



中华人民共和国国家标准

GB/T 38509—2020

滑坡防治设计规范

Code for the design of landslide stabilization

2020-03-06 发布

2020-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	4
5 基本规定	4
6 防治工程分级及荷载标准	5
7 滑坡稳定性分析与设计安全系数	7
8 设计方案选择	8
9 排水工程	8
10 抗滑桩工程	13
11 锚索(杆)工程	23
12 格构锚固工程	29
13 抗滑挡墙工程	30
14 其他防治工程	36
15 滑坡防治工程监测	37
16 施工组织	38
附录 A(资料性附录) 滑坡稳定性计算公式	40
附录 B(资料性附录) 抗滑桩设计参考值	43
附录 C(资料性附录) 锚索抗滑桩计算公式	45
附录 D(资料性附录) 箱型和矩形抗滑桩设计计算	48
附录 E(资料性附录) 埋入式抗滑桩设计计算	50
附录 F(资料性附录) 小口径组合抗滑桩计算公式	52
附录 G(资料性附录) 常用锚索结构示意图	55
附录 J(资料性附录) 锚索(杆)设计参考值	61
附录 K(资料性附录) 锚索格构梁计算方法	63

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国自然资源部提出。

本标准由全国国土资源标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本标准起草单位:中国地质环境监测院、中国地质科学院探矿工艺研究所、长安大学、中国建筑科学研究院地基基础研究所、解放军后勤工程学院、中国水利水电科学研究院、军委后勤保障部工程兵科研三所、中铁二院工程集团有限责任公司、中铁二院重庆勘察设计研究院有限责任公司、深圳市工勘岩土集团有限公司、四川省华地建设工程有限责任公司、四川九零九建设工程有限公司、中国地质科学院地质力学研究所、甘肃建筑职业技术学院。

本标准主要起草人:殷跃平、郑颖人、陈祖煜、宋军、李安洪、门玉明、杨生贵、张勇、李海光、闫金凯、王文沛、石胜伟、赵尚毅、罗一农、王贤能、赵松江、贺模红、李滨、侯小强、高文生、盛宏光、马君伟、王全成、李正川、祁小博、张作辰、陈春利、贺凯、张楠、刘朋飞。

引 言

为规范滑坡防治设计,统一技术标准,确保依据充分、安全可靠、经济合理、技术可行,特制定本标准。

本标准在国内外有关滑坡防治设计技术标准和较为成熟方法基础上,充分吸收了长江三峡工程库区、汶川地震灾区及铁路、公路、水利水电、城建等滑坡防治设计经验编制而成。本标准采用了先进的技术方法,充分结合了具体实际,力求操作性强,易于全面推行。



滑坡防治设计规范

1 范围

本标准规定了滑坡防治工程分级、滑坡稳定性分析与设计安全系数、设计方案选择、排水工程、抗滑桩工程、锚索(杆)工程、格构锚固工程、挡墙工程、其他防治工程、防治工程监测与施工组织等内容。

本标准适用于通常的滑坡防治设计。

2 规范性引用文件

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

GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋

GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋

GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线

GB 18306 中国地震动参数区划图

GB/T 32864 滑坡防治工程勘察规范

GB 50007 建筑地基基础设计规范

GB 50009 建筑结构荷载规范

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50011 建筑抗震设计规范

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范

GB 50330 建筑边坡工程技术规范

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范

GB 51018 水土保持工程设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

滑坡 landslide

地质体在重力作用下,沿地质弱面向下向外滑动。

注:滑坡通常具有双重含义,指重力滑动过程,或重力滑动的地质体和所形成的堆积体。

3.2

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。

3.3

动态设计 observational design

据施工过程揭露的地质情况和监测信息进行优化设计。

3.4

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。

3.5

应急治理 emergency controlling

突破常规勘察和设计阶段划分,对出现明显变形滑动的滑坡进行快速加固。

3.6

安全系数 factor of safety

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。

3.7

设计安全系数 factor of safety for design

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。

3.8

滑坡下滑力 driving force of landslide

使滑坡体沿滑面滑动的力的总和。

3.9

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。

3.10

滑坡剩余下滑力 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。

3.11

滑坡推力 pushing force of landslide

计算断面处下滑力与抗滑力差值。采用不平衡推力传递法计算时,等于滑坡剩余下滑力。

3.12

剩余抗滑力 residual resisting force of landslide

采用不平衡推力传递法计算抗滑力的一种方法。计算断面处余下条分块段(至剪出口)的抗滑力与下滑力之差。当剩余抗滑力计算值为负时,赋值为0。

3.13

抗滑桩 anti-sliding pile

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

3.14

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。

3.15

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。

3.16

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。

3.17

预应力锚固 prestressed anchor

通过钻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。

3.18

全长粘结锚索 full-length cemented anchor cable

钻孔内部的锚索全长与注浆体粘结,无自由段的锚索。

注:一般采用二次注浆法施工,第一次注浆形成锚固段,第二次注浆一般在张拉后进行,主要用于锚索张拉段的防腐。

3.19

自由锚索 uncemented anchor cable

锚索杆体材料一般采用无粘结钢绞线,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。

3.20

压力分散型锚索 compression dispersion anchor cable

锚固段由多级锚固单元组成,当承受荷载时锚固段注浆体处于受压状态的锚索。

3.21

设计锚固力 designed load holding capacity

锚索在正常工作状态下所能提供的锚固力,它是由极限承载力考虑一定安全系数后得到的。

3.22

锁定锚固力 anchoring lock-off load

锚索张拉锁定时的荷载。

3.23

格构锚固 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。

3.24

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。

3.25

削方减载 removing and deloading at the top

通过清除后部向下滑动的滑体及削坡降低坡度等,降低滑坡下滑力,以提高整体稳定性的一种治理技术。

3.26

回填压脚 backfill at the foot

通过在滑坡前缘堆填土石等材料,以增加滑坡抗滑力,提高整体稳定性的一种治理技术。

3.27

植物防护 protecting with vegetation

采用绿化措施减少滑坡坡面冲刷掏蚀,美化滑坡防治工程的一种辅助防治技术。

3.28

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。

4 总则

4.1 滑坡防治设计针对正在重力变形的地质体和所形成的堆积体。不包括人工开挖形成的建筑边坡加固治理,但因人工扰动而引起建筑边坡所在地质体整体变形或滑动,并形成明显滑带,亦适用本标准进行防治。

4.2 滑坡防治设计应综合考虑环境地质条件、滑坡失稳机理以及承灾体危害和防治工程等因素,因地制宜,科学设计,安全施工。

4.3 滑坡防治设计使用年限不应低于所保护的或受其影响的建(构)筑物的设计使用年限。

4.4 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。

4.5 滑坡防治设计应进行动态设计,根据地质条件和监测信息变化,及时进行设计补充或变更。

4.6 滑坡防治设计应以各阶段专门的地质勘查报告和监测资料为依据。

5 基本规定

5.1 滑坡防治设计应在已审定的相应阶段滑坡工程地质勘查报告的基础上编制。

5.2 滑坡防治设计可划分为可行性方案论证、初步设计和施工图设计三个阶段。对于规模小、地质条件简单的滑坡,可直接进行施工图设计。

5.3 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。

5.4 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。

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

5.6 应急治理工程设计可简化上述设计阶段。

5.7 对于特级、Ⅰ级及地质条件复杂的Ⅱ级滑坡防治工程,应专门编制监测设计,内容包括施工安全监测、防治效果监测和长期动态监测等。

5.8 滑坡防治设计应对施工可行性进行论证,结合雨季、旱季、河流和库水位变化等情况,合理安排施工程序和工程实施顺序,制定切实可行的工期,保障工程安全和经济。

5.9 滑坡防治工程施工组织设计应对现场工作人员生活的驻地、工作场所及周边存在的地质灾害进行危险性评估,提供防范措施,保障人员和设施安全。

6 防治工程分级及荷载标准

6.1 级别划分

6.1.1 防治工程重要性等级

6.1.1.1 滑坡防治工程重要性等级可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 1 进行划分。

表 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	≥5 000	≥500 且<5 000	≥100 且<500	<100
	威胁设施	非常重要	重要	较重要	一般

6.1.1.2 威胁对象包括威胁人数和威胁设施。

6.1.2 受滑坡威胁设施重要性分类

6.1.2.1 受滑坡威胁设施的重要性分类按表 2 确定。

表 2 受滑坡威胁设施重要性分类表

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。	

6.1.2.2 受滑坡威胁设施的重要性分类应符合 GB/T 32864 的规定。

6.2 荷载及强度标准

6.2.1 荷载类型

6.2.1.1 基本荷载,包括滑坡体自重、地下水稳定水位时的孔隙水压力等。

6.2.1.2 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)。

6.2.1.3 附加荷载,包括滑坡体上的建筑物荷载、交通荷载、施工临时堆载等。

6.2.1.4 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。

6.2.2 荷载强度标准

6.2.2.1 降雨荷载应根据 20 a~100 a 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 规定取值。

表 3 降雨强度重现期取值表

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

6.2.2.2 地震荷载采用的加速度应按 50 a 超越概率为 10%设计基准期计,对于 I 级滑坡防治工程地震加速度可按 50 a 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。

6.2.2.3 地震荷载采用的综合水平地震系数取值见表 4,设计基本地震加速度选取应符合 GB 18306 规定。

表 4 综合水平地震系数取值表

设计基本地震加速度 a_h	不考虑	0.1g	0.15g	0.2g	0.3g	0.4g
综合水平地震系数 α_w	0	0.025	0.037 5	0.05	0.075	0.10

6.2.2.4 设计基本地震加速度为 0.2g 及以上,且位于地震断裂带 15 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。

6.2.2.5 地震荷载可按式(1)~式(2)进行计算:

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

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

式中:

F_{hi} ——滑块 i 的水平向地震荷载,单位为牛(N);

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

W_i ——滑块 i 的重量,单位为牛(N);

a_i ——滑块 i 的动态分布系数,一般取为 1~3;

F_{vi} ——滑块 i 的竖向地震荷载,单位为牛(N);

a_h ——设计基本地震加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2);

ξ ——折减系数,取 0.25;

g ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2)。

6.2.2.6 对于 I、II 级滑坡防治工程,当滑坡存在高位剪出,且滑坡前缘临空斜坡地形坡度角大于 60° 时,滑块的动态分布系数取 2~3。III 级滑坡防治工程可不考虑放大效应。特级滑坡防治工程的放大效应做专门论证。

6.2.2.7 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。

6.2.2.8 当滑坡前缘库(江)水位下降速率等于或大于 0.5 m/d 时,或上升速率等于或大于 1.0 m/d 时,且滑坡体渗透系数在 1×10^{-7} m/s $\sim 1 \times 10^{-3}$ m/s 之间时,即低~中渗透性土,应采用非稳定流法分析计算渗透压力。

6.2.2.9 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。

6.2.2.10 对后缘有陡倾裂隙且能含水的岩质滑坡,应考虑降雨入渗在后缘裂隙形成的静水压力。

6.2.2.11 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和测压水头。

6.2.3 荷载组合

6.2.3.1 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:

- a) 工况 I——基本组合,为设计工况,考虑基本荷载;
- b) 工况 II——特殊组合,为校核工况,考虑基本荷载+降雨荷载;
- c) 工况 III——特殊组合,为校核工况,考虑基本荷载+地震荷载;
- d) 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。

6.2.3.2 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。

7 滑坡稳定性分析与设计安全系数

7.1 滑坡稳定性分析



7.1.1 滑坡稳定性评价和推力计算应根据滑面类型和滑体物质组成、地质条件的复杂性选用极限平衡法或数值模拟强度折减法。

7.1.2 滑坡稳定性评价可参见附录 A。

7.1.3 堆积层(土质)滑坡,包括两种滑面类型:

- a) 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;
- b) 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。

7.1.4 岩质滑坡,包括三种滑面类型:

- a) 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;
- b) 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;
- c) 多组弱面组合滑面: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。

7.1.5 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,可按 GB 50330 和 GB 50021 规定计算。

7.1.6 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。

7.2 滑坡稳定性评价

7.2.1 设计安全系数应依据滑坡防治等级和荷载组合,按表 5 选取。

表 5 滑坡抗滑稳定设计安全系数取值表

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

7.2.2 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。

7.2.3 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。

8 设计方案选择

8.1 方案编制

8.1.1 设计方案选择应考虑采用综合治理措施,优先采取排水,并选择支挡、锚固、减载、压脚、注浆加固等其中一种或多种措施进行治理可行性论证;选用注浆加固法时,应与支挡或锚固等抗滑措施组合使用。

8.1.2 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。

8.1.3 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。

8.1.4 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。

8.1.5 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。

8.1.6 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。

8.1.7 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、钻孔排水、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。

8.1.8 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。

8.2 方案比选

8.2.1 在防治工程可行性方案论证阶段,应首先进行搬迁避让、监测预警或改线绕避等非工程方案与工程方案的比选。

8.2.2 防治工程可行性方案论证阶段,应进行两个或两个以上工程方案的比选。

8.2.3 进行比选的设计方案应有可比性,避免工程类型及治理思路相似。

8.2.4 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、工期等,经济方面包括工程造价、预期效益等。

8.2.5 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。

9 排水工程

9.1 一般规定

9.1.1 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。

9.1.2 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。

9.1.3 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。

9.1.4 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及地下水动态特征,选用隧洞排水、钻孔排水或盲沟排水等方案。

9.1.5 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。

9.1.6 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。

9.2 地表排水工程设计

9.2.1 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。

9.2.2 地表排水工程设计的频率地表汇水流量计算,可按式(3)计算:



$$Q_P = 0.278\Phi S_P F / \tau^n \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- Q_P ——设计频率地表水汇流量,单位为立方米每秒(m^3/s);
- Φ ——径流系数,具体取值数据可按 GB 51018 规定选取;
- S_P ——设计降雨强度,单位为毫米每小时(mm/h),可按当地水文手册相应图表选取和计算;
- F ——汇水面积,单位为平方千米(km^2);
- τ ——流域汇流时间,单位为小时(h);
- n ——降雨强度衰减系数。

9.2.3 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(4)和式(5)计算,即:

- a) 当 $F \geq 3 km^2$ 时

$$Q_P = \Phi S_P F^{2/3} \dots\dots\dots (4)$$
- b) 当 $F < 3 km^2$ 时

$$Q_P = \Phi S_P F \dots\dots\dots (5)$$

式中符号意义同式(3)。

9.2.4 排水沟断面形状可为矩形、梯型、复合型等(图 1)。梯型、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。

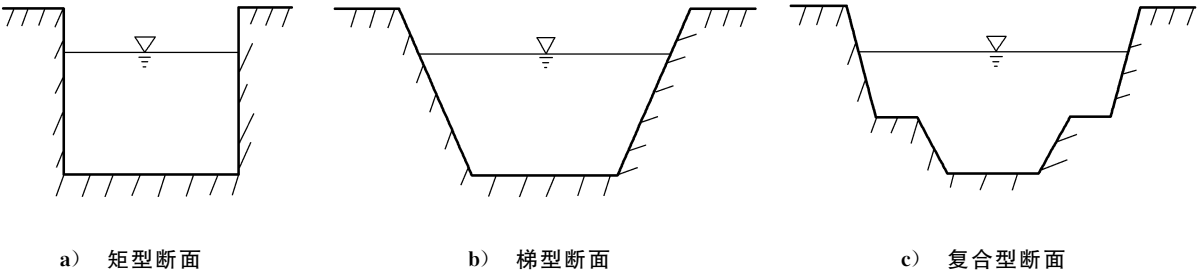


图 1 滑坡地表排水沟主要断面形状示意图

9.2.5 排水沟(管)的设计径流量可按式(6)计算:

$$Q = vA_g \dots\dots\dots (6)$$

式中：

Q ——设计径流量，单位为立方米每秒(m^3/s)；

v ——沟(管)内的平均流速，单位为米每秒(m/s)；

A_g ——设计过水断面面积，单位为平方米(m^2)。

9.2.6 排水沟(管)内的平均流速可按式(7)计算：

$$v = R^{2/3} i^{1/2} / n_s \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

v ——沟(管)内的平均流速，单位为米每秒(m/s)；

R ——水力半径，单位为米(m)，即： $R = A_g / \rho$ ；

i ——水力坡度，可取用沟或管的底坡；

n_s ——沟壁或管壁的粗糙系数，宜按表 6 确定；

A_g ——设计过水断面面积，单位为平方米(m^2)；

ρ ——过水断面湿周，单位为米(m)。

表 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

9.2.7 排水沟(管)的容许流速应符合下列规定：

- 明沟的最小容许流速为 0.4 m/s ，暗沟和管的最小容许流速为 0.75 m/s ；
- 排水管的最大容许流速为：金属管 10 m/s ；非金属管 5 m/s ；
- 明沟的最大容许流速，在水深为 0.4 m ~1.0 m 时，按表 7 取用；在此水深范围外的容许值按表 7 列值乘表 8 中相应的修正系数。

表 7 排水沟最大容许流速表

单位为米每秒

明沟类型	容许最大流速	明沟类型	容许最大流速	明沟类型	容许最大流速	明沟类型	容许最大流速
粉砂土	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 8 排水沟最大容许流速的水深修正系数表

水深 h/m	<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

9.2.8 矩型、梯型排水沟断面底宽和深度不宜小于 0.4 m 。

9.2.9 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(8)计算:

$$R_{\min} = 1.1v^2 A^{1/2} + 12 \dots\dots\dots (8)$$

式中:
 $R_{\min}$ ——最小容许半径,单位为米(m);
 v ——沟道中水流流速,单位为米每秒(m/s);
 A ——沟道过水断面面积,单位为平方米(m²)。

9.2.10 截水沟应设置在滑坡体后缘裂缝 5 m 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 50 mm。

9.2.11 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%。

9.2.12 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:

- a) 排水沟沟床纵坡不宜大于 5%;
- b) 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 5 m 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;
- c) 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;
- d) 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;
- e) 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 倍~4 倍;
- f) 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 倍~20 倍;
- g) 排水沟的安全超高,不宜小于 0.4 m;在弯曲段凹岸,应分析并计入水位壅高的影响;
- h) 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。梯型断面沟道,宜做成渐变收缩扭曲面;矩型断面沟道,宜做成“八”字墙型式。

9.2.13 排水沟的设置还需注意以下几点:

- a) 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;
- b) 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;
- c) 陡坡和缓坡段沟底及边墙,应设伸缩缝,缝间距为 10 m~15 m。伸缩缝处的沟底,应设齿坎,伸缩缝内应设止水或反滤盲沟或同时采用;
- d) 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;
- e) 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;
- f) 明沟进入暗涵处应设置炉壁状漏水网。

9.3 地下排水工程设计

9.3.1 地下排水工程可采用排水孔、隧洞、盲沟、排水带、集水井等或组合措施。

9.3.2 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。

9.3.3 盲沟的最大深度宜小于 10 m,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

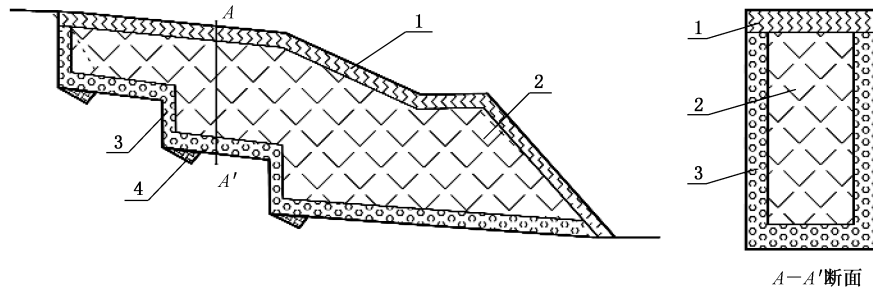
侧和顶部用砂砾石和土工织物做反滤层。

9.3.4 对于浅层滑坡,宜采用支撑盲沟排除滑坡体内地下水,并抗滑支挡(图2)。或在滑坡后缘设置截水盲沟,将地下水拦截于滑坡之外并引走。

9.3.5 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5 m,横宽宜为2 m~4 m,盲沟之间中心间距宜控制在6 m~15 m之间。

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

9.3.7 支撑盲沟的长度、支撑力可按式(9)~式(10)计算。



说明:

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

图2 滑坡地下排水支撑盲沟示意图

a) 支撑盲沟长度可按式(9)计算:

$$L_m = \frac{F_{st} P \cos \alpha - P \sin \alpha \tan \varphi'}{\gamma h b \tan \varphi'} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- L_m ——支撑盲沟长度,单位为米(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,单位为千牛(kN),即: $P = P_B \times B$;
- α ——支撑盲沟后的滑坡滑面倾角,单位为度($^\circ$);
- φ' ——盲沟基础与地基内摩擦角,单位为度($^\circ$);
- γ ——盲沟内填料容量,采用浮容量,单位为千牛每立方米(kN/m^3);
- h, b ——支撑盲沟的高、宽,单位为米(m);
- P_B ——滑坡单宽推力,单位为千牛每米(kN/m);
- B ——沟中心距,单位为米(m)。

b) 支撑力可按式(10)计算:

$$P_z = \gamma h L_m b \tan \varphi' \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- P_z ——盲沟支撑力,单位为千牛(kN)。

式中其余符号意义同式(9)。

9.3.8 截水盲沟宜布设在滑坡可能发展的边界以外不小于5 m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。

9.3.9 截水盲沟排水量计算公式。

a) 当设计盲沟长度等于或大于 50 m 时,可采用式(11)计算:

$$Q' = L_m K \frac{H^2 - h_1^2}{2R'} \dots\dots\dots (11)$$

式中:
Q' ——盲沟出水量,单位为立方米每天(m³/d);
L_m ——支撑盲沟长度,单位为米(m);
K ——渗透系数,单位为米每天(m/d);
H ——含水层厚度,单位为米(m);
h₁ ——动水位至含水层底板的高度,单位为米(m);
R' ——影响半径,单位为米(m)。

b) 当设计盲沟长度小于 50 m 时,可采用式(12)计算:

$$Q' = 0.685K \frac{H^2 - h_1^2}{\lg(4R'/L_m)} \dots\dots\dots (12)$$

式中符号意义同式(11)。

9.3.10 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。

- a) 排水隧洞宜布置在滑面之下的稳定岩层内。
- b) 排水隧洞洞径应满足施工掘进,宽×高不宜小于 1.5 m×2.0 m,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,边侧宜设巡视检查人行通道。
- c) 排水隧洞可采用“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。
- d) 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 50 mm,排水孔内应做反滤层。
- e) 排水隧洞顶部的竖直集水井或钻孔的排水能力可用式(13)计算:

$$Q_1 = \frac{1.36K(2H - S_w)S_w}{\lg \frac{d}{\pi r_w} + \frac{1.3b_1b_2}{db}} \dots\dots\dots (13)$$

式中:
Q₁ ——单井(孔)涌水量,单位为立方米每天(m³/d);
K ——渗透系数,单位为米每天(m/d);
H ——水头或潜水含水层厚度,单位为米(m);
S_w ——排水孔中水位降深,单位为米(m);
d ——井距之半,单位为米(m);
r_w ——井半径,单位为米(m);
b₁ ——井排至排泄边界的距离,单位为米(m);
b₂ ——井排至补给边界的距离,单位为米(m)。

9.3.11 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。

9.3.12 仰斜式排水孔仰角宜为 10°~15°,孔径为 50 mm~130 mm。宜采用具反滤功能的排水软管。

10 抗滑桩工程

10.1 一般规定

10.1.1 抗滑桩布置

10.1.1.1 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,应综合考虑确定其平面布置、

桩间距、桩长和截面尺寸等。

10.1.1.2 抗滑桩的设置应保证滑坡体不越过桩顶或从桩间滑动,应对越过桩顶滑出可能进行验算,并采取相应的防护措施。

10.1.2 截面尺寸及桩型选择

10.1.2.1 抗滑桩的桩截面尺寸应根据滑坡推力的大小、桩间距、桩顶位移量以及嵌固段地基的横向容许承载力等因素确定。

10.1.2.2 抗滑桩嵌固段应设置在滑面以下的稳定岩(土)体中。

10.1.2.3 非常规抗滑桩的桩型选择,应考虑下列条件:

- 当悬臂抗滑桩的设计弯矩过大,或桩顶位移超过容许位移时,宜采用预应力锚索抗滑桩或组合式抗滑桩;
- 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;
- 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,可采用埋置式抗滑桩;
- 当滑坡体地下水较为丰富,需降低地下水位和进行抗滑支挡时,可采用箱型抗滑桩;
- 对下滑力较大的滑坡宜采用分级抗滑支挡或多排抗滑桩。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。

10.2 矩形抗滑桩

10.2.1 设计计算

10.2.1.1 抗滑桩的长边应与滑动方向平行,桩排的连线宜与滑动方向垂直,桩间距宜为 5 m~10 m。

10.2.1.2 桩最小边宽度不宜小于 1.25 m。

10.2.1.3 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。

10.2.1.4 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 7.1 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。

10.2.1.5 抗滑桩上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 3)。

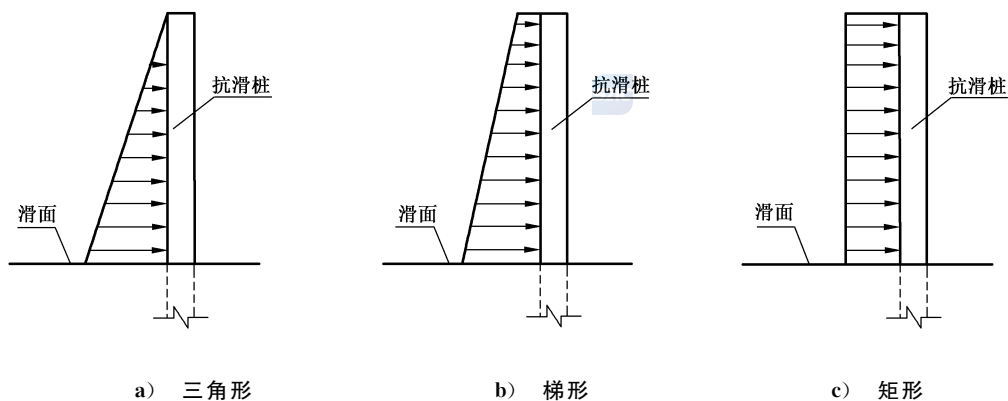


图 3 作用于抗滑桩滑坡推力分布型式

10.2.1.6 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。

10.2.1.7 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。

10.2.1.8 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:

- a) 较完整岩层和硬黏土的地基系数宜为常数 K ;
- b) 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。

10.2.1.9 桩底支撑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。

10.2.1.10 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。

- a) 地层为岩层时,桩的最大横向压应力 $\sigma_{\max}$ 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 B.1。当桩为矩形截面时,地基的横向容许承载力可按式(14)计算:

$$[\sigma_H] = K_H \eta R \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$[\sigma_H]$ ——地基的横向容许承载力,单位为千帕(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,单位为千帕(kPa)。

- b) 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(15)计算:

$$[\sigma_H] = \frac{4}{\cos\varphi} [(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 y) \tan\varphi + c] \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

$[\sigma_H]$ ——地基的横向容许承载力,单位为千帕(kPa);

φ ——滑面以下土体的内摩擦角,单位为度($^\circ$);

γ_1 ——滑面以上土体的重度,单位为千牛每立方米(kN/m^3);

h_1 ——设桩处滑面至地面的距离,单位为米(m);

γ_2 ——滑面以下土体的重度,单位为千牛每立方米(kN/m^3);

y ——滑面至嵌固段上计算点的距离,单位为米(m);

c ——滑面以下土体的黏聚力,单位为千帕(kPa)。

- 2) 当地面横坡 i 较大且 $i \leq \varphi_0$ 时,地基 y 点的横向容许承载力可按式(16)计算:

$$[\sigma_H] = 4(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 y) \frac{\cos^2 i \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi_0}}{\cos^2 \varphi_0} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中:

$[\sigma_H]$ ——地基的横向容许承载力,单位为千帕(kPa);

i ——地面横向坡度,单位为度($^\circ$);

φ_0 ——滑面以下土体的综合内摩擦角,单位为度($^\circ$);

式中其他符号意义同式(15)。

10.2.1.11 矩形抗滑桩的变形系数应符合下列规定。

a) 当嵌固段地基系数为常数 K 时,桩的变形系数可按式(17)计算:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{KB_p}{4EI}} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

β ——桩的变形系数,单位为每米(m^{-1});

K ——地基系数,单位为千帕每米(kPa/m),参见 B.2;

B_p ——桩的计算宽度,单位为米(m),即: $B_p = b + 1$;

E ——桩的钢筋混凝土弹性模量,单位为千帕(kPa), $E = 0.8E_c$,参见 GB/T 1499.1、GB/T 1499.2;

I ——桩的截面惯性矩,单位为四次方米(m^4);

b ——矩形桩的设计宽度,单位为米(m);

E_c ——混凝土弹性模量,单位为千帕(kPa)。

b) 当嵌固段地基系数为三角形分布时,桩的变形系数可按式(18)计算:

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mB_p}{EI}} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

α ——桩的变形系数,单位为每米(m^{-1});

m ——随深度增加的土质地基系数,单位为千帕每平方米(kPa/m^2),参见 B.3;

式中其他符号意义同式(17)。

c) 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。

10.2.1.12 抗滑桩结构可按 GB 50010 进行设计,永久荷载的分项系数取 1.35。抗弯和抗剪设计弯矩和剪力的荷载分项系数取值可按 GB 50009、GB 50007 和 GB 50011 的规定及相关行业设计规范的规定采用。

10.2.1.13 抗滑桩桩身按受弯构件设计,当无特殊要求时,可不作裂缝宽度验算。

10.2.2 构造规定

10.2.2.1 桩身混凝土的强度等级不应低于 C25,地下水位以下的桩身混凝土的强度等级不应低于 C30。

10.2.2.2 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。

10.2.2.3 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,其中,在地下水位以下、严寒或软弱地基地段不宜低于 C25。一般情况下可按构造配筋,但当桩井土层和风化破碎的岩层深度较大时,应通过计算进行校核。

10.2.2.4 抗滑桩纵向受力钢筋直径不应小于 20 mm,且净间距不应小于 80 mm。当用束筋时,每束不宜多于 3 根。

10.2.2.5 抗滑桩纵向受力钢筋可采用多排设置,但不宜多于三排。

10.2.2.6 最外层钢筋混凝土保护层有护壁时可采用 40 mm,无护壁时可采用 70 mm。

10.2.2.7 纵向受力钢筋的截断点应按 GB 50010 的规定计算。

10.2.2.8 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,满足斜截面的抗剪强度。

10.2.2.9 箍筋宜采用封闭式,肢数不宜多于 4 肢,其直径不宜小于 12 mm,间距不应大于 400 mm。

10.2.2.10 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 300 mm,直径不宜小于 12 mm。桩的受压边两侧,应配置架立钢筋,其直径不宜小于 16 mm。当桩身较长时,纵向构造钢筋和架立钢筋的直径应增大。

10.3 圆形抗滑桩

10.3.1 设计计算

10.3.1.1 圆形抗滑桩的桩直径不应小于 0.6 m,且桩之间的中心距宜为桩直径的 3 倍~5 倍。

10.3.1.2 圆形抗滑桩所承受的荷载、桩身内力的计算按 10.2.1 执行。

10.3.1.3 圆形抗滑桩的计算宽度 B_p 应按式(19)~式(20)计算:

$$B_p = 0.9(1.5d + 0.5) \quad d \leq 1 \text{ m} \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$B_p = 0.9(d + 1) \quad d > 1 \text{ m} \quad \dots\dots\dots(20)$$

式中:

B_p ——桩的计算宽度,单位为米(m)。当按式(19)~式(20)计算的 B_p 大于桩间距时, B_p 取桩间距;

d ——桩的直径,单位为米(m)。

10.3.1.4 圆形抗滑桩的变形系数按 10.2.1 计算。

10.3.1.5 圆形抗滑桩桩身纵向钢筋的布置可采用沿桩周均匀配置和不均匀配置两种形式。

10.3.1.6 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(21)~式(23)规定(图 4):

$$M \leq \frac{2}{3}f_c A r \frac{\sin^3 \pi \alpha'}{\pi} + f_y A_s r_s \frac{\sin \pi \alpha' + \sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$\alpha' f_c A \left(1 - \frac{\sin 2\pi \alpha'}{2\pi \alpha'}\right) + (\alpha' - \alpha_t) f_y A_s = 0 \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$\alpha_t = 1.25 - 2\alpha' \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中:

M ——桩的弯矩设计值,单位为千牛米(kN·m),按 10.2.1 的规定计算;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值,单位为千牛每平方米(kN/m²);当混凝土强度等级超过 C50 时, f_c 应以 $\alpha_1 f_c$ 代替,当混凝土强度等级为 C50 时,取 $\alpha_1 = 1.0$,当混凝土强度等级为 C80 时,取 $\alpha_1 = 0.94$,其间接按线性内插法确定;

A ——桩的截面面积,单位为平方米(m²);

r ——桩的半径,单位为米(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;

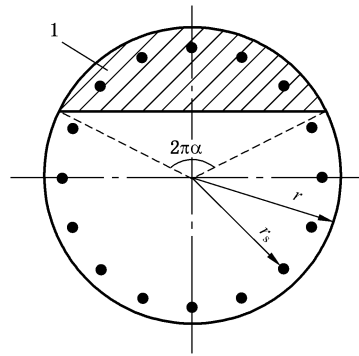
f_y ——纵向钢筋的抗拉强度设计值,单位为千牛每平方米(kN/m²);

A_s ——全部纵向钢筋的截面面积,单位为平方米(m²);

r_s ——纵向钢筋重心所在圆周的半径,单位为米(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。



说明:

1——混凝土受压区。

图 4 圆形抗滑桩沿周边均匀配置纵向钢筋的截面图

10.3.1.7 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(24)~式(27)规定(图 5):

$$M \leq \frac{2}{3} f_c A r \frac{\sin^3 \pi \alpha'}{\pi} + f_y A_{sr} r_s \frac{\sin \pi \alpha_s}{\pi \alpha_s} + f_y A'_{sr} r_s \frac{\sin \pi \alpha'_s}{\pi \alpha'_s} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\alpha' f_c A \left(1 - \frac{\sin 2\pi \alpha'}{2\pi \alpha'} \right) + f_y (A'_{sr} - A_{sr}) = 0 \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$\cos \pi \alpha' \geq 1 - \left(1 + \frac{r_s}{r} \cos \pi \alpha_s \right) \xi_b \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$\alpha' \geq \frac{1}{3.5} \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中:

M ——桩的弯矩设计值,单位为千牛米($\text{kN} \cdot \text{m}$);

α_s ——对应于受拉钢筋的圆心角(rad)与 2π 的比值; α_s 宜取 $1/6 \sim 1/3$,通常可取 0.25;

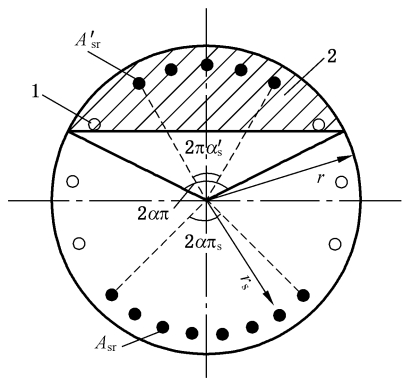
α'_s ——对应于受压钢筋的圆心角(rad)与 2π 的比值,宜取 $\alpha'_s \leq 0.5\alpha'$;

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,单位为平方米(m^2);

ξ_b ——矩形截面的相对界限受压区高度,单位为米(m),应按 GB 50010 的规定取值。

式中其他符号意义同式(21)。

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。



说明：
1——构造钢筋；
2——混凝土受压区。

图 5 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

10.3.1.8 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(25)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(28)规定:

$$M \leq f_y A_{sr} (0.78r + r_s \frac{\sin \pi \alpha_s}{\pi \alpha_s}) \dots\dots\dots (28)$$

式中符号意义同式(24)。

10.3.1.9 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 10 mm ; 纵向构造钢筋的环向间距不应大于圆截面的半径和 250 mm 的较小值。

10.3.1.10 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:

a) 圆形截面钢筋混凝土抗滑桩的受剪截面应符合式(29)规定:

$$V \leq 0.704f_c r^2 \dots\dots\dots (29)$$

式中: 

V ——斜截面上的最大剪力设计值,单位为千牛(kN),按本标准 10.2.1 的规定计算;
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值,单位为千牛每平方米(kN/m^2);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 $\beta_c = 0.8$,其间按线性内插法确定;
 r ——桩的半径,单位为米(m)。

b) 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(30)规定:

$$V \leq 1.97f_t r^2 + 1.6f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} r \dots\dots\dots (30)$$

式中:

V ——斜截面上的最大剪力设计值,单位为千牛(kN);
 f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值,单位为千牛每平方米(kN/m^2);

f_{yv} ——箍筋的抗拉强度设计值,单位为千牛每平方米(kN/m^2);

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积,单位为平方米(m^2);

s ——箍筋间距,单位为米(m)。

- c) 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(30)的要求。

10.3.2 构造规定

10.3.2.1 抗滑桩的桩身混凝土强度等级、钢筋配置和混凝土保护层厚度应符合下列规定:

- a) 桩身混凝土强度等级不应低于 C25,地下水位以下的桩身混凝土的强度等级不应低于 C30;
- b) 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 60 mm;
- c) 抗滑桩顶部设置钢筋混凝土构造冠梁时,纵向钢筋伸入冠梁的长度宜取冠梁厚度;冠梁按结构受力构件设置时,桩身纵向受力钢筋伸入冠梁的锚固长度应符合 GB 50010 对钢筋锚固的有关规定;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;
- d) 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 6 mm;箍筋间距宜取 100 mm~200 mm,且不应大于 400 mm;
- e) 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 1 000 mm~2 000 mm;
- f) 最外层钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 35 mm;采用水下灌注混凝土工艺时,不应小于 50 mm;
- g) 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;
- h) 当沿桩身分段配置纵向受力主筋时,纵向受力钢筋的搭接应符合 GB 50010 的相关规定。

10.3.2.2 抗滑桩顶部宜设置混凝土冠梁。冠梁的宽度不宜小于桩径,高度不宜小于桩径的 0.6 倍。冠梁钢筋应符合 GB 50010 对梁的构造配筋要求。冠梁用作锚杆的传力构件或按空间结构设计时,尚应按受力构件进行截面设计。

10.4 锚索抗滑桩

10.4.1 设计计算

10.4.1.1 锚索抗滑桩的内力应按超静定体系分析。依据桩体和锚索(杆)的变形协调条件,参见附录 C 的方法计算锚索(杆)和抗滑桩分担的载荷,并分项进行锚索和桩身设计。锚索分担荷载的比例一般不宜超过 50%。

10.4.1.2 初步选定锚索抗滑桩长度时,抗滑桩嵌固段的长度可取桩长的 1/4~1/3,最终长度根据侧壁地层的横向容许承载力计算确定。

10.4.1.3 锚索设计应符合第 11 章相关规定;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。

10.4.1.4 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。

10.4.1.5 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,锁固力不应超过设计锚固力的 80%。

10.4.2 构造规定

10.4.2.1 桩身混凝土强度等级不应低于 C30,当地下水有侵蚀性时,应按有关规定选用水泥。

10.4.2.2 锚索孔距桩顶的距离不应小于 0.5 m。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 1.5 m。

10.4.2.3 锚索外锚头下的承力钢垫板平面应与锚索轴向保持垂直。

10.4.2.4 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。

10.5 箱型抗滑桩

10.5.1 设计计算

10.5.1.1 箱型抗滑桩结构是箱型钢筋混凝土结构体系,桩芯为中空井部分。

10.5.1.2 箱型抗滑桩截面设计计算公式,参见附录 D。

10.5.2 构造规定

10.5.2.1 箱型抗滑桩桩身由空心段和实心段组成,其中,上部应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,长度为不小于 0.5 m。

10.5.2.2 箱型抗滑桩中空井部分宜为圆形或矩形断面,应满足如下条件:

- a) 当中空部分为圆形井,直径应不小于 0.8 m;
- b) 当中空部分为矩形井,矩形断面宽度不应小于 0.8 m,矩形断面长度不宜小于 1.4 m,且桩井壁最小结构厚度不应小于 0.3 m。

10.5.2.3 箱型结构抗滑桩混凝土强度等级应不低于 C30。

10.5.2.4 当地下水有侵蚀性时,设计应符合 GB/T 50476 的要求。

10.5.2.5 箱型结构抗滑桩钢筋,由纵向受力钢筋和箍筋构成,其中纵向受力钢筋宜选用普通 HRB400、HRB500 钢筋,箍筋宜选用 HRB400 钢筋。

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

10.5.2.7 纵向受拉钢筋并筋应按单根等效钢筋进行计算,等效钢筋的等效直径可按截面面积相等的原则换算确定。

10.5.2.8 纵向受拉钢筋直径应大于 16 mm,净距应在 120 mm~250 mm 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 mm~200 mm 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 25 mm 时,宜采用机械连接。

10.5.2.9 箱型抗滑桩内不宜采用斜筋抗剪,当剪力较大时,可采用调整混凝土等级或者调整箍筋强度、直径、肢数、间距和桩截面尺寸等措施,以满足斜截面抗剪要求。

10.5.2.10 箱型抗滑桩的箍筋肢数宜采用 4 肢,箍筋间距宜为 100 mm~300 mm 之间。

10.5.2.11 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 35 mm;当无混凝土护壁时,混凝土保护层厚度不应小于 70 mm。

10.5.2.12 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。

10.5.2.13 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、排水洞相连排除滑坡体内地下水。

10.6 埋入式抗滑桩

10.6.1 设计计算

10.6.1.1 埋入式抗滑桩的设计宜采用有限元强度折减法进行,设计安全系数采用强度储备安全系数,计算公式参见附录 E。

10.6.1.2 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。

10.6.2 构造措施

10.6.2.1 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,对有次级滑面的滑坡体应采取综合措施,避免坡体局部失稳。

10.6.2.2 埋入式抗滑桩桩顶高度确定应保证滑坡不产生越顶剪出。

10.7 小口径组合抗滑桩

10.7.1 一般规定

10.7.1.1 小口径组合抗滑桩单桩桩径不宜大于 500 mm。

10.7.1.2 小口径组合抗滑桩可采用垂直或倾斜布置,当采用垂直布置时,宜采用多排布置方式,单桩桩间应成“品字型”错开布置,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。将各单桩连成整体,使其共同受力及变形。当采用倾斜布置时,宜采用斜向交叉网状布置。

10.7.2 设计计算

10.7.2.1 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。

10.7.2.2 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。

10.7.2.3 小口径组合抗滑桩设计应根据防治工程的等级,按表 5 推荐的设计安全系数取高值。

10.7.2.4 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 F,或用数值模拟方法进行计算。

10.7.2.5 桩的正截面受弯承载力和箍筋配置,应符合 10.3 圆形抗滑桩的规定。

10.7.2.6 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(31)~式(32)计算:

$$M_{AB} = 6 \frac{EI}{l^2} \Delta_{AB}, M_{BA} = 6 \frac{EI}{l^2} \Delta_{AB} \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$Q_{AB} = 12 \frac{EI}{l^3} \Delta_{AB}, Q_{BA} = 12 \frac{EI}{l^3} \Delta_{AB} \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中:

M_{AB}, M_{BA} ——桩顶连系梁起、终点的弯矩设计值,单位为千牛米(kN·m);

EI ——连系梁的抗弯刚度,单位为千牛平方米(kN·m²);

l ——连系梁的单跨计算长度,单位为米(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,单位为千牛(kN)。

10.7.2.7 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。

10.7.2.8 桩顶连系梁或承台的配筋应符合 GB 50010 中关于受弯构件的相关规定。

10.7.3 构造规定

10.7.3.1 小口径桩的受力筋应采用钢筋笼、型钢、钢管,或其组合形式。

10.7.3.2 桩体宜采用细石混凝土,细石混凝土骨料粒径宜小于 20 mm,混凝土强度等级不低于 C30。

11 锚索(杆)工程

11.1 锚索

11.1.1 一般规定

11.1.1.1 锚索主要包括全长粘结锚索、自由锚索和压力分散型锚索三类。



11.1.1.2 常用锚索结构参见附录 G,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。

11.1.1.3 当滑坡体坡面较陡且为堆积层或土质滑坡,预应力锚索应与抗滑桩、钢筋混凝土格构组合使用。

11.1.1.4 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。

11.1.2 设计计算

11.1.2.1 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。

11.1.2.2 当滑坡体为岩质且结构完整时,锚索锁定预应力值宜为设计锚固力的 100%。

11.1.2.3 当滑坡体蠕滑明显,采用预应力锚索与抗滑桩组合结构时,锚索锁固力宜为设计锚固力的 50%~80%。

11.1.2.4 当滑坡体具倾倒崩滑性时,锚索锁固力宜为设计锚固力的 30%~70%。

11.1.2.5 对于Ⅰ级且规模较大的滑坡防治工程,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段长度,拉拔试验的锚索数量不应少于 3 根。

11.1.2.6 锚固段长度的确定,应分别通过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。

11.1.2.7 注浆体与锚索界面的锚固段长度应按式(33)计算,注浆体与钻孔界面的锚固段长度应按照式(34)进行计算:

$$L_a \geq \frac{F_b T_k}{n \pi d f_{ms}} \dots\dots\dots (33)$$

$$L_a \geq \frac{F_b T_k}{\pi D f_{mg}} \dots\dots\dots (34)$$

式中:

L_a ——锚固段长度,单位为毫米(mm);

F_b ——锚索锚固体抗拔安全系数,取值参见附录 J;

T_k ——锚索设计锚固力,单位为牛(N);

n ——钢绞线根数,(根);

d ——钢绞线直径,单位为毫米(mm);

f_{ms} ——注浆体与锚索界面粘结强度设计值,单位为兆帕(MPa),取值参见附录 J;

f_{mg} ——注浆体与钻孔界面极限粘结强度标准值,单位为兆帕(MPa),取值参见附录 J;

D ——锚索锚固段钻孔直径,单位为毫米(mm)。

11.1.2.8 对于岩体中的锚索,应满足以下规定:

- a) 当锚索设计锚固力 <500 kN时,单元锚固段应穿过滑带且不小于 1.0 m,且长度不应小于 3.0 m;
- b) 当锚索设计锚固力 ≥ 500 kN时,单元锚固段应穿过滑带且不小于 1.5 m,且长度应大于 3.5 m;
- c) 锚索最大单元锚固段长度不宜超过 8.0 m。

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

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

11.1.2.11 滑坡体上部第一排锚索锚固段上覆地层厚度不应小于 5.0 m。

11.1.2.12 预应力锚索设计锚固力的确定可分为下列两种情况:

- a) 岩质滑坡。根据极限平衡法进行计算,应考虑预应力沿滑面施加的抗滑力和垂直滑面施加的法向阻滑力。
- b) 堆积层(包括土质)滑坡。滑坡推力应按滑坡滑面形状选用相应的计算公式,参见附录 A。若采用不平衡推力传递法进行计算时,可仅考虑预应力锚索沿滑面切向施加的抗滑力,不考虑垂直滑面产生的法向阻滑力。

11.1.2.13 单元锚索的预应力钢绞线的根数应按式(35)确定:

$$n = \frac{F_b \cdot T_k}{\eta_m \cdot F_m} \dots\dots\dots (35)$$

式中:

n ——组成锚索的钢绞线根数,单位为根;

F_b ——锚索锚固体抗拔安全系数,取值参见附录 J;

T_k ——锚索设计锚固力,单位为牛(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,单位为牛(N)。

11.1.2.14 压力分散型锚索各单元锚固段长度可按式(33)计算,锚索锚固段注浆体承压面积应按式(36)验算:

$$F_p T_d \leq 1.35 A_p \sqrt{A_m / A_p} \eta f_c \dots\dots\dots (36)$$

式中:

F_p ——单元锚索锚固注浆体局部抗压安全系数,按照工程安全等级 $F_p = 1.5 \sim 2.0$;

T_d ——单元锚索的设计锚固力值,单位为牛(N);

A_p ——单元锚索承载体与锚固段注浆体横截面净接触面积;为受压面积中扣除孔道部分的面积,单位为平方毫米(mm²);

A_m ——锚固段注浆体横截面积,单位为平方毫米(mm²);

η ——有侧限锚固段注浆体强度增大系数,由试验确定,无试验资料时 $\eta = 1.0$;

f_c ——锚固段注浆体轴心抗压强度设计值,单位为兆帕(MPa)。

11.1.2.15 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。

11.1.2.16 锚索设计锚固力小于 1 500 kN 时,锚索间距不宜小于 3 m;锚索设计锚固力大于 1 500 kN

时,锚索间距宜大于 4 m,若间距小于 4 m,应进行群锚效应分析。

11.1.3 构造规定

11.1.3.1 锚索钢绞线的使用应符合以下规定:

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

11.1.3.2 锚索支架的使用应符合以下规定:

- a) 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;
- b) 支架的间距和数量应根据锚索体刚度确定,对中支架的间距宜为 2.0 m~2.5 m,对中隔离支架间距宜为 1.5 m~2.0 m;
- c) 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 5 mm,且支架处锚索的外裹注浆体厚度不应小于 5 mm;
- d) 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 10 mm,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 5 mm;
- e) 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。

11.1.3.3 波纹管主要用于锚索防腐,宜符合:

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

11.1.3.4 锚具的选用应符合下列规定:

- a) 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;
- b) 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;
- c) 永久性加固工程的锚具应安装防护帽进行防腐蚀保护。

11.1.3.5 锚索的垫墩和垫板应满足下列要求:

- a) 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;
- b) 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 100 mm;
- c) 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。

11.1.3.6 锚索注浆体材料应符合以下规定:

- a) 锚索注浆体应采用强度等级不低于 32.5 MPa 的水泥,压力分散型锚索应采用强度等级不低于 42.5 MPa 的水泥;
- b) 锚索注浆体宜采用水泥浆,也可采用水泥砂浆,注浆体 28 d 无侧限抗压强度不应小于 30 MPa,压力分散型锚索注浆体抗压强度不应小于 40 MPa;
- c) 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;
- d) 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%;
- e) 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;
- f) 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,氯化物、硫酸盐和硝酸盐总含量不应超过 0.1%;

- g) 在 20 ℃ 条件下,注浆体拌合后 3 h 的泌水量不应大于其体积的 4%;
- h) 注浆施工前,应对注浆体 3 d、7 d 和 28 d 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。

11.1.4 锚索防腐

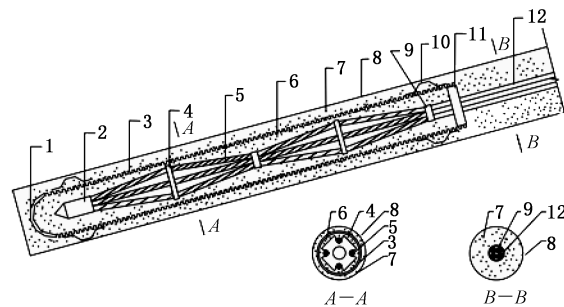
11.1.4.1 锚索防腐包括自由段、锚固段和锚头防腐三部分。

11.1.4.2 锚索自由段防腐应符合下列要求:

- a) 永久性加固工程的预应力锚索宜选用无粘结预应力钢绞线制作;
- b) 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;
- c) 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,钢绞线应用带锈防锈剂涂刷防锈层;
- d) 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;
- e) 当采用全长防护锚索或双层防护锚索时,参见附录 G 中图 G.3 或 G.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。

11.1.4.3 锚索锚固段防腐应符合下列要求:

- a) 锚固段的防护套管应使用塑料波纹管,塑料波纹管应符合 11.1.3.3 的规定;
- b) 锚固段防腐系统可参见图 6。



说明:

- 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 6 预应力锚索锚固段防腐示意图

11.1.4.4 锚索锚头的防腐应符合下列要求:

- a) 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;
- b) 对于全长粘结锚索,垫板下部的钻孔空隙应使用素水泥浆进行灌注处理,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;
- c) 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;
- d) 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;
- e) 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。

11.1.5 施工设计

11.1.5.1 锚索钻孔施工应遵守以下一般规定:

- a) 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;
- b) 钻孔深度应大于设计孔深 500 mm,钻孔孔位偏差应小于 ± 100 mm,钻孔入口处倾角偏差应小于设计倾角 $\pm 3^\circ$;
- c) 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%;
- d) 对于岩体中钻孔,钻头直径应不小于设计钻孔直径 3 mm。

11.1.5.2 锚索注浆施工应符合以下规定:

- a) 当在土体中进行压力注浆时,锚固段上覆地层每米埋深的注浆压力不宜大于 0.02 MPa,当压力过高时,应考虑地层可能的破裂和对附近建筑物的损坏;
- b) 对采用二次压力注浆工艺时,终止注浆的压力不应小于 1.5 MPa;
- c) 采用分段二次劈裂注浆工艺时,注浆宜在固结体强度达到 5 MPa 后进行。

11.1.5.3 锚索张拉应满足以下要求:

- a) 当锚索注浆体的强度达到设计强度的 75% 且不小于 20 MPa 后方可进行锚索的张拉锁定;
- b) 应采用张拉系统出力与钢绞线伸长值来综合控制锚索应力,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;
- c) 张拉加载速率要平缓,速率宜控制在每分钟为设计锚固力(T)的 10% 左右;卸荷速率宜控制在每分钟设计锚固力(T)的 20% 左右;
- d) 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 1 min;
- e) 张拉完成后 48 h 内,若发现预应力损失大于设计的锁定预应力 10% 时应进行补偿张拉。

11.1.6 锚索试验

11.1.6.1 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。

11.1.6.2 对于新型结构锚索的试验,试验锚索的数量不应少于 3 根。

11.1.6.3 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。

11.1.6.4 对于Ⅲ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 3% 且应不小于 3 根。

11.1.6.5 对于Ⅱ级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 5%,且不应少于 3 根。

11.1.6.6 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塑性指数 $I_p > 17$ 的土层中的锚索,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。

11.1.7 锚索监测

11.1.7.1 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。

11.1.7.2 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。

11.1.7.3 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10 d内观测频率应为1次/d,10 d~30 d内观测频率应为1次/3 d,此后观测频率可取1次/1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。

11.1.7.4 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。

11.2 锚杆

11.2.1 一般规定

11.2.1.1 锚杆类型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。

11.2.1.2 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。

11.2.1.3 当滑坡体为堆积层或土质滑坡,锚杆应与钢筋混凝土格构或其他支挡结构组合使用。

11.2.1.4 锚杆制作与安装还应符合11.1.3的规定。

11.2.2 设计计算

11.2.2.1 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。

11.2.2.2 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。

11.2.2.3 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。

11.2.2.4 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。

11.2.2.5 注浆体与锚杆界面的锚固段长度可参照式(33)计算,注浆体与钻孔界面的锚固段长度可参照式(34)进行计算。

11.2.2.6 锚杆的杆体截面积应按式(37)计算确定:

$$A_s \geq \frac{F_b \cdot T_k}{f_y} \dots\dots\dots (37)$$

式中:

A_s ——杆体横截面面积,单位为平方毫米(mm^2);

F_b ——锚杆锚固体抗拔安全系数,取值参见附录J;

T_k ——锚杆承载力设计值,单位为牛(N);

f_y ——杆体抗拉强度设计值,单位为兆帕(MPa)。

11.2.2.7 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%。

11.2.3 施工设计

11.2.3.1 普通水泥砂浆锚杆杆体宜采用HRB400热轧螺纹钢筋,或中空螺纹钢筋、精轧螺纹钢和纤维

增强塑料。

11.2.3.2 对中支架应沿锚杆全长设置,且自由段对中支架间距宜为 1.5 m~2.0 m,锚固段对中支架间距宜取 1.0 m~1.5 m。

11.2.3.3 锚杆对中支架支撑高度应根据钻孔直径确定,且水泥浆保护层厚度不应小于 10 mm。

11.2.3.4 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。

11.2.3.5 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。

11.2.3.6 采用分段二次劈裂注浆工艺时,注浆宜在固结体强度达到 5 MPa 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。

11.2.3.7 锚杆注浆体可 adopt 水泥浆或水泥砂浆,注浆体 28 d 无侧限抗压强度不应小于 20 MPa。

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

11.2.3.9 用于永久性加固工程的锚杆钢垫板和螺帽应使用细石混凝土封闭,封闭厚度不应小于 20 mm。

12 格构锚固工程

12.1 一般规定

12.1.1 当滑坡表面岩土体易风化、剥落且有浅层崩滑、蠕滑等现象,以及需要对坡面进行绿化美化时,宜采用格构锚固进行综合防护。

12.1.2 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 11.1 规定。

12.1.3 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,锚杆应满足 11.2 的规定。

12.2 格构锚固设计

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

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

12.2.3 格构梁断面高×宽不宜小于 300 mm×250 mm。

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

12.2.5 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 K.1 的要求进行分配。

12.2.6 当作用于格构梁的锚固力确定后,参见附录 K.2 中的“倒梁法”进行内力计算。

12.2.7 钢筋混凝土格构梁的弯矩和斜截面承载力应符合 GB 50010 的有关规定。

12.2.8 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。

12.2.9 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。

12.2.10 锚索(杆)设计计算应符合 11.1 和 11.2 的规定。

12.3 格构锚固构造

12.3.1 格构型式和间距应符合下列要求:

- a) 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 4.0 m;

- b) 菱型,指沿平整边坡坡面斜向设置钢筋混凝土梁,格构梁间距应小于 4.0 m;
- c) 弧型,格构梁横向间距应小于 3.5 m;
- d) “人”字型,格构梁横向间距应小于 3.5 m;
- e) 其他格构型式可采用经验类比进行选择。

12.3.2 钢筋混凝土格构纵向钢筋应采用 $\phi 14$ HRB400 级以上的热轧钢筋,箍筋应采用 $\phi 8$ 以上的钢筋加工。若纵向受力钢筋的计算配筋率小于最小配筋百分率,可采用构造配筋,使其满足小于最小配筋百分率的要求。

12.3.3 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 35 mm。

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

12.3.5 格构锚固边坡坡面应平整,坡度不宜大于 70° 。

12.3.6 当坡度较陡时,应在格构间做坡面防护处理。如采用在格构中间挂网喷浆的处理措施,应预留排水孔。

13 抗滑挡墙工程

13.1 重力式抗滑挡墙



13.1.1 一般规定

13.1.1.1 重力式抗滑挡墙宜与排水、减载、护坡等其他防治工程配合使用。

13.1.1.2 重力式抗滑挡墙墙形选择应根据地形条件、滑坡地质条件和稳定状态、施工条件、土地利用和经济性等因素综合确定。

13.1.1.3 对于土质滑坡,重力式抗滑挡墙的高度不宜大于 10 m;对于岩质滑坡,重力式抗滑挡墙的高度不宜大于 12 m;当墙高大于以上规定值时,应进行专门计算和设计。

13.1.2 设计荷载及计算

13.1.2.1 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,并按库仑理论计算被动土压力。

13.1.2.2 重力式抗滑挡墙所承受滑坡推力参见附录 A 中的滑坡推力计算公式。

13.1.2.3 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 $F_t \geq 1.2$ 。

13.1.2.4 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 7)应按式(38)计算:

$$F_s = \frac{[(G + P_y) \cos \alpha_0 + P_x \sin \alpha_0] \mu}{P_x \cos \alpha_0 - (G + P_y) \sin \alpha_0} \dots\dots\dots (38)$$

式中:

F_s ——抗滑稳定安全系数;

- G ——抗滑挡墙每延米自重,单位为千牛每米(kN/m);
- P_y ——为滑坡推力的竖向分力,单位为千牛每米(kN/m),即: $P \sin \theta$;
- α_0 ——墙的基底倾角,单位为度($^\circ$);
- P_x ——为滑坡推力的水平分力,单位为千牛每米(kN/m),即: $P \cos \theta$;
- μ ——岩土对重力式挡土墙基底的摩擦系数;
- P ——作用在抗滑重力式挡土墙上的滑坡推力,单位为千牛每米(kN/m);当作用在墙背上的主动土压力大于滑坡推力时,应采用主动土压力检算抗滑安全系数;
- θ ——滑坡推力与水平面的夹角,单位为度($^\circ$).

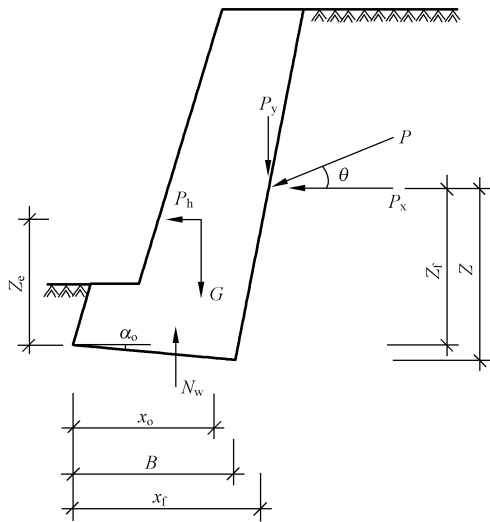


图 7 重力式抗滑挡墙稳定性计算简图

b) 工况Ⅱ(基本荷载+降雨荷载)的抗滑稳定安全系数 F_s 应按式(39)计算:

$$F_s = \frac{[(G + P_y - N_w) \cos \alpha_0 + P_x \sin \alpha_0] \mu}{P_x \cos \alpha_0 - (G + P_y - N_w) \sin \alpha_0} \dots\dots\dots (39)$$

式中:

F_s ——抗滑稳定安全系数;

N_w ——墙身的总浮力,单位为千牛(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。

式中其他符号意义同式(38)。

c) 工况Ⅲ(基本荷载+地震荷载)的抗滑稳定安全系数应按式(40)计算:

$$F_s = \frac{[(G + P_y) \cos \alpha_0 + (P_x + P_h) \sin \alpha_0] \mu}{(P_x + P_h) \cos \alpha_0 - (G + P_y) \sin \alpha_0} \dots\dots\dots (40)$$

$$P_h = \alpha_w \times G \dots\dots\dots (41)$$

式中:

F_s ——抗滑稳定安全系数;

P_h ——地震力,单位为千牛每米(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(41)计算;

α_w ——综合水平地震系数,按表 4 取值。

式中其他符号意义同式(38)。

13.1.2.5 挡土墙抗倾覆稳定安全系数 F_t ,应按式(42)计算:

$$F_t = \frac{\sum M_y}{\sum M_0} \dots\dots\dots (42)$$

式中:

F_s ——抗倾覆稳定安全系数;

$\sum M_y$ ——稳定力系对墙趾的总力矩,单位为千牛米(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,单位为千牛米(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7。

13.1.2.6 挡土墙基底合力的偏心距应按式(43)计算:

$$e = \frac{B}{2} - c = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_y - \sum M_0}{\sum N} \dots\dots\dots (43)$$

式中:

e ——基底合力的偏心距,单位为米(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,单位为米(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,单位为米(m);

$\sum N$ ——作用于基底上的总垂直力,单位为千牛(kN)。

式中其他符号意义同式(42)。

13.1.2.7 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(44)~式(46)计算:

$$\text{当 } |e| \leq \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_{1,2} = \frac{\sum N}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \dots\dots\dots (44)$$

$$\text{当 } e > \frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_1 = \frac{2\sum N}{3c}, \sigma_2 = 0 \dots\dots\dots (45)$$

$$\text{当 } e < -\frac{B}{6} \text{ 时, } \sigma_1 = 0, \sigma_2 = \frac{2\sum N}{3(B-c)} \dots\dots\dots (46)$$

式中:

σ_1 ——挡土墙墙趾部的压应力,单位为千帕(kPa);

σ_2 ——挡土墙墙踵部的压应力,单位为千帕(kPa)。

式中其他符号意义同式(43)。

13.1.2.8 墙身截面强度检算应符合下列要求:

a) 检算截面的合力偏心距 e :

1) 当按设计工况计算时: $|e| \leq 0.3B'$;

2) 当按校核工况计算时: $|e| \leq 0.35B'$ 。

式中:

B' ——墙身截面宽度,单位为米(m)。

b) 检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,并应检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) 墙身截面宜作剪力检算。

13.1.3 构造规定

13.1.3.1 重力式抗滑挡墙基础埋置深度应大于当地标准冻深线,并应置于滑面以下且不小于 1 m。

13.1.3.2 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 0.6 m。

13.1.3.3 重力式抗滑挡墙墙胸宜采用 1:0.3~1:0.5 坡度。墙高小于 4.0 m 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。

13.1.3.4 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。

13.1.3.5 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 1.0 m。

13.1.3.6 重力式抗滑挡墙背侧应设置 200 mm~400 mm 厚的反滤层,孔洞附近 1 m 范围内应加厚至 400 mm~600 mm。回填土为砂性土时,墙背侧最低排泄水孔下侧应设倾向坡外,厚度不小于 300 mm 的防水层。

13.1.3.7 重力式抗滑挡墙中水平方向和竖直方向每隔 1 m~5 m 应设置泄水孔,呈“品”字型排列。泄水孔直径不小于 100 mm,特别地,对于黏性土及降水量大的区域应增加泄水孔孔径和数量。

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

13.1.3.9 重力式抗滑挡墙,墙长每间隔 10 m~20 m 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 mm~50 mm。

13.1.3.10 重力式抗滑挡墙高出地面 2 m 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。

13.2 扶壁式抗滑挡墙

13.2.1 一般规定

13.2.1.1 扶壁式抗滑挡墙适用于滑坡前缘反压填土边坡的支挡。

13.2.1.2 扶壁式抗滑挡墙的基础应置于滑带之下且不小于 1 m,其埋置深度应根据滑面位置、地基承载力、水流冲刷深度等因素经计算确定[图 8a)]。

13.2.2 设计荷载及计算

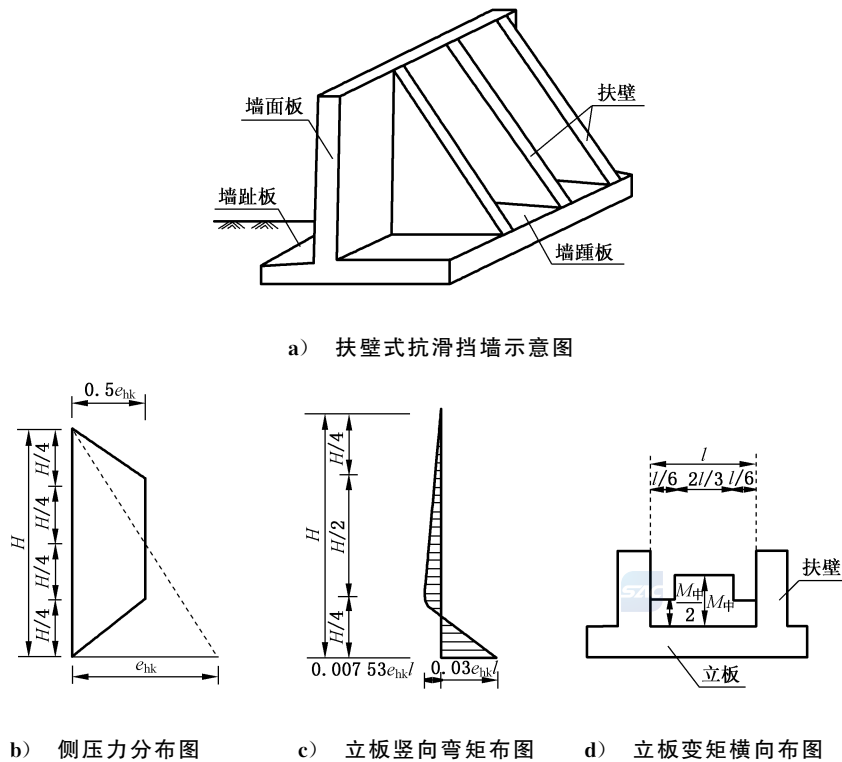
13.2.2.1 扶壁式抗滑挡墙承受的荷载及其组合同 13.1.2。

13.2.2.2 扶壁式抗滑挡墙的土压力可按第二破裂面法计算,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。

13.2.2.3 计算抗滑挡墙实际墙背和墙踵板的土压力时,可不计算填料与板的摩擦力。

13.2.2.4 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。

13.2.2.5 作用于墙面板的荷载,可按墙高呈梯形分布[图 8b)];墙面板竖向弯矩,可按墙高分布[图 8c)];竖向弯矩沿墙面方向可按台阶分布计[图 8d)]。



说明：

$M_{中}$ ——板跨中弯矩；

H ——墙面板的高度；

e_{hk} ——墙面板底端内填料引起的法向土压力；

l ——扶壁之间的净距。

图 8 扶壁式抗滑挡墙侧向压力分布、荷载及弯矩分布图

13.2.2.6 墙趾板应按悬臂板计算。墙踵板纵向可视为扶壁支承的连续梁，不计墙面板对底板的约束。

13.2.2.7 作用在墙踵板的荷载除计算板上的土压力及基底反力外，尚应计算由于墙趾板弯矩作用在墙踵板产生的等代荷载，墙踵板横向可不检算。

13.2.2.8 扶壁应按悬臂的“T”型梁检算，将墙面板视为梁的翼缘，扶壁视为梁的腹板。

13.2.3 构造规定

13.2.3.1 扶壁式抗滑挡墙的混凝土强度等级不应低于 C25，立板和扶壁的混凝土保护层厚度不应小于 35 mm，底板（含墙趾板和墙踵板）的保护层厚度不应小于 40 mm。

13.2.3.2 扶壁式抗滑挡墙尺寸应根据强度和变形计算确定，并符合下列规定：

- 两扶壁之间的距离宜取抗滑挡墙高度的 $1/3 \sim 1/2$ ；
- 扶壁的厚度宜取扶壁间距的 $1/8 \sim 1/6$ ，且不宜小于 300 mm；
- 立板顶端和底板的厚度应不小于 200 mm；
- 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，可取两扶壁净距的 0.35 倍左右。

13.2.3.3 扶壁式抗滑挡墙受力钢筋直径不应小于 12 mm，间距不宜大于 250 mm。

13.2.3.4 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。

- 13.2.3.5 扶壁式抗滑挡墙位于纵向坡度大于 5% 的斜坡时,基底宜做成台阶形。
- 13.2.3.6 扶壁式抗滑挡墙上应设置泄水孔,按上下左右每隔 2 m~3 m 交错布置,折线墙背的易积水处应增设泄水孔。泄水孔的坡度宜为 5%,向墙外呈斜坡,墙背进水口处应设置反滤层。
- 13.2.3.7 当墙背填料为细粒土时,应在最低排泄孔至墙顶以下 0.5 m 高度以内,填筑不小于 300 mm 厚的砂砾石或土工合成材料作为反滤层。反滤层的顶部与下部应设置隔水层。
- 13.2.3.8 扶壁式抗滑挡墙纵向伸缩缝间距宜采用 10 m~15 m。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。

13.3 桩板式抗滑挡墙



13.3.1 一般规定

- 13.3.1.1 桩板式抗滑挡墙适用于开挖土石方可能危及相邻建筑物或环境安全的边坡、填方边坡支挡以及工程滑坡治理。
- 13.3.1.2 桩板式抗滑挡墙墙顶位移应小于悬臂段长度的 1/100,且不宜大于 100 mm。
- 13.3.1.3 地面处桩的水平位移不宜大于 10 mm。桩应满足抗滑桩设计要求。
- 13.3.1.4 桩的设置应满足下列要求:
- a) 桩应嵌固在稳定的地层中;
 - b) 确保桩后土体不越过桩顶或从桩间滑走;
 - c) 不应产生新的深层滑动。

13.3.2 设计荷载及计算

- 13.3.2.1 桩板式抗滑挡墙承受的基本荷载及其组合同 13.1.2。
- 13.3.2.2 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。
- 13.3.2.3 桩板式抗滑挡墙的桩嵌入岩土层内部分内力采用地基系数法计算时,计算时可不计桩侧摩阻力,桩的计算宽度可按式(47)计算:

$$B_p = b + 1 \dots\dots\dots (47)$$

式中:

B_p ——桩的计算宽度,单位为米(m);

b ——矩形桩的设计宽度,单位为米(m)。

- 13.3.2.4 在腐蚀性环境条件下,应进行最大裂缝宽度验算,最大裂缝宽度可适当放宽,并采用防腐措施。
- 13.3.2.5 设置有牛腿的桩,除检算强度外,尚应作牛腿的裂缝宽度检算。
- 13.3.2.6 挡土板应作最大裂缝宽度验算。

13.3.3 构造规定

- 13.3.3.1 用于滑坡支挡时桩身混凝土强度等级不应低于 C30。挡板的混凝土强度等级不应低于 C25。
- 13.3.3.2 悬臂式桩板抗滑挡墙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。
- 13.3.3.3 桩板式抗滑挡墙应根据其受力特点进行配筋设计,其配筋率、钢筋搭接和锚固应符合 GB 50010 的有关规定和 10.1 的有关规定。
- 13.3.3.4 桩间设置用于安装预制挡土板的桩侧牛腿高度不宜小于 400 mm,宽度不宜小于 30 mm。

13.3.3.5 当挡土板置于桩背时,挡土板与桩搭接长度不宜小于 400 mm。置于桩间的可采用桩侧牛腿阻挡挡土板或桩体预埋钢筋、植筋方式与挡土板纵筋链接。

13.3.3.6 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 250 mm,直径不宜小于 10 mm。

13.3.3.7 预制挡土板厚度宜为 250 mm~300 mm,双侧配筋,设泄水孔或缝和吊装孔。

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

13.3.3.9 挡土板板后应设反滤层,滤料宜采用级配良好的砂石料并与回填料间采用土工布隔离防滤料堵塞,反滤层厚度 400 mm~500 mm,反滤层接近地面处设黏土防水层,厚度 500 mm。泄水孔内安装的排水管应伸入反滤层内 200 mm~300 mm。

13.3.3.10 桩板式抗滑挡墙纵向伸缩缝间距对现浇板不宜大于 50 m,对预制板不宜大于 25 m。缝宽宜为 20 mm~30 mm,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 150 mm。

13.4 石笼式抗滑挡墙

13.4.1 一般规定

13.4.1.1 石笼式抗滑挡墙适用于地基承载力较低的滑坡堆积体边坡防护、受水流冲刷且防护工程基础不易处理的滑坡前缘阻滑治理。

13.4.1.2 石笼式抗滑挡墙墙高宜小于 6.0 m,当与土工格栅、钢丝网等加筋技术联合使用时,可提高墙体高度。

13.4.1.3 石笼式抗滑挡墙设置地段的水流流速宜小于 5 m/s。

13.4.1.4 当地基软弱,地基承载力达不到设计要求时,可通过扩大基础底面积处置,或应进行专门的地基处理。

13.4.2 设计荷载及计算

13.4.2.1 石笼式抗滑挡墙应按重力式抗滑挡墙检算整体稳定性。荷载及其组合同 13.1.2。

13.4.2.2 墙脚受流水冲刷时,应保证基础埋置深度在冲刷线以下不小于 0.5 m。

13.4.3 构造规定

13.4.3.1 石笼式抗滑挡墙墙面型式可分为直立式抗滑挡墙或台阶式抗滑挡墙,可设置多级平台。

13.4.3.2 箱体网片的网孔形状可制成矩形、菱形、六边形等,应均匀牢固,不得扭曲变形。

13.4.3.3 叠砌石笼应采用长方体形状,常用规格为长度 1 m~4 m、宽度 1 m、高度 0.5 m~1 m,当长度大于 1 m 时应采用网片分隔成多格笼体。

13.4.3.4 石笼填石料应使用重度大、浸水不崩解、坚硬且耐风化的石料,严禁使用风化石。

13.4.3.5 填充料中,大于网孔孔径的粒料应不低于 80%,平均重度应不低于 17 kN/m³,底层石料每块质量应不小于 25 kg。

13.4.3.6 石笼层与层间砌体应丁顺交错,上下搭接,严禁出现通缝,可参考 GB 50003 规定。

14 其他防治工程

14.1 一般规定

其他滑坡防治工程包括削方减载、回填压脚、抗滑键、植物防护等,应结合现场具体条件,优选采用。

14.2 削方减载工程

- 14.2.1 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。
- 14.2.2 削方减载对于滑坡抗滑稳定安全系数的提高值应作为设计依据。
- 14.2.3 削方减载后形成的边坡高度,需满足 GB 50330 的规定。
- 14.2.4 削方边坡开挖设计时,应确定纵向排水沟位置,并且与城市或公路排水系统衔接。
- 14.2.5 采用机械方法施工,应预留 0.5 m~1.0 m 保护层,人工开挖至设计位置。
- 14.2.6 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危害。
- 14.2.7 对耕植土层削方减载时应采取移土再利用措施。

14.3 回填压脚工程

- 14.3.1 回填体应经过专门设计,其对于滑坡抗滑稳定安全系数的提高值可作为工程设计依据。
- 14.3.2 未经专门设计的回填体,其对于安全系数的提高值不宜作为设计依据,但可作为安全储备加以考虑。
- 14.3.3 回填土压实度应不低于 0.90。
- 14.3.4 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。
- 14.3.5 库(江)水位变动带的回填压脚应对回填体进行地下水渗流处理和防冲刷护坡。
- 14.3.6 回填体材料宜优先选用透水性较好的碎石、卵石和砂性土。
- 14.3.7 采用透水性小的材料时,应按照反滤要求做好包括坡内排水和坡面排水和防渗等措施。
- 14.3.8 当回填土边坡较高陡时,应设置抗滑挡墙支挡措施。

14.4 抗滑键工程

- 14.4.1 抗滑键可用于滑坡体完整性好且无浅层滑面,仅需通过对滑带及周围岩土体加固即可提高整体稳定的情况。
- 14.4.2 抗滑键在滑坡治理中可单独使用,也可与其他抗滑支挡结构联合使用。
- 14.4.3 对有次级滑面的土质滑坡体应采取综合措施,避免滑坡体局部失稳。
- 14.4.4 抗滑键的长度、间距设计宜采用有限元强度折减法计算。高度以不越顶剪出和满足施工空间来控制。

14.5 植物防护工程

- 14.5.1 植物防护工程可用于滑坡表层土体溜塌和景观美化。
- 14.5.2 植物防护工程为滑坡防治的辅助配套措施,不宜单独使用,且不应作为提高滑坡稳定性因素参与设计。
- 14.5.3 植物防护工程宜采用草本、灌木等低矮植物。
- 14.5.4 黄土高原等干旱地区应采用适宜本地区生长的草种。
- 14.5.5 顺层滑坡和残积土滑坡中采用植物防护工程时,应避免植物根系劈裂、风荷载和水的作用加剧滑坡的失稳。

15 滑坡防治工程监测

15.1 一般规定

- 15.1.1 滑坡防治工程监测包括施工安全监测、防治效果监测和动态长期监测。

15.1.2 监测工作应采用专业仪器与人工观测相结合的方式进行。

15.1.3 监测设计宜提供施工期滑坡险情预警判据初步建议标准,并根据工程进展进行动态调整。

15.1.4 监测单位应定期提交滑坡监测数据和动态分析报告,必要时应提供实时监测数据。

15.2 监测方案设计

15.2.1 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。

15.2.2 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,可建立以简易观测为主的长期监测点。

15.2.3 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。

15.2.4 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。

15.2.5 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,并形成完整监测剖面。

15.2.6 施工安全监测包括地面变形监测、地表裂缝监测、滑体深部位移监测、地下水位监测、孔隙水压力监测、渗水点和泉流量监测、土压力监测等内容,应根据滑坡的稳定状态、防治等级、地质条件复杂性和防治工程类型等确定。简易施工安全监测限于地表裂缝监测。

15.2.7 施工安全监测宜根据滑坡变形速率、稳定状态、降雨、库水涨落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。

15.2.8 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。

15.2.9 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具体工程实施后的防灾减灾效果。

15.2.10 动态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期滑坡体长期稳定性变化情况。

16 施工组织

16.1 一般规定

16.1.1 滑坡防治设计文件应专章编制指导性的施工组织设计。

16.1.2 施工组织设计应在充分了解滑坡区实际环境条件和治理工程特性的基础上编制。

16.1.3 施工组织设计应在确保工程质量的前提下,积极采用先进工艺和新设备,以提高施工效率和保障安全。

16.1.4 施工组织设计的编制应与质量、安全施工、环境保护和职业健康等有效结合。

16.2 施工组织设计

16.2.1 施工组织设计应对滑坡防治总体工程及单体工程施工的重点和难点进行分析,具体结合施工进场交通、施工期间气候,施工原材料来源及运输、工程弃渣堆放场所、水电来源等施工资源和要素,提出科学合理施工总体布置、工序安排和工期、施工工艺和方法等说明。

16.2.2 施工方法应根据滑坡防治工程的施工工艺要求选择,应优先选机械施工。

16.2.3 对施工采用的新结构、新材料、新工艺和新技术,应说明其工艺流程,并明确保证工程质量和安全的技术措施。

16.2.4 应合理确定滑坡防治工程施工的先后顺序,各工序的作业时间及各施工项目间的衔接关系,编制进度图表。

16.2.5 施工组织设计应明确施工验槽地质编录的目的、方法和要求。

16.2.6 施工组织设计编制内容主要包括：编制依据、工程概况、施工总体部署、施工方法和设备选择、施工组织管理、施工进度计划、施工地质编录要求、施工质量检测与安全保障措施、环境影响控制措施等。

16.2.7 施工组织设计应编制施工总平面布置图，宜利用施工区 1：500～1：2 000 地形图编制，包括全部拟建工程构筑物的位置与轮廓尺寸、施工进场和场内道路、料场和加工区、水源电源接入点、施工营地及办公生活用房等临时设施的位置和面积、施工现场必备的消防和环境保护等设施。图内附工区划分及工程特性表、临时建筑物特性表、工程占地特性表等辅助插表，施工主要要求的说明文字。

16.2.8 有下列情况之一的，施工组织设计中应要求施工单位增加编制应急救援预案。

- a) 对于稳定性差的滑坡，在施工期间可能诱发地面开裂、变形加剧的；
- b) 施工对滑坡扰动较大，可能降低滑坡稳定性，加剧滑坡变形的；
- c) 人工挖孔桩工程施工；
- d) 排水隧洞工程施工；
- e) 其他可能导致施工人员或周围人员伤亡风险的。

附 录 A
(资料性附录)
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)~式(A.5)计算。

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

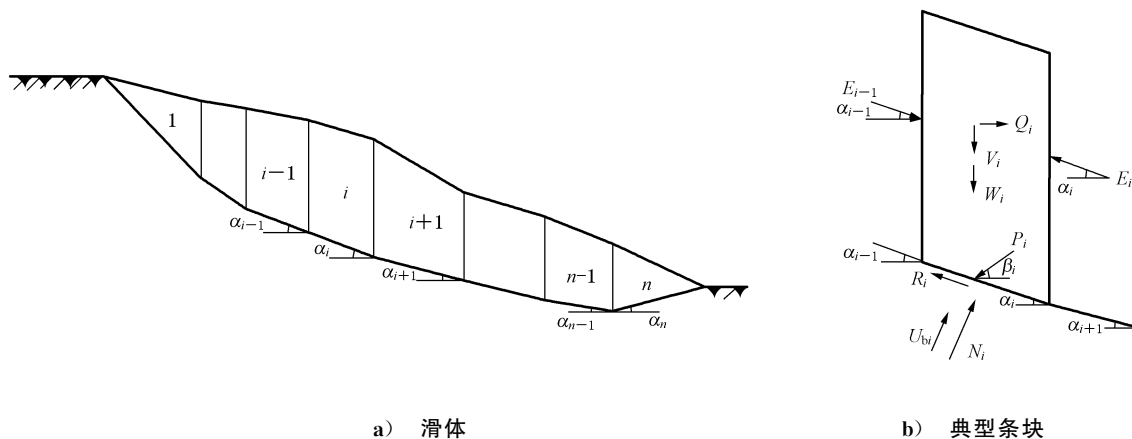


图 A.1 不平衡推力传递法计算简图

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

$$T_i = (W_i + V_i) \sin \alpha_i + Q_i \cos \alpha_i - P_i \cos(\alpha_i + \beta_i) \dots\dots\dots (A.3)$$

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

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

式中:

- F_s —— 滑坡安全系数；
 R_i —— 第 i 滑动条块抗滑力，单位为千牛(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，单位为千牛(kN)，第 n 滑动条块下滑力 T_n ；
 W_i —— 第 i 滑动条块重量，单位为千牛(kN)；
 V_i —— 第 i 滑动条块垂直向地震惯性力(V 向上取“—”，向下取“+”)，单位为千牛(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“—”)，单位为千牛(kN)；
 U_{bi} —— 第 i 滑动条块底面的孔隙压力，单位为千牛(kN)；
 P_i —— 作用于第 i 滑动条块的外力(不含坡外水压力)，单位为千牛(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)，单位为度($^{\circ}$)；
 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)，单位为度($^{\circ}$)；
 c'_i, φ'_i —— 第 i 滑动条块底面的有效凝聚力，单位为千帕(kPa)和内摩擦角，单位为度($^{\circ}$)；

b_i ——第 i 滑动条块沿滑面的长度,单位为米(m);

E_{i-1} ——第 $i-1$ 滑动条块作用于第 i 滑动条块的推力,单位为千牛(kN), $i=2,3,\cdots,n$;

E_i ——第 $i+1$ 滑动条块对第 i 滑动条块侧面的反作用力,单位为千牛(kN),与第 i 滑动条块的推力大小相等,方向相反。

A.2 三维楔体法(见图 A.2),当滑动方向沿 CO 时,应按式(A.6)~式(A.24)计算。

$$F_s = \frac{c'_A A_A + c'_B A_B + N_A \tan \varphi'_A + N_B \tan \varphi'_B}{m_{WS} W + m_{CS} U_C + m_{PS} P_0} \dots\dots\dots (A.6)$$

$$N_A = qW + rU_C + sP_0 - U_A \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

$$N_B = xW + yU_C + zP_0 - U_B \dots\dots\dots (A.8)$$

$$q = (m_{ab}m_{wb} - m_{wa}) / (1 - m_{ab}^2) \quad \dots\dots\dots (\text{ A.9 })$$

$$r = (m_{ab}m_{cb} - m_{ca}^2) / (1 - m_{ab}^2) \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

$$s = (m_{ab}m_{pb} - m_{pa}) / (1 - m_{ab}^2) \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

$$x = (m_{ab}m_{wa} - m_{wb}) / (1 - m_{ab}^2) \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

$$y = (m_{ab}m_{ca} - m_{cb}) / (1 - m_{ab}^2) \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

$$z = (m_{ab}m_{pa} - m_{pb}) / (1 - m_{ab}^2) \dots\dots\dots (A.14)$$

$$m_{ab} = \sin\varphi_a \sin\varphi_b \cos(a_a - a_b) + \cos\varphi_a \cos\varphi_b \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

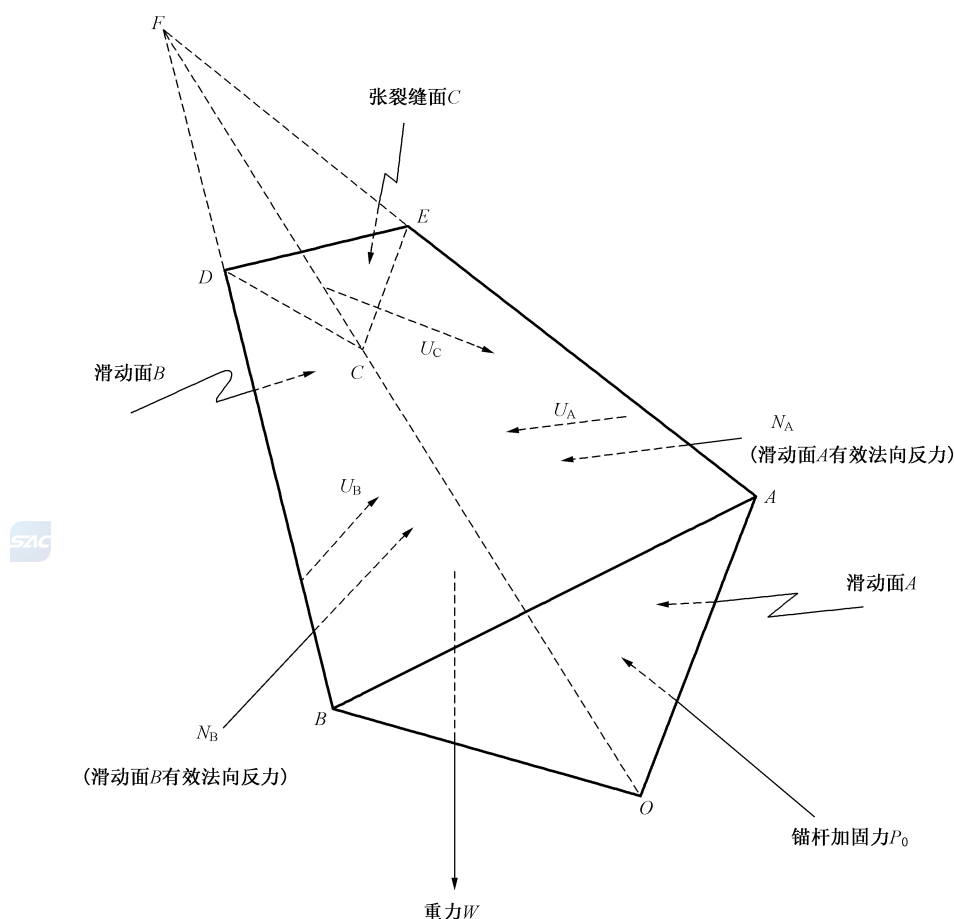


图 A.2 三维楔体法计算简图

$$m_{W_a} = -\cos\varphi_a \dots\dots\dots (A.16)$$

$$m_{wb} = -\cos\varphi_b \quad \dots\dots\dots (A.17)$$

$$m_{ca} = \sin\varphi_a \sin\varphi_c \cos(a_a - a_c) + \cos\varphi_a \cos\varphi_c \quad \dots\dots\dots (A.18)$$

$$m_{cb} = \sin\varphi_b \sin\varphi_c \cos(a_b - a_c) + \cos\varphi_b \cos\varphi_c \quad \dots\dots\dots (A.19)$$

$$m_{pa} = \cos\varphi_P \sin\varphi_a \cos(a_P - a_a) - \sin\varphi_P \cos\varphi_a \quad \dots\dots\dots (A.20)$$

$$m_{pb} = \cos\varphi_P \sin\varphi_b \cos(a_P - a_b) - \sin\varphi_P \cos\varphi_b \quad \dots\dots\dots (A.21)$$

$$m_{ws} = \sin\varphi_s \quad \dots\dots\dots (A.22)$$

$$m_{cs} = \cos\varphi_s \sin\varphi_c \cos(a_s - a_c) - \sin\varphi_s \cos\varphi_c \quad \dots\dots\dots (A.23)$$

$$m_{ps} = \cos\varphi_s \cos\varphi_P \cos(a_s - a_P) + \sin\varphi_P \cos\varphi_s \quad \dots\dots\dots (A.24)$$

式中：

- F_s —— 滑坡安全系数；
- A_A, c'_A, φ'_A —— 滑动面 A 的面积, 单位为平方米(m^2)、有效凝聚力, 单位为千帕(kPa)和内摩擦角, 单位为度($^\circ$)；
- A_B, c'_B, φ'_B —— 滑动面 B 的面积, 单位为平方米(m^2)、有效凝聚力, 单位为千帕(kPa)和内摩擦角, 单位为度($^\circ$)；
- N_A, N_B —— 滑动面 A, B 有效法向反力, 单位为千牛(kN)；
- φ_a, a_a —— 滑动面 A 的倾角和倾向, 单位为度($^\circ$)；
- φ_b, a_b —— 滑动面 B 的倾角和倾向, 单位为度($^\circ$)；
- φ_c, a_c —— 张裂缝面 C 的倾角和倾向, 单位为度($^\circ$)；
- φ_P, a_P —— 锚杆加固力 P 的倾角和倾向, 单位为度($^\circ$)；
- φ_s, a_s —— 滑动面 A, B 交线 OC 的倾角和倾向, 单位为度($^\circ$)；
- 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, 单位为千牛(kN)；
- U_B —— 滑动面 B 上的孔隙压力, 单位为千牛(kN)；
- U_C —— 张裂缝面 C 上的孔隙压力, 单位为千牛(kN)；
- W —— 楔形体重量, 单位为千牛(kN)；
- P_0 —— 锚杆加固力, 单位为千牛(kN)。

附 录 B
(资料性附录)
抗滑桩设计参考值

B.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 B.1。

表 B.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

顺号	抗压强度 kPa		地基系数 kN/m ³	
	单轴极限值	侧向容许值 $[\sigma]$	竖直方向 K_0	水平方向 K
1	10 000	1 500~2 000	100 000~200 000	60 000~160 000
2	15 000	2 000~3 000	250 000	150 000~200 000
3	20 000	3 000~4 000	300 000	180 000~240 000
4	30 000	4 000~6 000	400 000	240 000~320 000
5	40 000	6 000~8 000	600 000	360 000~480 000
6	50 000	7 500~10 000	800 000	480 000~640 000
7	60 000	9 000~12 000	1 200 000	720 000~960 000
8	80 000	12 000~16 000	150 000~2 500 000	90 000~2 000 000
注： $K=0.6\sim0.8 K_0$ 。				

B.2 抗滑桩地基系数及岩层物理力学指标取值参见表 B.2。

表 B.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 kPa/m	剪切应力 kPa
细粒花岗岩、正长岩	≥ 80	5 430~6 900	0.25~0.30	$2.0 \times 10^6 \sim 2.5 \times 10^6$	1 500 以上
辉绿岩、玢岩		6 700~7 870	0.28	2.5×10^6	
中粒花岗岩	≥ 80	5 430~6 500	0.25	$1.8 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6$	1 500 以上
粗粒正长岩、坚硬白云岩		6 560~7 000			
坚硬石灰岩	80	4 400~10 000	0.25~0.30	$1.2 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6$	1 500
坚硬砂岩、大理岩		4 660~5 430			
粗粒花岗岩、花岗片麻岩		5 430~6 000			
较坚硬石灰岩	75~80	4 400~9 000	0.25~0.30	$0.8 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^6$	1 200~1 400
较坚硬砂岩		4 460~5 000			
不坚硬花岗岩		5 430~6 000			
坚硬页岩	70~75	2 000~5 500	0.15~0.30	$0.4 \times 10^6 \sim 0.8 \times 10^6$	700~1 200
普通石灰岩		4 400~8 000	0.25~0.30		
普通砂岩		4 600~5 000	0.25~0.30		

表 B.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 kPa/m	剪切应力 kPa
坚硬泥灰岩	70	800~1 200	0.29~0.38	$0.3 \times 10^6 \sim 0.4 \times 10^6$	500~700
较坚硬页岩		1 980~3 600	0.25~0.30		
不坚硬石灰岩		4 400~6 000	0.25~0.30		
不坚硬砂岩		1 000~2 780	0.25~0.30		
较坚硬泥灰岩	65	700~900	0.29~0.38	$0.2 \times 10^6 \sim 0.3 \times 10^6$	300~500
普通页岩		1 900~3 000	0.15~0.20		
软石灰岩		4 400~5 000	0.25		
不坚硬泥灰岩	45	30~500	0.29~0.38	$0.06 \times 10^6 \sim 0.12 \times 10^6$	150~300
硬化黏土		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	—		

B.3 抗滑桩随深度增加的土质地基系数取值参见表 B.3。

表 B.3 抗滑桩随深度增加的土质地基系数

序号	土的名称	竖直方向 kPa/m^2	水平方向 kPa/m^2
1	$0.75 < I_L < 1.0$ 的软塑黏土及粉质黏土；淤泥	1 000~2 000	500~1 400
2	$0.5 < I_L < 0.75$ 的软塑粉质黏土及黏土；	2 000~4 000	1 000~2 800
3	硬塑粉质黏土及黏土；细砂和中砂	4 000~6 000	2 000~4 200
4	坚硬的粉质黏土及黏土；粗砂	6 000~10 000	3 000~7 000
5	砾砂；碎石土、卵石土	10 000~20 000	5 000~14 000
6	密实的大漂石	80 000~120 000	40 000~84 000
注 1: I_L 为土的液性指数,其土质竖直、水平方向地基系数值,相应于桩顶位移 0.6 cm~1.0 cm。 注 2: 有可靠资料和经验时,可不受本表限制。			

附 录 C
(资料性附录)
锚索抗滑桩计算公式

C.1 控制桩顶位移法

C.1.1 锚索拉力计算

C.1.1.1 桩顶锚索拉力可按式(C.1)计算：

$$T_A = \frac{PL_0 [\delta_{QQ}/L_0 + (1 + h/L_0)\delta_{QM} + h\delta_{MM} + L_0(3h - L_0)/6] - y_2}{h [\delta_{QQ}/h + 2\delta_{QM} + h\delta_{MM} + h^2/(3E_c I_c)]} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- T_A ——锚索拉力,单位为千牛(kN)；
- P ——作用在桩上的滑坡推力,单位为千牛每米(kN/m)；
- L_0 ——滑坡推力合力作用点距滑面的距离,单位为米(m)；
- h ——滑面以上桩的高度,单位为米(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,单位为米(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,单位为米(m)；
- δ_{MM} —— $Q_0=1$ 时桩截面形心在 0 点处的转角,单位为度(°)；
- y_2 ——桩顶的位移,单位为米(m),一般取 0.03 m；
- $E_c I_c$ ——桩截面刚度,单位为千牛每平方米(kN/m²)。

C.1.1.2 在滑坡推力近似矩形分布,桩的埋深较浅($h=2.5\text{ m}\sim 3.0\text{ m}$),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。

C.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。

C.2 结构力学法

C.2.1 锚索拉力计算

C.2.1.1 计算简图如图 C.1 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 。

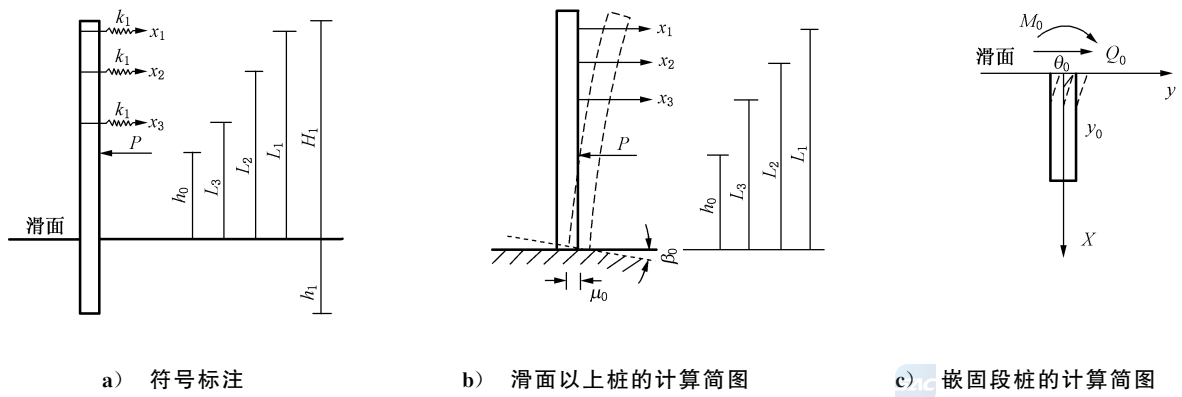


图 C.1 锚索抗滑桩计算简图

C.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(C.2)~式(C.5):

$$Ax + A_P = 0 \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$$A_P = \begin{bmatrix} A_{1P} \\ A_{2P} \\ \dots \\ A_{nP} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

A —— $n \times n$ 阶单位变位系数矩阵;

A_P —— $n \times 1$ 阶载变位系数列阵;

x —— $n \times 1$ 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 C.6~式 C.11 计算,其中 $i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,n, A_{ij}$ 中 $i \neq j$ 。

$$A_{ii} = \delta_{ii} + L_i^2 \bar{\beta}_1 + \bar{u}_1 + 1/k_i \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

$$A_{ij} = \delta_{ij} + L_i L_j \bar{\beta}_1 + \bar{u}_1 \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

$$A_{iP} = \Delta_{iP} + L_i M_P^0 \bar{\beta}_1 + Q_P^0 \bar{u}_1 \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

$$k_i = \frac{E_s A_{Si}}{L_{Si}} \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

$$\delta_{ij} = \frac{L_j^2}{6EI} (3L_i - L_j) \quad \dots\dots\dots (C.10)$$

$$\Delta_{iP} = -\frac{P h_0^2}{6EI} (3L_i - h_0) \quad \dots\dots\dots (C.11)$$

式中:

A_{ii}, A_{ij} ——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,单位为千牛米(kN·m);

- Q_P^0 ——滑坡推力在嵌固段桩顶产生的剪力,单位为千牛(kN);
- $\bar{\beta}_1$ ——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,单位为度($^\circ$);
- $\bar{u}_1$ ——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,单位为米(m);
- L_i ——第 i 根锚索作用点距滑面距离,单位为米(m);
- k_i ——第 i 根锚杆的弹性系数;
- E_S ——锚杆的弹性模量,单位为千帕(kPa);
- A_{Si} ——第 i 根锚杆的截面面积,单位为平方米(m^2);
- L_{Si} ——第 i 根锚杆自由段的长度,单位为米(m);
- δ_{ij}, Δ_{ip} ——桩的单位变位和载变位。

b) 由式(C.2)解出未知力 x_i 后,根据式(C.12)计算各根锚索的拉力:

$$T_{Ai} = x_i / \cos \alpha_i \quad \dots\dots\dots (C.12)$$

式中:

- T_{Ai} ——第 i 根锚索拉力,单位为千牛(kN);
- x_i ——第 i 根锚索拉力水平向分力,单位为千牛(kN);
- α_i ——第 i 根锚索与水平面的夹角,单位为度($^\circ$)。

C.2.2 抗滑桩内力计算

C.2.2.1 抗滑桩嵌固段顶面(滑面)处的弯矩 M_0 和剪力 Q_0 由式(C.13)~式(C.14)得到:

$$M_0 = \sum_{i=1}^n x_i L_i + M_P^0 \quad \dots\dots\dots (C.13)$$

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n x_i + Q_P^0 \quad \dots\dots\dots (C.14)$$

式中符号意义同式(C.6)~式(C.11)。

C.2.2.2 滑面处桩的转角 β_0 和位移 u_0 可根据式(C.15)~式(C.16)计算得到:

$$\beta_0 = \left(\sum_{i=1}^n x_i L_1 + M_P^0 \right) \bar{\beta}_1 \quad \dots\dots\dots (C.15)$$

$$u_0 = \left(\sum_{i=1}^n x_i + Q_P^0 \right) \bar{u}_1 \quad \dots\dots\dots (C.16)$$

式中符号意义同式(C.6)~式(C.11)。

C.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(C.17)~式(C.18)变形协调条件:

$$u_0 = y_0 \quad \dots\dots\dots (C.17)$$

$$\beta_0 = \theta_0 \quad \dots\dots\dots (C.18)$$

C.2.2.4 抗滑桩嵌固段的计算与普通抗滑桩相同。

附录 D (资料性附录)

箱型和矩形抗滑桩设计计算

D.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 D.1 所示。

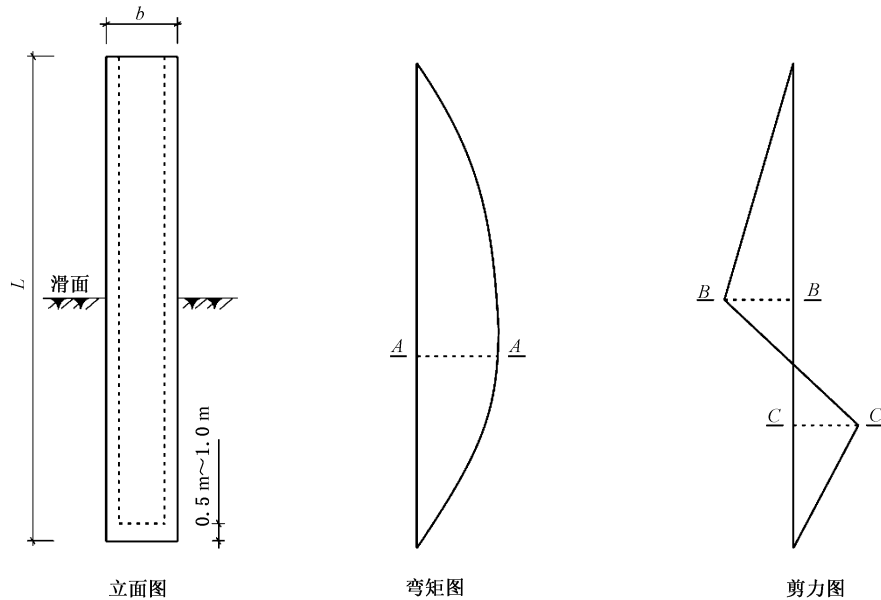


图 D.1 箱型抗滑桩结构内力图

D.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 D.2 所示),抗滑桩抗弯设计符合式(D.1)~式(D.3)规定:

$$f_c b x + f'_s A'_s = f_{sv} A_s \quad \cdots \cdots (D.1)$$

$$M \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_s A'_s (h_0 - a) \quad \cdots \cdots (D.2)$$

$$M \leq -f_c b x \left(\frac{x}{2} - a \right) + f_s A_s (h_0 - a) \quad \cdots \cdots (D.3)$$

式中:

f_c ——混凝土轴心抗压强度的设计值,单位为牛每平方米(N/mm²);

M ——抗滑桩设计弯矩,单位为牛毫米(N·mm);

b ——抗滑桩抗压截面宽度,单位为毫米(mm);

x ——抗滑桩截面受压区高度,单位为毫米(mm);

h_0 ——抗滑桩截面有效高度,单位为毫米(mm);

f'_s ——钢筋抗压强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²);

A'_s ——受压钢筋截面面积,单位为平方毫米(mm²);

A_s ——受拉钢筋截面面积,单位为平方毫米(mm²);

f_{sv} ——钢筋抗拉强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²);

a ——钢筋保护层厚度,单位为毫米(mm);

h_1 ——箱型抗滑桩受压面内缘至外缘高度,单位为毫米(mm)。

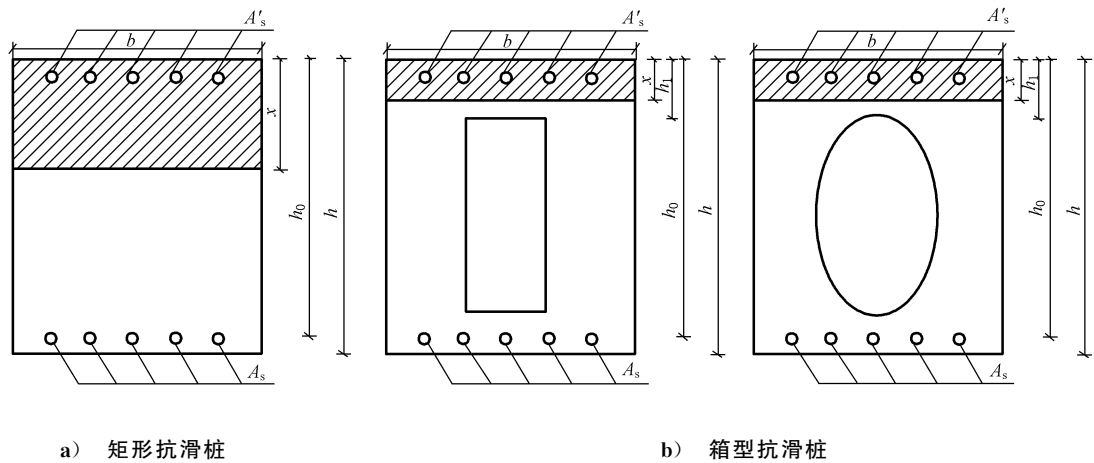


图 D.2 矩形和箱型抗滑桩截面(矩形、圆形中空井)抗弯设计简图

D.3 截面抗剪设计计算时(如图 D.3 所示),设计符合式(D.4)~式(D.5)规定。

D.3.1 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(D.4)规定。

$$V \leq 0.25 f_c b_0 h_0 \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

V ——截面上有作用荷载效应产生的剪力设计值,单位为千牛(kN);

b_0 ——抗滑桩抗剪截面上的有效宽度之和,单位为毫米(mm)。矩形截面宽度,如图 D.3 所示为 b ,箱型截面腹板宽度,如图 D.3 所示为 $b_0 = 2b_1$;

D.3.2 抗滑桩中混凝土抗剪强度未能满足剪力设计值应符合式(D.5)规定:

$$V \leq 0.7 f_t b_1 h_0 + 1.25 f_{sv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \dots\dots\dots (D.5)$$

式中:

V ——截面上有作用荷载效应产生的剪力设计值,单位为千牛(kN);

f_t ——混凝土轴心抗拉强度的设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2);

b_1 ——抗滑桩抗剪截面有效宽度,单位为毫米(mm);

A_{sv} ——箍筋截面面积,单位为平方毫米(mm^2);

s ——箍筋间距,单位为毫米(mm)。

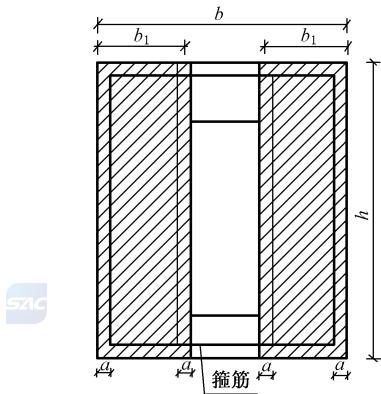


图 D.3 箱型抗滑桩截面(矩形中空井)抗剪设计简图

D.4 当 $V \leq 1.4 f_t b_1 h_0$ 时,箍筋间距不大于 250 mm;当 $V > 1.4 f_t b_1 h_0$ 时,在剪力最大处箍筋间距不大于 200 mm,直径不宜小于 10 mm。

附 录 E

(资料性附录)

埋入式抗滑桩设计计算

E.1 抗滑桩设计计算采用强度储备安全系数。

E.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(E.1)计算:

$$F = aI_1 + \sqrt{J_2} = k \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

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 和粘聚力 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(E.2)~式(E.3)计算:

$$a = \frac{\sin\varphi}{\sqrt{3(3 + \sin^2\varphi)}} \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

$$k = \frac{3c\cos\varphi}{\sqrt{3(3 + \sin^2\varphi)}} \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

式中:

a, k ——与岩土材料内摩擦角 φ 和粘聚力 c 有关的常数。

c ——岩土材料粘聚力,单位为千帕(kPa);

φ ——岩土材料内摩擦角,单位为度($^\circ$)。

b) 在平面应变条件下,当采用非关联流动法则时,可按式(E.4)~式(E.5)计算:

$$a = \frac{\sin\varphi}{3} \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

$$k = c\cos\varphi \quad \dots\dots\dots (E.5)$$

E.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。

E.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。

E.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。

E.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。

E.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。

E.8 当采用实体单元模拟桩和岩土体时,桩所受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。

E.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。

E.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。

E.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,或采用有限元法算得的推力,或采用两种方法算得推力的平均值。

E.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。

E.13 埋入式抗滑桩的截面和配筋设计,应符合 GB 50010 和 GB 50011 的有关规定。

附录 F

(资料性附录)

小口径组合抗滑桩计算公式

F.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 F.1 所示。小口径组合抗滑桩横向桩间距根据式(F.1)~式(F.7)确定:

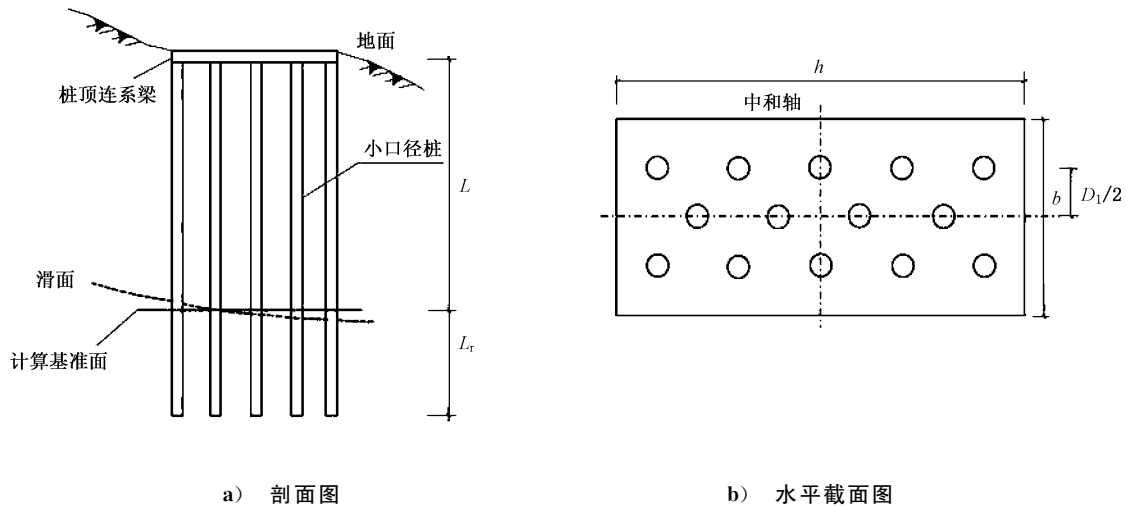


图 F.1 小口径组合抗滑桩等效法计算简图

$$R_r = \frac{P_t \cdot L}{2D_1} \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

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

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

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

$$B = \exp \left[\frac{D_1 - D_2}{D_2} K_p \tan j \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{j}{4} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (F.4)$$

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

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

$$P \leq R_r \quad \dots\dots\dots (F.7)$$

式中:

R_r ——结构极限抗力,单位为千牛(kN);

D_1 ——桩中心间距,单位为米(m);

D_2 ——相邻小口径桩的距离,单位为米(m);

L ——计算基准面至桩顶的距离,单位为米(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,单位为米(m);

γ ——滑体重度,单位为千牛每立方米(kN/m³);

K_p ——被动土压力系数;

- c ——滑体沿滑面上的粘聚力,单位为千帕(kPa);
 j ——滑体沿滑面上的内摩擦角,单位为度(°);
 P ——滑坡推力,单位为千牛(kN)。

F.2 按沿滑面的抗剪计算桩的总数及配筋量根据式(F.8)~式(F.11)确定:

$$\begin{aligned} P &\leq R_{fa} && \dots\dots\dots (F.8) \\ R_{fa} &= n\tau_{fa} && \dots\dots\dots (F.9) \\ \tau_{fa} &= \beta_a[\tau]A_s && \dots\dots\dots (F.10) \\ \beta_a &= \sqrt[4]{E_s/E_t} && \dots\dots\dots (F.11) \end{aligned}$$

式中:

- P ——滑坡推力,单位为千牛(kN);
 R_{fa} ——小口径桩组合抗滑桩群抗滑力,单位为千牛(kN);
 n ——每米小口径桩数量,单位为根;
 τ_{fa} ——单桩容许抗剪强度,单位为千牛(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,单位为千帕(kPa);
 $[\tau]$ ——钢筋抗剪强度,单位为千帕(kPa);
 A_s ——钢筋横截面积,单位为平方米(m²)。

F.3 小口径桩内力可按式(F.12)~式(F.18)计算:

$$\begin{aligned} \sigma_R &\leq f_a && \dots\dots\dots (F.12) \\ \sigma_R &= \frac{N_R}{A_R} + \frac{M_R}{I_R} \cdot y && \dots\dots\dots (F.13) \\ A_R &= m_1 A_P n + bh && \dots\dots\dots (F.14) \\ A_P &= (m_2 - 1)A_s n + A_c && \dots\dots\dots (F.15) \\ I_R &= m_1 A_P \sum x^2 + \frac{bh^3}{12} && \dots\dots\dots (F.16) \\ \sigma'_R &= m_1 \cdot \sigma_R < \sigma_{ca} && \dots\dots\dots (F.17) \\ \sigma_{sc} &= m_2 \cdot \sigma'_R < f'_s && \dots\dots\dots (F.18) \end{aligned}$$

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,单位为千帕(kPa);
 f_a ——计算基准面处经修正后地基承载力特征值,单位为千帕(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,单位为平方米(m²);
 I_R ——计算基准面处小口径桩加固体的等效截面惯性矩,单位为四次方米(m⁴);
 A_P ——小口径桩的等效换算截面积,单位为平方米(m²);
 n ——计算基准面内包含的小口径桩桩数,单位为根;
 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,单位为米(m);
 A_c ——小口径桩截面积,单位为平方米(m²);
 N_R ——计算基准面上作用的垂直力,单位为千牛(kN);
 M_R ——计算基准面上作用的弯矩,单位为千牛米(kN·m);
 x ——计算基准面中和轴至各个小口径桩的距离,单位为米(m);
 y ——计算基准面中和轴至基准面边缘的距离,单位为米(m);
 σ'_R ——作用于砂浆上的压应力,单位为千帕(kPa);

- σ_{ca} —— 砂浆压应力设计值,单位为千帕(kPa);
 σ_{sc} —— 作用于钢筋上的压应力,单位为千帕(kPa);
 f'_s —— 钢筋抗压设计值,单位为千帕(kPa)。

F.4 小口径桩嵌固段长度根据式(F.19)确定:

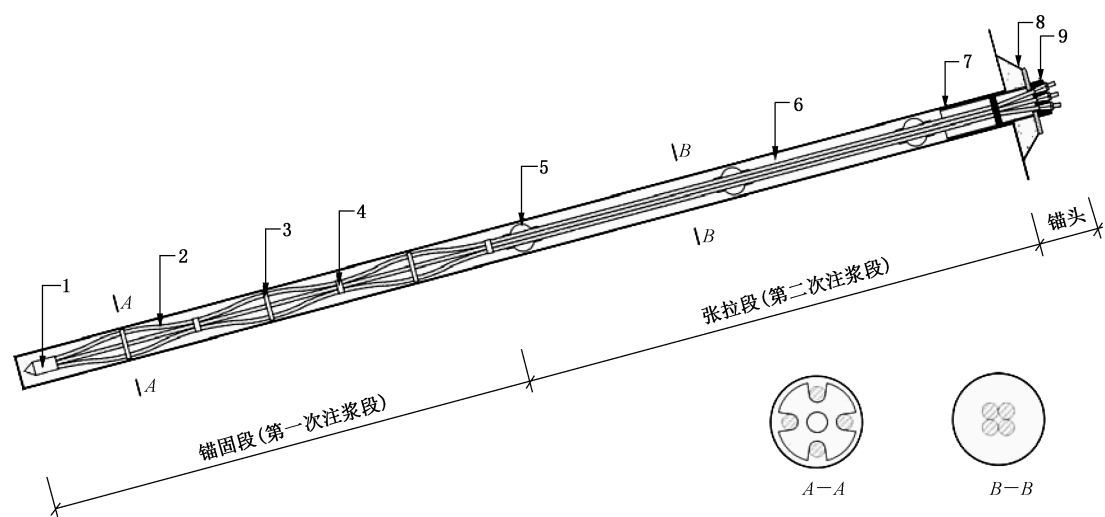
$$L_r = \frac{F_b \cdot A_c \cdot \sigma_R}{\pi D \tau_r} \dots\dots\dots (F.19)$$

式中:

- L_r —— 小口径桩嵌固段长度,单位为米(m);
 F_b —— 小口径桩抗拔安全系数,可取 2.5;
 D —— 小口径桩直径,单位为米(m);
 τ_r —— 桩与岩土体的粘结力设计值,单位为千帕(kPa)。

附录 G
(资料性附录)
常用锚索结构示意图

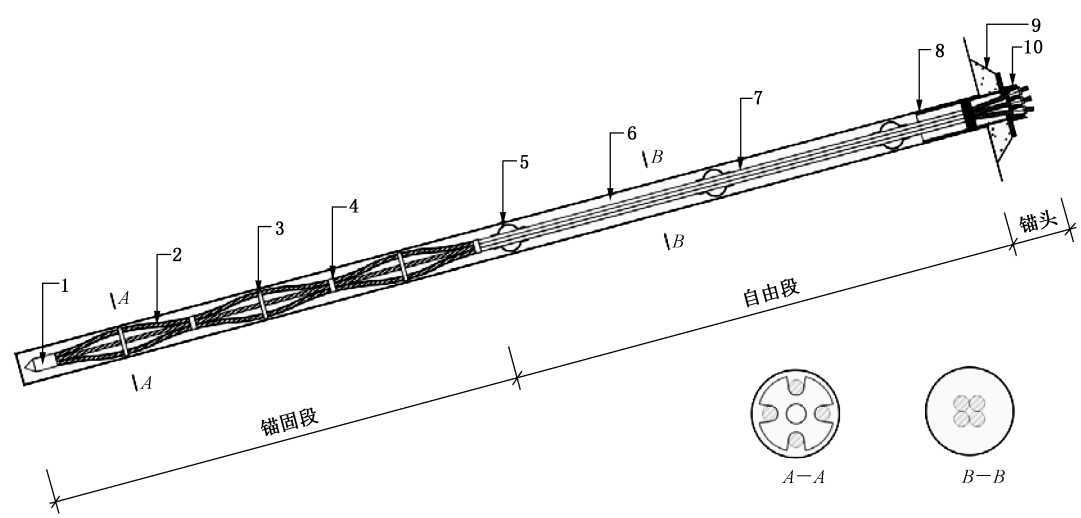
G.1 全长粘结——二次注浆锚索(见图 G.1)



说明：
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 G.1 预应力全长粘结锚索结构示意图

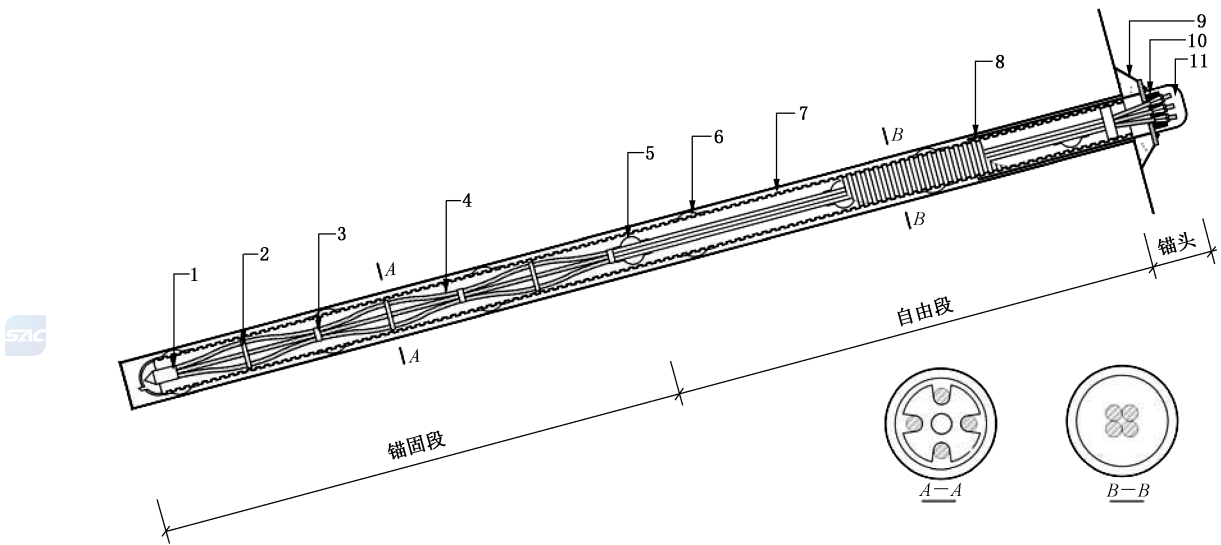
G.2 普通型自由锚索(见图 G.2)



- 说明：
- 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 G.2 预应力普通型自由锚索结构示意图

G.3 全长防护锚索(见图 G.3)

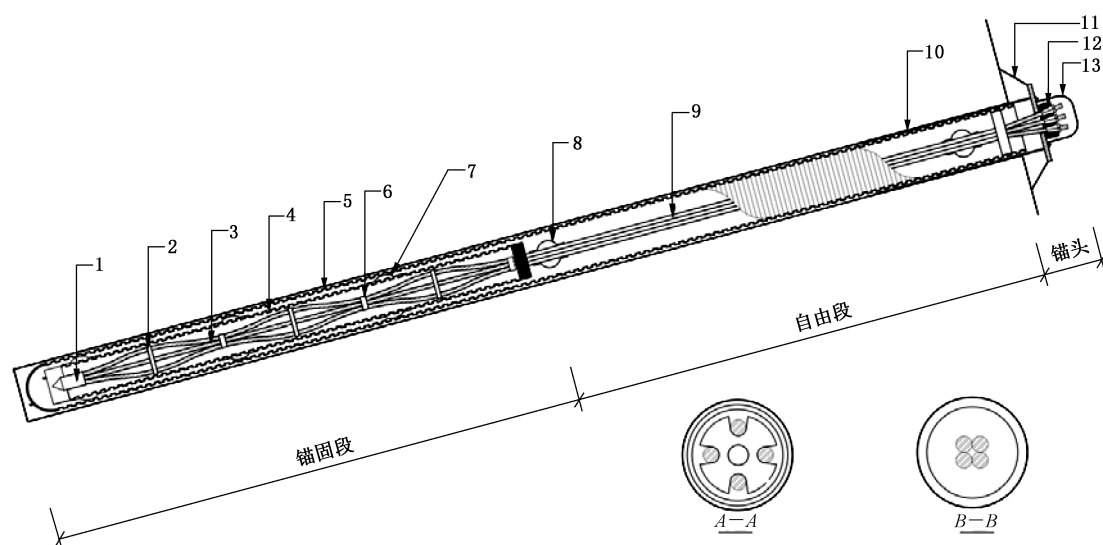


说明:

- 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 G.3 预应力全长防护锚索结构示意图

G.4 双层防护型锚索(见图 G.4)

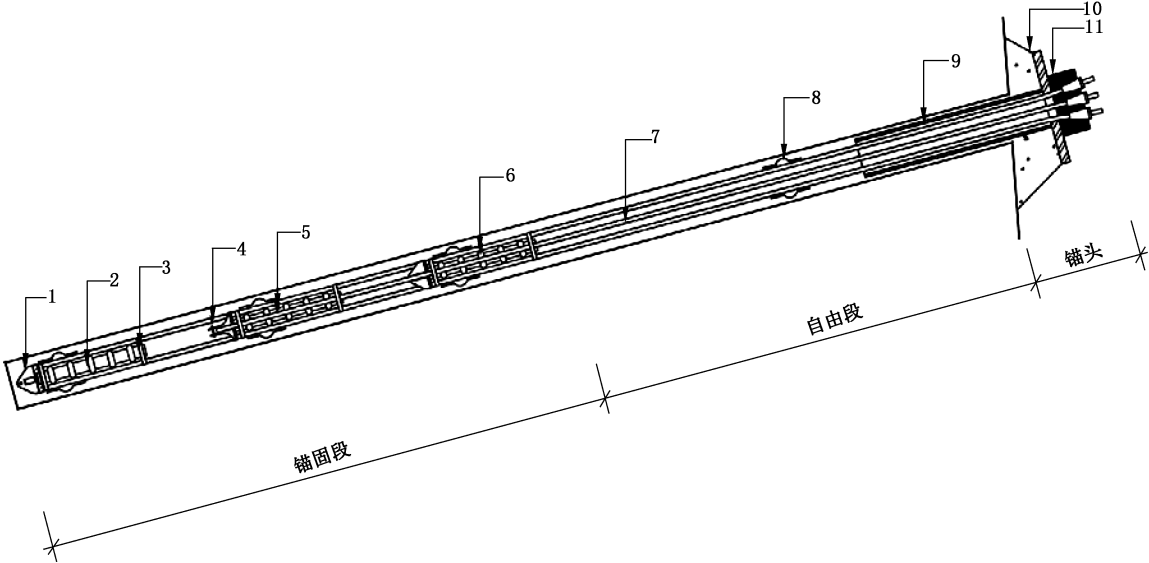


说明:

- 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 G.4 预应力双层防护型锚索结构示意图

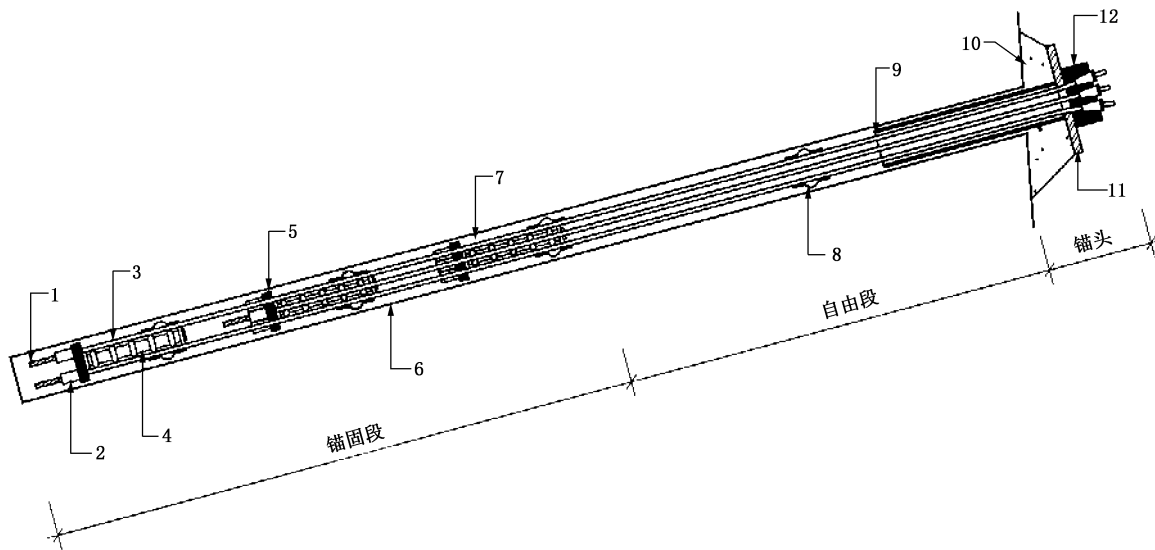
G.5 U 型压力分散型锚索(见图 G.5)



- 说明：
- 1 —— U 型承压板；
 - 2 —— 第一线载体；
 - 3 —— 捆扎条；
 - 4 —— 定位销；
 - 5 —— 第二线载体；
 - 6 —— 第三级载体；
 - 7 —— PE 钢绞线；
 - 8 —— 对中支架；
 - 9 —— 钢套筒；
 - 10 —— 混凝土垫墩；
 - 11 —— 锚具。

图 G.5 预应力 U 型压力分散型锚索结构示意图

G.6 P 型压力分散型锚索(见图 G.6)



说明:

- 1 —— 光面钢绞线;
- 2 —— P 锚挤压套;
- 3 —— PE 钢绞线;
- 4 —— 承载体;
- 5 —— P 锚板;
- 6 —— 钻孔;
- 7 —— 注浆体;
- 8 —— 对中支架;
- 9 —— 钢套筒;
- 10 —— 混凝土垫墩;
- 11 —— 钢垫板;
- 12 —— 锚具。

图 G.6 预应力 P 型压力分散型锚索结构示意图



附 录 J
(资料性附录)
锚索(杆)设计参考值

J.1 锚固设计抗拔安全系数取值应符合表 J.1 规定。

表 J.1 锚固设计抗拔安全系数 F_b 取值表

锚索体材料	注浆体与地层界面	注浆体与锚索
1.8~2.2	2.2~2.6	2.2~2.6

J.2 注浆体与锚索界面粘结强度设计值应符合表 J.2 规定。

表 J.2 注浆体与锚索界面粘结强度设计值

锚索界面	粘结强度 MPa
光面钢筋、光面钢丝	1.0
刻痕钢丝	1.5
钢绞线、螺纹钢筋	2.0 ^a
枣核状钢绞线锚固段	3.0
波纹管	3.0
^a 单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线、环氧涂层七丝预应力钢绞线的粘结强度降低 25%。	

J.3 岩体中锚索注浆体与钻孔界面极限粘结强度标准值应符合表 J.3 规定。

表 J.3 岩体中锚索注浆体与钻孔界面极限粘结强度标准值

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

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

表 J.4 土体中锚索注浆体与钻孔界面极限粘结强度标准值

名称	土体状态或密实度	一次常压注浆 MPa	二次压力注浆 MPa
黏性土	$I_L > 1$	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	0.080~130	0.100~0.140
	中密	0.130~170	0.170~0.220
	密实	0.170~220	0.220~0.250
砾砂	中密、密实	0.190~260	0.240~0.290

附 录 K (资料性附录) 锚索格构梁计算方法

K.1 格构梁节点锚固力分配

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

$$\begin{aligned}
 P_{ix} + P_{iy} &= P_i && \cdots \cdots \cdots (K.1) \\
 P_{ix} &= \frac{\alpha_x^3 I_x}{\alpha_x^3 I_x + \alpha_y^3 I_y} P_i && \cdots \cdots \cdots (K.2) \\
 P_{iy} &= \frac{\alpha_y^3 I_y}{\alpha_x^3 I_x + \alpha_y^3 I_y} P_i && \cdots \cdots \cdots (K.3) \\
 \alpha_x &= \sqrt[4]{\frac{K b_x}{4 E_h I_y}} && \cdots \cdots \cdots (K.4) \\
 \alpha_y &= \sqrt[4]{\frac{K b_y}{4 E_h I_x}} && \cdots \cdots \cdots (K.5)
 \end{aligned}$$

式中:

P_{ix} 、 P_{iy} ——节点 i 处的纵向(x 向)、横向(y 向)的节点力,单位为千牛(kN);

P_i ——节点 i 处的锚索拉力,单位为千牛(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(K.4)~式(K.5)进行计算;

I_x 、 I_y ——纵、横格构梁的惯性矩,单位为四次方米(m^4);

E_h ——格构梁的弹性模量,单位为千帕(kPa);

K ——地基系数,单位为千帕每米(kPa/m),按 B.2 采用;

b_x 、 b_y ——格构梁在纵、横方向的宽度,单位为米(m)。

K.1.2 格构边节点 i [图 K.1b)] 锚固力分配可按式(K.6)~式(K.7)计算。

$$\begin{aligned}
 P_{ix} &= \frac{\alpha_x^3 I_x}{\alpha_x^3 I_x + 4 \alpha_y^3 I_y} P_i && \cdots \cdots \cdots (K.6) \\
 P_{iy} &= \frac{4 \alpha_y I_y}{\alpha_x^3 I_x + 4 \alpha_y^3 I_y} P_i && \cdots \cdots \cdots (K.7)
 \end{aligned}$$

式中符号意义同式(K.1)~式(K.5)。

K.1.3 格构角点 i [图 K.1c)] 锚固力分配可按式(K.8)~式(K.9)计算:

$$\begin{aligned}
 P_{ix} &= \frac{\alpha_x^3 I_x}{\alpha_x^3 I_x + \alpha_y^3 I_y} P_i && \cdots \cdots \cdots (K.8) \\
 P_{iy} &= \frac{\alpha_y^3 I_y}{\alpha_x^3 I_x + \alpha_y^3 I_y} P_i && \cdots \cdots \cdots (K.9)
 \end{aligned}$$

式中符号意义同式(K.1)~式(K.5)。

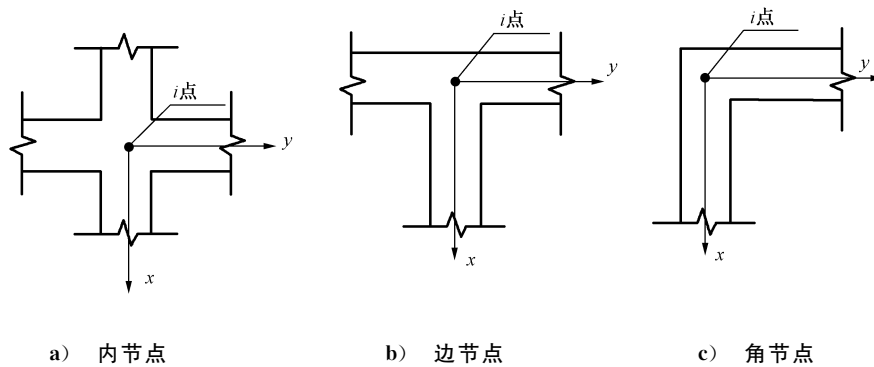


图 K.1 格构梁锚固点位置图

K.1.4 格构锚固力分配公式的修正

- a) 式(K.1)~式(K.9)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(K.10)计算:

$$\Delta P = \frac{\Delta F \sum P_i}{F^2} \quad \dots\dots\dots (K.10)$$

式中:

- ΔP ——格构地基反力的增量,单位为千牛(kN);
 ΔF ——格构节点的重叠总面积,单位为平方米(m²);
 $\sum P_i$ ——所有节点的锚固力之和,单位为千牛(kN);
 F ——格构基础全部支承总面积,单位为平方米(m²)。

- 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(K.11)~式(K.12)计算:

$$\Delta P_{ix} = \frac{P_{ix}}{P_i} \Delta F_i \Delta P \quad \dots\dots\dots (K.11)$$

$$\Delta P_{iy} = \frac{P_{iy}}{P_i} \Delta F_i \Delta P \quad \dots\dots\dots (K.12)$$

式中符号意义同式(K.10)。

- c) 调整后的节点锚固力可按式(K.13)~式(K.14)计算:

$$P'_{ix} = P_{ix} + \Delta P_{ix} \quad \dots\dots\dots (K.13)$$

$$P'_{iy} = P_{iy} + \Delta P_{iy} \quad \dots\dots\dots (K.14)$$

式中符号意义同式(K.10)。

- 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(K.15)计算:

$$F_i = b_{ix} \times b_{iy} \quad \dots\dots\dots (K.15)$$

式中符号意义同式(K.1)~式(K.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(K.16)计算:

$$F_i = \frac{b_x \times b_y}{2} \quad \dots\dots\dots (K.16)$$

式中符号意义同式(K.1)~式(K.5)。

K.2 格构梁内力计算

K.2.1 格构梁内力按倒梁法计算。

K.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。

K.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。

K.2.4 计算出的支座反力,一般不等于锚索拉力,为了弥补这个矛盾,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,然后再进行一次连续梁分析。

K.2.5 如果调整一次后的结果不够满意,可再次进行调整,这样使得支座反力和锚索拉力基本吻合。支座反力确定以后,将格构梁作为倒置的多跨连续梁来计算内力,并计算配筋。



参 考 文 献

GB 50003 砌体结构设计规范
