

河南省工程勘察设计行业协会团体标准

滑坡防治工程技术标准

（征求意见稿）

二〇二四年五月

目 次

1	总 则	5
2	术语和符号	6
2.1	术 语	6
2.2	符 号	8
3	基 本 规 定	11
3.1	一 般 规 定	11
3.2	滑坡防治工程重要性分级	12
3.3	滑坡防治设计及荷载规定	13
4	滑坡工程勘察	16
4.1	一 般 规 定	16
4.2	滑坡分类与破坏模式	16
4.3	初 步 勘 察	18
4.4	详 细 勘 察	20
4.5	勘察成果要求	23
5	滑坡稳定性分析与评价	25
5.1	一 般 规 定	25
5.2	滑坡稳定性分析和评价	25
6	滑坡防治方案比选	27
6.1	一 般 规 定	27
6.2	滑坡防治工程方案的确定	28
7	排 水 工 程	32
7.1	一 般 规 定	32
7.2	地表排水工程设计	32
7.3	地下排水工程设计	36
8	重力式挡墙	40
8.1	一 般 规 定	40
8.2	设 计 计 算	40
8.3	构 造 要 求	43
8.4	施 工 要 求	45
9	悬臂式和扶壁式挡墙	46
9.1	一 般 规 定	46
9.2	设 计 计 算	46
9.3	构 造 要 求	48
9.4	施 工 要 求	49
10	锚 索（杆）	50
10.1	一 般 规 定	50
10.2	锚索设计计算	50
10.3	构 造 要 求	52
10.4	施工要求	55

10.5	锚杆设计计算.....	57
10.6	锚杆构造要求.....	58
10.7	锚杆施工要求.....	61
11	格 构 锚 索（杆）.....	62
11.1	一 般 规 定.....	62
11.2	设计计算.....	62
11.3	构 造 要 求.....	63
11.4	施 工 要 求.....	63
12	抗 滑 桩.....	65
12.1	一 般 规 定.....	65
12.2	矩形抗滑桩设计计算.....	66
12.3	箱型抗滑桩设计计算.....	70
12.4	圆形抗滑桩设计计算.....	71
12.5	埋入式抗滑桩设计计算.....	72
12.6	双排抗滑桩设计计算.....	72
12.7	小口径组合抗滑桩设计计算.....	76
12.8	构 造 要 求.....	78
12.9	施 工 要 求.....	81
13	桩 锚 结 构.....	83
13.1	一 般 规 定.....	83
13.2	设 计 计 算.....	83
13.3	构 造 要 求.....	84
13.4	施 工 要 求.....	84
14	组合抗滑结构.....	85
14.1	一 般 规 定.....	85
14.2	设 计 计 算.....	87
14.3	构 造 要 求.....	91
14.4	施 工 要 求.....	92
15	其他防治工程.....	93
15.1	一 般 规 定.....	93
15.2	削 方 减 载.....	93
15.3	回 填 压 脚.....	94
15.4	锚 喷 防 护.....	94
15.5	土钉墙防护.....	96
15.6	坡 面 防 护.....	100
15.7	坡 面 绿 化.....	103
16	工程检测、监测与验收.....	106
16.1	一般规定.....	106
16.2	检测检验.....	106
16.3	监 测.....	108
16.4	验 收.....	110

附录 A	滑坡稳定性计算公式	112
附录 B	常用锚索结构示意图	119
附录 C	锚索（杆）设计参考值	121
附录 D	锚索格构梁计算方法	123
附录 E	抗滑桩设计参考值	126
附录 F	锚索抗滑桩计算公式	128
附录 G	箱型和矩形抗滑桩设计计算	132
附录 H	圆形抗滑桩设计计算	135
附录 I	埋入式抗滑桩设计计算	138
附录 J	小口径组合抗滑桩计算公式	140
引用标准名录		143
附：条文说明	错误!未定义书签。	

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 本标准针对正在重力变形的地质体及形成的堆积体、地质体整体变形或滑动，形成明显滑带，亦适用本标准。

1.0.3 滑坡防治设计应综合考虑环境地质条件、滑坡失稳模式、对承灾体的危害和施工条件等因素，因地制宜，科学设计，精心施工。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 滑坡 landslide

地质体在重力作用下，沿软弱结构面向下向外滑动的现象或重力滑动过程。

2.1.2 堆积层（土质）滑坡 colluvial-deposit landslide

除膨胀土、黄土、填土等特殊土之外，发生在第四系各种成因土层中，包括风化残积土，由一般土质组成滑坡体。滑动面多位于软弱土层中或基岩顶面。

2.1.3 岩质滑坡 rock landslide

根据滑坡体的物质组成为破碎岩体滑坡、层状岩体滑坡和块状岩体滑坡。

2.1.4 推移式滑坡 slumping landslide

斜坡后部岩土体变形失稳后，挤压推动前部岩土体向前滑动的滑坡。

2.1.5 牵引式滑坡 retrogressive landslide

斜坡前部岩土体发生滑动后，使得后部岩土体失去支撑，逐渐向后扩展形成的滑坡。

2.1.6 浅层滑坡 shallow landslide

滑坡体厚度在 10m 以内（含 10m）的滑坡。

2.1.7 中层滑坡 middle-level landslide

滑坡体厚度在 10~25m 之间的滑坡。

2.1.8 深层滑坡 deep seated landslide

滑坡体厚度超过 25m 的滑坡。

2.1.9 滑面 slip surface

滑坡滑动和堆积过程中的分界面，包括滑动剪出过程中形成的滑动面和超覆堆积过程中形成的滑覆面。

2.1.10 动态设计 observational design

根据施工过程揭露的地质情况和监测信息进行优化设计。

2.1.11 信息化施工 informationization construction

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

2.1.12 应急治理 emergency controlling

突破常规勘查和设计阶段划分，对出现明显变形滑动的滑坡进行快速加固。

2.1.13 稳定系数 factor of stabilization

表征滑坡抗滑稳定程度的指标，为滑坡沿滑面抗滑力（矩）与下滑力（矩）的比值，或滑面抗剪强度与剪应力的比值。

2.1.14 安全系数 factor of safety

根据滑坡防治工程等级等因素，人为规定设计需满足的安全系数，包含计算剩余下滑力时的安全储备。

2.1.15 滑坡下滑力 driving force of landslide

使滑坡体沿滑面滑动的力的总和。

2.1.16 滑坡抗滑力 resisting force of landslide

阻止滑坡体沿滑面滑动的摩擦力和其他抗力的总和。

2.1.17 剩余下滑力 residual driving force of landslide

采用不平衡推力传递法计算推力的一种方法。计算断面处的下滑力减去抗滑力的剩余值。当剩余下滑力计算值为负时，赋值为0。

2.1.18 抗滑桩 anti-sliding pile

在滑坡体及滑床中通过浇筑钢筋混凝土形成的构件（桩体），具有抵抗滑坡变形滑动的功能。

2.1.19 抗滑桩桩前抗力 resisting force at the anti-sliding pile front

抗滑桩桩前的余下条分块段（至剪出口）产生的阻滑力，为桩前剩余抗滑力和被动土压力二者之间的最小值。

2.1.20 排水工程 drainage works

在滑坡体中或外围砌筑的截水和引水沟渠、井、孔、洞室等地面和地下构筑物，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的功能。

2.1.21 锚索（杆） anchor cable(bar)

采用钢绞线（螺纹钢）将锚固力传至滑坡下伏稳定滑床的杆状构件。

2.1.22 预应力锚固 prestressed anchor

通过造孔穿过滑坡体安装钢绞线（束）、锚杆，采用注浆和张拉锁定方法预先增加抗滑力并减小下滑力，从而增加滑坡稳定性的一种主动抗滑加固技术。

2.1.23 全长黏结锚索 full-length cemented anchor cable

钻孔内部的锚索全长与注浆体黏结，无自由段的锚索。

2.1.24 自由锚索 uncemented anchor cable

锚索杆体材料一般采用无黏结钢绞线，张拉段的钢绞线与注浆体之间被塑料套管隔离而形成自由段，当锚索受力时可使自由段的应力处于均匀分布的状态。

2.1.25 格构锚杆 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，进行滑坡坡面防护，并结合锚索（杆）加固的一种治理技术。

2.1.26 支挡结构 retaining structure

利用自身重力的圬工或混凝土砌筑结构，或采用面板、肋柱、土工材料及锚索（杆）等材料与滑坡前缘土体共同组成的构筑物，以阻挡滑坡变形滑动的一种治理技术。

2.1.27 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' ——有效应力的岩土体的黏聚力；
 c_s ——边坡外倾软弱结构面黏聚力；
 j ——岩土体的内摩擦角；结构面、滑移面的内摩擦角；
 j' ——有效应力的岩土体的内摩擦角；
 j_s ——边坡外倾软弱结构面内摩擦角；
 g ——岩土体的重度；
 g' ——岩土体的浮重度；
 g_{sat} ——岩土体的饱和重度；
 g_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；
 m ——挡墙底与地基岩土体的摩擦系数；
 r ——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；

a' ——边坡坡面与水平面的夹角；

a_0 ——挡墙底面倾角；

b ——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；

d ——墙背与岩土摩擦角；

d_r ——稳定且无软弱层的岩石坡面与填土间的内摩擦角；

q ——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；

g_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设计，可分为可研阶段、初设阶段和施工图设计阶段；对于规模小、地质条件简单的滑坡，可直接进行施工图设计。

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

3.1.3 滑坡防治工作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。

3.1.4 对于在地震作用下，抗剪强度降低大于 15%时的土质滑坡，可采用基于数值分析的动力极限平衡法或动力强度折减法进行稳定性分析。滑坡体地下水渗流稳定性可采用非稳定流数值模拟法进行分析。

3.1.5 对后缘有陡倾裂隙且含水的岩质滑坡，应考虑降雨入渗在后缘裂隙形成的静水压力。对滑面底部分布有裂隙含水层的岩质滑坡，应考虑降雨入渗后形成的扬压力。

3.1.6 滑坡防治设计工作应贯穿防治工程的全过程，从接受任务起至工程竣工止。滑坡防治设计应进行动态设计，根据地质条件及监测信息变化，及时进行设计变更或补充。

3.1.7 可行性方案论证应在充分研究滑坡工程地质勘查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、社会和环境效益等论证，并编制工程估算；提交可行性方案论证报告及附图册。

3.1.8 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、论证和比选；提出具体工程实现步骤和有关工程参数，进行结构设计，编制相应的报告及图件，编制工程概算；提交初步设计报告及设计附图册。

3.1.9 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；编制工程施工图件及说明，编制工程预算；提交施工设计图册及施工图说明书、预算书等。

3.1.10 应急治理工程设计可简化上述设计阶段。

3.1.11 对于特级、I级及地质条件复杂的II级滑坡防治工程，在开始勘察阶段即应开始监测，编制监测设计。

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

3.1.13 滑坡防治设计应对施工可行性进行论证，合理安排施工顺序，制定切实可行的工期，保障工程安全运行。

3.1.14 在对滑坡工程勘察前即应结合滑坡工程特点、已有监测点布置等，完善或补充监测点并开始监测工作。

3.1.15 对滑坡防治工程应结合工程防治特点进行工程检测。

3.2 滑坡防治工程重要性分级

3.2.1 滑坡防治工程重要性等级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。

3.2.2 受滑坡威胁的各类设施重要性分类按表 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 滑坡工程勘察等级

滑坡工程 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 滑坡防治设计及荷载规定

3.3.1 滑坡防治设计的荷载组合应根据具体情况对特殊组合增加附加荷载和其他荷载。

1 荷载类型：

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：

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

1) 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。

2) 滑坡防治设计的荷载组合应根据具体情况对特殊组合增加附加荷载和其他荷载。

3.3.2 降雨荷载强度标准

1 降雨荷载应根据 20~100a 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

防治工程重要性分级	降雨强度重现期/a
特级	专门论证
Ⅰ级	100
Ⅱ级	50
Ⅲ级	20

3.3.3 滑坡防治工程安全系数应根据滑坡防治工程等级按照表 3.3.3 确定。

表 3.3.3 滑坡防治工程安全系数取值

滑坡防治工程等级	Ⅰ级		Ⅱ级		Ⅲ级
一般工况安全系数	1.3	1.2	1.2	1.15	1.15 1.10
校核工况安全系数	1.05		1.03		1.01

注：特级工程安全系数应专门研究确定。

3.3.4 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 3.3.4 选取。

表 3.3.4 抗滑稳定设计安全系数取值

防治等级	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。

3.3.5 地震荷载采用的加速度应按 50a 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 50a 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 3.3.5，设计基本地震加速度选取应符合 GB 18306 规定。

表 3.3.5 综合水平地震系数取值

设计基本地震加速度 a_h	不考虑	0.1g	0.15g	0.2g	0.3g
综合水平地震系数 a_w	0	0.025	0.0375	0.050	0.075

2 设计基本地震加速度为 0.2g 及以上，且位于地震断裂带 15.0 km 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：

$$F_{hi} = a_w W_i a_i \quad (3.3.5-1)$$

$$F_{vi} = F_{hi} / 3 \quad (3.3.5-2)$$

式中： F_{hi} ——滑块 i 的水平向地震荷载（N）；

a_w ——综合水平地震系数，即： $a_w = a_h \xi / g$ ；

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 滑坡工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 滑坡工程勘察一般应分阶段进行，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。

4.1.2 滑坡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，并采取相应勘探手段进行分析、评价。

4.1.3 特殊土滑坡除应进行常规勘察外，尚应结合滑坡工程特点选择合适的勘察手段进行针对性勘察。

4.2 滑坡分类与破坏模式

4.2.1 滑坡分类

1 根据滑坡体的物质组成和结构形式等主要因素，对滑坡进行以下分类：

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。

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。

2 按照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。

3 按照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 堆积层滑坡的滑面包括两种滑面类型：

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（Morgenstern-Price 法）进行稳定性校核；

2 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。

4.2.3 黄土滑坡的深层破坏形式包括崩塌、滑坡等；破坏模式为圆弧形、折线形、直线形或复合形等。其坡面破坏形式有冲刷、剥落、雨淋沟等。

4.2.4 膨胀土的深层破坏形式包括坍塌、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。其坡面破坏形式有剥落、冲刷、雨淋沟、膨胀变形、干缩等。

4.2.5 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。其坡面破坏形式有冲刷、雨淋沟等。

4.2.6 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；其坡面破坏形式有剥落、风化等形式。

4.2.7 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，岩质滑坡的常见破坏形式包括坡面破坏、坡体破坏。坡体破坏形式包括滑落、崩塌、倾倒等；坡面破坏形式包括碎裂、风化等。按照破坏模式可分为直线型滑坡、楔形体滑坡及崩塌等。具体可按照按表 4.2.7 划分。

表 4.2.7 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	沿外倾结构面滑移，分单面滑移与多面滑移
		软弱结构面的岩体	
	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 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，在此基础上进行初步的稳定性评价。

4.3.2 滑坡初步勘察的任务是为滑坡治理工程初步设计提供可靠的岩土参数和岩土工程资料。具体任务如下：

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、滑坡变形特征等；初步查明区内滑坡体的成因、范围、类型、规模，岩土结构组成及岩性特征；初步查明覆盖层厚度、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参数。

8 通过对勘察成果资料的分析和稳定性验算，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。

9 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议。

4.3.3 滑坡主勘探线应沿主滑方向布置，一个滑坡应不少于 1~3 条勘探线，主勘探线应不少于三个勘探点，包括滑坡后缘、滑坡中部及滑坡前缘各不少于一个勘探点。同一个滑体有多个次级滑坡时，每个次级滑坡体应有勘探点、线控制。

4.3.4 滑坡勘探方法应结合滑坡类型、岩土体结构特点进行，包括钻探、静探、井探、标贯、动探、取土水样及各类原位测试工作。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。对滑坡勘探点的间距要求见表 4.3.4。

表 4.3.4 初步勘察的勘探线、点间距

滑坡工程安全等级	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 滑坡工程勘探点深度应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，对探井进入滑面深度即可。

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，其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。主要土层采集试样数量：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，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 计算土压力和抗倾覆计算时，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 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 对滑动面（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 滑坡工程勘察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。

4.3.11 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 滑坡或潜在滑坡详细勘察应在初步勘察成果基础上进行。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查、计算和分析，在此基础上进行稳定性评价，重点是计算剩余下滑力，并提出针对滑坡工程的治理、支挡、排水等总体治理措施。

4.4.2 滑坡或潜在滑坡详细勘察的任务是为滑坡治理工程施工图设计提供可靠的岩土参数和岩土工程资料。具体任务如下：

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，评价其对斜坡稳定的影响。

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和稳定性验算，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 滑坡主勘探线应沿主滑方向布置，一个滑坡应不少于 2~3 条勘探线，主勘探线应不少于三个勘探点，包括滑坡后缘、滑坡中部及滑坡前缘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。

4.4.4 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，包括钻探、静探、井探、标贯、动探、取土、取水样。在详细勘察阶段，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见表 4.4.4。

表 4.4.4 详细勘察的勘探线、点间距

滑坡工程安全等级	勘探线间距 (m)	勘探点间距 (m)
一级	≤50	10~15
二级	50~70	15~20
三级	70~90	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。

4.4.5 滑坡工程勘探点深度应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，对探井进入滑面深度即可；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，其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。主要土层采集试样数量：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，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 用于土质边坡，在计算土压力和抗倾覆计算时，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。

4.4.9 对滑动面（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。

4.4.10 进行工程经验类比时应选用已经竣工治理效果良好的类似工程。

4.4.11 抗剪强度指标的反分析应在具备条件的情况下进行，并结合滑坡所处演变阶段进行，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 滑坡工程勘察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。

4.4.13 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。

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

4.4.15 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，重点是复核滑带所在位置及地质特征，为设计变更提供地质依据及相应的地质参数。

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。一般由以下几个部分组成：

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，注水试验等与岩土渗透性，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 附图及附件一般包括勘探点平面布置图、滑坡工程地质剖面图、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 对滑坡的稳定性分析与评价应采用定性与定量结合，先定性再定量的评价方法。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的滑坡或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，不宜采用显式解，具体可按 GB 50330 和 GB 50021 规定计算。

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 滑坡稳定性分析和评价

5.2.1 进行滑坡稳定性计算前，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。应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，还应分析前方滑体滑动后后方滑体滑动的可能性。

5.2.3 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 计算均匀土质滑坡、破碎或极破碎岩质滑坡的稳定性时，可采用圆弧形滑面进行稳定性评价。

5.2.5 计算沿结构面滑动的抗滑稳定性时，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 对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，对各个可能的滑动面均应进行稳定性计算。

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 工程滑坡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综合考虑。治理方案选择应采用综合治理措施包括支挡、锚固、减载、压脚等一种或多种方案进行可行性论证：

1 排水：对地下水丰富的滑坡，应采取有效的地表排水和地下排水措施；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；必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，疏排滑体及滑带渗水。

2 支挡：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。其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地段。

3 刷方减载：对推移式滑坡宜刷方减载，一般在滑坡的主滑段实施；

4 反压：对牵引式滑坡宜进行反压及其他设计措施。反压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以提高滑坡的稳定性；同时应加强反压区地下水引排；

5 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 设计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 设计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上述设计阶段。

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 设计方案宜采用新技术、新方法，以提高滑坡防治的技术水平。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 设计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 设计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相结合的方案。

6.1.8 设计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 滑坡防治工程方案的确定

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的比选。应对滑坡的危害及防治工程的必要性进行论证，进行两个或两个以上工程方案的比选。方案比选应从技术、经济两方面进行综合确定，其中，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结构设计。

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深坑、深井等作业；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。常见的滑坡治理方案见表 6.2.4。

表 6.2.4 滑坡治理支护结构常用形式

序号	支护形式	适用条件	备注
1	重力式挡土墙	场地允许，坡顶无重要建（构）筑物	不利于控制滑坡变形

序号	支护形式	适用条件	备注
2	悬臂式和扶壁式挡墙	场地允许, 坡顶无重要建(构)筑物	不利于控制滑坡变形
3	格构锚杆(索)		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		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。

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	可从数米到 20m。	多与生态护坡结合。
2	各类挡土墙如重力式挡墙、扶壁式挡墙、衡重式挡墙等。	一般高度 5~8m 不等; 当边坡不太高时土体本身稳定时多采用;	1 当高度较大时, 对墙底承载力要求高; 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	一般不超过 12m	
4	1 复合式挡土墙如桩基托梁挡土墙; 2 挡土墙与锚杆(索)复合;	高度可大于 10~15m;	当需要对已有挡土墙加固时
5	组合式护坡: 如上部挡土墙或多级放坡、下部锚拉桩结	可分级支护, 高度可大于 15m 及以	

序号	支护形式	适用条件	备 注
	构；	上，分级高度多在10m左右；	
6	锚索格构梁类	可数十米到数十米	控制滑坡变形较好
7	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
8	桩锚结构	一般不大于20m	控制滑坡变形较好；
9	工程措施与生物措施结合		

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常见的坡体支护形式见表 6.2.6。

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	可达数米	可与生态护坡结合
2	各类挡土墙如重力式挡墙、压脚墙	一般高度不大于3m	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	10m左右	一般对弱膨胀土
4	挡土墙与锚杆（索）复合	高度可大于10~15m	
5	抗滑桩	一般高度10m左右	
6	联合支护：如上部复合土钉墙、下部挡土墙等	可分级，高度可大于10m以上，但分级高度多10m左右	
7	桩锚结构	不大于10m	控制滑坡变形较好
8	锚索格构梁	可达数十米	控制滑坡变形较好
9	工程措施与生物措施结合类护坡		有生物措施时坡率应缓

6.2.7 类土质滑坡常见的坡面变形防护有浆砌片石防护、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 岩质滑坡的常见支护形式见表 6.2.8。

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, $H \leq 15$	岩质滑坡
2	格构锚杆 (索)	挖方区, 土岩组合滑坡, $H \leq 15$ 岩质滑坡, $H \leq 40$	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, $H \leq 15$ 岩质滑坡, $H \leq 40$	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, $H \leq 40$	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	挖方区, 适用高度更大	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、工程地质、水文地质条件及降雨条件进行，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、钻孔排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，提高排水效果和效益。

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相协调，并有合适的排水接入口。

7.2 地表排水工程设计

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：

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

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

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

式中符号意义同式 (7.2.2)。

7.2.4 排水沟断面形状可为矩形、梯形、复合型等 (图 7.2.4)。梯形、矩形断面排水沟, 易于施工, 维修清理方便, 具有较大的水力半径和输移力, 在滑坡防治排水工程设计时应优先考虑。

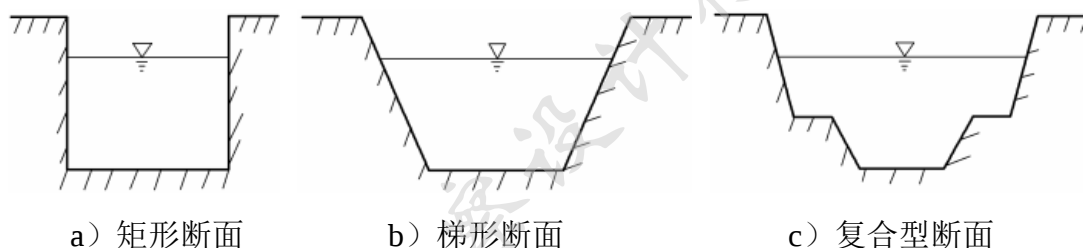


图 7.2.4 排水沟主要断面形状示意图

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	容许最大流速 (m/s)	明沟类型	容许最大流速 (m/s)	明沟类型	容许最大流速 (m/s)	明沟类型	容许最大流速 (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

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（ m^2 ）。

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，用典型横断面优化沟的平面位置，避免外坡内挖过大。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，且尽早排入两端人工或自然沟道。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，还应进行抗冲刷计算，包括：

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，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 排水沟的设置还需注意以下几点：

1 排水沟可用浆砌片石或块石砌成，但地质条件较差，如坡体松软段，应采用毛石混凝土、混凝土或耐久性更好的材料修砌；

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。毛石混凝土或素混凝土的标号，宜用 C15；

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 当滑坡体上或滑坡后缘（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。

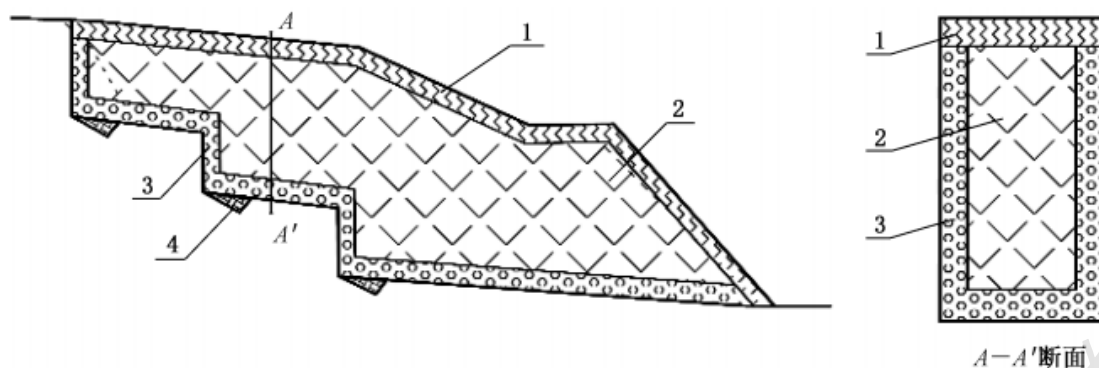
7.3 地下排水工程设计

7.3.1 地下排水工程可采用排水孔、隧洞、盲沟、排水带、集水井或以上组合措施。

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延伸进湿地内，达到疏干湿地内上层滞水的目的。

7.3.3 盲沟的最大深度宜小于 10m，纵坡大于 5%。填石渗水盲沟应采用不含泥的块石、碎石填实，两侧和顶部用砂砾石和土工织物做反滤层。

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



说明：1——大块干砌片石；2——干砌片石；3——反滤层；4——浆砌片石。

图 7.3.4 地下排水支撑盲沟示意图

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，盲沟之间中心间距宜控制在 6~15m 之间。

7.3.6 支撑盲沟基底应埋入滑面以下稳定岩层 0.5m，前端辅以挡土墙或片石垛。

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：

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

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：

$$P_z = g h L_m b \tan j' \quad (7.3.7-2)$$

式中： P_z ——盲沟支撑力 (kN)。

式中其余符号意义同式（7.3.7-1）。

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。截水盲沟的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公式。

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（ m^3/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 大型或大型以上的滑坡，若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。

1 排水隧洞宜布置在滑面之下的稳定岩层内。

2 排水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。

5 排水隧洞顶部的竖直集水井或钻孔的排水能力可用式

(7.3.10) 计算:

$$Q_1 = \frac{1.36K(2H - S_w)S_w}{\lg \frac{d}{pr_w} + \frac{1.3b_1b_2}{db}} \quad (7.3.10)$$

式中: Q_1 ——单井(孔)涌水量 (m^3/d);

K ——渗透系数 (m/d);

H ——水头或潜水含水层厚度 (m);

S_w ——排水孔中水位降深 (m);

d ——井距的一半 (m);

r_w ——井半径 (m);

b_1 ——井排至排泄边界的距离 (m);

b_2 ——井排至补给边界的距离 (m)。

7.3.11 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,可采用仰斜式排水孔进行排水。

7.3.12 仰斜式排水孔仰角宜为 $10^\circ \sim 15^\circ$, 孔径为 $50 \sim 130\text{mm}$ 。宜采用具反滤功能的排水软管。

8 重力式挡墙

8.1 一般规定

8.1.1 重力式抗滑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。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。

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 当挡墙地基承载力较差时，宜采取与地基处理相结合的工程措施。

8.2 设计计算

8.2.1 重力式抗滑挡墙土压力计算应符合下列规定：

- a) 作用在墙背上的主动土压力，可按库仑土压力理论计算；
- b) 抗滑挡墙前部的被动土压力，一般可不考虑；当基础埋置较深、地层稳定时，结合墙身位移条件，可采用 $1/3 \sim 1/2$ 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 重力式抗滑挡墙所承受的滑坡推力计算见附录 A 的有关规定。

8.2.3 重力式挡土墙设计安全系数应满足：

- a) 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 $F_t \geq 1.6$ ；
- b) 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 $F_t \geq 1.4$ ；
- c) 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 重力式挡土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：

- a) 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:

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

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 ($^\circ$);

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

μ ——岩土对重力式挡土墙基底的摩擦系数;

P ——作用在重力式挡土墙上的滑坡推力 (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 ($^\circ$)。

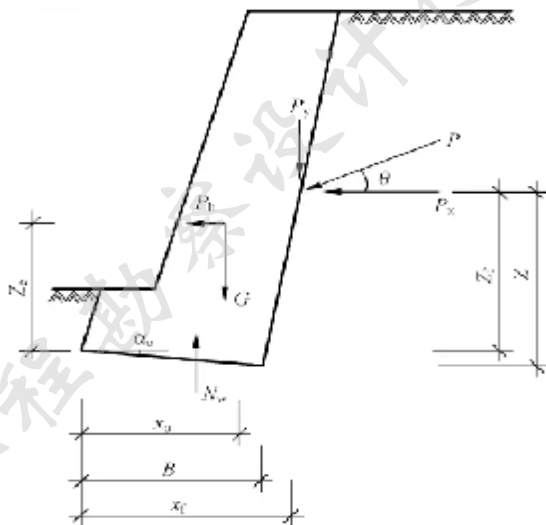


图 8.2.4 重力式抗滑挡墙稳定性计算简图

b) 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:

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

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。当挡土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。

c) 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:

$$F_s = \frac{[(G + P_y) \cos a_0 + (P_x + P_h) \sin a_0] m}{(P_x + P_h) \cos a_0 - (G + P_y) \sin a_0} \quad (8.2.4-3)$$

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

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。挡土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;

a_w ——综合水平地震系数, 按表 3.3.5 取值。

8.2.5 挡土墙抗倾覆稳定安全系数 F_t , 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 挡土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 基底平均压应力不应大于基底的地基承载力特征值, 其中, 基底压应力应按式 (8.2.7-1) ~ 式 (8.2.7-3) 计算:

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

$$\text{当 } e > \frac{B}{6} \text{ 时, } s_1 = \frac{2\sum N}{3c}, s_2 = 0 \quad (8.2.7-2)$$

$$\text{当 } e < -\frac{B}{6} \text{ 时, } s_1 = 0, s_2 = \frac{2\sum N}{3(B-C)} \quad (8.2.7-3)$$

式中: σ_1 ——挡土墙墙趾部的压应力 (kPa);

σ_2 ——挡土墙墙踵部的压应力 (kPa)。

8.2.8 墙身截面强度验算应符合下列要求:

a) 验算截面的合力偏心距 e :

当按设计工况计算时: $|e| < 0.3B'$;

当按校核工况计算时: $|e| < 0.35B'$ 。

式中: B' ——墙身截面宽度 (m)。

b) 验算截面的法向压应力, 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, 并应验算不计材料拉力时受压区应力重分布的最大压应力, 其值不得大于抗压强度设计值;

c) 墙身截面宜作抗剪验算。

8.3 构造要求

8.3.1 重力式抗滑挡墙基础埋置深度应大于当地标准冻深线, 在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。当墙底有软弱土、湿陷性土时应采取地基处理措施。

8.3.2 重力式抗滑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 重力式抗滑挡墙墙胸宜采用 1:0.3~1:0.5 坡度。墙高小于 4.0m 时, 可采用直立墙胸, 地面较陡时, 墙胸坡度可采用 1:0.2~1:0.3。

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 重力式抗滑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 重力式抗滑挡墙背侧应设置 200~400mm 厚的反滤层，采用透水性材料。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 重力式抗滑挡墙中水平方向和竖直方向每隔 1~5m 应设置泄水孔，呈“品”字型排列，泄水孔直径不小于 100mm。

8.3.8 挡墙后面的填土，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。在季节性冻土地区，不应采用冻胀性材料做填料。不宜采用粘土作为填料。严禁采用淤泥质土、淤泥、腐殖土、膨胀土等软弱有害的岩土体作为填料。应进行墙后填料的土质试验，确定填料的物理力学指标。当缺乏可靠试验数据时，填料内摩擦角 φ 可参照表 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 j_0 (°)	内摩擦角 j (°)	重度 (kN/m ³)
粘性土	墙高 $H \leq 6\text{m}$	35~40	——	17~18
	墙高 $H > 6\text{m}$	30~35	——	
碎石、不易风化的块石		——	45~50	18~19
大卵石、碎石类土、不易风化的岩石碎块		——	40~45	18~19
小卵石、砾石、粗砂、石屑		——	35~40	18~19
中砂、细砂、砂质土		——	30~35	17~18

注：填料重度可根据实测资料作适当修正，计算水位以下的填料重度采用浮重度。

8.3.9 重力式抗滑挡墙，墙长每间隔 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 重力式抗滑挡墙高出地面 2m 且周边临近学校、居民区、道路，常有行人活动可能存在安全隐患的，墙顶应设置安全护栏。

8.4 施 工 要 求

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尽可能平整，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 M7.5 砂浆勾缝。

8.4.3 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 重力式抗滑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 重力式抗滑挡墙应分段、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以下不小于 1m 的稳定岩土层内，当墙基下为软弱土、特殊土分布时，应结合地质条件采取挡土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、扶壁式挡土墙应满足本标准第 5.2 节中稳定性评价的规定。

9.2.2 挡土墙作用（或荷载）的计算应满足本标准第 8.2 条的要求，计算挡土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 重力式抗滑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。

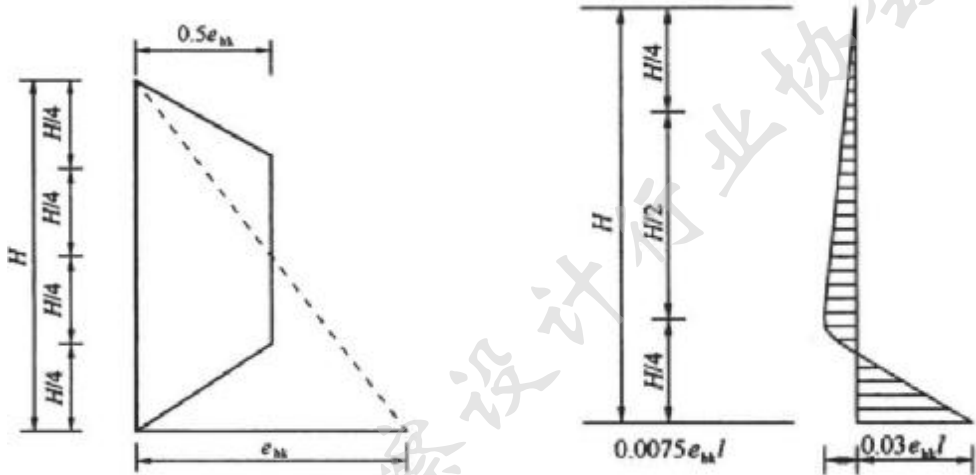
9.2.6 计算挡墙实际墙背和墙踵板的土压力时，可不计填料与板间的摩擦力。计算立板内力时，侧向压力分布可按图 9.2.6 确定。

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；

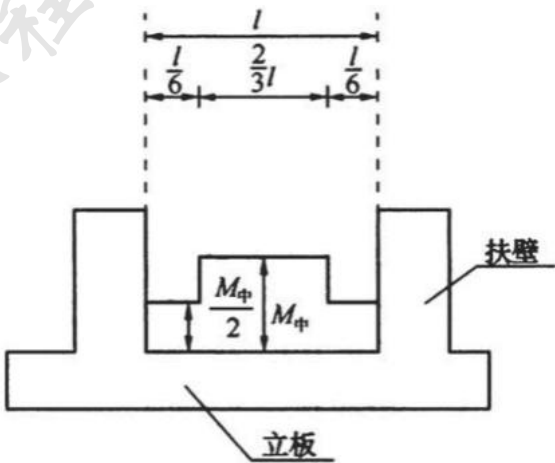
- 1 立板和墙踵板可根据边界约束条件按三边固定、一边自由的板或以扶壁为支点的连续板进行计算。
- 2 墙趾底板可简化为固定在立板上的悬臂板进行计算。
- 3 扶壁可简化为 T 形悬臂梁进行计算，其中立板为梁的翼缘，扶壁为梁的腹板。

9.2.8 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的抗滑、抗倾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。



(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

图 9.2.6 扶壁式挡墙侧向压力分布图

$M_{\text{中}}$ —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

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。

9.2.10 计算抗滑挡墙整体稳定性和墙面板的内力时，可不计墙前土的作用，计算墙趾板内力时，应计算底板以上填土的重力。

9.3 构造要求

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 扶壁式挡土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 的相关标准执行。

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 扶壁式抗滑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 要 求

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土墙结构的施工。

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，施工时应避免填土对扶壁式挡墙的不利影响。

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。

9.4.6 扶壁间回填宜对称实施，施工时应控制填土对扶壁式抗滑挡墙的不利影响。

10 锚 索（杆）

10.1 一 般 规 定

10.1.1 锚索主要包括全长黏结锚索、自由锚索和压力分散型锚索三类。

10.1.2 锚索（杆）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 当滑坡体为堆积层或土质滑坡时，锚杆应与钢筋混凝土格构等支挡结构组合使用。

10.1.4 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。

10.1.5 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宜采用压力分散型锚索进行锚固。

10.1.6 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。

10.1.7 对采用新的锚杆结构型式或无类似锚固经验地层中的锚杆，应进行现场试验且试验数量不应少于 3 根。

10.2 锚索设计计算

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：

$$L_a \geq \frac{F_b T_k}{np df_{ms}} \quad (10.2.4-1)$$

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

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} ——注浆体与锚索界面黏结强度设计值（MPa），取值参见附录 C；

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

D ——锚索锚固段钻孔直径（mm）。

10.2.5 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。

10.2.6 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。

10.2.7 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。

10.2.8 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。

10.2.9 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

考虑垂直滑面产生的法向阻滑力。

10.2.10 单元锚索的预应力钢绞线的根数应按式（10.2.10）确定：

$$n = \frac{F_b \cdot T_k}{h_m \cdot F_m} \quad (10.2.10)$$

式中： n ——组成锚索的钢绞线根数（根）；

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）；

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）。

10.2.11 锚索设置倾角宜在 $\pm 10^\circ$ 范围之外。当锚索设置倾角在 $\pm 10^\circ$ 范围之内时，应采用专门止浆措施确保锚索注浆体饱满连续。

10.2.12 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 构造要求

10.3.1 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，可使用无黏结预应力钢绞线、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。

10.3.2 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/T 14370 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%。

10.3.3 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。

10.3.4 波纹管主要用于锚索防腐，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。

10.3.5 锚具的选用应符合下列规定：

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。

10.3.6 锚索的垫墩和垫板应满足下列要求：

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。

10.3.7 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℃ 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。

10.3.8 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黏结预应力钢绞线;

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;

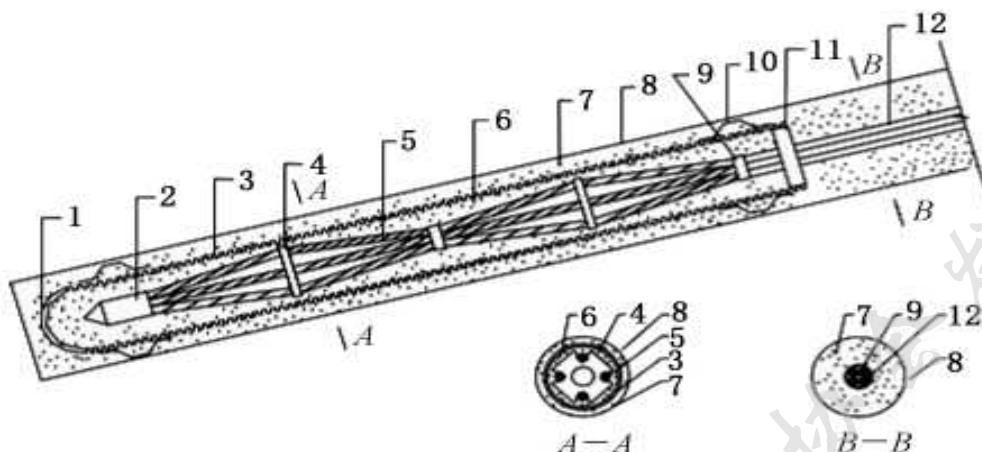
3) 当采用聚乙烯或聚丙烯软塑料管制作钢绞线的隔离防护层时, 钢绞线应自带防锈涂层;

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 锚索锚固段防腐应符合下列要求:

- 1) 锚固段的防护套管应使用塑料波纹管，塑料波纹管应符合 10.3.4 的规定；
- 2) 锚固段防腐系统可参见图 10.3.8。



- 1——端盖；2——导向帽；3——波纹管；4——对中隔离支架；5——钢绞线；
6——内部注浆体；7——外部注浆体；8——钻孔；9——束线环；10——
——对中支架；11——密封环；12——PE 钢绞线。

图 10.3.8 预应力锚索锚固段防腐示意图

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) 对于全长黏结锚索，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。

10.4 施工要求

10.4.1 锚索钻孔施工应遵守以下一般规定：

- 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规定：

1 当在土体中进行压力注浆时，锚固段上覆地层注浆压力不宜大于 0.1MPa。

2 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；

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 锚索张拉应满足以下要求：

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。

10.5 锚杆设计计算

10.5.1 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。

10.5.2 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。

10.5.3 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。

10.5.4 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。

10.5.5 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。

10.5.6 锚杆的杆体截面积应按式（10.5.6）计算确定：

$$A_s \geq \frac{F_b \cdot T_k}{f_y} \quad (10.5.6)$$

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）。

10.5.7 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%。

10.6 锚杆构造要求

10.6.1 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。

10.6.2 锚杆杆体可使用普通钢材、精轧螺纹钢和纤维增强塑料。

10.6.3 灌浆材料性能应符合下列规定：

- 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 浆体配制的灰砂比宜为 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。

10.6.4 锚具应符合下列规定：

- 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。

10.6.5 套管材料和波纹管应符合下列规定：

- 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。

10.6.6 防腐材料应符合下列规定：

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。

10.6.7 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。

10.6.8 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。

10.6.9 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。

10.6.10 锚杆的倾角宜采用 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，并应避免对相邻构筑物产生不利影响。

10.6.11 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。

10.6.12 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。

10.6.13 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。

10.6.14 永久性锚杆的防腐蚀处理应符合下列规定：

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。

10.6.15 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。

10.7 锚杆施工要求

10.7.1 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。

10.7.2 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。

10.7.3 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，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。

10.7.4 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。

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，对软弱土质滑坡、填土滑坡应慎重分析后选用。

11.1.2 当滑坡体较厚时，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，锚固长度应满足 10.2 节的规定。

11.1.3 当滑坡厚度不大时，可采用钢筋混凝土格构+锚杆进行滑坡防护，锚杆设计应满足 10.5 节的规定。

11.1.4 格构锚杆包括预应力锚杆和非预应力锚杆，非预应力锚杆适用于中浅层土体滑坡。

11.1.5 格构梁中的竖向梁基础应嵌固于坡脚稳定地层中，并与基础有效连接。

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见附录 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，不应大于地基容许承载力。

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 构造要求

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要求：

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 C25，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，填充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，坡面防护应照本标准 15 章规定处理。

11.4 施工要求

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。

4 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。

5 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 格构梁的实际尺寸不应小于设计值，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式抗滑桩；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的大小、桩间距、桩顶位移量以及嵌固段地基的横向容许承载力等因素确定。

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 当滑坡体厚度大、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 当滑坡体地下水较为丰富，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。

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 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。

12.1.6 抗滑桩（含双排抗滑桩）桩顶位移应小于悬臂段长度的 $1/100$ ，且不宜大于 100mm 。抗滑桩地面处桩的水平位移不宜大于 10mm 。

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，桩间距宜为 $2\sim 5$ 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）。

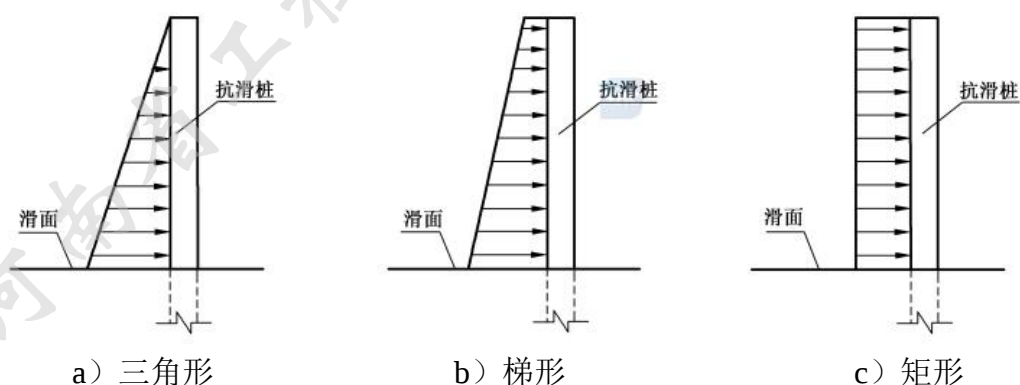


图 12.2.4 作用于抗滑桩上的滑坡推力分布型式

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，不应计其抗力。

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，应根据地基的横向容许承载力确定，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容许承载力。地基的横向容许承载力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，地基的横向容许承载力可按式（12.2.10-1）计算：

$$[s_H] = K_H h R \quad (12.2.10-1)$$

式中： $[s_H]$ ——地基的横向容许承载力（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容许承载力,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 点的横向容许承载力可按式 (12.2.10-2) 计算:

$$[s_H] = \frac{4}{\cos j} [(g_1 h_1 + g_2 y) \tan j + c] \quad (12.2.10-2)$$

式中: $[\sigma_H]$ ——地基的横向容许承载力 (kPa);

φ ——滑面以下土体的内摩擦角 ($^\circ$);

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 点的横向容许承载力可按式 (12.2.10-3) 计算:

$$[s_H] = 4(g_1 h_1 + g_2 y) \frac{\cos^2 i \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 j_0}}{\cos^2 j_0} \quad (12.2.10-3)$$

式中: $[\sigma_H]$ ——地基的横向容许承载力 (kPa);

i ——地面横向坡度 ($^\circ$);

φ_0 ——滑面以下土体的综合内摩擦角 ($^\circ$);

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:

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

式中: β ——桩的变形系数 (m⁻¹)

K ——地基系数 (kPa/m), 参见 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）， $E=0.85E_c$ ，参见

GB50010--的 7.2.3 条和 JGJ94- 的 5.7.2 条；

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 矩形抗滑桩的结构应按承载能力极限状态设计，包括抗弯和抗剪等，设计验算应符合下列规定：

1 抗弯和抗剪应按式（12.2.12-1）进行验算。

$$S_d \leq R_d \quad (12.2.12-1)$$

式中： S_d ——结构作用效应设计值，包括弯矩、剪力等；

R_d ——结构抗力设计值，包括抗弯力、抗剪力等。

12.2.13 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。

12.2.14 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（12.2.14-1）、式（12.2.14-2）计算确定：

$$V_{cs} = 0.7f_tbh_0 + 1.5f_{yr} \frac{A_{sr}}{s} h_0 \quad (12.2.14-1)$$

且要满足条件

$$0.25f_c b h_0 \geq K_2 V \quad (12.2.14-2)$$

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/mm²）

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/mm²），取值不应大于310N/mm²；

A_{sr} ——配置在同一截面内箍筋的全部截面面积（mm²）；

S ——抗滑桩箍筋间距（mm）；

f_c ——混凝土轴心抗拉强度设计值（N/mm²）；

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）。

12.2.15 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

$$\text{弯矩} \quad M = K_1 e_{xi} l^2 / 8 \quad (12.2.15-1)$$

$$\text{剪力} \quad V = K_1 e_{xi} l / 2 \quad (12.2.15-2)$$

式中： M ——板的跨中弯矩设计值（kN.m）；

V ——板各端的剪力设计值（kN）；

K_1 ——土压力荷载分项系数，一般取1.2；

e_{xi} ——第*i*类板块计算的水平土压力（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，参见附录 G。

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 0.6m，桩间距宜为 2~5 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 12.2 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：

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

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

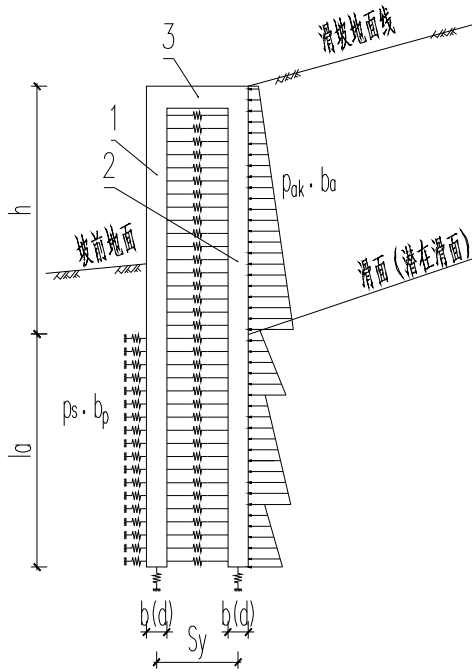
12.5.1 埋入式抗滑桩的设计宜采用有限元强度折减法进行，计算公式参见附录 I。

12.5.2 埋入式抗滑桩可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。

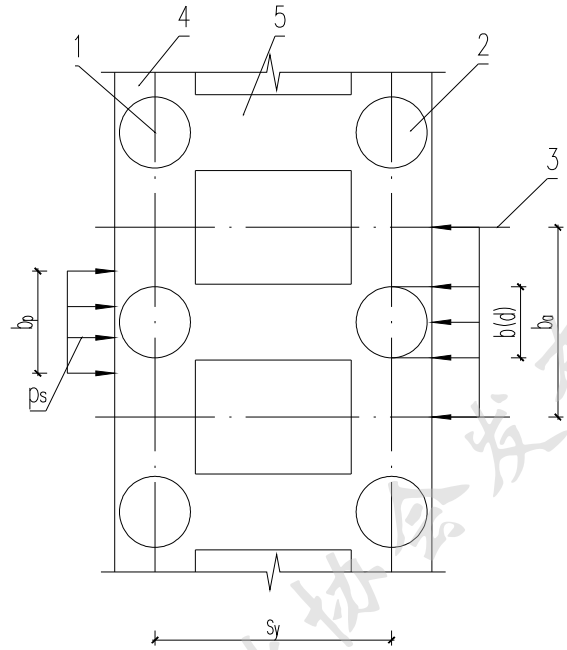
12.6 双排抗滑桩设计计算

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

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

对于水土分算的土层

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

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

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（°）；

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/m³)；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直；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

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

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

对于方形桩

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

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

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列公式计算：

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

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：

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

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

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

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

对于水土分算的土层

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

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

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

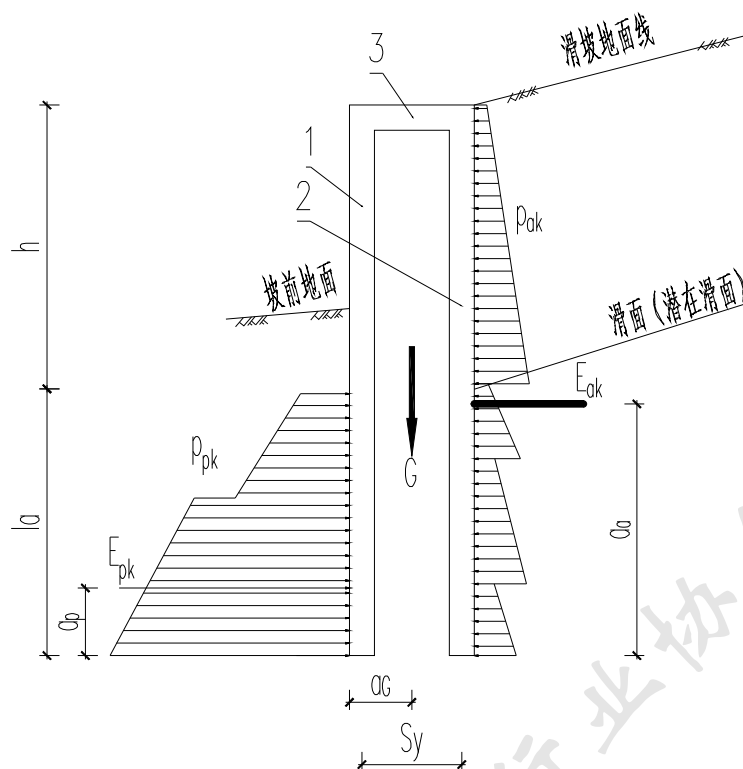
σ_{ak} ——桩外侧第 i 层土计算点处总竖向土压力（kPa）；

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

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

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 0.5m。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，间距不宜小于 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（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）

EI ——连系梁的抗弯刚度（ $\text{kN}\cdot\text{m}^2$ ）

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，以及单桩变形和内力计算宜参见附录 J。

12.8 构造要求

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 施工要求

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，及时进行地质编录，以利于反馈设计。

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。

14.9.5 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 当滑体较厚或当墙顶位移大于 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 当滑坡体厚度大、不存在次级滑带且对地面变形无严格要求时采用。
- 5 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。锚索分担荷载的比例不宜超过 50%。

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 $1/4 \sim 1/3$ ，最终长度根据侧壁地层的横向容许承载力计算确定。

13.2.3 锚索设计应符合第 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 $60 \sim 80\%$ 。

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作裂缝宽度验算。

13.3 构造要求

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，应按有关规定选用水泥。

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 1.5m。

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 施工要求

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杆（索）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 墙后填土必须分层夯实，选料及其密实度均应满足设计要求。

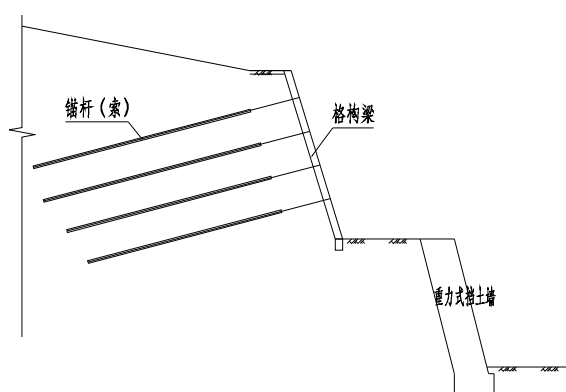
13.4.4 桩和挡板设计未考虑大型碾压机的荷载时，桩板后至少 2m 内不得使用大型碾压机械填筑。

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。

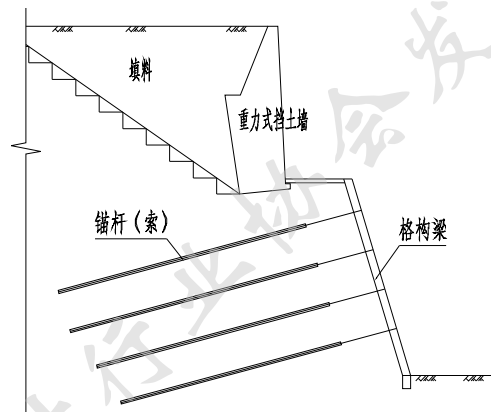
14 组合抗滑结构

14.1 一般规定

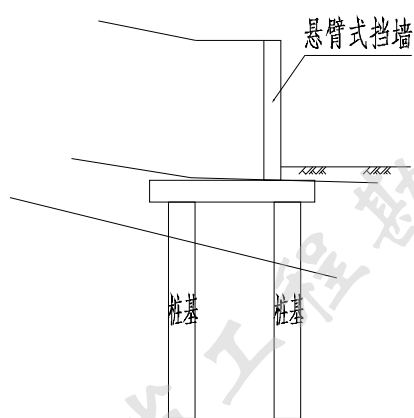
14.1.1 组合抗滑结构适用于需要分级设计的滑坡工程，可分为重力式挡墙+格构锚杆组合结构、抗滑桩+格构锚杆组合抗滑结构、桩锚+格构锚杆组合抗滑结构、椅式抗滑桩、桩基托梁重力式挡墙、桩基托梁扶壁式挡墙等。



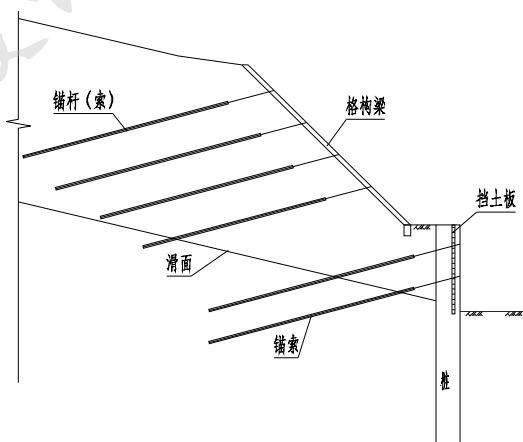
(a) 格构锚杆+重力式挡墙



(b) 重力式挡墙+格构锚杆



(c) 桩基托梁悬臂式挡墙



(d) 格构锚杆+桩锚结构

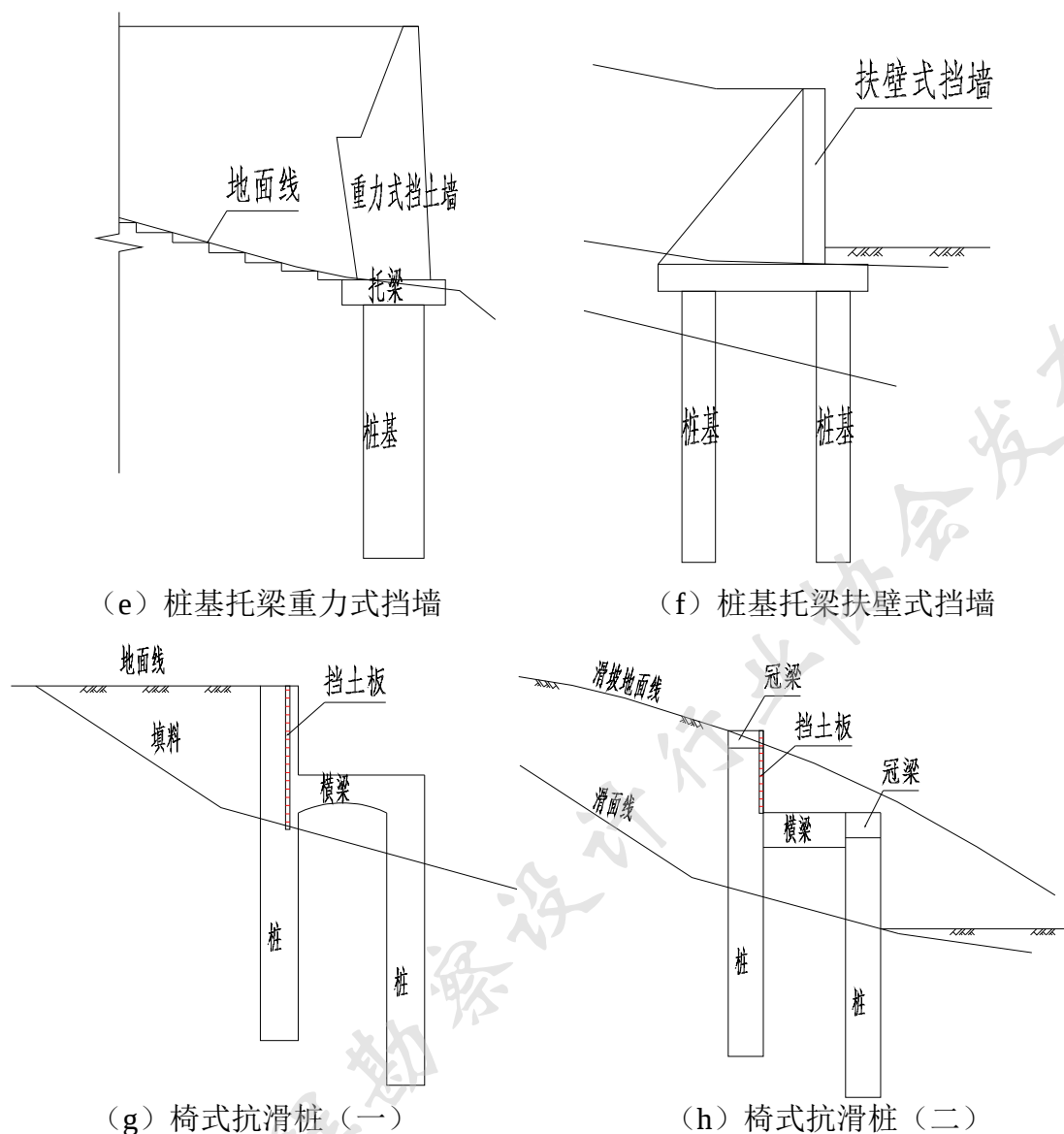


图 14.1.1 部分组合抗滑结构示意图

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 12m。

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 12m。

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、挡土板或重力式挡土墙。

14.1.8 桩基托梁重力式挡土墙挡墙高度不宜大于 12m，每个墙段桩基不应少于 2 根。

14.1.9 桩基托梁扶壁式挡墙和桩基托梁悬壁式挡墙桩基直径不宜小于 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。挡墙高度不宜超过 10m。

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，可采用预应力锚索护坡桩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 组合式支挡结构设计一般采用工程类比法、力学计算法和数值分析法，必要时宜采取模型试验的方法。

14.2.3 桩基托梁重力式挡土墙包括桩、托梁和重力式挡土墙，桩的设计应符合本标准第 12 章的规定，重力式挡土墙的设计应符合第 8 章的规定。

14.2.4 桩基托梁重力式挡土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土墙传递的水平力、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。

14.2.5 挡土墙传递到每跨托梁上的荷载包括水平推力和竖向力（如图 14.2.5 所示）。水平推力应按式（14.2.5-1）计算；竖向力应按式

(14.2.5-2) 计算。

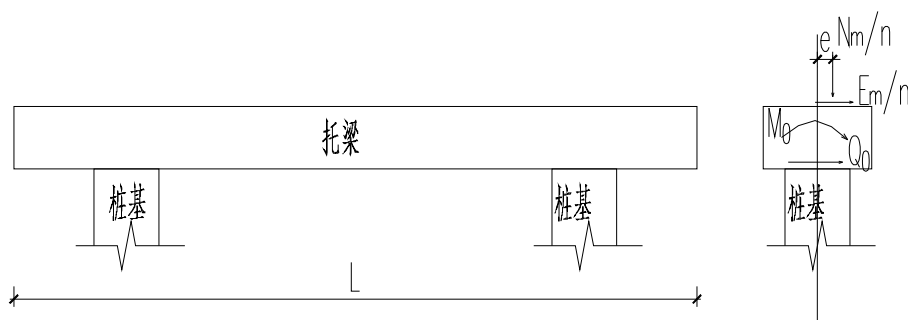


图 14.2.5 桩顶的荷载计算示意图

$$E_m = L \times E_x \quad (14.2.5-1)$$

$$N_m = L \times (E_y + G_q) \quad (14.2.5-2)$$

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;

$$E_y = E_x \tan(d - a)$$

G_q ——挡土墙自重 (kN/m) 。

14.2.6 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 (14.2.6-1) 计算, 桩顶弯矩可按式 (14.2.6-2) 计算。

$$Q_0 = E_m / n \quad (14.2.6-1)$$

$$M_0 = (E_m \times h + N_m \times e) / n \quad (14.2.6-2)$$

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 ——挡土墙合力偏心距 (m) 。

14.2.7 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。作用分项系数可采用 1.4。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（14.2.7）计算。

$$S_d \leq G_d \quad (14.2.7)$$

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。

14.2.8 桩基托梁悬臂式挡墙和桩基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。椅式桩结构按本标准第 12.2 节计算土压力。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。

14.2.9 桩基托梁悬臂式挡墙和桩基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。

14.2.10 桩基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 14.2.10-1 和图 14.2.10-2 所示。桩基托梁扶壁式挡墙的底板内力可采用有限元软件进行计算。

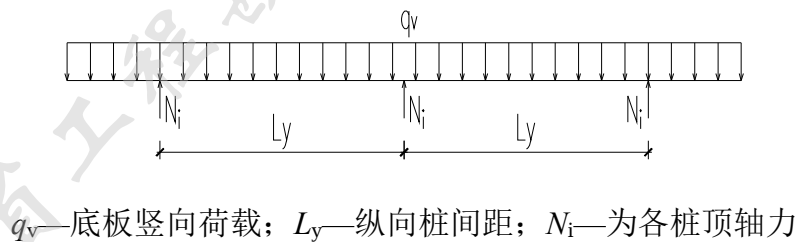


图 14.2.10-1 桩基托梁悬臂式挡墙底板纵向计算简图

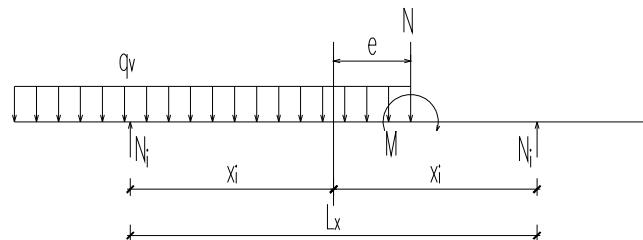
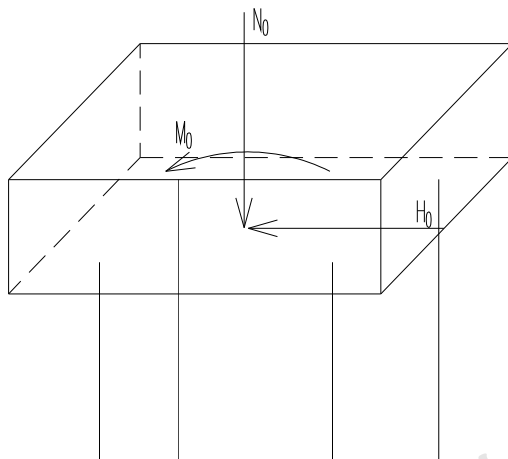


图 14.2.10-2 桩基托梁悬臂式挡墙底板横向计算简图

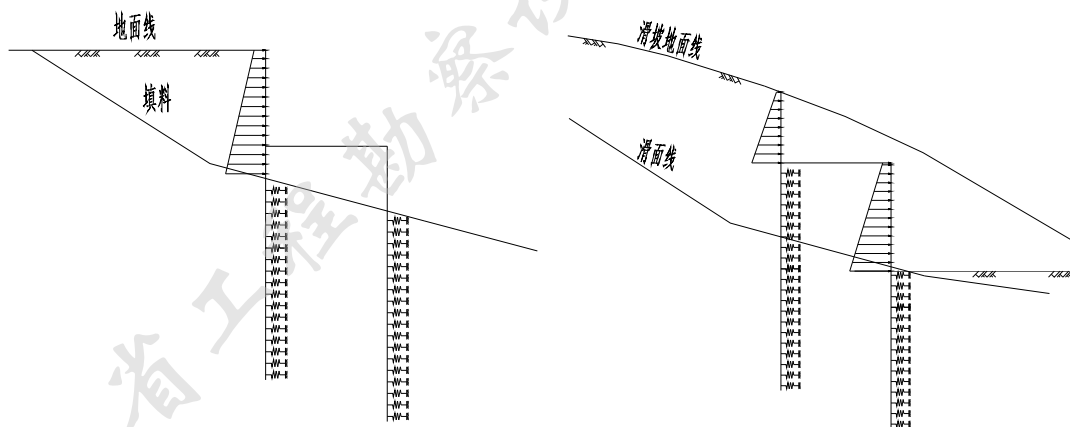
14.2.11 桩基托梁悬臂式及扶壁式挡墙桩顶荷载为板底传递至桩基中各桩顶的轴力和弯矩，可按空间刚架模型计算，计算模型如图 14.2.11 所示。



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 14.2.11 桩基托梁悬臂式挡墙及扶壁式挡墙桩顶荷载计算模型

14.2.12 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 14.2.12 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 14.2.12 椅式抗滑桩结构简化计算模型

14.2.13 组合结构中桩的内力计算应满足本标准第 13.2 节的要求。

14.2.14 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 构造要求

14.3.1 挡土墙、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 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。

14.3.4 桩锚板中锚索承担桩上受力宜为 20~25%，不宜超过 35%，当桩上设多排锚索时，纵向各排锚索间距宜为 2.5~3.0m。

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 桩基托梁重力式挡墙中的托梁应符合以下规定：

1 托梁截面尺寸宜为矩形，厚度不宜小于 800mm。

2 横断面方向桩中心、托梁中心与挡墙底的几何中心宜位于同一条竖直线上，托梁宽度不应小于挡土墙底宽和桩厚度，可在托梁顶面外侧设置不小于 200×100mm 的抗滑键，抗滑键应植筋并与托梁同步浇筑。

3 托梁顶面应凿毛或栽植石芽后再浇筑上部挡土墙，挡土墙与托梁之间不得用钢筋固结；托梁不宜悬空，局部悬空时，应采用混凝土或片石混凝土嵌补。

4 桩的间距应大于 2 倍托梁悬出段长度，且不宜小于桩身短边长度的 3 倍。桩顶嵌入托梁长度不宜小于 100mm。桩基主筋伸入托梁内的锚固长度应符合 GB50010 的规定。桩的外边缘至托梁边缘的距离应符合 GB50007 的规定。

14.3.7 桩基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。

14.3.8 桩基应伸入悬臂式或扶壁式挡土墙的底板不小于 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。

14.3.9 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 要 求

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 卸荷板施工宜优先采用现浇钢筋混凝土。当采用预制钢筋混凝土板吊装施工时，卸荷板及垫板表面应有粗糙度，铺设时应铺垫水泥砂浆使其与墙体连接牢固。

14.4.4 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 其他防治工程

15.1 一般规定

15.1.1 其他滑坡防治工程包括削方减载、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，一般不宜单独承担抗滑支挡，宜与前述各支护措施、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 10.0m，岩质边坡超过 15.0m 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 当坡顶无重要建构筑物，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支护。

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 锚杆轴向拉力可按下式计算：

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

式中： N_{ak} ——锚杆所受轴向拉力（kN）；

s_{xi} ， 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 10.5 节的规定。

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 应采用全黏结锚杆。

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 应采用全黏结锚杆，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黏结力，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。喷射混凝土与岩面黏结力试验应符合 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 12m。当对变形有一定要求时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应力分布如图 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）和式（15.5.5-2）计算。

15.5.6 土钉的拉力应按式（15.5.6）计算。

$$E_i = s_i S_x S_y / \cos \beta \quad (15.5.6)$$

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（°）。

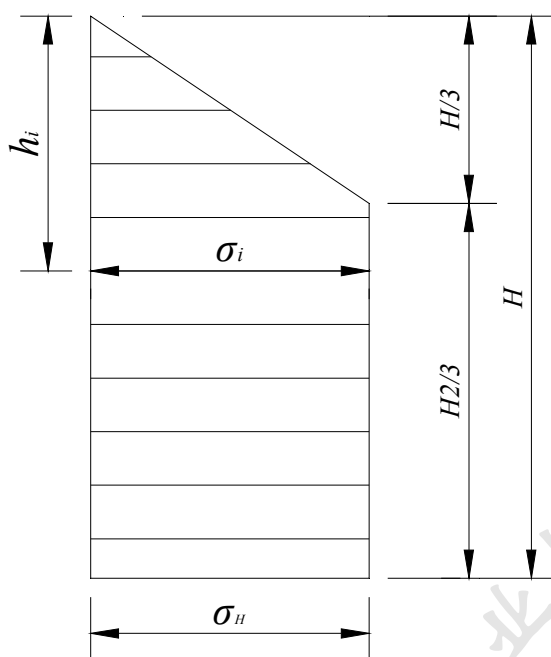


图 15.5.5 土钉墙墙背土压应力分布图

当 $h_i \leq \frac{1}{3}H$ 时

$$s_i = 2l_x \gamma h_i \quad (15.5.5-1)$$

当 $h_i \geq \frac{1}{3}H$ 时

$$s_i = \frac{2}{3}l_x \gamma H \quad (15.5.5-2)$$

式中: σ_i ——水平土压力 (kPa);

λ_x ——水平主动土压力系数, $l_x = l_a \cos(d-a)$, 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)。

15.5.7 土钉墙潜在破裂面距墙面可采用简化滑面 (图 15.5.7 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 (15.5.7-1) 和式 (15.5.7-2) 计算。

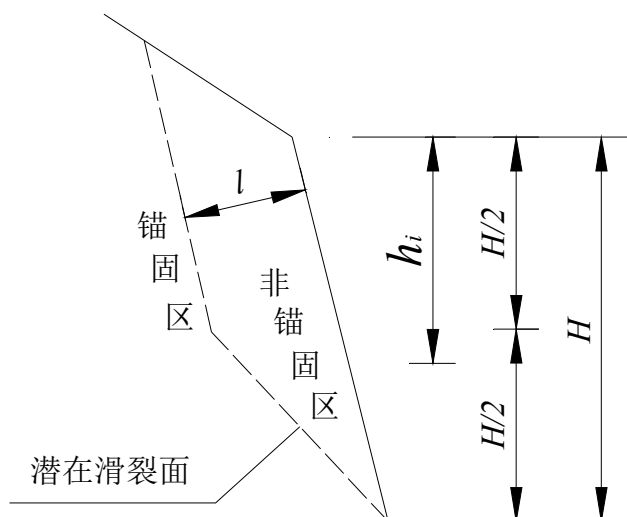


图 15.5.7 土钉锚固区与非锚固区分界面

$$h_i \leq H/2: \quad l = (0.3 \sim 0.35) \times H \quad (15.5.7-1)$$

$$h_i > H/2: \quad l = (0.6 \sim 0.7) \times (H - h_i) \quad (15.5.7-2)$$

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。

15.5.8 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。

15.5.9 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（15.5.19-1）进行验算。

$$A_s = \frac{K_1 E_i}{f_y} \quad (15.5.9-1)$$

式中： A_s ——土钉钢筋截面面积（mm²）；

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（15.5.9-2）进行锚固段长度验算。

$$l_{ei} \geq \frac{K_2 E_i}{p D f_{tb}} \quad (15.5.9-2)$$

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_{tb} ——锚孔壁与注浆体之间黏结强度设计值（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黏结强度按式（15.5.9-3）进行锚固段长度验算。

$$l_{ei} \geq \frac{K_2 E_i}{p d f_{tb}} \quad (15.5.9-3)$$

式中： d ——钉材直径（m）；

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

15.5.10 土钉墙整体稳定验算应符合式（15.5.10）的规定。

$$\frac{\sum_{i=1}^m c_i L_i S_x + \sum_{i=1}^m W_i \cos \alpha_i \tan j_i S_x + \sum_{j=1}^n P_j (\cos b_j + \sin b_j \tan j_i)}{\sum_{i=1}^m W_i \sin \alpha_i S_x} \geq K \quad (15.5.10)$$

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（°）；

S_x ——土钉水平间距（m）；

c_i ——岩土黏聚力（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（°）。

15.5.11 土钉墙外部稳定性验算时，可将土钉及其加固体视为重力

式挡土墙，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。

15.5.12 施工前应清除坡面松散层及不稳定的块体。

15.5.13 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。

15.5.14 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，应先进行边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，并应考虑下列因素经技术经济比较确定：

1 坡面风化作用。

2 雨水冲刷。

3 植物生长效果、环境效应。

4 冻胀、干裂作用。

5 坡面防渗、防淘蚀等需要。

6 其他需要考虑的因素。

15.6.3 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，且不应作为提高边

坡稳定性因素参与设计。

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
	六角空心砖护坡
	锚喷混凝土

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 坡面绿化宜与坡面防护结合进行，常与骨架、混凝土空心块、锚杆钢筋混凝土格构护坡结合使用。

15.7.2 坡面绿化工程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、植树、湿法喷播、客土喷播、植生袋、植被混凝土护坡绿化等。应符合下列规定：

1 植草适用于坡度缓于 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、播种量等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，且坡度缓于 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，宜用于坡度缓于 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 湿法喷播适用于土质边坡、土夹石边坡、严重风化岩石的坡

率缓于 1: 0.50 的挖方和填方边坡防护。

5 客土喷播适用于风化岩石、土壤较少的软质岩石、养分较少的土壤、硬质土壤，植物立地条件差的高大陡坡面和受侵蚀显著的坡面；当坡率陡于 1: 1.00 时，宜设置挂网或混凝土格构。

6 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。

河南省工程勘察设计行业协会发布

16 工程检测、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 采用挡土墙时，应对挡土墙埋置深度、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 对一级抗滑桩，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 50m^3 必须有 1 组试件，对灌注量小于 50m^3 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	$D < 1000\text{mm}$	≥ 0	$\leq 1/100$	$\leq 70 + 0.01H$
		$D \geq 1000\text{mm}$	≥ 0		$\leq 100 + 0.01H$
2	套管成孔灌注桩	$D < 500\text{mm}$	≥ 0	$\leq 1/100$	$\leq 70 + 0.01H$
		$D \geq 500\text{mm}$			$\leq 100 + 0.01H$
3	干成孔灌注桩		≥ 0	$\leq 1/100$	$\leq 70 + 0.01H$
4	人工挖孔桩	混凝土护壁	≥ 0	$\leq 1/200$	$\leq 50 + 0.005H$
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。					

16.2.8 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	选测
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/d；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；I 级及特级滑坡防治工程的监测时间内应包括至少出现 1 次设计工况。

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 滑坡防治工程验收应取得下列资料：

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。

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

河南省工程勘察设计行业协会发布

附录 A 滑坡稳定性计算公式

A.1 不平衡推力传递法（见图 A.1），按式（A.1-1）~式（A.1-5）计算。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(R_i \prod_{j=i+1}^n \Psi_j \right) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} \left(T_i \prod_{j=i+1}^n \Psi_j \right) + T_n} \quad (\text{A.1-1})$$

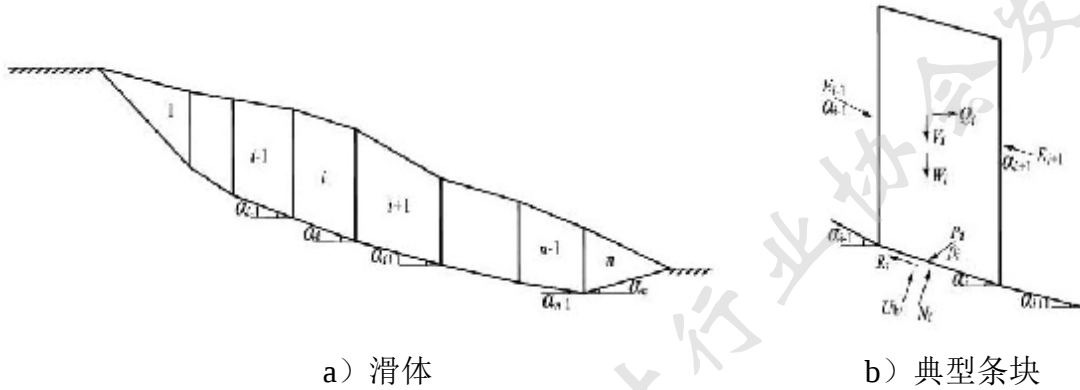


图 A.1 不平衡推力传递法计算简图

$$R_i = [(W_i + V_i) \cos \alpha_i - U_{bi} - Q_i \sin \alpha_i + P_i \sin (\alpha_i + b_i)] \tan j'_i + c'_i b_i \sec \alpha_i \quad (\text{A.1-2})$$

$$T_i = (W_i + V_i) \sin \alpha_i + Q_i \cos \alpha_i - P_i \cos (\alpha_i + b_i) \quad (\text{A.1-3})$$

$$\Psi_i = \cos (\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin (\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan j'_i / F_s \quad (\text{A.1-4})$$

$$E_i = T_i - R_i / F_s + \Psi_i E_{i-1} \quad (\text{A.1-5})$$

式中： F_s ——滑坡安全系数；

R_i ——第 i 滑动条块抗滑力（kN），第 n 滑动条块抗滑力 R_n ；

Ψ_i ——第 $i-1$ 滑动条块对第 i 滑动条块的传递系数；

T_i ——第 i 滑动条块下滑力（kN），第 n 滑动条块下滑力 T_n ；

W_i ——第 i 滑动条块重量（kN）；

V_i ——第 i 滑动条块垂直向地震惯性力（ V 向上取“-”向下取“+”）（kN）；

Q_i ——第 i 滑动条块水平向地震惯性力（ Q_i 方向与滑坡滑动方向一致时取“+”反之取“-”）（kN）；

U ——第 i 滑动条块底面的孔隙压力（kN）；

P_i ——作用于第 i 滑动条块的外力（不含坡外水压力）
（kN）；

α_i ——第 i 滑动条块底面与水平面的夹角（以水平线为起始线，逆时针为正角，顺时针为负角）（°）；

β_i ——第 i 滑动条块的外力 P_i 与水平线的夹角（以水平线为起始线，顺时针为正角，逆时针为负角）（°）；

c'_i 、 φ'_i ——第 i 滑动条块底面的有效凝聚力（kPa）和内摩擦角（°）；

b_i ——第 i 滑动条块沿滑面的长度（m）；

E_{i-1} ——第 $i-1$ 滑动条块作用于第 i 滑动条块的推力（kN），
 $i=1, 2, 3, \dots, n$ ；

E_i ——第 $i+1$ 滑动条块作用于第 i 滑动条块侧面的反作用力（kN），与第 i 滑动条块的推力大小相等，方向相反。

A.2 三维楔形体法（见图 A.2），当方向沿 CO 滑动时，按式（A.2-1）~式（A.2-19）计算。

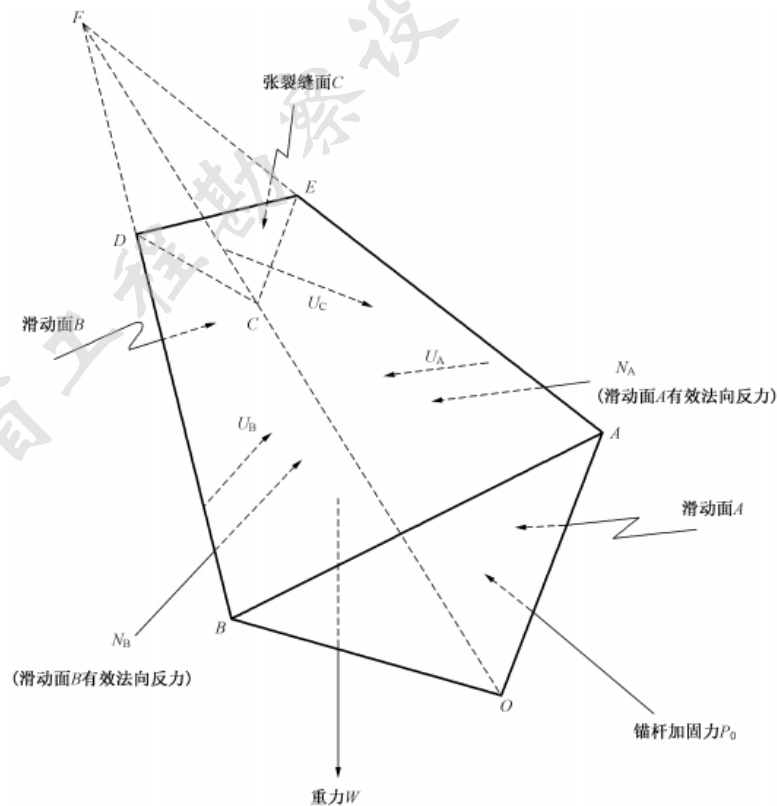


图 A.2 三维楔形体法计算简图

$$F_s = \frac{c'_A A_A + c'_B A_B + N_A \tan j'_A + N_B \tan j'_B}{m_{WS} W + m_{CS} U_C + m_{PS} P_0} \quad (\text{A.2-1})$$

$$N_A = qW + rU_C + sP_0 - U_A \quad (\text{A.2-2})$$

$$N_B = xW + yU_C + zP_0 - U_B \quad (\text{A.2-3})$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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；

m_{ca} 、 m_{cb} ——与滑动面 A、B、张裂缝面 C 倾角和倾向相关的参数；

m_{pa} 、 m_{pb} ——与滑动面 A、B、锚杆加固力 P 倾角和倾向相关的参数；

m_{cs} 、 m_{ps} ——与张裂缝面 C、滑动面交线 OC、锚杆加固力 P 倾角和倾向相关的参数；

U_A ——滑动面 A 上的孔隙压力 (kN)；

U_B ——滑动面 B 上的孔隙压力 (kN)；

U_C ——张裂缝面 C 上的孔隙压力 (kN)；

W ——楔形体重量 (kN)；

P_0 ——锚杆加固力 (kN)。

A.3 圆弧形滑面的边坡稳定性系数可按下列公式计算 (图 A.3)：

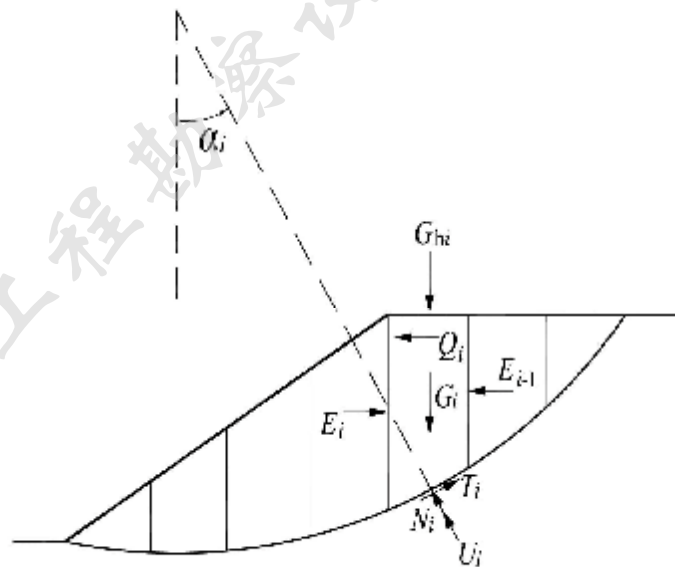


图 A.3 圆弧形滑面边坡计算示意图

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_{qi}} [c_i l_i \cos q_i + (G_i + G_{bi} - U_i \cos q_i) \tan j_i]}{\sum_{i=1}^n [(G_i + G_{bi}) \sin q_i + Q_i \cos q_i]} \quad (\text{A.3-1})$$

$$m_{qi} = \cos q_i + \frac{\tan j_i \sin q_i}{F_s} \quad (\text{A.3-2})$$

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

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（°）；

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（°），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/m³；

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）：

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

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

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

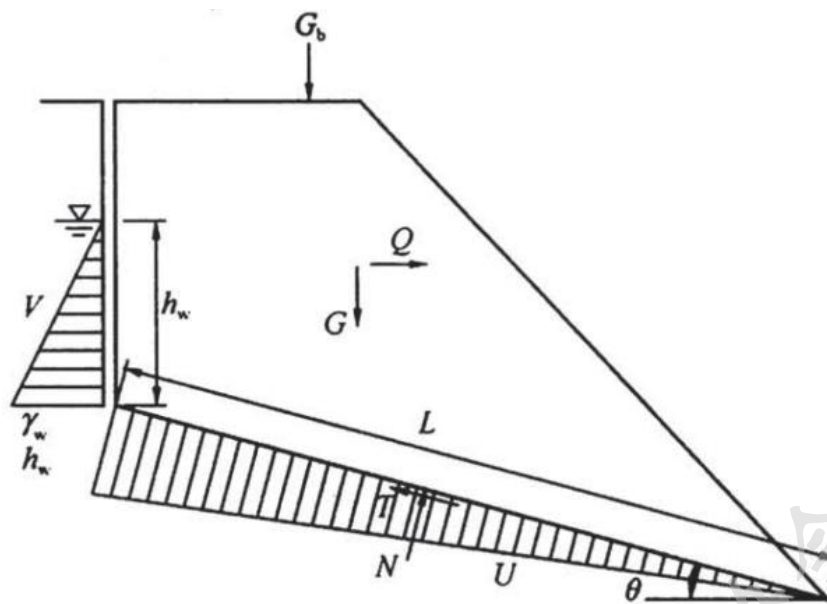


图 A.4 平面滑动面边坡计算简图

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

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

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）：

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

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

$$y_{i-1} = \cos(q_{i-1} - q_i) - \sin(q_{i-1} - q_i) \tan j_i / F_s \quad (\text{A.5-3})$$

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

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

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。

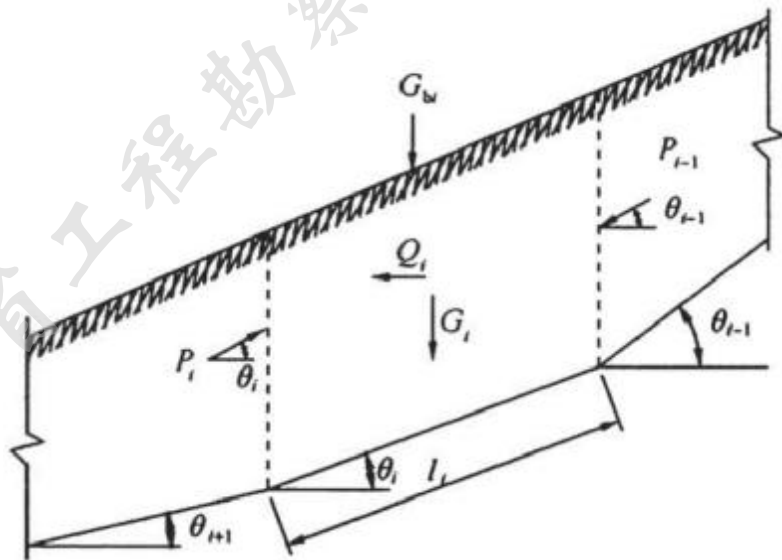
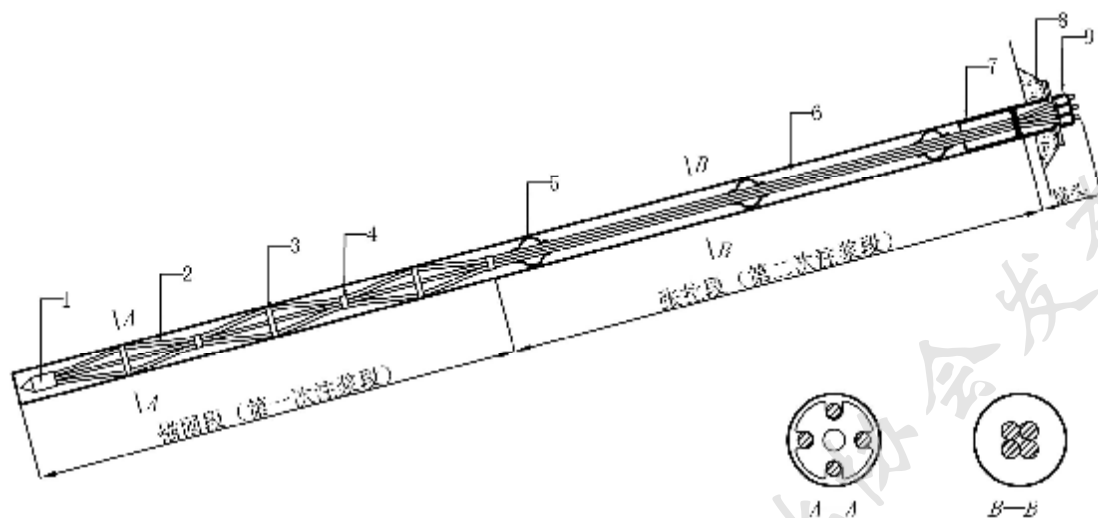


图 A.5 折线形滑面边坡传递系数法计算简图

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

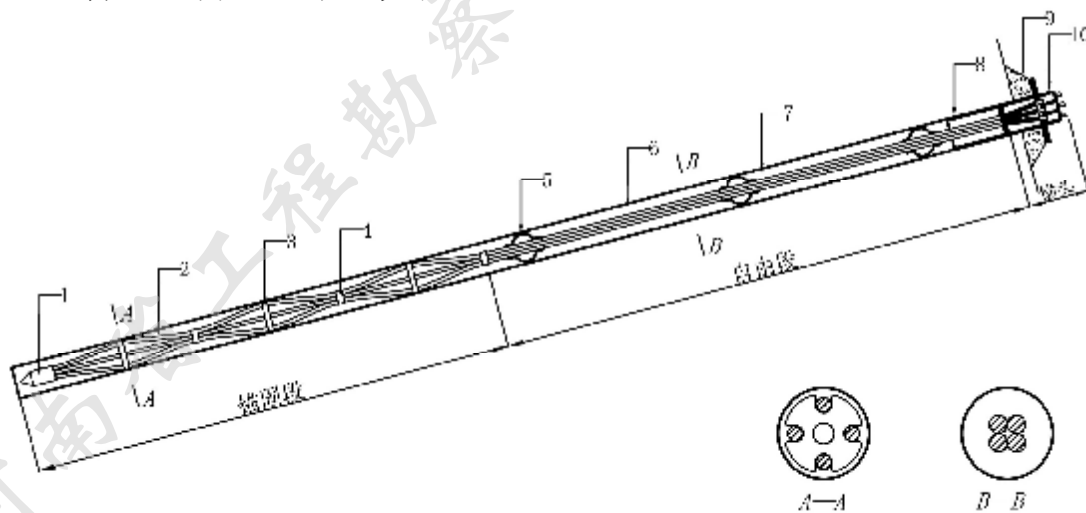
B.1 全长黏结——二次注浆锚索（见图 B.1）



- 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 预应力全长黏结锚索结构示意图

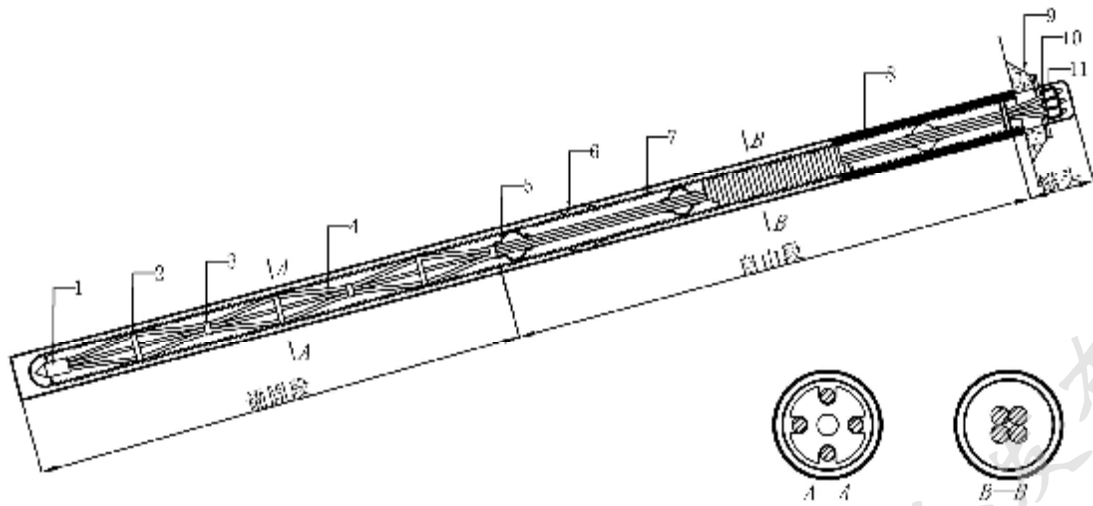
B.2 普通型自由锚索（见图 B.2）



- 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

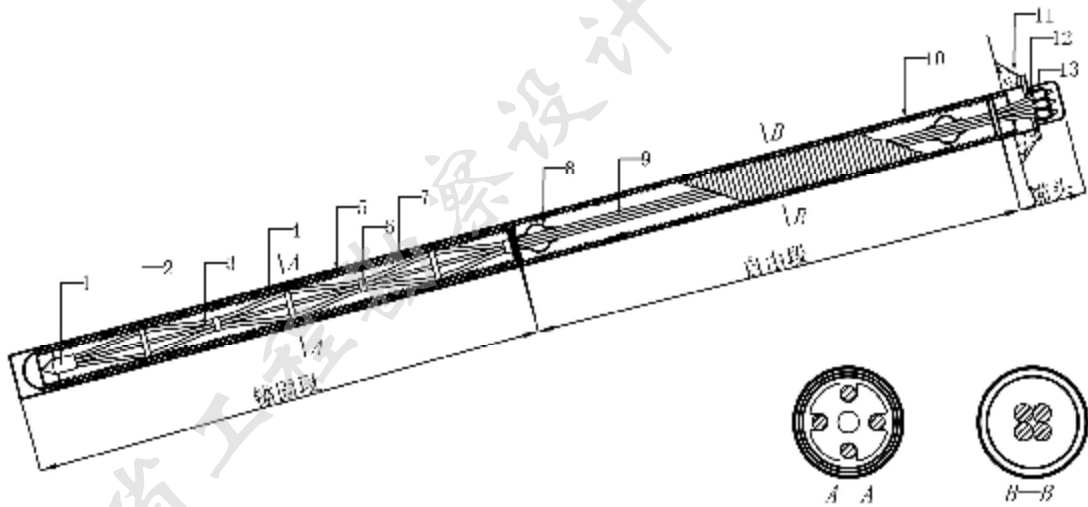
B.3 全长防护锚索（见图 B.3）



- 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

边坡工程安全等级	安全系数	
	临时性锚杆	永久性锚杆
一级	1.8	2.2
二级	1.6	2.0
三级	1.4	1.8

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

边坡工程安全等级	安全系数	
	临时性锚杆	永久性锚杆
一级	2.0	2.6
二级	1.8	2.4
三级	1.6	2.2

C.3 注浆体与锚索界面黏结强度设计值应符合表 C.3 规定。

表 C.3 注浆体与锚索界面黏结强度设计值

锚索界面	黏结强度 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黏结强度降低	

C.4 岩体中锚索注浆体与钻孔界面极限黏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黏结强度标准值

岩体类别	岩石单轴饱和抗压强度值 MPa	极限黏结强度标准值 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黏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黏结强度标准值

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	$I_L > 1$	0.018~0.030	0.025~0.045
	$0.75 < I_L \leq 1$	0.030~0.040	0.045~0.060
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	0.040~0.053	0.060~0.070
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	0.053~0.065	0.070~0.085
	$0 < I_L \leq 0.25$	0.065~0.073	0.085~0.100
	$I_L \leq 0$	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:

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

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

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

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

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

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。

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

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

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:

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

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

式中符号意义同式 (D.1.1-1) ~ 式 (D.1.1-5)。

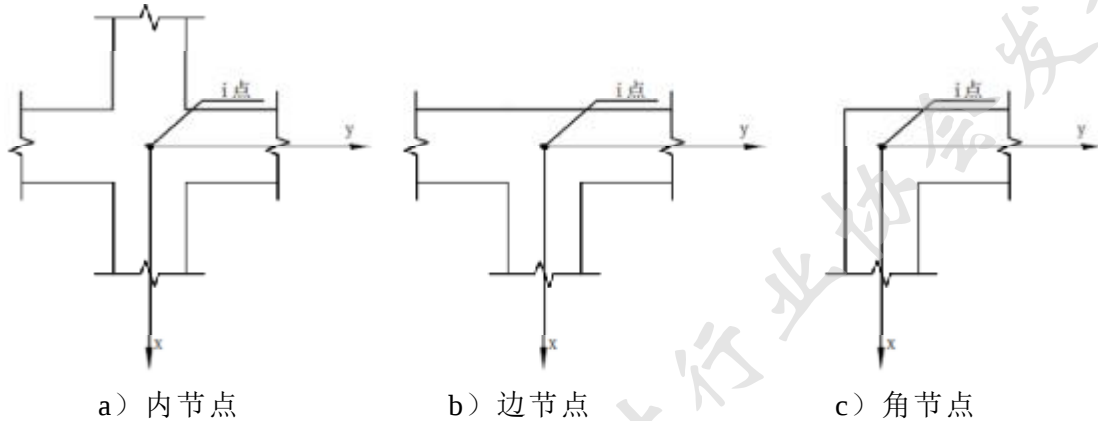


图 D.1 格构梁锚固点位置图

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 $[\sigma]$	竖直方向 K_0	水平方向 K
1	10	1.5~2	10~20	6~16
2	15	2~3	25	15~20
3	20	3~4	30	18~24
4	30	4~6	40	24~32
5	40	6~8	60	36~48
6	50	7.5~10	80	48~64
7	60	9~12	120	72~96
8	80	12~16	150~250	90~200
注: $K=0.6\sim 0.8K_0$ 。				

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	0.25~0.30		
普通砂岩		4600~5000	0.25~0.30		

表 E.2 (续)

岩层种类	内摩擦角 (°)	弹性模量 $\times 10^4 \text{kPa}$	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	$0.3 \times 10^6 \sim 0.4 \times 10^6$	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	$0.2 \times 10^6 \sim 0.3 \times 10^6$	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	$0.06 \times 10^6 \sim 0.12 \times 10^6$	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	$0.03 \times 10^6 \sim 0.06 \times 10^6$	100~150
普通煤		50~300	0.30~0.40		
胶结卵石		50~100	—		
掺石土		50~100	—		

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	$0.5 < I_L \leq 0.75$ 的可塑粉质黏土及黏土	2000~4000	1000~2800
3	$0 < I_L < 0.5$ 的硬、可塑粉质黏土及黏土； 细砂和中砂	4000~6000	2000~4200
4	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:

$$T_A = \frac{PL_0 \left[d_{QQ}/L_0 + (1+h/L_0)d_{QM} + hd_{MM} + L_0(3h-L_0)/6 \right] - y_2}{h \left[d_{QQ}/h + 2d_{QM} + hd_{MM} + h^2/(3E_c I_c) \right]} \quad (\text{F.1.1.1})$$

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/m^2)。

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

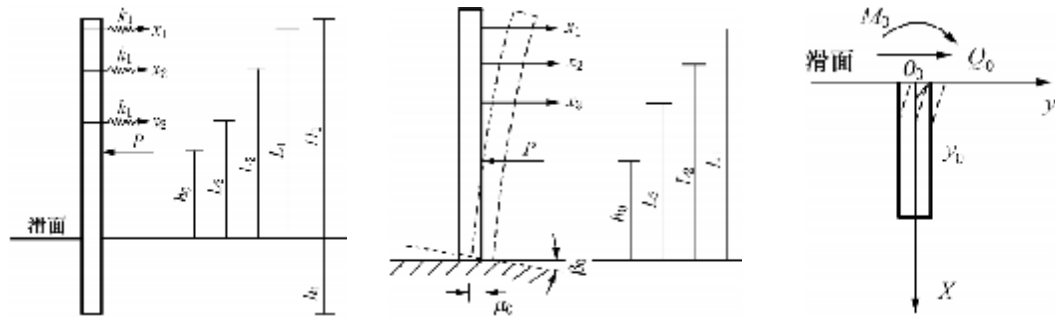
将按照以上方法得到的锚索拉力 T_A 与滑坡推力 P 一起, 作为已知力施加在抗滑桩上按照普通抗滑桩的计算方法计算桩体各截面的变形和内力并进行配筋。

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)：

$$Ax + A_p = 0 \quad (\text{F.2.1.2-1})$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & L & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & L & A_{2n} \\ K & & & \\ A_{n1} & A_{n1} & L & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (\text{F.2.1.2-2})$$

$$A_p = \begin{bmatrix} A_{1p} \\ A_{2p} \\ L \\ A_{np} \end{bmatrix} \quad (\text{F.2.1.2-3})$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ L \\ x_n \end{bmatrix} \quad (\text{F.2.1.2-4})$$

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 $i \neq j$ 。

$$A_{ii} = d_{ii} + L_i^2 \overline{b_1} + \overline{m_1} + 1/k_i \quad (\text{F.2.1.2-5})$$

$$A_{ij} = d_{ij} + L_i L_j \overline{b_1} + \overline{m_1} \quad (\text{F.2.1.2-6})$$

$$A_{ip} = \Delta_{ip} + L_i M_p^0 \overline{b_1} + Q_p^0 \overline{m_1} \quad (\text{F.2.1.2-7})$$

$$k_i = \frac{E_s A_{si}}{L_{si}} \quad (\text{F.2.1.2-8})$$

$$d_{ij} = \frac{L_j^2}{6EI} (3L_i - L_j) \quad (\text{F.2.1.2-9})$$

$$\Delta_{ip} = \frac{Ph_0^2}{6EI} (3L_i - h_0) \quad (\text{F.2.1.2-10})$$

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_l ——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_l ——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:

$$b_0 = \left(\sum_{i=1}^n x_i L_i + M_p^0 \right) \overline{b_1} \quad (\text{F.2.2.2-1})$$

$$m_0 = \left(\sum_{i=1}^n x_i + Q_p^0 \right) \overline{m_1} \quad (\text{F.2.2.2-2})$$

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:

$$m_0 = y_0 \quad (\text{F.2.2.3-1})$$

$$b_0 = q_0 \quad (\text{F.2.2.3-2})$$

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。

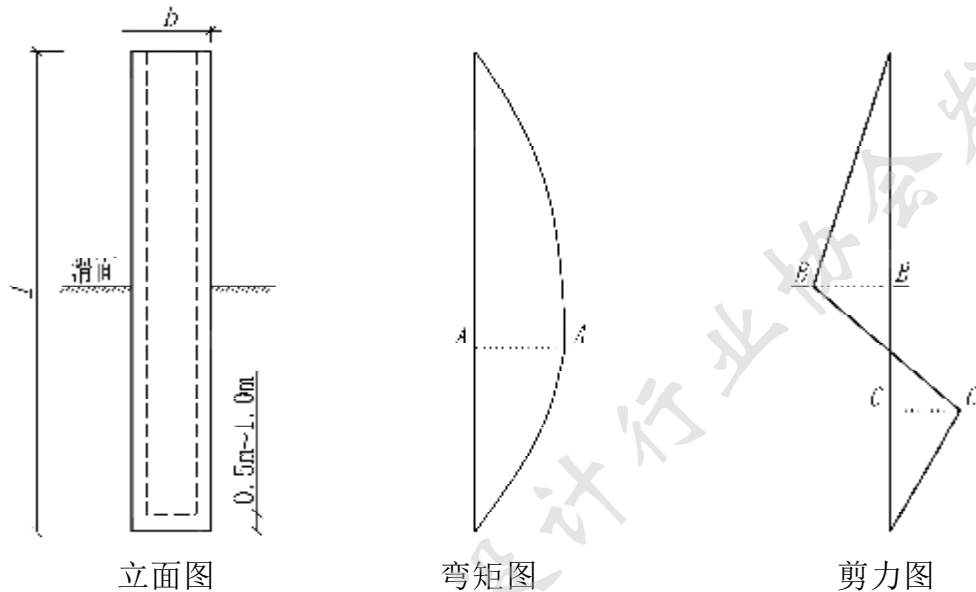


图 G.1 箱型抗滑桩结构内力图

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/mm²）；

M ——抗滑桩设计弯矩（N·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/mm²）；

- 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)。

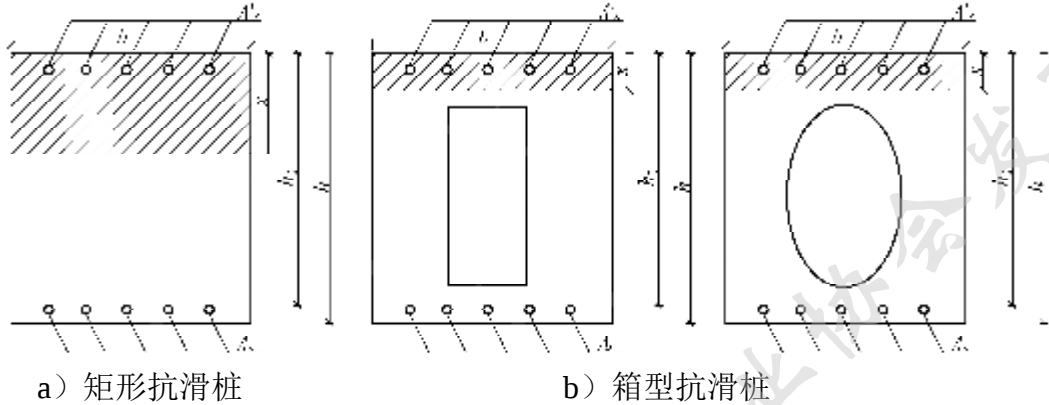


图 G.2 矩形和箱型抗滑桩截面（矩形、圆形中空井）抗弯设计简图

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）。

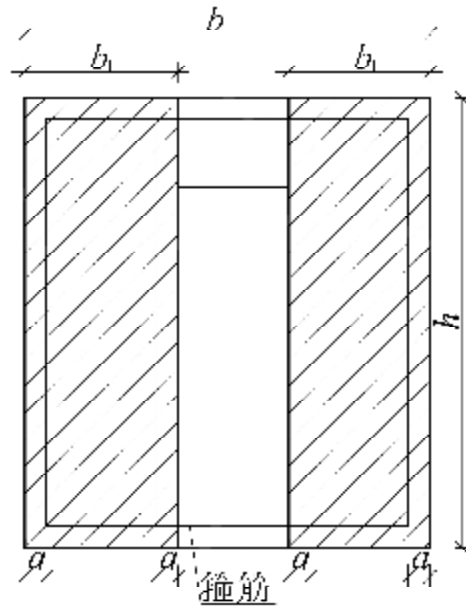


图 G.3 箱型抗滑桩截面（矩形中空井）抗剪设计简图

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)：

$$M \leq \frac{2}{3} f_c A_r \frac{\sin^3 pa'}{p} + f_y A_s r_s \frac{\sin pa' + \sin pa_t}{p} \quad (\text{H.2-1})$$

$$a' f_c A \left(1 - \frac{\sin 2pa'}{2pa'} \right) + (a' - a_t) f_y A_s = 0 \quad (\text{H.2-2})$$

$$a_t = 1.25 - 2a' \quad (\text{H.2-3})$$

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；

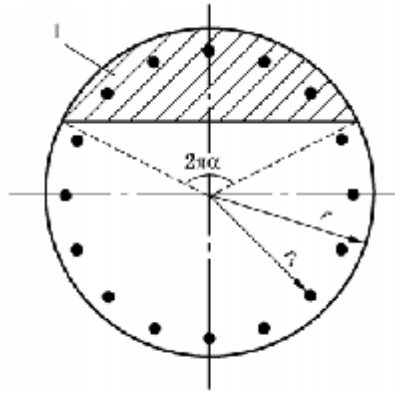
f_y ——纵向钢筋的抗拉强度设计值 (kN/m²)；

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)：

$$M \leq \frac{2}{3} f_c A_r \frac{\sin^3 p a'}{p} + f_y A_{sr} r_s \frac{\sin p a_s}{p a_s} + f_y A'_{sr} r_s \frac{\sin p a'_s}{p a'_s} \quad (\text{H.3-1})$$

$$a' f_c A \left(1 - \frac{\sin 2 p a'}{2 p a'} \right) + f_y (A'_{sr} - A_{sr}) = 0 \quad (\text{H.3-2})$$

$$\cos p a' \geq 1 - \left(1 + \frac{r_s}{r} \cos p a_s \right) \xi_b \quad (\text{H.3-3})$$

$$a' \geq \frac{1}{3.5} \quad (\text{H.3-4})$$

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；

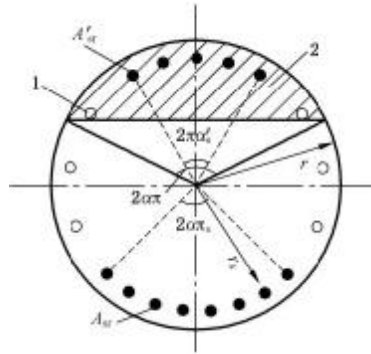
α'_s ——对应于受压钢筋的圆心角 (rad) 与 2π 的比值，宜取 $\alpha'_s < 0.5\alpha_s$ ；

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：

$$M \leq f_y A_{sr} \left(0.78r + r_s \frac{\sin p \alpha_s}{p \alpha_s} \right) \quad (\text{H.4})$$

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：

$$a = \frac{\sin j}{\sqrt{3(3 + \sin^2 j)}} \quad (\text{I.2-2})$$

$$k = \frac{3c \cos j}{\sqrt{3(3 + \sin^2 j)}} \quad (\text{I.2-3})$$

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 (°)。

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：

$$a = \frac{\sin j}{3} \quad (\text{I.2-4})$$

$$k = c \cos j \quad (\text{I.2-5})$$

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主要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：

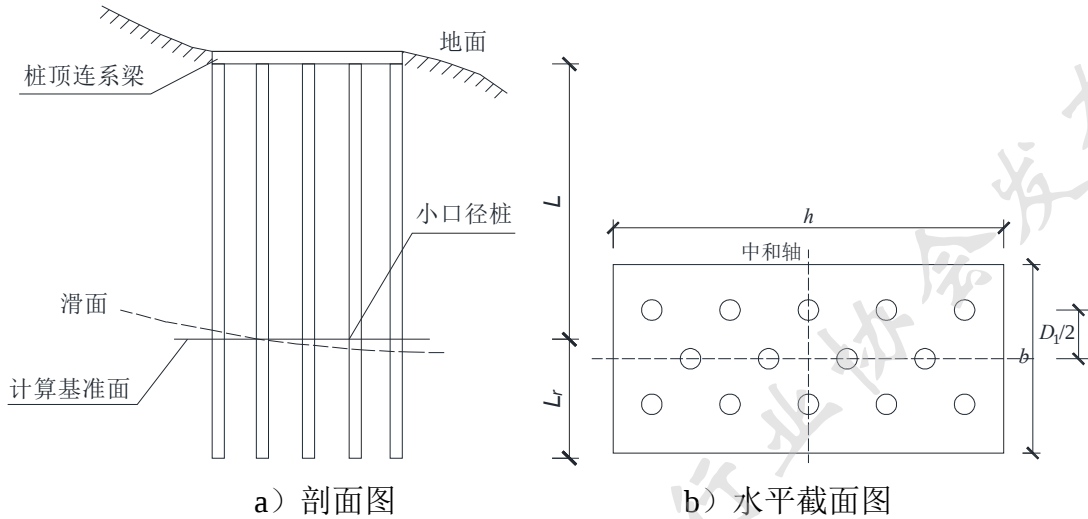


图 J.1 小口径组合抗滑桩等效法计算简图

$$R_r = \frac{P_t \cdot L}{2D_1} \quad (\text{J.1-1})$$

$$P_t = cA \left[\frac{1}{K_p \tan j} (B - 2K_p^{1/2} \tan j - 1) + g_1/g_2 \right] \quad (\text{J.1-2})$$

$$-c(D_1 g_1/g_2 - 2D_2 K_p^{-1/2}) + \frac{g \times L}{K_p} (A \times B - D_2)$$

$$A = D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{\left(\frac{K_p^{1/2} \tan j + K_p - 1}{2} \right)} \quad (\text{J.1-3})$$

$$B = \exp \left[\frac{D_1 - D_2}{D_2} K_p \tan j \tan \left(\frac{p}{8} + \frac{j}{4} \right) \right] \quad (\text{J.1-4})$$

$$g_1 = 2 \tan j + 2K_p^{1/2} + K_p^{-1/2} \quad (\text{J.1-5})$$

$$g_2 = \tan j \times K_p^{1/2} + K_p - 1 \quad (\text{J.1-6})$$

$$P \leq R_r \quad (\text{J.1-7})$$

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：

$$P \leq R_{fa} \quad (\text{J.2-1})$$

$$R_{fa} = n t_{fa} \quad (\text{J.2-2})$$

$$t_{fa} = b_a [t] A_s \quad (\text{J.2-3})$$

$$b_a = \sqrt[4]{E_s/E_t} \quad (\text{J.2-4})$$

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）；

$[t]$ ——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：

$$s_R \leq f_a \quad (\text{J.3-1})$$

$$s_R = \frac{N_R}{A_R} + \frac{M_R}{I_R} y \quad (\text{J.3-2})$$

$$A_R = m_1 A_p n + b h \quad (\text{J.3-3})$$

$$A_p = (m_2 - 1) A_s n + A_c \quad (\text{J.3-4})$$

$$I_R = m_1 A_p \sum x^2 + \frac{b h^3}{12} \quad (\text{J.3-5})$$

$$s'_R = m_1 \cdot s_R \leq s_{ca} \quad (\text{J.3-6})$$

$$s_{sc} = m_2 \cdot s'_R \leq f'_s \quad (\text{J.3-7})$$

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^t ——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^t ——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：

$$L_r = \frac{F_b \cdot A_c \cdot s_R}{p D t_r} \quad (J.4)$$

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 ——桩与岩土体的黏结力设计值(kPa)。

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