

河南省工程勘察设计行业协会团体标准

T/HNKCSJ019-2024

河南省工程勘察设计行业协会团体标准

Technical code for landslide stabilization

滑坡防治工程技术标准

二〇二四年九月

2024-09-2 发布

2024-11-01 实施

河南省工程勘察设计行业协会团体标准

Technical code for landslide stabilization

滑坡防治工程技术标准

T/HNKCSJ019-2024

主编单位：河南省新豫地质工程勘察院有限公司

河南省地质局生态环境地质服务中心

河南地矿集团中昊建设工程有限公司

批准单位：河南省工程勘察设计行业协会

实施日期：2024年11月1日

前 言

为促进河南省域滑坡防治工程技术工作标准化，做到安全适用、经济合理，使滑坡防治工程设计行业科学健康发展，编制组在广泛调查研究，认真总结近年来河南省在滑坡防治工程领域的勘察、设计、施工、检测与监测经验，并在广泛征求意见的基础上制定了本标准。

本标准的主要内容：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 滑坡防治工程勘察；5 滑坡稳定性分析与评价；6 滑坡防治方案比选；7 排水措施；8 重力式挡墙；9 悬臂式和扶壁式挡墙；10 锚索（杆）；11 格构锚索（杆）；12 抗滑桩；13 桩锚结构；14 组合抗滑结构；15 其他防护措施；16 检测、监测与验收。本标准由河南省新豫地质工程勘察院有限公司负责具体技术内容的解释。在标准执行过程中，请各单位结合工程实践，认真总结经验，并将意见或建议寄送郑州市南阳路 56 号《滑坡防治工程技术标准》管理组（邮政编码 450053, E-mail: wangrongyan168@126.com）。

本标准主编单位：河南省新豫地质工程勘察院有限公司

河南省地质局生态环境地质服务中心

河南地矿集团中昊建设工程有限公司

本标准参编单位：河南诚信岩土工程勘察设计有限公司

郑州岩土工程勘察院

河南省建筑科学研究院有限公司

河南省杰翔地球物理工程检测有限公司

河南卓越建设工程有限公司

中核勘察设计研究有限公司

河南省矿山环境生态修复工程技术研究中心

河南核科信息技术有限公司

本标准起草人员：王荣彦 荣富强 司光辉 郭自恒 许录明

张俊礼 刘立兵 张 娅 齐登红 姚占伟

刘金明 陈 奇 程守玉 贺永乐 郭东欣

盛智炜 罗雪贵 汪向丽 吴爱君 李永新

王 巍 凌嘉翔 肖道恺 宋德朝 顾永刚

张世峰 孙 豫 王洛静 黄海涛 胡 静

马延明 董国松 齐熙华 李 砾 赵 远

单元磊 王韶华 常 鹏 肖 敏 焦明星

陈建伟 任胜伟 朱会强 李欣雅 曹 栋

张延敏 彭建阳 张明明 赵利杰

本标准审查人员：李清波 李小杰 郭新华 王江锋 高树才

赵迷军 高胜跃 王兴义

目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术 语.....	2
2.2	符 号.....	4
3	基本规定.....	6
3.1	一 般 规 定.....	6
3.2	工程重要性分级.....	7
3.3	设计荷载规定.....	8
4	滑坡防治工程勘察.....	11
4.1	一 般 规 定.....	11
4.2	滑坡分类与破坏模式.....	11
4.3	初 步 勘 察.....	12
4.4	详 细 勘 察.....	15
4.5	勘察成果要求.....	18
5	滑坡稳定性分析与评价.....	19
5.1	一 般 规 定.....	19
5.2	分析和评价.....	19
6	滑坡防治方案比选.....	21
6.1	一 般 规 定.....	21
6.2	方 案 确 定.....	22
7	排 水 工 程.....	26
7.1	一 般 规 定.....	26
7.2	地表排水工程.....	26
7.3	地下排水工程.....	30
7.4	施 工.....	32
8	重力式挡墙.....	34
8.1	一 般 规 定.....	34
8.2	设计计算.....	34
8.3	构 造.....	37
8.4	施 工.....	38
9	悬臂式和扶壁式挡墙.....	40
9.1	一 般 规 定.....	40

9.2	设计计算.....	40
9.3	构造.....	42
9.4	施工.....	43
10	锚索(杆).....	44
10.1	一般规定.....	44
10.2	设计计算.....	44
10.3	构造.....	46
10.4	施工.....	53
11	格构锚索(杆).....	56
11.1	一般规定.....	56
11.2	设计计算.....	56
11.3	构造.....	57
11.4	施工.....	57
12	抗滑桩.....	59
12.1	一般规定.....	59
12.2	矩形抗滑桩设计计算.....	60
12.3	箱型抗滑桩设计计算.....	64
12.4	圆形抗滑桩设计计算.....	65
12.5	埋入式抗滑桩设计计算.....	66
12.6	双排抗滑桩设计计算.....	66
12.7	小口径组合抗滑桩设计计算.....	71
12.8	构造.....	72
12.9	施工.....	75
13	桩锚结构.....	77
13.1	一般规定.....	77
13.2	设计计算.....	77
13.3	构造.....	78
13.4	施工.....	78
14	组合抗滑结构.....	79
14.1	一般规定.....	79
14.2	设计计算.....	80
14.3	构造.....	84
14.4	施工.....	85

15 其他防护措施.....	86
15.1 一般规定.....	86
15.2 削方减载.....	86
15.3 回填压脚.....	87
15.4 锚喷防护.....	87
15.5 土钉墙防护.....	89
15.6 坡面防护.....	93
15.7 坡面绿化.....	96
16 检测、监测与验收.....	99
16.1 一般规定.....	99
16.2 检测检验.....	99
16.3 监测.....	101
16.4 验收.....	103
附录 A 滑坡稳定性计算公式.....	104
附录 B 常用锚索结构示意图.....	112
附录 C 锚索（杆）设计参考值.....	114
附录 D 锚索格构梁计算方法.....	116
附录 E 抗滑桩设计参考值.....	119
附录 F 锚索抗滑桩计算公式.....	121
附录 G 箱型和矩形抗滑桩设计计算.....	125
附录 H 圆形抗滑桩设计计算.....	128
附录 I 埋入式抗滑桩设计计算.....	131
附录 J 小口径组合抗滑桩计算公式.....	133
本标准用词说明.....	136
引用标准名录.....	137
条文说明.....	138

1 总 则

1.0.1 为在河南省地域滑坡工程的勘察、设计、施工及质量控制中贯彻执行国家技术经济政策，做到安全可靠、经济合理、技术先进、确保质量和保护环境，制定本标准。

1.0.2 滑坡是指重力滑动过程或重力滑动的地质体和所形成的堆积体，本标准适用于对该类滑坡工程的防治。

1.0.3 滑坡防治工程设计应综合考虑地质条件、滑坡失稳模式和施工条件，结合承灾体的危害等因素，因地制宜，科学设计，精心施工。

1.0.4 滑坡防治工程除应符合本标准外，尚应符合国家及我省现行有关规范、规程的要求。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 堆积层（土质）滑坡 colluvial-deposit landslide

除膨胀土、黄土、填土等特殊土之外，发生在包括风化残积土的第四系各种成因的土质滑坡体，滑动面多位于软弱土层中或基岩顶面。

2.1.2 岩质滑坡 rock landslide

地质体在重力作用下，沿软弱结构面下滑的现象。根据滑坡体中软弱结构面与临空面关系分为顺层岩质滑坡和逆向岩质滑坡。

2.1.3 推移式滑坡 slumping landslide

斜坡后缘岩土体变形失稳后，挤压推动前部岩土体向前滑动的滑坡。

2.1.4 牵引式滑坡 retrogressive landslide

斜坡前缘岩土体发生滑动后，使得后部岩土体失去支撑，逐渐向后扩展形成的滑坡。

2.1.5 浅层滑坡 shallow landslide

滑体厚度在 10m 以内（含 10m）的滑坡。

2.1.6 中层滑坡 middle-level landslide

滑体厚度在 10~20m 之间的滑坡。

2.1.7 深层滑坡 deep seated landslide

滑体厚度超过 20m 的滑坡。

2.1.8 动态设计 observational design

根据施工过程中揭露的地质情况和监测信息进行优化设计的工作。

2.1.9 信息化施工 informationization construction

利用施工过程中所获取的地质露头和监测信息等，调整和优化下一步施工方案的工作。

2.1.10 应急治理 emergency controlling

突破常规勘察和设计阶段划分，对出现明显变形滑动的滑坡进

行抢险治理的工作。

2.1.11 滑坡抗滑稳定设计安全系数 factor of safety

根据滑坡防治工程等级规定的设计需满足的安全程度的参数，包含计算剩余下滑力时的安全储备。

2.1.12 滑坡抗滑力 resisting force of landslide

阻止滑体沿滑面滑动的摩阻力和其他抗力的总和。

2.1.13 滑坡下滑力 driving force of landslide

使滑体沿滑面滑动的力的总和。

2.1.14 剩余下滑力 residual driving force of landslide

采用不平衡推力法计算下滑力的一种方法，取计算断面处的下滑力减去抗滑力的剩余值。

2.1.15 排水工程 drainage works

在滑体或外围砌筑的具有排导滑坡体地表积水或降低地下水位以提高滑坡整体稳定性功能的截水和引水沟渠、井、孔、洞室等地面和地下构筑物的总称。

2.1.16 支挡结构 retaining structure

利用自身重力的圬工或混凝土砌筑，或采用面板、肋柱、土工材料及锚索（杆）等材料与滑体前缘土体共同组成的构筑物。

2.1.17 锚索（杆） anchor cable(bar)

采用钢绞线（螺纹钢）将锚固力传至滑体下伏稳定滑床的杆状构件。

2.1.18 预应力锚固 prestressed anchor

通过钻孔穿过滑体安装钢绞线（束）、锚杆，采用注浆和张拉锁定方式预先增加抗滑力，以提高滑坡稳定性的一种主动抗滑治理技术。

2.1.19 格构锚索（杆） concrete grid with anchor

利用现浇钢筋混凝土或预制预应力混凝土等形成框格结构，进行滑体坡面防护，且可与锚索（杆）联合加固的一种治理技术。

2.1.20 抗滑桩 anti-sliding pile

在滑体及滑床中通过工程手段设置具有抵抗滑坡变形滑动功能

的钢筋混凝土构件（桩体）。

2.1.21 防治工程监测 monitoring for the stabilizing works

专门为滑坡防治工程开展的施工安全监测、防治效果监测和长期动态监测。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

G ——滑裂体自重；挡墙每延米自重；滑体单位宽度自重；

H_{tk} ——锚杆水平拉力标准值；

q ——坡顶附加均布荷载；地表均布荷载标准值；

q_L ——局部均布荷载标准值；

2.2.2 材料性能和抗力性能

c ——岩土体的黏聚力；结构面、滑移面的黏聚力；

c_s ——边坡外倾软弱结构面黏聚力；

φ ——岩土体的内摩擦角；结构面、滑移面的内摩擦角；

φ_s ——边坡外倾软弱结构面内摩擦角；

γ ——岩土体的重度；

γ' ——岩土体的浮重度；

γ_{sat} ——岩土体的饱和重度；

γ_w ——水的重度；

D_r ——土体的相对密实度；

w_L ——土体的液限；

I_L ——土的液性指数；

μ ——挡墙底与地基岩土体的摩擦系数；

ρ ——地震角。

2.2.3 几何参数

a ——上阶边坡的宽度；

A ——锚杆杆体截面面积；滑动面面积；

A_c ——锚固体截面面积；

A_s ——土钉、锚杆钢筋或预应力钢绞线截面面积；
 B ——肋柱宽度；
 B_p ——桩身计算宽度；
 H ——边坡高度；挡墙高度；土钉墙高度；
 L ——边坡坡顶塌滑区外缘至坡底边缘的水平投影距离；滑裂面长度；
 l_a ——锚杆锚固体与地层间的锚固段长度或锚筋与砂浆间的锚固长度；
 α ——锚杆倾角；支挡结构墙背与墙底水平投影的夹角；破裂面切线与水平面夹角；
 α' ——边坡坡面与水平面的夹角；
 α_0 ——挡墙底面倾角；
 β ——填土表面与水平面的夹角；地表斜坡面与水平面的夹角；土压力增大系数；
 δ ——墙背与岩土摩擦角；
 δ_r ——稳定且无软弱层的岩石坡面与填土间的内摩擦角；
 θ ——边坡的破裂角；边坡外倾结构面倾角；缓倾的外倾软弱结构面的倾角；假定岩土体滑动面与水平面的夹角；稳定岩石坡面或假定边坡岩土体滑动面与水平面的夹角；滑面倾角。

2.2.4 计算系数

F_s ——挡墙抗滑移稳定系数；
 F_t ——挡墙抗倾覆稳定系数；
 K ——整体稳定安全系数；岩土锚杆锚固体抗拔安全系数；
 K_b ——锚杆杆体抗拉安全系数，或锚杆钢筋抗拉安全系数；
 γ_0 ——支护结构重要性系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 大型和地质环境复杂的滑坡工程宜分阶段进行勘察设计。可分为可研阶段、初设阶段和施工图设计阶段。当滑坡体地质条件简单、基本要素明显或灾情危急，急需抢险治理时可一次合并进行。

3.1.2 滑坡防治工程勘察前应通过收集资料和现场踏勘，编制相应的勘察大纲并通过审查。

3.1.3 滑坡防治工程设计应以各阶段专门的勘察报告和监测资料为依据，并应在已确定的相应阶段滑坡工程地质勘察报告的基础上编制。

3.1.4 滑坡防治工程使用年限不应低于所保护的或受其影响的建（构）筑物的工作年限。

3.1.5 滑坡防治工程设计工作应贯穿从接受任务起至工程竣工止的全过程，并应进行动态设计，信息化施工。

3.1.6 可行性方案应在充分研究滑坡工程地质勘察报告及有关试验报告等成果资料的基础上，根据防治目标，进行多种设计方案的技术、经济、社会和环境效益等比较，并编制工程造价估算；提交可行性方案论证报告及附图册。

3.1.7 初步设计应对可行性方案论证阶段推荐的方案进行充分分析和比选；提出具体工程实现步骤和工程参数、结构设计及编制相应的报告及图件，编制工程造价概算；提交初步设计报告及设计附图册。

3.1.8 施工图设计应对初步设计确定的工程措施加以优化，完善工程图结构细部设计；提出工程监测、施工技术、施工组织和安全措施等方面的具体要求；并满足工程施工和工程招投标要求；编制工程施工图图件及说明，编制工程预算；提交施工图设计图册及施工图说明书、预算书等。

3.1.9 应急治理工程设计可简化上述设计阶段。

3.1.10 对于特级、I级及地质条件复杂的II级滑坡防治工程应进行施工阶段的勘察及地质编录工作。

3.1.11 滑坡防治工程设计应对施工可行性进行论证，提出施工方法、工艺、施工顺序的合理建议。

3.1.12 对于特级、I级及地质条件复杂的II级滑坡防治工程，在开始勘察时应开始监测。应结合滑坡工程特点、已有监测工作，完善或补充监测点并开始监测。

3.1.13 对滑坡防治工程应结合工程防治特点进行工程检测，并进行验收。

3.2 工程重要性分级

3.2.1 滑坡防治工程重要性等级应根据滑坡灾害可能造成的经济损失和威胁对象等因素，按表 3.2.1 进行划分。

表 3.2.1 滑坡防治工程重要性等级划分表

滑坡防治工程重要性等级		特级	I 级	II 级	III 级
威胁对象	威胁人数(人)	≥5000	≥500 且 <5000	≥100 且 <500	<100
	威胁设施	非常重要	重要	较重要	一般

注：威胁对象包括威胁人数和威胁设施，符合其中一项即判定为该工程等级。

3.2.2 受滑坡威胁的各类设施重要性分类应按表 3.2.2 确定。

表 3.2.2 受滑坡威胁的各类设施重要性分类表

重要性	设施类别
非常重要	放射性设施，核电站，大型地面油库，危险品生产仓储，重要政治设施，重要军事设施等
重要	城市和城镇重要建筑（含 30 层以上的高层建筑）、国家级风景名胜区、著名寺庙、高等级公路、铁路、机场、学校、大型水利水电工程、电力工程、大型港口码头、矿山，油（气）管道和储油（气）库等
较重要	城市和城镇一般建筑、居民聚居区、省级风景名胜区、知名寺庙、边境口岸、普通二级（含）以下公路、中型水利工程、电力工程、通讯工程、港口码头、矿山、城市集中供水水源地等
一般	居民点、小型水利工程、电力工程、通讯工程、港口码头、矿山、乡镇集中供水水源地、村道等

注：表中未列项目可根据有关技术标准和规定，按大、中、小型分别确定其重要性等级。大型为重要、中型为较重要、小型为一般。

注：受滑坡威胁的各类设施重要性分类应符合 GB/T 32864 的规定。

3.2.3 滑坡防治工程勘察等级应根据滑坡工程重要性等级和地质环境复杂程度按表 3.2.3 划分。

表 3.2.3 滑坡防治工程勘察等级

滑坡防治工程 重要性等级	地质环境复杂程度		
	复杂	中等复杂	简单
I级	一级	一级	二级
II级	一级	二级	三级
III级	二级	三级	三级

注：滑坡防治工程重要性等级为特级时，无论地质环境是哪种复杂程度，勘察等级均为一级，并应进行专门研究。

3.3 设计荷载规定

3.3.1 滑坡防治工程设计荷载及其组合应根据具体情况确定，包括基本组合和特殊组合。基本组合指基本荷载，特殊组合包括附加荷载和其他荷载。

1 荷载类型应符合下列要求：

1) 基本荷载，包括滑坡体自重、建（构）筑物荷载、地下水稳定水位时的孔隙水压力等；

2) 特殊荷载，包括降雨荷载和地震荷载：

a) 降雨荷载，包括降雨汇集的地表水和入渗坡体的地下水引起的水压力（静水压力和渗透压力等）；

b) 地震荷载，滑坡体由于地震作用而受到的水平向和竖向荷载（含惯性力、动土压力和动水压力）；

3) 附加荷载，包括滑坡体上的交通荷载、施工临时堆载等；

4) 其他荷载，包括大型水体（海洋、湖泊、江河、水库等）对滑坡体产生的水压力，一般包括静水压力和渗透压力。

2 荷载组合工况应符合下列要求：

滑坡防治设计的荷载组合应采用如下工况进行设计和校核：

工况 I——基本组合，为设计工况，考虑基本荷载；

工况 II——特殊组合，为校核工况，考虑基本荷载+降雨荷载；

工况 III——特殊组合，为校核工况，考虑基本荷载+地震荷载；

工况 IV——特殊组合，为校核工况，考虑基本荷载+降雨荷载+地震荷载。

3.3.2 降雨荷载应根据 20~100 年重现期的降雨强度确定。不同防治工程等级的降雨强度重现期宜按表 3.3.2 规定取值。

表 3.3.2 降雨强度重现期取值

滑坡防治工程重要性分级	降雨强度重现期（年）
特级	专门论证
I 级	100
II级	50
III级	20

3.3.3 抗滑稳定设计安全系数应依据滑坡防治等级和荷载组合，按表 3.3.3 选取。

表 3.3.3 抗滑稳定设计安全系数取值

滑坡防治工程重要性等级	设计		校核	
	工况 I	工况II	工况III	工况IV
I 级	1.30	1.25	1.15	1.05
II级	1.25	1.20	1.10	1.02
III级	1.20	1.15	1.05	不考虑

注：对特级工程应进行论证后确定。

3.3.4 地震荷载采用的加速度应按 50 年超越概率为 10%设计基准期计，对于 I 级滑坡防治工程地震加速度可按 50 年超越概率 5%设计基准期计，对于特级滑坡防治工程的设计基准期应专门论证。

1 地震荷载采用的综合水平地震系数取值见表 3.3.4，设计基本地震加速度选取应符合现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 规定。

表 3.3.4 综合水平地震系数取值

设计基本地震加速度 α_h	不考虑	0.1g	0.15g	0.2g
综合水平地震系数 α_w	0	0.025	0.0375	0.05

2 设计基本地震加速度为 0.2g 及以上，且位于地震断裂带 15.0km 范围内的滑坡，宜同时计入水平向地震荷载和竖向地震荷载。

3 地震荷载可按以下公式进行计算：

$$F_{hi} = \alpha_w W_i a_i \quad (3.3.4-1)$$

$$F_{vi} = F_{hi} / 3 \quad (3.3.4-2)$$

式中： F_{hi} ——滑块 i 的水平向地震荷载（N）；

α_w ——综合水平地震系数，即： $\alpha_w = \alpha_h \xi / g$ ；

- W_i ——滑块 i 的重量 (N) ;
- a_i ——滑块 i 的动态分布系数, 一般取 1~3;
- F_{vi} ——滑块 i 的竖向地震荷载 (N) ;
- a_h ——设计基本地震加速度 (m/s^2) ;
- ξ ——折减系数, 取 0.25;
- g ——重力加速度 (m/s^2) 。

4 滑坡防治工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 滑坡防治工程勘察应结合滑坡类型、滑坡特征、破坏形式及可能采用的支挡形式等因素布置勘探点，并综合多种勘察手段进行分析、评价。

4.1.2 特殊岩（土）滑坡除应进行常规勘察外，尚应结合滑坡防治工程特点选择合适的勘察手段进行针对性勘察。

4.1.3 当在施工阶段出现较大的地质问题或影响到设计方案变更时应进行施工勘察。

4.2 滑坡分类与破坏模式

4.2.1 滑坡应根据滑坡体的物质组成和结构形式等主要因素进行分类，并应符合下列要求：

1 堆积层滑坡，包括堆积体滑坡、残坡积层滑坡、黄土滑坡、膨胀土滑坡、填土滑坡等；

2 岩质滑坡，按照滑动面与岩层层面的关系分为顺层滑坡、切层滑坡和逆层滑坡等。

3 按滑体厚度的不同将滑坡分为浅层滑坡、中层滑坡和深层滑坡。

4 按滑体运移方式的不同将滑坡分为推移式滑坡和牵引式滑坡。

4.2.2 黄土滑坡破坏模式可分为圆弧形、折线形、直线形或复合形等。

4.2.3 膨胀土滑坡包括坍塌、崩塌、浅层和深层滑坡等；破坏模式为圆弧形、折线形、直线形或复合形等。

4.2.4 填土滑坡因填土类别不同有较大差异。对以素填土为主的填土类滑坡破坏模式为圆弧形、折线形或复合形。

4.2.5 类土质滑坡的破坏形式包括浅层破坏和深层滑移，破坏模式为圆弧形、直线形、折线形等。

4.2.6 岩质滑坡的破坏形式应结合岩体组成、岩体结构面特征、组合及与临空面关系等因素进行划分，按破坏模式可划分为直线型滑坡、楔形体滑坡及崩塌等，具体可按表 4.2.6 划分。坡面破坏形式有碎裂、风化等；坡体破坏形式包括滑落、崩塌、倾倒等。

表 4.2.6 岩质滑坡破坏模式分类

破坏模式	岩体特征		破坏特征
滑移型	由外倾结构面控制的岩体	硬性结构面的岩体 软弱结构面的岩体	沿外倾结构面滑移，分单面滑移与多面滑移
	不受外倾结构面控制和无外倾结构面的岩体	块状岩体、碎裂状、散体状岩体	沿极软岩、强风化岩、碎裂结构或散体状岩体中最不利滑动面滑移
崩塌型	受结构面切割控制的岩体	被结构面切割的岩体	沿陡倾、临空的结构面塌滑；由内、外倾结构不利组合面切割，块体失稳倾倒；岩腔上岩体沿结构面剪切或坠落破坏
	无外倾结构面的岩体	整体状岩体、巨块状岩体	陡立边坡因卸荷作用产生拉张裂缝导致岩体倾倒

4.3 初步勘察

4.3.1 初步勘察应在了解地形地貌、地质及水文地质、环境及保护对象、滑坡工程概况基础上进行。围绕滑坡类型、滑坡规模及等级、滑坡基本特征、破坏模式、滑面形态及力学参数进行勘察、计算和分析，并进行初步的稳定性评价。

4.3.2 滑坡初步勘察应满足下列要求：

1 收集和调查区域内的地形、地貌、地质构造、工程地质、水文地质、气象、地震和人类活动、坡面植被等相关资料及当地气象条件、汇水面积等；

2 初步查明滑坡的分布、规模、主要诱发因素、岩土体结构特征、发展趋势、危害特征、滑坡变形特征，区内滑坡体的成因、范围、类型、规模，岩土结构组成及岩性特征，覆盖层厚度、基岩面

的形态、岩石风化程度及完整程度，斜坡坡度、坡向、地层倾向与斜坡坡向组合关系；

3 调查剪出口和后缘裂缝的分布、长度、深度，前后缘变形裂缝的宽度、延伸长度、错距、充填物和发展方向等变形迹象；

4 初步查明滑坡体中软弱结构面类型、分布、形状、发育程度、延伸长度、闭合程度、风化程度、充填状况、充水状况、组合关系与临空面的关系；确定滑动面（带）的形态、埋深及特征；

5 初步查明地下水类型、补给和动态变化情况，调查剪出口的渗水情况，评价其对斜坡稳定的影响；

6 对膨胀岩土滑坡、湿陷性土质滑坡，应初步查明其分布特征及工程地质条件并提出针对性的防治措施；

7 根据原位试验、室内试验资料成果分析，结合规范和地区经验，初步查明滑坡场地中包括滑体、滑面、滑床的岩土物理力学及水文参数；

8 初步查明场地水文地质参数。对于土质滑坡及较破碎、破碎和极破碎的岩质滑坡宜在不加剧滑坡变形前提下，通过抽水、压水或渗水试验确定水文地质参数；

9 通过对勘察成果资料的分析 and 稳定性验算，初步分析滑坡的稳定性及未来的发展演化趋势，分析滑坡治理的必要性和可行性；

10 结合初步勘察成果对下阶段滑坡的详细勘察提出要求和建

4.3.3 滑坡防治工程勘察方法应结合滑坡类型、岩土体结构特点进行，包括地质调查、地质测绘、工程测量、钻探、物探、井探、取土水样及静探、标贯等原位测试工作。探井数量不宜少于钻孔总数的 1/4，对中层、深层滑坡不宜少于 1/5。滑坡勘探点的间距应符合表 4.3.3 的规定。

4.3.4 滑坡防治工程主勘探线应沿主滑方向布置，每个滑坡应不少于 1~3 条勘探线，主勘探线上应不少于三个勘探点，滑坡后缘、滑坡中部及滑坡前缘应有各不少于一个勘探点。同一个滑体有多个次级滑坡时，每个次级滑坡体均应有勘探点、线控制。

表 4.3.3 初步勘察的勘探线、点间距

滑坡防治工程安全等级	勘探线间距 (m)	勘探点间距 (m)
一级	≤70	20~30
二级	70~100	30~50
三级	100~150	50~90

注：1 滑坡前后缘取小值；
2 纵向勘探线地质条件复杂时，取小值；
3 滑坡体积或规模较大时可取大值。

4.3.5 滑坡防治工程勘探点深度宜进入最下层潜在滑面 3.0~5.0m，控制性钻孔取大值，一般性钻孔取小值，探井深度宜进入滑面下一定深度。

4.3.6 对主要岩土层和软弱层应采样进行室内物理力学性能试验，试验项目应包括物性、强度及变形指标，试样的含水状态应包括天然状态和饱和状态。采集试样数量，土层不少于 9 组，岩样抗压强度不应少于 6 个试件，岩石抗剪强度不少于 3 组，工程需要时应采集岩样进行变形指标试验，有条件时应进行结构面的抗剪强度试验。对于现场大剪试验，每组不应少于 3 个试件。

4.3.7 土质滑坡抗剪强度试验方法的选择应符合下列规定：

1 根据滑体内的含水状态选择天然或饱和状态的抗剪强度试验方法；

2 计算土压力时，对黏土、粉质黏土宜选择直接快剪试验或三轴不固结不排水剪试验，对粉土、砂土和碎石土宜选择有效应力强度指标；

3 计算整体稳定、局部稳定和抗滑稳定性时，对一般的黏性土、砂土和碎石土，按第 2 款相同的试验方法，但对饱和软黏性土，宜选择直剪快剪试验、三轴不固结不排水剪试验或十字板剪切试验。

4.3.8 滑坡稳定性计算应根据不同的工况选择相应的抗剪强度指标。土质边坡按水土合算原则计算时，地下水位以下宜采用土的饱和自重固结不排水抗剪强度指标；按水土分算原则计算时，地下水位以下宜采用土的有效抗剪强度指标。

4.3.9 滑动面（带）土的抗剪指标取值应结合室内试验、现场试验

并结合反分析成果及工程经验类比方法综合分析确定。

4.3.10 对于地质条件复杂的滑坡工程，初步勘察时宜选择部分钻孔埋设地下水和变形监测设备进行监测。

4.4 详细勘察

4.4.1 滑坡防治工程详细勘察应在初步勘察成果基础上进行。针对滑坡类型、滑坡规模及等级、滑坡基本特征、破坏模式、滑面形态及力学参数进行勘探、计算、分析以及稳定性评价，并提出针对滑坡工程的治理、支挡、排水等总体治理措施的建议。

4.4.2 滑坡防治工程详细勘察应符合下列要求：

1 充分收集和调查区域内的地形、地貌、地质构造、工程地质、水文地质、气象、地震和人类活动、坡面植被等相关资料及当地气象条件、汇水面积等；

2 查明滑坡的分布、规模、成因、范围、类型，主要诱发因素、发展趋势及危害特征、滑坡变形特征；查明区内滑坡体的岩土结构组成、岩性特征；查明滑坡的覆盖层厚度、基岩面的形态、岩石风化程度及完整程度，斜坡坡度、坡向、地层倾向与斜坡坡向组合关系。对拟实施防治工程的部位进行有针对性的工程地质勘探和测试；

3 调查剪出口和后缘裂缝的分布、长度、深度，前后缘变形裂缝的宽度、延伸长度、错距、充填物和发展方向等变形迹象；

4 查明滑坡体中软弱结构面类型、分布、形状、发育程度、延伸长度、闭合程度、风化程度、充填状况、充水状况、组合关系与临空面的关系；确定滑动面（带）的形态、埋深及特征；

5 根据原位试验、室内试验资料成果分析，结合规范和地区经验，提供滑体、滑带和滑床进行设计所需的岩土物理力学及水文参数；

6 查明地下水类型、补给和动态变化情况，调查剪出口的渗水情况，尚应提供水文地质参数。对于土质滑坡及较破碎、破碎和极破碎的岩质滑坡宜在不加剧滑坡变形前提下，通过抽水、压水或渗水试验确定水文地质参数；

7 对膨胀岩土滑坡、湿陷性土质滑坡应查明其分布特征及工程地质条件并提出针对性的防治措施；

8 通过对勘察成果资料的分析 and 稳定性验算，综合分析滑坡的现状稳定性及未来的发展演化趋势，计算滑坡剩余下滑力；

9 对滑坡支挡加固方案进行分析论证，提出工程防治措施和合适的加固方案；

10 提出影响滑坡工程施工的不利地质因素，并对工程设计和施工中应注意的问题提出建议。

4.4.3 滑坡勘探方法应结合滑坡类型、特点及可能采用的处置方案进行，包括地质调查、地质测绘、工程测量、钻探、物探、井探、取土水样及静探、标贯等原位测试工作。探井数量不宜少于钻孔总数的 1/4，对中、深层滑坡不宜少于 1/5。滑坡勘探点的间距要求应符合表 4.4.3 规定。

表 4.4.3 详细勘察的勘探线、点间距

滑坡防治工程安全等级	勘探线间距 (m)	勘探点间距 (m)
一级	≤50~70	10~15
二级	70~90	15~20
三级	90~120	20~30

- 注：1 滑坡前后缘取小值；
2 纵向勘探线地质条件复杂时，取小值；
3 滑坡体积或规模较大时可取大值；
4 拟设置支挡位置宜加密勘探点；
5 滑坡面积较小时取小值。

4.4.4 滑坡主勘探线应沿主滑方向布置，每个滑坡应不少于 2~3 条勘探线，主勘探线应不少于三个勘探点，滑坡后缘、滑坡中部及滑坡前缘应有各不少于一个勘探点；同一个滑体有多个次级滑坡时，每级滑坡体应有勘探线控制；在拟支挡或设置排水构筑物部位应设置勘探点。

4.4.5 滑坡防治工程勘探点深度宜进入最下层潜在滑面 3.0~5.0m，控制性钻孔取大值，一般性钻孔取小值，探井深度宜进入滑面下一定深度；支挡位置的控制性勘探孔深度应根据可能选择的支护结构形式确定：对于重力式挡墙、扶壁式挡墙和锚杆挡墙进入持力层不

应小于 2.0m，对于悬臂桩进入嵌固段的深度土质时不宜小于悬臂长度的 0.7~1.0 倍，岩质时不小于悬臂长度的 0.4~0.6 倍。

4.4.6 对主要岩土层和软弱层应采样进行室内物理力学性能试验，试验项目应包括物性、强度及变形指标，试样的含水状态应包括天然状态和饱和状态；主要岩土层采集试样数量不少于 9 组；岩样抗压强度不应少于 6 个试件，岩石抗剪强度不少于 3 组，工程需要时应采集岩样进行变形指标试验，有条件时应进行结构面的抗剪强度试验；对于现场大剪试验，每组不应少于 3 个试件。

4.4.7 土质滑坡抗剪强度试验方法的选择应符合下列要求：

1 根据滑体内的含水状态选择天然或饱和状态的抗剪强度试验方法；

2 用于土质滑坡，在计算土压力时，对黏土、粉质黏土宜选择直剪剪切试验或三轴不固结不排水剪试验，对粉土、砂土和碎石土宜选择有效应力强度指标；

3 用于土质滑坡计算整体稳定、局部稳定和抗滑稳定性时，对一般的黏性土、砂土和碎石土，按土质滑坡相同的试验方法，对饱和软黏性土，宜选择直接快剪试验、三轴不固结不排水剪试验或十字板剪切试验。

4.4.8 滑坡稳定性计算应根据不同的工况选择相应的抗剪强度指标。土质滑坡按水土合算原则计算时，地下水位以下宜采用土的饱和自重固结不排水抗剪强度指标；按水土分算原则计算时，地下水位以下宜采用土的有效抗剪强度指标。

4.4.9 滑动面（带）土的抗剪指标取值应结合室内试验、原位试验并结合反分析成果及工程经验类比方法综合分析确定。

4.4.10 采用工程经验类比进行稳定分析时应选用已经竣工治理效果良好的类似工程。

4.4.11 在具备条件的情况下抗剪强度指标宜结合反分析方法进行，对已经发生或正在滑动的滑坡体，其安全系数宜取 0.95~0.99。

4.4.12 对于地质条件复杂的滑坡工程，宜选择部分钻孔埋设地下水和变形监测设备进行监测。

4.4.13 除各类监测孔外，滑坡防治工程勘察工作中的探井、探坑和探槽等应及时封填。

4.5 勘察成果要求

4.5.1 勘察报告内容应根据任务来源、滑坡特点、保护对象等具体情况确定，并应符合下列要求：

1 工程概况，如任务来源、勘察目的与任务、勘察工作情况、工作量及质量描述，滑坡工程特点及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）等；

2 区内地形地貌及地质环境、地质条件、水文地质条件等；

3 滑坡基本特征包括滑坡所处的微地形地貌特征及地质结构特征，地形坡度及变化、滑坡边界、滑体厚度与特征、滑面形态与特征、滑床特征、滑坡成因及主要影响因素等；

4 滑坡的水文地质包括滑坡体水文地质条件及地下水，即滑坡体含水层、隔水层的性质、厚度、透水性、地下水的补、径、排，地下水水位及动态，岩土渗透性，地表水、地下水简分析与侵蚀性等；

5 滑坡岩土物理力学性质包括滑体岩土物理力学性质、滑带岩土物理力学性质、滑床岩土物理力学性质。在进行岩土试验参数统计、反分析（条件具备时）及经验类比的基础上，提出岩土物理力学参数建议值；

6 滑坡稳定性分析和评价包括滑坡稳定性分析、变形破坏的模式；进行极限平衡法分析时应包括计算模型与方法、参数选择、计算工况、计算结果等；

7 治理方案评价及建议包括各类治理方案如支挡、截排水、卸载、加固、监测等方案的描述及对应治理方案的设计参数建议。

4.5.2 勘察报告附图及附件宜包括勘探点平面布置图、滑坡防治工程地质剖面图、钻孔柱状图、原位测试报告、土工试验报告等。

5 滑坡稳定性分析与评价

5.1 一般规定

5.1.1 滑坡的稳定性分析与评价应采用定性定量相结合的方法。定性分析方法包括工程地质类比法、图解分析法；定量评价方法包括极限平衡法、数值模拟法等。

5.1.2 对于滑面倾角变化较大、滑面部分有软弱夹层的滑坡，当采用传递系数法进行稳定性评价和推力计算时，应采用隐式解。可按 GB 50330 和 GB 50021 的有关规定执行。

5.1.3 对地质条件复杂或支挡工程组合结构复杂的滑坡，宜采用数值模拟方法进行设计和校验。

5.2 分析和评价

5.2.1 滑坡稳定性计算前，应根据滑坡分布范围、规模、地质条件，滑坡成因及已经出现的变形破坏迹象，对滑坡的稳定性作出定性判断，并根据岩土工程地质条件对滑坡的可能破坏模式、相应破坏方向、破坏范围等作出判断。判断岩质滑坡的可能破坏方式时应同时考虑到受岩土体强度控制的破坏和受结构面控制的破坏。

5.2.2 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，除应分析沿不同滑面滑动的可能性外，尚应分析前方滑体滑动后后方滑体滑动的可能性。

5.2.3 岩质滑坡抗滑移稳定性计算可采用刚体极限平衡法。对结构复杂的岩质滑坡，可结合极射赤平投影法和实体比例投影法；当滑坡破坏机制复杂时，可采用数值分析法。

5.2.4 均匀土质滑坡、破碎或极破碎岩质滑坡计算稳定性时，可按照圆弧形滑面进行稳定性评价，圆弧形滑面用毕肖普法（Bishop 法）进行稳定性评价，可用摩根斯顿-普赖斯法（Morgenstern-Price 法）进行稳定性校核。

5.2.5 沿结构面滑动的岩质滑坡进行抗滑稳定性计算时，应根据结构面形态采用不同的评价方法：

1 折线形滑面：用不平衡推力传递法进行稳定性评价和推力计

算，可用摩根斯顿-普赖斯法（Mor-genstern-Price）法进行稳定性校核；

2 单一平面滑面：用块体极限平衡解析法进行稳定性评价和推力计算；

3 多组软弱面组合滑面：用三维楔体法进行稳定性评价，宜用二维极限平衡法对主剖面进行校核。

5.2.6 采用刚体极限平衡法计算滑坡抗滑稳定性时，可根据滑面形态按本标准附录 A 选择计算方法。

5.2.7 滑坡或潜在滑坡剩余下滑力的计算，应在确定滑坡防治安全等级、滑体厚度、滑面形态及对应参数等基础上进行，并宜结合工程类比法综合分析后确定。

5.2.8 当滑坡存在多级或多个滑动面时，对每个可能的滑动面均应分别进行稳定性计算。

5.2.9 对于特级滑坡防治工程，应对其安全系数和工况进行专门论证。

6 滑坡防治方案比选

6.1 一般规定

6.1.1 滑坡防治工程治理应考虑滑坡类型、支挡处的剩余下滑力大小、工程地质和水文地质条件、施工环境条件等因素。治理方案应对包括导排水、支挡、锚固、减载、压脚等两种或多种方案进行可行性论证，并应符合下列要求：

1 排水措施：对地下水丰富的滑坡，应采取地表排水、滑坡体导水和地下排水措施；可采用在滑坡后缘外设置环形截水沟、滑坡体上设分级排水沟、裂缝封填以及坡面封闭等措施，排放地表水，防止暴雨和洪水对滑体和滑面的浸蚀软化；工程需要时可采用设置地下横、纵向排水盲沟、廊道和长缓仰斜式排水孔等措施；

2 支挡工程：对滑面埋藏较深、滑体较厚、剩余下滑力较大的滑坡及滑坡重要性等级较高时，宜采用抗滑桩、桩锚板等支挡结构或组合式支挡结构；当剩余下滑力较小时可采用悬臂桩、小口径组合桩或各类挡墙；滑坡支挡设置应确保滑体不从支挡结构顶部越过、桩间挤出和产生新的深层滑动；支挡结构的位置应选择在滑面平缓、滑体较薄、滑床岩土体强度较高、剩余下滑力较小的地段；

3 锚固工程：对滑面埋藏深度不大、滑体不厚、剩余下滑力不大的滑坡，通过钻孔穿过滑坡体安装钢绞线（束）或锚杆，采用注浆增加抗滑力从而增加滑坡的稳定性；

4 削方减载措施：对推移式滑坡宜削方减载；

5 压脚措施：对牵引式滑坡宜进行反压及其他设计措施，应设置在滑坡前缘抗滑段区域，可采用土石回填或加筋土反压，并应加强反压区地下水引排；

6 对失稳因素复杂的滑坡体，多采用以上的综合治理措施。

6.1.2 滑坡治理方案应考虑被保护对象对滑坡变形的敏感程度，对变形敏感时，应采用能控制滑坡变形的主动加固措施。

6.1.3 滑坡治理方案可分为可行性方案设计、初步方案设计和施工图方案设计三个阶段。应急治理工程方案可简化设计阶段。

6.1.4 应急治理工程方案应优先选择地表排水防渗、上部削方减载及前缘回填压脚、排水工程、锚索（杆）工程、小口径组合抗滑桩或钻孔抗滑桩支挡等快速治理措施。

6.1.5 滑坡治理方案宜采用新技术、新方法，在可行性论证时，应提供新技术、新方法的鉴定或验收报告，或者提供成功应用的工程案例材料。

6.1.6 滑坡治理方案应减少对环境的破坏，宜采取岩土工程措施与植被防护措施相结合的方案。

6.1.7 滑坡治理方案应重视土地的保护和利用，宜采取滑坡防治与土地保护利用、生态修复相结合的方案。

6.1.8 滑坡治理方案应考虑施工的便利性，宜优先采用就地取材的工程措施。

6.2 方案确定

6.2.1 在可行性方案论证阶段，应先进行搬迁避让、监测预警或改线绕避等非工程方案与工程方案进行两个或两个以上工程方案的比选。方案比选应从技术、经济、施工可行性并结合地区经验进行概念设计、综合分析后确定。技术方面包括技术适用性、可靠性、环境影响及施工便利性、工期、对滑坡变形控制的难易程度等，经济方面包括工程造价、预期效益等。

6.2.2 初步设计方案应对可行性研究阶段经过比较确定的设计方案进行设计。

6.2.3 施工图设计是对初步设计方案的细部设计和方案优化。

6.2.4 施工图设计方案应依据滑坡的稳定状态选用安全可靠的技术措施，对处于缓慢变形阶段的滑坡，采取的治理措施应利于施工安全，宜采用机械在滑体上进行探坑、探井等作业；对处于加速变形阶段的滑坡，应优先采取能保证作业安全的应急治理措施，待滑坡变形趋缓后再进行综合治理。在工程造价相差不大时，应优先选择技术先进、机械化程度高、对环境保护有利的设计方案。常用的滑坡防治工程支护结构见表 6.2.4。

表 6.2.4 滑坡防治工程支护结构常用形式

序号	支护形式	适用条件	备注
1	重力式挡墙	场地允许，坡顶无重要建（构）筑物	控制滑坡变形能力较弱
2	悬臂式和扶壁式挡墙	场地允许，坡顶无重要建（构）筑物	控制滑坡变形能力较弱
3	格构锚索（杆）	适合剩余下滑力不大的滑坡防治工程	对变形有较高要求的滑坡，宜采用预应力锚杆
4	抗滑桩	场地狭窄，坡顶有建（构）筑物需要保护	当滑坡变形要求较高及环境条件要求较高时
5	桩锚结构	场地狭窄，坡顶有建（构）筑物需要保护	当滑坡变形及环境条件要求较高时
6	组合支护结构	适合滑坡体较厚需要分级支挡时	如上部土钉墙下部桩锚板结构；桩基托梁挡墙等
7	其他防治工程		可与上述措施结合使用，起辅助作用

6.2.5 对黄土类滑坡应结合滑坡规模、失稳模式采取支挡、坡顶隔水、坡面防护、坡脚加固等综合处理措施，常见的黄土类滑坡的坡体支护形式见表 6.2.5。

6.2.6 对膨胀岩土类滑坡应结合滑坡规模、失稳模式采取支挡、坡顶隔水、坡面防护保湿、换填、排水、坡脚加固等综合处理措施，常见的膨胀岩土滑坡支护形式宜按表 6.2.6 选用。

表 6.2.5 黄土类滑坡坡体支护形式

序号	支护形式	适用条件	备注
1	坡率法	一般不大于 10m	多与生态护坡结合
2	各类挡墙如重力式挡墙、扶壁式挡墙等	一般高度 5~7m 不等	1 当高度较大, 对墙底承载力要求高时; 2 对砌筑质量要求较高; 3 多为有一定填方和削坡后的边坡
3	预应力复合土钉墙	一般不大于 10m	土钉墙高度不大于 5 m
4	1 复合式挡墙如桩基托梁挡墙; 2 挡墙与锚杆(索)复合	一般高度可达 10m	当需要对已有挡墙加固时
5	格构锚索	一般不大于 15m	控制滑坡变形较好
6	抗滑桩	支护高度小于 15m	属悬臂式大直径、大间距护坡形式, 桩顶位移较大
7	桩锚结构	一般不大于 20m	控制滑坡变形较好
8	组合式支挡: 如上部挡墙或放坡、下部桩锚结构	分级支护, 高度可大于 15m, 分级高度多在 10m 左右	

表 6.2.6 膨胀岩土类滑坡支护形式

序号	支护形式	适用条件	备注
1	坡率法	一般不大于 3m	可与生态护坡结合
2	各类挡墙如重力式挡墙	一般高度不大于 3-5m	多为有一定填方和削坡后的边坡; 高度大时, 对墙底承载力要求高, 对砌筑质量要求较高
3	预应力复合土钉墙	一般高度小于 5m	对弱膨胀土
4	挡墙与锚(索)杆复合	一般高度小于 10m	
5	格构锚索	一般不大于 10m	控制滑坡变形较好
5	抗滑桩	一般高度 5-10m	
7	桩锚结构	可大于 10m	控制滑坡变形较好
8	联合支护	当滑坡需要分级支挡时, 分级高度一般小于 5m	如上部复合土钉墙、下部挡墙等

6.2.7 类土质滑坡坡面变形防护宜选用浆砌片石防护、拱型骨架、网格骨架、护面墙等。深层破坏应采用格构锚杆、桩板墙、锚杆挡墙等支护结构形式。

6.2.8 岩质滑坡支护形式宜按表 6.2.8 选用。

表 6.2.8 岩质滑坡支护结构常用形式

序号	支护形式	适用条件	备注
1	锚喷支护	挖方区, III类岩质滑坡, H≤15m	岩质滑坡
2	格构锚索 (杆)	挖方区, 土岩组合滑坡, H≤15m 岩质滑坡, H≤40m	土岩组合滑坡、岩质滑坡对变形有较高要求的滑坡, 宜采用预应力锚索(杆)
3	抗滑桩	场地狭窄, 坡顶有建 (构) 筑物需要保护, 挖 方区, 悬臂式, H≤15m 岩质滑坡, H≤40m	当滑坡对变形要求较高及环境条件要求较高时; 特殊岩土边坡
4	桩锚结构	场地狭窄, 坡顶有建 (构) 筑物需要保护, 挖 方区, H≤40m	当滑坡变形及环境条件要求较高时; 特殊岩土滑坡
5	联合支护	需要分级支挡时, 适用高度较大	如上部土钉墙下部桩锚板结构、桩基托梁挡墙或特殊岩土滑坡

7 排水工程

7.1 一般规定

7.1.1 排水工程设计应在滑坡防治总体方案基础上，结合地形条件、沟谷及河流分布、工程地质、水文地质条件及降雨条件依山就势进行设计，排水工程设计包括地表排水、地下排水或两者相结合的方案。

7.1.2 地表排水工程设计标准应满足工程等级所确定的降雨强度重现期标准。

7.1.3 当滑坡体上存在需保留的地表水体时，应进行防渗处理，并与拟建排水系统相接。

7.1.4 地下排水工程设计应视滑面分布特征、滑坡体及围岩的水文地质结构、地下水动态特征，选用隧洞排水、钻孔导水或盲沟排水等方案。

7.1.5 排水工程设计应充分保证排水工程结构的寿命，采用耐久性好的新材料、新技术和新工艺。

7.1.6 位于城镇区的滑坡，其排水工程设计应与城镇现有或规划的排水系统和设施协调，并应设置合适的排水接入口。

7.2 地表排水工程

7.2.1 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，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，以确定排水沟断面，并校核已有排水沟过流能力。

7.2.2 地表排水工程设计频率地表汇水量计算，按式（7.2.2）计算：

$$Q_p = 0.278\Phi S_p F / \tau^n \quad (7.2.2)$$

式中： Q_p ——设计频率地表水汇入量（ m^3/h ）；

Φ ——径流系数，在山地、丘陵地带可取 0.1~0.3；

S_p ——设计降雨强度（ mm/h ），可按当地水文手册相应图表选取和计算；

F ——汇水面积 (km^2) ;
 τ ——流域汇流时间 (h) ;
 n ——降雨强度衰减系数。

7.2.3 当缺乏足够的流域资料时, 设计频率地表水汇流量可采用式 (7.2.3-1) 和式 (7.2.3-2) 计算, 即:

1 当 $F \geq 3\text{km}^2$ 时

$$Q_p = \Phi S_p F^{2/3} \quad (7.2.3-1)$$

2 当 $F < 3\text{km}^2$ 时

$$Q_p = \Phi S_p F \quad (7.2.3-2)$$

式中: Q_p ——设计频率地表水汇入量 (m^3/s) 。

7.2.4 排水沟断面形状可为矩形、梯形、复合型等 (图 7.2.4) 。

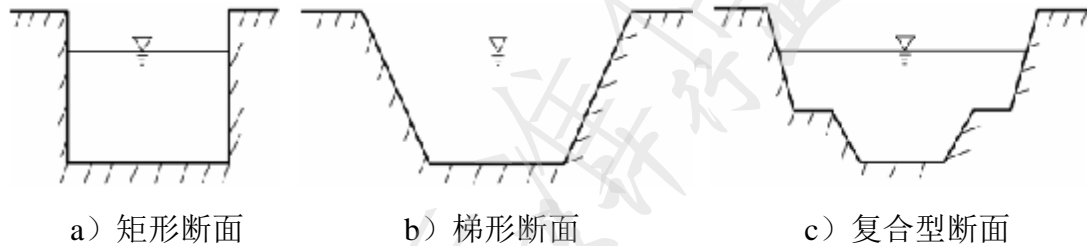


图 7.2.4 排水沟主要断面形状示意图

7.2.5 排水沟 (管) 的设计径流量可按式 (7.2.5) 计算:

$$Q = v A_g \quad (7.2.5)$$

式中: Q ——设计径流量 (m^3/s) ;
 v ——沟 (管) 内的平均流速 (m/s) ;
 A_g ——设计过水断面面积 (m^2) 。

7.2.6 排水沟 (管) 内的平均流速可按式 (7.2.6) 计算:

$$v = R^{2/3} i^{1/2} / n_s \quad (7.2.6)$$

式中: v ——沟 (管) 内的平均流速 (m/s) ;
 R ——水力半径 (m) , 即 $R = A_g / \rho$;
 i ——水力坡度, 可取用沟 (管) 底坡度;
 n_s ——沟壁或管壁的粗糙系数, 宜按表 7.2.6 确定;
 A_g ——设计过水断面面积 (m^2) ;
 ρ ——过水断面湿周 (m) 。

表 7.2.6 排水沟（管）粗糙系数取值表

管渠类别	粗糙系数 n_s	管渠类别	粗糙系数 n_s
UPVC 管、PE 管、玻璃 钢管	0.009~0.01	浆砌砖渠道	0.015
石棉水泥管、钢管	0.012	浆砌块石渠道	0.017
陶土管、铸铁管	0.013	干砌块石渠道	0.020~0.025
混凝土管、钢筋混凝土 管、水泥砂浆抹面渠道	0.013~0.014	土明渠 (包括带草皮)	0.025~0.030

7.2.7 排水沟（管）的容许流速应符合下列规定：

- 1 明沟的最小容许流速为 0.4m/s，暗沟和排水管的最小容许流速为 0.75m/s；
- 2 排水管的最大容许流速为：金属管 10m/s；非金属管 5m/s；
- 3 明沟的最大容许流速，在水深为 0.4~1.0m 时，按表 7.2.7-1 取用；在此水深范围外的容许值按表 7.2.7-1 列值乘表 7.2.7-2 中相应的修正系数。

表 7.2.7-1 排水沟最大容许流速表

明沟类型	最大容许流速 (m/s)	明沟类型	最大容许流速 (m/s)	明沟类型	最大容许流速 (m/s)	明沟类型	最大容许流速 (m/s)
粉土	0.8	黏土	1.2	干砌片石	4.0	水泥砂浆	6.5
粉质黏土	1.0	草皮护面	1.6	浆砌片石	5.5	混凝土	10.0

表 7.2.7-2 排水沟最大容许流速的水深修正系数表

水深 h(m)	$h < 0.4$	$0.4 \leq h \leq 1.0$	$1.0 < h < 2.0$	$h \geq 2.0$
修正系数	0.85	1.00	1.25	1.40

7.2.8 矩形、梯形排水沟断面底宽和深度不宜小于 0.4m。

7.2.9 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 (7.2.9) 计算：

$$R_{\min} = 1.1v^2 A^{1/2} + 12 \quad (7.2.9)$$

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 (m²)。

7.2.10 截水沟应设置在滑坡体后缘裂缝 5m 以外的稳定斜坡面上，截水沟迎水面可设置泄水孔，孔径不宜小于 50mm。

7.2.11 截（排）水沟的纵坡不宜小于 0.5%，可单面“一”字坡排水或双面“人”字坡排水，沟壁进行铺砌的沟渠，最小纵坡不宜小于 0.12%。

7.2.12 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，除应进行抗冲刷计算外，尚应符合下列规定：

1 排水沟沟床纵坡不宜大于 5%；

2 当自然纵坡大于 5%或局部高差较大时，应设置消能和防冲措施。当跌水高差大于 5m 时，应采用多级跌水槽或增设消力槛和沉砂池。多级跌水可根据地形、地质条件，采用连续或不连续的形式；

3 当排水沟通过裂缝时，应设置成叠瓦式的沟槽，采用土工合成材料或钢筋混凝土预制板制成；对有明显开裂变形的坡体，应及时封堵裂缝，整平积水坑、洼地，使降雨能迅速沿排水沟汇集、排走；

4 排水沟进出口平面布置，应采用喇叭口或“八”字形导流翼墙。导流翼墙长度可取设计水深的 3~4 倍；

5 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 排水沟的安全超高，不宜小于 0.4m；在弯曲段凹岸，应分析并计入水位壅高的影响；

7 跌水和陡坡进出口段，应设导流翼墙，并与上、下游沟渠护壁连接；梯形断面沟道宜做成渐变收缩扭曲面，矩形断面沟道宜做成“八”字式。

7.2.13 排水沟的设置尚应符合下列规定：

1 排水沟可用浆砌片石或块石砌成，当坡体松软或地质条件较差时，应采用毛石混凝土、混凝土或耐久性更好的材料修砌，毛石混凝土或素混凝土的标号不宜小于 C15；

2 砌筑排水沟砂浆的标号不宜低于 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；

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

4 当滑体上或滑坡后缘（外围）存在有可能影响滑坡稳定的水田、池、塘、库等常年性或季节性地表水体时，应采取相应的防渗漏措施；

5 当截水沟与排水沟相接时，应尽量采用大角度相交，必要时可设置消能井或挡水墙；

6 明沟进入暗涵处应设置炉壁状漏水网。

7.3 地下排水工程

7.3.1 地下排水工程可采用盲沟、集水井、仰斜排水孔、排水隧洞及其组合措施。

7.3.2 当滑坡体表层有积水湿地和泉水露头时，可将排水沟（或支沟）上端做成渗水盲沟或用网状排水带排水。

7.3.3 盲沟深度宜小于 10m，纵坡宜大于 5%。填石渗水盲沟应采用不含泥的块石、碎石填实，两侧和顶部设置砂砾石和土工织物反滤层。

7.3.4 对于浅层滑坡，宜采用支撑盲沟排出滑坡体内地下水，或在滑坡后缘设置截水盲沟，具体见图 7.3.4。

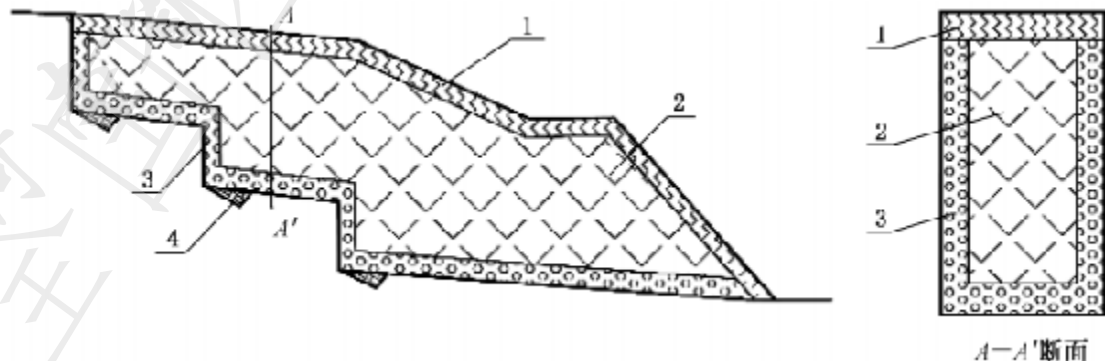


图 7.3.4 地下排水支撑盲沟示意图

说明：1——大块干砌片石；2——干砌片石；3——反滤层；4——浆砌片石。

7.3.5 支撑盲沟应布置于滑坡前缘，宜沿地下水流向布置，深度宜

小于 5m，横宽宜为 2~4m，中心间距宜为 6~15m。

7.3.6 支撑盲沟基底应埋入滑面以下稳定岩层不小于 0.5m，前端辅以挡墙或片石踪。

7.3.7 支撑盲沟的长度、支撑力可按式 (7.3.7-1)、式 (7.3.7-2) 计算：

1 支撑盲沟长度计算：

$$L_m = \frac{F_{st}P \cos \alpha - P \sin \alpha \tan \varphi'}{\gamma h b \tan \varphi'} \quad (7.3.7-1)$$

式中： L_m ——支撑盲沟长度 (m)；

F_{st} ——设计安全系数，取值 1.3；

P ——作用于盲沟上的滑坡推力 (kN)，即： $P=P_B \times B$ ；

α ——支撑盲沟后的滑坡滑面倾角 (°)；

φ' ——盲沟基础与地基内摩擦角 (°)；

γ ——盲沟内填料重度，采用浮重度 (kN/m³)；

h, b ——支撑盲沟的高、宽 (m)；

P_B ——滑坡单宽推力 (kN/m)；

B ——沟中心距 (m)。

2 支撑力计算：

$$P_z = \gamma h L_m b \tan \varphi' \quad (7.3.7-2)$$

式中： P_z ——盲沟支撑力 (kN)。

7.3.8 截水盲沟宜布设在滑坡可能发展的边界以外不小于 5m 的稳定山坡处，垂直地下水流向布置。基底应埋入最低含水层以下不透水层或基岩中，背水面和顶部设置隔渗层，迎水面设置反滤层。

7.3.9 截水盲沟排水量计算应符合下列规定：

1 当设计盲沟长度等于或大于 50m 时，可采用式 (7.3.9-1) 计算：

$$Q' = L_m K \frac{H^2 - h_1^2}{2R'} \quad (7.3.9-1)$$

式中： Q' ——盲沟出水量 (m³/d)；

L_m ——支撑盲沟长度 (m)；

K ——渗透系数 (m/d)；

H ——含水层厚度 (m) ;

h_1 ——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 50m 时, 可采用式 (7.3.9-2) 计算:

$$Q' = 0.685K \frac{H^2 - h_1^2}{\lg(4R'/L_m)} \quad (7.3.9-2)$$

式中符号意义同式 (7.3.9-1) 。

7.3.10 在滑坡前缘陡坎或滑坡中后部错台等有临空排水条件的部位, 可采用仰斜排水孔进行排水。

7.3.11 仰斜排水孔仰角宜为 $10^\circ \sim 15^\circ$, 孔径为 100~130mm。宜采用具反滤功能的排水软管。

7.3.12 大型或大型以上的滑坡, 当地下水丰富且对滑坡稳定影响较大时, 宜采用排水隧洞排出地下水, 并应符合下列规定:

1 排水隧洞宜布置在滑面之下的稳定岩层内;

2 排水隧洞洞径应满足施工掘进, 宽×高不宜小于 1.5m×2.0m, 洞底应为倾斜向洞口的缓坡, 且坡度不宜小于 1%, 洞底应设排水沟, 并宜设巡视检查人行通道;

3 排水洞可采用“Y”型、“T”型或“L”型布置, 施工进洞口和排水出口应布置在滑坡区外稳定岩体中;

4 当岩土体的渗透性弱, 排水效果不良时, 排水洞顶或洞壁应设辐射状集水钻孔, 孔径不应小于 50mm, 排水孔内应做反滤层。

7.4 施工

7.4.1 截、排水沟渠的断面形状、尺寸、坡度应符合设计要求。

7.4.2 浆砌石排水沟渠的施工材料应经过现场检验, 所用砂浆和混凝土的配合比应严格按照设计要求进行, 砌体水泥浆应饱满、密实。

7.4.3 水渠沟底应平顺、整齐。排水沟渠进排水口位置应结合现场地形及设计要求进行, 确保水流畅通。

7.4.4 仰斜排水孔的施工应结合现场地质条件选择合适的施工工艺和设备, 并应设置合理的反滤层。

7.4.5 排水隧洞施工应结合场地地质条件和施工条件选择合适的设备和施工工艺。

全国勘察设计行业信息平台发布

8 重力式挡墙

8.1 一般规定

8.1.1 重力式挡墙适用于滑坡规模小、滑体较薄、剩余下滑力较小地段，一般多用于滑坡坡脚支挡，并宜与排水、减载、护坡等其他防治工程配合使用。重力式挡墙类型应根据地形条件、滑坡地质条件和稳定状态、施工条件等因素确定。

8.1.2 对于土质滑坡，重力式挡墙的高度不宜大于 5m；对于岩质滑坡，重力式挡墙的高度不宜大于 7m。

8.1.3 当挡墙地基有软弱土、湿陷性土、填土时，其承载力性能较差，应采取地基处理措施。

8.2 设计计算

8.2.1 重力式挡墙土压力计算应符合下列规定：

- 1 作用在墙背上的主动土压力，可按库仑土压力理论计算；
- 2 当基础埋置较深、地层稳定时，结合墙身位移条件，抗滑挡墙前部可采用 1/3~1/2 被动土压力值或静止土压力，并可按库仑土压力理论计算被动土压力。

8.2.2 重力式挡墙所承受的滑坡推力计算宜按本标准附录 A 的有关规定执行。

8.2.3 重力式挡墙设计安全系数应符合下列规定：

- 1 工况I（基本荷载）和工况II（基本荷载+降雨荷载）抗滑稳定安全系数 $F_s \geq 1.3$ ，抗倾覆稳定系数 $F_t \geq 1.6$ ；
- 2 工况III（基本荷载+地震荷载）抗滑稳定安全系数 $F_s \geq 1.2$ ，抗倾覆稳定安全系数 $F_t \geq 1.4$ ；
- 3 工况IV（基本荷载+降雨荷载+地震荷载）抗滑稳定安全系数 $F_s \geq 1.1$ ，抗倾覆稳定安全系数 $F_t \geq 1.2$ 。

8.2.4 重力式挡墙沿基底的抗滑稳定安全系数的计算方法应符合下列规定：

- 1 工况 I（基本荷载）的抗滑稳定安全系数（图 8.2.4）应按式（8.2.4-1）计算：

$$F_s = \frac{[(G + P_y) \cos \alpha_0 + P_x \sin \alpha_0] \mu}{P_x \cos \alpha_0 - (G + P_y) \sin \alpha_0} \quad (8.2.4-1)$$

式中： F_s ——抗滑稳定安全系数；

G ——抗滑挡墙每延米自重（kN/m）；

P_y ——滑坡推力的竖向分力（kN/m），即： $P \sin \theta$ ；

α_0 ——墙的基底倾角（°）；

P_x ——滑坡推力的水平分力（kN/m），即： $P \cos \theta$ ；

μ ——岩土对重力式挡墙基底的摩擦系数；

P ——作用在重力式挡墙上的滑坡推力（kN/m）；当作用在墙背上的主动土压力大于滑坡推力时，应采用主动土压力验算抗滑安全系数；

θ ——滑坡推力与水平面的夹角（°）。

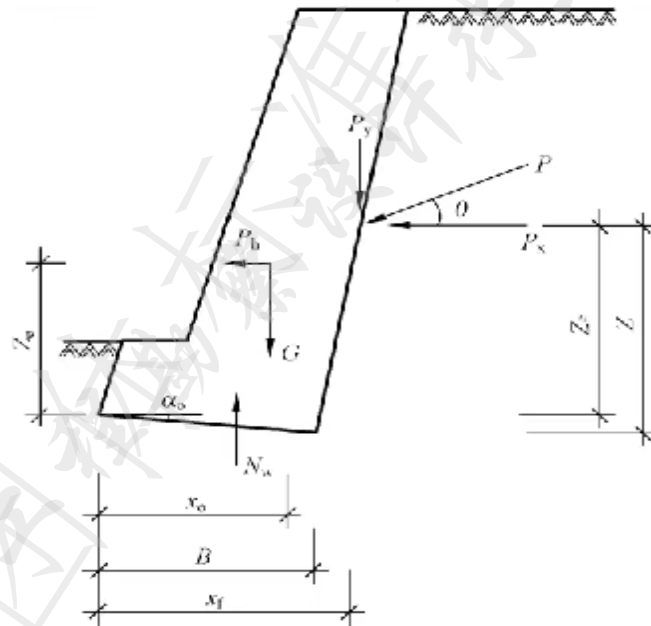


图 8.2.4 重力式抗滑挡墙稳定性计算简图

2 工况 2（基本荷载+降雨荷载）的抗滑稳定安全系数 F_s 应按式（8.2.4-2）计算：

$$F_s = \frac{[(G + P_y - N_w) \cos \alpha_0 + P_x \sin \alpha_0] \mu}{P_x \cos \alpha_0 - (G + P_y - N_w) \sin \alpha_0} \quad (8.2.4-2)$$

式中： F_s ——抗滑稳定安全系数；

N_w ——墙身的总浮力（kN），方向为竖直向上。当挡墙墙背填料为渗水土石时，可不计墙身两侧静水压力和墙背动水压力。

3 工况 3（基本荷载+地震荷载）的抗滑稳定安全系数应按式（8.2.4-3）计算：

$$F_s = \frac{[(G + P_y)\cos\alpha_0 + (P_x + P_h)\sin\alpha_0]\mu}{(P_x + P_h)\cos\alpha_0 - (G + P_y)\sin\alpha_0} \quad (8.2.4-3)$$

$$P_h = \alpha_w \times G \quad (8.2.4-4)$$

式中： F_s ——抗滑稳定安全系数；

P_h ——地震力（kN/m），采用拟静力法计算。挡墙验算截面以上的墙身重心处的水平地震力可按式（8.2.4-4）计算；

α_w ——综合水平地震系数，按表 3.3.4 取值。

8.2.5 重力式挡墙抗倾覆稳定安全系数应按式（8.2.5）计算：

$$F_t = \frac{\sum M_y}{\sum M_0} \quad (8.2.5)$$

式中： F_t ——抗倾覆稳定安全系数；

$\sum M_y$ ——稳定力系对墙趾的总力矩（kN·m），其中

$$\sum M_y = G \cdot x_0 + P_y \cdot x_f；$$

$\sum M_0$ ——倾覆力系对墙趾的总力矩（kN·m），其中

$$\sum M_0 = P_x \cdot z_f；$$

x_0 、 x_f 、 z_f —— G 、 P_y 、 P_x 对墙趾的力臂，见图 8.2.4。

8.2.6 重力式挡墙基底合力的偏心距应按式（8.2.6）计算：

$$e = \frac{B}{2} - c = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_y - \sum M_0}{\sum N} \quad (8.2.6)$$

式中： e ——基底合力的偏心距（m）；当为倾斜基底时，为倾斜基底合力的偏心距；土质地基不应大于 $B/6$ ，岩石地基不应大于 $B/4$ ；

B ——基底宽度（m），倾斜基底为其斜宽；

c ——作用于基底上的垂直分力对墙趾的力臂（m）；

$\sum N$ ——作用于基底上的垂直力（kN）。

8.2.7 重力式挡墙基底平均压应力不应大于基底地基承载力特征

值，其中，基底压应力应按式（8.2.7-1）~式（8.2.7-3）计算：

$$\text{当 } |e| \leq \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_{1,2} = \frac{\sum N}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (8.2.7-1)$$

$$\text{当 } e > \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_1 = \frac{2\sum N}{3c}, \sigma_2 = 0 \quad (8.2.7-2)$$

$$\text{当 } e < -\frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_1 = 0, \sigma_2 = \frac{2\sum N}{3(B-C)} \quad (8.2.7-3)$$

式中： σ_1 ——挡墙墙趾部的压应力（kPa）；

σ_2 ——挡墙墙踵部的压应力（kPa）。

8.2.8 重力式挡墙墙身截面强度验算应符合下列规定：

1 截面的合力偏心距应符合下列规定：

$$\text{当按设计工况计算时, } |e| < 0.3B' \quad (8.2.8-1)$$

$$\text{当按校核工况计算时, } |e| < 0.35B' \quad (8.2.8-2)$$

式中： B' ——墙身截面宽度（m）。

2 截面的法向压应力不应大于所用材料的抗压强度设计值。当计算的最小应力为负值时，应小于所用材料的抗弯曲拉应力。

3 墙身截面宜进行抗剪强度验算。

8.3 构造

8.3.1 重力式抗滑挡墙基础埋置深度，冻土地段应大于当地标准冻深线，膨胀岩土地段埋置深度不宜低于大气影响急剧层深度，并应置于滑面以下不小于 1m。

8.3.2 重力式挡墙墙身材料可采用片石混凝土、毛石混凝土或素混凝土。采用毛石混凝土现浇时，毛石混凝土中毛石含量宜为

15~30%。采用毛石混凝土或者素混凝土现浇时，墙顶宽度不宜小于 0.6m。

8.3.3 重力式挡墙墙胸宜采用 1:0.3~1:0.5 坡度，坡面较陡时，墙胸坡度可采用 1:0.2~1:0.3；墙高小于 4.0m 时，可采用直立墙胸。墙背可设计为倾斜的、垂直的或台阶形的，整体倾斜度不宜小于 1:0.25。

8.3.4 重力式挡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。

8.3.5 墙基沿纵向有斜坡时，基底纵坡不应陡于 5%，当纵坡陡于 5%时，应将基底做成台阶式，其最下一级台阶底宽不宜小于 1.0m。

8.3.6 重力式挡墙背侧应设置 200~400mm 厚且具有透水性材料的反滤层，并应在最低排泄水孔下部夯填至少 300mm 厚的黏土隔水层。

8.3.7 重力式挡墙水平方向和竖直方向每隔 2~3m 应设置泄水孔，呈“品”字型排列，泄水孔直径不小于 100mm。

8.3.8 重力式挡墙背后填土应优先选择抗剪强度高和透水性较强的砂性土、砂砾、碎（砾）石、粉煤灰等材料。不宜采用粘土作为填料。严禁采用淤泥质土、淤泥、腐殖土、膨胀土、冻胀土等软弱有害的岩土体作为填料。墙后填料应进行土质试验，确定填料的物理力学指标。当缺乏可靠试验数据时，可按表 8.3.8 选用。

表 8.3.8 填料内摩擦角或综合内摩擦角

填料种类		综合内摩擦角 φ_0 (°)	内摩擦角 φ (°)
粘性土	墙高 $H \leq 6m$	35~40	——
	墙高 $H > 6m$	30~35	——
碎石、不易风化的块石		——	45~50
大卵石、碎石类土、 不易风化的岩石碎块		——	40~45
小卵石、砾石、粗砂、石屑		——	35~40
中砂、细砂、砂质土		——	30~35

8.3.9 重力式挡墙墙长应每间隔 10~20m 设置一道挡墙伸缩缝。在地基可能产生不均匀沉降处，应设置沉降缝，并兼做伸缩缝，其缝宽宜为 30~50mm。

8.3.10 重力式挡墙高出地面 2m 且周边临近学校、居民区、道路时，墙顶应设置安全护栏。

8.4 施工

8.4.1 浆砌块石、条石挡墙的施工所用砂浆宜采用机械拌合。块石、条石表面应清洗干净，砂浆填塞应饱满，严禁干砌。

8.4.2 块石、条石挡墙所用石材的上下面应平整，块石厚度不应小于 200mm。挡墙应分层错缝砌筑，墙体砌筑时不应有垂直通缝，且外露面应用水泥砂浆勾缝。

8.4.3 重力式挡墙墙后填土应分层夯实，选料及其密实度均应满足设计要求，填料回填应在砌体或混凝土强度达到设计强度的 75% 以上后进行。

8.4.4 重力式挡墙在施工前应预先设置好排水系统，保持坡面干燥。

8.4.5 重力式挡墙应分段、跳槽施工。

9 悬臂式和扶壁式挡墙

9.1 一般规定

9.1.1 悬臂式和扶壁式挡墙适用于滑坡前缘反压填土边坡的支挡，适用于当滑体较薄、剩余下滑力较小地段。悬臂式挡墙适用高度不宜超过 5m，扶壁式挡墙不宜超过 7m。

9.1.2 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙结构应采用现浇钢筋混凝土结构。

9.1.3 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的基础应置于滑带（面）以下不小于 1m 的稳定岩土层内。

9.1.4 当挡墙基底下有软弱土、特殊土分布时，应对地基进行处理或采取挡墙与地基处理结合的组合支护结构。

9.2 设计计算

9.2.1 进行悬臂式挡墙和扶壁式挡墙初步设计时，应根据边坡高度结合当地已有设计经验初步选定设计参数进行设计计算。悬臂式、扶壁式挡墙应满足本标准第 5.2 节中稳定性评价的规定。

9.2.2 挡墙作用（或荷载）的计算应满足本标准第 8.2 条的要求，计算挡墙墙背和墙踵板的土压力时不计填料与板间的摩擦力。悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的侧向主动土压力宜按第二破裂面法进行计算。当不能形成第二破裂面时，可用墙踵下缘与墙顶内缘的连线或通过墙踵的竖向面作为假想墙背计算，取其中不利状态的侧向压力作为设计控制值。

9.2.3 悬臂式和扶壁式挡墙所承受的滑坡推力计算见附录 A 的有关规定。

9.2.4 计算挡墙整体稳定性和立板内力时，可不考虑挡墙前底板以上土的影响；在计算墙趾板内力时，应计算底板以上填土的自重。

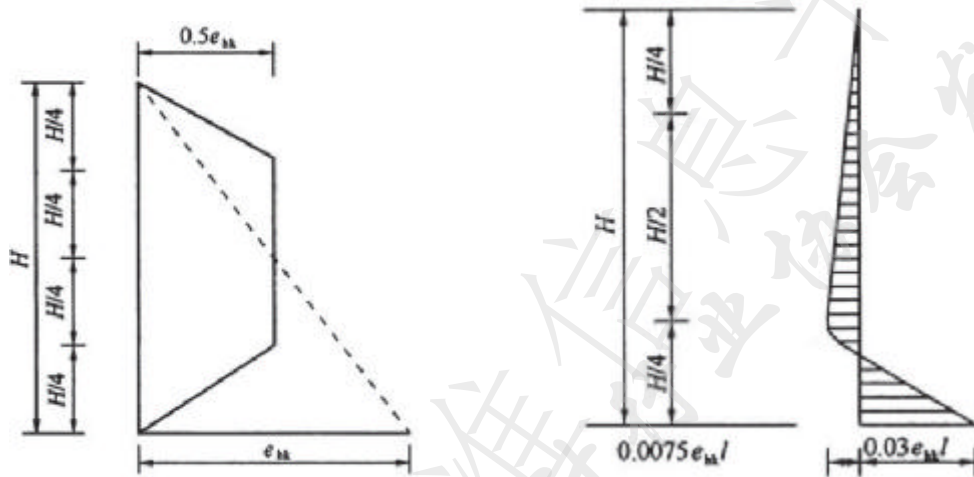
9.2.5 悬臂式挡墙的立板、墙趾板和墙踵板等结构构件可取单位宽度按悬挑构件进行计算。

9.2.6 计算挡墙实际墙背和墙踵板的土压力时，可不计填料与板间的摩擦力。计算立板内力时，侧向压力分布可按图 9.2.6 确定。

9.2.7 对扶壁式挡墙，根据其受力特点可按下列简化模型进行内力

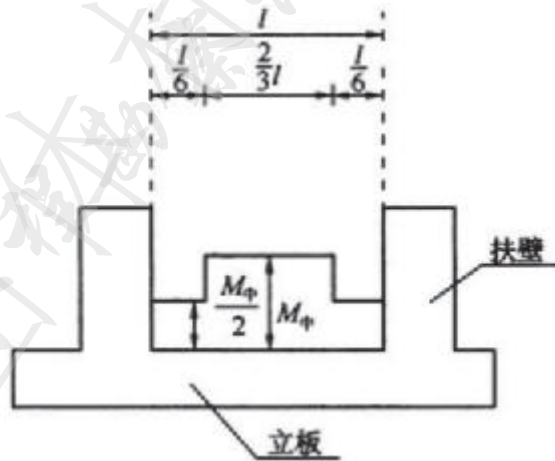
计算：

- 1 立板和墙踵板可根据边界约束条件按三边固定、一边自由的板或以扶壁为支点的连续板进行计算；
- 2 墙趾底板可简化为固定在立板上的悬臂板进行计算；
- 3 扶壁可简化为 T 形悬臂梁进行计算，其中立板为梁的翼缘，扶壁为梁的腹板。



(a) 侧压力分布图

(b) 立板竖向弯矩分布图



(c) 立板弯矩横向分布图

$M_{中}$ —板跨中弯矩； H —墙面板的高度；

e_{hk} —墙面板底端内填料引起的法向土压力； l —扶壁之间的净距

图 9.2.6 扶壁式挡墙侧向压力分布图

9.2.8 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的抗滑、抗倾覆稳定性验算应按本标准 8.2 节的有关规定执行。当存在深部潜在滑面时，应按本标准 5.2 节的规定进行潜在滑面整体稳定性验算。

9.2.9 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的地基承载力和变形验算按国家现行相关标准执行。

9.3 构造

9.3.1 悬臂式挡墙截面尺寸应根据强度和变形计算确定，立板顶宽和底板厚度不应小于 200mm。

9.3.2 扶壁式挡墙尺寸应根据强度和变形计算确定，并应符合下列规定：

1 扶壁式挡墙分段长度不宜超过 20m，每一分段宜设三个或三个以上的扶壁；

2 两扶壁之间的距离宜取挡墙高度的 $1/3\sim 1/2$ ；

3 扶壁的厚度宜取扶壁间距的 $1/8\sim 1/6$ ，且不宜小于 300mm；

4 立板顶端和底板的厚度不应小于 200mm；

5 立板在扶壁处的外伸长度，宜根据外伸悬臂固端弯矩与中间跨固端弯矩相等的原则确定，可取两扶壁净间距的 0.35 倍左右。

9.3.3 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的结构构件截面设计、钢筋的连接和锚固等应按 GB 55008 和 GB 50010 的相关要求执行。

9.3.4 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的混凝土强度等级应根据结构承载力和所处环境类别确定，且不应低于 C30。立板和扶壁的混凝土保护层厚度不应小于 35mm，底板的保护层厚度不应小于 40mm。受力钢筋直径不应小于 12mm，间距不宜大于 250mm。

9.3.5 挡墙上应设置向墙外坡度不小于 4% 的泄水孔，泄水孔间排距 2~3m，品字形布置，折线墙背的易积水部位必须设置泄水孔。泄水孔进水侧应设置反滤层，反滤层可优先采用土工合成材料、无砂混凝土块或其它新型材料。无砂混凝土块或砂加卵石反滤层的厚度不小于 300mm，最低一排泄水孔的进水口下部应设置隔水层。

9.3.6 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙纵向伸缩缝间距宜设置 15~20m。宜在不同结构单元处和地层性状变化处设置沉降缝；且沉降缝与伸缩缝宜合并设置。

9.3.7 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的墙后填料和回填质量应符合本标准第 8.3.8 条规定。

9.3.8 挡墙结构应进行混凝土裂缝宽度的验算。迎土面的裂缝宽度不应大于 0.2mm，背土面的裂缝宽度不应大于 0.2mm，并应符合 GB 55008 和 GB 50010 的相关标准。

9.3.9 扶壁式挡墙结构构件应根据其受力特点进行配筋设计，其配筋率、钢筋的搭接和锚固等应符合 GB 50010 的有关规定。

9.4 施工

9.4.1 悬臂式挡墙施工包括测量放线、基槽开挖检验、地基处理、垫层施工、面板施工、填料施工等。

9.4.2 当采用组合式结构时，应先施工地基工程，验收合格后再进行上部挡墙结构的施工。

9.4.3 墙后填料宜按照设计的竖向间距分层敷设并及时压实，压实度 $\geq 93\%$ 。填土时应清除填土中的草、树皮、树根等杂物。填料回填应在砌体或混凝土强度达到设计强度的 75% 以上后进行。扶壁墙间回填宜对称实施。

9.4.4 施工时应做好排水系统，避免各类水软化地基，基坑开挖后应及时封闭。墙身应设置反滤排水设施，使其排水畅通。

9.4.5 基础处理、垫层施工、面板施工、填料施工等检查、检验、验收应按照相关标准执行。

10 锚索(杆)

10.1 一般规定

10.1.1 锚索(杆)按照锚固段受力状态分为拉力型、压力型和拉(压)力分散型;按照施工方法的不同可分为钻孔注浆型、旋喷扩孔型;按照使用材料不同可分为锚杆和锚索。

10.1.2 锚索(杆)对松散土质边坡和破碎岩体不宜单独使用,多与桩、肋柱、格构等结合使用。当锚索与格构组合时组成格构锚索,当锚杆与肋柱组合使用时组成锚杆挡墙结构;当锚索与桩结合使用时组成桩锚结构。

10.1.3 当锚索施加预应力时,被加固的结构和岩土层位移应控制在容许的范围内。

10.1.4 常用锚索结构参见附录 B,锚固段位于土层及软弱破碎岩层时宜采用压力分散型锚索进行锚固。

10.1.5 锚杆包括普通水泥砂浆锚杆、中空注浆锚杆、自钻式中空注浆锚杆和纤维增强塑料锚杆等。

10.2 设计计算

I 锚索

10.2.1 锚索设计应包括锚索结构选型,锚固长度,间距和排距,钢绞线强度级别和数量,锚索防腐措施,锚索钻孔、注浆、张拉、锁定等内容。

10.2.2 当滑坡体为岩质且结构完整时,锚索锁定值宜为设计锚固力的 100%。当滑坡体蠕滑明显,采用预应力锚索与抗滑桩组合结构时,锚索锁定值宜为设计锚固力的 50~80%。

10.2.3 锚固段长度的确定,应分别按照注浆体与钻孔界面和注浆体与锚索界面二种情况进行计算,取其中较大值。

10.2.4 注浆体与锚索界面的锚固段长度应按式(10.2.4-1)计算,注浆体与钻孔界面的锚固段长度应按照式(10.2.4-2)进行计算:

$$L_a \geq \frac{F_b T_k}{n\pi d f_{ms}} \quad (10.2.4-1)$$

$$L_a \geq \frac{F_b T_k}{\pi D f_{mg}} \quad (10.2.4-2)$$

式中： L_a ——锚固段长度（mm）

F_b ——锚索锚固体抗拔安全系数，取值参见附录 C；

T_k ——锚索设计锚固力（N）；

n ——钢绞线根数（根）；

d ——钢绞线直径（mm）；

f_{ms} ——注浆体与锚索界面粘结强度设计值（MPa），取值参见附录 C；

f_{mg} ——注浆体与钻孔界面极限粘结强度标准值（MPa），取值参见附录 C；

D ——锚索锚固段钻孔直径（mm）。

10.2.5 预应力锚索锚固力的确定可分为下列两种情况：

1 岩质滑坡应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；

2 堆积层（包括土质）滑坡应按滑坡滑面形状选用相应的滑坡推力计算公式计算确定，具体见附录 A。若采用不平衡推力传递法进行计算时，可仅考虑预应力锚索沿滑面切向施加的抗滑力，不考虑垂直滑面产生的法向阻滑力。

10.2.6 锚索的预应力钢绞线根数确定应按式（10.2.6）确定：

$$n = \frac{F_b \cdot T_k}{\eta_m \cdot F_m} \quad (10.2.6)$$

式中： n ——组成锚索的钢绞线根数（根）；

F_b ——锚索锚固体抗拉安全系数，取值参见附录 C；

T_k ——锚索设计锚固力（N）；

η_m ——锚具效率系数，取值一般为 0.95；

F_m ——单根钢绞线的最大力（N）。

10.2.7 应采用专门止浆措施确保锚索注浆体饱满连续。

II 锚杆

10.2.8 锚杆设计应包括结构型式、间距和排距、锚固段长度、防腐

措施、钻孔、注浆等内容。

10.2.9 对于Ⅲ级防治工程的锚固可直接采用理论计算的方法确定锚杆的锚固段长度。

10.2.10 对于Ⅱ级及以上防治工程的锚固，宜采用现场拉拔试验确定锚杆的极限承载力和锚固段长度，试验锚杆的数量不应少于 3 根。

10.2.11 当锚杆位于软岩和土层中时，应对注浆体与钻孔界面和注浆体与锚杆界面的锚固段长度分别进行计算，锚固段长度应取两者中较大值。

10.2.12 注浆体与锚杆界面的锚固段长度可参照式（10.2.4-1）计算，注浆体与钻孔界面的锚固段长度可参照式（10.2.4-2）进行计算。

10.2.13 锚杆的杆体截面积应按式（10.2.13）计算确定：

$$A_s \geq \frac{F_b \cdot T_k}{f_y} \quad (10.2.13)$$

式中： A_s ——杆体横截面面积（ mm^2 ）；

F_b ——锚杆锚固体抗拔安全系数；

T_k ——锚杆承载力设计值（N）；

f_y ——杆体抗拉强度设计值（MPa）。

10.2.14 锚杆成束钢筋的根数不应超过三根，且钢筋截面总面积不应超过锚孔面积的 20%。

10.3 构造

I 锚索

10.3.1 锚索设置倾角宜在 15° -- 25° ；

10.3.2 对于土体中的锚索，单元锚固段应穿过滑带且不小于 2.0m，长度应大于 3.0m 且宜小于 10.0m。

10.3.3 对于岩体中的锚索，应满足以下规定：

1 当锚索设计锚固力 $< 500\text{kN}$ 时，单元锚固段应穿过滑带且不小于 1.0m，且长度不应小于 3.0m；

2 当锚索设计锚固力 $\geq 500\text{kN}$ 时，单元锚固段应穿过滑带且不

小于 1.5m，且长度应大于 3.5m；

3 锚索最大单元锚固段长度不宜超过 8.0m。

10.3.4 应确保锚固段设置在稳定的地层中，自由段长度应大于 5.0m 且应超过滑移面或潜在滑移面 1.0~1.5m。

10.3.5 滑坡体上部第一排锚索锚固段上覆地层厚度不应小于 5.0m。

10.3.6 锚索设计锚固力 $<1500\text{kN}$ 时，锚索间距不宜小于 3m；锚索设计锚固力 $\geq 1500\text{kN}$ 时，锚索间距宜大于 4m，间距小于 4m，应进行群锚效应分析。

10.3.7 锚索钢绞线的使用应符合以下规定：

1 预应力锚索应采用高强低松弛钢绞线，且符合设计要求的类型、规格和强度级别，参见 GB/T 5224 要求；

2 根据工程特点和锚索结构型式，可使用无粘结预应力钢绞线、单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线、环氧涂层七丝预应力钢绞线和大直径多丝钢绞线。

10.3.8 预应力筋用锚具、夹具和连接器的性能均应符合《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370 的规定。预应力锚具的锚固效率应至少发挥预应力杆体极限抗拉力的 95% 以上，达到实测极限拉力时的总应变应小于 2%。

10.3.9 锚索支架的使用应符合以下规定：

1 锚索自由段应设置对中支架，锚索锚固段应使用对中隔离支架；

2 支架的间距和数量应根据锚索体刚度确定，对中支架间距宜为 2.0~2.5m，对中隔离支架间距宜为 1.5~2.0m；

3 对中隔离支架应能使钢绞线可靠分离，每股钢绞线之间的净距不应小于 5mm，且支架处锚索的外裹注浆体厚度不应小于 5mm；

4 自由段的对中支架应确保支架所在位置处锚索注浆体覆盖层的厚度不小于 10mm，两相邻支架中点处锚索或波纹管的注浆体覆盖层厚度不应小于 5mm；

5 软弱地层中锚索的支架，应相应扩大其宽度以免对中支架陷

入孔壁地层中。

10.3.10 波纹管用于锚索防腐，宜符合：

- 1 波纹管材料可为高密度聚乙烯树脂（HDPE）或聚丙烯（PP）；
- 2 波纹管波峰高度 4~5mm，波峰间距 30~40mm，波纹管的壁厚不应小于 2.5mm。

10.3.11 锚具的选用应符合下列要求：

- 1 锚具的型式和规格应根据锚索材料的类型、锚固力大小、锚索受力条件和锚固使用要求选取；
- 2 在锚索工作期间需要对锚索预应力进行调节的工程，应采用可调式锚具；
- 3 永久性加固工程的锚具应安装防护帽进行防腐蚀保护。

10.3.12 锚索的垫墩应符合下列要求：

- 1 锚索垫墩可选用现场浇筑或预制混凝土垫墩，也可选用钢制垫墩；
- 2 垫墩应使用大于 C30 的钢筋混凝土，垫墩混凝土最薄处厚度应大于 100mm；
- 3 垫墩底面积应根据地层承载力和锚索设计锚固力大小计算确定。

10.3.13 锚索注浆体材料应符合以下规定：

- 1 锚索注浆体应采用强度等级不低于 32.5MPa 的水泥，压力分散型锚索应采用强度等级不低于 42.5MPa 的水泥；
- 2 锚索注浆体宜采用水泥浆，也可采用水泥砂浆，注浆体 28d 无侧限抗压强度不应小于 30MPa，压力分散型锚索注浆体抗压强度不应小于 40MPa；
- 3 注浆体采用水泥浆时，水灰比宜取 0.50~0.55；采用水泥砂浆时，水灰比宜取 0.40~0.45，灰砂比宜取 0.5~1.0；
- 4 用于永久锚索的注浆体中的硫酸盐含量不应超过 4%、氯化物含量不应超过使用水泥重量的 0.1%；
- 5 注浆体所使用的水，其氯化物含量不得超过 0.5%，硫酸盐

含量不得超过 0.1%，不得含有糖分或悬浮有机物质；

6 注浆体可使用不同类型的外加剂以获得不同效果的注浆体，但不宜同时使用多种外加剂以获得注浆体的综合效果，外加剂中的氯化物、硫酸盐和硝酸盐总含量不应超过 0.1%；

7 在 20°C 条件下，注浆体拌合后 3h 的泌水量不应大于其体积的 4%；

8 注浆施工前，应对注浆体 3d、7d 和 28d 无侧限抗压强度、强度增长情况、自由膨胀量、收缩量、泌水量和凝固时间进行试验和检测，如注浆体的组成成分有变化，应对其重新试验。

10.3.14 锚索防腐包括自由段、锚固段和锚头防腐三部分。

1 锚索自由段防腐应符合下列要求：

1) 永久性加固工程的预应力锚索宜选用无粘结预应力钢绞线；

2) 临时性加固工程的预应力锚索可选用聚乙烯或聚丙烯软塑料管制作钢绞线的隔离防护层，套管内和钢绞线之间应充填专用防腐润滑脂；

3) 当采用聚乙烯或聚丙烯软塑料管制作钢绞线的隔离防护层时，钢绞线应自带防锈涂层；

4) 当采用聚乙烯或聚丙烯软塑料管制作钢绞线的隔离防护层时，套管接头应用胶带可靠连接，套管接头和里端头应进行密封处理，防止浆液渗入到套管内；

5) 当采用全长防护锚索或双层防护锚索时，参见附录中图 B.3 或 B.4 设置自由段防护套管，套管的接头部位应连接牢固并使用胶带进行密封。

2 锚索锚固段的防护套管应使用塑料波纹管，塑料波纹管应符合本标准 10.3.10 的规定。

3 锚索锚头防腐应符合下列要求：

1) 对于永久性加固工程的锚索，施工完成后应及时对锚头进行防腐处理；

2) 对于全长粘结锚索，垫板下部的钻孔空隙应使用灌浆料进行灌注处理，锚头裸露部分采用细石混凝土覆盖或采用金属防护帽进

行防护；

3) 对于自由锚索，防腐处理后锚索应能自由伸缩，垫板下部的钻孔空隙应用防腐油脂灌注且要求油脂充填整个空间，锚头裸露部分采用细石混凝土覆盖或采用金属防护帽进行防护；

4) 当有计划对锚索进行补偿张拉时，锚头应使用防护帽进行防护，预留钢绞线长度应能满足补偿张拉要求；

5) 防护帽与垫板应有可靠的联结和密封，防护帽内应充满防腐油脂。

II 锚杆

10.3.15 锚杆的倾角宜采用 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ，并应避免对相邻构筑物产生不利影响。

10.3.16 锚杆总长度应为锚固段、自由段和外锚头的长度之和，并应符合下列规定：

1 锚杆自由段长度应为外锚头到潜在滑裂面的长度；预应力锚杆自由段长度应不小于 5.0m，且应超过潜在滑裂面 1.5m；

2 锚杆锚固段长度应按本标准公式（10.2.4）进行计算，并取其中大值。同时土层锚杆的锚固段长度不应小于 5.0m；岩石锚杆的锚固段长度不应小于 3.0m；

3 位于软质岩中的预应力锚杆，可根据地区经验确定最大锚固长度；

4 当计算锚固段长度超过构造要求长度时，应采取改善锚固段岩土体质量、压力灌浆、扩大锚固段直径、采用荷载分散型锚杆等，提高锚杆承载能力。

10.3.17 锚杆的钻孔直径应符合下列规定：

1 钻孔内的锚杆钢筋面积不超过钻孔面积的 20%；

2 钻孔内的锚杆钢筋保护层厚度，对永久性锚杆不应小于 25mm，对临时性锚杆不应小于 15mm。

10.3.18 锚杆原材料性能应符合国家现行标准的有关规定，并应满足设计要求，方便施工，且材料之间不应产生不良化学反应。

10.3.19 锚杆杆体可使用普通钢材、精轧螺纹钢和纤维增强塑料。

10.3.20 灌浆材料性能应符合下列要求：

- 1 水泥宜使用普通硅酸盐水泥，必要时可采用抗硫酸盐水泥；
- 2 砂的含泥量按重量计不得大于 3%，砂中云母、有机物、硫化物和硫酸盐等有害物质的含量按重量计不得大于 1%；
- 3 水中不应含有影响水泥正常凝结和硬化的有害物质，不得使用污水；
- 4 外加剂的品种和掺量应由试验确定；
- 5 浆体制配的灰砂比宜为 0.80~1.50，水灰比宜为 0.38~0.50；
- 6 浆体材料 28d 的无侧限抗压强度，不应低于 25MPa。

10.3.21 锚具应符合下列要求：

- 1 锚具应具有补偿张拉和松弛的功能，必要时可采用可以调节拉力的锚头；
- 2 锚具罩应采用钢材或塑料材料制作加工，需完全罩住锚杆头和预应力筋的尾端，与支承面的接缝应为水密性接缝。

10.3.22 套管材料和波纹管应符合下列要求：

- 1 具有足够的强度，保证其在加工和安装过程中不损坏；
- 2 具有抗水性和化学稳定性；
- 3 与水泥浆、水泥砂浆或防腐油脂接触无不良反应。

10.3.23 防腐材料应符合下列要求：

- 1 在锚杆设计使用年限内，保持其防腐性能和耐久性；
- 2 在规定的工作温度内或张拉过程中不得开裂、变脆或成为流体；
- 3 应具有化学稳定性和防水性，不得与相邻材料发生不良反应；不得对锚杆自由段的变形产生限制和不良影响。

10.3.24 导向帽、隔离架应由钢、塑料或其他对杆体无害的材料组成，不得使用木质隔离架。

10.3.25 锚杆隔离架应沿锚杆轴线方向每隔 1~3m 设置一个，对土层应取小值，对岩层可取大值。

10.3.26 预应力锚杆传力结构应符合下列规定：

- 1 预应力锚杆传力结构应有足够的强度、刚度、韧性和耐久性；

2 强风化或软弱破碎岩质边坡和土质边坡宜采用框架格构型钢筋混凝土传力结构；

3 对 I、II 类及完整性好的 III 类岩质边坡，宜采用墩座或地梁型钢筋混凝土传力结构；

4 传力结构与坡面的结合部位应做好防排水设计及防腐措施；

5 承压板及过渡管宜由钢板和钢管制成，过渡管钢管壁厚不宜小于 5mm。

10.3.27 当锚固段岩体破碎、渗（失）水量大时，应对岩体作灌浆加固处理。

10.3.28 永久性锚杆的防腐蚀处理应符合下列要求：

1 非预应力锚杆的自由段位于岩土层中时，可采用除锈、刷沥青船底漆和沥青玻纤布缠裹二层进行防腐蚀处理；

2 对采用精轧螺纹钢制作的预应力锚杆，其自由段可按本条第 1 款进行防腐蚀处理后装入套管中；自由段套管两端 100~200mm 长度范围内用黄油充填，外绕扎工程胶布固定；

3 对位于无腐蚀性岩土层内的锚固段，水泥浆或水泥砂浆保护层厚度应不小于 25mm；对位于腐蚀性岩土层内的锚固段，应采取特殊防腐蚀处理，且水泥浆或水泥砂浆保护层厚度不应小于 50mm；

4 经过防腐蚀处理后，非预应力锚杆的自由段外端应埋入钢筋混凝土构件内 50mm 以上；对预应力锚杆，其锚头的锚具经除锈、涂防腐漆加钢筋网罩或现浇混凝土封闭，且混凝土强度等级不应低于 C30，厚度不应小于 100mm，混凝土保护层厚度不应小于 50mm。

10.3.29 临时性锚杆的防腐蚀可采取下列处理措施：

1 非预应力锚杆的自由段，可采用除锈后刷沥青防锈漆处理；

2 预应力锚杆的自由段，可采用除锈后刷沥青防锈漆或加套管处理；

3 外锚头可采用外涂防腐材料或外包混凝土处理。

10.4 施工

I 锚索

10.4.1 锚索钻孔施工应遵守以下要求：

1 当受地形条件限制无法按设计图施工时，应会同设计人员拟定新孔位；

2 钻孔深度应大于设计孔深 500mm，钻孔孔位偏差应小于 $\pm 100\text{mm}$ ，钻孔入口处倾角偏差应小于设计倾角 $\pm 3^\circ$ ；

3 钻孔在钻进长度方向上的孔斜偏差不宜大于钻孔深度的 2%；

4 对于岩体中钻孔，钻头直径应不小于设计钻孔直径 3mm。

10.4.2 锚索注浆施工应符合以下要求：

1 当在土体中进行压力注浆时，锚固段上覆土层每米埋深的注浆压力不宜大于 0.02MPa；

2 采用二次压力注浆工艺时，终止注浆的压力不应小于 1.5MPa；

3 采用分段二次劈裂注浆工艺时，注浆宜在固结体强度达到 5MPa 后进行。

10.4.3 锚索张拉应符合以下要求：

1 当锚索注浆体的强度达到设计强度的 75% 且不小于 20MPa，可进行锚索的张拉锁定；

2 当实际伸长值与理论值差别较大时，应暂停张拉，待查明原因并采取相应措施后方可进行张拉；

3 张拉加载速率要平缓加力，每分钟为设计锚固力的 10% 左右；卸荷速率宜控制在每分钟为设计锚固力的 20% 左右；

4 锚索应力锁定应在压力表稳定后进行，稳压时间应根据设计要求或现场施工情况确定，一般稳压时间不宜小于 1min；

5 张拉完成后 48h 内，若发现预应力损失大于设计锁定值的 10% 时应进行补偿张拉。

10.4.4 当采用新型结构的锚索或锚索用于无锚固经验的地层中时，在使用前应进行锚索试验。

1 对于新型结构锚索的试验，试验锚索的数量不应少于 3 根；对于无锚固经验地层的基本试验，每一种地层试验锚索的数量不应少于 3 根。

2 对于 I 级滑坡防治工程的锚索加固工程，参加试验的锚索数量不应少于锚索总量的 5% 且应不小于 5 根；对于 II 级及以上防治工程的锚索加固试验锚索数量应不少于锚索总量的 3%，且不应少于 3 根。

3 用于强风化的泥质页岩、节理裂隙发育且充填有黏性土的岩体和粉质黏土类土层中的锚索，均应通过蠕变试验的方法确定锚索的极限承载力，试验锚索数量不应少于 3 根。

10.4.5 应选择工程有代表性的部位对锚索荷载变化情况进行监测，监测锚索的数量宜为锚索总数的 5%~10%，且不应少于 3 根。

1 当工作荷载波动超过规定的最大允许范围时应及时通知设计单位，设计单位应查明原因并提出相应处理措施。

2 锚索应力观测频率应根据防治工程等级和应力变化速率确定，一般情况下在安装测力计后 10d 内观测频率应为 1 次/d，10~30d 内观测频率应为 1 次/3d，此后观测频率可取 1 次/月~1 次/3 月，并根据外界环境和应力变化情况确定。当锚索应力出现异常时，应查明原因并增加观测频率。

3 当锚索加固结构有可能受到较强降雨、地震、爆破和其他外界因素影响时，应增加观测频率。

II 锚杆

10.4.6 锚杆宜采用压力注浆，对于下倾锚杆应在注浆完成后将孔口封闭实施压力注浆，对于上倾锚杆应将孔口封闭后采用排气注浆方法直接进行压力注浆。

10.4.7 锚杆注浆压力应根据地层和周边环境条件确定，可按 GB 50086 规定确定。

10.4.8 采用分段二次劈裂注浆工艺时，注浆宜在固结体强度达到 5MPa 后进行，注浆管的出浆孔宜沿锚固段全长设置，注浆顺序应由内向外分段依次进行。

10.4.9 当锚杆注浆体强度达到设计强度的 75%且不小于 15MPa 后，方可进行锚杆的张拉锁定。

全国勘察设计行业信息平台发布

11 格构锚索(杆)

11.1 一般规定

11.1.1 格构锚索(杆)适用于硬塑及以上的中浅层土质滑坡及表层岩体易风化、剥落且有浅层崩滑、蠕滑的岩质滑坡,锚索(杆)设计应满足 10.2 节的规定。

11.1.2 当滑坡体厚度较大时,应采用钢筋混凝土格构+预应力锚索进行防护,锚索应穿过滑带一定深度,其锚固长度应满足本标准 10.2 节的规定。

11.1.3 格构锚索(杆)包括预应力锚索(杆)和非预应力锚索(杆),非预应力锚索(杆)适用于中浅层土质滑坡。

11.1.4 格构梁中的竖向梁基础应嵌固于坡脚稳定地层中,并与地梁有效连接。

11.1.5 对软弱土质滑坡、填土滑坡应慎重分析后选用。

11.2 设计计算

11.2.1 格构锚固设计包括格构设计和锚索(杆)设计,锚索(杆)和格构梁设计工作年限应相同,并不低于所保护的建(构)筑物的设计使用年限。

11.2.2 当岩质滑坡高度超过 15m,土质滑坡高度超过 8m 时,应设置马道,马道宽度不宜小于 2.0m。

11.2.3 格构梁断面高×宽不宜小于 300mm×250mm。

11.2.4 钢筋混凝土格构梁截面尺寸应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。截面尺寸按照强度和抗裂要求确定。

11.2.5 计算格构梁内力时,作用于格构纵横梁上的锚固力参见附录 D.1 的要求进行分配。

11.2.6 当作用于格构梁的锚固力确定后,采用锚索与格构支挡结构的计算按本标准附录 D 中的“倒梁法”进行内力计算。

11.2.7 钢筋混凝土格构梁的弯矩和斜截面承载力应符合 GB50010 的有关规定。

11.2.8 格构梁与滑体表面的接触压应力,不应大于地基承载力特征

值。

11.2.9 每级格构的底部均应设置地梁，地梁的断面尺寸和配筋应根据地基承载力及地梁内力计算确定。

11.2.10 锚索（杆）设计计算应符合本标准第 10 章的规定。

11.3 构造

11.3.1 格构锚固边坡坡面应平整，坡度不宜大于 70° 。

11.3.2 格构型式和间距应符合下列规定：

1 方型，指顺边坡倾向和沿边坡走向设置方格状钢筋混凝土梁，格构梁横向间距应小于 4.0m；

2 菱型，指沿边坡坡面斜向设置钢筋混凝土梁，格构梁间距应小于 4.0m；

3 弧型，格构梁横向间距应小于 3.5m；

4 “人”字型，格构梁横向间距应小于 3.5m；

5 其他格构型式可采用经验类比进行选择。

11.3.3 钢筋混凝土格构梁的纵向钢筋直径不宜小于 14mm，箍筋直径不宜小于 8mm，配筋率不应小于受弯构件的最小配筋率。

11.3.4 格构采用的混凝土强度等级不应低于 C30，最外层钢筋的保护层厚度不应小于 35mm。

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

11.3.6 当坡度较陡时，应在格构间做坡面防护处理，坡面防护应按照本标准 15 章规定处理。

11.4 施工

11.4.1 现浇钢筋混凝土格构的施工应满足以下要求：

1 格构可嵌置于边坡中或上覆在边坡上；

2 护坡坡面应平整、夯实。无溜滑体、蠕滑体和松动岩块；

3 应对边坡开挖的岩性及地质结构进行编录，将开挖的岩性与设计资料对比，当出入较大时，应及时变更设计；

4 开挖的弃渣应按设计的要求堆放，不得造成次生灾害。

11.4.2 格构梁基槽应人工开挖，开挖面应顺直，基槽及其附近岩土体应夯填密实。

11.4.3 框架下的坡面不应欠挖、超挖。

11.4.4 格构梁浇筑时，应采取措施保证锚杆（索）轴线的位置与格构节点位置对应。

11.4.5 开挖下层坡体时应间隔开挖或采取其他有效措施确保已施工的格构锚杆（索）稳定。

11.4.6 格构梁混凝土浇筑完成后，混凝土养护时间不应小于7天。

12 抗滑桩

12.1 一般规定

12.1.1 抗滑桩按照截面形状可分为：矩形抗滑桩、圆形抗滑桩、异形截面抗滑桩；按照直径是否大于 500mm 可分为：常规口径抗滑桩和小口径组合抗滑桩；按照桩体是否空心分为实体桩和箱型桩；按照桩顶是否露出地面分为非埋入式抗滑桩和埋入式抗滑桩。

12.1.2 抗滑桩的桩型选择，应考虑下列条件：

1 抗滑桩的桩截面尺寸应根据滑坡推力的大小、桩间距、桩顶位移量以及嵌固段地基的横向承载力特征值等因素确定；

2 当悬臂抗滑桩的设计弯矩过大，滑坡体变形较大或桩顶位移超过容许位移时，宜采用桩锚板或组合结构；

3 当滑体厚度大、不存在次级滑带，且对地面变形无严格要求时，可采用埋入式抗滑桩；

4 当滑体地下水较为丰富，需降低地下水位进行抗滑支挡时，可采用箱型抗滑桩；

5 对下滑力较大的滑坡宜采用分级抗滑支挡、多排抗滑桩或桩锚支护结构。当采用多排抗滑桩支挡时，各排桩之间宜有一定的搭接长度。

6 当滑体剩余下滑力较小时，可采用小口径组合抗滑桩。

12.1.3 抗滑桩桩位宜选择在滑坡体较薄、嵌固段地基强度较高、剩余下滑力较小及对阻滑有利的地段，结合滑体特征等条件综合考虑确定其平面布置、桩间距、桩长和截面尺寸等。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。当悬臂段位于土质、类土质或破碎的岩质地层时应设置挡板，桩间岩土稳定时可不设置。

12.1.4 抗滑桩的设置应保证滑坡体不越过桩顶或从桩间滑动，且应满足下列要求：

1 抗滑桩嵌固段应设置在滑面以下的稳定岩（土）体中；

2 确保桩后土体不越过桩顶或从桩间滑走；

3 不应产生新的深层滑动。

12.1.5 抗滑桩（含双排抗滑桩）桩顶位移应小于悬臂段长度的

3/1000，且不宜大于 30mm。抗滑桩地面处桩的水平位移不宜大于 10mm。

12.1.6 设置有牛腿的桩，除验算强度外，尚应作牛腿的裂缝宽度验算。

12.1.7 挡土板应作最大裂缝宽度验算；无特殊要求时，抗滑桩可不作裂缝宽度验算，在腐蚀性环境条件下，抗滑桩应进行最大裂缝宽度验算，最大裂缝宽度可适当放宽，但应采用防腐措施。

12.2 矩形抗滑桩设计计算

12.2.1 抗滑桩的长边应与滑动方向平行，排桩中心的连线宜与滑动方向垂直，桩间距应根据抗滑桩抗力、剩余下滑力、滑体地质特征及地区经验分析确定，宜为 2~3 倍桩的短边长度。

12.2.2 作用于抗滑桩的外力，应计算滑坡推力（包括地震地区的地震力）、桩前滑体抗力（滑面以上桩前滑体对桩的反力）和嵌固段岩层的抗力。桩侧摩阻力和黏聚力以及桩身重力和桩底反力可不计算。

12.2.3 滑坡推力应根据其边界条件（滑面与周界）和滑带土的强度指标按本标准第 5.2 节滑坡稳定性分析的规定，选用相应的推力计算公式计算确定。作用于每根桩上的滑坡推力应按设计的桩间距进行计算。

12.2.4 作用于抗滑桩上的滑坡推力的分布图形应根据滑体的性质和厚度等因素确定，可采用三角形、梯形或矩形（图 12.2.4）。

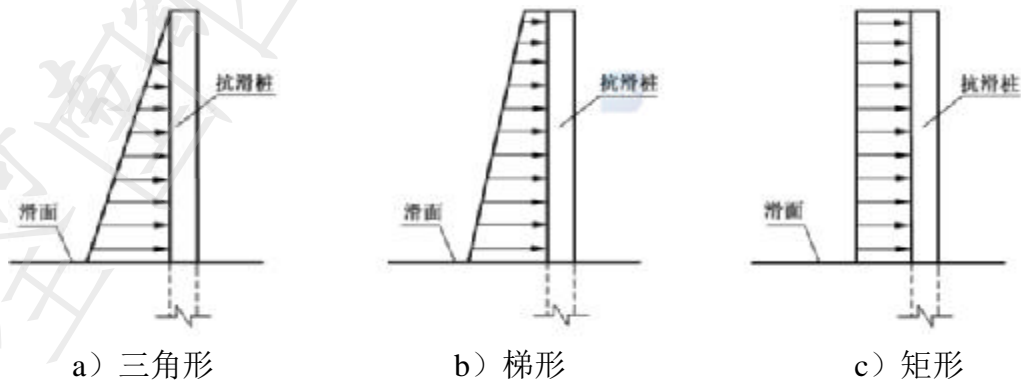


图 12.2.4 作用于抗滑桩上的滑坡推力分布型式

12.2.5 滑面以上桩前的滑体抗力，可通过极限平衡时桩前抗滑力或桩前被动土压力确定，设计时选用其中的小值。当桩前滑坡体可能

滑动时，不计其抗力。

12.2.6 滑面以上的桩身内力，应根据滑坡推力和桩前滑体抗力计算。滑面以下的桩身变位和内力，应根据滑面处的弯矩、剪力和地基的弹性抗力进行计算。

12.2.7 设计荷载：

1 抗滑桩承受的基本荷载及其组合应符合本标准第 3.3.1 条规定。

2 桩间挡土板所承受的压力可根据桩间岩土体的稳定情况和挡土板的设置方式，采用全部岩土体压力或部分岩土体压力进行计算。

12.2.8 滑面以下的地基系数应根据岩层的性质和深度按下列条件确定：

1 较完整岩层和硬黏土的地基系数宜为常数 K ；滑床位于土质地基时按 m 法。

2 硬塑~半干硬砂黏土及碎石类土、风化破碎的岩块，当桩前滑面以上无滑坡体和超载时，地基系数应为三角形分布；当桩前滑面以上有滑坡体和超载时，地基系数应为梯形分布。

12.2.9 桩底支承类型结合地层情况和桩底嵌固深度可采用自由端、铰支端或固定端。

12.2.10 抗滑桩锚固深度的计算，应根据地基的横向承载力特征值确定，当桩的位移需要控制时，应考虑最大位移不超过容许值。

1 地层为岩层时，桩的最大横向压应力应小于或等于地基的横向承载力特征值。地基的横向承载力特征值与岩石单轴抗压极限强度的对应关系参见 E.1。当桩为矩形截面时，地基的横向承载力特征值可按式（12.2.10-1）计算：

$$[\sigma_H] = K_H \eta R \quad (12.2.10-1)$$

式中： $[\sigma_H]$ ——地基的横向承载力特征值（kPa）；

K_H ——在水平方向的换算系数，根据岩石的完整程度、层理或片理产状、层间的胶结物与胶结程度、节理裂隙的密度和充填物可采用 0.5~1.0；

η ——折减系数，根据岩层的裂隙、风化及软化程度，可采用 0.3~0.45；

R ——岩石天然单轴抗压极限强度（kPa）。

2 当地层为土层或风化成土、砂砾状岩层时，滑面以下深度为 $h_2/3$ 和 h_2 （滑面以下桩长）处的横向压应力应小于或等于地基的横向承载力特征值，其计算应符合以下规定：

1) 当地面无横坡或横坡较小时，地基 y 点的横向承载力特征值可按式（12.2.10-2）计算：

$$[\sigma_H] = \frac{4}{\cos \varphi} [(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 y) \tan \varphi + c] \quad (12.2.10-2)$$

式中： $[\sigma_H]$ ——地基的横向承载力特征值（kPa）；

φ ——滑面以下土体的内摩擦角（°）；

γ_1 ——滑面以上土体的重度（kN/m³）；

h_1 ——设桩处滑面至地面的距离（m）；

γ_2 ——滑面以下土体的重度（kN/m³）；

y ——滑面至嵌固段上计算点的距离（m）；

c ——滑面以下土体的黏聚力（kPa）。

2) 当地面横坡 i 较大且 $i < \varphi_0$ 时，地基 y 点的横向承载力特征值可按式（12.2.10-3）计算：

$$[\sigma_H] = 4(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 y) \frac{\cos^2 i \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi_0}}{\cos^2 \varphi_0} \quad (12.2.10-3)$$

式中： $[\sigma_H]$ ——地基的横向承载力特征值（kPa）；

i ——地面横向坡度（°）；

φ_0 ——滑面以下土体的综合内摩擦角（°）；

式中其他符号意义同式（12.2.10-2）。

12.2.11 矩形抗滑桩的变形系数应符合下列规定：

1 当嵌固段地基系数为常数 K 时，桩的变形系数可按式（12.2.11-1）计算：

$$\beta = \frac{\sqrt[4]{KB_p}}{4EI} \quad (12.2.11-1)$$

式中： β ——桩的变形系数（m⁻¹）

K ——地基系数 (kPa/m)，参见附录 E.2；
 B_p ——桩的计算宽度 (m)，即： $B_p=b+1$ ；
 E ——桩的钢筋混凝土弹性模量 (kPa)， $E=0.85E_c$ ；
 I ——桩的截面惯性矩 (m^4)；
 b ——矩形桩的设计宽度 (m)；
 E_c ——混凝土弹性模量 (kPa)。

2 当嵌固段地基系数为三角形分布时，桩的变形系数可按式 (12.2.11-2) 计算：

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mB_p}{EI}} \quad (12.2.11-2)$$

式中： α ——桩的变形系数 (m^{-1})；

m ——随深度增加的土质地基系数 (kPa/m^2)，参见附录 E.3；
 式中其他符号意义同式 (12.2.11-1)。

3 嵌固段地基系数为梯形分布时，可将桩分成若干小段，每小段内采用常数分布近似计算。

12.2.12 矩形悬臂式抗滑桩纵向受拉钢筋配置数量应根据弯矩图分段确定。

12.2.13 矩形悬臂式抗滑桩应进行斜截面抗剪强度验算，以确定箍筋的配置，箍筋配置量按式 (12.2.13-1)、式 (12.2.13-2) 计算确定：

$$V_{cs} = 0.7f_tbh_0 + 1.5f_{yr} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (12.2.13-1)$$

且要满足条件

$$0.25f_cbh_0 \geq K_2V \quad (12.2.13-2)$$

式中： V_{cs} ——抗滑桩斜截面上混凝土和箍筋受剪承载力 (N)；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm^2)

b ——抗滑桩截面宽度 (mm)；

h_0 ——抗滑桩截面有效高度 (mm)；

f_{yr} ——箍筋抗拉强度设计值 (N/mm^2)，取值不应大于 $310N/mm^2$ ；

A_{sr} ——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) ;

f_c ——混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm^2) ;

K_2 ——抗滑桩斜截面受剪强度设计安全系数, 取 1.10;

V ——抗滑桩设计剪力 (N) 。

12.2.14 板的配筋计算

1 土压力计算

(1) 板上的土压力取同一跨度内该类型板 (由于分段设置不同类型的板块) 最下面板块边缘的水平土压力作为该类型板上的荷载;

(2) 按简支板计算内力。

2 内力计算

$$\text{弯矩 } M=e_{xi}l^2/8 \quad (12.2.14-1)$$

$$\text{剪力 } V=e_{xi}l/2 \quad (12.2.14-2)$$

式中: M ——板的跨中弯矩设计值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$) ;

V ——板各端的剪力设计值 (kN) ;

e_{xi} ——第 i 类板块计算的相应于作用的基本组合时水平土压力强度设计值 (kPa) ;

l ——板的水平计算跨长 (m) 。

12.3 箱型抗滑桩设计计算

12.3.1 箱型抗滑桩桩身由空心段和实心段组成, 其中, 上部为空心段且为箱型抗滑桩主体部分, 下部宜为实心段且为箱型抗滑桩嵌固段, 长度不小于 0.5m。

12.3.2 箱型抗滑桩中空心段宜为圆形、椭圆形或矩形, 应满足如下条件:

1 当空心段为圆形或椭圆形井时, 直径或短轴直径不小于 0.8m;

2 当空心段为矩形井时, 矩形断面宽度不应小于 0.8m, 矩形断面长度不宜小于 1.4m, 且桩井壁最小结构厚度不应小于 0.3m。

12.3.3 箱型抗滑桩截面设计计算, 可按本标准附录 G 执行。

12.4 圆形抗滑桩设计计算

12.4.1 圆形抗滑桩的桩径不宜小于 0.8m，桩间距应根据抗滑桩抗力、剩余下滑力计算确定，一般宜为 2~3 倍桩径。

12.4.2 圆形抗滑桩所承受的荷载、桩身内力的计算按本标准第 12.2 节执行。

12.4.3 圆形抗滑桩的计算宽度 B_p 应按式 (12.4.3-1) ~式 (12.4.3-2) 计算：

$$B_p = 0.9(1.5d + 0.5) \quad d \leq 1m \quad (12.4.3-1)$$

$$B_p = 0.9(d + 1) \quad d > 1m \quad (12.4.3-2)$$

式中： B_p ——桩的计算宽度 (m)。当按式 (12.4.3-1) ~式 (12.4.3-2) 计算的 B_p 大于桩间距时， B_p 取桩间距；

d ——桩的直径 (m)。

12.4.4 圆形抗滑桩的变形系数按本标准第 12.2.11 条规定计算。

12.4.5 圆形抗滑桩桩身纵向钢筋的配置可采用沿桩周均匀和不均匀配置两种形式。当采用预应力管桩时，混凝土强度及桩身钢筋配置不应低于设计要求。

12.4.6 圆形截面钢筋混凝土抗滑桩的斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 圆形截面钢筋混凝土抗滑桩的受剪截面应符合式 (12.4.6-1) 规定：

$$V \leq 0.704f_c r^2 \quad (12.4.6-1)$$

式中： V ——斜截面上的最大剪力设计值 (kN)，按本标准 12.2 的规定计算；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值 (kN/m²)；当混凝土强度等级超过 C50 时， f_c 应以 $\beta_c f_c$ 代替，当混凝土强度等级为 C50 时，取 $\beta_c=1.0$ ，当混凝土强度等级为 C80 时，取 $\beta_c=0.8$ ，其间接线性内插法确定；

r ——桩的半径 (m)。

2 仅配置箍筋不配置弯起钢筋的圆形截面钢筋混凝土抗滑桩按

受弯构件设计时，其斜截面受剪承载力应符合式（12.4.6-2）规定：

$$V \leq 1.97 f_t r^2 + 1.6 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} r \quad (12.4.6-2)$$

式中：V——斜截面上的最大剪力设计值（kN）；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值（kN/m²）；

f_{yv} ——箍筋的抗拉强度设计值（kN/m²）；

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积（m²）；

s——箍筋间距（m）。

1) 当沿桩长方向分段配置不同间距或直径的箍筋时，各区段内的斜截面受剪承载力均应符合式（12.4.6-2）的要求。

12.4.7 圆形抗滑桩截面设计计算，参见附录 H。

12.5 埋入式抗滑桩设计计算

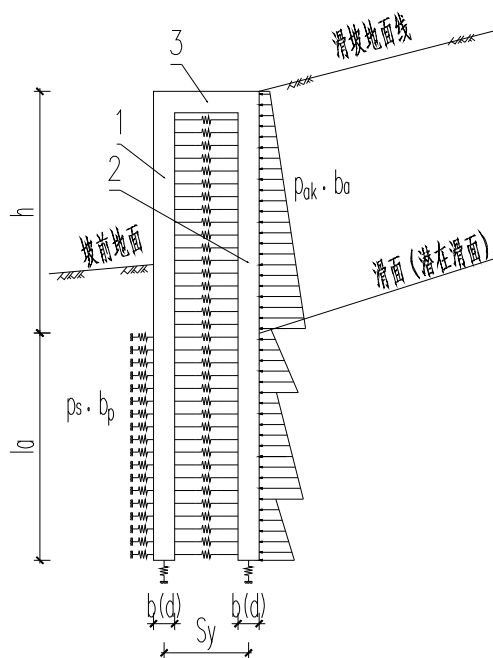
12.5.1 埋入式抗滑桩的设计宜采用有限元强度折减法进行，计算公式参见附录 I。

12.5.2 埋入式抗滑桩适用于滑体抗剪强度明显大于滑带抗剪强度，且仅需通过对滑带及附近的加固即可提高整体稳定的滑坡。

12.5.3 埋入式抗滑桩在滑坡治理中可单独使用，也可与全长抗滑桩及其他抗滑支挡结构联合使用。埋入式抗滑桩桩顶高度应确保滑坡不产生越顶剪出。

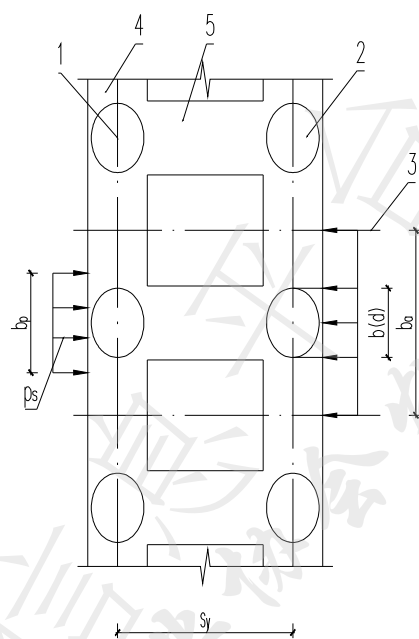
12.6 双排抗滑桩设计计算

12.6.1 双排桩可采用图 12.6.1 所示的平面刚架结构模型进行计算。



1—前排桩；2—后排桩
3—刚架梁

图 12.6.1 双排桩计算示意图



1—前排桩；2—后排桩；3—排桩对称中心线；
4—桩顶冠梁；5—刚架梁

图 12.6.2 双排桩桩顶连梁及计算宽度

12.6.2 采用图 12.6.1 所示的模型时，作用于后排桩上的下滑力按本标准附录 A 的规定计算，前排桩嵌固段上的土反力按式 12.6.2-1~12.6.2-2 确定，作用在单根后排桩上的土压力计算宽度应取排桩间距，土反力计算宽度应按式 12.6.3-1~12.6.3-4 计算（图 12.6.2）。

前、后排桩间土对桩侧的压力可按式 12.6.2-4 计算：

对于地下水位以上或水土合算的土层

$$p_{pk} = \sigma_{pk} K_{pi} + 2c_i \sqrt{K_{pi}} \quad (12.6.2-1)$$

对于水土分算的土层

$$p_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p) K_{pi} + 2c_i \sqrt{K_{pi}} + u_p \quad (12.6.2-2)$$

$$K_{pi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi_i}{2} \right) \quad (12.6.2-3)$$

式中： P_{pk} ——前排桩嵌固段上第 i 层土计算点的被动土压力强度（kPa）；

σ_{pk} ——前排桩嵌固段上第 i 层土计算点处总竖向土压力（kPa）；

K_{pi} ——前排桩嵌固段上第 i 层土的被动土压力系数；

c_i 、 ϕ_i ——分别为前排桩嵌固段上第 i 层土的黏聚力（kPa）、内

摩擦角 ($^{\circ}$) ;

u_p ——计算点处的水压力 (kPa) 。

$$p_c = k_c \Delta v + p_{c0} \quad (12.6.2-4)$$

式中: p_c ——前、后排桩间土对桩侧的压力 (kPa); 可按作用在前、后排桩上的压力相等考虑;

k_c ——桩间土的水平刚度系数 (kN/m^3); 按本标准第 12.6.4 条计算;

Δv ——前、后排桩水平位移的差值 (m); 当其相对位移减小时为正值; 当其相对位移增加时, 取 0;

P_{c0} ——前、后排桩间土对桩侧的初始压力 (kPa), 按本标准第 12.6.5 条计算。

12.6.3 前排桩的土反力计算宽度按下列公式计算 (图 12.6.2):

对于圆形桩

$$b_p = 0.9(1.5d + 0.5) \quad (d \leq 1\text{m}) \quad (12.6.3-1)$$

$$b_p = 0.9(d + 1) \quad (d > 1\text{m}) \quad (12.6.3-2)$$

对于方形桩

$$b_p = 1.5d + 0.5 \quad (d \leq 1\text{m}) \quad (12.6.3-3)$$

$$b_p = d + 1 \quad (d > 1\text{m}) \quad (12.6.3-4)$$

式中: b_p ——单根前排桩的土反力计算宽度 (m); 当按公式 (12.6.3-1) ~ (12.6.3-4) 计算 b_p 大于前排桩间距时, b_p 取前排桩间距;

d ——前排桩的直径 (m);

b ——前排矩形或工字型桩的宽度 (m)。

12.6.4 桩间土的水平刚度系数可按下式计算:

$$k_c = \frac{E_s}{s_y - d} \quad (12.6.4-1)$$

式中: E_s ——计算深度处, 前、后排桩间土的压缩模量 (kPa); 当为成层土时, 应按计算点的深度分别取相应土层的压缩模量;

s_y ——双排桩排距 (m);

d ——桩的直径 (m)。

12.6.5 前、后排桩间土对桩侧的初始压力可按下列公式计算:

$$p_{c0} = (2a - a^2)p_{ak} \quad (12.6.5-1)$$

$$a = \frac{s_y - d}{h \tan(45^\circ - \phi_m / 2)} \quad (12.6.5-2)$$

式中： p_{ak} ——后排桩外侧，第 i 层土中计算点的主动土压力强度标准值（kPa），按本标准第 12.6.6 条计算；

h ——嵌固点以上桩的悬臂高度（m）；

ϕ_m ——嵌固点以上各层土按厚度加权的等效内摩擦角平均值（°）；

a ——计算系数，当计算的 a 大于 1 时，取 $a=1$ 。

12.6.6 后排桩外侧第 i 层土中计算点的主动土压力强度标准值可按下列公式计算：

对于地下水位以上或水土合算的土层

$$p_{ak} = \sigma_{ak} K_{ai} - 2c_i \sqrt{K_{ai}} \quad (12.6.6-1)$$

对于水土分算的土层

$$p_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a) K_{ai} - 2c_i \sqrt{K_{ai}} + u_a \quad (12.6.6-2)$$

$$K_{ai} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_i}{2} \right) \quad (12.6.6-3)$$

式中： p_{ak} ——桩外侧第 i 层土计算点的主动土压力强度（kPa）；

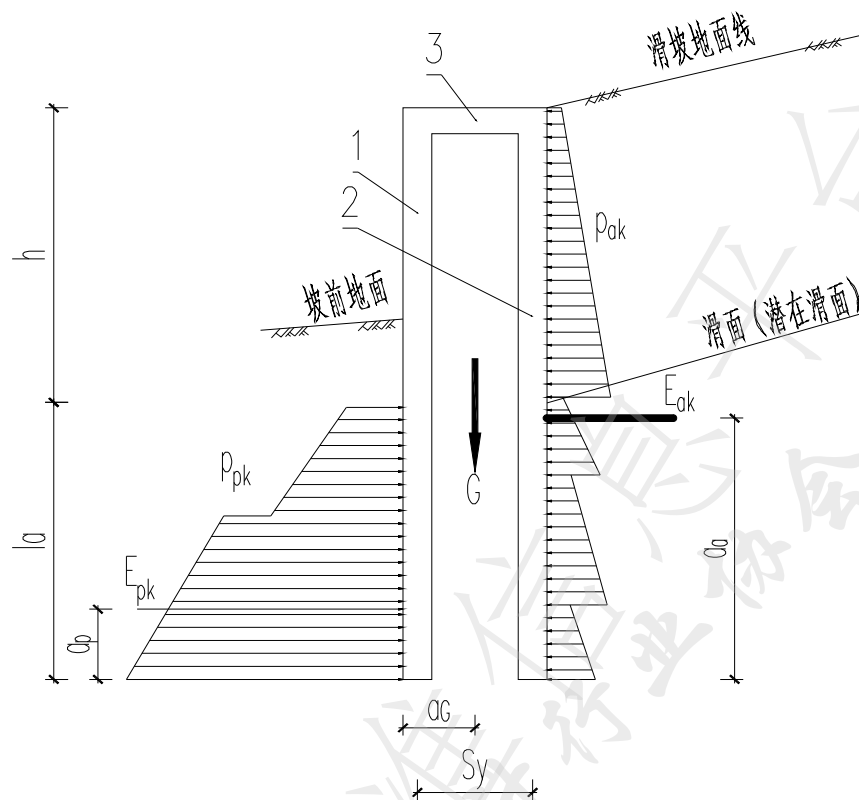
σ_{ak} ——桩外侧第 i 层土计算点处总竖向土压力（kPa）；

K_{ai} ——桩外侧第 i 层土的主动土压力系数；

c_i 、 ϕ_i ——分别为桩外侧第 i 层土的黏聚力（kPa）、内摩擦角（°）；

u_a ——计算点处的水压力（kPa）。

12.6.7 双排桩的嵌固深度（ l_d ）应符合下式嵌固稳定性的要求（图 12.6.7）：



1—前排桩；2—后排桩；3—刚架梁
图 12.6.7 双排桩抗倾覆稳定性计算

$$\frac{E_{pk} a_p + G a_G}{E_{ak} a_a} \geq K_e \quad (12.6.7-1)$$

式中： K_e ——嵌固稳定安全系数；

E_{ak} 、 E_{pk} ——分别为抗滑桩外侧主动土压力、抗滑桩内侧被动土压力标准值（kN）；

a_a 、 a_p ——分别为抗滑桩外侧主动土压力、抗滑桩内侧被动土压力作用点至双排桩底端的距离（m）；

G ——双排桩、刚架梁和桩间土的自重之和（kN）；

a_G ——双排桩、刚架梁和桩间土的中心至前排桩边缘的水平距离（m）。

12.6.8 双排抗滑桩应按偏心受压、偏心受拉构件进行支护桩的截面承载力计算，刚架梁应根据其跨高比按普通受弯构件或深受弯构件进行截面计算。双排桩的截面承载力和构造应符合 GB50010 的有关规定。

12.7 小口径组合抗滑桩设计计算

12.7.1 小口径组合抗滑桩单桩桩径不宜大于 0.4m 且不应少于两排，采用垂直或倾斜布置，当采用垂直布置时，宜采用多排品字形布置，间距不宜大于 5 倍桩径，且应在桩顶设置连系梁等连接构件，将各单排桩连成整体，使其协同受力及变形。当采用倾斜布置时，宜采用倾斜交叉网状布置。

12.7.2 对于硬质岩层滑坡，可假定作用于小口径组合抗滑桩的水平推力均匀分布于各排桩，按桩的抗剪断强度进行设计计算。对于软质岩或风化严重的岩层滑坡，其水平推力计算应考虑作用于各排桩的不均匀性。

12.7.3 对土质滑坡，应考虑作用于小口径组合抗滑桩的水平推力作用于各排桩的不均匀性，其中，临坡顶一侧的第一排桩承受的水平推力最大，向后依次递减。递减系数可根据土质类型确定。

12.7.4 小口径组合抗滑桩设计应根据防治工程的等级，按表 3.3.3 推荐的设计安全系数取高值。

12.7.5 桩的正截面受弯承载力和箍筋配置，应符合本标准第 12.4 节圆形抗滑桩的规定。

12.7.6 桩顶连系梁可近似按照两端固定单跨超静定梁计算。梁端弯矩和剪力按式 (12.7.6-1) ~ 式 (12.7.6-2) 计算：

$$M_{AB} = 6 \frac{EI}{l^2} \Delta_{AB}, M_{BA} = 6 \frac{EI}{l^2} \Delta_{AB} \quad (12.7.6-1)$$

$$Q_{AB} = 12 \frac{EI}{l^3} \Delta_{AB}, Q_{BA} = 12 \frac{EI}{l^3} \Delta_{AB} \quad (12.7.6-2)$$

式中： M_{AB} ， M_{BA} ——桩顶连系梁起、终点的弯矩设计值 (kN·m)

EI ——连系梁的抗弯刚度 (kN·m²)

l ——连系梁的单跨计算长度 (m)；

Δ_{AB} ——相邻两根桩在垂直于连系梁轴线方向的容许相对位移量，其最大值不宜大于 $l/200$ ；

Q_{AB} ， Q_{BA} ——桩顶连系梁起、终点的剪力设计值 (kN)。

12.7.7 小口径组合抗滑桩的受力筋可采用钢筋笼、型钢、钢管或其它组合形式。

12.7.8 小口径组合抗滑桩的抗滑稳定性，单桩变形和内力计算宜按本标准附录 J 执行。

12.8 构造

12.8.1 桩身混凝土强度等级不应低于 C35，挡板的混凝土强度等级不应低于 C30。

12.8.2 当桩周岩土或地下水有侵蚀性时，水泥应符合有关规定，且应满足 GB 50010、GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计的要求。

12.8.3 最外层钢筋混凝土保护层有护壁时不应小于 40mm，无护壁时不应小于 70mm。

12.8.4 抗滑桩内不宜设置斜筋，可采用调整箍筋的直径、间距和桩身截面尺寸等措施，满足斜截面的抗剪要求。

12.8.5 矩形抗滑桩尚应符合下列规定：

1 矩形抗滑桩最小边宽度不宜小于 1.25m；

2 抗滑桩应间隔开挖，抗滑桩井口应设置锁口，桩井位于土层和风化破碎的岩层时宜设置护壁，一般地区锁口和护壁混凝土强度等级不宜低于 C20，如在地下水位以下或软弱地段不宜低于 C25。一般护壁可按构造配筋，但当桩井土层和风化破碎带的岩层深度较大时，应通过计算进行。当存在地下水时，应采取降排水措施，透水层应采用护壁并及时封闭；

3 抗滑桩纵向受力钢筋直径不应小于 20mm，且净间距不宜小于 120mm，困难情况下不得小于 80mm。当用筋束时，每束不宜多于 3 根；

4 矩形抗滑桩纵向受力钢筋可采用多排设置，但不宜多于三排；

5 矩形抗滑桩的两侧和受压边，应适当配置纵向构造钢筋，其间距不应大于 300mm，直径不宜小于 12mm。桩的受压边两侧，应配置架立钢筋，其直径不宜小于 16mm。当桩身较长时，纵向构造钢筋和架立钢筋的直径应增大；

6 最外层受力钢筋保护层厚度不应小于 70mm。

12.8.6 圆形抗滑桩尚应符合下列规定：

1 纵向受力钢筋宜选用 HRB400、HRB500 钢筋，单桩的纵向受力钢筋不宜少于 8 根，其净间距不应小于 60mm；

2 箍筋可采用螺旋式箍筋，箍筋直径不应小于纵向受力钢筋最大直径的 1/4，且不应小于 6mm；箍筋间距宜取 100~200mm，且不应大于 400mm；

3 沿桩身配置的加强箍筋应满足钢筋笼起吊安装要求，宜选用 HPB300、HRB400 钢筋，其间距宜取 1000~2000mm；

4 最外层钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 35mm；采用水下灌注混凝土工艺时，不应小于 50mm；

5 当采用沿截面周边非均匀配置纵向钢筋时，受压区的纵向钢筋根数不应少于 5 根；当施工方法不能保证钢筋的方向时，不应采用沿截面周边非均匀配置纵向钢筋的形式；

6 抗滑桩顶部设置混凝土冠梁时，冠梁的宽度不宜小于桩径，高度不宜小于桩径的 0.6 倍。冠梁用作锚杆的传力构件或按空间结构设计时，尚应接受力构件进行截面设计。纵向钢筋伸入冠梁的长度宜取冠梁厚度；当不能满足锚固长度的要求时，其钢筋末端可采取机械锚固措施。

12.8.7 箱型抗滑桩尚应符合下列规定：

1 混凝土强度等级应不低于 C35；

2 当地下水有侵蚀性时，设计应符合 GB/T 50476 的要求；

3 箱型结构抗滑桩钢筋，纵向受力钢筋宜选用普通 HRB400、HRB500 钢筋，箍筋宜选用 HRB400 钢筋；

4 纵向受拉钢筋可采用并筋的配置形式，其中，直径 28mm 及以下的钢筋并筋数量不应超过 3 根；直径 32mm 的钢筋并筋数量宜为 2 根；直径为 36mm 及以上的钢筋不宜采用并筋；

5 纵向受拉钢筋直径应大于 16mm，净距应在 120~250mm 之间。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 120~200mm 之内；钢筋搭接采用双面焊接，搭接长度符合 GB 50010 规定；钢筋直径大于 25mm 时，宜采用机械连接；

6 箱型抗滑桩的箍筋肢数宜采用 4 肢，箍筋间距宜为

100~300mm 之间；

7 当采用单筋配筋且有混凝土护壁时，混凝土保护层厚度不应小于 40mm；

8 箱型抗滑桩井内需进行人工检测及维护保养时，桩顶应设置钢筋混凝土保护盖板，并设置通气孔，井壁宜设置钢筋爬梯；

9 箱型抗滑桩中空井宜作为地下水集水设施，可采用水泵抽水方式或与地下排水孔、排水洞相连排出滑坡体内地下水。

12.8.8 双排抗滑桩尚应符合下列规定：

1 双排桩嵌固深度对于一般黏性土、砂土不宜小于 $0.8h$ ，对于软土不宜小于 $1.2h$ （ h 为桩顶至滑面的高度）；

2 双排桩排距宜取 2~5 倍桩径（或桩的短边宽度），刚架梁的宽度不应小于桩径（或桩的短边宽度），高度不宜小于 0.8 倍桩径（或桩的短边宽度），刚架梁高度与双排桩排距比宜取 $1/6 \sim 1/3$ ；

3 前、后排桩与刚架梁节点处，桩的受拉钢筋与刚架梁受拉钢筋的搭接长度不应小于受拉钢筋锚固长度的 1.5 倍，其节点构造尚应满足 GB 50010 对框架顶层节点的有关规定。

12.8.9 小口径组合抗滑桩尚应符合下列规定：

1 小口径桩的受力筋应采用钢筋笼、型钢、钢管，或其组合形式；

2 当采用细石混凝土时，细石混凝土骨料粒径宜小于 20mm，混凝土强度等级不低于 C30；

3 小口径组合抗滑桩单桩桩径不宜大于 500mm；

4 小口径桩在滑面以下的嵌固深度应满足小口径桩的抗拉拔强度，且不大于 $1/3$ 总桩长。

12.8.10 抗滑桩的桩长在岩质地基中嵌固深度不宜小于桩总长的 $1/4$ ，土质地基中不宜小于 $1/3$ 。

12.8.11 桩间挡土板尚应符合下列规定：

1 当挡土板置于桩背时，挡土板与桩搭接长度不宜小于 400mm。置于桩间的挡土板可采用桩侧牛腿设置或通过桩体预埋钢

筋；

2 桩间设置用于安装预制挡土板的桩侧牛腿高度不宜小于400mm，宽度不宜小于30mm；

3 当采用拱形挡土板时，不宜采用素混凝土，应沿径向和环向配置一定数量的构造钢筋，构造钢筋间距不宜大于250mm，直径不宜小于10mm；

4 预制挡土板厚度宜为250~300mm，双侧配筋，并宜设泄水孔；

5 挡土板应设泄水孔，呈梅花状分散布置，孔径宜50~100mm，外倾坡度宜为5~10%；

6 挡土板板后应设反滤层，滤料宜采用级配良好的砂石料，反滤层厚度400~500mm，反滤层接近地面处设黏土防水层，厚度500mm。泄水孔内安装的排水管应伸入反滤层内200~300mm；

7 桩板墙纵向伸缩缝间距对现浇板不宜大于50m，缝宽宜为20~30mm，缝中应填塞沥青麻筋或其他有弹性的防水材料，填塞深度不应小于150mm。

12.9 施工

12.9.1 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察的过程，施工中应及时进行地质编录，发现有较大地质问题影响施工质量和进度时应及时反馈设计，进行信息化施工。

12.9.2 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、混凝土浇筑、混凝土养护等。

12.9.3 抗滑桩施工宜采用间隔方式开挖、每次间隔1~2孔；人工开挖时，孔口做锁扣处理，松散段、渗水破碎地层桩身护壁处理。基岩或坚硬孤石采用少药量、多炮孔的松动爆破方式，每次剥离厚度不宜大于0.3m。对于软弱土或松散的碎石层开挖深度宜为0.5~0.6m，垮塌严重段宜先注浆后开挖。

12.9.4 弃渣不得堆放在滑坡体上，防止诱发次生灾害。

12.9.5 钢筋笼可分段制作安装，竖向的接头需错开，同一平面内接头数量不大于竖向钢筋总数的50%。竖向钢筋搭接处不得放在滑体

分界和滑动面（带）处。

12.9.6 桩身混凝土浇筑时，干法灌注孔内积水厚度应小于100mm。孔内积水大于100mm且无法排干时，应采用水下灌注。

12.9.7 桩身灌注应连续进行，干法灌注时，混凝土塌落度不宜大于12cm，每灌注0.5~0.7m时，应振捣密实一次。水下灌注时，混凝土塌落度宜为16~20cm，水泥用量不宜少于350kg/m³。

12.9.8 抗滑桩施工时，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。孔口应设置围栏和警示标志。人工开挖施工，每日开工前应检测孔内有害气体，孔深超过10m，或10m内有CO、CO₂、NO、NO₂、甲烷及瓦斯等有害气体并且含量超标或氧气不足时，均应施工通风设施向作业面送风。井下爆破后应通风排烟后方可下井作业。

12.9.9 抗滑桩施工过程中应做好滑带位置、厚度、岩性等各种施工和检验记录。对发生的故障及其处理情况应记录备案。

12.9.10 抗滑桩施工除满足本标准要求外，尚应符合JGJ94相关要求。

13 桩锚结构

13.1 一般规定

13.1.1 桩锚结构是由桩、锚索和挡土板组成的抗滑结构。适用于开挖土石方可能危及相邻建筑物或环境安全的各类滑坡治理。

13.1.2 桩锚抗滑结构中桩的设置应满足下列要求：

- 1 桩应嵌固在稳定的地层中；
- 2 确保桩后土体不越过桩顶或从桩间滑走；
- 3 不应产生新的深层滑动。

13.1.3 设置有牛腿的桩，除验算强度外，尚应作牛腿的裂缝宽度验算。

13.1.4 挡土板应作最大裂缝宽度验算。

13.1.5 进行桩锚结构设计时应考虑下列条件：

- 1 当滑体较厚或计算桩顶位移大于 100mm 时，宜采用桩锚支挡结构；
- 2 当采用悬臂抗滑桩时，桩的弯矩过大或桩顶位移超过容许位移时，宜采用预应力桩锚板或组合式抗滑桩；
- 3 当滑坡变形较大且不宜进行大截面抗滑桩开挖施工时，可采用钻孔灌注抗滑桩或小口径组合抗滑桩；
- 4 对剩余下滑力较大的滑坡宜采用分级抗滑支挡或多排桩锚板。当采用多排桩锚时，各排桩之间宜有一定的搭接长度。

13.1.6 对于较大规模的滑坡防治工程，宜采用现场破坏性拉拔试验确定锚索的极限承载力和锚固长度，拉拔试验的数量不少于 3 根。

13.2 设计计算

13.2.1 依据桩体和锚索（杆）的变形协调条件，具体见附录 F 中计算锚索（杆）和抗滑桩分担的载荷，分项进行锚索和桩身设计。锚索承担桩上受力宜为 20~25%，不宜超过 35%。

13.2.2 初步选定锚索抗滑桩长度时，抗滑桩嵌固段的长度可取桩长的 1/4~1/3，最终长度根据侧壁地层的横向承载力特征值计算确定。

13.2.3 锚索设计应符合本标准第 10 章相关规定，预应力锚索

(杆)的预应力张拉值不应超过锚索(杆)设计拉拔力的60~80%。对外锚头处桩体混凝土应进行局部抗压强度验算,并采取适当的加强措施。

13.2.4 锚索抗滑桩的桩体结构按照受弯构件设计,无特殊要求时,对抗滑桩的桩体可不做裂缝宽度验算。

13.3 构造

13.3.1 桩身混凝土强度等级不应低于C35,当地下水有侵蚀性时,结构耐久性设计应满足GB/T 50476的有关要求,配筋计算及构造要求应符合GB 50010的有关规定。

13.3.2 锚索孔距桩顶的距离不应小于0.5m。需在桩体上布置多排锚索(杆)时,各排锚索(杆)的间距不宜小于2.5m,纵向各排锚索间距宜为2.5~3.0m。

13.3.3 若抗滑桩先于锚索(杆)施工,应在桩身的锚索(杆)位置预埋锚索通道。锚索(杆)通道宜采用钢管制作。

13.4 施工

13.4.1 挖方区桩锚板式抗滑结构应先施工桩,再采用逆作法施工锚索(杆)及挡板。

13.4.2 桩纵筋的接头不得设在土石分界处和滑动面处。

13.4.3 墙后填土应满足本标准第8.3.8条要求。

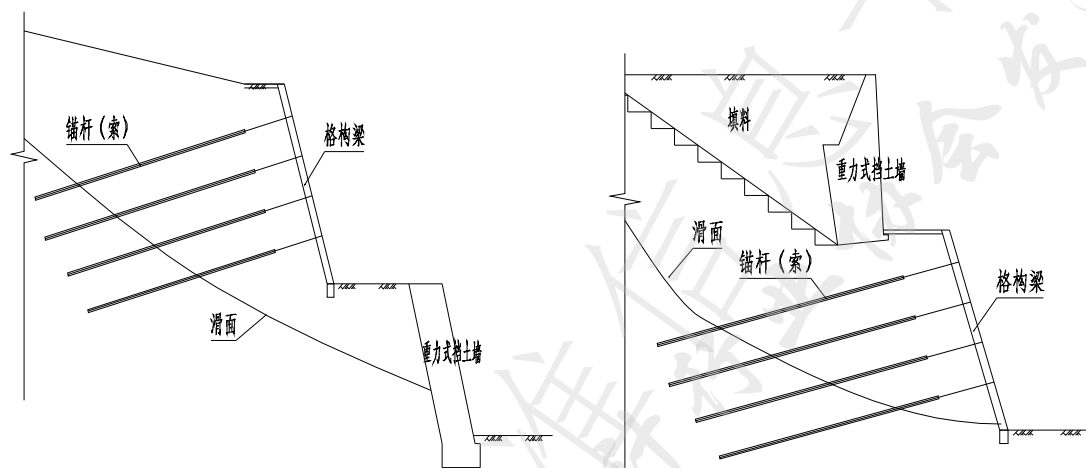
13.4.4 桩和挡板设计未考虑大型碾压机的荷载时,桩板后至少2m内不得使用大型碾压机械填筑。

13.4.5 抗滑桩施工除满足本标准相关要求外,尚应符合JGJ94相关要求。锚索施工应满足本标准第10.4节要求。

14 组合抗滑结构

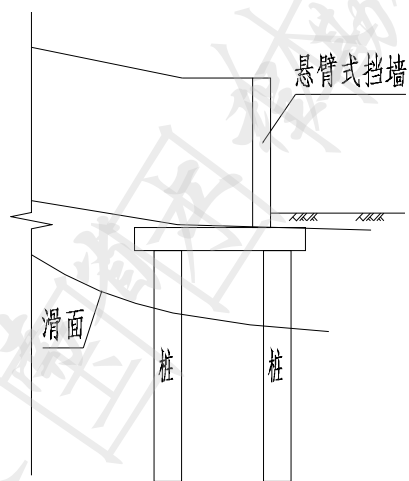
14.1 一般规定

14.1.1 组合抗滑结构适用于需要分级设计的滑坡防治工程，常见的有重力式挡墙+格构锚杆组合结构、抗滑桩（桩锚）+格构锚杆组合结构、各类桩基托梁挡墙等。

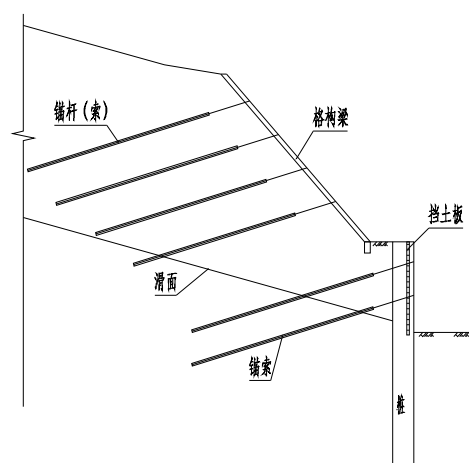


(a) 格构锚杆+重力式挡墙

(b) 重力式挡墙+格构锚杆



(c) 桩托梁悬臂式挡墙



(d) 格构锚杆+桩锚结构

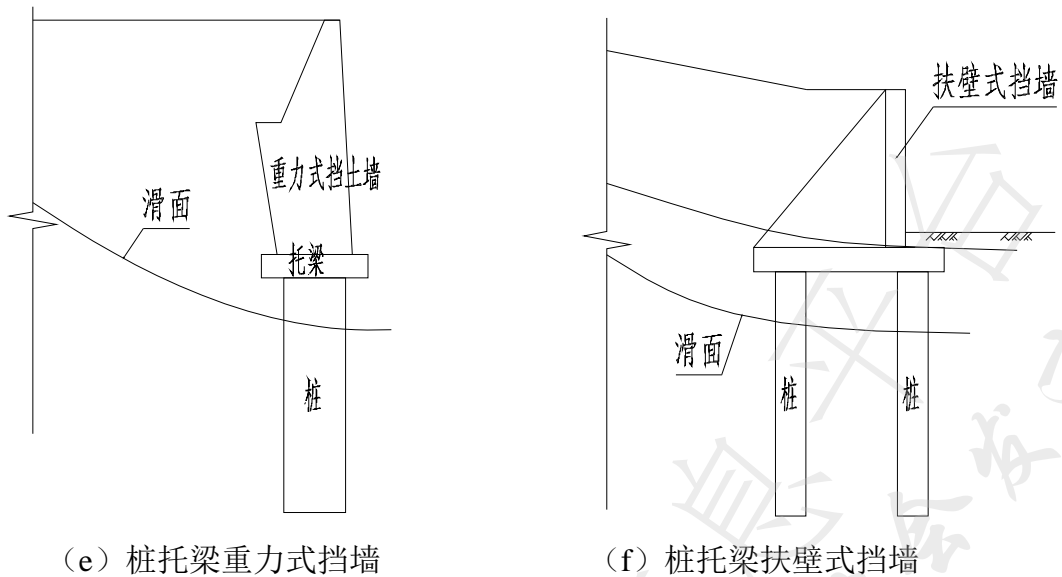


图 14.1.1 部分组合抗滑结构示意图

14.1.2 组合抗滑结构的设计荷载及组合应符合本标准第 3.3.1 条、第 3.3.2 条的规定。

14.1.3 重力式挡墙+格构锚杆组合抗滑结构宜采用分级设置，重力式挡墙高度不宜大于 10m，格构锚杆结构每级不宜大于 8~10m。

14.1.4 抗滑桩+格构锚杆组合抗滑结构宜采用分级设置，抗滑桩悬臂高度不宜大于 12m，格构锚杆结构每级不宜大于 12m。

14.1.5 桩锚+格构锚杆组合抗滑结构宜采用分级设置，桩锚板高度不宜大于 18m，格构锚杆结构每级不宜大于 10m。

14.1.6 椅式抗滑桩结构椅背悬臂高度不宜超过 15m，纵向桩间距可取 3~5 倍纵向桩宽，宜为 5m~8m，横向间距不宜小于 2.5 倍横向桩宽度。

14.1.7 椅式抗滑桩结构承受滑坡推力或土压力段的桩间可设置土钉墙、挡土板或重力式挡墙。

14.1.8 桩托梁重力式挡墙挡墙高度不宜大于 10m，每个墙段桩基不应少于 2 根。桩托梁扶壁式挡墙和桩托梁悬臂式挡墙挡墙高度不宜超过 12m。

14.2 设计计算

14.2.1 地质条件较差的边坡宜采用预加固措施，可采用锚索、桩锚或护坡桩对坡脚进行预加固，上部边坡宜分级开挖，分级加固，并

严格采用逆作法施工。

14.2.2 桩托梁重力式挡墙包括桩、托梁和重力式挡墙，桩的设计应符合本标准第 12 章的规定，重力式挡墙的设计应符合第 8 章的规定。

14.2.3 桩托梁挡墙的计算应符合下列规定：

- 1 作用在托梁结构上的荷载包括挡墙传递的水平力、竖向力和托梁的自重。荷载分布形式可采用均匀分布；
- 2 根据地基条件，托梁可按基底悬空的连续梁或弹性地基梁计算；
- 3 每跨托梁底中心合力计算时可不计托梁底摩擦力和反力的作用；
- 4 当墙背土体可能出现从托梁底部开始的破裂面时，应按该破裂面计算土压力。桩顶至锚固点之间的土压力可按库仑理论计算；
- 5 桩身设计按本标准第 12 章进行计算。

14.2.4 挡墙传递到每跨托梁上的荷载包括水平推力和竖向力（如图 14.2.4 所示）。水平推力应按式（14.2.4-1）计算；竖向力应按式（14.2.4-2）计算。

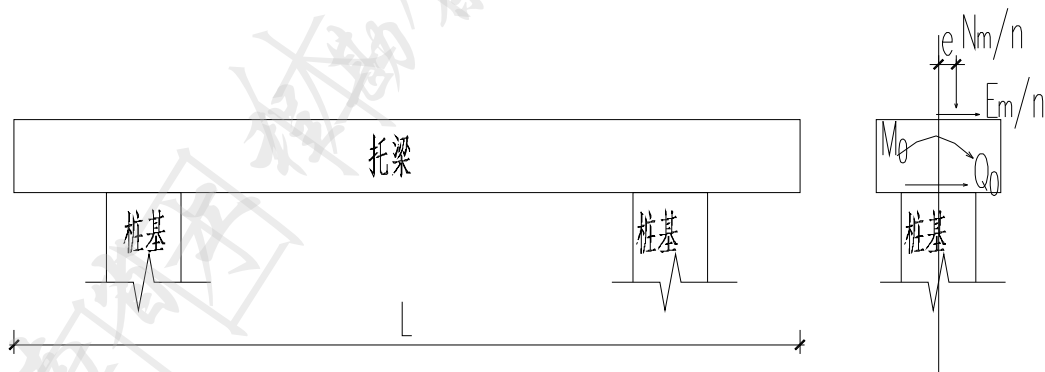


图 14.2.4 桩顶的荷载计算示意图

$$E_m = L \times E_x \quad (14.2.4-1)$$

$$N_m = L \times (E_y + G_q) \quad (14.2.4-2)$$

式中 E_m ——单跨水平推力（kN）；
 L ——每跨托梁的长度（m）；
 E_x ——墙背所承受的水平土压力（kN/m）；

N_m ——单跨竖向力 (kN) ;

E_y ——墙背所承受的竖向土压力 (kN/m) , 按下式计算;

$$E_y = E_x \tan(\delta - \alpha)$$

δ ——墙背摩擦角 ($^\circ$)

α ——墙背倾角 ($^\circ$)

G_q ——挡墙自重 (kN/m) 。

14.2.5 桩顶水平力和弯矩可按一跨托梁中每根桩平均承担的原则分配, 桩顶水平力可按式 (14.2.5-1) 计算, 桩顶弯矩可按式 (14.2.5-2) 计算。

$$Q_0 = E_m / n \quad (14.2.5-1)$$

$$M_0 = (E_m \times h + N_m \times e) / n \quad (14.2.5-2)$$

式中 Q_0 ——桩顶水平力 (kN) ;

n ——单跨托梁的桩基根数;

M_0 ——桩顶弯矩 (kN·m) ;

h ——托梁厚度 (m) ;

e ——挡墙合力偏心距 (m) 。

14.2.6 托梁结构设计应符合下列规定:

1 承载能力极限状态设计包括抗弯和抗剪。作用分项系数按照 GB55001-采用。抗力按 GB50010 的相关规定计算。

2 最大裂缝宽度按正常使用极限状态验算, 应按式 (14.2.6) 计算。

$$S_d \leq G_d \quad (14.2.6)$$

式中 S_d ——正常使用状态作用组合效应的设计值, 包括裂缝宽度、挠度、位移等;

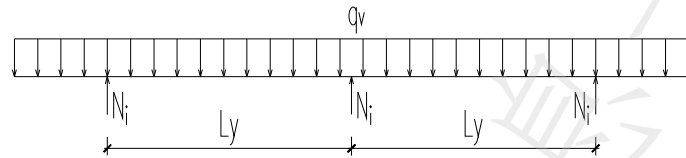
G_d ——结构正常使用状态的限定值, 包括最大裂缝限定值, 挠度或位移限定值等。

14.2.7 桩托梁悬臂式挡墙和桩托梁扶壁式挡墙上的荷载及填土产生的土压力计算应符合本标准第 9.2 节的规定。应选取滑坡或不稳定斜坡的推力作用与土压力作用中的最不利情况进行计算。

14.2.8 桩托梁悬臂式挡墙和桩托梁扶壁式挡墙的立板和扶壁板的内

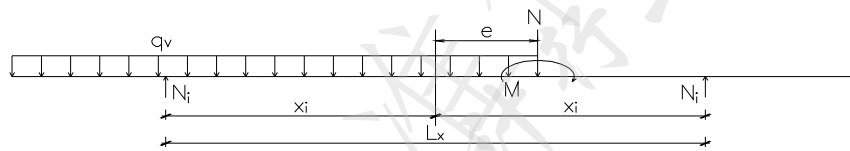
力按本标准第 9.2 节计算。

14.2.9 桩托梁悬臂式挡墙底板可根据下部桩基的布置情况按双向板设计，将底板划分为纵向（沿边坡走向方向）和横向（垂直于边坡走向方向）的板带，与桩基组成平面刚架结构进行计算，如图 14.2.9-1 和图 14.2.9-2 所示。桩托梁扶壁式挡墙的底板内力可采用有限元软件进行计算。



q_v —底板竖向荷载； L_y —纵向桩间距； N_i —为各桩顶轴力

图 14.2.9-1 桩托梁悬臂式挡墙底板纵向计算简图

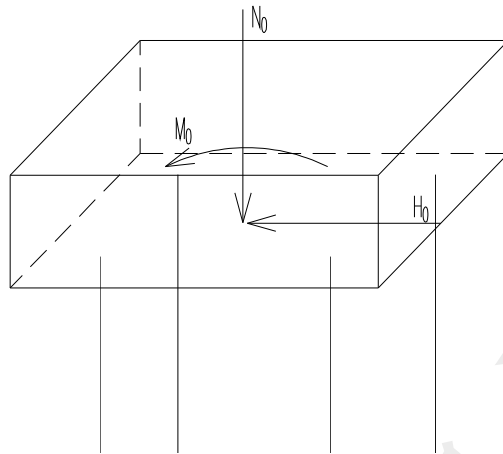


L_x —横向桩间距； e —偏心距； N —悬臂部分传递的垂直压力；

M —悬臂部分传递的垂直弯矩

图 14.2.9-2 桩托梁悬臂式挡墙底板横向计算简图

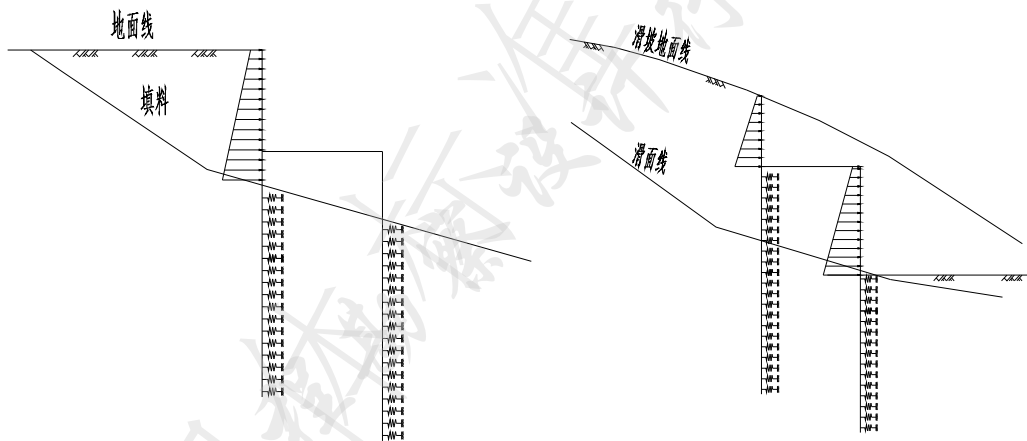
14.2.10 桩托梁悬臂式及扶壁式挡墙桩顶荷载为板底传递至桩基中各桩顶的轴力和弯矩，可按空间刚架模型计算，计算模型如图 14.2.10 所示。



M_0 —底板弯矩荷载合力； N_0 —底板竖向荷载合力； H_0 —底板水平荷载合力

图 14.2.10 桩托梁悬臂式挡墙及扶壁式挡墙桩顶荷载计算模型

14.2.11 椅式抗滑桩结构可按框架结构模型，采用弹性地基梁法或结构力学位移法计算，如图 14.2.11 所示。



(a) 椅式抗滑桩（一）计算模型 (b) 椅式抗滑桩（二）计算模型

图 14.2.11 椅式抗滑桩结构简化计算模型

14.2.12 组合结构中桩的内力计算应满足本标准第 12.2 节的要求。

14.2.13 组合结构中构件的结构设计应进行抗弯和抗剪、裂缝宽度和变形验算。

14.3 构造

14.3.1 挡墙、悬臂式和扶壁式挡墙、格构锚杆、抗滑桩的构造要求应符合本标准第 8 章、第 9 章、第 11 章、第 12 章的规定。

14.3.2 边坡坡形一般采用台阶状坡形，单级坡高，土坡和全、强风化岩一般为 6~8m，岩质边坡为 10~12m。平台宽为 2~4m。

14.3.3 桩基直径不宜小于 0.8m，当桩基础为摩擦桩时，相邻桩中心距不应小于 2.5 倍桩径，当桩基为端承桩时，相邻桩中心间距不应小于 2 倍桩径。

14.3.4 当滑坡岩体破碎和顺倾滑坡应分级分台，每级坡高不宜大于 10m，宜在坡脚、一级或二级平台上设抗滑桩或桩锚支护，格构锚杆宜与桩锚组合使用。完整的岩体边坡可采用格构锚杆逐级加固。

14.3.5 对软岩边坡，锚索格构边坡的设计坡率不宜缓于 1: 1.5，且不宜大于 70°。

14.3.6 桩托梁悬臂式和扶壁式挡墙每幅之间应设置伸缩缝，伸缩缝间距不应大于 20m，伸缩缝和沉降缝、泄水孔的设置应符合本标准第 9 章的规定。

14.3.7 桩基应伸入悬臂式或扶壁式挡墙的底板不小于 100mm，桩基的受力钢筋伸入底板的长度应满足最小计算锚固长度，且不小于 200mm。

14.3.8 所有组合支挡结构的钢筋混凝土构件的混凝土强度不宜低于 C35，当地下水有侵蚀性时，结构耐久性设计应满足现行国家标准 GB/T 50476 的有关要求。配筋计算及构造要求应符合现行国家标准 GB 50010 的有关规定。

14.4 施工

14.4.1 重力式挡墙、悬臂式和扶壁式挡墙、锚杆、抗滑桩的施工应符合本标准第 8.4 节、第 9.4 节、第 10.7 节和第 12.9 节的规定。

14.4.2 组合桩结构施工时，桩体混凝土浇筑应一次完成，其他部位的浇筑如有间断，应严格按施工缝进行处理，保证混凝土强度满足要求。

14.4.3 当层面倾角较缓时，不能顺层刷方，宜采取预加固和加强措施。

15 其他防护措施

15.1 一般规定

15.1.1 其他滑坡防护措施包括削方减载、回填压脚、坡面防护、坡面绿化、锚喷防护、复合土钉墙防护、坡面防护与坡面绿化等，根据滑坡防治工程特点单独使用或与前述各支挡工程、排水工程配合使用。

15.1.2 进行回填或卸载时，应确保坡体的整体稳定。坡率允许值可参照有关标准确定。

15.1.3 填土滑坡、黄土滑坡、膨胀土滑坡的坡率允许值应根据边坡稳定性计算结果并结合地区经验确定。填方边坡采用放坡设计时可与加筋材料联合应用。

15.1.4 锚喷防护多用于容易风化、高度较小的岩体滑坡。

15.1.5 复合土钉墙防护用于高度不大、下滑力较小的已有土质滑坡。

15.1.6 坡面防护是指用于防止坡面风化、剥落的辅助措施。

15.1.7 坡面绿化是指用于坡面景观美化的辅助措施。

15.1.8 回填体应经过专门设计，包括坡形、坡度、压实要求、马道、坡面排水及坡面防护等未经专门设计的回填体，只作为安全储备加以考虑。

15.2 削方减载

15.2.1 削方减载包括滑坡后缘减载、表层滑体或变形体的清除、削坡降低坡度及设置马道等。削方减载对于滑坡抗滑稳定安全系数的提高值可作为设计依据。

15.2.2 削方减载后形成的土质边坡高度超过 5.0m，岩质边坡超过 10.0m 时需设置马道，并应设置横向排水沟。

15.2.3 采用机械方法施工，最低处应预留 0.5~1.0m 保护层，采用人工开挖至设计位置。

15.2.4 采用爆破方法施工，应对周围环境进行专门调查，评估爆破振动对滑坡整体稳定性影响和爆破飞石对周围环境的危害。

15.3 回填压脚

15.3.1 回填压脚采用土石材料等堆填在滑坡体前缘。当回填土坡较高时，宜分级设置，并与土工格室、框格、压脚墙、空心挡墙、生态框等结合进行，坡脚宜采用低矮挡墙、空心挡墙压脚。

15.3.2 回填体材料宜优先选用透水性较好的碎石、卵石和砂性土，碎石土中碎石粒径不大于 80mm，占比 30%--80%。碎石土应进行碾压，压实度应不低于 0.90。

15.3.3 当回填体内部存在地下水补给时，应在底部设置地下排水措施。当采用透水性小的材料时，应按照反滤要求作好坡内排水、坡面排水和防渗等措施。

15.3.4 库（河）水位变动带的回填压脚应对回填体进行地下水渗流处理和防冲刷护坡。

15.3.5 对膨胀土滑坡宜采用非膨胀土包盖。

15.4 锚喷防护

15.4.1 当坡顶无重要建构物，既有滑坡体经卸载、刷方，稳定性满足设计要求时，表层破碎的岩质边坡可采用锚喷防护。

15.4.2 有深层外倾滑动面或坡体渗水明显的岩质滑坡、膨胀性岩质滑坡和具有严重腐蚀性的滑坡不应采用锚喷防护。

15.4.3 岩质滑坡整体稳定用系统锚杆支护后，对局部不稳定块体尚应采用锚杆加强支护。

15.4.4 锚杆轴向拉力可按式计算：

$$N_{ak} = e'_{ah} s_{xi} s_{yj} / \cos \alpha \quad (15.4.4)$$

式中： N_{ak} ——锚杆所受轴向拉力（kN）；

s_{xj} ， s_{yj} ——锚杆的水平、垂直间距（m）；

e'_{ah} ——相应于作用的标准组合时侧向岩石压力水平分力的修正值（kN/m）；

α ——锚杆倾角（°）。

15.4.5 锚喷支护边坡时，锚杆计算应符合本标准第 10.2 的规定。

15.4.6 采用局部锚杆加固滑坡岩石块体时，锚杆承载力应符合以下

规定：

$$K_b(G_t - fG_n - cA) \leq \sum N_{akti} + f \sum N_{akni} \quad (15.4.6)$$

式中：A——滑动面面积（m²）；

c——滑移面的黏聚力（kPa）；

f——滑动面上的摩擦系数；

G_t、G_n——分别为滑体自重平行和垂直于滑面方向的分力（kN）；

N_{akti}、N_{akni}——单根锚杆轴向拉力在抗滑方向和垂直于滑动面方向上的分力（kN）；

K_b——锚杆钢筋抗拉安全系数，按本标准附录 C 规定取值。

15.4.7 系统锚杆的设置应符合下列规定：

- 1 锚杆布置宜采用行列式排列或菱形排列；
- 2 锚杆间距宜为 1.5~3.0m，且不应大于锚杆长度的一半；对 I、II 类岩体边坡最大间距不应大于 3.0m，对 III、IV 类岩体边坡最大间距不应大于 2.0m；
- 3 锚杆安设倾角宜为 10°~20°；
- 4 应采用全粘结锚杆。

15.4.8 岩质滑坡坡面防护应符合下列规定：

- 1 锚杆布置宜采用行列式排列，也可采用菱形排列；
- 2 应采用全粘结锚杆，锚杆长度为 3~6m，锚杆倾角宜为 15°~20°，钢筋直径可采用 16~22mm；钻孔直径为 40~70mm；
- 3 I、II 类岩质坡体可采用混凝土锚喷防护，III 类岩质坡体宜采用钢筋混凝土锚喷防护，IV 类岩质坡体应采用钢筋混凝土锚喷防护；
- 4 喷射混凝土强度等级不宜低于 C30，混凝土喷层厚度可采用 50~80mm，I、II 类岩质坡体可取小值，III、IV 类岩质坡体宜取大值。

15.4.9 喷射混凝土与岩面的粘结力，对整体状和块状岩体不应低于 0.80MPa，对碎裂状岩体不应低于 0.40MPa。喷射混凝土与岩面粘结力试验应符合 GB 50086 的规定。

15.4.10 面板宜沿边坡纵向每隔 20~25m 的长度分段设置竖向伸缩缝。

15.4.11 滑坡体泄水孔及截水、排水沟等的设置应符合本标准的相关规定。

15.5 土钉墙防护

15.5.1 土钉墙适用于土质及破碎软弱岩质边坡地段，在腐蚀性地层、膨胀土地段、松散的土质滑坡及地下水较发育地段，不宜采用土钉墙结构。

15.5.2 土钉墙高度一般不宜大于 5.0m；当对变形有一定要求时，土钉墙高度不宜大于 3.0m，并应采用复合土钉墙或与其他措施联合使用。

15.5.3 土钉墙的设计内容应包括以下内容：

1 根据工程类比和工程经验，选择合适的筋体材料、注浆材料及注浆方式，计算确定土钉、锚杆的长度、直径、间距、倾角等；

2 土钉墙应进行内部稳定性、整体稳定性分析和抗滑稳定性分析；

3 应进行土钉及锚杆抗拔承载力验算和筋体材料抗拉承载力验算；

4 对需控制滑坡周边环境位移的工程尚应进行支护变形估算，变形估算可采用增量法结合工程经验确定。

15.5.4 外部稳定性验算应包括抗倾覆、抗水平滑动、整体稳定性及基底承载力验算。内部稳定性验算应包括土钉（锚杆）的抗拉、抗拔和内部整体稳定性验算。

15.5.5 作用于土钉墙墙面板的土压力分布如图 15.5.5 所示，土压力根据墙背计算点至墙顶的距离按式 15.5.5-1~15.5.5-3 计算。

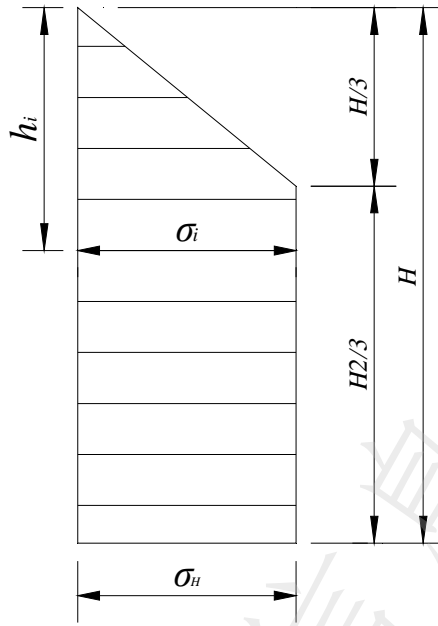


图 15.5.5 土钉墙墙背土压应力分布图

$$E_i = \sigma_i S_x S_y / \cos \beta \quad (15.5.5-1)$$

当 $h_i \leq \frac{1}{3}H$ 时

$$\sigma_i = 2\lambda_x \gamma h_i \quad (15.5.5-2)$$

当 $h_i \geq \frac{1}{3}H$ 时

$$\sigma_i = \frac{2}{3}\lambda_x \gamma H \quad (15.5.5-3)$$

式中： E_i ——第 i 层土钉的计算拉力 (kN)；

S_x 、 S_y ——土钉之间水平和垂直间距 (m)；

β ——土钉与水平面的夹角 ($^\circ$)；

σ_i ——水平土压力 (kPa)；

λ_x ——水平主动土压力系数， $\lambda_x = \lambda_a \cos(\delta - \alpha)$ ，其中 λ_a 为主动

土

压力系数， δ 为墙背摩擦角 ($^\circ$)， α 为墙背与竖直面间

的

夹角 ($^\circ$)；

γ ——边坡岩土体重度 (kN/m^3)；

H ——土钉墙墙高 (m)；

h_i ——墙顶距第 i 层土钉的竖直距离 (m)。

15.5.6 土钉墙潜在破裂面距墙面可采用简化滑面 (图 15.5.6 所示) 或圆弧滑面。当采用简化滑面时, 潜在破裂面距墙面的距离可按式 (15.5.6-1) 和式 (15.5.6-2) 计算。

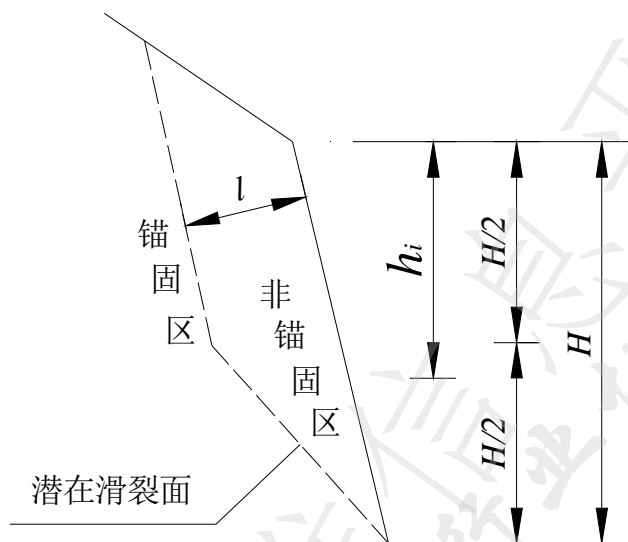


图 15.5.6 土钉锚固区与非锚固区分界面

$$h_i \leq H/2: \quad l = (0.3 \sim 0.35) \times H \quad (15.5.6-1)$$

$$h_i > H/2: \quad l = (0.6 \sim 0.7) \times (H - h_i) \quad (15.5.6-2)$$

式中: l ——潜在破裂面距墙面的距离 (m), 当坡体渗水较严重、岩体风化破碎严重或节理发育时, 取大值。

15.5.7 土钉长度应包括非锚固长度和有效锚固长度, 非锚固长度应根据墙面与土钉潜在破裂面的实际距离确定; 有效锚固长度应通过土钉墙内部稳定性验算确定。

15.5.8 土钉的抗拉和抗拔稳定性验算应符合下列规定:

1 土钉的抗拉强度应按式 (15.5.8-1) 进行验算。

$$A_s = \frac{K_1 E_i}{f_y} \quad (15.5.8-1)$$

式中: A_s ——土钉钢筋截面面积 (mm^2);

K_1 ——土钉抗拉作用安全系数, 当安全等级为二级时, 取 2.0, 安全等级为三级时取 1.8;

E_i ——第 i 层土钉拉力值 (kN);

f_y ——钢筋抗拉强度设计值 (MPa)。

2 土钉的抗拔稳定性应符合下列规定：

1) 应根据锚固体与孔壁的抗剪强度按式 (15.5.8-2) 进行锚固段长度验算。

$$l_{ei} \geq \frac{K_2 E_i}{\pi D f_{rb}} \quad (15.5.8-2)$$

式中： l_{ei} ——第 i 根土钉有效锚固长度 (m)；

K_2 ——土钉抗拔作用安全系数，当安全等级为二级时，取 2.4，安全等级为三级时取 2.2；

D ——钻孔直径 (m)；

f_{rb} ——锚孔壁与注浆体之间粘结强度设计值 (kPa)，设计值可按标准值的 0.8 倍采用；标准值可按本标准附录 C 采用。

2) 应根据水泥砂浆与锚固筋材粘结强度按式 (15.5.8-3) 进行锚固段长度验算。

$$l_{ei} \geq \frac{K_2 E_i}{\pi d f_{rb}} \quad (15.5.8-3)$$

式中： d ——钉材直径 (m)；

f_{rb} ——钉材与砂浆间的粘结强度设计值 (kPa)，可按本标准附录 C 采用。

15.5.9 土钉墙整体稳定验算应符合式 (15.5.9) 的规定：

$$\frac{\sum_{i=1}^m c_i L_i S_x + \sum_{i=1}^m W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i S_x + \sum_{j=1}^n P_j (\cos \beta_j + \sin \beta_j \tan \varphi_i)}{\sum_{i=1}^m W_i \sin \alpha_i S_x} \geq K \quad (15.5.9)$$

式中： K ——安全系数，当安全等级为二级时安全系数取 1.3，安全等级为三级时安全系数取 1.25；

m ——破裂棱体分条 (块) 总数；

W_i ——破裂棱体第 i 分条 (块) 的重量 (kN/m)；

α_i ——破裂面切线与水平面夹角 ($^\circ$)；

S_x ——土钉水平间距 (m)；

c_i ——岩土的黏聚力 (kPa)；

L_i ——分条（块） i 的潜在破裂面长度（m）；

φ_i ——岩土的内摩擦角（°）；

n ——实设土钉排数；

P_j ——第 j 层土钉的抗拔能力（kN）；

β_j ——土钉轴线与破裂面的夹角（°）。

15.5.10 土钉墙外部稳定性验算时，可将土钉及其加固体视为重力式挡墙，抗倾覆、抗滑移验算应符合本标准第 8.2.4 条~第 8.2.5 条的规定。对于土质滑坡、软岩滑坡，最危险圆弧应通过土钉墙墙底，当安全等级为二级时安全系数取 1.3，安全等级为三级时安全系数取 1.25。当不满足稳定性验算要求时，应加长土钉或锚杆（索）长度。

15.5.11 施工前应清除坡面松散层及不稳定的块体。

15.5.12 喷射混凝土防护施工应符合下列规定：

1 喷护前应采取措施对泉水、渗水进行处治，并按设计要求设置泄水孔，排、防积水；

2 施工作业前应进行试喷，选择合适的水灰比和喷射压力；喷射顺序应自下而上进行；

3 砂浆或混凝土初凝后，应立即开始养护，喷浆养护期不应少于 5d，喷射混凝土养护期不应少于 7d；

4 应及时对喷浆或混凝土层顶部进行封闭处理。

15.5.13 滑坡坡面处理宜尽量平缓、顺直，且应锤击密实，凹处填筑应稳定。

15.6 坡面防护

15.6.1 边坡坡面防护工程应在稳定边坡上设置。对欠稳定的或存在不良地质因素的边坡，应先进行滑坡治理后进行坡面防护与绿化。

15.6.2 边坡坡面防护应根据当地气候、水文、地质、材料来源及使用条件采取工程防护和植物防护相结合的综合处理措施，常见的边坡防护类型有圬工防护、土工织物防护、植物防护三种。

15.6.3 常见的圬工防护包括框格防护、封面防护、护面墙、石砌护坡、锚杆铁丝网喷浆或喷射混凝土护坡等。

15.6.4 填土滑坡、黄土滑坡、膨胀岩土滑坡的坡面防护与绿化应结合地区经验确定。

15.6.5 临时防护措施应与永久防护措施相结合。

15.6.6 地下水和地表水较为丰富的边坡，应将边坡防护结合排水措施进行综合设计。

15.6.7 对放坡进行护面时应结合当地已有经验选择锚喷、浆砌片石、格构等构造措施。常见的坡面防护工程形式见表 15.6.7。

表 15.6.7 常见的坡面防护形式

防护类别	防护形式
工程类防护	干（浆）砌片（块）石护坡
	混凝土预制块
	混凝土或浆砌片石骨架
	窗孔式护坡
	六角空心砖护坡
	锚喷混凝土护坡

15.6.8 砌体护坡应符合下列规定：

1 砌体护坡可采用浆砌条石、块石、片石、卵石或混凝土预制块等作为砌筑材料，适用于坡度缓于 1:1 的易风化的岩石和土质挖方边坡；

2 石料强度等级不应低于 MU30，浆砌块石、片石、卵石护坡的厚度不宜小于 250mm；

3 预制块的混凝土强度等级不应低于 C25，厚度不小于 150mm；

4 铺砌层下应设置碎石或砂砾垫层，厚度不宜小于 100mm；

5 砌筑砂浆强度等级不应低于 M5.0，在严寒地区和地震地区或水下部分的砌筑砂浆强度等级不应低于 M7.5；

6 砌体护坡应设置伸缩缝和泄水孔；

7 砌体护坡伸缩缝间距宜为 20~25m、缝宽 20~30mm；在地基性状和护坡高度变化处应设沉降缝，沉降缝与伸缩缝宜合并设置；缝中应填塞沥青麻筋或其他有弹性的防水材料，填塞深度不应小于

150mm；在拐角处应采取适当的加强构造措施。

15.6.9 护面墙防护设计应符合下列规定：

1 护面墙可采用浆砌条石、块石或混凝土预制块等作为砌筑材料，也可现浇素混凝土；适用于防护易风化或风化严重的软质岩石或较破碎岩石挖方边坡，以及坡面易受侵蚀的土质滑坡；

2 窗孔式护面墙防护的边坡坡率应缓于 1: 0.75；拱式护面墙适用于边坡下部岩层较完整而上部需防护的边坡，边坡坡率应缓于 1:0.50；

3 单级护面墙的高度不宜超过 10m；其墙背坡率与边坡坡率一致，顶宽不应小于 500mm，底宽不应小于 1000mm，并应设置伸缩缝和泄水孔；

4 伸缩缝的间距宜为 20~25m，但对素混凝土护面墙应为 10~15m；

5 护面墙基础应设置在稳定的地基上，基础埋置深度应根据地质条件确定；冰冻地区应埋置在冰冻深度以下不小于 250mm；护面墙前趾应低于排水沟铺砌的底面。

15.6.10 对边坡坡度不大于 60°、易风化岩质边坡可采用喷射砂浆进行坡面防护。喷射砂浆防护厚度不宜小于 50mm，砂浆强度等级不应低于 M20；喷护坡面应设置泄水孔和伸缩缝，泄水孔纵、横间距宜为 2.5m，伸缩缝间距宜为 10~15m。

15.6.11 坡面防护施工应符合下列规定：

1 根据开挖坡面地质、水文地质情况逐段核实边坡防护措施有效性，且应符合信息化施工要求；

2 挖方边坡防护工程应采用逆作法施工，开挖一级防护一级，并应及时养护；

3 施工前应对边坡进行修整，清除边坡上的危石及不密实的松土；

4 坡面防护层应与坡面密贴，不得留有空隙；

5 在多雨地区或地下水发育地段，边坡防护工程施工应采取有效截、排水措施。

15.6.12 砌体护坡工程施工应符合下列规定：

1 砌体护坡施工前应将坡面整平；在铺设混凝土预制块前，对局部坑洞处应预先采用混凝土或浆砌片石填补平整；

2 浆砌块石、片石、卵石护坡应采取坐浆法施工，预制块应错缝砌筑；护坡面应平顺，并与相邻坡面顺接；

3 砂浆初凝后，应立即进行养护；砂浆终凝前，砌块应覆盖。

15.6.13 护面墙施工应符合下列规定：

1 护面墙施工前，应清除边坡风化层至新鲜岩面；对风化迅速的岩层，清挖到新鲜岩面后应立即修筑护面墙；

2 护面墙背应与坡面密贴，边坡局部凹陷处，应挖成台阶后用混凝土填充或浆砌片石嵌补；

3 坡顶护面墙与坡面之间应按设计要求做好防渗处理。

15.7 坡面绿化

15.7.1 植物防护与绿化工程用于边坡表层土体溜塌和景观美化时可作为边坡防治的辅助配套措施，不宜单独使用，宜与坡面防护结合进行，常坡面护坡结合使用。

15.7.2 坡面绿化工程适用于坡度较缓的土质滑坡、类土质滑坡，应选择适合当地生长的植物类型。常见的坡面绿化类型有植草、铺草皮、种植灌木、植生袋、植被混凝土绿化等，并应符合下列规定：

1 植草适用于坡率缓于 1: 1.00 的土质边坡，宜选用易成活、生长快、根系发达、叶茎矮或有葡萄茎的多年生当地草种；草种的配比、播种量应根据植物的生长特点、防护地点及施工方法确定；

2 铺草皮适用于需要快速绿化的边坡，且坡率缓于 1: 1.00 的土质边坡和严重风化的软质岩石边坡；草皮应选择根系发达、茎矮叶茂耐旱草种，不宜采用喜水草种，严禁采用生长在泥沼地的草皮；

3 种植灌木，宜用于坡率缓于 1: 1.50 的边坡；树种应选用能迅速生长且根深枝密的低矮灌木类；

4 植被混凝土护坡绿化适用于坡率小于 1:0.30 的稳定边坡。

15.7.3 绿化防护工程中的骨架可采用浆砌片石、混凝土空心块、格构作骨架，且应符合下列规定：

1 骨架植物防护适用于边坡坡率缓于 1: 0.75 土质和全风化的岩石边坡防护与绿化，当坡面受雨水冲刷严重或潮湿时，坡度应缓于 1: 1.00；

2 应根据边坡坡率、土质和当地情况确定骨架形式，并与周围景观相协调；骨架内应采用植物或其他辅助防护措施；

3 当降雨量较大且集中的地区，骨架宜做成截水槽型；截水槽断面尺寸由降雨强度计算确定。

15.7.4 混凝土空心块植物防护适用于坡度缓于 1: 0.75 的土质边坡和全风化、强风化的岩石挖方边坡；并根据需要设置浆砌片石或混凝土骨架。空心预制块的混凝土强度等级不应低于 C20，厚度不应小于 150mm。空心预制块内应填充种植土，喷播植草。

15.7.5 锚杆格构植物防护与绿化适用于土质边坡和坡体中无不良结构面、风化破碎的岩石挖方边坡。钢筋混凝土格构的混凝土强度等级不应低于 C30，格构几何尺寸应根据边坡高度和地层情况等确定，格构内宜植草。在多雨地区，格构上应设置截水槽，截水槽断面尺寸由降雨强度计算确定。

15.7.6 对膨胀岩、膨胀土滑坡的绿化宜通过工程试验确定。

15.7.7 绿化防护施工应符合下列规定：

1 种草施工，草籽应撒布均匀，同时做好保护措施；

2 灌木、树木应在适宜季节栽植；

3 客土喷播施工的喷播植草混合料中植生土、土壤稳定剂、水泥、肥料、混合草籽和水等的配合比应根据边坡坡率、地质情况和当地气候条件确定，混合草籽用量每 1000m² 不宜少于 25kg；在气温低于 12℃时不宜喷播作业；

4 铺、种植被后，应适时进行洒水、施肥等养护管理，植物成活率应达到 90% 以上；养护用水不应含油、酸、碱、盐等有碍草木生长的成分。

全國團體標準設計信息平台
全國團體標準設計行業協會發布

16 检测、监测与验收

16.1 一般规定

16.1.1 滑坡防治工程检测、监测和验收应按照设计要求并结合工程特点进行。

16.1.2 滑坡工程的质量检验包括原材料检验、各分部分项隐蔽工程及支护构件的检测。

16.1.3 滑坡防治工程监测应包括对防治体及周边已有建（构）筑物的监测，包括施工安全监测及防治效果监测。

16.1.4 除采用专用测量仪器监测外，还应结合现场巡视进行。

16.1.5 滑坡工程监测应采用固定的方法和线路，也应使用相同的设备进行，监测设备应定期校准。

16.2 检测检验

16.2.1 滑坡支护结构的原材料质量检验应包括下列内容：

- 1 材料出厂合格证检查；
- 2 材料现场抽检；
- 3 锚杆浆体和混凝土的配合比试验，强度等级检验。

16.2.2 滑坡工程施工质量检验，应符合下列规定：

1 采用挡墙时，应对挡墙埋置深度、持力层、墙身材料及强度、墙后回填土分层压实系数进行检验；

2 抗滑桩、桩板墙、桩锚板中的桩基，应进行成桩质量和桩身强度检验；

3 喷锚支护锚杆应进行抗拔承载力检验、喷射混凝土厚度和强度检验。

16.2.3 喷射混凝土护壁厚度和强度的检验应符合下列规定：

1 可用凿孔法或钻孔法检测护壁厚度，每 100m² 抽检一组；芯样直径为 100mm 时，每组不应少于 3 个点。喷射混凝土应进行试块的强度检验，每 500m² 抽检一组，每组 3 块，制作、试验与评定应符合 GB 50086 的规定；

2 厚度平均值应大于设计厚度，最小值不应小于设计厚度的

80%；

3 混凝土抗压强度的检测和评定应符合《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 的有关规定。

16.2.4 格构及支护结构中的混凝土构件的检测检验应符合 GB 50204 的规定。

16.2.5 预应力锚索（杆）、土钉墙工程施工质量检验应符合表 16.2.5 的规定。

表 16.2.5 土钉墙、预应力锚索（杆）支护工程施工质量检验标准

检验项目	允许偏差或允许值		检验方法
	单位	数值	
土钉或锚杆长度	不小于设计长度		用钢尺量
锚杆锁定力	设计要求		现场实测
土钉或锚杆位置	mm	±20	用钢尺量
钻孔倾斜度		±2%	测钻机倾角
浆体强度	不小于设计强度		试样送检
注浆量	大于理论计算用浆量		检查计量数据
面板厚度	mm	±10	用钢尺量
面板强度	不小于设计强度		试样送检

16.2.6 灌注桩质量检验可采取低应变动测法、预埋管声波透射法、X 射线透视法或钻芯法有效方法，并应符合下列规定：

1 对低应变检测结果有怀疑的灌注桩，应采用钻芯法进行检测；钻芯法应进行单孔或跨孔声波检测，混凝土质量与强度评定按国家现行有关标准执行；

2 对抗滑桩，当长边尺寸不小于 2.0m 或桩长超过 15.0m 时应采用声波透射法检验桩身完整性；当对桩身质量有怀疑时，可采用钻芯法进行复检；

3 对直径不小于 800mm 的灌注桩，应预埋声测管，采用声波透射法检测桩身完整性。

16.2.7 抗滑桩的桩位偏差必须符合表 16.2.7 的规定。

1 桩顶标高至少要比设计标高高出 0.5m。每浇注 50m³ 必须有 1 组试件，对灌注量小于 50m³ 的桩，每根桩也应有 1 组试件；

2 钢筋位置、间距、数量和保护层厚度可采用钢筋检测仪复检，当对钢筋规格有怀疑时可直接凿开检查。

表 16.2.7 抗滑桩的平面位置和垂直度的允许偏差

序号	成孔方法		桩径允许偏差 (mm)	垂直度允许偏差	桩位允许偏差 (mm)
1	泥浆护壁	D < 1000mm	≥ 0	≤ 1/100	≤ 70 + 0.01H
		D ≥ 1000mm	≥ 0		≤ 100 + 0.01H
2	套管成孔灌注桩	D < 500mm	≥ 0	≤ 1/100	≤ 70 + 0.01H
		D ≥ 500mm			≤ 100 + 0.01H
3	干成孔灌注桩		≥ 0	≤ 1/100	≤ 70 + 0.01H
4	人工挖孔桩	混凝土护壁	≥ 0	≤ 1/200	≤ 50 + 0.005H

注：1、桩径允许偏差的负值是指个别断面；
2、采用复打、反插法施工的桩，其桩径允许偏差不受上表限制；
3、H 为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离，D 为设计桩径。

6.2.8 滑坡防治工程质量检测报告应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 检测主要依据；
- 3 检测方法与仪器设备型号；
- 4 检测点分布图；
- 5 检测数据分析；
- 6 检测结论。

16.3 监测

16.3.1 监测工作应采用专业仪器与人工观测相结合的方式进行。

16.3.2 对于 I 级及特级滑坡防治工程，应开展施工安全监测、防治效果监测和动态长期监测，建立地表与深部结合的综合立体监测系统。

16.3.3 对于 II 级滑坡防治工程，应开展施工安全监测、防治效果监测，建立以简易观测为主的长期监测点。

16.3.4 对于 III 级滑坡防治工程，可开展简易施工安全监测与简易防治效果监测。

16.3.5 施工安全监测应对滑坡体进行实时监控，以了解工程扰动等因素对滑坡稳定性的影响，及时指导工程实施、调整工程部署、控制施工进度等。

16.3.6 施工安全监测点应布置在滑坡体变形敏感部位和工程扰动大的部位，并应形成完整监测剖面。

16.3.7 滑坡防治工程监测内容应根据滑坡防治工程重要性等级、滑坡工程特点、防治工程支护类型等确定，一般包括地面变形监测、地表裂缝错位监测、滑体深部位移监测、地下水位监测、孔隙水压力监测、渗水点和泉流量监测、土压力监测、锚索（杆）预应力监测及临近建构筑物监测等内容。

表 16.3.7 滑坡防治工程监测项目表

测试项目	测点布置位置	滑坡防治工程安全等级		
		一级	二级	三级
坡顶、各级台阶、坡底水平位移和垂直位移	各分级支护结构顶部、坡底或预估支护结构变形最大处	应测	应测	应测
坡体深层水平变形	坡顶、各台阶顶	应测	选测	可不测
支挡结构和地表裂缝	墙顶背后 $1.0H$ （岩质） $1.5H$ （土质）范围内	应测	应测	选测
锚索（杆）拉力	外锚头或锚杆主筋	应测	选测	可不测
支护结构变形	主要受力杆件	应测	宜测	可测
支护结构应力	应力最大处	宜测	宜测	可测
降雨、洪水与时间关系		应测	应测	宜测
地下水位、渗水情况	代表性台阶、出水点	应测	宜测	宜测
孔隙水压力		宜测	宜测	可测
坡顶及周边建（构）筑物变形	边坡坡顶建筑物倾斜、基础变形	应测	应测	选测

注：1 塌滑区内有重要建（构）筑物，破坏后果严重时，应加强对支护结构的应力监测；

2 有爆破施工时应进行爆破监测；

3 长期监测可根据实际情况适当选取监测项目。

16.3.8 监测报警值应结合具体防治工程支护类型、防治工程等级并

结合当地类似工程经验确定。

16.3.9 施工安全监测宜根据滑坡变形速率、稳定状态、降雨等因素确定监测频率，对暂时稳定且工程扰动小的滑坡，可采用 1 次/2d；对于地质条件复杂或施工扰动大的滑坡应加密监测频率。

16.3.10 防治效果监测应结合施工安全监测，增加工程体变形和受力的监测作为工程竣工验收的依据，监测时间不少于一个水文年。

16.3.11 防治效果监测成果资料应能满足分析滑坡体整体变形受控特征和工程实施效果。

16.3.12 监测单位应定期提交滑坡监测数据，并结合施工过程进行动态分析，提交监测报告。

16.3.13 长期监测方案设计宜在防治工程竣工运行后单独编制，以掌握治理工程运行情况，进行治理效果评价。

16.4 验收

16.4.1 工程验收分为分部分项过程检验、工程自验和验收阶段，阶段划分由政府行业主管部门按项目管理责任层级和财政事权确定。

16.4.2 对分部分项工程必须按照工序特点，等上个工序验收合格后才能进行下一工序的施工。

16.4.3 整体工程按设计文件和合同要求完工后，施工单位应在整体工程质量检验评定合格基础上，向工程实施责任单位提交自验收申请。工程实施责任单位收到申请后，勘察、设计、施工、监理单位代表进行工程自验，形成自验验收意见。

16.4.4 滑坡防治工程应在其主体工程竣工后不少于一个水文年运行后方可进行。

16.4.5 工程自验通过后，工程实施责任单位向工程监管责任单位提交验收申请，由工程监管责任单位组织专家组、工程实施责任单位、勘察单位、设计单位、施工单位、监理单位进行。

16.4.6 滑坡防治工程自验和验收应取得下列资料并应及时分类整理：

1 勘察报告、设计施工图和设计变更通知、图纸会审、重大问题处理文件及技术洽商记录、滑坡工程与周边建（构）筑物位置关

系图；

- 2 经审查的施工组织设计文件；
- 3 施工测量放线记录、隐蔽工程检查验收记录和竣工图；
- 4 原材料出厂合格证、场地材料复检报告或委托试验报告；
- 5 混凝土配比、混凝土强度试验报告、砂浆试块抗压强度试验

报告；

- 6 锚杆抗拔试验等现场实体检测报告；
- 7 滑坡和周边建（构）筑物监测报告；
- 8 各分项、分部工程质量检查验收记录、持力层检验记录等；
- 9 桩身完整性检测报告；
- 10 施工图及竣工报告；
- 11 滑坡防治工程监测报告。

16.4.7 存在下列问题之一的验收时不应通过：

- 1 随意变更技术手段或工作量，且未经变更同意的；
- 2 未按设计要求消除地质安全隐患或产生新的地质安全隐患

的；

- 3 资料造假或资料与实际严重不符的；
- 4 整改问题多，且多数未整改或未按专家意见整改的。

16.4.8 滑坡防治工程验收应按 GB/ T51351 及其他相关规范执行。

附录 A 滑坡稳定性计算公式

$$q = (m_{ab}m_{wb} - m_{wa}) / (1 - m_{ab}^2) \quad (\text{A.2-4})$$

$$r = (m_{ab}m_{cb} - m_{ca}) / (1 - m_{ab}^2) \quad (\text{A.2-5})$$

$$s = (m_{ab}m_{pb} - m_{pa}) / (1 - m_{ab}^2) \quad (\text{A.2-6})$$

$$x = (m_{ab}m_{wa} - m_{wb}) / (1 - m_{ab}^2) \quad (\text{A.2-7})$$

$$y = (m_{ab}m_{ca} - m_{cb}) / (1 - m_{ab}^2) \quad (\text{A.2-8})$$

$$z = (m_{ab}m_{pa} - m_{pb}) / (1 - m_{ab}^2) \quad (\text{A.2-9})$$

$$m_{ab} = \sin \varphi_a \sin \varphi_b \cos(a_a - a_b) + \cos \varphi_a \cos \varphi_b \quad (\text{A.2-10})$$

$$m_{wa} = -\cos \varphi_a \quad (\text{A.2-11})$$

$$m_{wb} = -\cos \varphi_b \quad (\text{A.2-12})$$

$$m_{ca} = \sin \varphi_a \sin \varphi_c \cos(a_a - a_c) + \cos \varphi_a \cos \varphi_c \quad (\text{A.2-13})$$

$$m_{cb} = \sin \varphi_b \sin \varphi_c \cos(a_b - a_c) + \cos \varphi_b \cos \varphi_c \quad (\text{A.2-14})$$

$$m_{pa} = \cos \varphi_p \sin \varphi_a \cos(a_p - a_a) - \sin \varphi_p \cos \varphi_a \quad (\text{A.2-15})$$

$$m_{pb} = \cos \varphi_p \sin \varphi_b \cos(a_p - a_b) - \sin \varphi_p \cos \varphi_b \quad (\text{A.2-16})$$

$$m_{ws} = \sin \varphi_s \quad (\text{A.2-17})$$

$$m_{cs} = \cos \varphi_s \sin \varphi_c \cos(a_s - a_c) - \sin \varphi_s \cos \varphi_c \quad (\text{A.2-18})$$

$$m_{ps} = \cos \varphi_s \cos \varphi_p \cos(a_s - a_p) + \sin \varphi_p \cos \varphi_s \quad (\text{A.2-19})$$

式中： F_s ——滑坡安全系数；

A_A 、 c'_A 、 φ'_A ——滑动面 A 的面积 (m^2)、有效凝聚力 (kPa) 和内摩擦角 ($^\circ$)；

A_B 、 c'_B 、 φ'_B ——滑动面 B 的面积 (m^2)、有效凝聚力 (kPa) 和内摩擦角 ($^\circ$)；

N_A 、 N_B ——滑动面 A、B 有效法向反力 (kN)；

φ_a 、 a_a ——滑动面 A 的倾角和倾向 ($^\circ$)；

φ_b 、 a_b ——滑动面 B 的倾角和倾向 ($^\circ$)；

φ_c 、 a_c ——张裂缝面 C 的倾角和倾向 ($^\circ$)；

φ_p 、 a_p ——锚杆加固力 P 的倾角和倾向 ($^\circ$)；

φ_s 、 a_s ——滑动面 A、B 交线 OC 的倾角和倾向 ($^\circ$)；

q 、 r 、 s ——与各倾角和倾向相关的参数；

x 、 y 、 z ——与各倾角和倾向相关的参数；

m_{ab} ——与滑动面 A、B 倾角和倾向相关的参数；

m_{wa} 、 m_{wb} ——与滑动面 A、B 倾角相关参数；

$$U_i = \frac{1}{2} \gamma_w (h_{w,i} + h_{w,i-1}) l_i \quad (\text{A.3-3})$$

式中： F_s ——边坡稳定性系数；

c_i ——第 i 计算条块滑面黏聚力 (kPa)；

φ_i ——第 i 计算条块滑面内摩擦角 ($^\circ$)；

l_i ——第 i 计算条块滑面长度 (m)；

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

U_i ——第 i 计算条块滑面单位宽度总水压力 (kN/m)；

G_i ——第 i 计算条块单位宽度自重 (kN/m)；

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

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

$H_{w,i}, H_{w,i-1}$ ——第 i 及第 $i-1$ 计算条块滑面前端水头高度 (m)；

γ_w ——水重度，取 10kN/m^3 ；

i ——计算条块号，从后方起编；

n ——条块数量。

A.4 平面滑动面的边坡稳定性系数可按下列公式计算 (图 A.4)：

$$F_s = \frac{R}{T} \quad (\text{A.4-1})$$

$$R = [(G + G_b) \cos \theta - Q \sin \theta - V \sin \theta - U] \tan \varphi + cL \quad (\text{A.4-2})$$

$$T = (G + G_b) \sin \theta + Q \cos \theta + V \cos \theta \quad (\text{A.4-3})$$

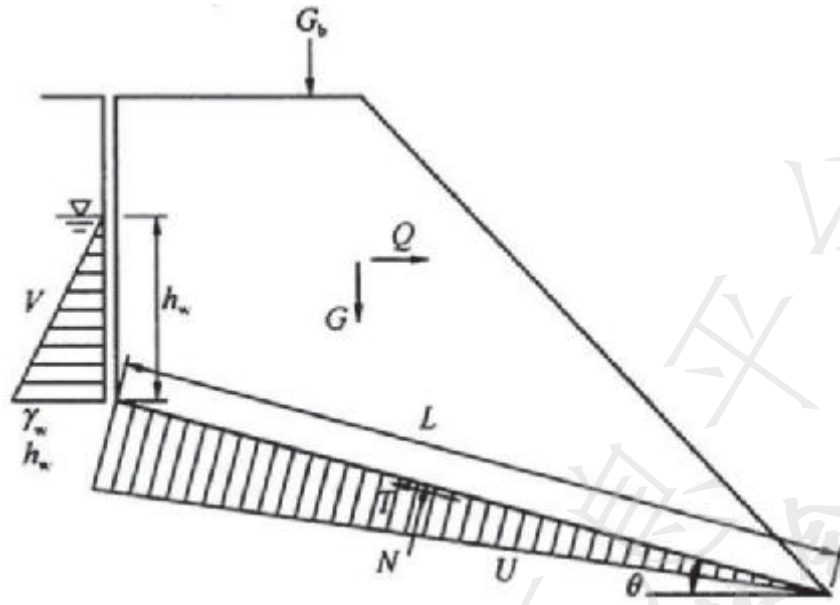


图 A.4 平面滑动面边坡计算简图

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2 \quad (\text{A.4-4})$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w h_w L \quad (\text{A.4-5})$$

式中： T ——滑体单位宽度重力及其他外力引起的下滑力
(kN/m)；

R ——滑体单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力
(kN/m)；

c ——滑面的黏聚力 (kPa)；

φ ——滑面的内摩擦角 ($^{\circ}$)；

L ——滑面长度 (m)；

G ——滑体单位宽度自重 (kN/m)；

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

θ ——滑面倾角 ($^{\circ}$)；

U ——滑面单位宽度总水压力 (kN/m)；

V ——后缘陡倾裂隙面上的单位宽度总水压力 (kN/m)；

Q ——滑体单位宽度水平荷载 (kN/m)；方向指向坡外时取
正值，指向坡内时取负值；

h_w ——后缘陡倾裂隙充水高度(m)，根据裂隙情况及汇水条

件确定。

A.5 折线形滑动面的边坡可采用传递系数法隐式解，边坡稳定性系数可按下列公式计算（图 A.5）：

$$P_n = 0 \quad (\text{A.5-1})$$

$$P_i = P_{i-1}\psi_{i-1} + T_i - R_i/F_s \quad (\text{A.5-2})$$

$$\psi_{i-1} = \cos(\theta_{i-1} - \theta_i) - \sin(\theta_{i-1} - \theta_i) \tan \varphi_i / F_s \quad (\text{A.5-3})$$

$$T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + Q_i \cos \theta_i \quad (\text{A.5-4})$$

$$R_i = c_i l_i + [(G_i + G_{bi}) \cos \theta_i - Q_i \sin \theta_i - U_i] \tan \varphi_i \quad (\text{A.5-5})$$

式中： P_n ——第 n 条块单位宽度剩余下滑力（kN/m）；

P_i ——第 i 计算条块与第 $i+1$ 计算条块单位宽度剩余下滑力（kN/m）；当 $P_i < 0$ （ $i < n$ ）时取 $P_i = 0$ ；

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

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

ψ_{i-1} ——第 $i-1$ 计算条块对第 i 计算条块的传递系数；其他符号同前。

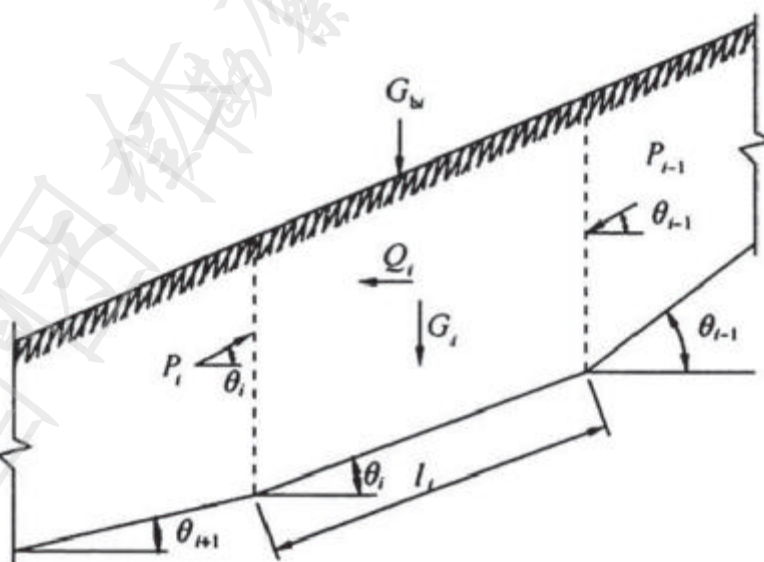
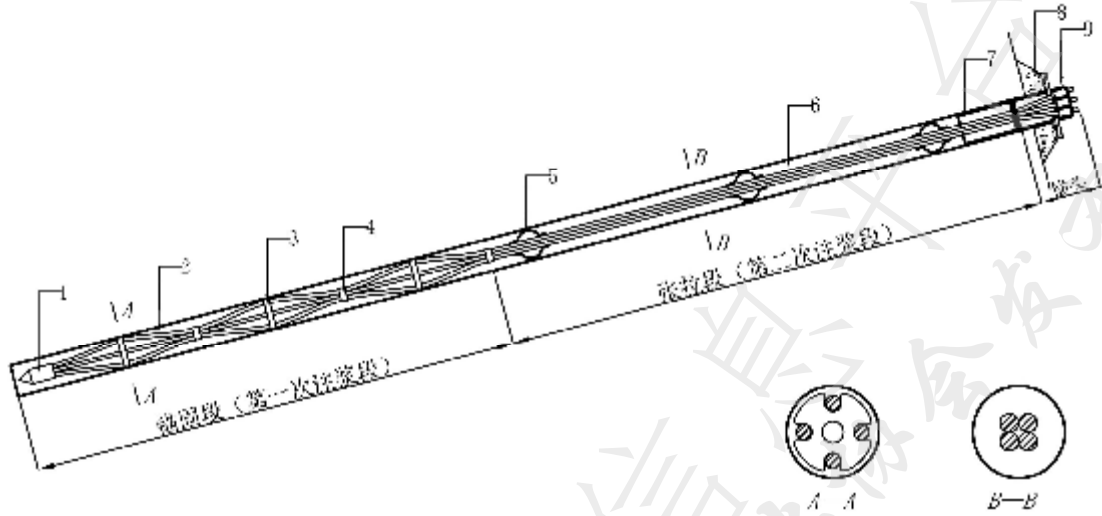


图 A.5 折线形滑面边坡传递系数法计算简图

注：在用折线形滑面计算滑坡推力时，应将公式（A.5-2）和公式（A.5-3）中的稳定系数 F_i 替换为安全系数 F_{st} ，以此计算的 P_n ，即为滑坡的推力。

附录 B 常用锚索结构示意图

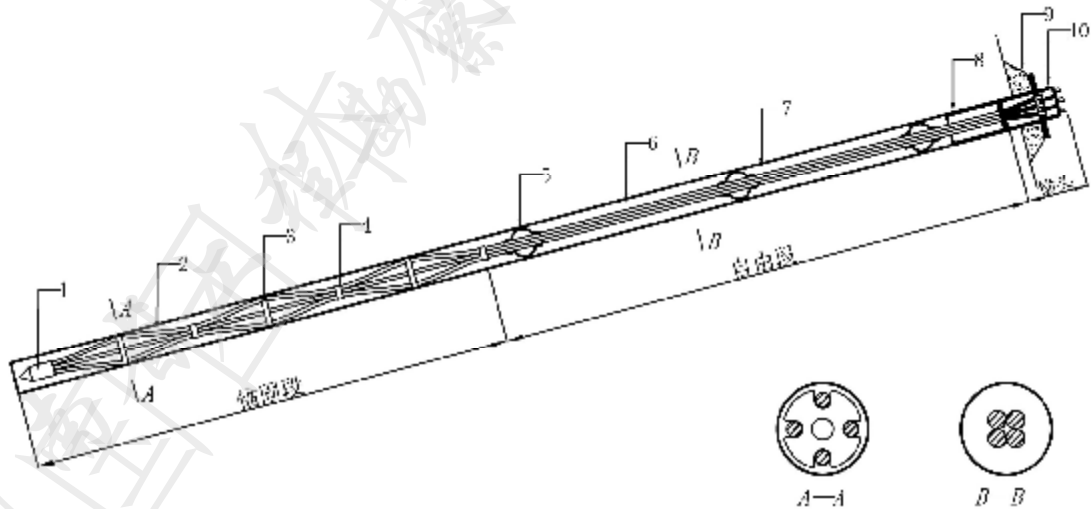
B.1 全长粘结——二次注浆锚索（见图 B.1）



- 1——导向帽；2——光面钢绞线；3——对中隔离支架；4——束线环；
5——对中支架；6——注浆体；7——钢套筒；8——混凝土垫墩；
9——锚具。

图 B.1 预应力全长粘结锚索结构示意图

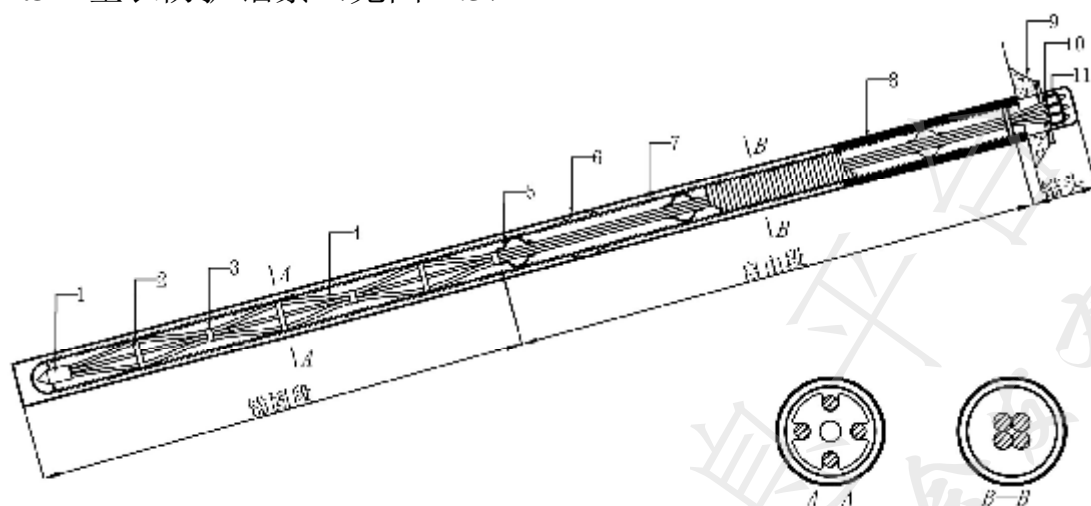
B.2 普通型自由锚索（见图 B.2）



- 1——导向帽；2——光面钢绞线；3——对中隔离支架；4——束线环；
5——对中支架；6——注浆体；7——PE 钢绞线；8——钢套筒；
9——混凝土垫墩；10——锚具。

图 B.2 预应力普通型自由锚索结构示意图

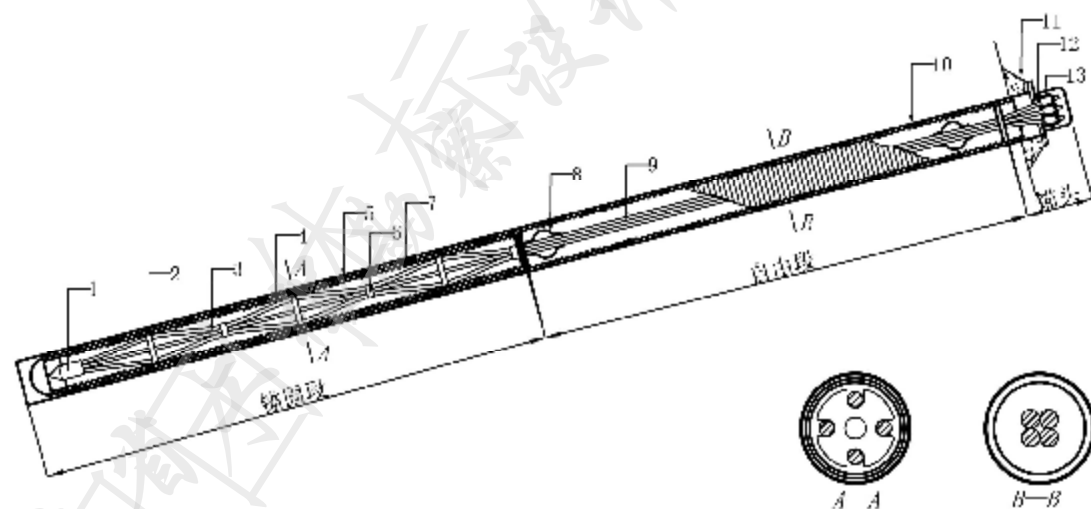
B.3 全长防护锚索（见图 B.3）



- 1——导向帽；2——对中隔离支架；3——束线环；4——光面钢绞线；
 5——内对中支架；6——外对中支架；7——塑料波纹管；8——钢套筒；
 9——混凝土垫墩；10——锚具；11——防护帽。

图 B.3 预应力全长防护锚索结构示意图

B.4 双层防护型锚索（见图 B.4）



- 1——导向帽；2——对中隔离支架；3——光面钢绞线；4——内波纹管；
 5——外波纹管；6——束线环；7——内对中支架；8——外对中支架；
 9——PE 钢绞线；10——钢套筒；11——混凝土垫墩；12——锚具；
 13——防护帽。

图 B.4 预应力双层防护型锚索结构示意图

附录 C 锚索（杆）设计参考值

C.1 锚杆设计抗拉安全系数取值应符合表 C.1 规定。

表 C.1 锚杆杆体抗拉安全系数

滑坡工程安全等级	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

备注：特级防治工程应经论证后确定。

C.2 锚杆设计抗拔安全系数取值应符合表 C.2 规定。

表 C.2 岩土锚杆锚固体抗拔安全系数

滑坡工程安全等级	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

C.3 注浆体与锚索界面粘结强度设计值应符合表 C.3 规定。

表 C.3 注浆体与锚索界面粘结强度设计值

锚索界面	粘结强度 MPa
光面钢筋、光面钢丝	1.0
刻痕钢丝	1.5
钢绞线、螺纹钢筋	2.0a
枣核状钢绞线锚固段	3.0
波纹管	3.0

a 单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线、环氧涂层七丝预应力钢绞线的粘结强度降低

C.4 岩体中锚索注浆体与钻孔界面极限粘结强度标准值应符合表 C.4 规定。

表 C.4 岩体中锚索注浆体与钻孔界面极限粘结强度标准值

岩体类别	岩石单轴饱和抗压强度值 MPa	极限粘结强度标准值 MPa
极软岩	<5	0.2~0.3
软岩	5~15	0.3~0.8
较软岩	15~30	0.8~1.2
较硬岩	30~60	1.2~1.6
硬岩	>60	1.6~3.0

C.5 土体中锚索注浆体与钻孔界面极限粘结强度标准值应符合表 C.5 规定。

表 C.5 土体中锚索注浆体与钻孔界面极限粘结强度标准值

名称	土体状态或密实度	一次常压注浆 MPa	二次压力注浆 MPa
黏性土	$I_p > 1$	0.018~0.030	0.025~0.045
	$0.75 < I_p \leq 1$	0.030~0.040	0.045~0.060
	$0.50 < I_p \leq 0.75$	0.040~0.053	0.060~0.070
	$0.25 < I_p \leq 0.50$	0.053~0.065	0.070~0.085
	$0 < I_p \leq 0.25$	0.065~0.073	0.085~0.100
	$I_p \leq 0$	0.073~0.090	0.100~0.130
粉土	$e > 0.90$	0.022~0.044	0.040~0.060
	$0.75 \leq e \leq 0.90$	0.044~0.064	0.060~0.090
	$e < 0.75$	0.064~0.100	0.080~0.130
粉细砂	稍密	0.022~0.042	0.040~0.070
	中密	0.042~0.063	0.075~0.110
	密实	0.063~0.085	0.090~0.130
中砂	稍密	0.054~0.074	0.070~0.100
	中密	0.074~0.090	0.100~0.130
	密实	0.090~0.120	0.130~0.170
粗砂	稍密	0.080~0.130	0.100~0.140
	中密	0.130~0.170	0.170~0.220
	密实	0.170~0.220	0.220~0.250
砾砂	中密、密实	0.190~0.260	0.240~0.290

附录 D 锚索格构梁计算方法

D.1 格构梁节点锚固力分配

D.1.1 格构内节点 i (图 D.1a)锚固力分配可按式 (D.1.1-1) ~式 (D.1.1-5) 计算:

$$P_{ix} + P_{iy} = P_i \quad (\text{D.1.1-1})$$

$$P_{ix} = \frac{\alpha_x^3 I_x}{\alpha_x^3 I_x + \alpha_y^3 I_y} P_i \quad (\text{D.1.1-2})$$

$$P_{iy} = \frac{\alpha_y^3 I_y}{\alpha_x^3 I_x + \alpha_y^3 I_y} P_i \quad (\text{D.1.1-3})$$

$$\alpha_x = \sqrt[4]{\frac{Kb_x}{4E_h I_y}} \quad (\text{D.1.1-4})$$

$$\alpha_y = \sqrt[4]{\frac{Kb_y}{4E_h I_x}} \quad (\text{D.1.1-5})$$

式中: P_{ix} 、 P_{iy} ——节点 i 处的纵向 (x 向)、横向 (y 向) 的节点力 (kN);

P_i ——节点 i 处的锚索拉力 (kN);

α_x 、 α_y ——纵向 (x 向)、横向 (y 向) 格构梁的变形系数, 分别按式 (D.1.1-4) ~式 (D.1.1-5) 进行计算;

I_x 、 I_y ——纵、横格构梁的惯性矩 (m^4);

E_h ——格构梁的弹性模量 (kPa);

K ——地基系数 (kPa/m), 按附录 E 采用;

b_x 、 b_y ——格构梁在纵、横方向的宽度 (m)。

D.1.2 格构边节点 i (图 D.1b) 锚固力分配可按式 (D.1.2-1) ~式 (D.1.2-2) 计算。

$$P_{ix} = \frac{\alpha_x^3 I_x}{\alpha_x^3 I_x + 4\alpha_y^3 I_y} P_i \quad (\text{D.1.2-1})$$

$$P_{iy} = \frac{4\alpha_y I_y}{\alpha_x^3 I_x + 4\alpha_y^3 I_y} P_i \quad (\text{D.1.2-2})$$

式中符号意义同式 (D.1.1-1) ~ 式 (D.1.1-5)。

D.1.3 格构角点 i (图 D.1c) 锚固力分配可按式 (D.1.3-1) ~ 式 (D.1.3-2) 计算:

$$P_{ix} = \frac{\alpha_x^3 I_x}{\alpha_x^3 I_x + \alpha_y^3 I_y} P_i \quad (\text{D.1.3-1})$$

$$P_{iy} = \frac{\alpha_y^3 I_y}{\alpha_x^3 I_x + \alpha_y^3 I_y} P_i \quad (\text{D.1.3-2})$$

式中符号意义同式 (D.1.1-1) ~ 式 (D.1.1-5)。

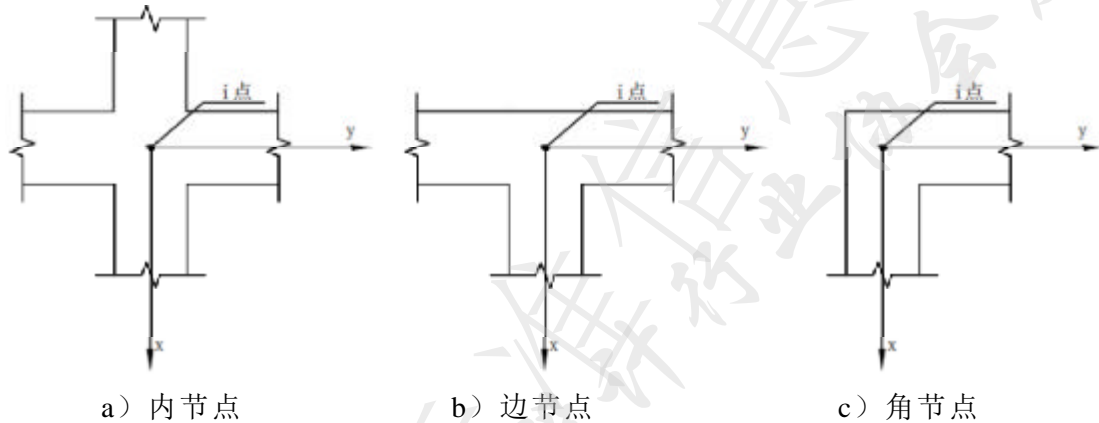


图 D.1 格构梁锚固点位置图

D.1.4 格构锚固力分配公式的修正

a) 式 (D.1.1-1) ~ 式 (D.1.3-2) 中, 因两个方向的格构底板在节点处重叠, 格构地基反力的增量可按式 (D.1.4-1) 计算:

$$\Delta P = \frac{\Delta F \sum P_i}{F^2} \quad (\text{D.1.4-1})$$

式中: ΔP ——格构地基反力的增量 (kN);

ΔF ——格构节点的重叠总面积 (m^2);

$\sum P_i$ ——所有节点的锚固力之和 (kN);

F ——格构基础全部支承总面积 (m^2)。

b) 每一节点引起的纵、横方向的节点力增量 ΔP_{ix} 和 ΔP_{iy} 分配可按式 (D.1.4-2) ~ 式 (D.1.4-3) 计算:

$$\Delta P_{ix} = \frac{P_{ix}}{P_i} \Delta F_i \Delta P \quad (\text{D.1.4-2})$$

$$\Delta P_{iy} = \frac{P_{iy}}{P_i} \Delta F_i \Delta P \quad (\text{D.1.4-3})$$

式中符号意义同式 (D.1.4-1)。

c) 调整后的节点锚固力可按式 (D.1.4-4) ~式 (D.1.4-5) 计算:

$$P'_{ix} = P_{ix} + \Delta P_{ix} \quad (\text{D.1.4-4})$$

$$P'_{iy} = P_{iy} + \Delta P_{iy} \quad (\text{D.1.4-5})$$

式中符号意义同式 (D.1.4-1)。

d) 中间格构 (包括带悬臂的格构) 节点的重叠面积 F_i 可按式 (D.1.4-6) 计算:

$$F_i = b_{ix} \times b_{iy} \quad (\text{D.1.4-6})$$

式中符号意义同式 (D.1.1-1) ~式 (D.1.1-5)。

e) 边跨格构节点的重叠面积 F_i 按后者宽度的一半进行计算, 可按式 (D.1.4-7) 计算:

$$F_i = \frac{b_x \times b_y}{2} \quad (\text{D.1.4-7})$$

式中符号意义同式 (D.1.1-1) ~式 (D.1.1-5)。

D.2 格构梁内力计算

D.2.1 格构梁内力按倒梁法计算。

D.2.2 倒梁法假定格构梁和地基之间的地基反力按照直线变化分布。对于荷载和格构梁都对称的情况, 则为均匀分布。

D.2.3 计算时, 以锚索作为格构梁的支座, 地基的净反力及锚索锚拉力以外的各种作用力为荷载, 按照普通连续梁计算。

D.2.4 计算出的支座反力, 一般不等于锚索拉力, 实践中采用反力的局部调整法, 将支座反力与锚索拉力的差值均匀分布在相应支座两侧各三分之一跨度范围内, 作为地基反力的调整值, 再进行一次连续梁分析。

D.2.5 必要时可再次进行调整, 使支座反力和锚索拉力基本吻合。支座反力确定后, 将格构梁作为倒置的多跨连续梁来计算内力, 并计算配筋。

附录 E 抗滑桩设计参考值

E.1 较完整岩层的天然单轴极限抗压强度、侧向容许应力和地基系数对应值选取参见表 E.1。

表 E.1 较完整岩层的单轴极限抗压强度、侧向容许应力和地基系数对应值

顺序号	抗压强度 (MPa)		地基系数 ($\times 10^4$ kN/m ³)	
	天然单轴极限值	侧向容许值 $[\sigma]$	垂直方向 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：K=0.6~0.8K₀。

E.2 抗滑桩地基系数及岩层物理力学指标取值参见表 E.2。

表 E.2 抗滑桩地基系数及岩层物理力学指标

岩层种类	内摩擦角 (°)	弹性模量 $\times 10^4$ kPa	泊松比	地基系数 (kN/m ³)	剪切应力 (kPa)
细粒花岗岩、正长岩	>80	5430~6900	0.25~0.30	$2.0 \times 10^6 \sim 2.5 \times 10^6$	>1500
辉绿岩、玢岩		6700~7870	0.28	2.5×10^6	
中粒花岗岩	>80	5430~6500	0.25	$1.8 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6$	>1500
粗粒正长岩、坚硬白云岩		6560~7000			
坚硬石灰岩	80	4400~10000	0.25~0.30	$1.2 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6$	1500
坚硬砂岩、大理岩		4660~5430			
粗粒花岗岩、花岗片麻岩		5430~6000			
较坚硬石灰岩	75~80	4400~9000	0.25~0.30	$0.8 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^6$	1200~1400
较坚硬砂岩		4460~5000			
风化花岗岩		5430~6000			
页岩	70~75	2000~5500	0.15~0.30	$0.4 \times 10^6 \sim 0.8 \times 10^6$	700~1200
普通石灰岩		4400~8000			
普通砂岩		4600~5000			

表 E.2 (续)

岩层种类	内摩擦角 (°)	弹性模量 ×10 ⁴ kPa	泊松比	地基系数 (kN/m ³)	剪切应力 (kPa)
坚硬泥灰岩	70	800~1200	0.29~0.38	0.3×10 ⁶ ~0.4×10 ⁶	500~700
较坚硬页岩		1980~3600	0.25~0.30		
风化石灰岩		4400~6000	0.25~0.30		
风化砂岩		1000~2780	0.25~0.30		
较坚硬泥灰岩	65	700~900	0.29~0.38	0.2×10 ⁶ ~0.3×10 ⁶	300~500
普通页岩		1900~3000	0.15~0.20		
软石灰岩		4400~5000	0.25		
风化泥灰岩	45	30~500	0.29~0.38	0.06×10 ⁶ ~0.12×10 ⁶	150~300
硬化黏土		10~300	0.30~0.37		
软片岩		500~700	0.15~0.18		
硬煤		50~300	0.30~0.40		
密实黏土	30~45	10~300	0.30~0.37	0.03×10 ⁶ ~0.06×10 ⁶	100~150
普通煤		50~300	0.30~0.40		
胶结卵石		50~100	—		
掺石土		50~100	—		

E.3 抗滑桩嵌固段土质地基系数随深度增加的比例系数 m 取值参见表 E.3。

表 E.3 抗滑桩土质地基系数随深度增加的比例系数 m 值

序号	土的名称	竖直方向 kN/m ⁴	水平方向 kN/m ⁴
1	0.75<I _L <1.0 的软塑黏土及粉质黏土；淤泥	1000~2000	500~1400
2	0.5<I _L ≤0.75 的可塑粉质黏土及黏土	2000~4000	1000~2800
3	0<I _L <0.25 的硬塑、0.25<I _L <0.5 的可塑粉质黏土及黏土；	4000~6000	2000~4200
4	I _L <0 的坚硬的粉质黏土及黏土；粗砂	6000~10000	3000~7000
5	砾砂；碎石土、卵石土	10000~20000	5000~14000
6	密实的大漂石	80000~120000	40000~84000

注 1: I_L 为土的液性指数, 其土质竖直方向、水平方向地基系数的比例系数值, 相应于桩顶位移 6~10mm。2: 有可靠资料和经验时, 可不受本表限制。

附录 F 锚索抗滑桩计算公式

F.1 控制桩顶位移法

F.1.1 锚索拉力计算

F.1.1.1 桩顶锚索拉力可按式 (F.1.1.1) 计算:

$$T_A = \frac{PL_0 [\delta_{QQ}/L_0 + (1+h/L_0)\delta_{QM} + h\delta_{MM} + L_0(3h-L_0)/6] - y_2}{h[\delta_{QQ}/h + 2\delta_{QM} + h\delta_{MM} + h^2/(3E_c I_c)]} \quad (\text{F.1.1.1})$$

式中: T_A ——锚索拉力 (kN);

P ——作用在桩上的滑坡推力 (kN/m);

L_0 ——滑坡推力合力作用点距滑面的距离 (m);

H ——滑面以上桩的高度 (m);

δ_{QQ} ——滑面 0 处受单位剪力 $Q_0=1$ 作用时, 桩截面形心在 0 点处剪力方向产生的位移 (m);

δ_{QM} ——滑面 0 处受单位弯矩 $M_0=1$ 作用时, 桩截面形心在 0 点处剪力方向产生的位移 (m);

δ_{MM} —— $Q_0=1$ 时桩截面形心在 0 点处的转角 ($^\circ$);

y_2 ——桩顶的位移 (m), 一般取 0.03m;

$E_c I_c$ ——桩截面刚度 (kN/m²)。

F.1.1.2 在滑坡推力近似矩形分布, 桩的埋深较浅 ($h=2.5\sim 3.0\text{m}$), 且桩前抗力分布与滑坡推力相似时, 可根据桩上的滑坡推力 P 及桩前滑面以上的岩土抗力 P 计算出滑面处的剪力 Q_0 , 以 $T_A=(1/2\sim 4/7) Q_0$ 作为桩顶锚索拉力进行设计。

F.1.2 抗滑桩内力计算

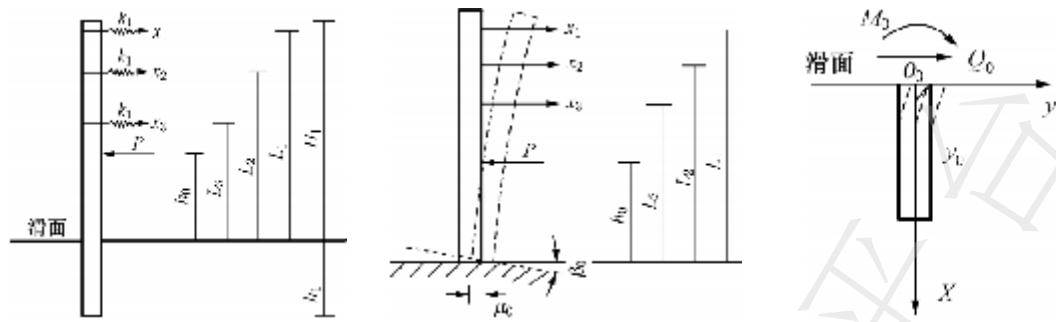
将按照以上方法得到的锚索拉力 T_A 与滑坡推力 P 一起, 作为已知力施加在抗滑桩上按照普通抗滑桩的计算方法计算桩体各截面的变形和内力并进行配筋。

F.2 结构力学法

F.2.1 锚索拉力计算

F.2.1.1 计算简图如图 F.2 所示, 设第 i 根锚索作用点距滑面距离为 L_i , 锚索的弹性刚度为 k_i , 抗滑桩的抗弯刚度为 EI , 桩在滑面以

上的长度为 H_1 ，滑面以下嵌固段长度为 h_0 。



a) 滑面以上桩的计算简图 b) 滑面以上桩的计算简图 c) 嵌固段桩的计算简图

图 F.2 锚索抗滑桩计算简图

F.2.1.2 在多根锚索共同作用下，滑面以上桩体的力法方程见式 (F.2.1.2-1) ~ 式 (F.2.1.2-4)：

$$Ax + A_p = 0 \quad (\text{F.2.1.2-1})$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{n1} & A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (\text{F.2.1.2-2})$$

$$A_p = \begin{bmatrix} A_{1p} \\ A_{2p} \\ \cdots \\ A_{np} \end{bmatrix} \quad (\text{F.2.1.2-3})$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (\text{F.2.1.2-4})$$

式中： A —— $n \times n$ 阶单位变位系数矩阵；

A_p —— $n \times i$ 阶载变位系数列阵；

x —— $n \times i$ 阶锚索拉力 T_{Ai} 在水平方向上的分力列阵。

a) 其中各系数由式 (F.2.1.2-5) ~ 式 (F.2.1.2-10) 计算，其中 $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, n, A_{ij}$ 中 $i \neq j$ 。

$$A_{ii} = \delta_{ii} + L_i^2 \bar{\beta}_1 + \bar{\mu}_1 + 1/k_i \quad (\text{F.2.1.2-5})$$

$$A_{ij} = \delta_{ij} + L_i L_j \bar{\beta}_1 + \bar{\mu}_1 \quad (\text{F.2.1.2-6})$$

$$A_{ip} = \Delta_{ip} + L_i M_p^0 \bar{\beta}_1 + Q_p^0 \bar{\mu}_1 \quad (\text{F.2.1.2-7})$$

$$k_i = \frac{E_s A_{Si}}{L_{Si}} \quad (\text{F.2.1.2-8})$$

$$\delta_{ij} = \frac{L_j^2}{6EI} (3L_i - L_j) \quad (\text{F.2.1.2-9})$$

$$\Delta_{ip} = \frac{Ph_0^2}{6EI} (3L_i - h_0) \quad (\text{F.2.1.2-10})$$

式中： A_{ii} ， A_{jj} ——桩体的力法方程对应的系数；

M_P^0 ——滑坡推力在嵌固段桩顶产生的力矩（kN·m）；

Q_P^0 ——滑坡推力在嵌固段桩顶产生的剪力（kN）；

β_I ——嵌固段桩顶作用单位力矩 $M_0=1$ 时引起该段桩顶的角变位（°）；

μ_I ——嵌固段桩顶作用单位力 $Q_0=1$ 时引起该段桩顶的水平位移（m）；

L_i ——第 i 根锚索作用点距滑面距离（m）；

k_i ——第 i 根锚杆的弹性系数；

E_s ——锚杆的弹性模量（kPa）；

A_{Si} ——第 i 根锚杆的截面面积（m²）；

L_{Si} ——第 i 根锚杆自由段的长度（m）；

δ_{ij} ， Δ_{ip} ——桩的单位变位和载变位。

b) 由式 (F.2.1.2-1) 解出未知力 x_i 后，根据式 (F.2.1.2-11) 计算各根锚索的拉力：

$$T_{Ai} = x_i / \cos \alpha_i \quad (\text{F.2.1.2-11})$$

式中： T_{Ai} ——第 i 根锚索拉力（kN）；

x_i ——第 i 根锚索拉力水平向分力（kN）；

α_i ——第 i 根锚索与水平面的夹角（°）。

F.2.2 抗滑桩内力计算

F.2.2.1 抗滑桩嵌固段顶面（滑面）处的弯矩 M 。和剪力 Q 。由式 (F.2.2.1-1) ~ 式 (F.2.2.1-2) 得到：

$$M_0 = \sum_{i=1}^n x_i L_i + M_P^0 \quad (\text{F.2.2.1-1})$$

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n x_i + Q_P^0 \quad (\text{F.2.2.1-2})$$

式中符号意义同式 (F.2.1.2-5) ~ 式 (F.2.1.2-10)。

F.2.2.2 滑面处桩的转角 β_0 和位移 μ_0 可根据式 (F.2.2.2-1) ~ 式 (F.2.2.2-2) 计算得到:

$$\beta_0 = \left(\sum_{i=1}^n x_i L_i + M_p^0 \right) \overline{\beta}_1 \quad (\text{F.2.2.2-1})$$

$$\mu_0 = \left(\sum_{i=1}^n x_i + Q_p^0 \right) \overline{\mu}_1 \quad (\text{F.2.2.2-2})$$

式中符号意义同式 (F.2.1.2-5) ~ 式 (F.2.1.2-10)。

F.2.2.3 滑面处二个初参数 y_0 、 θ_0 可根据桩底边界条件求得, 并满足式 (F.2.2.3-1) ~ 式 (F.2.2.3-2) 变形协调条件:

$$\mu_0 = y_0 \quad (\text{F.2.2.3-1})$$

$$\beta_0 = \theta_0 \quad (\text{F.2.2.3-2})$$

F.2.2.4 抗滑桩嵌固段的计算与普通抗滑桩相同。

附录 G 箱型和矩形抗滑桩设计计算

G.1 采用箱型结构进行配筋计算，应进行 3 个截面强度计算，即：在剪力最大的 2 个剖面处进行抗剪验算和在滑面附近处进行抗滑、抗弯拉验算，分别为 A-A、B-B、C-C 3 个剖面，如图 G.1 所示。

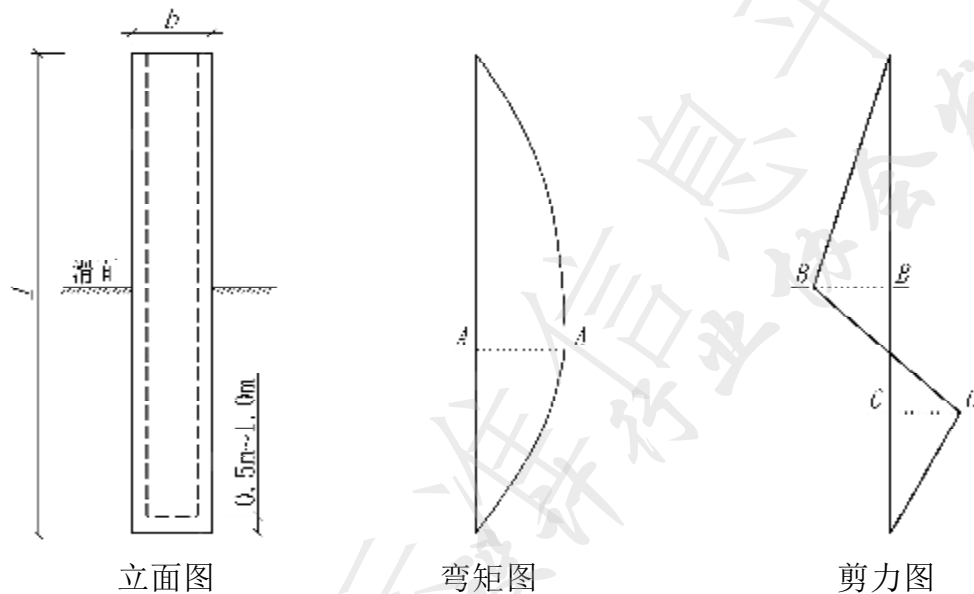


图 G.1 箱型抗滑桩结构内力图

G.2 截面抗弯承载力计算时，箱型截面受压混凝土高度 x 不应大于 h_1 为宜（如图 G.2 所示），抗滑桩抗弯设计符合式 (G.2-1) ~ 式 (G.2-3) 规定：

$$f_c b x + f_s' A_s' = f_{sv} A_s \quad (\text{G.2-1})$$

$$M \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_s' A_s' (h_0 - a) \quad (\text{G.2-2})$$

$$M \leq -f_c b x \left(\frac{x}{2} - a \right) + f_s A_s (h_0 - a) \quad (\text{G.2-3})$$

式中： f_c ——混凝土轴心抗压强度的设计值（ N/mm^2 ）；

M ——抗滑桩设计弯矩（ $\text{N}\cdot\text{mm}$ ）；

b ——抗滑桩抗压截面宽度（ mm ）；

x ——抗滑桩截面受压区高度（ mm ）；

h_0 ——抗滑桩截面有效高度（ mm ）；

f_s' ——钢筋抗压强度设计值（ N/mm^2 ）；

- A'_s ——受压钢筋截面面积(mm^2)；
- A_s ——受拉钢筋截面面积 (mm^2)；
- f_{sv} ——钢筋抗拉强度设计值 (N/mm^2)；
- a ——钢筋保护层厚度 (mm)；
- h_1 ——箱型抗滑桩受压面内缘至外缘高度 (mm)。

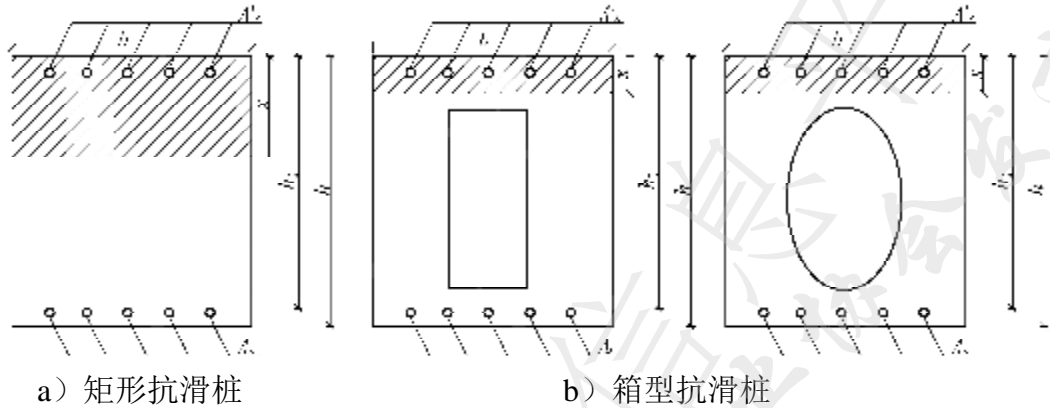


图 G.2 矩形和箱型抗滑桩截面（矩形、圆形中空井）抗弯设计简图

G.3 截面抗剪设计计算时（如图 G.3 所示），设计符合式（G.4）~式（G.5）规定。

G.4 抗滑桩中混凝土最大剪力抗剪强度满足设计值，仅配置构造箍筋应符合式（G.4）规定。

$$V \leq 0.25 f_c b_0 h_0 \quad (\text{G.4})$$

式中： V ——截面上有作用荷载效应产生的剪力设计值（kN）；

b_0 ——抗滑桩抗剪截面上的有效宽度之和（mm）。矩形截面宽度，如图 G.3 所示为 b ，箱型截面腹板宽度，如图 G.3 所示为 $b_0=2b_1$ ；

G.5 抗滑桩中混凝土抗剪强度未能满足剪力设计值应符合式（G.5）规定：

$$V \leq 0.7 f_t b_1 h_0 + 1.25 f_{sv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (\text{G.5})$$

式中： V ——截面上有作用荷载效应产生的剪力设计值（kN）；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度的设计值（ N/mm^2 ）；

b_1 ——抗滑桩抗剪截面有效宽度（mm）；

A_{sv} ——箍筋截面面积（ mm^2 ）；

s ——箍筋间距（mm）。

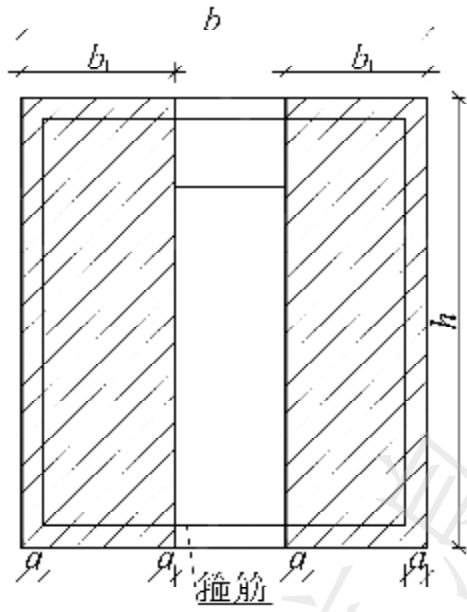


图 G.3 箱型抗滑桩截面（矩形中空井）抗剪设计简图

附录 H 圆形抗滑桩设计计算

H.1 圆形抗滑桩的变形系数按 12.2.11 计算。

H.2 沿周边均匀配置纵向钢筋的圆形截面钢筋混凝土抗滑桩，其正截面受弯承载力应符合式 (H.2-1) ~ 式 (H.2-3) 规定 (图 H.2)：

$$M \leq \frac{2}{3} f_c A_r \frac{\sin^3 \pi \alpha'}{\pi} + f_y A_s r_s \frac{\sin \pi \alpha' + \sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (\text{H.2-1})$$

$$\alpha' f_c A \left(1 - \frac{\sin 2\pi \alpha'}{2\pi \alpha'} \right) + (\alpha' - \alpha_t) f_y A_s = 0 \quad (\text{H.2-2})$$

$$\alpha_t = 1.25 - 2\alpha' \quad (\text{H.2-3})$$

式中： M ——桩的弯矩设计值 (kN·m)，按 12.4 的规定计算；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值，单位 (kN/m²)；当混凝土强度等级超过 C50 时， f_c 应以 $\alpha_1 f_c$ 代替，当混凝土强度等级为 C50 时，取 $\alpha_1=1.0$ ，当混凝土强度等级为 C80 时，取 $\alpha_1=0.94$ ，其间接按线性内插法确定；

A ——桩的截面面积 (m²)；

r ——桩的半径 (m)；

α' ——对应于受压区混凝土截面面积的圆心角 (rad) 与 2π 的比值；

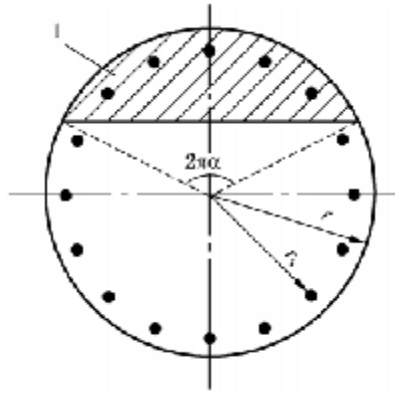
f_y ——纵向钢筋的抗拉强度设计值 (kN/m²)；

A_s ——全部纵向钢筋的截面面积 (m²)；

r_s ——纵向钢筋重心所在圆周的半径 (m)；

α_t ——纵向受拉钢筋截面面积与全部纵向钢筋截面面积的比值，当 $\alpha' > 0.625$ 时，取 $\alpha_t=0$ 。

注：本条适用于截面内纵向钢筋数量不少于 6 根的情况。



1—混凝土受压区

图 H.2 圆形抗滑桩沿周边均匀配置纵向钢筋的截面图

H.3 沿受拉区和受压区周边局部均匀配置纵向钢筋的圆形截面钢筋混凝土抗滑桩，其正截面受弯承载力应符合式 (H.3-1) ~ 式 (H.3-4) 规定 (图 H.3)：

$$M \leq \frac{2}{3} f_c A_r \frac{\sin^3 \pi \alpha'}{\pi} + f_y A_{sr} r_s \frac{\sin \pi \alpha_s}{\pi \alpha_s} + f_y A'_{sr} r_s \frac{\sin \pi \alpha'_s}{\pi \alpha'_s} \quad (\text{H.3-1})$$

$$\alpha' f_c A \left(1 - \frac{\sin 2\pi \alpha'}{2\pi \alpha'} \right) + f_y (A'_{sr} - A_{sr}) = 0 \quad (\text{H.3-2})$$

$$\cos \pi \alpha' \geq 1 - \left(1 + \frac{r_s}{r} \cos \pi \alpha_s \right) \xi_b \quad (\text{H.3-3})$$

$$\alpha' \geq \frac{1}{3.5} \quad (\text{H.3-4})$$

式中： M ——桩的弯矩设计值 (kN·m)；

α_s ——对应于受拉钢筋的圆心角 (rad) 与 2π 的比值； α_s 宜取 1/6~1/3，通常可取 0.25；

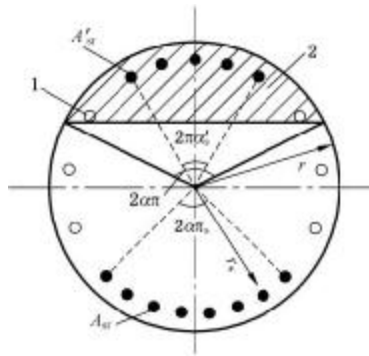
α'_s ——对应于受压钢筋的圆心角 (rad) 与 2π 的比值，宜取 $\alpha'_s < 0.5\alpha_s$ ；

A_{sr} ， A'_{sr} ——分别为沿周边均匀配置在圆心角 $2\pi\alpha_s$ 、 $2\pi\alpha'_s$ 内的纵向受拉、受压钢筋的截面面积 (m²)；

ξ_b ——矩形截面的相对界限受压区高度 (m)，应按 GB 50010 的规定取值。

式中其他符号意义同式 (H.2-1)。

注：本条适用于截面受拉区内纵向钢筋数量不少于 3 根的情况。



1——构造钢筋；2——混凝土受压区。

图 H.3 沿受拉区和受压区周边局部均匀配置纵向钢筋的圆形截面

H.4 沿受拉区和受压区周边局部均匀配置的纵向钢筋数量，宜使按式 (H.3-3) 计算的 α' 大于 $1/3.5$ ，当 $\alpha' < 1/3.5$ 时，其正截面受弯承载力应符合式 (H.4) 规定：

$$M \leq f_y A_{sr} \left(0.78r + r_s \frac{\sin \pi \alpha_s}{\pi \alpha_s} \right) \quad (\text{H.4})$$

H.5 沿圆形截面受拉区和受压区周边实际配置的均匀纵向钢筋的圆心角应分别取为 $2\pi\alpha_s (n-1)/n$ 和 $2\pi\alpha'_s (m-1)/m$ (n 、 m 为受拉区、受压区配置均匀纵向钢筋的根数)。配置在圆形截面受拉区的纵向钢筋，其按全截面面积计算的配筋率不宜小于 0.2% 和 $0.45f_t/f_y$ (f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值， f_y 为钢筋抗拉强度设计值) 中的较大值。在不配置纵向受力钢筋的圆周范围内应设置周边纵向构造钢筋，纵向构造钢筋直径不应小于纵向受力钢筋直径的 $1/2$ ，且不应小于 10mm ；纵向构造钢筋的环向间距不应大于圆截面的半径和 250mm 的较小值。

附录 I 埋入式抗滑桩设计计算

I.1 抗滑桩设计计算采用强度储备安全系数。

I.2 埋入式抗滑桩采用强度折减法进行计算，采用理想弹塑性模型，岩体材料屈服准则采用摩尔-库伦屈服准则或 **Druck-Prager** 准则。当在空间条件下采用 **Druck-Prager** 准则时，应采用摩尔-库伦等面积圆屈服准则；在平面应变条件下可采用与摩尔-库伦准则相匹配的 **Druck-Prager** 准则，可按式 (I.2-1) 计算：

$$F = aI_1 + \sqrt{J_2} = k \quad (\text{I.2-1})$$

式中： F ——屈服函数；

I_1, J_2 ——应力张量的第一不变量和应力偏张量的第二不变量；

a, k ——与岩土材料内摩擦角 φ 和黏聚力 c 有关的常数。

a) 在平面应变条件下，当采用关联流动法则时，可按式 (I.2-2) ~ 式 (I.2-3) 计算：

$$a = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{3(3 + \sin^2 \varphi)}} \quad (\text{I.2-2})$$

$$k = \frac{3c \cos \varphi}{\sqrt{3(3 + \sin^2 \varphi)}} \quad (\text{I.2-3})$$

式中： a, k ——与岩土材料内摩擦角 φ 和黏聚力 c 有关的常数；

c ——岩土材料黏聚力 (kPa)；

φ ——岩土材料内摩擦角 ($^\circ$)。

b) 在平面应变条件下，当采用非关联流动法则时，可按式 (I.2-4) ~ 式 (I.2-5) 计算：

$$a = \frac{\sin \varphi}{3} \quad (\text{I.2-4})$$

$$k = c \cos \varphi \quad (\text{I.2-5})$$

I.3 稳定分析时桩可采用实体单元或梁单元模拟，计算时对滑体和滑带抗剪强度参数 (c 和 $\tan \varphi$) 同步折减，桩可采用弹性材料。

I.4 埋入式抗滑桩的长度设计，应首先采用有限元强度折减法算出不同桩长时的抗滑稳定安全系数，当设置某一桩长后的抗滑稳定安全系数达到要求的设计安全系数时，此时的桩长即为合理桩长。

I.5 在目前实际经验还不多的情况下，桩长的设计稳定安全系数不应小于 1.25。对土质滑坡时，埋入式抗滑桩的悬臂长度不小于 0.55 倍滑体厚度。

I.6 埋入式抗滑桩嵌入滑床稳定岩层内的嵌固深度应根据地基的水平承载力特征值确定。

I.7 埋入式抗滑桩所承受的滑坡设计推力可采用有限元法强度折减法计算，计算时应对滑体与滑带强度参数按设计稳定安全系数进行折减。

I.8 当采用实体单元模拟桩和岩土体时，桩所承受的设计推力为靠山一侧的桩后推力和桩前抗力的差值。

I.9 桩后推力和桩前抗力计算可采用路径积分法，即自滑面以上对桩土接触面上的水平应力进行积分，所得积分值即为桩后推力或抗力。

I.10 当采用梁单元模拟桩时，只需对滑面以上桩身梁单元的水平应力进行积分，此时的积分结果即为桩承担的滑坡推力。

I.11 埋入式抗滑桩承担的滑坡推力应采用极限平衡法进行验证。当有限元法计算的滑坡推力大于极限平衡法所得的滑坡推力时，设计人员可视具体情况处理，或采用有限元法计算的推力，或采用两种方法算得推力的平均值。

I.12 埋入式抗滑桩的内力可由梁单元直接算出弯矩和剪力，或根据有限元法算得的滑坡推力分布采用结构力学方法计算。

I.13 埋入式抗滑桩的截面和配筋设计，应符合 GB50010 和 GB 50011 的有关规定。

附录 J 小口径组合抗滑桩计算公式

J.1 等效法将小口径组合抗滑桩群与岩土体作为一个柔性抗滑挡墙，计算简图如图 J.1 所示。小口径组合抗滑桩横向桩间距根据式 (J.1-1) ~ 式 (J.1-7) 确定：

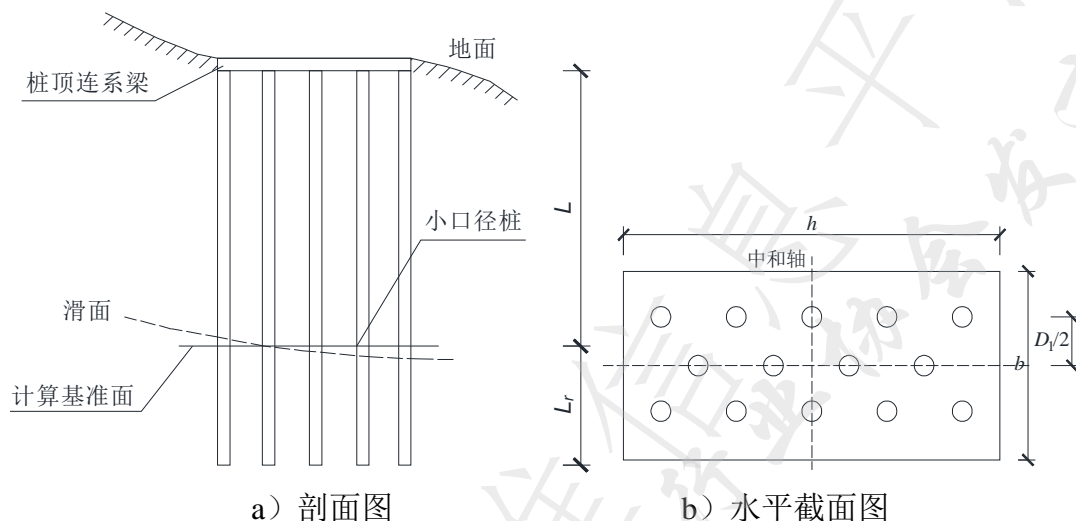


图 J.1 小口径组合抗滑桩等效法计算简图

$$R_r = \frac{P_t \cdot L}{2D_1} \quad (\text{J.1-1})$$

$$P_t = cA \left[\frac{1}{K_p \tan j} (B - 2K_p^{1/2} \tan j - 1) + g_1/g_2 \right] - c(D_1 g_1/g_2 - 2D_2 K_p^{-1/2}) + \frac{\gamma \times L}{K_p} (A \times B - D_2) \quad (\text{J.1-2})$$

$$A = D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{(K_p^{1/2} \tan j + K_p - 1)} \quad (\text{J.1-3})$$

$$B = \exp \left[\frac{D_1 - D_2}{D_2} K_p \tan j \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{j}{4} \right) \right] \quad (\text{J.1-4})$$

$$g_1 = 2 \tan j + 2K_p^{1/2} + K_p^{-1/2} \quad (\text{J.1-5})$$

$$g_2 = \tan j \times K_p^{1/2} + K_p - 1 \quad (\text{J.1-6})$$

$$P \leq R_r \quad (\text{J.1-7})$$

式中： R_r ——结构极限抗力 (kN)；

D_1 ——桩中心间距 (m)；

D_2 ——相邻小口径桩的距离 (m)；

L ——计算基准面至桩顶的距离 (m)，计算基准面宜取通过

抗滑挡墙中和轴与滑面交点的水平面；

L_r ——小口径桩嵌固段长度（m）；

γ ——滑体重度（kN/m³）；

K_p ——被动土压力系数；

c ——滑体沿滑面上的黏聚力（kPa）；

j ——滑体沿滑面上的内摩擦角（°）；

P ——滑坡推力（kN）。

J.2 按沿滑面的抗剪计算桩的总数及配筋量根据式（J.2-1）～式（J.2-4）确定：

$$P \leq R_{fa} \quad (\text{J.2-1})$$

$$R_{fa} = n\tau_{fa} \quad (\text{J.2-2})$$

$$\tau_{fa} = \beta_a [\tau] A_s \quad (\text{J.2-3})$$

$$\beta_a = \sqrt[4]{E_s/E_t} \quad (\text{J.2-4})$$

式中： P ——滑坡推力（kN）；

R_{fa} ——小口径桩组合抗滑桩群抗滑力（kN）；

n ——每米小口径桩数量（根）；

τ_{fa} ——单桩容许抗剪强度（kN）；

β_a ——考虑钢筋弯曲影响的折减系数；

E_s 、 E_t ——土体及小口径桩的弹性模量（kPa）；

$[\tau]$ ——钢筋抗剪强度（kPa）；

A_s ——钢筋横截面积（m²）。

J.3 小口径桩内力可按式（J.3-1）～式（J.3-7）计算：

$$\sigma_R \leq f_a \quad (\text{J.3-1})$$

$$\sigma_R = \frac{N_R}{A_R} + \frac{M_R}{I_R} y \quad (\text{J.3-2})$$

$$A_R = m_1 A_p n + bh \quad (\text{J.3-3})$$

$$A_p = (m_2 - 1) A_s n + A_c \quad (\text{J.3-4})$$

$$I_R = m_1 A_p \sum x^2 + \frac{bh^3}{12} \quad (\text{J.3-5})$$

$$\sigma'_R = m_1 \cdot \sigma_R < \sigma_{ca} \quad (\text{J.3-6})$$

$$\sigma_{sc} = m_2 \cdot \sigma'_R < f'_s \quad (\text{J.3-7})$$

式中： σ_R ——计算基准面处小口径桩加固体上作用的最大压应力（kPa）；

f_a ——计算基准面处经修正后地基承载力特征值（kPa）；

A_R ——计算基准面处小口径组合抗滑桩加固体的等效换算截面积（ m^2 ）；

I_R ——计算基准面处小口径桩加固体的等效截面惯性矩（ m^4 ）；

A_p ——小口径桩的等效换算截面积（ m^2 ）；

n ——计算基准面内包含的小口径桩桩数（根）；

m_1 ——桩与其周围土的弹性模量比；

m_2 ——钢筋与砂浆的弹性模量比；

b 、 h ——小口径桩布置的单位宽度及长度（m）；

A_c ——小口径桩截面积（ m^2 ）；

N_R ——计算基准面上作用的垂直力（kN）；

M_R ——计算基准面上作用的弯矩（kN·m）；

x ——计算基准面中轴至各个小口径桩的距离（m）；

y ——计算基准面中轴至基准面边缘的距离（m）；

σ'_R ——作用于砂浆上的压应力（kPa）；

σ_{ca} ——砂浆压应力设计值（kPa）；

σ_{sc} ——作用于钢筋上的压应力（kPa）；

f_s ——钢筋抗压设计值（kPa）。

J.4 小口径桩嵌固段长度根据式（J.4）确定：

$$L_r = \frac{F_b \cdot A_c \cdot \sigma_R}{\pi D \tau_r} \quad (J.4)$$

式中： L_r ——小口径桩嵌固段长度（m）；

F_b ——小口径桩抗拔安全系数，可取 2.5；

D ——小口径桩直径（m）；

τ_r ——桩与岩土体的粘结力设计值（kPa）。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《滑坡防治工程勘查规范》 GB/T 32864
- 2 《滑坡防治设计规范》 GB/T 38509
- 3 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 4 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 5 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 6 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 7 《湿陷性黄土地区建筑标准》 GB 50025
- 8 《工程测量规范》 GB 50026
- 9 《岩土锚杆与喷射混凝土支护技术规范》 GB 50086
- 10 《膨胀土地区建筑技术规范》 GB 50112
- 11 《土工试验方法标准》 GB/T 50123
- 12 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》 GB 50202
- 13 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 14 《工程岩体分级标准》 GB/T 50218
- 15 《土工合成材料应用技术规范》 GB/T 50290
- 16 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 17 《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330
- 18 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 19 《建筑边坡工程施工质量验收标准》 GB/T 51351
- 20 《建筑与市政工程抗震通用规范》 GB 55002
- 21 《建筑与市政地基基础通用规范》 GB 55003
- 22 《混凝土结构通用规范》 GB 55008
- 23 《工程勘察通用规范》 GB 55017
- 24 《建筑桩基技术规范》 JGJ94
- 25 《预制混凝土桩板式挡土墙技术规程》 T/CECS582
- 26 《连锁式预制混凝土板墙支护技术规范》 CECS436
- 27 《填方工程地基处理技术标准》 T/HNKCSJ001

河南省工程勘察设计协会团体标准

滑坡防治工程技术标准

T/HNKCSJ 019—2024

条文说明

编制说明

河南省工程勘察设计行业协会于2024年9月2日发布了《滑坡防治工程技术标准》T/HNKCSJ019-2024。

本标准编制过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了我省边坡工程的勘察、设计、施工实践经验，同时参考了国内类似先进标准，与省内相关标准协调，通过调研、立项、分工编写，讨论、技术论证会等形成初稿，在广泛征求意见经国内、省内地基基础、勘察、设计、施工、监测等行业著名专家审查后修改编辑而成。

鉴于我省滑坡工程及治理特点，在章节安排上按照滑坡工程支护形式的复杂性依次编排为：1) 排水工程；2) 重力式挡墙；3) 悬臂式和扶壁式挡墙；4) 锚索（杆）；5) 格构锚索（杆）；6) 抗滑桩；7) 桩锚结构；8) 组合抗滑结构；9) 其他防护措施中列入了削方减载、回填压脚、土钉墙、岩石锚喷、坡面防护、坡面绿化等内容。与国标比较，增加了以下内容：1) 滑坡的分类、破坏模式及相应的支护形式；2) 增加了土质滑坡、特殊土滑坡的支护内容；3) 增加了近年来较常见的支护形式如组合抗滑结构；4) 抗滑桩中增加了双排桩支护结构；5) 其他防护措施中增加了土钉墙支护等。为便于广大设计、施工、科研院校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明和解释。本条文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。

目 次

1 总 则.....	142
3 基本规定.....	143
3.1 一般规定.....	143
3.2 重要性等级.....	144
3.3 设计荷载规定.....	144
4 滑坡防治工程勘察.....	145
4.1 一般规定.....	145
4.2 滑坡分类及破坏模式.....	145
4.4 详细勘察.....	150
5 滑坡稳定性分析与评价.....	151
5.2 滑坡稳定性分析与评价.....	151
6 滑坡防治方案比选.....	158
6.2 方案确定.....	158
7 排水工程.....	160
7.2 地表排水工程.....	160
7.3 地下排水工程.....	160
8 重力式挡墙.....	161
8.1 一般规定.....	161
8.2 设计计算.....	161
8.3 构造.....	161
8.4 施工.....	162
9 悬臂式和扶壁式挡墙.....	163
9.1 一般规定.....	163
9.2 设计计算.....	163
9.3 构造.....	164
9.4 施工.....	164
10 锚 索（杆）.....	166
10.1 一般规定.....	166
10.2 设计计算.....	166
10.3 构造.....	167
10.4 施工.....	168
11 格构锚索（杆）.....	170

11.1	一般规定.....	170
12	抗滑桩.....	171
12.1	一般规定.....	171
12.2	矩形抗滑桩设计计算.....	172
12.4	圆形抗滑桩设计计算.....	173
12.6	双排抗滑桩设计计算.....	174
12.7	小口径组合抗滑桩设计计算.....	174
12.8	构造.....	175
12.9	施工.....	176
13	桩锚结构.....	178
14	组合抗滑结构.....	179
14.1	一般规定.....	179
14.2	设计计算.....	182
14.3	构造.....	183
14.4	施工.....	183
15	其他防护措施.....	184
15.1	一般规定.....	184
15.2	削方减载.....	184
15.3	回填压脚.....	184
15.4	锚喷防护.....	184
15.5	土钉墙防护.....	184
15.6	坡面防护.....	184
15.7	坡面绿化.....	185
16	检测、监测与验收.....	186
16.3	监测.....	186

1 总 则

1.0.1 滑坡防治工程支护涉及工程地质、水文地质、岩土力学、岩体力学、地基处理、岩土工程、地灾治理、结构工程等多门学科，涉及勘察、设计、施工、检测、监测多个环节，近年来，滑坡防治工程支护设计理论与设计方法发展较快，但因勘察、设计、施工不当，造成国家和人民生命财产严重损失，同时也存在一些安全度、耐久性、抗震性能低的滑坡支护结构物。制定本标准的主要目的是使滑坡防治工程技术标准化，符合安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境的要求，以保障滑坡治理工程建设健康发展。本标准适用于建（构）筑物或市政工程开挖和填方形成的工程滑坡及破坏后危及建（构）筑物安全的工程滑坡的支护设计。交通工程、铁路工程、水利工程中与建筑有关的滑坡治理工程可参照执行。

1.0.3 滑坡防治工程的设计和施工除考虑条文中所述滑坡特征及可能的破坏模式等因素外，借鉴地区经验、因地制宜非常必要。结合本标准给出的滑坡治理工程支护形式、施工工艺及岩土参数。

1.0.4 滑坡治理工程是一门综合性和边缘性强的工程技术，本标准难以全面反映地质勘察、设计、施工、检测、监测等诸方面。因此，除遵守本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.3 强调进行滑坡防治工程设计需要取得的工程设计资料，其中进行岩土工程勘察非常必要。进行滑坡防治工程设计的前提要求有反映现场地质条件及岩土工程问题并提出处理意见的滑坡防治工程岩土工程勘察报告。

3.1.4 滑坡防治工程的使用年限指滑坡防治工程中所设置支挡结构、导排水设施等能发挥正常功能的年限，滑坡治理工程一般按 50 年设计，当受滑坡支挡结构保护的建筑物（坡顶塌滑区、坡下塌方区）为临时或永久性时，支挡结构及导排水设施的设计使用年限应不低于上述值。

3.1.5 动态设计法是本标准滑坡支护设计的基本原则。采用动态设计时，应提出对施工方案的特殊要求和监测要求，应掌握施工现场的地质状况、施工情况和变形、应力监测的反馈信息，并根据实际地质状况和监测信息对原设计作校核、修改和补充。当地质勘察参数难以准确确定、设计理论和方法带有经验性和类比性时，根据施工中反馈的信息和监控资料完善设计，是一种客观求实、准确安全的设计方法，可以达到以下效果：

1 避免勘察结论失误。山区地质情况复杂、多变，受多种因素制约，地质勘察资料准确性的保证率较低，勘察主要结论失误造成滑坡现象不乏其例。因此规定地质情况复杂的一级边坡在施工过程中补充施工勘察工作，收集地质资料，查对核实原地质勘察结论。这样可有效避免勘察结论失误而造成工程事故；

2 设计者掌握施工开挖反映的真实地质特征、边坡变形量、应力值等，对原设计作校核和补充、完善设计，确保工程安全、设计合理；

3 边坡变形和应力监测资料是排危应急抢险、确保工程安全施工的重要依据；

4 有利于积累工程经验，总结和发展滑坡治理工程设计经验。

3.1.11 十几年来发现有大量治理工程特别是顺层边坡即一些特殊岩土类边坡多在施工期发生滑坡。其原因有二：1) 设计文件中对施工期因施工可能造成的滑坡重视不够；2) 施工中违反设计要求不能按照设计文件开挖，或超挖或先挖后支工序不当造成。因此对施工方案进行可行性论证、采取合理的施工工序、施工工艺十分必要。

3.2 重要性等级

本节对滑坡防治工程设计中涉及到的重要性等级、勘察等级等进行了具体规定。

3.3 设计荷载规定

本节对滑坡防治工程设计中涉及到的基本规定如荷载确定、工况组合、安全系数、安全等级等进行了具体规定。

4 滑坡防治工程勘察

4.1 一般规定

本节明确了滑坡防治工程的勘察阶段划分、详细勘察及对特殊岩土滑坡的勘察要求。

由于滑坡防治工程的特殊性，主编单位根据多年勘察经验认为：要作好滑坡防治工程的岩土工程勘察，应注意以下几点：

1 应在重点了解滑坡防治工程的岩土结构组合特点及可能的破坏模式基础上采用多种方法进行岩土工程勘察，这里强调的是要在基础地质调查和综合性地质测绘的基础上进行工程测量和工程物探，在此基础上再进行钻探、地质及有关原位测试工作。重点是用各种手段查清滑坡的位置、分布及力学指标。以往很多单位往往只注重物探和钻探工作，不重视地质调查和地质分析；

2 对特殊土如填土、黄土、膨胀土滑坡应针对性呢布置勘探工作如静力触探、探井等工作；

4.2 滑坡分类及破坏模式

4.2.1 本节从滑坡防治工程的有效性出发对滑坡进行分类并对滑坡破坏模式进行梳理，单列一节说明。

参阅大量文献及多年来我们对滑坡防治工程的调查分析，将滑坡分为土质滑坡、类土质滑坡和岩质滑坡。其中的土质滑坡进一步细分为黄土土质滑坡、填土滑坡、膨胀土类滑坡。对岩质滑坡从有效治理角度出发按照岩体产状与临空面及结构面组合关系可分为顺层滑坡、逆向滑坡和切向滑坡。

滑坡防治工程中治理方案的选型与滑坡稳定性分析、计算密切相关，它为治理方案的选型提供基础设计依据，进行滑坡分类及相应破坏模式的划分十分必要。

4.2.3 黄土滑坡的破坏形式有坡面破坏和深层破坏。其中坡面破坏形式有冲刷、剥落、雨淋沟等。

黄土滑坡的变形特征与破坏模式如下：

1 按照黄土边坡破坏时的剥落形态分为：片状剥落、层状剥落、破碎状剥落、鱼鳞状剥落、混合状剥落；

2 按照黄土边坡破坏的剥落成因可划分为：重力式剥落、冲刷型剥落、冻融型剥落、扰动型剥落、构造型剥落、坡脚应力集中型、风化型剥落、生物型剥落；

3 黄土边坡破坏的剥落厚度可划分为：表皮型剥落、中层层状剥落、厚层滑塌型。

4.2.4 膨胀土的坡面破坏形式有剥落、冲刷、雨淋沟、膨胀变形、干缩等。

根据我国二十几个省区的资料，膨胀土多出露于二级及二级以上的河谷阶地、山前和盆地边缘及丘陵地带，地形坡度平缓，无明显的天然陡坎。膨胀土的三带特征明显。膨胀土内普遍发育各种形态各异、大小不等的裂隙，坡体表层及坡体内存在许多裂隙，可分为微小裂隙、短裂隙和长大裂隙。大量的为微小裂隙，发育短且密，短小裂隙次之，可将土体分割为一个个碎块，呈碎落小块状脱离坡体；而长大裂隙多呈带状分布裂隙面多充填有灰白色、灰绿色黏土薄膜，光滑且有蜡状光泽。往往构成坡体滑移的软弱结构面。它的裂隙性破坏了坡体的整体性，为各类水的进入开辟了渗漏通道，多雨季节，增大了坡体内土体重量及静水压力和动水压力，同时也大幅降低了结构面的抗剪强度指标，形成强度的衰减。同时也提供了蒸发通道，水分大量蒸发，造成土体干缩。

按照与大气的交流程度可分为大气急剧影响带、大气影响带、超固结带；从水文地质方面可分为：干湿交替带、垂直渗流带和滞水带、下部为非饱和带；从工程地质方面可分为：碎裂带（散体结构）、胀缩裂隙带及软弱带（碎裂或次块状结构），下部为超固结带；从强度方面：碎裂带：承载力小，抗剪强度最小；裂隙密集带：介于二者之间；超固结带：承载力大，压缩模量中等，抗剪强度取正常值。

膨胀土滑坡的破坏形式包括崩塌、剥落、滑坡等形式。边坡坡体破坏形式如下：

1 浅层滑塌或崩塌多小于 1~2.0m，由于坡体长期暴露、坡体干湿交替循环造成，也可能为上部遭受风化及干湿交替破坏与坡体内的水平层面或其他结构面冲蚀组合而成；

2 楔形块体崩塌：纵向分布的不同结构（裂隙）面组合造成崩塌；

3 坡脚浸水地层软化坍塌、崩塌；

4 由长大结构面（裂隙面）控制的折线形滑坡：如坡体表部的纵向裂隙与坡体内缓平裂隙组合；

5 中深层的圆弧形滑坡，滑坡的深浅取决于结构面埋藏深度及结构面组合关系；

6 逐级牵引式滑坡，从坡底开始，因临空面的存在，加上内部各类结构面的组合造成逐级滑塌。

人工开挖时在短时间内出现直立边坡，膨胀土边坡具有浅表性、逐级牵引性及季节性特点。

4.2.5 填土滑坡的坡面破坏形式有冲刷、雨淋沟等。

4.2.6 类土质滑坡的坡面破坏形式有剥落、风化等形式。

由土石混合体、土体和破碎岩组成的类土质体构成的边坡即为类土质边坡。

1 根据母岩原岩类型划分为：岩浆岩类土质边坡如花岗岩、玄武岩类土质边坡、变质岩类土质边坡如板岩类土质边坡；沉积岩类土质边坡如泥岩类土质边坡、砂岩类土质边坡等。

2 类土质边坡有以下特征：（1）由残、坡积层和全风化、强风化岩组成；（2）为土石混合体，取样和进行原位测试难度较大；

（3）母岩不同，性质不同，且具有不同的结构面，如土岩之间的接触面、风化界面原岩中残存的已有结构面（裂隙面）等；（4）形成的地型坡度差别较大，一般 20~60 度；（5）降雨及人工削坡对其稳定性影响较大。

3 常见的类土质边坡破坏形式有：

1) 坡面破坏：如冲刷、碎落、局部溜塌等；

2) 坡体破坏：崩塌、滑溜，其中的滑坡按照可能的结构面组合关系可分为圆弧法、直线型、折线法、楔形体等。

4 类土质边坡结构组合特征及可能的破坏模式：

1) 圆弧或似圆弧破坏模式：对均质土坡，坡残积土坡，砂土状强风化，碎块状强风化（碎裂），不良地质堆积体。对于类土质路堑边坡，如不考虑地质不连续面的存在和影响，其坡体变形破裂面一般呈圆弧或似圆弧的形状。边坡呈圆弧或似圆弧破坏一般发生在均质土坡、坡残积土坡、砂土状强风化层、碎块状强风化层（碎裂结构）、以及不良堆积体内部的变形和破坏；

2) 平面型破坏模式：有两种情况：地质不连续面平行坡面，倾向临空；两个或两个以上不连续面组合，交线倾向临空（楔体破坏）。由于地质不连续面走向大体平行于坡面走向并倾向线路，其倾角小于边坡坡率，且大于其岩土抗剪强度所能维持的稳定坡度，这种情况一般发生平面型破坏。对于具有两个或两个以上的地质不连续面组合的情况，一般是以一组不连续面为主控滑移面，其余为空间控制面，这种情况也可归纳为平面型破坏（在岩质边坡中，常称之为楔体破坏）；

3) 折线型破坏模式：一般指不利结构面的组合和崩滑流堆积等不良地质介面。在类土质路堑边坡坡体结构中，存在两个或两个以上的地质不连续面，其走向大体平行于坡面且倾向线路，由多个地质不连续面组成折线型破裂面，其上岩土以此为依附面产生滑移变形和破坏，这种情况下的边坡破坏为折线型破坏；

4) 复合型破坏模式：由于边坡物质组成和坡体结构的特殊性和复杂性，单一破坏形式往往较少，大致分为平面型和圆弧型的复合，折线型和圆弧型的复合，边坡破坏多由上述几种破坏类型的复合，称之为复合型破坏。

4.2.7 岩质边坡失稳模式多样，对其进行较准确的分类难度较大，本标准仅对与岩质边坡失稳中有关内容进行划定并提出相应的支护方案。

如《水利水电工程地质勘察规范》GB50487 岩质边坡稳定分析暂按崩塌、滑动、蠕变和流动四大类的稳定分析分别作出规定。岩石边坡常见的失稳形式具体见表 1。

表 1 岩质边坡常见的失稳形式

失稳破坏类型		破坏特征
崩塌		边坡岩体坠落或滚动
滑动	平面型	边坡岩体沿某一结构面滑动
	弧面型	散体或碎裂的岩质边坡沿弧形面滑动
	楔形体	结构面组合的楔形体，沿交线方向滑动
蠕变	倾倒	反倾向层状结构的边坡，岩层倾角与坡角
	溃屈	顺层向层状结构的边坡，岩层倾角与坡脚大致相似，边坡下部岩层逐渐向上鼓起，产生层面拉裂和脱开
	侧向张裂	双层结构的边坡，下部软岩产生塑性变形，使上部岩层发生扩张、移动张裂和下沉
流动		崩塌碎屑类堆积向坡脚流动，形成碎屑流

不同岩体结构边坡的失稳情况统计见表 2。

表 2 不同岩体结构边坡的失稳情况统计

岩体结构失稳类型	块状	层状	碎裂	散体	合计		
					(个)	(%)	
崩塌	1	4	0	1	6	8.6	
滑动	8	18	2	23	51	72.9	
溃屈	0	3	0	0	3	4.3	
倾倒	0	4	0	0	4	5.7	
拉裂	1	1	0	0	2	2.8	
流动	0	0	0	0	0	0	
复合	0	4	0	0	4	5.7	
合计	(个)	10	34	26		70	
	(%)	14.3	48.6	37.1			100

对岩质边坡中的坠落、倾倒等失稳类型因已经超出本标准，可参阅国家及行业有关规范。

4.4 详细勘察

本节列出了对滑坡防治工程详细勘察的要求。其中的重点就是对滑坡可能的破坏模式的分析、对滑面的形态和物理力学指标的确定以及支挡处剩余下滑力的打算与分析。

4.4.9 对折线形滑面不同位置其抗剪强度指标可能不同，变化较大，要准确确定滑面的抗剪强度指标难度较大，要采用多种方法如原位测试、室内试验、地区经验、指标反演等多种方法分析后确定。

5 滑坡稳定性分析与评价

5.2 滑坡稳定性分析与评价

滑坡稳定性分析要定性与定量结合，在定性的基础上进行定量评价。其中的定性是指对滑坡范围、类型、厚度、规模、可能的失稳模式进行综合判断。在此基础上进一步摸清滑面特征、具体物理力学参数等，再进行定量计算。

滑坡稳定性定量评价是个复杂的课题。以下引用有关文献加以说明：

1 《水利水电工程地质勘察规范》GB50487 的建议：

(1) 滑动稳定分析计算方法以极限平衡分析类的方法为主。对于一般节理岩体，沙尔玛 (sarma) 是重点考虑的计算方法之一。对于由于受结构面和软弱面控制有可能形成空间楔形体滑动的情况，楔体法是重点考虑的计算方法；

(2) 对于数值分析类的计算方法，如有限元法、边界元法等。本着“鼓励采用，但不做硬性规定”的原则，在条文中适当反映这方面的内容。

对于其他失稳破坏情况，还需要通过工程实践的调查，在规范中适当有所反映。

2 滑坡稳定性计算公式的比较与分析

(1) 某学者的计算与分析

通过对采用不同计算方法的三峡库区大量计算案例的对比中提出建议：在对十一个案例统计中，采用传递系数法计算的安全系数偏小的有六个，占 55%，在工程应用时偏于安全；其次为弗洛伦斯法 (Fellenius)，具体见表 3。

表 3 三峡库区十一个滑坡体不同计算模式计算结果一览表

滑坡体编号	传递系数法	弗洛伦斯法 (Fellenius)	毕肖普法 (Bishop)	詹布法 (Janbu)	备注
A	1.039	1.160	1.320	1.204	
B	1.700	1.746	1.793	1.730	
C	1.045	1.060	1.148	1.075	
D	1.423	1.415	1.424	1.407	
E	1.760	1.456	1.685	1.806	
F	1.569	1.328	1.671	1.752	
G	1.034	1.011	1.092	1.140	
H	1.168	1.250	1.326	1.217	
I	0.951	0.963	1.004	0.982	
J	1.018	1.010	1.014	1.015	
K	0.871	0.892	0.926	0.930	

(2) 方玉树教授的分析

对滑坡稳定性计算公式，方玉树教授提出了对 6 种评价方法的建议：

- 1) 瑞典圆弧法：合理性较低；工程建议不采用；
- 2) 传递系数法：合理范围较窄；不优先采用；
- 3) 毕肖普法 (Bishop)：合理性较高；滑面为圆弧时可采用；
- 4) 改进沙尔玛法 (sarma)：合理性较高；各种情况下均可采用；
- 5) 詹步法 (Janbu)：合理性较低；工程建议不宜采用；
- 6) 简化詹步法 (Janbu)：滑面为圆弧时合理性较高，其他较低。

表 4 不同计算方法的适用条件对比表

序号	计算方法	适用条件	备注
1	传递系数法	适用非圆弧法或折线法	即不平衡推力法
2	弗洛伦斯法 (Fellenius)	当滑动面为圆弧形时	
3	简化毕肖普法 (Bishop)	适用土质边坡和呈碎裂结构的岩质边坡, 当滑动面为圆弧形时	
4	詹布法 (Janbu)	当滑面为折线形时	
5	摩根斯坦-普赖斯法 (Morgenstern-Price)	适用土质边坡和呈碎裂结构的岩质边坡, 当滑动面为圆弧形时	
6	平面滑动算法	当滑动面为直线时	

这也从一个侧面体现出岩土工程的不确定性：岩土工程的“六性特点之一”——计算方法的多样性及局限性。

对于破坏机制复杂的边坡，难以采用传统的方法计算，目前国外和国内水利水电部门已广泛采用数值极限分析方法进行计算。数值极限分析方法与传统极限分析方法求解原理相同，只是求解方法不同，两种方法得到的计算结果是一致的，对复杂边坡传统极限分析方法无法求解，需要作许多人为假设，影响计算精度，而数值极限分析方法适用性广，不另作假设就可直接求得。

5.2.7 滑坡稳定性评价的核心是在确定的计算模式和初选参数的基础上进行剩余下滑力的计算。

滑坡整体的剩余下滑力就是剪出口处的剩余下滑力，剩余下滑力也可以是滑坡体某个位置处的剩余下滑力。广义上说：剩余下滑力=计算位置以上下滑力合力-计算位置以上抗滑力合力，用剩余推力法计算时考虑到拉力无法在条块间传递，当上块剩余下滑力为负

值时，取零继续计算。

以下以某折线形滑坡为例，说明对剩余下滑力的计算过程及因滑面抗剪强度的变化对剩余下滑力的影响。

假定滑体仅有一种土层粉质黏土，滑面为软塑-可塑的粉质黏土层。假定滑坡安全等级为二级，安全系数 1.15。

(1) 软塑状态下，黏聚力 10kPa，内摩擦角 10°，计算的滑坡推力 $T=5273.3$ (kN/m)，具体见表 5。

表 5 滑坡推力计算表

计算段号	内摩擦角 φ (°)	黏聚力 c (kPa)	重度 γ (kN/m ³)	条块底滑面斜长 L (m)	滑面倾角 α (°)	条块面积 (m ²)	条块重量 W (kN)	传递系数 ψ	滑坡推力 T (kN/m)
1	10.0	10.0	20.0	15.0	45.0	150.0	3000.0		1915.5
2	10.0	10.0	20.0	28.0	30.0	280.0	5600.0	0.92	3847.6
3	10.0	10.0	20.0	28.0	20.0	420.0	8400.0	0.95	5303.5
4	10.0	10.0	20.0	28.0	15.0	420.0	8400.0	0.98	5991.3
5	10.0	10.0	20.0	15.0	7.0	150.0	3000.0	0.97	5531.4
6	10.0	10.0	20.0	10.0	5.0	80.0	1600.0	0.99	5273

(2) 假定滑面黏聚力 14kPa，内摩擦角 14°，软塑状态下，计算的滑坡推力 $T=2784.8$ (kN/m)，具体见表 6。

表 6 滑坡推力计算表

计算段号	内摩擦角 φ (°)	黏聚力 c (kPa)	重度 γ (kN/m ³)	条块底滑面斜长 L (m)	滑面倾角 α (°)	条块面积 (m ²)	条块重量 W (kN)	传递系数 ψ	滑坡推力 T (kN/m)
1	14.0	14.0	20.0	15.0	45.0	150.0	3000.0		1700.6
2	14.0	14.0	20.0	28.0	30.0	280.0	5600.0	0.90	3151.7
3	14.0	14.0	20.0	28.0	20.0	420.0	8400.0	0.94	3911.3
4	14.0	14.0	20.0	28.0	15.0	420.0	8400.0	0.97	3896.6
5	14.0	14.0	20.0	15.0	7.0	150.0	3000.0	0.96	3191.5
6	14.0	14.0	20.0	10.0	5.0	80.0	1600.0	0.99	2784.8

(3) 黏聚力 c 和内摩擦角 φ (°) 在后缘段降低 50% (第一、二条块), 滑坡推力 $T=545.9$ (kN/m), 具体见表 7。

表 7 滑坡推力计算表

计算段号	内摩擦角 φ (°)	黏聚力 c (kPa)	重度 γ (kN/m ³)	条块底滑面斜长 L (m)	滑面倾角 α (°)	条块面积 (m ²)	条块重量 W (kN)	传递系数 ψ	滑坡推力 T (kN/m)
1	10.0	10.0	20.0	15.0	45.0	150.0	3000.0		1915.5
2	10.0	10.0	20.0	28.0	30.0	280.0	5600.0	0.92	3847.6
3	20.0	20.0	20.0	28.0	20.0	420.0	8400.0	0.92	3417.0
4	20.0	20.0	20.0	28.0	15.0	420.0	8400.0	0.96	2282.6
5	20.0	20.0	20.0	15.0	7.0	150.0	3000.0	0.94	1181.4
6	20.0	20.0	20.0	10.0	5.0	80.0	1600.0	0.99	545.9

(4) 假定滑面的黏聚力 c 和内摩擦角 φ (°) 在前缘段降低 50% (第五、六条块), 计算的滑坡推力 $T=214.6$ (kN/m), 具体见表 8。

表 8 滑坡推力计算表

计算段号	内摩擦角 φ (°)	黏聚力 c (kPa)	重度 γ (kN/m ³)	条块底滑面斜长 L (m)	滑面倾角 α (°)	条块面积 (m ²)	条块重量 W (kN)	传递系数 ψ	滑坡推力 T (kN/m)
1	20.0	20.0	20.0	15.0	45.0	150.0	3000.0		1367.4
2	20.0	20.0	20.0	28.0	30.0	280.0	5600.0	0.87	2086.9
3	20.0	20.0	20.0	28.0	20.0	420.0	8400.0	0.92	1794.2
4	20.0	20.0	20.0	28.0	15.0	420.0	8400.0	0.96	717.5
5	10.0	10.0	20.0	15.0	7.0	150.0	3000.0	0.97	438.3
6	10.0	10.0	20.0	10.0	5.0	80.0	1600.0	0.99	214.6

(5) 假定滑面的黏聚力 c 和内摩擦角 φ (°)在中部地段降低 50% (第三、四条块), 计算的滑坡推力 $T= 2456.5\text{kN/m}$, 具体见表 9。

表 9 滑坡推力计算表

计算段号	内摩擦角 φ (°)	黏聚力 c (kPa)	重度 γ (kN/m ³)	条块底滑面斜长 L (m)	滑面倾角 α (°)	条块面积 (m ²)	条块重量 W (kN)	传递系数 ψ	滑坡推力 T (kN/m)
1	20.0	20.0	20.0	15.0	45.0	150.0	3000.0		1367.4
2	20.0	20.0	20.0	28.0	30.0	280.0	5600.0	0.87	2086.9
3	10.0	10.0	20.0	28.0	20.0	420.0	8400.0	0.95	3623.3
4	10.0	10.0	20.0	28.0	15.0	420.0	8400.0	0.98	4343.4
5	20.0	20.0	20.0	15.0	7.0	150.0	3000.0	0.94	3117.8
6	20.0	20.0	20.0	10.0	5.0	80.0	1600.0	0.99	2456.5

从以上的计算中不难看出, 假定滑体仅有一种土层, 滑面仅为粉质黏土, 对不同地段的抗剪指标进行调整, 其剩余下滑力要差几倍甚至十倍, 看来要准确确定滑坡剩余下滑力难度甚大。而对滑坡体剩余下滑力的准确确定, 直接关系到方案选型及抗滑桩和锚索的直径、长短、配筋等, 直接关系到安全和工程造价大小。

有资料建议：

- 1) 当滑体较薄，如厚度小于 3.0m，当滑坡推力 $<300\text{kN/m}$ 时，常采用挡墙结构；
- 2) 当滑坡推力在 $300\sim 1000\text{kN/m}$ 时，采用抗滑桩支护或双排桩支护，这里的双排桩包括椅式、门式等；
- 3) 当滑坡推力在 $1000\sim 1500\text{kN/m}$ 时，采用桩锚板支护。

6 滑坡防治方案比选

6.2 方案确定

6.2.1 基于对各类滑坡防治工程的大量现场调查、研究及多年设计经验的总结，认为影响滑坡处置方案选择的因素众多，但滑坡高度、滑坡分类（土质滑坡、类土质滑坡、岩质滑坡）及相应的破坏模式、已有边坡支护方案是决定滑坡治理方案的关键因素。同时伴随的支挡方案可达十数种，复杂多样。对经验较少的新手设计者来说结合滑坡工程特点从中选择一个合适的支护方案绝非易事。选的不好轻则需要推到重来，重则造成项目成本过大、施工不便，甚至造成人员、财产的重大损失。正所谓“一着不慎，全盘皆输”。因此滑坡防治方案选型是滑坡治理设计中的一个关键性和基础性问题，2022年贵州毕节某顺层边坡开挖支护中发生滑坡的重大伤亡事故，其中一个重要因素就是边坡支护选型出现重大失误造成，即该边坡工程的概念设计出了问题。概念设计指导的重要性不言而喻。

主编单位根据多年的调查、设计经验进行有关研究后认为：以滑坡特有的岩土工程条件和岩土工程问题为研究对象，以现有滑坡防治工程设计理论、设计方法和某区域多年来形成的具有普遍指导意义的滑坡防治支护设计经验为指导，因地制宜对具体滑坡防治设计方案进行筛选和比选的过程就是概念设计。

滑坡防治工程的概念设计也称思路设计（或者路线图设计），它是一种设计理念，它有着为具体的设计方案选型指明方向、规划路径、抓住问题的关键进行总体设计的特点，具有举旗、定向、领路、导航的作用。没有了概念设计，就像汪洋中的一条船，失去了方向和船长，而船长的经验和导向显得无比重要。

要做好概念设计，它要求我们要在熟练掌握有关滑坡防治工程的基本概念和原理的基础上，在掌握滑坡防治工程设计“三要素”即滑坡分类、地质与结构组合特征及可能的破坏模式基础上，在对当地已有类似滑坡防治工程经验充分了解前提下，结合具体滑坡工程的特点提出可能采用的多种防治方案，它是保证滑坡防治工程安全和稳定的前提、基础和关键。在正确选型的基础上再进行设计方

案的技术、经济、社会影响和施工可行性对比，从中确定合适的滑坡防治设计方案。

6.2.5 黄土边坡破坏形式多样，因其特殊的地质条件，除进行常规的坡面防护或有关支挡方案外，这里强调对坡顶隔水、坡底湿陷性进行加固的处理措施。对湿陷土类滑坡顶部湿陷土如何处理处理目前国家规范中尚未提及。这里建议如下：

1 对防治工程安全等级为一级的滑坡防治工程应进行处理，结合以往设计经验，处理厚度一般不大于 3.0m，且需要不断积累当地成熟经验；

2 对防治工程安全等级为二级的滑坡防治工程宜适当处理，结合以往设计经验，处理厚度一般 1.0-2.0m；

3 对防治工程安全等级为三级时可不处理。

6.2.6 膨胀岩土类边坡破坏形式多样，因其特殊的地质条件，除进行常规的有关支挡方案外，这里还强调对坡面保湿、换填、排水，对各级坡底进行加固的处理措施。需要注意的是，对膨胀岩土类滑坡坡顶如何处理，也需要不断积累当地成熟经验。

7 排水工程

7.2 地表排水工程

7.2.1 坡面、地表的排水设施应结合地形和天然水系进行布设，并做好进出口的位置选择和处理，防止出现堵塞、溢流、渗漏、淤积、冲刷等现象。地表排水沟（管）排放的水流不得直接排入饮用水、养殖池等水源。

7.2.0 截水沟根据具体情况可设一道或数道。设置截水沟的作用是拦截来自边坡或山坡上方的地面水、保护边坡不受冲刷。截水沟应采取有效的防渗措施，出水口应引伸到边坡范围以外，出口处设置消能设施，确保边坡的稳定性。

7.2.12 跌水和急流槽主要用于陡坡地段的坡面排水或者用在截、排水沟出水口处的坡面坡度大于 10%、水头高差大于 1m 的地段，达到水流的消能和减缓流速的目的。跌水和急流槽的设计可参考现行行业标准《公路排水设计规范》JTG/TD 33 的有关规定执行。

7.3 地下排水工程

7.3.1 当坡面上无集中地下水，但土质潮湿、含水量高，如高液限土、红黏土、膨胀土边坡，设置渗沟能有效排泄坡体中地下水，提高土体强度，增强边坡稳定性。在滑坡治理工程中经常采用支撑渗沟与抗滑支挡结构联合治理滑坡。

7.3.10~7.3.11 仰斜式排水孔是采用小直径的排水管在边坡体内排除深层地下水的一种有效方法，它可以快速疏干地下水，提高岩土体抗剪强度，防止边坡失稳，并减少对岩（土）体的开挖，加快工程进度和降低造价。仰斜式排水孔是排泄挖方边坡上地下水的有效措施，当坡面上有集中地下水时，采用仰斜式排水孔排泄，且成群布置，能取得较好的效果。

8 重力式挡墙

8.1 一般规定

8.1.1~8.1.2 调查的大量工程事故中尤以重力式挡墙倒塌事故较多，分析原因有以下几个方面：1) 挡墙过高，超出设计要求；2) 排水效果差，墙后因水压力过大导致；3) 挡墙基础持力层因水泡或其他因素导致基础底面承载力不满足运行中的要求；4) 挡墙砌筑质量差如块石尺寸、砌筑及浆体强度、饱满度等因素；5) 因对特殊岩土认识不足，在特殊岩土地段采用过高的重力式挡墙；6) 以上因素的叠加组合。基于以上因素，本条做了以下规定：1) 用于加固的挡墙适用于滑体较薄、高度不大、剩余下滑力较小地段；2) 坡脚支挡时应与其他支挡措施结合使用；3) 如边坡采用挡墙结构已经失稳，不宜再使用挡墙结构支挡，应结合滑坡体特征考虑其他或组合支挡方案。

8.1.3 土质地基有软弱层或岩质地基有软弱结构面时，存在着挡墙地基整体失稳破坏的可能性，故需进行地基稳定性验算，若地基承载力不满足要求应进行地基处理。

8.2 设计计算

8.2.3~8.2.5 抗滑移稳定性及抗倾覆稳定性验算是重力式挡墙设计中十分重要的一环，第 8.2.3 条~第 8.2.5 条均应得到满足。当抗滑移稳定性不满足要求时，可采取增大挡墙断面尺寸、墙底做成逆坡、换土做砂石垫层等措施使抗滑移稳定性满足要求。当抗倾覆稳定性不满足要求时，也可采取增大挡墙断面尺寸、增长墙趾或改变墙背做法（如墙背上做卸荷台）等措施使抗倾覆稳定性满足要求。地震工况时，土压力按本标准第 3 章有关规定进行计算。

8.3 构造

8.3.2 条石、块石及素混凝土是重力式挡墙的常用材料。

8.3.4 挡墙基底做成逆坡对增加挡墙的稳定性有利，但基底逆坡坡度过大，将导致墙踵陷入地基中，也会使保持挡墙墙身的整体性变

得困难。为避免这一情况，本条对基底逆坡坡度作了限制。

8.4 施工

8.4.1 挡墙出现事故后经常发现墙内砌块直径偏小、浆体不足甚至无浆体等现象，施工中应严格按照设计要求施工，同时监理也应严格按照设计要求和规范标准进行监理。

8.4.4 挡墙发生倒塌事故或出现外鼓、裂缝后经常发现挡墙排水管不能有效排水现象。应重视排水管的有效排水对减轻挡墙压力的作用。

9 悬臂式和扶壁式挡墙

9.1 一般规定

9.1.1 悬臂式和扶壁式挡墙构造简单、施工方便、墙身截面较小，自身质量轻，施工质量容易得到保证，可以较好地发挥材料的强度性能，以消耗一定数量的钢材和水泥来换取石料，一般在石料缺乏、地基承载力较低的填方中采用，其轻型美观的造型也适用于城市。基于与第 8 章的类似分析对悬臂式挡墙的墙高进行了限制，确定悬臂式挡墙墙高不宜大于 5m，扶壁式挡墙不宜大于 7m。

9.1.3 扶壁式挡墙基础应置于稳定的地层内，这是挡墙稳定的前提。在实际工程中应根据工程地质条件和挡墙结构受力情况，采用合适的埋置深度，但不应小于本条规定的最小值。在受冲刷或受冻胀影响的边坡工程，还应考虑这些因素的不利影响，挡墙基础应在其影响之下的一定深度。

9.1.4 挡墙基础是保证挡墙安全正常工作的十分重要的部分。实际工程中许多挡墙破坏都是挡墙基础设计不当引起的。在安全、可靠、经济的前提下合理选择基础形式，采取恰当的地基处理措施。当挡墙基底下为软弱土、特殊土时应采用挡墙与处理基础结合的组合结构（如桩基托梁挡墙等）保证墙体的稳定。

9.2 设计计算

9.2.2 扶壁式挡墙的设计内容主要包括边坡侧向土压力计算、地基承载力验算、结构内力及配筋、裂缝宽度验算及稳定性计算。在计算时应根据计算内容分别采用相应的荷载组合及分项系数。扶壁式挡墙外荷载一般包括墙后土体自重及坡顶地面活载。当受水或地震影响或坡顶附近有建筑物时，应考虑其产生的附加侧向土压力作用。

9.2.6 扶壁式挡墙是较复杂的空间受力结构体系，要精确计算是比较困难复杂的。根据扶壁式挡墙的受力特点，可将空间受力问题简化为平面问题近似计算。这种方法能反映构件的受力情况，同时也是偏于安全的。立板和墙踵板可简化为靠近底板部分为三边固定，

一边自由的板及上部以扶壁为支承的连续板；墙趾底板可简化为固端在立板上的悬臂板进行计算；扶壁可简化为悬臂的 T 形梁，立板为梁的翼，扶壁为梁的腹板。

9.3 构造

9.3.2~9.3.3 扶壁式挡墙的尺寸应根据强度及刚度等要求计算确定，同时还应当满足锚固、连接等构造要求。

扶壁式挡墙配筋应根据其受力特点进行设计。立板和墙踵板按板配筋，墙趾板按悬臂板配筋，扶壁按倒 T 形悬臂深梁进行配筋；立板与扶壁、底板与扶壁之间根据传力要求计算设计连接钢筋。宜根据立板、墙踵板及扶壁的内力大小分段分级配筋，同时立板、底板及扶壁的配筋率、钢筋的搭接和锚固等应符合 GB 50010 的有关规定。

9.3.4 根据 GB 50010 规定了悬臂式挡墙、扶壁式挡墙的混凝土强度等级、钢筋直径和间距及混凝土保护层厚度的要求。

9.3.6 钢筋混凝土结构扶壁式挡墙因温度变化引起材料变形，增加结构的附加内力，当长度过长时可能使结构开裂。本条参照现行有关标准规定了伸缩缝的构造要求。扶壁式挡墙对地基不均匀变形敏感，在不同结构单元及地层岩土性状变化时，将产生不均匀变形。为适应这种变化，宜采用沉降缝分成独立的结构单元。有条件时伸缩缝与沉降缝宜合并设置。

9.3.7 墙后填土直接影响侧向土压力，因此宜选用透水性强，易排水、内摩擦角大的填料，可显著减小墙后侧向土压力。不得采用如黏性土、淤泥、耕土、膨胀土、盐渍土及有机质土等特殊土。

9.3.8 扶壁式挡墙为钢筋混凝土结构，其受力较大时可能开裂，钢筋净保护层厚度减小，受水浸蚀影响较大。为保证扶壁式挡墙的耐久性，本条规定了扶壁式挡墙裂缝宽度计算的要求。

9.4 施工

9.4.4 本条规定在施工时应做好地下水、地表水及施工用水的排放工作，避免水软化地基，降低地基承载力。基坑开挖后应及时进行

封闭和基础施工。

9.4.5 本条规定了悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的施工分项工程应按照国家有关规范、标准进行检查和检验。

全国勘察设计行业信息平台发布

10 锚索(杆)

10.1 一般规定

10.1.1 滑坡治理工程中常见的多为拉力型锚索(杆)，压力分散型锚索通过分散压力，提高锚固效果，多适用于软弱破碎岩层。限于资料，本章仅针对拉力型锚索(杆)。

10.1.2 在滑坡体坡面较陡、为堆积层或土质滑坡的情况下，预应力锚索应与抗滑桩、钢筋混凝土格构等支挡结构组合使用。钢筋混凝土格构可以提供较强的抗剪承载能力，与锚杆共同作用可以有效地提高滑坡体的稳定性；钢筋混凝土格构的刚性较大，能够提高支挡结构的整体性和稳定性，可以抑制土体的变形，从而更好地保护周边环境。

10.1.3 在预应力锚索施工过程中，应采取有效的措施控制被加固的结构和岩土层的位移，确保施工安全。可在锚索施工前进行超前支护，控制土体变形；在锚索张拉过程中，应采用分阶段、分级张拉的方式，避免一次性张拉造成过大的位移；同时应定期进行监测，及时发现并处理异常情况。

10.2 设计计算

10.2.1 本条规定了锚索设计应包括的主要内容，这些内容是锚索设计的基础和关键，对于保证锚索工程的可靠性、经济性和施工效果具有重要意义。

10.2.2 岩质滑坡体的强度和稳定性相对较高，采用全预应力锁定可以更好地发挥锚索的主动受力性能，提高滑坡体的稳定性。当滑坡体蠕滑明显，锚索锁固力宜为设计锚固力的 50%~80%。因蠕滑型滑坡体具有一定的变形破坏特征，采用相对较低的锚索锁固力可以更好地适应滑坡体的蠕滑变形，提高滑坡体的稳定。倾倒崩滑型滑坡体的稳定性较差，采用相对较低的锚索锁固力可以更好地适应滑坡体的变形破坏，提高滑坡体的稳定性。

10.2.3~10.2.6 条款要求根据不同的土质、锚索锚固力设计不同等对锚索分别提出要求，是为了更好地保证锚索的锚固效果和质量。

10.2.7 为了更好地保证锚索的锚固效果和质量，确保锚索能够有效地支撑和加固岩体或土体，并避免因倾角过小导致注浆不饱满的情况发生。

10.2.9 III级防治工程相对较为简单，因此可以采用理论计算的方法来确定锚杆的锚固段长度。

10.2.10 对II级及以上防治工程的锚固设计，建议采用现场拉拔试验来确定设计锚杆的极限承载力和锚固段长度，并对试验个数进行了要求。

10.2.14 当锚杆成束钢筋的根数超过三根施工难度较大时规定钢筋截面总面积不应超过锚孔面积的20%，以防止过多的钢筋截面占据锚孔体积，导致注浆不足、锚杆固定效果下降。

10.3 构造

10.3.6 为了更好地保证锚索的锚固效果和质量，避免因间距过小导致群锚效应发生。

10.3.10 本条对波纹管的波峰高度、波峰间距和壁厚给出了建议值。这些规定是为了确保波纹管在锚索防腐中能够起到良好的作用。

10.3.9 规定了锚索支架的设置要求。规定了锚索自由段应设置对中支架，锚索锚固段应使用对中隔离支架。规定了支架应能使钢绞线可靠分离，每股钢绞线之间的净距不应小于5mm，并明确了支架处锚索的外裹注浆体厚度不应小于5mm。这些规定是为了确保支架的设置能够提高锚索的稳定性和防腐性能。

10.3.11~10.3.12 本条规定锚具、垫墩的型式和规格的选取要求，并对永久性加固工程的锚具、垫墩和垫板提出了防腐蚀保护的要求。

10.3.13 本条对锚索注浆材料进行了详细的规定，从而保证锚索注浆体的强度、稳定性及耐久性。

10.3.18 本条规定了锚杆原材料应满足的要求。要求原材料的性能应符合国家现行标准的有关规定，并应满足设计要求，方便施工，材料之间不应产生不良化学反应。

10.3.20 本条规定了灌浆材料的性能要求。明确对水泥、砂、水、外加剂等材料的选择和使用要求。规定了浆体制配的灰砂比和水灰比的范围，以及浆体材料 28d 的无侧限抗压强度要求。

10.3.21 本条规定了预应力筋使用锚具的性能应符合国家标准的规定。规定了预应力锚具的锚固效率应达到的要求，以及锚具应具有的功能和锚具罩的制作加工要求等。

10.3.22 套管材料和波纹管是锚杆（索）施工中的重要材料之一，其性能直接影响到锚杆（索）的工作性能和使用寿命。因此，本条规定了套管材料和波纹管应具有足够的强度和抗水性、化学稳定性等要求。

10.3.28 对永久性锚杆和临时性锚杆的防腐处理做详细的规定，提高锚杆的耐久性，延长锚杆的使用寿命。

10.4 施工

10.4.1 在实际施工过程中，可能会遇到一些特殊情况，这时就需要与设计人员沟通，确定新的孔位等设计参数，以确保施工质量和安全。

10.4.2 锚固段上覆地层每米埋深的注浆压力不宜大于 0.02MPa，这是为了防止压力过大导致地层破裂和对附近建筑物的损坏；对采用二次压力注浆工艺时，终止注浆的压力不应小于 1.5MPa，以保证注浆质量；最后，采用分段二次劈裂注浆工艺时，注浆宜在固结体强度达到 5MPa 后进行，防止注浆过早导致锚固体破坏。

10.4.4 当采用新型结构的锚索或锚索用于无锚固经验的地层中时，在使用前应进行锚索试验并明确了试验的数量。

10.4.5 本条要求选择工程有代表性的部位对锚索荷载变化情况进行监测。细化了检测的频次及需加密的情况。

10.4.6 下倾锚杆应在注浆完成后将孔口封闭，实施压力注浆，以保证锚杆的的注浆效果；上倾锚杆则应将孔口封闭后采用排气注浆方法直接进行压力注浆，以防止注浆过程中出现气阻现象。

10.4.7 锚杆注浆压力的确定应考虑地层和周边环境条件。以保证注浆施工的合理性和安全性。

10.4.8 明确了二次劈裂注浆工艺的注浆方法和注浆顺序。以保证注浆质量和效果。

10.4.9 为保证锚杆的承载能力和稳定性，避免过早张拉锁定造成锚杆失效或损坏制定本条款。

全国勘察设计行业信息网发布

11 格构锚索(杆)

11.1 一般规定

11.1.1 格构加固技术是利用浆砌块石或现浇钢筋混凝土进行边坡坡面防护,并利用锚索(杆)加以固定的一种边坡支护形式。

格构式锚索(杆)挡墙支护形式具有布置灵活、格构形式多样、截面调整方便、与坡面密贴、可随坡就势等显著优点,且框格内视情况可挂网(钢筋网、铁丝网或土工网)、植草、喷射混凝土进行防护,也可用现浇混凝土(钢筋混凝土或素混凝土)板进行加固。

11.1.2 格构加固技术特别适用于坡度较陡、坡体岩土均匀且较坚硬的边坡或滑坡。但应当注意,对于不同稳定性的边坡应采用不同的格构形式和锚固形式的组合进行加固或坡面防护。当边坡定性好,但因前缘表层开挖失稳出现塌滑时,可采用浆砌块石格构护坡,并用锚杆锚固;如果边坡稳定性差,可用现浇钢筋混凝土格构加锚索(杆)进行加固;而对于稳定性差、下滑力大的滑坡,可用现浇钢筋混凝土格构加预应力锚索(杆)进行加固。所有锚索(杆)都必须穿过滑动面并使锚固段位于稳定可靠的地层中,方能起到阻滑的作用。

12 抗滑桩

12.1 一般规定

12.1.2 大量土质滑坡、类土质滑坡的抗滑桩结构因多有挡土板，故称为桩板墙结构。当滑坡为完整的岩质边坡时，可不用挡板此时可称之为抗滑桩结构。当滑体厚度较大、剩余下滑力较大及坡顶附近有建筑物的滑坡，采用该种抗滑桩治理滑坡时，可有效地控制滑坡变形，是一种较好的支挡形式。

抗滑桩施工工艺和桩间是否设置挡土板及挡土板做法的选择应综合考虑场地条件和施工可行性等多种因素后确定。

12.1.3 在滑坡地段，抗滑桩的布置宜根据滑坡形态布置在抗滑带；侧向约束桩一般设置于填方坡脚。抗滑桩是抵抗侧向土压力的结构，采用矩形截面更为经济合理，截面短边与侧向土压力方向垂直，若地基较差不能人工成孔时，也可采用圆形桩，相对于矩形截面，圆桩截面抗弯能力较弱，锚固段的抗力较小，桩间距需要更密。桩间距的大小受岩土性质影响，地层较硬时、土压力较小，锚固段锚固能力较强时，可选择较大的桩间距；岩层较破碎或为土层、土压力较大、锚固段锚固能力更差时，则选择较小的桩间距。

12.1.4 该条主要是满足桩体结构安全，最终目的是要保证滑坡的安全。桩顶以上要保证滑坡不越顶，若桩后土体存在越过桩顶时，可适当增加桩的悬臂长度，桩底以下保证锚固段不会形成“吊脚”，且能提供局部的抵抗力平衡滑坡推力。

12.1.5 抗滑桩的桩型应根据场地的地质、水文、环境和滑坡的特征等综合考虑。选型时首先考虑安全，然后需要考虑施工工艺和设备，施工的可行性，再考虑经济性。当悬臂抗滑桩高度过大，支挡结构承担的岩土压力及产生的桩顶位移均会出现较大幅度增长，不利于控制滑坡安全，且悬臂桩断面过大。从安全性和经济性的角度出发结合我省实际经验，控制抗滑桩悬臂的高度，一般不宜超过10m，双排抗滑桩最多不宜超过15.0m。国标中的规定偏宽，不利于控制滑体稳定。

抗滑桩桩顶位移过大时，在抗滑桩上加设预应力锚杆(索)或非

预应力锚杆可起到控制挡墙变形、降低桩身内力的作用。当边坡现状稳定性较差时，采用桩锚板可更好地起到控制变形和安全作用，提高施工期的安全度。当没有外拉条件时可采用双排桩支护结构以控制其较大变形。

12.1.6 抗滑桩无特殊要求时，可不进行裂缝宽度验算，处于严重的腐蚀性环境时，则考虑进行裂缝宽度验算，如果对裂缝展开宽度不限制，将无法满足耐久性的要求。

抗滑桩一般允许有较大的变形。桩身裂缝超过允许值时，由于其保护层厚度较厚，虽然裂缝宽度的计算值较大，但较大的混凝土保护层厚度，对防止钢筋锈蚀是有利的，且钢筋局部锈蚀对桩的强度不会有很大的影响，因此本条允许一般情况下不做桩的裂缝和挠度等验算。抗滑桩是大型结构，如果严格按照其他结构的要求来控制最大裂缝宽度，钢筋增加数量较大，通常超过按强度控制计算的钢筋量的 50%。根据以往设置抗滑桩的实践经验，对裂缝宽度的允许值可适当放大，并辅以适当的防腐措施。

12.2 矩形抗滑桩设计计算

12.2.1 在国标 GB/T38509-2020 中规定抗滑桩桩间距宜为 5m~10m。笔者在实践中对于短边长度（或直径）较小的抗滑桩即使桩间距 5m，也显得桩间距过大，并不能满足抗滑阻滑要求。但对于大直径桩如四川官地某滑坡设计抗滑桩直径达 6m，采用 10m 桩间距，显得桩间距过小。笔者根据多年工程经验建议修改为“桩间距宜为 2~3 倍桩的短边长度”，对于围岩较为完整或抗滑桩短边尺寸较小的抗滑桩可取较大值，对于围岩较为破碎的土质、类土质滑坡体以及短边尺寸较大的抗滑桩可取较小值。抗滑桩桩间距的大小应根据抗滑桩能提供的抗力和剩余下滑力计算确定。

12.2.4 抗滑桩上滑坡推力分布形式的选取：一般对于土质或类土质地层，主要破坏模式为圆弧滑动时采用三角形分布，对于主要破坏模式为折线滑动时采用梯形分布，地层较为完整岩滑面整体平面滑动时采用矩形分布。

12.2.8 地基系数 K 和 m 是根据地面处桩位移值为 6~10mm 时得出

来的。地基系数法通过假定埋入地面以下桩与岩土体的协调变形，确定桩埋入段截面、配筋及长度。试验资料证明，桩的变形和地基抗力不成线性关系，而是非线性的，变形愈大，地基系数愈小，所以当地面处桩的水平位移超过 10mm 时，常规地基系数便不能采用，必须进行折减，折减以后地基系数变小，得出桩的变形更大，形成恶性循环，故通常采用增加桩截面或加大埋深来防止地面处桩水平位移过大。

12.2.9 桩底支承一般采用自由端或铰支端的原因：（1）根据滑坡破坏试验和室内模型试验，当锚固段为松散介质或较完整的基岩时，地层抗力均成两对顶三角形，桩底弯矩为零，桩底支承条件符合自由端。工程实例证明桩底支承条件按自由端考虑是符合实际情况的。（2）当锚固段上部为土层，桩底嵌入一定深度的较完整的基岩时，此情况下与桩下部嵌入一定深度的完整基岩时类似，选用铰支端或固定端。当选用铰支端计算时，需把计算铰支点选在嵌入段基岩的顶面，并根据嵌入段的地层反力计算嵌入段的深度。

12.2.10 地层为岩层时，桩身作用于围岩的侧向压应力一般不大于岩体的容许强度。桩周围岩的侧向允许抗压强度，必要时直接由现场试验确定。一般按岩石的完整程度、层理或片理产状、层间的胶结物与胶结状态、节理裂隙密度和填充物、各种构造面的性质和产状及其贯通程度等，采用垂直允许抗压强度的 0.5~1.0 倍。岩体完整、节理裂隙不发育时取高值，裂隙发育的不完整岩体取低值。

12.4 圆形抗滑桩设计计算

12.4.1 圆形桩抗弯能力较弱，抗弯截面模量和桩径的 3 次方成正比，过小的桩径对控制变形不利，因此圆形抗滑桩的桩径不宜过小。

12.4.2~12.4.5 圆形抗滑桩结构设计计算与矩形抗滑桩类似。圆形抗滑桩配筋形式（均匀配筋和不均匀配筋）应根据工程实际情况选取。

近年来预应力管桩有一定应用，要求其抗弯能力与常规桩相当。

12.6 双排抗滑桩设计计算

考虑到近年来双排桩在滑坡治理工程中已有广泛应用，而且国标尚未涵盖，故单独列出。

12.6.1~12.6.5 双排桩与单排悬臂桩相比，双排桩为刚架结构，其抗水平位移刚度远大于单排悬臂桩结构，其内力分布明显优于单排悬臂桩，在相同的材料消耗条件下，双排桩刚架结构的桩顶位移明显小于单排悬臂桩，其安全性、可靠性、经济性均优于单排悬臂桩，双排桩在工程实践中有很多应用，本节将其单独列出。

但现有滑坡治理规范没有双排桩计算模型和计算原理相关内容。编者在查询国内滑坡治理方面的理论文章，也鲜有相关内容。本节计算模型和计算原理参考了《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-相关内容。滑面或潜在滑面以上根据滑坡的破坏模式选择合适的下滑力计算模型进行计算，按三角形或梯形分布作用于双排桩的后排桩上，滑面以下按成层土主动土压力作用于后排桩桩上，前排桩按弹性地基梁法或结构力学位移法进行计算。今后应多积累类似工程经验并进行有关研究，丰富完善有关设计计算。

本节计算模型适用于土质和类土质滑坡工程，对于岩质滑坡或嵌固段为岩质的滑坡工程因该结构为超静定结构，应优先采用有限元软件进行整体建模计算。

12.6.7 双排桩的嵌固稳定性验算问题与单排悬臂桩类似，应满足作用在后排桩上的滑坡推力（或主动土压力）与作用在前排桩嵌固段上的被动土压力的力矩平衡条件。与单排桩不同的是，在双排桩的抗倾覆稳定性计算中，将双排桩与桩间土整体作为力的平衡分析对象。

12.6.8 双排桩的桩身内力有弯矩、剪力、轴力，因此需按偏心受压、偏心受拉构件进行计算。双排桩刚架梁两端均有弯矩，在根据《混凝土结构设计规范》GB50010 判别刚架梁是否属于深受弯构件时，按照连系梁考虑。

12.7 小口径组合抗滑桩设计计算

12.7.1 小口径组合抗滑桩由于单桩直径较小，常用于施工场地受

限，要求所选用的设备、材料运输方便，所使用的设备材料不宜过重的区域，在工程抢险阶段多有应用。但因单桩抗弯抗剪能力较弱，需要多桩协同作用、合理布局形成整体才能起到阻滑抗变形效果，多用于滑体剩余下滑力较小的滑坡治理工程中。

12.8 构造

12.8.4 1 主要考虑到用于抗滑的桩桩身截面较大，多采用人工挖孔，为了方便施工，不宜设置过多的箍筋肢数；**2** 土石分界处及滑动面处往往属于受力最大部位，本条规定桩纵筋接头避开这些部位有利于保证桩身承载力的发挥。**3** 由于抗滑桩是在地下施工的结构，桩内不能为了节省钢筋而设置弯起钢筋或为了抗剪要求设置斜钢筋，以较密的箍筋或较大的截面提高抗剪能力。

12.8.5 1 矩形桩最小边宽度不小于 1.25m 的规定是为了方便人工挖孔施工。现在新的施工设备出现有矩形孔成孔机械，矩形孔也可采用机械成孔，这矩形桩的最小边可小于 1.25m；**2** 考虑施工的安全性和施工时边坡稳定性，故做此规定；**3** 抗滑桩为大截面地下钢筋混凝土构件，在多年生产实践的基础上构造细节有特殊的规定：受力钢筋的直径不小于 20mm 是为了保证骨架具有一定的刚度；**4** 抗滑桩主筋用钢量较大时采用钢筋束，但 3 根以上的钢筋束不利于钢筋的稳定，钢筋排数太多也不利于振捣，故不要多于 3 排。**5** 净间距不小于 120mm，困难情况下不小于 80mm，是为了便于施工振捣；**6** 抗滑桩两侧及受压边构造钢筋的最小直径要求也是为了保证钢筋骨架具有一定刚度。**7** 抗滑桩大部分桩体埋于地下，较大的保护层厚度对防腐有利。

12.8.8 1 规定双排桩在不同地层的最小嵌固深度是保证抗滑体系安全稳定的最低要求。对于有多个滑面的滑坡体，应从最下的一个滑面下稳定的层的顶面计算嵌固深度。**2** 双排桩的排距、刚架梁高度是双排桩设计的重要参数，根据相关文献的报道，排距过小受力不合理，排距过大刚架效果减弱，合理的排距范围为 2~5 倍桩径（或桩的短边长度）。双排桩顶部水平位移随刚架梁高度的增大而减小，但当梁高大于 1 倍桩径（或桩的短边长度）时再增大梁高桩

顶位移基本不变。因此规定高度不宜小于 0.8 倍桩径（或桩的短边宽度），且刚架梁高度与双排桩排距比宜取 1/6~1/3 为宜。**3** 双排结构是一种刚架结构，桩顶与刚架梁的连接按刚性连接考虑，其受力特点类似于混凝土结构中的框架顶层，因此，该处的连接构造需要符合框架顶层端节点的有关规定，

12.8.9 1 小口径抗滑桩孔径较小宜采用型钢和钢管作为受力筋，这样可提高桩的抗剪和抗弯能力，当桩孔径大于 400mm 时，采用钢筋笼可保证桩的抗弯刚度又有利于降低工程费用。**2** 小口径组合抗滑桩由于孔径小，型钢、钢筋笼与孔壁之间空隙较小，采用细石混凝土有利于保证桩体施工质量，混凝土强度不宜小于 C30，这是小口径组抗滑桩抗剪需要；**3** 工程经验表明当嵌固长度达到某一值后再增加嵌固长度，组合抗滑桩抗倾覆安全系数不再增加。因此过大的嵌固长度除了增加工程造价外，并不能有效增加边坡抗滑稳定性。**4** 小口径组合抗滑桩通常与其顶部的钢筋混凝土框架梁或板连接，梁板、桩群和其间的岩土体形成复合结构共同抗滑，其作用机理较复杂，因此对于滑坡永久治理工程需要慎用。

12.9 施工

12.9.1 施工过程中大面积开挖会发现大量的地质现象和地质问题，遇到这些问题如不能及时处理，轻则影响工程进度、加大施工成本，重则造成地下突涌、基槽涌水、边坡塌方等事故，所以信息化施工十分必要。信息化施工就是将施工过程中发现的影响施工工艺、施工质量和施工参数等施工问题、异常地质现象和问题，边坡变形等监测数据及时反映给勘察、设计、监理、管理等专业人员，通过对这些信息进行交流、探讨，发现问题，调整设计及时处理，为施工管理高效决策提供依据，为下一步施工及支护、提高施工效率、避免工程事故的发生奠定基础。

12.9.2~12.9.4 近年来悬臂桩支挡结构和桩锚支挡结构常发生滑坡事故，造成重大经济损失或群死群伤事故。究其原因：

1 勘察或设计问题：勘察没有搞清边坡基本岩土结构和可能的失稳模式；设计上存在较大设计缺陷：如城市建筑中常遇到的边坡

与基坑结合如何设计的问题；施工工序要求问题；对在施工期及雨季的设计要求、重大危险源识别等问题。

2 施工中的问题：如施工过程中存在较大安全隐患且多存在不符合设计要求的问题：

(1) 对土质滑坡、类土质滑坡及顺层滑坡或牵引式滑坡，不先进行桩、锚、板的施工或强度未达到设计要求即大面积超挖；不能按照设计要求分层、分段开挖。

(2) 遇雨季不能按照设计要求开挖及支挡。

(3) 先挖去桩前土体、边坡长时间裸露问题。

(4) 遇特殊岩土滑坡。

因此强调要按照设计要求、设计的工序、有序施工十分重要。

12.9.8 很多抗滑桩桩长均较长，以往人工挖孔施工较多，人工挖孔施工时风险较大，危险因素较多，应引起足够的重视。施工时，安全措施必须到位，安全警示，安全防护、安全监测和安全检测均应满足安全施工要求。

13 桩锚结构

13.1.1 桩锚结构在河南的挖方、填方边坡等滑坡工程防治中得到广泛大量应用，故将其单独列出。

13.1.2 当采用悬臂桩支挡结构时，计算桩顶位移过大时，常在桩上加设预应力锚索（杆）或非预应力锚杆，可起到控制挡墙变形、降低桩身内力的作用。边坡现状稳定性较差时，采用预应力锚拉式桩板墙可起到边坡预加固作用，提高了滑坡施工期的安全度。

14 组合抗滑结构

14.1 一般规定

14.1.1 当遇到滑体较厚的滑坡且稳定性较差的滑坡时，往往需要分级支护设计，这种采用多级支护形式即为联合支护。二十年来随着多级滑坡的出现，组合式支挡结构应运而生，多种的组合形式已经大量应用于滑坡治理工程中，因此本标准单列一章。这里仅列举了部分组合形式。

14.1.6 椅式桩结构通过横梁将前桩和后桩刚性连接，形成整体结构，通过协调变形和受力，极大地增强了结构的整体稳定性和刚度。椅式桩结构的桩间距一般参考抗滑桩和桩锚板进行设置。对于椅式桩结构纵向间距的计算，将双排桩简化为单排桩进行粗略估算，通过计算确定最大间距或依据经验进行确定，根据相关资料相关科研成果，一般取 3~5 倍桩宽或桩径，或 5m~8m。当排距 L 极小甚至为 0 时，两排桩可视为叠合桩，其刚度为 2 倍单排桩；当排距 L 大于临界桩间距 L_0 时，滑裂面位于两桩之间；当排距为 $0 \leq L \leq L_0$ 时，由于横梁的协调作用，使椅式桩的双排桩协调工作，共同分担结构后侧土压力，随排距增加，后排桩承受的土压力减小，前排桩承受的土压力增大。

14.1.9 桩托梁悬臂式挡墙的整体刚度和强度较大，桩基具有较好的抗滑移和抗倾覆作用，最大高度可适当放宽，根据工程经验，最大不超过 10m，下部桩基可根据工程需要采用双排桩或多排桩，挡墙底板和下部桩基采用刚性连接，能更好的发挥组合结构的整体作用，增强结构的变形协调能力。以下以三门峡市区某填方和湿陷性黄土地基的滑坡工程为例说明桩基托梁挡墙的设计。

1 工程概况

拟建小区位于三门峡市区，拟建商住小区由 5 栋 18 层（地下 3 层）、20 栋 8 层、5 栋 30 层（地下 2 层）住宅楼、9 栋商业（-1 层）、地下车库（-1 层）等组成。

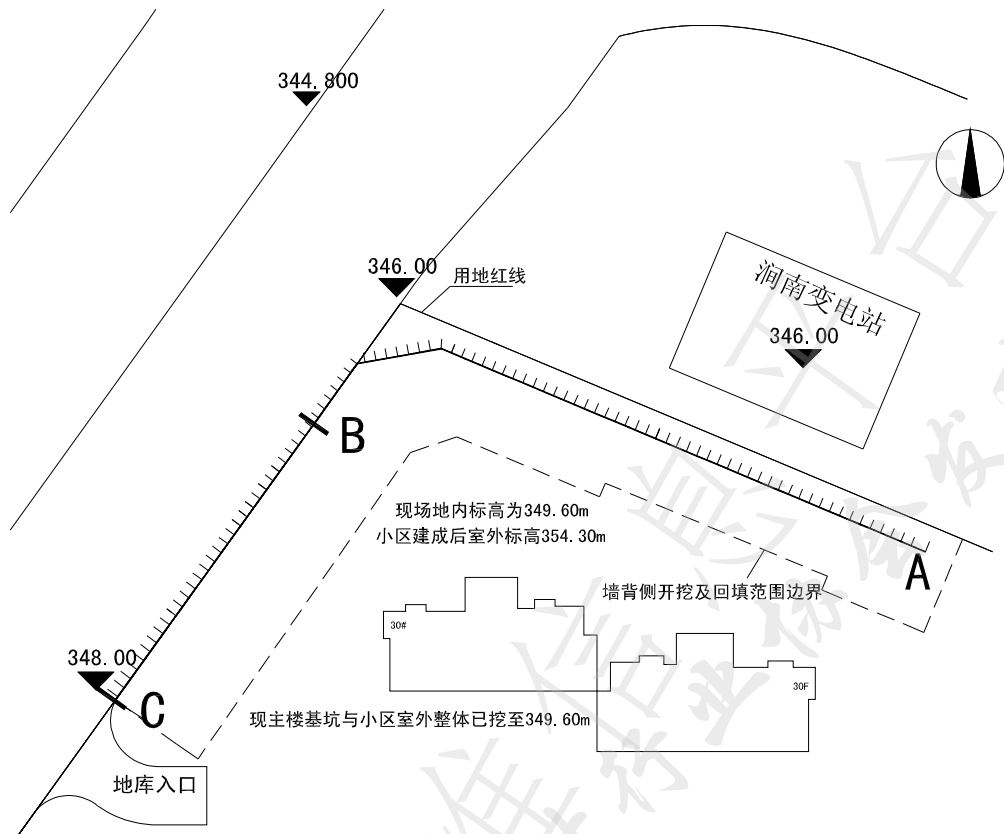


图1 边坡工程及周边环境平面分布图

2 地质条件

场地地貌单元属青龙涧河Ⅱ级阶地，场地中部、西侧黄土冲沟发育，地势由南向北逐渐降低。

原场地标高约为 354.0m，现地下车库及高层建筑施工已整体下挖至 349.6m 标高，小区建成后室外标高为 354.3m，北侧变电站室外标高为 346.0m。小区建成后室外从 349.6m 回填至 354.3m，与北侧变电站形成约 8.3m 高差，与甘棠南路形成 6.3m-8.3m 高差，形成了边坡。边坡北侧为变电站，距离约 6.1m；坡顶建筑为 28#、30#楼，30#楼距边坡 25.0m。

依据勘察资料，在边坡影响深度范围内地层主要为第四系填土、黄土状粉土、粉质黏土、卵石。

第①层 (Q_4^{ml})：素填土，褐黄色，稍湿，稍密，以粉土和粉质黏土为主，见少量砖瓦碎片，表层见少量杂填土，层底深度 3.9~6.6 m。

第②层 (Q_3^{al+pl})：粉土，褐黄色，稍湿，稍密。土质均匀，孔

隙发育，含锈黄色斑块，层底深度12.9~13.6 m。

第③层（ Q_3^{al+pl} ）：粉质黏土，浅褐红色、黄褐色，坚硬，粉粒含量较高，含锈黄色斑块及铁锰质斑点，见少量孔隙及少量钙质结核，偶见大钙质结核，粒径可达10cm，层底深度29.9m。各层土的物理力学性质见表10。

表10 各层土的物理力学性质一览表

层号	岩性	含水量 W (%)	重度 γ (kN/m^3)	孔隙比 e	液性指数 I_L	承载力 f_{ak} (kPa)	压缩模量 E_{s1-2} (MPa)	粘聚力 C (kPa)	内摩擦角 Φ ($^\circ$)	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}
12	素填土	12.0	18.9	0.875		120	8.5	8	12	0.016	0.014
②	黄土状粉土	13.6	19.3	0.789		140	13.6	16	23	0.017	0.020
③	粉质粘土	14.7	19.5	0.760	0.32	230	7.5	32	16.5	0.014	0.013

该场地湿陷性土体最大埋深 24m，湿陷等级为III级（严重）自重湿陷性。

该场地地下水埋深在现自然地表下 30.40~41.90m 之间，水位高程 319.47~320.64m。

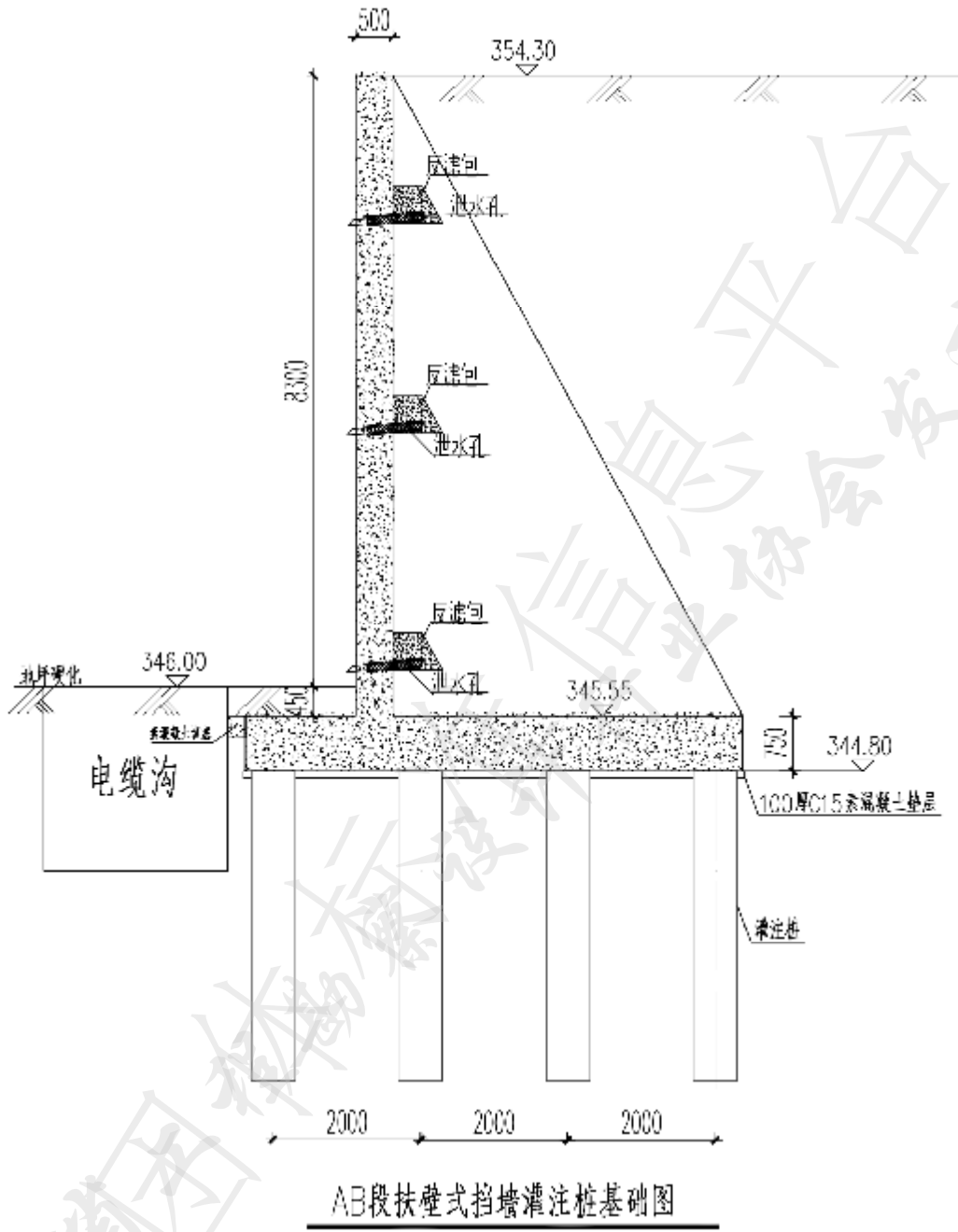
2 滑坡特征

该边坡呈拐角形，长度 141.3m，高度 6.5~8.3m，将由基坑开挖出的黄土回填而成，以往雨季曾经发生过滑塌事故。其北侧为变电站，距离约 6.1m，西侧为甘棠南路，距离约 10.0m。

3 滑坡防护方案选型与设计

滑坡高度 6.5~8.3m，北侧为变电站，根据场地建构筑物的重要性及场地有湿陷性黄土较厚的情况，选用扶臂式挡墙与灌注桩基结合的复合支挡结构，桩身涂抹石油沥青隔离层以消除湿陷。

该地段滑坡安全等级为一级，一般工况下：滑坡安全系数 $F_s=1.78 > F_{st}=1.35$ ，地震工况：滑坡安全系数 $F_s=1.53 > F_{st}=1.15$ ，满足规范要求。



其它边坡段采用灰土挤密桩基础+扶壁式挡墙，不再详述。

4 施工及运行情况概述

该工程于 2019 年 3~5 月进行施工，现已安全使用接近 4 年，经现场查勘，坡体未见明显变形，运行情况良好。

14.2 设计计算

14.2.3 本节仅列出了对桩托梁挡墙的计算方法。考虑到如土钉墙、

格构锚杆、抗滑桩、桩锚板等支护结构在本标准已有说明。这里不再列出。

14.2.11 本条仅给出了椅式抗滑桩计算模型。椅式抗滑桩结构为超静定结构，宜采用有限元软件进行整体建模计算。

14.3 构造

14.3.8 组合结构多位于室外环境，且大部分构件长期埋置在水中或土中，工作条件较为恶劣，组合结构防护的边坡或滑坡较高较大，抗滑结构失效又会造成较大的财产损失和人员伤害，故确定钢筋混凝土最低强度等级为 C35。

14.4 施工

14.4.1 组合抗滑结构的施工在本标准各章节中已经详细规定，本节不再重复。

14.4.2 重力式挡墙+锚杆格构组合抗滑结构的施工顺序的选择非常重要，是滑坡防治工程施工安全的重要环节，应引起足够重视，在下部边坡没有安全保证的情况下，严禁施工上部的重力式挡墙和墙后填土。

15 其他防护措施

15.1 一般规定

考虑到削方减载工程、回填压脚工程、锚喷防护、复合土钉墙、坡面防护、坡面绿化等在滑坡工程治理中经常采用但多为辅助手段，将其放在一章里叙述。

15.2 削方减载

一旦一个地方发生滑坡特别是推移式滑坡，为有效避免更大事故的发生，削方减载工程方案往往最早实施，在控制滑坡进一步滑塌作用明显，因此本节列出了有关内容。

15.3 回填压脚

一旦一个地方发生滑坡特别是牵引式滑坡，为有效避免更大事故的发生，回填压脚方案往往最早实施。因此本节列出了有关内容。实际上，在实施回填压脚方案时为有效控制滑坡运移，单纯的回填压脚效果不佳，实践中多与预制挡墙、多排钢管桩组合等方法以有效控制。这里对预制挡墙简要介绍。

15.4 锚喷防护

对类土质滑坡和岩质滑坡，锚喷防护比较常见，因此本节列出了有关内容。

15.5 土钉墙防护

考虑到土钉墙在豫西一些填方滑坡、黄土滑坡治理工程中已经有广泛应用，同时国标中并未有反映。如已有边坡采用土钉墙支护发生滑塌，较常见的支护方式多选用复合土钉墙修复。因此本节列出了土钉墙与复合土钉墙的设计内容。

15.6 坡面防护

坡面防护应在确保边坡稳定的基础上进行。

15.7 坡面绿化

近十几年来，由于人们生活质量的逐步提高，对环境保护与居住景观的要求越来越高，在保证建筑边坡稳定与安全的基础上，开始注重边坡工程的景观与绿化设计。对滑坡治理工程也不例外，坡面绿化始终贯彻安全、经济、美观的原则，应是坡面防护与绿化的基本原则。但应注意，一方面，坡面防护与坡面绿化应在确保滑坡稳定基础上进行，同时应与坡面防护结合进行。

16 检测、监测与验收

16.3 监测

16.3.8 监测预警应根据变形总量和变化速率两个指标进行控制。监测预警值应考虑边坡工程安全等级、滑坡工程特点及周边环境等参照表 11，并结合设计要求确定。

表 11 土质滑坡工程监测预警值

边坡工程 安全等级 监测项目	一级		二级		三级	
	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
坡面水平位移	25~40	2~4	40~50	4~6	50~80	6~12
坡面垂直位移	25~40		40~50		50~80	
坡体深层水平变形	30~50		30~50		50~100	
支挡结构和地表裂缝	新增裂缝或原有裂缝扩展					
锚杆(索)拉力	设计荷载值					
支护结构应力	设计荷载值或构件承载能力的 70%~80%取小值。					
地下水位、渗水	地下水位异常突变、出现异常渗水。					
孔隙水压力、土层含水率	超出设计限值。					

- 注：1 滑坡影响范围有重要敏感建(构)筑物时取小值。
 2 岩质滑坡取小值或进一步降低预警值取值。
 3 监测项目连续三次超过表中规定数据的 70%，或无开挖施工变化速率逐步加大时，应报警。