

DB 61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/ XXXXX—XXXX

公路边坡微型抗滑桩加固处理技术规范

Technical code for reinforcement treatment of mini-slide piles on highway slopes

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2024 年 12 月 24 日）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

陕西省市场监督管理局 发布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本规定	4
4.1 边坡微型抗滑桩加固工程设计阶段	4
4.2 公路边坡灾害危害程度与防治工程安全分级	4
4.3 公路边坡荷载及组合标准	5
4.4 微型抗滑桩适用范围	6
5 边坡微型抗滑桩工程勘察	6
5.1 一般规定	6
5.2 滑（斜）坡勘察技术要求	6
5.3 勘察成果	7
6 边坡微型抗滑桩工程设计	8
6.1 一般规定	8
6.2 稳定性评价方法	8
6.3 岩土体参数取值方法	8
6.4 微型抗滑桩桩位和桩参数	8
6.5 微型抗滑桩设计推力确定方法	9
6.6 微型抗滑桩构造要求与承载力计算	11
6.7 微型抗滑桩结构内力计算	13
6.8 排水工程设计	13
6.9 设计成果	13
7 微型抗滑桩施工、检测与监测要求	15

7.1 一般规定 15

7.2 微型抗滑桩施工要求 15

7.3 微型抗滑桩检测要求 16

7.4 微型抗滑桩监测要求 16

8 安全生产与环境保护 17

8.1 一般规定 17

8.2 环境保护措施 17

8.3 安全措施 17

附录 A 等效法微型抗滑组合群桩计算公式 19

附录 B 微型钢管抗滑桩承载力验算 22

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020 给出的规则起草。

本文件由陕西省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司，西安公路研究院有限公司

本文件主要起草人：

本文件由中交第一公路勘察设计研究院有限公司负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

电话：029-88322888

地址：陕西省西安市高新区科技二路 63 号

邮编：1051721626@qq.com

1 范围

1.1 为使微型抗滑桩设计安全可靠、经济合理、技术可行，确保工程质量，提高工程效益，达到防灾减灾的目的，特制定本规范。

1.2 本文件适用于指导陕西省内各等级公路沿线山体滑坡及不稳定斜坡等地质灾害治理工程中的微型抗滑桩设计。

1.3 本文件规定了微型抗滑桩设计的勘察技术及施工检验要求，除应符合本规范外，还应遵循国家现行有关规范和标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50010-2010 《混凝土结构设计规范》

GB 50011-2010 《建筑抗震设计规范》

GB 50330-2013 《建筑边坡工程技术规范》

GB 55018-2021 《工程测量通用规范》

GB/T 38509-2020 《滑坡防治设计规范》

GB/T 14370-2007 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》

GB/T 32864-2016 《滑坡防治工程勘查规范》

GB / T1499.1-2017 《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》

GB / T1499.2-2018 《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧光圆钢筋》

JTG C20-2011 《公路工程地质勘察规范》

JTG/T 3334-2018 《公路滑坡防治设计规范》

JTG D30-2015 《公路路基设计规范》

JTG / T 3610-2019 《公路路基施工技术规范》

JTG/T 3310-2019 《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》

DB 61/T 1434-2021 《崩塌、滑坡、泥石流专业监测规范》（陕西）

.....

3 术语和定义

3.1 微型桩 micro pile

一般指桩径或边长小于300mm的桩体，按成桩工艺包含微型灌注桩、注浆钢管桩、预制桩等。

微型灌注桩 cast-in-situ micropile

通过机械钻孔等手段成孔，在孔内放置钢筋、钢棒、钢管等加筋材料，由压力灌注水泥浆、水泥砂浆或细石混凝土，形成的直径不大于300mm的灌注桩。

微型注浆钢管桩 post grouting steel micropile

在静压或引孔植入的钢管内，通过压力使灌注的水泥浆扩散至桩周土并填充钢管内腔形成的微型桩。

微型预制桩 prefabricated micropile

截面尺寸不大于300mm的预制混凝土方桩、预应力混凝土管桩、型钢桩等预制桩。

3.2 抗滑桩 slide-resistant pile

上端支挡滑坡体，下端嵌入稳定地层，以抵抗滑坡下滑力的横向受力桩。

3.3 微型抗滑桩 micro anti-sliding pile

若干个微型桩通过阵列式排列，桩顶通过连系梁连接，桩底穿过滑体进入滑动面以下一定深度，阻止滑体滑动的微型桩群。

3.4 微型抗滑桩截面 Micro anti slide pile section

按一定规则排列的微型桩群与土体相互作用形成的类似于传统抗滑桩的复合受力体的横截面。

3.5 锚拉微型抗滑桩 micro anti-sliding pile with anchors

由微型抗滑桩和锚索或锚杆组成的用于阻止滑坡滑动的复合结构体系。

3.6 微型抗滑桩结构间距 spacing between micro slide-resistant pile

两组相邻微型抗滑桩群截面中心对截面中心的距离。

3.7 微型抗滑桩结构净间距 net spacing between micro slide-resistant pile

两组相邻微型抗滑桩群邻近边的距离。

3.8 微型桩间距 spacing between micro pile

一组微型抗滑桩中各微型桩的纵横向间距。

3.9 合理桩间距 proper pile spacing

在桩体后侧的局部区域内，相邻两桩的土拱会在此处形成三角形受压区，为保证该三角形受压区能正常发挥效应而不被破坏，桩间能形成稳定土拱，桩间土不会挤出的桩间距。

3.10 微型抗滑桩锚固（嵌固）深度 micro slide-resistant pile embedded depth

微型抗滑桩结构在滑面以下的埋置深度。

3.11 滑坡下滑力 driving force of landslide

使滑坡体沿滑面滑动的力的总和。

3.12 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。

3.13 滑坡推力 landslide thrust

计算断面处下滑力与抗滑力之差值，采用不平衡推力法计算时，等于滑坡剩余下滑力。

3.14 滑坡推力曲线 landslide thrust curve

在滑坡主滑方向上各点计算所得的推力值所形成的曲线。

3.15 桩侧弹性抗力 pile-side elastic resistance

抗滑桩结构发生向嵌固端围岩方向的变形引起的围岩对抗滑桩结构的约束反力。

3.16 桩身内力 internal force of pile

在外力作用下，引起抗滑桩内部相互作用的力。包括抗滑桩桩身的弯矩和剪力。受荷段桩身内力应根据滑坡推力和阻力计算，嵌固段桩身内力根据滑面处的弯矩和剪力按弹性地基的地基系数（K）计算。

3.17 地基系数 foundation coefficient

在弹性变形范围内使单位面积地基土产生单位压缩变形所需施加的力。地基系数与岩土体性质相关，主要包括两种取值方法K法和m法。

3.18 m 法 m method

地基系数随深度呈线性增加的桩周土抗力确定方法。

3.19 K 法 K method

地基系数为常数的桩周土抗力确定方法。

4 基本规定

4.1 边坡微型抗滑桩加固工程设计阶段

4.1.1 边坡微型抗滑桩加固工程设计分为可行性方案论证阶段、初步设计阶段和施工图设计阶段。应急治理工程可简化上述设计阶段。

4.1.2 新建或改扩建公路工程微型抗滑桩设计,设计阶段划分应与项目总体设计阶段相对应,道路运营过程中遇到的滑坡,设计阶段的划分宜根据滑坡规模、地质条件复杂程度综合确定。

4.2 公路边坡灾害危害程度与防治工程安全分级

4.2.1 滑坡防治设计应根据滑坡性质、规模及分布范围,判定滑坡危及的范围及其危害对象,分析评价滑坡危害性,确定滑坡防治工程的安全等级。

4.2.2 评价滑坡危害性时,应根据滑坡规模、稳定状况、周围环境,以及公路通过滑坡区的部位和公路路基、构造物类型等,按表 4.2.1 确定滑坡危害程度。

表 4.2.1 滑坡危害程度分级

危害对象		危害程度			
		小型滑坡	中型滑坡	大型滑坡	巨型滑坡
公路通过滑坡前部	桥梁	★	★	▲	▲
公路通过滑坡中部	路堤	★	★	▲	▲
公路通过滑坡后部	路堤	☆	★	▲	▲
	路堑	○	○	☆	★
	桥梁	★	★	★	★
滑坡位于隧道洞口		★	★	▲	▲

注:①滑坡影响区内有高压输电塔、油气管道等重要建筑物,以及村庄和学校时,滑坡危害程度可定为严重或特严重。

②当滑坡处于稳定状态时,其危害程度可定为轻。

③滑坡危害程度分级符号:○—轻、☆—中等、★—严重、▲—特严重。

4.2.3 滑坡防治工程安全等级,应根据滑坡危害程度、公路等级、周围环境及其工程重要性,按表 4.2.2 确定。

表 4.2.2 滑坡防治工程安全等级

滑坡危害程度	安全等级		
	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路

轻	I	III	III
中等	I	II	III
严重	I	II	II
特严重	I	I	II

注：①滑坡防治工程安全等级由高到低依次为 I 级、II 级、III 级。

②滑坡影响区有桥梁、隧道、高压输电塔、油气管道等重要建筑物、以及村庄和学校的二、三、四级公路，滑坡防治工程安全等级宜提高一级。

③区域内唯一通道的二、三、四级公路，滑坡防治工程安全等级宜提高一级。

4.3 公路边坡荷载及组合标准

4.3.1 荷载

基本荷载，边坡天然状态下的荷载或公路运营过程中边坡长期持续受到的荷载。包括滑坡体自重、地下水稳定时的孔隙水压力等，

特殊荷载，包括：

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（净水压力和渗透压力等）

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。

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。

4.3.2 荷载组合

公路边坡微型抗滑桩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

4.3.3 设计安全系数应依据滑坡防治等级和荷载组合，按表 4.3.1 选取。

表 4.3.1 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	1.3	1.25	1.15	1.05
II	1.25	1.20	1.10	1.02
III	1.2	1.15	1.05	不考虑

4.4 微型抗滑桩适用范围

4.4.1 微型抗滑桩主要适用于中小型滑坡治理和斜坡加固，对于大型、巨型滑坡治理工程应慎重采用，或作为辅助措施采用。对于滑体厚度较薄、推力较小的滑坡，当不宜进行大截面抗滑桩开挖施工时，可选择微型抗滑桩。

4.4.2 当滑坡推力较大时，微型抗滑桩可与锚索联合实用组成锚拉桩，下述条件设置锚拉桩时，应进行专门的论证：

- 水位以下及水位变动区；
- 滑体土为欠固结土或对锚索可能产生横向荷载的地区；
- 对锚索具有腐蚀性环境的地区。

5 边坡微型抗滑桩工程勘察

5.1 一般规定

5.1.1 对公路工程及其附属设施的安全有影响的滑坡或潜在滑坡，应进行滑坡专项工程地质勘察，滑坡防治设计应在已经审定的滑坡工程地质勘察报告的基础上进行。

5.1.2 滑（斜）坡勘察应查明滑（斜）坡体及影响范围的地形地貌、滑动面（带）形态、工程地质和水文地质条件、滑坡的成因类型、岩土体的物理力学指标、滑动面（带）的力学参数、滑坡规模与特征等，分析评价滑坡稳定状况、发展趋势和对公路工程的危害程度，提出防治工程建议措施。

5.1.3 滑（斜）坡勘察应充分利用已有资料，及时分析掌握滑坡信息，结合滑（斜）坡区工程建设和地质条件，根据不同设计阶段勘察任务要求，合理开展勘察工作。

5.1.4 滑坡勘察应采用安全可靠的技术手段，严禁采用可能降低滑坡稳定性的勘探方法。

5.1.5 滑坡工程地质勘察的阶段划分与深度应与各阶段设计要求相对应，能够满足各阶段设计要求。

5.2 滑（斜）坡勘察技术要求

5.2.1 地质调绘工作范围应包括滑坡区、滑坡影响区，以及与之相邻的斜坡稳定区的一定范围。当采用排水工程进行滑坡防治时，应对其外围可能布置地面排水沟或地下排水措施的地区，进行地质调绘。

5.2.2 边坡微型抗滑桩加固工程勘察应采用物探、钻探、井（槽）探和原位测试相结合的综合勘察手段，查明滑坡体结构、性质、各层滑动面（带）的位置及空间分布，以

及地下水水位、流向、流量及其变化情况。

5.2.3 边坡微型抗滑桩加固工程勘察钻探深度应深入最深层滑动面（带）以下 3.0~5.0m。拟采用微型抗滑桩的地段，钻探深度应深入至桩端底部以下不小于 5.0m；拟采用锚索加固的地段，钻探深度应深入至锚固端底部以下不小于 3.0m；拟采用抗滑挡墙加固的地段，钻探深度应深入至基础底部以下不小于 3.0m。

5.2.4 边坡微型抗滑桩加固工程勘察应通过现场原位测试、室内试验等手段提供滑体、软弱面和滑动面（带）、滑床的岩土体物理力学性质参数，有地下水时应进行水质分析，查明地下水对钢筋、混凝土的腐蚀性。

5.2.5 边坡微型抗滑桩加固工程施工期间发现地质勘查报告不符合实际情况时，应进行补充地质勘查工作，提交补充地质勘查报告，内容应符合有关规范和设计要求。

5.2.6 未尽事宜按《滑坡防治工程勘查规范》GB/T 32864-2016）以及《公路工程地质勘察规范》（JTG C20-2011）相关要求执行。

5.3 勘察成果

5.3.1 各阶段滑坡工程地质勘察应提供满足设计要求的勘察报告，勘察前期阶段应进行滑坡调查，滑坡调查可以资料收集，区域环境地质踏勘，地面调查为主，相关的成果作为项目立项和布置勘探工作的依据。

5.3.2 工程可行性研究阶段滑坡工程地质勘察报告应包括工程地质勘察说明书，说明书对于中、大型滑坡应单独进行论述。图件应包括工程地质平面图和工程地质纵面图，平面图比例尺宜为 1:2000~1:5000；断面比例尺宜为 1:500~1:2000。

5.3.3 初步设计阶段滑坡工程地质勘察报告应包括工程地质勘察说明书及勘察相关图表资料，图表包括 1:500~1:2000 滑坡工程地质平面图、1:200~1:500 滑坡工程地质断面图、1:50~1:200 钻孔柱状图及井（槽）探展示图、以及物探、原位测试图表、水位地质测试资料、室内土工试验图表以及滑坡动态检测资料及照片等，对于中型及以上滑坡，应逐工点提供工程地质勘察报告。

5.3.4 施工图设计阶段工程地质勘察报告应在除勘和初步设计的基础上，进一步核实、补充完善滑坡地质条件，岩土体参数，对初勘地质资料进行复核和确认，彻底查明滑体、滑动面（带）、滑床的土层分布、形态，确认各部位土层物理力学具体参数及含水层各项物理、化学指标。

6 边坡微型抗滑桩工程设计

6.1 一般规定

6.1.1 边坡微型抗滑桩加固工程设计内容包括滑（斜）坡稳定性评价、岩土体参数取值及微型抗滑桩相关参数设计等内容。

6.1.2 边坡微型抗滑桩加固工程设计应根据滑（斜）坡地形地质条件、滑坡性质、成因、规模、稳定状况及对公路危害程度，分析滑坡的发生条件、发展趋势及主要诱发因素，确定微型抗滑桩防治技术对策与工程措施。

6.2 稳定性评价方法

6.2.1 单个工点滑（斜）坡稳定性评价应选择代表性横断面进行验算。

6.2.2 滑（斜）坡稳定性计算方法应根据岩土类型、滑坡形态和可能的破坏形式，选择适宜的计算方法。

a) 对于滑动面为单一平面或圆弧形的堆积层（包括土质）滑坡，可用瑞典条分法等进行稳定性评价，可用毕肖普法（Bishop）等方法进行校核。

b) 对于滑动面为折线形的堆积层（包括土质）滑坡，可用传递系数法进行推力计算。对于岩质滑坡，可用平面极限平衡法进行稳定性评价和推力计算。

6.2.3 对变形破坏机制复杂的滑（斜）坡，宜结合数值分析法进行评价。

6.2.4 对于滑坡土体除验算整体稳定性外，尚应验算局部稳定性。

6.3 岩土体参数取值方法

6.3.1 计算参数宜根据工程地质勘察测试成果、反演和当地经验综合确定。

6.3.2 滑坡岩土体力学参数反演可采用基于极限平衡理论的公式和数值方法。

6.3.3 岩体结构面的抗剪强度宜根据试验确定。无条件进行试验时，可采用经验值和反算分析等方法综合确定。

6.3.4 地基土水平抗力系数的比例系数 m 和地基弹性抗力系数 K 的取值可参考《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330-2013）选用。

6.4 微型抗滑桩桩位和桩参数

6.4.1 微型抗滑桩的平面布置、桩间距、桩长和桩身截面尺寸等应根据滑（斜）坡推力大小、地层性质、滑面形态和坡度、锚固段岩土体的横向承载力特征值、滑体厚度及施工条件等因素综合确定。

6.4.2 微型抗滑桩一般应布设在滑（斜）坡中前部的阻滑段，根据滑（斜）坡的地层

性质、滑（斜）坡推力大小、滑动面坡度、滑体厚度和施工条件等因素综合考虑确定，有重要保护对象或施工条件制约可适当调整。

6.4.3 微型抗滑桩沿横剖面布置方向宜与滑动方向垂直。

6.4.4 微型抗滑桩嵌固段须嵌入滑床中，嵌入段长度根据验算确定。滑带以下岩土体的侧向压应力不得大于该岩土体的容许侧向抗压强度。

6.4.5 微型抗滑桩在平面上可布置为矩形或梅花型。在坡体横断面上，一般竖直布置，也可斜向布置，具体应通过受力分析确定。

6.4.6 微型抗滑桩应嵌固在滑动面以下的稳定岩（土）体中，保证滑坡体不越过桩顶或从桩间挤出，不产生新的深层滑动。

6.4.7 为增强微型抗滑桩整体性，桩顶应采用冠梁连接，为提高微型抗滑桩侧向抗滑移能力，可在冠梁上增设锚索或锚杆。

条文说明：近年来，一些设计和施工单位将其用于边坡和滑坡防治工程中，取得了显著成效，为滑坡防治提供了一种新的思路。由于微型桩细长比大，因此单根或单排微型桩的抗弯能力有限，只有把多排微型桩组合在一起，通过桩顶连系梁连接，组成一个微型组合桩群，形成空间受力体系，才能起到有效的抗滑作用。

6.5 微型抗滑桩设计推力确定方法

6.5.1 作用于微型抗滑桩的外力应计算滑坡推力（包括活荷载引起的滑坡推力）、桩后主动土压力、桩前土体抗力（指滑面以上土体对抗滑桩的反力）及锚固地层的抗力。可不计桩侧土的摩擦力、桩身自重及桩底反力。

6.5.2 微型抗滑桩所受推力应按设桩处的滑坡推力确定。滑坡推力应按滑坡类型、滑面形态选用相应的推力计算方法。

6.5.3 滑坡推力计算应根据现场条件考虑附加力的作用，滑体上有外加荷载时，应把荷载附加到相应的条块上，滑体内有水时，应考虑水的压力作用，地震峰值加速度大于 $0.10g$ 时，应考虑地震力的作用。

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

6.5.5 微型抗滑桩桩后主动土压力（ E_a ）应按公式（2）、（4）、（6）进行计算。当 KE_a 大于滑坡剩余下滑力的时候，滑坡推力取 KE_a ， K 为安全系数。

a) 岩土体为无粘性土时

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 K_a \quad (2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \varphi / 2) \quad (3)$$

$$K_a = \tan^2(45 - \varphi / 2) \quad (4)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 K_p \quad (5)$$

b) 岩土体为粘性土时

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 K_p + 2ch_1K_p \quad (6)$$

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 K_a - 2ch_1\sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \quad (7)$$

K_a 、 K_p ——分别为主动土压力系数、被动土压力系数。

E_a 、 E_p ——分别为主动土压力、被动土压力 (KN)。

h_1 ——滑动面以上土体高度 (m)

γ ——岩土体的重度 (KN/m³)

c ——岩土体的粘聚力 (kPa)。

6.5.6 抗滑桩桩前土压力应按公式 (3)、(5)、(7) 进行计算。桩前抗力 (P) 可由极限平衡时滑坡推力曲线 (图 1) 或桩前被动土压力确定, 设计时选用小值。

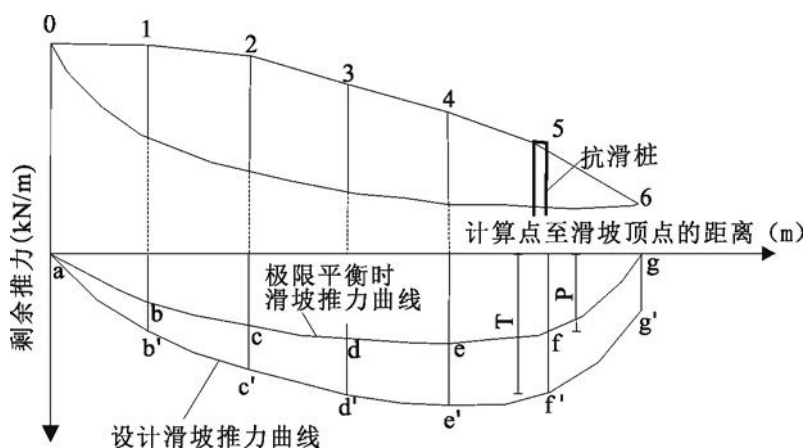


图 1 滑坡推力曲线

(T —桩上滑坡推力 (kN/m); P —桩前滑体抗力 (kN/m))

6.5.7 桩前土体稳定性不满足要求时, 应不考虑桩前抗力。

6.6 微型抗滑桩构造要求与承载力计算

6.6.1 本规定适用于断面尺寸不大于 300mm 微型桩的组合抗滑桩群设计。

6.6.2 微型抗滑桩群设计内容应包括：平面布置、剖面布置、微型桩群和单个微型桩承受的滑坡推力、微型桩内力、微型桩单体结构、微型桩群连系梁和构造设计。

6.6.3 微型抗滑桩变形及内力计算推荐采用弹性分析法。对于较完整的岩质滑坡，计算微型抗滑桩内力时，可假定作用于微型抗滑桩群的水平推力均匀分布于各排微型桩上；对于其他滑坡，各排微型抗滑桩所承担推力的比值可通过地区经验、试验及数值分析确定。

6.6.4 微型抗滑组合桩群设计应据防治工程的等级，按 4.3 节推荐的设计安全系数取值，并进行整体稳定性验算。

6.6.5 微型抗滑桩桩位宜设在滑坡体较薄、嵌固段地层强度较高的地段，桩前不宜临空。

条文说明：微型桩治理滑坡时的主要作用机理为抗剪、抗弯和其独特的抗拉拔性能，但因其单个桩的长细比大、截面抗弯刚度小、柔性大，故应设在滑体较薄、推力不至于过大、桩前不临空的地段。

6.6.6 微型抗滑组合桩群布置形式应结合岩土体性质，滑坡体滑动面位置等因素，结合数值计算分析结果，采用合理的布置形式。

6.6.7 微型抗滑桩的断面尺寸宜为 100~300mm，长度一般不超过 30m，桩间距宜取 0.5~2.0m，岩土体条件好时取上限值，岩土体条件差时取下限值。

条文说明：由于微型桩的特殊构造，为保证钢材保护层厚度和工作性能，微型桩的桩径不宜过小。但微型桩桩径过大时，其工作性能接近于传统抗滑桩，加筋材料过多，经济上也不合理，施工不便捷。桩的间距也很重要，当微型桩的间距较大时（超过桩径的 6 倍），可以不考虑群桩效应。当间距较小（小于桩径的 4 倍）时，需要考虑群桩效应。

微型桩的破坏位置基本位于滑面附近，在破坏区以外，微型桩桩身的内力衰减很快，因此，从微型桩的抗弯能力来看，当桩身达到一定长度后，再增加桩的长度对于抗滑作用的意义不大。

6.6.8 微型抗滑桩在滑面以下的嵌固深度不宜大于 30d（d 为微型桩的桩径），且不宜大于 1/3 桩长，不宜小于 2m，并应符合微型桩的抗拉拔强度要求。

条文说明：微型桩大型物理模型试验表明，微型桩单桩与群桩的弯矩分布范围不同，

单桩受荷段弯矩集中分布于滑面以上 10 倍桩径的范围,群桩受荷段弯矩分布于整个受荷段,其中滑面以上 15 倍桩径范围内弯矩较大。群桩与单桩受荷段最大负弯矩均位于滑面以上 7 倍桩径处。微型桩嵌固段主要承受正弯矩(迎滑侧受拉),且分布于滑面以下 10 倍桩径的范围内,最大正弯矩位于滑面以下 5 倍桩径处。

群桩各排桩的剪力分布形式基本相同,滑面以下 7 倍桩径至滑面以上 7 倍桩径范围内的剪力方向与滑动方向相同,最大正剪力位于滑面处;滑面以上 7~20 倍桩径与滑面以下 7~23 倍桩径范围内剪力方向与滑坡滑动方向相反,受荷段最大负剪力约位于滑面以上 13 倍桩径处,嵌固段最大负剪力约位于滑面以下 12 倍桩径处。

综合以上试验结果,再考虑一定的安全系数后,提出以 30d 和 1/3 桩长作为嵌固段桩长的限制指标。

6.6.9 微型抗滑桩的受力筋可采用钢筋、型钢或钢管。微型桩孔内宜采用二次注浆工艺注浆,也可采用细石混凝土灌注。水泥砂浆的强度应不低于 M25。细石混凝土的骨料粒径不宜大于 20mm,强度不宜小于 C25。

6.6.10 微型抗滑桩的抗滑稳定性,以及单桩变形和内力计算可参考附录 A,或用数值模拟方法进行计算。

6.6.11 为增强微型抗滑桩整体性,宜在微型抗滑桩顶部采用承台或冠梁联接。边桩外边缘至承台或冠梁边缘的距离不小于 150mm。承台或冠梁的最小厚度不应小于 300mm,配筋应符合国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

梁顶连系梁可近似按照两端固定单跨超静定梁计算,梁端弯矩和剪力按照式(8)~式(9)计算

$$M_{AB} = 6 \frac{EI}{l^2} \Delta_{AB}, M_{BA} = 6 \frac{EI}{l^2} \Delta_{AB} \quad (8)$$

$$Q_{AB} = 12 \frac{EI}{l^2} \Delta_{AB}, Q_{BA} = 12 \frac{EI}{l^2} \Delta_{AB} \quad (9)$$

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($\text{KN} \cdot \text{m}$);

EI —连系梁的抗弯刚度,单位为千牛平方米($\text{kN} \cdot \text{m}^2$);

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)。

6.7 微型抗滑桩结构内力计算

6.7.1 微型抗滑桩结构设计验算内容包括抗弯、抗拉拔和抗剪承载力等。

6.7.2 抗弯承载力验算时，受压区混凝土的应力图可简化为等效的矩形应力。

6.7.3 抗拉拔承载力验算时，需同时对桩身抗拉承载力及嵌固端桩周的岩土体锚固效果进行验算。

6.7.4 抗剪承载力验算时，剪力设计值的计算截面按 GB 50010-2010 中第 6.3.2 条的规定采用。

条文说明：微型桩变形及内力计算推荐采用弹性分析法。对于较完整的岩质滑坡，计算微型桩内力时，可假定作用于微型桩群的水平推力均匀分布于各排微型桩上；对于其他滑坡，各排微型桩所承担推力的比值可通过地区经验、试验及数值分析确定。

微型抗滑桩的桩土作用机制较为复杂，土质边坡和岩质边坡的受力特点也不尽相同，岩质边坡中微型抗滑桩内力计算可以抗剪及抗拉承载力为主，土质边坡中微型抗滑桩内力计算则需额外满足抗弯承载力要求。

6.8 排水工程设计

6.8.1 公路边坡微型抗滑桩边坡加固工程中的排水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。

6.8.2 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。

6.8.3 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，选用钻孔排水或盲沟排水等方案，并与现状排水系统相接。

6.8.4 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。

6.9 设计成果

6.9.1 采用微型抗滑桩处治的边坡工程，应逐工点编制设计文件，并应符合现行《公路工程基本建设项目设计文件编制办法》的规定。

6.9.2 设计成果文字说明应表意清晰，图件应符合现行 GBJ 124《道路工程制图标准》的规定，工程量计算应分类明确，分项与设计图纸对应，并做到单位统一，计量准确。

6.9.3 设计说明应包括以下内容：项目概况、上阶段批复意见执行情况，工程地质及水文地质情况说明，设计标准、原则和依据，边坡稳定性验算结论，设计方案，施工方

案及注意事项，材料要求，质量控制措施及检测要求，监测方案等。

6.9.4 工程量数量表中应列出微型桩处治路段的起讫桩号、处治方案、处治长度，单位、工程数量（左、右幅分别计量）及各项材料数量。

6.9.5 图件

a) 边坡微型抗滑桩加固工程平面布置图

- 地形图、场地位置、征地红线；
- 微型抗滑桩平面布置、桩位坐标、各控制点的坐标；
- 剖切线位置和编号、指北针；
- 说明、图纸名称、图签。

b) 边坡微型抗滑桩加固工程立面图

- 微型抗滑桩立面布置、桩顶高程、坐标高程、水平及竖向标尺；
- 说明、图纸名称和图签。

c) 边坡微型抗滑桩加固工程横断面图

- 微型抗滑桩横断面布置、桩长、桩顶标高、水平及竖向标尺；
- 横断面位置和编号；
- 说明、图纸名称和图签。

d) 结构详图

- 微型抗滑桩桩身结构详图及承台（系梁）配筋图；
- 桩身和锚索连接部分构造图；
- 锚索结构图；
- 钢筋大样图及计算用量表；
- 说明、图纸名称、图签。

e) 监测工程平面图

- 场地地形和监测点的坐标、类型等。

f) 监测工程结构详图。

6.9.6 计算书

主要包含滑坡稳定性验算、滑坡推力计算、土体抗力验算、微型抗滑桩桩间距验算、单桩内力及位移计算、锚索内力验算。

6.9.7 成果书写编排格式

——设计成果按设计说明、工程数量表，设计图纸的顺序排放，应做到层次清晰，方便理解和应用。

——文字及图件的术语、符号、单位应前后一致，符合国家现行标准。

6.9.8 图件比例尺

——边坡微型抗滑桩加固工程平面布置图（1：500～1：2000）

——边坡微型抗滑桩加固工程立面图（1：500～1：1000）

——边坡微型抗滑桩加固工程横断面图（1：200～1：1000）

——结构详图（1：50～1：200）

——监测工程平面图（1：500～1：2000）

——监测工程结构详图（1：50～1：200）

7 微型抗滑桩施工、检测与监测要求

7.1 一般规定

7.1.1 微型抗滑桩施工前应编制施工组织方案，施工组织方案应符合现行《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610-2019），《公路工程安全施工技术规范》（JTG F90-2015）等现行规范的规定，并可参照《抗滑桩施工技术规范》（T/CAGPH 004-2018）的相关要求。

7.1.2 微型抗滑桩大规模施工前应先进行工艺性试桩，根据试桩结果确定最终采用的施工工艺、材料参数、质量控制措施。

7.1.3 原材料进场前，应分批次进行质量检验和评定，禁止不符合要求的原材料进入施工现场。

7.1.4 微型抗滑桩施工质量检测，应根据选用的微型桩类型，制定合理的检测方案，在上道工序经质量检测验收合格后，方能进行下道工序的施工。

7.1.5 应根据边坡工程的安全等级、地质环境、边坡类型、支护结构形式和变形控制要求制定合理的微型抗滑桩工程监测方案，监测周期应包括施工过程中的监测及缺陷责任期的安全监测内容。

7.2 微型抗滑桩施工要求

7.2.1 微型抗滑桩要严格按照施工图确定的位置放样施工。

7.2.2 微型抗滑桩按由浅至深、由两侧向中间的顺序施工。应采用间隔钻孔或隔桩跳打的方式，每次间隔 1～2 孔，成孔后应及时灌注混凝土或后注浆。

7.2.3 桩底高程应由施工单位会同设计、勘察、监理、业主等单位现场确定。

7.2.4 桩身混凝土宜采用商品混凝土，条件不允许时可采用现场搅拌。

7.2.5 微型抗滑桩注浆压力应根据滑体岩土性质又现场试验确定，宜为 0.3~1.0MPa。

7.3 微型抗滑桩检测要求

7.3.1 边坡微型抗滑桩加固工程检验时，应提供施工过程中有关参数，原材料的力学性能检验报告。

7.3.2 边坡微型抗滑桩加固工程检验时，提供试件留置数量及制作养护方法，混凝土和砂浆等抗压强度试验报告，型钢、钢管等制作质量检查报告。

7.3.3 边坡微型抗滑桩加固工程检验时，提供施工记录，隐蔽工程验收资料。

7.3.4 微型抗滑桩的检测包括成孔质量检测、成桩质量检测。

7.3.5 成孔质量检测包括桩位偏差、垂直度、孔深、孔径，孔底沉渣厚度。当微型桩倾斜布置时，垂直度偏差或方位角应满足设计要求。

7.3.6 微型抗滑桩成桩质量检测包括桩顶标高、桩位偏差、钢筋笼尺寸、桩身完整性及桩体强度等。

7.4 微型抗滑桩监测要求

7.4.1 微型抗滑桩监测应根据整个滑（斜）坡地质灾害防治要求统一布设。

7.4.2 微型抗滑桩监测主要包括施工安全监测、防治效果监测和动态长期监测。应以施工安全监测和防治效果监测为主，所布网点应可供长期监测利用。

7.4.3 高速公路、一级公路滑坡防治工程，应进行微型抗滑桩应力、位移监测；二级及二级以下公路滑坡防治工程，宜进行微型抗滑桩应力、位移监测，位移监测可以桩顶位移监测为主。

7.4.4 微型抗滑桩群结合锚索使用时，应进行锚索预应力监测。监测锚索的数量不少于 10%，且不少于 3 根。

7.4.5 主剖面上的桩应进行监测，监测桩的数量不少于 10%，且不少于 3 根。

7.4.6 监测数据的采集宜采用自动化方式。

7.4.7 微型抗滑桩防治效果监测时间不应小于一个水文年，数据采集时间间隔宜为 7~10 天。在外界扰动较大时，如暴雨期间，应加密观测次数。主要包括监测预应力锚索应力值的变化、微型抗滑桩的变形和应力。

7.4.8 微型抗滑桩长期监测在防治工程竣工后。长期监测主要对高速公路、一级公路滑坡防治工程进行。数据采集时间间隔宜为 10~15 天。动态变化较大时，可适当加密观

测次数。

7.4.9 微型抗滑桩监测应采用先进和经济实用的技术方法，与群测群防相结合。

7.4.10 微型抗滑桩施工过程中，当监测数据出现异常时，应立即停止施工，及时分析原因，必要时调整设计或施工方案，施工完成后观测数据异常时，应立即通报管理单位发出危险预警，采取交通管制措施，启动应急处理预案。

8 安全生产与环境保护

8.1 一般规定

8.1.1 施工前要认真勘察现场，并编制施工组织设计，制定有针对性的安全技术措施。

8.1.2 施工应严格执行国家有关安全生产的方针政策、法规，制订有关安全文明施工的规章制度，服从相关管理部门对安全生产工作监督和检查。

8.2 环境保护措施

8.2.1 施工进场前，应进行环境保护培训，提高作业人员环保意识，并将环境保护培训记录保存留底。

8.2.2 机械设备开动过程中，要严格按照设备的操作规范要求进行操作，防止操作不当产生噪声。

8.2.3 应做到工完料净场地清，对生产中产生的各种固体废弃物，应按各类废弃物投放管理要求分类投放，禁止随手乱扔，造成环境污染。

8.2.4 加强对施工现场粉尘、噪声、废气的监控工作。及时采取措施消除粉尘、废气和污水的污染，保证周围环境清洁，不影响附近居民生活工作，实行封闭施工

8.2.5 在施工中，使用有毒有害物质时，如油漆、稀料、各种胶等，应指定地点储存，以免造成有毒，有害气体挥发。

8.2.6 施工废水、生活污水按有关要求进行处理，不得直接排入河流和农田。

8.3 安全措施

8.3.1 现场油料必须进行防漏处理，油料储存和使用由专人负责管理，避免因油料的跑、冒、漏、滴而污染水体。

8.3.2 应认真贯彻国家和上级劳动保护、安全生产主管部门颁发的有关安全生产、消防工作的方针、政策，严格执行有关劳动保护法规、条例、规定。

8.3.2 施工方应有安全管理组织体制，包括人员配置，各工种的安全操作规程，特种作业工人的审证考核制度及各级安全生产岗位责任制和定期安全检查制度。

8.3.4 施工人员需进行安全生产制度及安全技术知识教育，增强法制观念，提高安全生产思想意识和自我保护的能力，自觉遵守安全纪律、制度法规。

8.3.5 对所处的施工区域、作业环境操作设施设备、工具用具等应认真检查，发现隐患，应立即停止施工，并由有关单位落实整改，消除隐患后方可施工。

8.3.6 施工时使用的机械设备（机具）、脚手架等设施，在使用前应按规定对其设施进行安全方面的检查、验收，确认安全无误后方可使用。机械设备（机具）、脚手架等设施在使用过程中严格按照安全操作规程进行。

8.3.7 施工过程中应注意地下管线及高低压架空线路的保护。

8.3.8 特种作业应执行《国家特种作业人员安全技术培训考核管理规定》，经省、市、地区的特种作业安全考核站培训考核后持证上岗，并按规定定期审证；中、小型机械的操作人员应按规定做到“定机定人”和持证操作；起重吊装作业人员应遵守“十不吊”规定，禁止违章、无证操作；禁止不懂电器、机械设备的人员，擅自操作使用电器、机械设备。

附录 A 等效法微型抗滑组合群桩计算公式

(1) 等效法将微型组合抗滑桩群与岩土体作为一个柔性抗滑挡墙, 计算简图如下图所示。微型组合抗滑桩横向桩间距根据式 (A.1) ~ 式 (A.7) 确定:

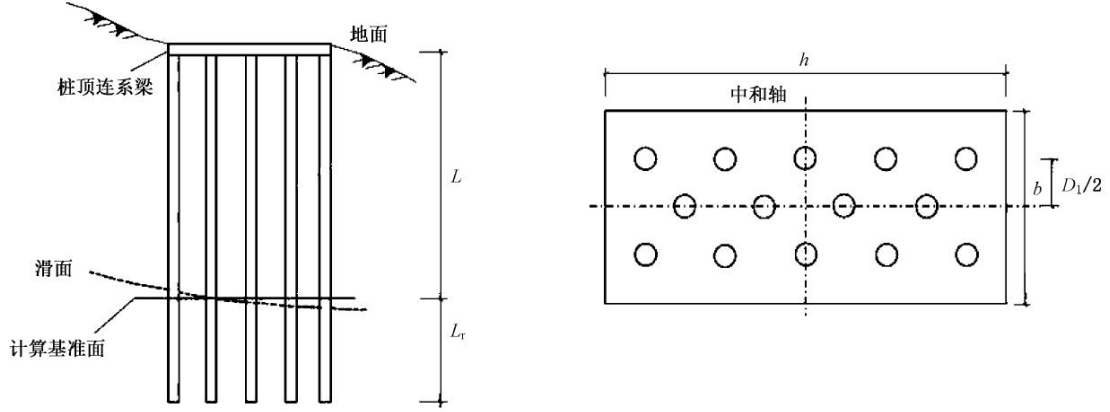


图 A.1 微型抗滑组合群桩等效法计算简图

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

$$P_t = cA \left[\frac{1}{K_p \tan j} (B - 2K_p^{1/2} \tan j - 1) + g_1/g_2 \right] - c(D_1 g_1/g_2 - 2D_2 K_p^{-1/2}) + \frac{\gamma \times L}{K_p} \quad (\text{A. 2})$$

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

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

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

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

$$P \leq R_r \quad (\text{A. 7})$$

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 ——相邻微型抗滑桩的距离, 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 ——微型抗滑桩嵌固段长度, 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)。

(2) 按沿滑面的抗剪计算桩的总数及配筋量根据式

$$P \leq R_{fa} \quad (\text{A. 8})$$

$$R_{fa} = n\tau_{fa} \quad (\text{A.9})$$

$$\tau_{fa} = \beta_a[\tau]A_s \quad (\text{A.10})$$

$$\beta_a = \sqrt[4]{E_s/E_t} \quad (\text{A.11})$$

式中:

P ——滑坡推力, 单位为千牛 (kN);

R_{fa} ——微型抗滑桩组合抗滑桩群抗滑力, 单位为千牛 (kN);

n ——每米微型抗滑桩数量, 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 ——土体及微型抗滑桩的弹性模量, 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)。

(3) 微型抗滑桩内力可按式 (A.12) ~ 式 (A.18) 计算:

$$\sigma_R \leq f_a \quad (\text{A.12})$$

$$\sigma_R = \frac{N_R}{A_R} + \frac{M_R}{I_R} \cdot y \quad (\text{A.13})$$

$$A_R = m_1 A_P n + b h \quad (\text{A.14})$$

$$A_P = (m_2 - 1) A_s n + A_c \quad (\text{A.15})$$

$$I_R = m_1 A_P \sum x^2 + \frac{b h^3}{12} \quad (\text{A.16})$$

$$\sigma'_R = m_1 \sigma_R < \sigma_{ca} \quad (\text{A.17})$$

$$\sigma_{SC} = m_2 \sigma'_R < f'_s \quad (\text{A.18})$$

式中:

σ_R ——计算基准面处微型抗滑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 ——计算基准面处微型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 ——计算基准面处微型抗滑桩加固体的等效截面惯性矩, 单位为四次方米 (m⁴);

A_P ——微型抗滑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微型抗滑桩桩数, 单位为根;

m_1 ——桩与其周围土的弹性模量比；

m_2 ——钢筋与浆体的弹性模量比；

b, h ——微型抗滑桩布置的单位宽度及长度，单位为米（m）；

A_c ——微型抗滑桩截面积，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微型抗滑桩的距离，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）。

（4）微型抗滑桩嵌固段长度

$$L_r = \frac{F_b A_c \sigma_R}{\pi D \tau_r} \quad (\text{A.19})$$

式中：

L_r ——微型抗滑桩嵌固段长度，单位为米（m）；

F_b ——微型抗滑桩抗拔安全系数，可取 2.5；

D ——微型抗滑桩直径，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 B 微型钢管抗滑桩承载力验算

以微型钢管抗滑桩为例，参照“统一理论”，不考虑钢管外壁包裹混凝土，将微型钢管抗滑桩视为钢管混凝土构件对其承载力进行验算：

(1) 微型钢管抗滑桩的轴心抗压强度承载力设计值应按下列公式计算：

$$N_0 = A_{sc} f_{sc} \quad (B.1)$$

$$f_{sc} = (1.212 + B\theta + C\theta^2) f_c \quad (B.2)$$

$$\theta = \alpha_{sc} \frac{f}{f_c} \quad (B.3)$$

$$\alpha_{sc} = \frac{A_s}{A_c} \quad (B.4)$$

$$B = 0.176f/213 + 0.974 \quad (B.5)$$

$$C = -0.104f_c/14.4 + 0.031 \quad (B.6)$$

式中： N_0 ——微型钢管抗滑桩的轴心受压强度承载力设计值(N)；

A_{sc} ——微型钢管抗滑桩构件的截面面积，等于钢管和管内混凝土面积之和 (mm²)；

f_{sc} ——微型钢管抗滑桩构件抗压强度设计值(MPa)；

A_s 、 A_c ——钢管、管内混凝土的面积(mm²)；

B 、 C ——套箍效应的影响系数。

f 、 f_c ——钢材及混凝土的抗压强度设计值 (MPa)；

α_{sc} ——微型钢管抗滑桩构件的含钢率；

θ ——微型钢管抗滑桩构件的套箍系数；

(2) 微型钢管抗滑桩的轴心抗拉承载力设计值应按下列公式计算：

$$N_{ut} = C_1 A_s f \quad (B.7)$$

式中：

N_{ut} ——微型钢管抗滑桩构件轴心受拉承载力设计值(N)；

C_1 ——钢管受拉强度提高系数,实心截面取 $C=1.1$ ，空心截面取 $C=1.0$ 。

(3) 微型钢管抗滑桩构件的抗剪承载力设计值应按下列公式计算：

$$V_u = 0.71 A_{sc} f_{sv} \quad (B.8)$$

$$f_{sv} = 1.547 f \frac{\alpha_{sc}}{\alpha_{sc} + 1} \quad (B.9)$$

式中：

V_u ——微型钢管抗滑桩构件的抗剪承载力设计值

f_{sv} ——微型钢管抗滑桩抗剪强度设计值 (MPa);

(4) 微型钢管抗滑桩构件的抗弯承载力设计值按下列公式计算:

$$M_u = \gamma_m W_{sc} f_{sc} \quad (\text{B.10})$$

$$W_{sc} = \frac{\pi r_0^3}{4} \quad (\text{B.11})$$

式中:

M_u ——微型钢管抗滑桩的受弯承载力设计值(KN·m);

f_{sc} ——微型钢管抗滑桩构件抗压强度设计值(MPa);

γ_m ——塑性发展系数, 取 1.2;

W_{sc} ——抗弯构件的截面模量 (mm²);

r_0 ——抗弯构件半径 (mm)。