纬仪或全站仪检查 3 点
		混凝土	±30 mm	
2	断面尺寸	浆砌块(片)石	±40 mm	每 20 m 用水准仪检查 1 点
		混凝土	±20 mm	
3	坡度		±0.5%	每 20 m 用铅锤线检查 3 处
4	表面平整度(凹凸差)	浆砌块石	±20 mm	每 20 m 用 2 m 直尺检查 3 处
		浆砌片石	±30 mm	
		混凝土	±10 mm	

表 19 锚管(杆)允许偏差项目

序号	检查项目	允许偏差	检查方法
1	孔位	±1%	全部,经纬仪、钢尺测量
2	孔深	±50 mm	全部,钢尺测量

表 19（续）

序号	检 查 项 目	允许偏差	检 查 方 法
3	杆长	±50 mm	全部，钢尺测量
4	锚固角度	<2.5°	全部，钻孔测斜仪

14.6 重力挡墙

14.6.1 质量检验

a） 重力挡墙的质量检验

包括原材料质量，砌石、混凝土、钢筋的制作质量检验。

b） 实测项目

砂浆（混凝土）强度、平面位置、顶面位置、坡度、断面尺寸、底面高程、表面平整度等项目。

14.6.2 质量评定标准

a） 保证项目

1） 重力挡墙的材料强度应符合设计要求，砂浆或混凝土的配合比应经试验确定；

2） 断面尺寸应不小于设计要求；

3） 地基应满足设计要求；

4） 砌石分层错缝、嵌填砂浆的饱满度和密实度应满足有关规定；

5） 墙背填料符合设计和施工规范要求；

6） 沉降缝、泄水孔的数量应符合设计要求。

b） 允许偏差项目

允许偏差项目应符合表 20 的规定。

表 20 重力挡墙允许偏差项目表

序号	检 查 项 目		允许偏差	检 查 方 法
1	平面位置	浆砌挡墙、干砌片石挡墙	±50 mm	每 20 m 用经纬仪或全站仪检查 3 点
		混凝土挡墙	±30 mm	
2	顶面高程	浆砌挡墙、干砌片石挡墙	±20 mm	每 20 m 用水准仪检查 1 点
		混凝土挡墙	±10 mm	
3	底面高程		±50 mm	每 20 m 用水准仪检查 1 点
4	坡 度		±0.5%	每 20 m 用铅锤线检查 3 处
5	表面平整度（凹凸差）	浆砌块石挡墙	±20 mm	每 20 m 用 2 m 直尺检查 3 处
		浆砌片石挡墙	±30 mm	
		混凝土挡墙	±10 mm	
		干砌片石挡墙	±50 mm	

14.7 其他防治工程

14.7.1 对注浆效果的检查，应根据设计提出的要求进行，检验时间在注浆结束 28 天后。对于土质松软的地层，宜用标准贯入和静力触探法检测。对于以碎块石为主的地层，宜用超重型圆锥动力触探和钻孔取芯等方法检测。对于岩体，宜采用实测岩体波速和弹性模量的方法进行检测。必要时，应取样送试验室测定加固后土体的抗剪强度。

14.7.2 注浆效果检测点一般为注浆孔数的 3%～5%（重要工程取大值），且不应少于 5 个。检测点位置应根据现场条件和检测方法由施工单位和设计单位协商解决。

14.7.3 注浆加固质量检查的内容包括原材料质量、孔位偏差、孔深、被加固体直径和强度、加固范围、

加固后岩土体强度、变形和耐久性等。

14.7.4 质量评定标准

a) 保证项目

1) 加固后的岩土体强度、变形、耐久性和加固范围、深度符合设计要求；

2) 注浆材料的品种、性能、质量、浆液配合比和注浆结束控制标准应符合有关标准、规范和设计要求；

b) 允许偏差项目

允许偏差项目包括孔位、孔深、钻孔偏斜率等。其允许偏差值可参照表 21 规定执行。

表 21 注浆工程允许偏差项目表

序号	检查项目	允许偏差	检查方法
1	孔位	±100 mm	经纬仪，抽查 2%
2	孔深	±200 mm	查施工记录
3	钻孔偏斜率	≤3%	查施工记录

14.7.5 检验点合格率应大于 90%，且检验点的平均值应达到设计要求。否则，在确认设计正确后对不合格的注浆区实施重复注浆。

14.8 工程验收

14.8.1 滑坡防治工程验收时，应提交下列资料。

a) 滑坡勘查报告、滑坡防治施工图、图纸会审纪要(记录)、滑坡施工勘查报告、设计变更单及材料代用通知单等；

b) 经审定的施工组织总设计、分部分项工程施工组织设计、施工方案及执行中的变更情况；

c) 防治工程测量放线图及其签证单；

d) 原材料(钢筋、水泥、砂、石料、外加剂及焊条)出厂合格证及复检报告；

e) 焊件试验报告；

f) 锚索(杆、管)的各种承载力试验报告；

g) 混凝土配合比通知单和混凝土试块强度试验报告；

h) 基坑、基槽、桩孔验槽报告；

i) 各隐蔽工程检查验收记录；

j) 各种施工记录表格；

k) 各分部分项工程质量检查报告；

l) 桩身完整性检测报告；

m) 抗滑桩孔开挖岩性柱状图集；

n) 竣工图及竣工报告；

o) 滑坡监测报告(包括整个施工期及施工完成一个水文年或经历了一个雨季)。

附 录 A
（规范性附录）
滑坡稳定性评价和推力计算公式

A.1 堆积层（包括土质）滑坡稳定性评价和推力计算

A.1.1 滑动面为单一平面或圆弧形（图 A.1）

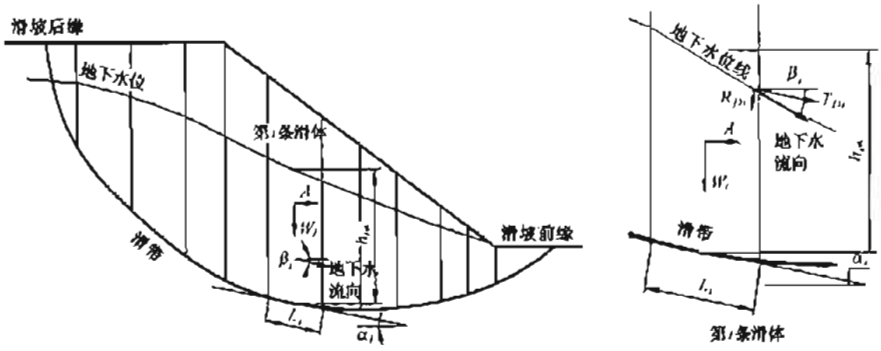


图 A.1 瑞典条分法（圆弧型滑动面）（堆积层滑坡计算模型之一）

a） 滑坡稳定性计算

$$K_f = \frac{\sum((W_i(\cos\alpha_i - A\sin\alpha_i) - N_{wi} - R_{Di})\tan\phi_i + C_iL_i)}{\sum(W_i(\sin\alpha_i + A\cos\alpha_i) + T_{Di})} \quad \cdots\cdots(A.1)$$

其中：

孔隙水压力 $N_{wi}=\gamma_w h_{iw} L_i \cos\alpha_i$，即近似等于浸润面以下土体的面积 $h_{iw}L_i\cos\alpha_i$ 乘以水的容重 γ_w（kN/m³）；

渗透压力产生的平行滑面分力 T_{Di}：

$$T_{Di} = N_{wi}\sin\beta_i\cos(\alpha_i - \beta_i) \quad \cdots\cdots(A.2)$$

渗透压力产生的垂直滑面分力 R_{Di}：

$$R_{Di} = N_{wi}\sin\beta_i\sin(\alpha_i - \beta_i) \quad \cdots\cdots(A.3)$$

式中：

W_i——第 i 条块的重量（kN/m）；

C_i——第 i 条块内聚力（kPa）；

ϕ_i——第 i 条块内摩擦角（°）；

L_i——第 i 条块滑面长度（m）；

α_i——第 i 条块滑面倾角（°）；

β_i——第 i 条块地下水流向（°）；

A——地震加速度（重力加速度 g）；

K_f——稳定系数。

若假定有效应力

$$\bar{N}_i = (1 - r_U)W_i\cos\alpha_i \quad \cdots\cdots(A.4)$$

其中 r_U 是孔隙压力比，可表示为：

$$r_U = \frac{\text{滑体水下体积} \times \text{水的容重}}{\text{滑体总体积} \times \text{滑体容重}} \approx \frac{\text{滑体水下面积}}{\text{滑坡总面积} \times 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (A.5)$$

简化公式，

$$K_f = \frac{\sum((W_i((1-r_U)\cos\alpha_i - A\sin\alpha_i) - R_{Di})\tan\phi_i + C_iL_i)}{\sum(W_i(\sin\alpha_i + A\cos\alpha_i) + T_{Di})} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (A.6)$$

b) 滑坡推力计算公式

对剪切而言：

$$H_s = (K_s - K_f) \times \sum(T_i \times \cos\alpha_i) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (A.7)$$

对弯矩而言，

$$H_m = (K_s - K_f)/K_s \times \sum(T_i \times \cos\alpha_i) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (A.8)$$

其中，H_s、H_m——推力(kN)；

K_s——设计的安全系数；

T_i——条块重量在滑面切线方向的分力。

.2 滑动面为折线形(图 A.2)

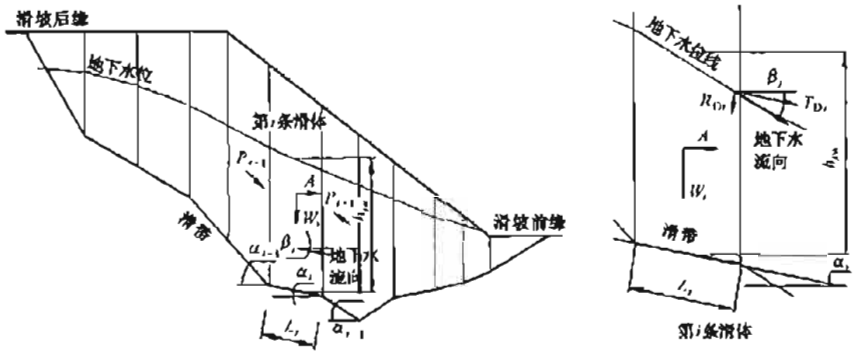


图 A.2 传递系数法(折线型滑动面)(堆积层滑坡计算模型之二)

a) 滑坡稳定性计算

$$K_J = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}(((W_i((1-r_U)\cos\alpha_i - A\sin\alpha_i) - R_{Di})\tan\phi_i + C_iL_i)\prod_{j=1}^{n-1}\Psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1}((W_i(\sin\alpha_i + A\cos\alpha_i) + T_{Di})\prod_{j=1}^{n-1}\Psi_j) + T_n} \quad \cdots\cdots (A.9)$$

其中：

$R_n = (W_n((1-r_U)\cos\alpha_n - A\sin\alpha_n) - R_{Dn})\tan\phi_n + C_nL_n$；

$T_n = (W_n(\sin\alpha_n + A\cos\alpha_n) + T_{Dn}$；

$\prod_{j=1}^{n-1}\Psi_j = \Psi_1\Psi_{i+1}\Psi_{i+2}\cdots\cdots\Psi_{n-1}$。

式中：

Ψ_j——第 i 块段的剩余下滑力传递至第 $i+1$ 块段时的传递系数($j=i$)，即

$$\Psi_j=\cos(\alpha_i-\alpha_{i+1})-\sin(\alpha_i-\alpha_{i+1})\tan\phi_{i+1}$$

其余注释同上。

b) 滑坡推力

应按传递系数法计算，公式如下：

$$P_i = P_{i-1}\times\Psi+K_S\times T_i-R_i \qquad \cdots\cdots(A.10)$$

其中：

P_i——为第 i 条块的推力(kN/m)；

P_{i-1}——为第 i 条的剩余下滑力(kN/m)。

下滑力 T_i

$$T_i = W_i(\sin\alpha_i+A\cos\alpha_i)+N_{wi}\sin\beta_i\cos(\alpha_i-\beta_i) \qquad \cdots\cdots(A.11)$$

抗滑力 R_i

$$R_i = W_i(\cos\alpha_i-A\sin\alpha_i)-N_{wi}-N_{wi}\sin\beta_i\sin(\alpha_i-\beta_i)\tan\phi_i+C_iL_i \qquad \cdots\cdots(A.12)$$

传递系数

$$\Psi=\cos(\alpha_{i-1}-\alpha_i)-\sin(\alpha_{i-1}-\alpha_i)\tan\phi_i \qquad \cdots\cdots(A.13)$$

孔隙水压力 N_{wi}

$$N_{wi}=\gamma_w h_{iw}L_i\cos\alpha_i \qquad \cdots\cdots(A.14)$$

即近似等于浸润面以下土体的面积 $h_{iw}L_i\cos\alpha_i$ 乘以水的容重 γ_w。

渗透压力平行滑面的分力 T_{Di}

$$T_{Di}=N_{wi}\sin\beta_i\cos(\alpha_i-\beta_i) \qquad \cdots\cdots(A.15)$$

渗透压力垂直滑面的分力

$$R_{Di}=N_{wi}\sin\beta_i\sin(\alpha_i-\beta_i) \qquad \cdots\cdots(A.16)$$

当采用孔隙压力比时，抗滑力 R_i 可采用如下公式

$$R_i=(W_i((1-r_U)\cos\alpha_i-A\sin\alpha_i)-\gamma_w h_{iw}L_i)\tan\phi_i+C_iL_i \qquad \cdots\cdots(A.17)$$

式中：r_U 是孔隙压力比。

A.2 岩质滑坡稳定性评价及锚固力计算

A.2.1 稳定性评价(图 A.3)

$$K_s=\frac{(W(\cos\alpha-A\sin\alpha)-V\sin\alpha-U)\tan\phi+CL}{W(\sin\alpha+A\cos\alpha)+V\cos\alpha} \qquad \cdots\cdots(A.18)$$

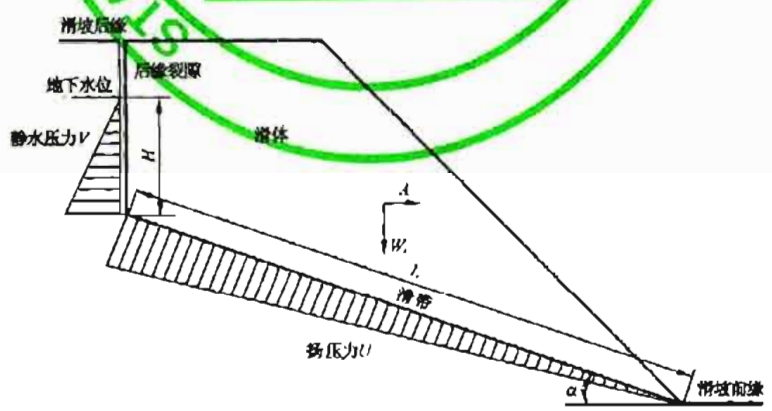


图 A.3 极限平衡法(岩质滑坡计算模型)

其中，后缘裂缝静水压力 V

$$V=\frac{1}{2}\gamma_w H^2 \qquad \text{（A.19）}$$

沿滑面扬压力 U

$$U=\frac{1}{2}\gamma_w L H \qquad \text{（A.20）}$$

其余注释同上。

A.2.2 岩质滑坡锚固力计算

根据极限平衡法进行计算，应考虑预应力沿滑面施加的抗滑力和垂直滑面施加的法向阻滑力。稳定系数计算公式推荐如下（图 A.4）：

$$K_f=\frac{(W(\cos\alpha-A\sin\alpha)-V\sin\alpha-U+T\sin\beta)\tan\phi+CL}{W(\sin\alpha+A\cos\alpha)+V\cos\alpha-T\cos\beta} \qquad \text{（A.21）}$$

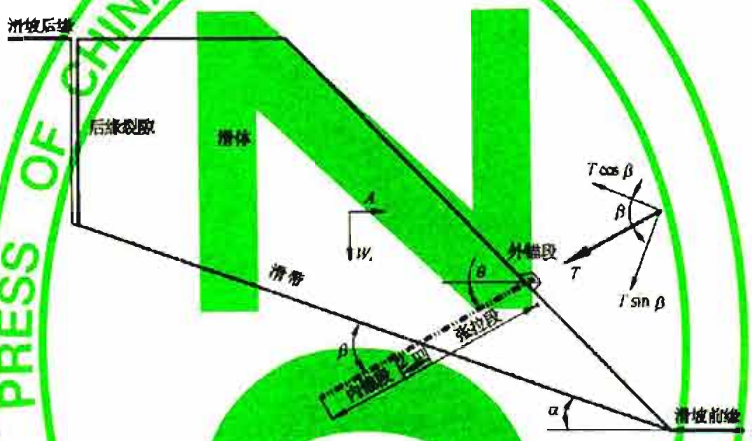


图 A.4 预应力锚索对滑坡作用示意图

其中，后缘裂缝静水压力 V

$$V=\frac{1}{2}\gamma_w H^2 \qquad \text{（A.22）}$$

沿滑面扬压力 U

$$U=\frac{1}{2}\gamma_w L H \qquad \text{（A.23）}$$

式中：

θ——锚索（杆）倾角（°）；

β——锚索（杆）与滑坡面的夹角（°），与滑面倾角（α）、锚索倾角（θ）之间的关系为：$\beta=\alpha+\theta$；

T——预应力锚索锚固力（kN）。

其余注释同上。

相应地，预应力锚固力为

$$T=\frac{K_f W_u-W_k-CL}{\sin\beta\tan\phi+K_f\cos\beta} \qquad \text{（A.24）}$$

其中：

$$W_u=W(\sin\alpha+A\cos\alpha)+V\cos\alpha \qquad \text{（A.25）}$$

$$W_k=(W(\cos\alpha-A\sin\alpha)-V\sin\alpha-U)\tan\phi \qquad \text{（A.26）}$$

如果锁定锚固力低于设计锚固力的 50%时，可不考虑预应力锚索产生的法向阻滑力，稳定系数计

算公式简化如下：

$$K_1 = \frac{(W(\cos\alpha - A\sin\alpha) - V\sin\alpha - U)\tan\phi + CL}{W(\sin\alpha + A\cos\alpha) + V\cos\alpha - T\cos\beta} \qquad \text{……(A.27)}$$

相应地，预应力锚索锚固力为

$$T = \frac{K_s W_a - W_b - CL}{K_s \cos\beta} \qquad \text{……(A.28)}$$

式中：注释同上。

附 录 B
（规范性附录）
重力挡土墙土压力计算公式

B.1 重力挡土墙主动土压力计算公式

作用在墙背上的主动土压力，可按库仑理论计算，计算公式如下：

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma K_a H^2 \qquad \text{（B.1）}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi-\varepsilon)}{\cos^2\varepsilon\cos(\varepsilon+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\beta)}{\cos(\delta+\varepsilon)\cos(\varepsilon-\beta)}}\right]} \qquad \text{（B.2）}$$

式中：

P_a——主动土压力(kN/m)；

K_a——主动土压力系数，无量纲；

H——墙高(m)；

γ——土体容重(kN/m³)；

δ——土与墙背间的摩擦角，其值参见表 B.1；

ϕ——土的内摩擦角(°)；

β——墙顶土坡坡度(°)；

ε——墙背与铅垂向夹角(°)。

表 B.1 土对挡土墙墙背的摩擦角

挡土墙情况	摩擦角(δ)
墙背平滑、排水不良	0～0.33ϕ
墙背粗糙、排水良	0.33～0.50ϕ
墙背很粗糙、排水良好	0.50～0.67ϕ
墙背与填土间不可能滑动	0.67～1.0ϕ

B.2 重力挡土墙被动土压力计算公式

挡土墙前部的被动土压力，一般不予考虑。当基础埋置较深，且地层稳定，不受水流冲刷和扰动破坏时，结合墙身位移条件，可采用 1/3～1/2 被动土压力值或静止土压力。被动土压力可按库仑理论计算，计算公式如下：

$$P_p = \frac{1}{2}\gamma K_p H^2 \qquad \text{（B.3）}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi+\varepsilon)}{\cos^2\varepsilon\cos(\varepsilon-\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi+\beta)}{\cos(\varepsilon-\delta)\cos(\varepsilon-\beta)}}\right]} \qquad \text{（B.4）}$$

式中：

P_p——被动土压力(kN/m)；

K_p——被动土压力系数，无量纲。

其他注释同上。

B.3 重力挡土墙抗滑和抗倾覆稳定性验算公式

抗滑稳定系数计算公式为

$$K = (G_n + E_{an})\mu/(E_{at} + G_t) \quad \cdots\cdots (B.5)$$

抗倾覆稳定系数计算公式为

$$K = (G \cdot X_0 + E_{az} \cdot X_f)/(E_{ax} \cdot Z_f) \quad \cdots\cdots (B.6)$$

其中：

$G_n = G\cos\ a_0$；

$G_t = G\sin\ a0$；

$E_{at} = E_a\sin\ (a - a_0 - \delta)$；

$E_{an} = E_a\cos\ (a - a_0 - \delta)$；

$E_{az} = E_a\sin\ (a - \delta)$；

$E_{ax} = E_a\cos\ (a - \delta)$；

$X_f = b - Z\cot\ a$；

$Z_f = Z - b\tan\ a_0$。

式中：

G——挡土墙每延米自重(kN/m)；

X_0——挡土墙重心离墙趾的水平距离(m)；

A_0——挡土墙的基底倾角(°)；

A——挡土墙的墙背倾角(°)；

δ——土对挡土墙墙背的摩擦角(°)；

b——基底的水平投影宽度(m)；

Z——土压力作用点离墙趾的高度(m)；

μ——土对挡土墙基底的摩擦系数；

E_a——作用在挡土墙上的总主动土压力(kN/m)，对于抗滑挡土土墙，采用滑坡推力。

当基底下有软弱夹层时，稳定性可用圆弧滑动面法进行验算；抗滑稳定系数为最危险的滑动面上，诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩与滑动力矩的比值，应符合下式要求：

$$K = M_r/M_s \geq K_s \quad \cdots\cdots (B.7)$$

式中：

M_r——抗滑力矩；

M_s——滑动力矩。

STANDARDS PRESS OF CHINA

附 录 C
（规范性附录）
抗滑桩设计地基系数表

表 C.1 岩石物理力学指标与抗滑桩地基系数 K

地层种类	内摩擦角	弹性模量 E_0 /(10^4 kPa)	泊松比 μ	地基系数 K /(10^6 kPa · m^{-1})
细粒花岗岩、正长岩、 辉绿岩、玢岩	80°以上	5 430～6 900 6 700～7 870	0.25～0.30 0.28	2.0～2.5 2.5
中粒花岗岩、粗粒正长岩、 坚硬白云岩	80°以上	5 430～6 500 6 560～7 000	0.25 0.25	1.8～2.0
坚硬石灰岩 坚硬砂岩、大理岩 粗粒花岗岩、花岗片麻岩	80°以上	4 400～10 000 4 660～5 430 5 430～6 000	0.25～0.30	1.2～2.0
较坚硬石灰岩 较坚硬砂岩 不坚硬花岗岩	75°～80°	4 400～9 000 4 460～5 000 5 430～6 000	0.25～0.30	0.8～1.2
坚硬页岩 普通石灰岩 普通砂岩	70°～75°	2 000～5 500 4 400～8 000 4 600～5 000	0.15～0.30 0.25～0.30 0.25～0.30	0.4～0.8
坚硬泥灰岩 较坚硬页岩 不坚硬石灰岩 不坚硬砂岩	70°	800～1 200 1 980～3 600 4 400～6 000 1 000～2 780	0.29～0.38 0.25～0.30 0.25～0.30 0.25～0.30	0.3～0.4
较坚硬泥灰岩 普通页岩 软石灰岩	65°	700～900 1 900～3 000 4 400～5 000	0.29～0.38 0.15～0.20 0.25	0.2～0.3
不坚硬泥灰岩 硬化粘土 软片岩 硬煤	45°	30～500 10～300 500～700 50～300	0.29～0.38 0.30～0.37 0.15～0.18 0.30～0.40	0.06～0.12
密实粘土 普通煤 胶结卵石 掺石土	30°～45°	10～300 50～300 50～100 50～100	0.30～0.37 0.30～0.40 — —	0.3～0.4
注：引自 TBJ 25—1990《铁路路基支挡结构物设计规则》。				

STANDARDS PRESS OF CHINA

表 C.2 抗滑桩嵌固段土的地基系数 m(随深度增加比例系数)

序号	土体名称	竖直方向 m_0 /(kPa/m²)	水平方向 m /(kPa/m²)
1	0.75<I_L<1.0 的软塑粘土及砂粘土;淤泥	1 000～2 000	500～1 400
2	0.5<I_L<0.75 的软塑粘砂土、砂粘土及粘土;粉砂及松砂土	2 000～4 000	1 000～2 800
3	硬塑砂粘土、砂粘土及粘土;细砂和中砂	4 000～6 000	2 000～4 200
4	坚硬粘砂土、砂粘土及粘土;粗砂	6 000～10 000	3 000～7 000
5	砾砂;碎石土、卵石土	10 000～20 000	5 000～14 000
6	坚实的大漂砾	80 000～120 000	40 000～84 000
注 1:引自 TBJ 25—1990《铁路路基支挡结构物设计规则》。 注 2:I_L 为土的液性指数,其 m_0 和 m 值的条件,相应于桩顶位移的 0.6 cm～1.0 cm。			

表 C.3 抗滑桩嵌固段土岩石的抗压强度和地基系数

序号	抗压强度/(10^3 kPa)		地基系数/(10^4 kPa/m)	
	单轴极限值 R	侧向容许值 σ	竖直方向 K_0	水平方向 K
1	10	1.5～2	10～20	6～16
2	15	2～3	25	15～20
3	20	3～4	30	18～24
4	30	4～6	40	24～32
5	40	6～8	60	36～48
6	50	7.5～10	80	48～64
7	60	9～12	120	72～96
8	80	12～16	150～250	90～200
注:引自《抗滑桩设计与计算》,铁道部第二勘测设计院编,铁道出版社,1983。				

DZ/T 0219—2006

中华人民共和国地质矿产
行 业 标 准
滑坡防治工程设计与施工技术规范
DZ/T 0219—2006

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045
网址 www.bzcbs.com
电话:68523946 68517548
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

开本 880×1230 1/16 印张 3.75 字数 104 千字
2006年11月第一版 2006年11月第一次印刷

书号:155066·2-17342 定价 23.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533

DZ/T 0219-2006