

2019 年度公路工程标准规范制修订项目

工程建设协会标准设计图集

公路边坡防护支挡工程设计通用图

（柔性防护系统、锚固结构、抗滑桩）

图号 （××××-××××-2022）

（征求意见稿）

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

参编单位：福建省交通规划设计院有限公司

江西省公路科研设计院有限公司

交通运输部路网监测与应急处置中心

四川奥思特边坡防护工程有限公司

福建陆海工程勘察设计有限公司

西安中交公路岩土工程有限责任公司

中国工程建设标准化协会公路分会 发布

2022 年××月 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会公路分会《关于开展 2019 年第二批中国工程建设标准化协会标准设计图集<公路边坡防护工程>制订项目编制工作的通知》（中建标公路（2019）185 号）的要求，由中交第一公路勘察设计研究院有限公司主持开展《公路边坡防护支挡工程设计通用图》（柔性防护系统、锚固结构、抗滑桩）的编制制定工作。

本图集共五章，第一章为编制说明，主要对图集的编制依据、适用范围、设计原则及主要材料要求等作以说明；第二章为抗滑桩，主要包括结构类型、结构计算及注意事项、各类抗滑桩设计说明与图纸等内容；第三章为锚固结构，主要包括结构类型、结构计算及注意事项、各类锚固结构设计说明与图纸等内容；第四章为柔性防护系统，主要包括结构类型、结构计算及注意事项、各类型防护系统设计说明与图纸等内容；第五章为抗滑桩设计计算实例，主要包括某具体工点抗滑桩项目的设计资料选取、抗滑桩设计计算及设计图等内容。

本图集是基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本图集提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本图集相关内容时，应对适用性及有效性进行验证。

本图集由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中交第一公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本图集日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或夏旺民（地址：陕西省西安市高新区沣惠南路 20 号华晶商务广场 A 座 8 层；邮编：710075；传真：029-88372081；电子邮箱：360092976@qq.com），以便下次修订时参考。

主 编 单 位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司
参 编 单 位：
主 编：丁小军
主要参编人员：
主 审：吴万平
参与审查人员：
参 加 人 员：

目 录

第 1 章 编制说明1

 一、概述1

 二、编制依据及相关标准1

 三、适用范围1

 四、边坡防护目的及基本条件1

 五、主要设计原则1

 六、边坡防护主要材料要求2

第 2 章 抗滑桩5

 一、抗滑桩类型5

 二、抗滑桩计算及其他注意事项5

 三、普通抗滑桩设计说明16

 四、锚索抗滑桩设计说明17

 五、抗滑桩通用参考图18

第 3 章 锚固结构31

 一、锚固结构类型31

 二、锚固结构设计31

 三、锚固边坡坡面结构设计与计算36

 四、锚固结构施工技术要求37

 五、锚固结构常用规格验算38

 六、锚固结构通用参考图40

第 4 章 柔性防护系统58

 一、柔性防护系统类型58

 二、柔性防护系统计算及其他注意事项58

 三、主动防护系统设计说明59

 四、被动防护系统设计说明60

 五、覆盖式引导防护系统设计说明61

 六、张口式引导防护系统设计说明63

 七、柔性防护系统通用参考图64

第 5 章 工程设计计算实例 119

 一、设计资料 119

 二、锚索规划设计 119

 三、抗滑桩规划设计 120

 四、抗滑桩外荷载计算 120

 五、受荷段桩身内力计算 121

 六、锚固段桩侧应力及桩身内力计算 121

 七、桩侧应力复核 122

 八、桩身配筋计算 122

 九、主要工程结构设计图 123

本规范用词用语说明 127

第 1 章 编制说明

一、概述

根据中国工程建设标准化协会公路分会《关于开展 2019 年第二批中国工程建设标准化协会标准设计图集<公路边坡防护工程>制订项目编制工作的通知》（中建标公路（2019）185 号）的要求进行编制，以规范统一公路边坡防护工程的设计与施工等相关技术要求。

本图集为公路边坡防护支挡工程（柔性防护系统、锚固结构、抗滑桩）设计通用参考图集，纳入了公路建设应用广泛、技术经济合理的边坡防护常用支挡类型（锚固结构、抗滑桩），以及部分地区适应性较强、实践证明效果显著的坡面防护新类型（柔性防护系统）。

二、编制依据及相关标准

- 《道路工程制图标准》（GB50162）
- 《建筑结构可靠性设计统一标准》（GB50068）
- 《混凝土结构设计规范》（GB50010）
- 《建筑结构荷载规范》（GB50009）
- 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB50086)
- 《滑坡防治设计规范》（GB/T 38509）
- 《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.2）
- 《碳素结构钢》（GB/T 700）
- 《钢丝绳通用技术条件》（GB/T 20118）
- 《钢丝绳夹》（GB/T 5976）
- 《人造气氛腐蚀试验：盐雾试验》（GB/T10125）
- 《公路路基设计规范》（JTGD30）
- 《公路滑坡防治设计规范》（JTG/T 3334）
- 《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTG/T B07-01）
- 《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）
- 《公路工程施工安全技术规范》（JTG F90）
- 《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1）
- 《边坡柔性防护网系统》（JT/T 1328）
- 《滑坡防治工程设计与施工技术规范》（DZ/T 0219）

- 《铁路路基支挡结构设计规范》(TB10025)
- 《铁路边坡柔性被动防护产品落石冲击试验方法与评价》（TB/T 3449）
- 《一般用途低碳钢丝》（YB/T 5294）
- 《制绳用圆钢丝》（YB/T 5343）

三、适用范围

本图集为一般条件下的通用参考图，适用于各等级公路边坡防护支挡工程（柔性防护系统、锚固结构、抗滑桩）设计。

设计单位应针对具体工点情况、设计阶段和本图集适用范围，正确选用参考图，并对工程设计质量负责。

四、边坡防护目的及基本条件

本图集主要解决需新设柔性防护系统、锚固结构或抗滑桩等防护支挡工程的公路边坡设计问题，所选用结构应建立在边坡整体稳定（柔性防护系统）或设防后整体稳定（锚固结构或抗滑桩）的基础上，可配合坡面防护工程使用，但本图集中的结构不能完全取代其他坡面防护工程。

五、主要设计原则

公路边坡防护支挡工程设计应以边坡稳定为基本目标，支挡措施应在设计计算的基础上，考虑安全、经济、环保、人文及可持续发展的要求科学选取。

- 1、边坡防护应加强工程地质勘察工作，采用综合勘探的方法，取得详细的工程地质、水文地质和环境条件资料，分析并确认边坡的稳定性。
- 2、边坡防护应贯彻绿色防护的理念，结合绿色通道建设，遵循因地制宜、安全可靠、经济适用、易于管护、兼顾景观的原则。
- 3、边坡防护工程设计应贯彻国家技术经济政策，全面规划，近期远期结合，统筹兼顾。
- 4、边坡防护措施应根据公路等级、工程类型、气候条件、工程及水文地质条件、边坡坡度与高度、环境保护及景观要求等条件，经经济技术比较后合理选用。
- 5、锚固及抗滑桩支挡设计参数应根据公路等级、气候条件、地质条件等因素合理确定。
- 6、边坡支挡工程设计应综合采用技术成熟的抗滑桩、锚索等措施，结合削方减载、综合排水等多种手段治理。

7、根据公路沿线地材分布特点，结合公路等级和环保要求，合理选用边坡防护支挡工程材料。

8、各类边坡防护支挡结构组成及适用条件如表 1-1 所示。边坡防护形式选择流程详见“公路边坡防护支挡工程形式选择流程框图”。

六、边坡防护主要材料要求

1、环境类别及作用等级

边坡防护混凝土及钢筋混凝土的环境作用类型包括一般环境、一般冻融环境、氯盐环境、盐结晶环境等,按其对钢筋混凝土结构腐蚀作用的严重程度分为 6 级。建议环境类型根据勘察资料确定。

2、材料要求

（1）支挡工程材料要求

防护支挡工程采用混凝土时，混凝土最低强度等级要求详见表 1-2，混凝土原材料及配合比应符合现行《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》相关规定的要求。

表 1-2 防护、支挡结构材料强度要求（JTG D30 附录 G）

材料类型	最低强度等级		适用范围
	非冰冻区、轻冻区	中冻区、重冻区	
水泥 混凝土	C15	C20	抗滑桩锁口 与护壁
	C30	C30	抗滑桩、锚索 垫墩、框架格 子梁、地梁、 单锚墩

（2）柔性防护系统材料要求

1）钢丝绳：应符合《钢丝绳通用技术条件》（GB/T 20118）标准的规定。

2）环形网钢丝：应符合《制绳用圆钢丝》（YB/T 5343）标准的规定。

3）双绞六边形网钢丝：应符合《一般用途低碳钢丝》（YB/T 5294）标准的规定。

4）卸扣：强度应符合《一般起重用 D 形和弓形锻造卸扣》（GB/T 25854）的规定，所用卸扣宜采用 4 级弓形卸扣。

5）钢丝绳夹：应符合《钢丝绳夹》（GB/T 5976）标准的规定，安装方式和安装数量参照标准执行。

6）钢丝绳锚杆材料：宜为带有鸡心环的双钢丝绳锚杆，所用钢丝强度不应低于 1570MPa。

7）螺纹钢锚杆：应符合《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.2）的规定，所用材料为 HRB400。

8）钢柱、基座等材料：应符合《碳素结构钢》（GB/T 700）的规定。

9）地脚锚杆及螺纹钢锚杆材料：应符合《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.2）的规定，所用材料为 HRB400。

3、混凝土耐久性评价

不同环境下，混凝土的耐久性评价有关试验方法、校验方法、技术要求及性能指标应符合现行《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》相关规定要求。

4、钢筋的混凝土保护层最小厚度

抗滑桩最外层钢筋混凝土保护层有护壁时可采用 40mm，无护壁时可采用 70mm。（GB/T 38509 10.2.2.6 条）

表 1-1 各类边坡防护支挡结构组成及适用条件

序号	防护类型		结构形式	适用条件	
1	抗滑桩		坡体内设现浇钢筋混凝土矩形桩或圆桩，矩形桩桩间设置挡板或挡土墙，圆桩常以钢筋混凝土连梁连接。	矩形桩适用于滑坡厚度较大、剩余下滑力(或土压力)较大的公路不稳定边坡或滑坡；圆桩适用于滑坡推力较小、人工挖孔困难或对快速施工要求较高的不稳定边坡或滑坡。	
2			锚索抗滑桩	坡体内设现浇钢筋混凝土矩形桩或圆桩，桩顶或桩身特定部位设置一排或多排锚索。	一般适用于岩质滑床，特别适用于剩余下滑推力大的公路不稳定边坡或滑坡。
3	锚固结构	按坡面结构	框架（格子）梁	坡面设现浇钢筋混凝土框架梁，井字形布置，节点处设置锚索。	适用于风化较严重、地下水丰富、软质岩、土质边坡。
4			地梁	坡面设现浇钢筋混凝土地梁，条形布置，节点处设置锚索。	适用于软硬岩体相间、土质边坡。
5			单锚墩	坡面设现浇钢筋混凝土锚墩，单点布置，锚墩节点设置锚索。	适用于硬质岩、块状或整体性好的岩体边坡。
6		按锚固段受力	拉力型锚索 （本图集收录）	锚索束长度相同，均匀分布于自由段和锚固段，锚索对土体提供的抗压应力通过浆体使钢绞线与岩体形成粘结作用。	适用于硬质岩石的地层锚固。
7			压力型锚索	采用无粘结钢绞线，孔底钢绞线末端设置承压板和挤压套，主体结构由自由段和锚固段构成，全孔灌注水泥砂浆，使锚索体与周边岩土体胶结成一体。	对软弱岩土体具有良好的加固效果。
8			拉力分散型锚索	采用无粘结钢绞线，将处于内锚固段中不同长度的钢绞线末端剥除一定长度的套管后，使其变为有粘结段，全孔灌注水泥砂浆，使锚索体与周边岩土体胶结成一体。	适用于松散岩层锚固。
9			压力分散型锚索	锚固长度分为多个单元，在不同长度的无粘结钢绞线末端分别设置承压板和挤压套，全孔灌注水泥砂浆，使锚索体与周边岩土体胶结成一体。	对承载力比较差的软弱破碎岩体和难以锚穿的较大堆积体锚固效果良好。
10	柔性防护系统		主动防护系统	采用锚杆直接固定或结合支撑绳固定方式，将柔性金属网覆盖在具有潜在地质灾害的坡面上，实现浅表层岩土体稳固。	适用于有崩塌、落石等威胁的公路岩质边坡防护工程，特别适用于锚固效果较好的边坡，有主动加固作用。
11			被动防护系统	采用锚杆、钢柱、支撑绳和拉锚绳等固定支撑方式，将柔性金属网以一定的角度安装在坡面上，实现对落石、泥石流体中固体物质拦截的作用。	适用于有崩塌、落石等威胁的公路岩质边坡防护工程，有一定容许缓冲距离的边坡，起被动拦截作用。
12			引导防护系统	采用锚杆、支撑绳、纵横向拉绳等构件，将柔性金属网自然覆盖在具有潜在地质灾害的坡面上，或顶部结合钢柱、拉锚绳、支撑绳等固定方式，将柔性金属网以一定的角度张开，形成以控制落石运动范围和轨迹并引导落石滑落或滚落到预设地点的柔性防护网系统。	适用于有崩塌、落石等威胁的公路岩质边坡防护工程，特别适用于有库容缓坡的边坡，有引导、主动消能作用。

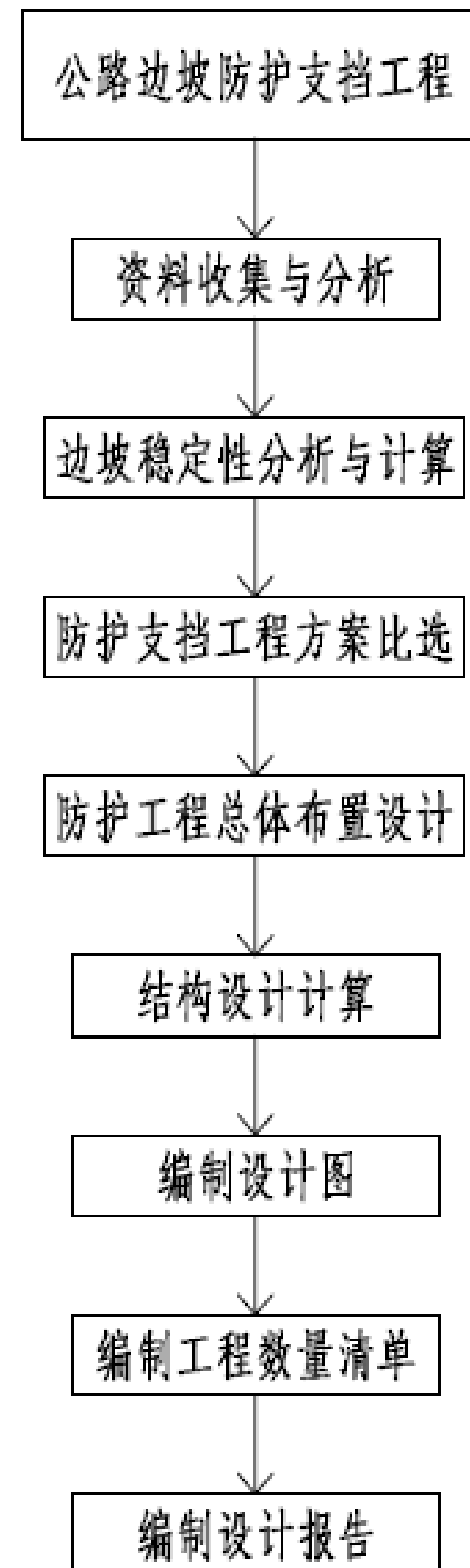


图 1-1 公路边坡防护支挡工程形式选择流程框图

第 2 章 抗滑桩

一、抗滑桩类型

抗滑桩又称锚固桩，是一种侧向受荷桩，通过将桩埋于稳定地层中，依靠桩与桩周岩（土）体的相互钳制作用，把滑坡推力传递到稳定地层，利用稳定地层的锚固作用和被动抗力，使滑坡得到稳定。

抗滑桩的形式和分类方法很多，抗滑桩的类型见表 2-1。

表 2-1 抗滑桩类型

分类方法	桩的类别
按桩的刚度分	刚性桩、弹性桩
按桩的埋设条件及受力状态分	悬臂式、全埋式
按材料分	钢筋混凝土桩、钢桩、木桩
按桩的截面形态及变化分	矩形桩、方形桩、圆形桩、“工”字形桩、梯形桩；等截面桩、变截面形桩
按结构形式分	单桩、排桩、群桩；有锚桩（分锚杆和锚索以及单锚和多锚）；微型桩群
按成桩工艺分	打入桩、静压桩、就地灌入桩、预应力混凝土桩

本图集主要编制矩形抗滑桩、矩形锚索抗滑桩及圆形抗滑桩通用参考图。

二、抗滑桩计算及其他注意事项

（一）抗滑桩设计的要求和步骤

1、抗滑桩设计应满足的要求

- （1）抗滑桩设计应考虑设置抗滑桩后滑坡整体稳定性、桩顶以上岩土体稳定性、桩间岩土体稳定性，防止滑体从桩顶滑出或从桩底产生新的深层滑动。
- （2）桩身要有足够的强度和稳定性，对于桩的断面尺寸和配筋数量，能满足桩内应力和桩身变形的要求。
- （3）桩周地基抗力和滑体的变形在容许范围内。
- （4）抗滑桩的间距、尺寸、埋深等都较适当，保证安全、经济、适用。

2、抗滑桩设计计算步骤

- （1）查明滑坡的成因、性质、范围、厚度，分析滑坡的稳定状态、发展趋势。

- （2）根据滑坡地质断面及滑动面处岩（土）的抗剪强度指标，计算滑坡推力。
 - （3）根据地形、地质、拟保护对象、各条块推力大小及施工条件等确定桩的位置及范围。
 - （4）根据滑动面深度、滑坡推力大小、地形及地层性质，拟定抗滑桩类型、桩长、锚固深度、桩截面尺寸及桩间距，对于锚索抗滑桩拟定锚索长度及分担荷载的比例。
 - （5）确定桩的计算宽度，并根据滑体的地层性质，选定地基系数。
 - （6）根据选定的地基系数及桩的类型及截面形式、尺寸，计算桩的变形系数（ α 或 β ）及计算深度，以判断是按照刚性桩还是弹性桩来设计。
 - （7）根据是否设置锚索，判断采取静定体系或超静定体系对抗滑桩进行分析。根据桩底的边界条件、锚索设置的位置及数量，依据桩和锚索变形协调条件计算桩身各截面的变形、内力及桩侧应力等，并计算确定最大剪力、弯矩的部位。
 - （8）校核地基强度及桩身变形。若桩身作用于地基的弹性应力超过地层容许值或者桩身变形过大，则应调整桩的结构形式、埋深、桩的截面尺寸及桩的间距，重新计算，直至符合要求为止。
 - （9）根据计算的结果，绘制桩身的剪力图和弯矩图。
 - （10）对抗滑桩进行桩身配筋设计，对锚索进行预应力锚索设计。
- （二）抗滑桩特点及适用条件
- 工程实践表明，抗滑桩能迅速、安全、有效、经济地解决一些特殊、复杂而困难地段的边、滑坡稳定问题，具有如下特点：
- （1）抗滑能力强、圻工数量小。可以单独使用，也能与其他抗滑构造物（如预应力锚索）配合使用，还可以多排抗滑桩联合使用。在滑坡推力大、滑动面深的情况下，较抗滑挡土墙等其他抗滑措施更为经济、有效。
 - （2）桩位灵活。可以根据工程需要，将抗滑桩布设在滑坡体中最有利于抗滑的部位。若分排设置，可将巨大的滑坡体切割成若干分散的单元体，对滑坡起到分而治之的功效。
 - （3）施工方便、安全，设备简单。在施工中，人工挖孔灌注桩孔壁有钢筋混凝土护壁支撑，对滑体的稳定性扰动较小。施工时可间隔开挖，不致引起滑坡条件的恶化。
 - （4）能及时形成或增强滑体抗滑力，保证边坡稳定。
 - （5）开挖桩孔过程中，能校核地质情况，验证滑动面位置和滑动方向，使调整后的设计方案更符合客观实际。

表 2-2 常用抗滑桩的特点和适用条件

结构类型	结构特点	结构适用条件
普通抗滑桩	(1) 依靠桩身强度和滑面下岩土弹性抗力来平衡剩余下滑力，属于被动受力；(2) 桩头变形大；(3) 施工 简单，技术成熟	适用于滑坡推力小、滑面浅的滑坡
锚索抗滑桩	(1) 属于主动受力结构，锚索与桩共同作用，具备动态调节功能；(2) 可防止边坡出现过大的变形；(3) 改变了一般抗滑桩不合理的悬臂受力状态，形成上端铰支、下端类似弹性铰的简支梁式受力结构；(4) 大幅度减小了桩长和桩身的横截面及桩身内力；(5) 节省钢筋、水泥等原材料，工程造价较低；(6) 对锚索锚固地层条件要求较高；(7) 存在锚索的锈蚀和松弛问题	适用于稳定中、厚层大型滑动岩土体，特别是桩前悬臂段较长的滑坡治理工程中；从锚索锚固条件考虑，较适合于岩质滑坡。

(三) 抗滑桩计算参数选用

抗滑桩计算一般需要的参数选用表见表 2-1。

表 2-1 抗滑桩计算参数选用表

计算项目	参数	含义
设防推力	T	剩余下滑力
	F_s	稳定安全系数
	ψ_i	第 i 条块所在传递系数
	c_i	第 i 条块所在滑面岩土黏聚力
	φ_i	第 i 条块所在滑面内摩擦角
锚索锚固力	M_P^0	滑坡推力在嵌固段桩顶产生的力矩
	Q_P^0	滑坡推力在嵌固段桩顶产生的剪力
	L_i	第 i 根锚索作用点距滑面距离
	k_i	第 i 根锚索的弹性系数
	E_s	第 i 根锚索的弹性模量
	A_{si}	第 i 根锚索的截面面积
锚索锚固体长度	P	锚杆设计锚固力
	L_r	地层与注浆体间黏结长度
	L_g	注浆体与锚索间黏结长度
	K_2	安全系数
	f_{rb}	地层与注浆体间黏结强度设计值
	f_b	注浆体与锚索间黏结强度设计值
抗滑桩结构计算	B_P	桩的计算宽度
	K	地基系数，又称弹性抗力系数
	β	桩的变形系数
	E	桩的弹性模量
	I	截面惯性矩
	α	变形系数
内力计算	$x_y、\phi_y、M_y、Q_y$	桩的变位、转角、变矩、剪力

	E	桩的弹性模量
	I	桩的截面惯性矩
	$[\sigma_H]$	地基的横向容许承载力
	η	折减系数
	R_c	岩石单轴抗压极限强度
	φ	K 法的影响函数值
	c	滑床摩阻力
	M	弯矩设计值
	V	构件斜截面上的最大剪力设计值
	α_1	矩形应力系数
配筋计算	β_c	混凝土强度影响系数
	f_c	混凝土抗压强度(MPa)
	b	矩形截面的宽度
	h_0	截面的有效高度
	A	计算钢筋的截面面积
	r	桩的半径
	α'	受压区混凝土截面面积的圆心角(rad)与2 π 的比值
	ξ_b	界限受压区高度
变形计算	X	桩顶变形
	x_A	滑面处桩变形
	ϕ_A	滑面处转角
	H_1	受荷段桩长

(四) 抗滑桩设桩处设防推力计算

滑坡推力计算宜采用传递系数法，正常工况下滑坡推力宜按下式计算，条块作用力系如图 2-1 所示。滑坡推力计算应符合下列要求：

- 1、应根据拟设支挡工程位置计算滑坡推力，确定公路使用年限内各种最不利条件与作用因素可能组合下滑坡在各个拟设支挡工程部位的最大推力。
- 2、滑动面（带）土 c、φ 取值应考虑滑坡防治工程修建对滑坡岩土体长期性能的影响。
- 3、对计算结果应结合有关工程经验或工程地质类比法分析进行校核。

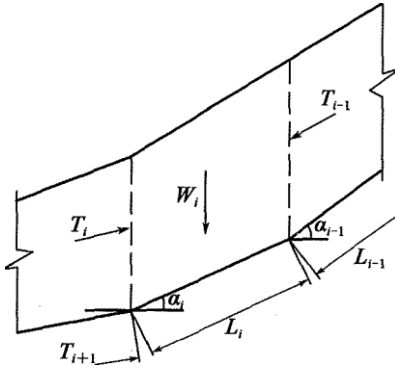


图 2-1 剩余下滑力计算图示

$$T_i = F_s W_i \sin \alpha_i + \psi_i T_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i - c_i L_i \tag{2-1}$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \tag{2-2}$$

式中： T_i 、 T_{i-1} ——第*i*和第*i* - 1滑块剩余下滑力（kN/m）；

F_s ——稳定安全系数；

W_i ——第*i*滑块的自重力（kN/m）；

α_i 、 α_{i-1} ——第*i*和第*i* - 1滑块对应滑面的倾角（°）；

ψ_i ——传递系数；

φ_i ——第*i*滑块滑面内摩擦角（°）；

c_i ——第*i*滑块滑面岩土黏聚力（kN/m）；

L_i ——第*i*滑块滑面长度（m）。

4、滑动面以上桩前的滑体抗力，可由极限平衡时滑坡推力曲线（图 2-2）或桩前被动土压力确定，设计时选用其中最小值。当桩前滑坡体可能滑动时，不应计其抗力。

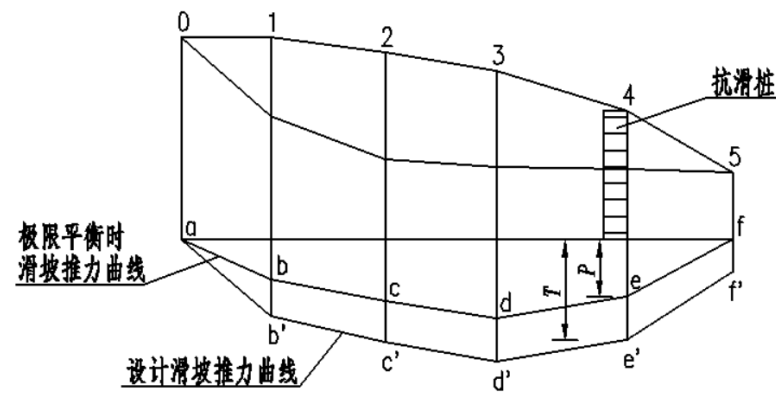


图 2-2 滑坡推力曲线图

T —桩上滑坡推力（kN/m）； P —桩前滑体抗力（kN/m）

5、作用于桩上的滑坡推力，可由设置抗滑桩处的滑坡推力曲线（图 2-2）确定。

6、滑坡面以上的桩身内力，应根据滑坡推力和桩前滑坡体抗力计算。滑动面以下的桩身变位和内力，应根据滑动面处的弯矩和剪力，按地基的弹性抗力进行计算。

7、滑动面以下的地基系数应根据地层的性质和深度按下列条件确定：

（1）当为较完整的岩层和硬黏土时，地基系数应为常数 K 。

（2）当为硬塑～半干硬的砂黏土及碎石类土、风化破碎的岩块时：

1）桩前滑动面以上无滑坡体和超载时，地基系数应为三角形分布；

2）桩前滑动面以上有滑坡体和超载时，地基系数应为梯形分布。

8、作用于抗滑桩的外力应包括滑坡推力（主动土压力）、桩前滑体抗力和锚固段地层抗力。桩侧摩阻力和粘聚力以及桩身重力和桩底反力可不计算，并应符合下列要求：

（1）滑坡推力应按上式计算确定，其分布应根据滑体的性质和厚度等因素确定，可为矩形、梯形及三角形。

（2）桩前抗力应取滑体处于极限平衡时的推力和桩前被动土压力中的小值。当桩前土体不稳定时，不应考虑其抗力。

（3）多排抗滑桩纵向桩间距较大时，宜分段计算各排桩的滑坡推力；当两排桩之间的纵向间距较小时，尚应考虑两排桩之间的互相作用。

（四）锚索计算

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）的变形协调条件计算锚索和抗滑桩分担的载荷，并分项进行锚索和桩身的设计。锚索分担比例一般不宜超过 50%。

1、锚索设计承载力计算

如图 2-3a 所示，施加预应力、锚索与桩的变形协调完成后，桩在滑动面处的弯矩为零，根据 $\sum M_0=0$ 可求出每束锚索的水平总拉力 T_i 。如图 2-3b 所示，根据等值梁法，可将 AO 桩段视为在 O 点铰支、其余锚索作用点为链杆支撑的超静定梁，利用结构力学中的弯矩分配法进行链杆支撑力的计算，则所得的支撑反力即为锚索中的总水平拉力。设锚索与水平面的夹角为 α_i ，则锚索的总拉力应为 $T_i/\cos \alpha_i$ 。

由于锚索与抗滑桩协调变形，在锚索中产生水平拉力，按锚索与桩的变形协调进行计算。设单根桩所承受的滑坡推力的合理为 Q ， e_i 为 i 束锚索距滑动面的距离，此时桩的作用力系如图 2-4 所示，桩在滑动面 O 处的总剪力为 $Q_0 = Q - \sum_1^N \Delta T_{1i}$ ，总弯矩为 $M_0 = M_q - \sum_1^N \Delta T_{1i} e_i$ ， M_q 为滑坡推力作用下桩在滑面处的弯矩。

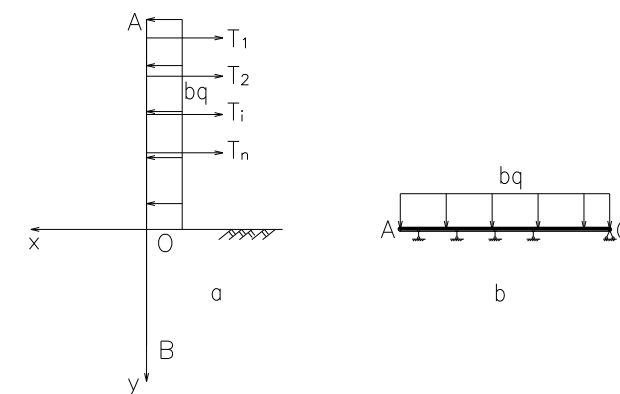


图 2-3 锚索总水平拉力计算

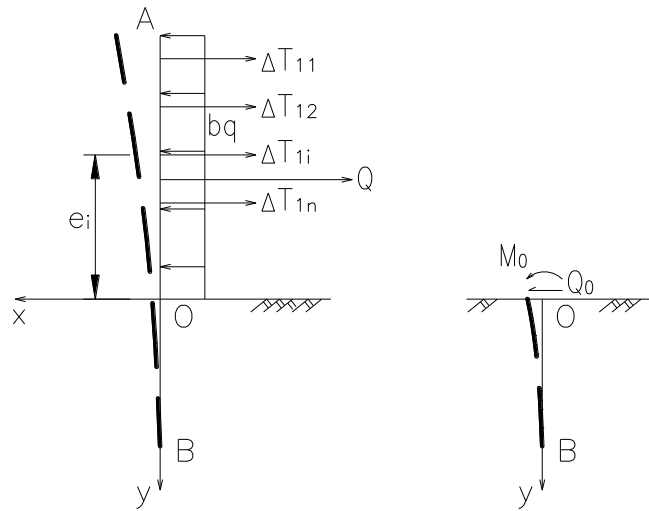


图 2-4 锚索水平拉力增量计算

变形协调条件即锚索的水平向伸长量 Δ_i 与桩在此锚索作用点的水平位移量 F_i 相等，则：

$$\Delta_i = F_i \quad (2-3)$$

$$\Delta_i = \Delta T_{1i} L_i / E_g A_i \quad (2-4)$$

$$F_i = x_0 + \varphi_0 e_i + \Delta_{iq} - \Delta_{iT} \quad (2-5)$$

L_i —第 i 束锚索自由段长度；

E_g —锚索的弹性模量；

A_i —第 i 束锚索截面积；

x_0 —锚索拉力与滑坡推力共同作用下 O 点的水平位移；

φ_0 —锚索拉力与滑坡推力共同作用下 O 点的转角；

Δ_{iq} —第 i 束锚索作用点处桩在滑坡推力作用下的水平位移；

Δ_{iT} —第 i 束锚索作用点处桩在锚索拉力 ΔT_{1i} 作用下的水平位移。

Δ_{iq} 、 Δ_{iT} 利用结构力学中的方法可以求得分别为：

$$\Delta_{iq} = d_{1i} - d_{2i}$$

$$\Delta_{iT} = \sum_{j=1}^N \delta_{ij} \Delta T_{1j}$$

当滑坡推力简化为三角形时，有：

$$d_{1i} = \frac{Q \left[h^5 - (h - e_i)^5 \right]}{15h^2 EI} \quad (2-6)$$

$$d_{2i} = \frac{Q(h - e_i) \left[h^4 - (h - e_i)^4 \right]}{12h^2 EI} \quad (2-7)$$

当滑坡推力简化为矩形时，有：

$$d_{1i} = \frac{Q \left[h^4 - (h - e_i)^4 \right]}{8hEI} \quad (2-8)$$

$$d_{2i} = \frac{Q(h - e_i) \left[h^3 - (h - e_i)^3 \right]}{6hEI} \quad (2-9)$$

$$\text{当 } e_i > e_j \text{ 时, } \delta_{1j} = \frac{e_j^2 e_i}{2EI} - \frac{e_j^3}{6EI}$$

e_i —第 i 束锚索距离滑动面的距离；

δ_{1j} ——为第 j 束锚索的单位拉力在第 i 束锚索作用点处产生的水平位移。

抗滑桩滑面处的位移及转角可按下式进行计算：

$$x_0 = \delta_{HM} M_0 + \delta_{HH} Q_0 \quad (2-10)$$

$$\varphi_0 = \delta_{MM} M_0 + \delta_{MH} Q_0 \quad (2-11)$$

δ_{HM} 、 δ_{HH} —为 O 点处作用有单位弯矩和剪力时在 O 点产生的水平位移；

δ_{MM} 、 δ_{MH} —为 O 点处作用有单位弯矩和剪力时在 O 点产生的转角；

δ_{HM} 、 δ_{HH} 、 δ_{MM} 、 δ_{MH} —具体表达式需根据桩底受力条件（固定、铰支、自由）进行计算，“K 法”计算详见公式 2-23~2-25，“m 法”计算详见公式 2-28~2-30。

代入整理得：

$$A_i M_q + B_i Q + d_{1i} - d_{2i} - \sum_{j=1}^N \left(A_i e_i + \delta_{1j} + B_i \right) \Delta T_{1j} = C_i \Delta T_{1i} \quad (2-12)$$

$$\text{其中: } A_i = \delta_{HM} + \delta_{MM} e_i$$

$$B_i = \delta_{HH} + \delta_{MH} e_i$$

$$C_i = L_i / (E_g A_i)$$

解（2-12）可得每束锚索的水平拉力增量 $[\Delta T]_i$ ；

计算方程（2-11）得负值时，在方程（2-5）使用时取绝对值。

根据变形协调条件

$$T_{Zi} = \frac{T_i + \Delta T_i}{\cos \alpha_i}$$

(2-13)

T_{Zi} —锚索设计承载力；
 T_i —第*i*束锚索初始施加的预应力；
 ΔT_i —第*i*束锚索变形协调后增加的预应力。

2、锚固体长度计算

锚固体长度应取注浆体与锚孔壁的黏结长度、锚索与注浆体的黏结强度二者中的较大值。
地层与注浆体间黏结长度按下式计算：

$$L_r = \frac{K_2 P}{\pi d f_{rb}}$$

(2-14)

式中：

P ——锚索设计锚固力（kN）；
 L_r ——地层与注浆体间黏结长度（m）；
 K_2 ——安全系数；
 d ——锚固段钻孔直径（m）；
 f_{rb} ——地层与注浆体间黏结强度设计值（kPa）。

注浆体与锚索间黏结长度按下式计算：

$$L_g = \frac{K_2 P}{n \pi d_g f_b}$$

(2-15)

式中：

L_g ——注浆体与锚索间黏结长度（m）；
 d_g ——锚索材料直径（m）；
 f_b ——注浆体与锚索间黏结强度设计值（kPa）；
 n ——锚索根数（根）。

（五）抗滑桩结构计算

1、滑面以下桩的正面计算宽度

桩的正截面宽度 B_p 为桩的实际宽度乘以形状换算系数和受力换算系数，即：

矩形桩： $B_p = 1.0(1 + 1/b)b = b + 1$

(2-16)

圆形桩： $B_p = 0.9(1 + 1/b)b = 0.9(b + 1)$

(2-17)

2、桩侧岩(土)的弹性抗力系数

桩侧岩(土)的弹性抗力系数简称地基系数，是地基承受的侧压力与桩在该处产生的侧向位移的

比值。换句话说，地基系数是在弹性变形限度以内，单位面积的土产生单位压缩变形时所需要的侧向压力。

（1）计算弹性地基内的侧向受荷桩时，有关地基系数目前有两种不同的假设：1）认为地基系数是常数，不随深度而变化，以“ K ”表示之，相应的计算方法称为“ K ”法，可用于地基为较完整岩层的情形。2）认为地基系数随深度按直线比例变化，即在地基内深度为*y*处的水平地基系数为 $C_H = m_H \cdot y$ 或 $C_H = A_H + m_H \cdot y$ ，竖直方向的地基系数为 $C_V = m_V \cdot y$ 或 $C_V = A_V + m_V \cdot y$ 。 A_H 、 A_V 表示某一常量， m_H 、 m_V 分别表示水平及竖向地基系数的比例系数。相应这一假设的计算方法称为“ m ”法，可用于地基为密实土层或严重风化破碎岩层的情形。

（2）水平及竖向地基系数的比例系数应通过试验确定；当无试验资料时，可参照表 2-2 确定。
较完整岩层的地基系数 K 值可参照表 2-3 确定。

表 2-2 抗滑桩地基系数（随深度增加的比例系数）

序号	土的名称	竖直方向 m_0 (kPa/m ²)	水平方向 m (kPa/m ²)
1	0.75< I_L <1.0 的软塑黏土及粉质黏土；淤泥	1000~2000	500~1400
2	0.5< I_L <0.75 的可塑粉质黏土及黏土	2000~4000	1000~2800
3	硬塑粉质黏土及黏土；细砂和中砂	4000~6000	2000~4200
4	坚硬的粉质黏土及黏土；粗砂	6000~10000	3000~7000
5	砾砂；碎石土、卵石土	10000~20000	5000~14000
6	密实的大漂石	80000~120000	40000~84000
注：1. I_L 为土的液性指数，其土质地基系数 m_0 和 m 值，相应于抗滑桩滑面处 6~10mm。 2.有可靠资料和经验时，可不受本表限制。			

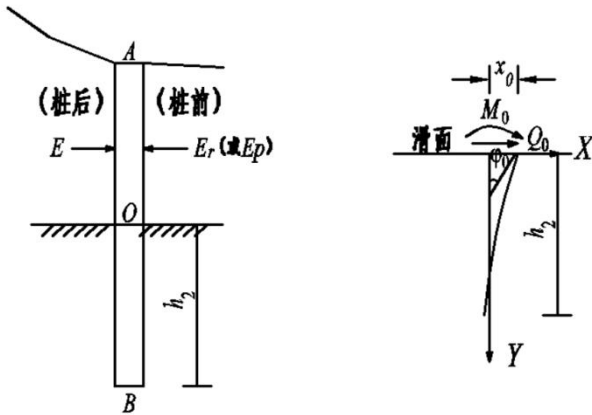
表 2-3 抗滑桩地基系数（随深度增加的比例系数）

地层类别	内摩擦角 (°)	弹性模量 E_0 (kPa)	泊松比 μ	地基系数 K (kPa/m)	剪切应力 (kPa)
细粒花岗岩、正长岩	>80	5430~6900	0.25~0.30	2.0×10 ⁶ ~2.5×10 ⁶	>1500
辉绿岩、玢岩		6700~7870	0.28	2.5×10 ⁶	
中粒花岗岩	>80	5430~6500	0.25	1.8×10 ⁶ ~2.0×10 ⁶	>1500
粗粒正长岩、坚硬白云岩		6560~7000	0.25		
坚硬石灰岩	80	4400~10000	0.25~0.30	1.2×10 ⁶ ~2.0×10 ⁶	1500
坚硬砂岩、大理岩		4660~5430			
粗粒花岗岩、花岗片麻岩		5430~6000			
较坚硬石灰岩	75~80	4400~9000	0.25~0.30	0.8×10 ⁶ ~1.2×10 ⁶	1200~1400
较坚硬砂岩		4460~5000			
不坚硬花岗岩		5430~6000			
坚硬页岩	70~75	2000~5500	0.15~0.30	0.4×10 ⁶ ~0.8×10 ⁶	700~1200
普通石灰岩		4400~8000	0.25~0.30		
普通砂岩		4600~5000	0.25~0.30		

坚硬泥灰岩	70	800~1200	0.29~0.38	$0.3 \times 10^6 \sim 0.4 \times 10^6$	500~700
较坚硬页岩		1980~3600	0.25~0.30		
不坚硬石灰岩		4400~6000	0.25~0.30		
不坚硬砂岩		1000~2780	0.25~0.30		
较坚硬泥灰岩	65	700~900	0.29~0.38	$0.2 \times 10^6 \sim 0.3 \times 10^6$	300~500
普通页岩		1900~3000	0.15~0.20		
软石灰岩		4400~5000	0.25		
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	—		

3、桩身内力及变位计算

弹性桩系指埋于滑床部分的桩身受力后桩轴和桩周岩（土）均发生变形。这里仅介绍将滑面以上抗滑桩受荷段上所有作用力均当作外荷载的情况。此时，可将桩化成如图 2-5 所示的计算图式。然后根据桩周地层的性质确定弹性抗力系数，建立桩的绕曲微分方程式，通过数学求解滑面以下桩身任一截面的变位和内力计算的一般表达式。然后根据桩底边界条件计算出滑面处的位移和转角，进而计算桩身任一深度处的变位和内力。



a) 弹性桩所受外荷载 b) 弹性桩的内力和变位

图 2-5 弹性桩的计算图示

按“K”法计算时： $\beta = \left(\frac{k_H \cdot B_p}{4EI}\right)^{\frac{1}{4}}$ ，其锚固段换算长度为 βh 。

按“m”法计算时： $\alpha = \left(\frac{m_H \cdot B_p}{EI}\right)^{\frac{1}{4}}$ ，其锚固段换算长度为 αh 。

上述式中： β 、 α —桩的变形系数，以 m^{-1} 计；

k_H —侧向地基系数，不随深度而变（kPa/m）；

m_H —水平方向地基系数随深度增加的比例系数（kPa/m²）。

E —抗滑桩的弹性模量，取 $0.80E_c$ （kPa）；

E_c —混凝土的弹性模量（kPa）；

B_p —桩的正面计宽度（m）；

I —桩的截面惯性矩（m⁴）。

（1）“K”法

桩顶受水平荷载的绕曲微分方程为：

$$EI \frac{d^4 x}{dy^4} + KB_p x = 0 \tag{2-20}$$

式中： $KB_p x$ ——地基作用于桩上的水平抗力（kN/m）。引入变形系数 $\beta = \sqrt[4]{\frac{KB_p}{4EI}}$ ，即 $KB_p = 4EI\beta^4$ ，

则式（2-20）可写成：

$$\frac{d^4 x}{dy^4} + 4\beta^4 x = 0 \tag{2-21}$$

通过数学求解，得到滑动面以下桩身任一截面的变位和内力的计算公式：

$$\left. \begin{aligned} x_y &= x_A \cdot \phi_1 + \frac{\phi_A}{\beta} \phi_2 + \frac{M_A}{\beta^2 EI} \phi_3 + \frac{Q_A}{\beta^3 EI} \phi_4 \\ \phi_y &= \beta \left(-4x_A \phi_4 + \frac{\phi_A}{\beta} \phi_1 + \frac{M_A}{\beta^2 EI} \phi_2 + \frac{Q_A}{\beta^3 EI} \phi_B \right) \\ \frac{M_y}{\beta^2 EI} &= -4x_A \phi_3 - \frac{\phi_A}{\beta} \cdot 4\phi_4 + \frac{M_A}{\beta^2 EI} \phi_1 + \frac{Q_A}{\beta^3 EI} \phi_2 \\ \frac{Q_y}{\beta^3 EI} &= -4x_A \phi_2 - \frac{\phi_A}{\beta} \cdot 4\phi_3 + \frac{M_A}{\beta^2 EI} 4\phi_4 + \frac{Q_A}{\beta^3 EI} \phi_1 \\ \sigma_y &= Kyx \end{aligned} \right\} \tag{2-22}$$

式中： ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 、 ϕ_4 ——K法的影响函数值。

$$\phi_1 = \cos \beta y \cdot \operatorname{ch} \beta y$$

$$\phi_2 = \frac{1}{2} (\sin \beta y \cdot \operatorname{ch} \beta y + \cos \beta y \cdot \operatorname{sh} \beta y)$$

$$\phi_3 = \frac{1}{2} \sin \beta y \cdot \operatorname{sh} \beta y$$

$$\phi_4 = \frac{1}{4} (\sin \beta y \cdot \operatorname{ch} \beta y - \cos \beta y \cdot \operatorname{sh} \beta y)$$

式(2-22)为 K 法的一般表达式，计算时要先求滑面处的 x_A 和 ϕ_A ，才能求桩身任一截面的变位、

内力和地基土对该截面的侧向应力。为此，需要根据下述三种边界条件确定：

1) 当桩底为固定端时， $x_B = 0$ 、 $\phi_B = 0$ ，将式 (2-22) 的第 1, 2 式联立解得：

$$\left. \begin{aligned} x_A &= \frac{M_A}{\beta^2 EI} \cdot \frac{\phi_2^2 \phi_1 \phi_3}{4\phi_4 \phi_2 + \phi_3^2} + \frac{Q_A}{\beta^3 EI} \cdot \frac{\phi_2 \phi_3 - \phi_3 \phi_4}{4\phi_4 \phi_1 + \phi_1^2} \\ \phi_A &= -\frac{M_A}{\beta EI} \cdot \frac{\phi_1 \phi_2 + 4\phi_3 \phi_4}{4\phi_4 \phi_2 + \phi_1^2} - \frac{Q_A}{\beta^2 EI} \cdot \frac{\phi_1 \phi_3 + 4\phi_4^2}{4\phi_4 \phi_2 + \phi_1^2} \end{aligned} \right\} \quad (2-23)$$

2) 当桩底为铰支端时， $x_B = 0$ 、 $M_B = 0$ 、 $\phi_B = 0$ 、 $Q_B \neq 0$ 。不考虑桩底弯矩的影响，将 $x_B = 0$ 、 $M_B = 0$ 代入式 (2-22) 的第 1、3 式，联立解得：

$$\left. \begin{aligned} x_A &= \frac{M_A}{\beta^2 EI} \cdot \frac{4\phi_3 \phi_4 + \phi_1 \phi_2}{4\phi_1 \phi_3 - 4\phi_1 \phi_4} + \frac{Q_A}{\beta^3 EI} \cdot \frac{4\phi_4^2 + \phi_2^2}{4\phi_2 \phi_3 - 4\phi_1 \phi_4} \\ \phi_A &= -\frac{M_A}{\beta EI} \cdot \frac{\phi_1^2 + 4\phi_2^2}{4\phi_2 \phi_3 - 4\phi_1 \phi_4} - \frac{Q_A}{\beta^2 EI} \cdot \frac{4\phi_3 \phi_4 + \phi_1 \phi_2}{4\phi_2 \phi_3 - 4\phi_1 \phi_4} \end{aligned} \right\} \quad (2-24)$$

3) 当桩底为自由端时， $M_B = 0$ 、 $Q_B = 0$ 、 $\phi_B \neq 0$ 、 $x_B \neq 0$ 。将 $M_B = 0$ 、 $Q_B = 0$ 代入式 (2-22) 的第 3、4 式，联立解得：

$$\left. \begin{aligned} x_A &= \frac{M_A}{\beta^2 EI} \cdot \frac{4\phi_4^2 + \phi_1 \phi_3}{4\phi_3^2 - 4\phi_2 \phi_4} + \frac{Q_A}{\beta^3 EI} \cdot \frac{\phi_2 \phi_3 - \phi_1 \phi_4}{4\phi_3^2 - 4\phi_3 \phi_4} \\ \phi_A &= -\frac{M_A}{\beta EI} \cdot \frac{4\phi_3 \phi_4 + \phi_1 \phi_2}{4\phi_3^2 - 4\phi_2 \phi_4} - \frac{Q_A}{\beta^2 EI} \cdot \frac{\phi_2^2 - \phi_1 \phi_3}{4\phi_3^2 - 4\phi_2 \phi_4} \end{aligned} \right\} \quad (2-25)$$

将上述各种边界条件下相应的 x_A 和 ϕ_A 代入式 (2-22)，即可求得滑动面以下桩身任一截面的变位和内力。

(2) “m”法

桩顶受水平荷载的挠曲微分方程为：

$$EI \frac{d^4 x}{dy^4} + myB_p x = 0 \quad (2-26)$$

式中： $myB_p x$ ——地基作用于桩上的水平抗力 (kN/m)。

这是一个四阶线性变系数齐次微分方程，用幂级数展开后进行近似求解，换算整理后得：

$$\left. \begin{aligned} x_y &= x_A A_1 + \frac{\phi_A}{\alpha} B_1 + \frac{M_A}{\alpha^2 EI} C_1 + \frac{Q_A}{\alpha^3 EI} D_1 \\ Q_y &= \alpha(x_A A_2 + \frac{\phi_A}{\alpha} B_2 + \frac{M_A}{\alpha^2 EI} C_2 + \frac{Q_A}{\alpha^3 EI} D_2) \\ M_y &= \alpha^2 EI(x_A A_3 + \frac{\phi_A}{\alpha} B_3 + \frac{M_A}{\alpha^2 EI} C_3 + \frac{Q_A}{\alpha^3 EI} D_3) \\ Q_y &= \alpha^3 EI(x_A A_4 + \frac{\phi_A}{\alpha} B_4 + \frac{M_A}{\alpha^2 EI} C_4 + \frac{Q_A}{\alpha^3 EI} D_4) \\ \sigma_y &= myx \end{aligned} \right\} \quad (2-27)$$

式中： x_y 、 ϕ_y 、 M_y 、 Q_y ——锚固段桩身任一截面的位移 (m)、转角 (rad)、弯矩 (kN·m)、剪力 (kN)；

x_A 、 ϕ_A 、 M_A 、 Q_A ——滑动面处桩的位移 (m)、转角 (rad)、弯矩 (kN·m)、剪力 (kN)；

A_i 、 B_i 、 C_i 、 D_i ——随桩的换算深度 αh_2 而异的 m 法的影响函数值；

E ——桩的弹性模量，取 $0.80E_c$ (kN/m²)；

I ——桩的截面惯性矩 (m⁴)。

公式 (2-27) 为 m 法的一般表达式，计算时必须先求得滑动面处的 x_A 和 ϕ_A ，才能求桩身任一截面的位移、转角、弯矩、剪力和地基土对该截面的侧向应力。为此，需要根据下述三种边界条件确定。

1) 当桩底为固定端时， $x_B = 0$ 、 $\phi_B = 0$ 、 $M_B \neq 0$ 、 $Q_B \neq 0$ 。将 $x_B = 0$ 、 $\phi_B = 0$ 代入式 (2-27) 的第 1、2 式，联立解得：

$$\left. \begin{aligned} x_A &= \frac{M_A}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{B_1 C_2 - C_1 B_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} + \frac{Q_A}{\alpha^3 EI} \cdot \frac{B_1 D_2 - D_1 B_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} \\ \phi_A &= \frac{M_A}{\alpha EI} \cdot \frac{C_1 A_2 - A_1 C_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} + \frac{Q_A}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{D_1 A_2 - A_1 D_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} \end{aligned} \right\} \quad (2-28)$$

2) 当桩底为铰支端时， $x_B = 0$ 、 $M_B = 0$ 、 $\phi_B \neq 0$ 、 $Q_B \neq 0$ ，不考虑桩底弯矩的影响，将 $x_B = 0$ 、 $M_B = 0$ 代入式 (2-27) 的第 1、3 式，联立解得：

$$\left. \begin{aligned} x_A &= \frac{M_A}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{C_1 B_3 - B_1 C_3}{B_1 A_3 - A_1 B_3} + \frac{Q_A}{\alpha^3 EI} \cdot \frac{D_1 B_3 - B_1 D_3}{B_1 A_3 - A_1 B_3} \\ \phi_A &= \frac{M_A}{\alpha EI} \cdot \frac{A_1 C_3 - C_1 A_3}{B_1 A_3 - A_1 B_3} + \frac{Q_A}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{A_1 D_3 - D_1 A_3}{B_1 A_3 - A_1 B_3} \end{aligned} \right\} \quad (2-29)$$

3) 当桩底为自由端时， $M_B = 0$ 、 $Q_B = 0$ 、 $\phi_B \neq 0$ 、 $x_B \neq 0$ ，不考虑桩底弯矩的影响，将 $M_B = 0$ 、 $Q_B = 0$ 代入式 (2-27) 的第 1、3 式，联立解得：

$$\left. \begin{aligned} x_A &= \frac{M_A}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{B_3 C_4 - C_3 B_4}{A_3 B_4 - B_3 A_4} + \frac{Q_A}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{B_3 D_4 - B_4 D_3}{A_3 B_4 - B_3 A_4} \\ \phi_A &= \frac{M_A}{\alpha EI} \cdot \frac{C_3 A_4 - A_3 C_4}{A_3 B_4 - B_3 A_4} + \frac{Q_A}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{D_3 A_4 - A_3 D_4}{A_3 B_4 - B_3 A_4} \end{aligned} \right\} \quad (2-30)$$

将上述各种边界条件下相应的 x_A 和 ϕ_A 代入式(2-27)，即可求得滑动面以下桩身任一截面的变位和内力。

(六) 当滑面处抗力不为零时的处理方法

由于滑面以上有滑体的存在，等于在弹性体的表面有附加荷重的作用。对于地基系数为常数的地层来说，此附加荷重不会影响地基的弹性性质。但对于地基系数随深度直线增加的地层来说，此时附加荷重使滑面处的地基系数不为零，而是某一数值A，则滑面以下某一深度处岩土抗力的表达式为 $P_A = A + my$ ，即滑动面以下的地基系数为梯形变化。此时，为了利用m法推出的公式和影响系数可作如下的处理，如图2-6所示：

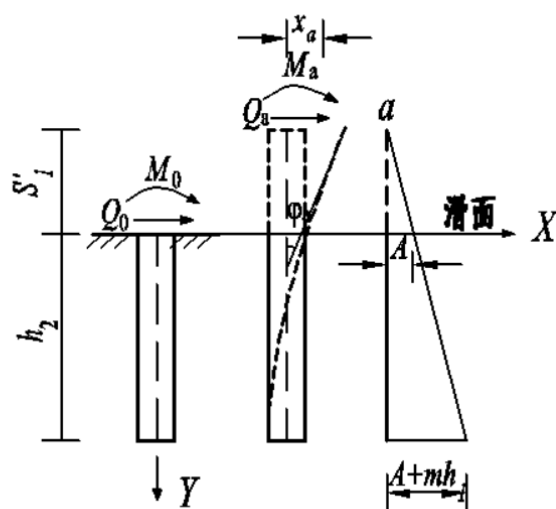


图 2-6 滑面处抗力不为零时的处理图示

- 1、将地基系数的变化图形向上延伸至续点 a ，延伸的高度 $S_1' = \frac{A}{m}$ 。
- 2、自虚点 a 向下计算可使用已有公式，但必须重新确定 a 点初参数 M_a 、 Q_a 、 x_a 、 ϕ_a 。
- 3、 a 点处的初参数可由滑面处条件和桩底处的边界条件确定。即在 M_a 与 Q_a 作用下，必须满足下列条件：

当 $y = 0$ 时(滑面处) $M = M_0$ ， $Q = Q_0$ ；

当 $y = h_2$ 时(桩底处) $M_{h_2} = 0$ ， $Q_{h_2} = 0$ (桩底为自由端)

$x_{h_2} = 0$ ， $\phi_{h_2} = 0$ (桩底为固定端)

桩底为自由端时可建立下列方程：

$$\left. \begin{aligned} \alpha^2 EI \left(x_a A_3^0 + \frac{\phi_a}{\alpha} B_4^0 + \frac{M_a}{\alpha^2 EI} C_3^0 + \frac{Q_a}{\alpha^3 EI} D_3^0 \right) &= M_0 \\ \alpha^3 EI \left(x_a A_4^0 + \frac{\phi_a}{\alpha} B_4^0 + \frac{M_a}{\alpha^2 EI} C_4^0 + \frac{Q_a}{\alpha^3 EI} D_4^0 \right) &= Q_0 \\ x_a A_3^{h_2} + \frac{\phi_a}{\alpha} B_3^{h_2} + \frac{M_a}{\alpha^2 EI} C_3^{h_2} + \frac{Q_a}{\alpha^3 EI} D_3^{h_2} &= 0 \\ x_a A_4^{h_2} + \frac{\phi_a}{\alpha} B_4^{h_2} + \frac{M_a}{\alpha^2 EI} C_4^{h_2} + \frac{Q_a}{\alpha^3 EI} D_4^{h_2} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-31)$$

桩底为固定端时可建立下列方程：

$$\left. \begin{aligned} x_a A_1^{h_2} + \frac{\phi_a}{\alpha} B_1^{h_2} + \frac{M_a}{\alpha^2 EI} C_1^{h_2} + \frac{Q_a}{\alpha^3 EI} D_1^{h_2} &= 0 \\ x_a A_2^{h_2} + \frac{\phi_a}{\alpha} B_2^{h_2} + \frac{M_a}{\alpha^2 EI} C_2^{h_2} + \frac{Q_a}{\alpha^3 EI} D_2^{h_2} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-32)$$

上述各式中：

A_3^0 ——在滑面处的系数 A_3 值；

$A_3^{h_2}$ ——在桩底处的系数 A_3 值，余类推。

通过对式(2-31)或式(2-31)的第1、2式及式(2-32)联解，即可求得 M_a 、 Q_a 、 x_a 及 ϕ_a 之值。

(七) 抗滑桩锚固深度(地基横向容许承载力)计算

桩侧地基的横向容许承载力 $[\sigma_H]$ 可根据不同的地质和地形条件按以下方法计算：

- 1、地层为岩层，可按式(2-33)计算：

$$[\sigma_H] = K_H \eta R_C \quad (2-33)$$

式中： $[\sigma_H]$ ——地基的横向容许承载力(kPa)；

K_H ——在水平向的换算系数，根据岩石的完整程度、层理或片理产状、层间胶结物与胶结程度、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_C ——岩石单轴抗压极限强度(kPa)。

- 2、对于一般土层或风化成土、砂砾状岩层，抗滑桩在侧向荷载作用下发生转动变位时，桩前的土体产生被动土压力，而桩后的土体产生主动土压力。桩身对地基土体的侧向压应力一般不应大于被动土压力与主动土压力之差。滑动面以下深度为 $h_2/3$ 和 h_2 (滑动面以下桩长)处横向压应力应小于或等于地基横向容许承载力。

(1) 非悬臂式抗滑桩

①当地面无横坡或横坡较小时，按式（2-34）计算。

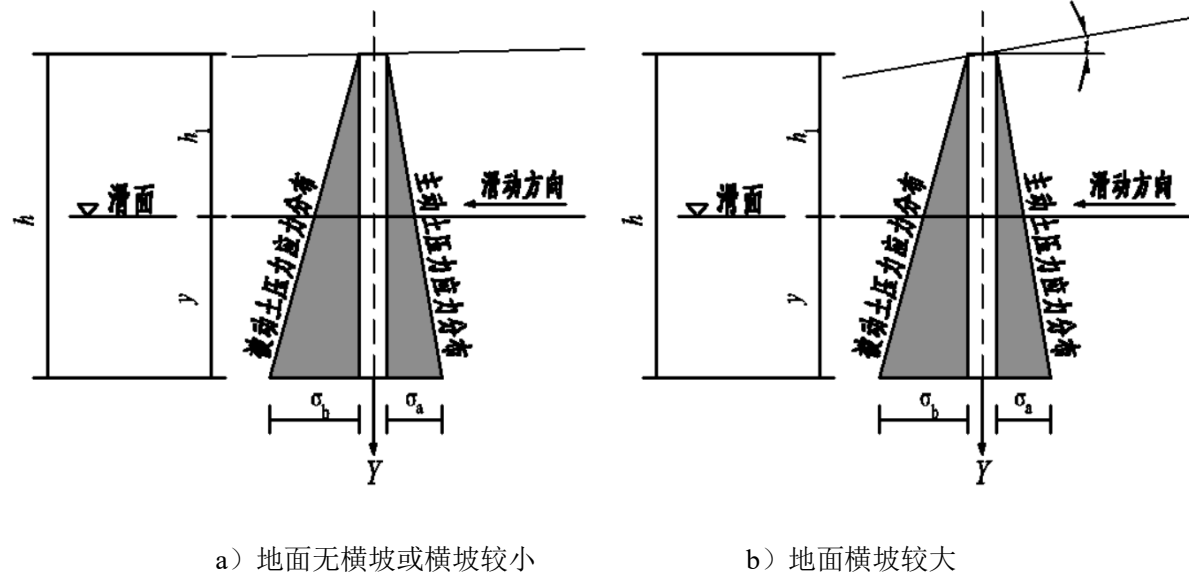


图 2-7 非悬臂式抗滑桩土质地基横向容许承载力计算图示

$$[\sigma_H] = \sigma_b - \sigma_a$$

$$[\sigma_H] = \frac{4}{\cos \varphi} [(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 y) \tan \varphi + c] \quad (2-34)$$

②当地面横坡*i*较大且*i* ≤ φ_1 时，地基*y*点的横向容许承载力可按式（2-35）确定。

$$[\sigma_H] = 4(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 y) \frac{\cos^2 i \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi_1}}{\cos^2 \varphi_1} \quad (2-35)$$

式中： σ_b ——被动土压应力（kPa）；

σ_a ——主动土压应力（kPa）；

$[\sigma_H]$ ——地基的横向容许承载力（kPa）；

γ_1 ——滑动面以上土体的重度（kN/m³）；

γ_2 ——滑动面以下土体的重度（kN/m³）；

φ ——滑动面以下土体的内摩擦角（°）；

c ——滑动面以下土体的内摩擦角（m）；

h_1 ——设桩处滑动面至地面的距离（m）；

y ——滑动面至计算点的距离（m）；

h ——滑动面至计算点的距离（m）；

φ_1 ——滑动面以下土体的综合内摩擦角（°）。

(2) 悬臂式抗滑桩

①当地面无横坡或横坡较小时，按式（2-36）计算。

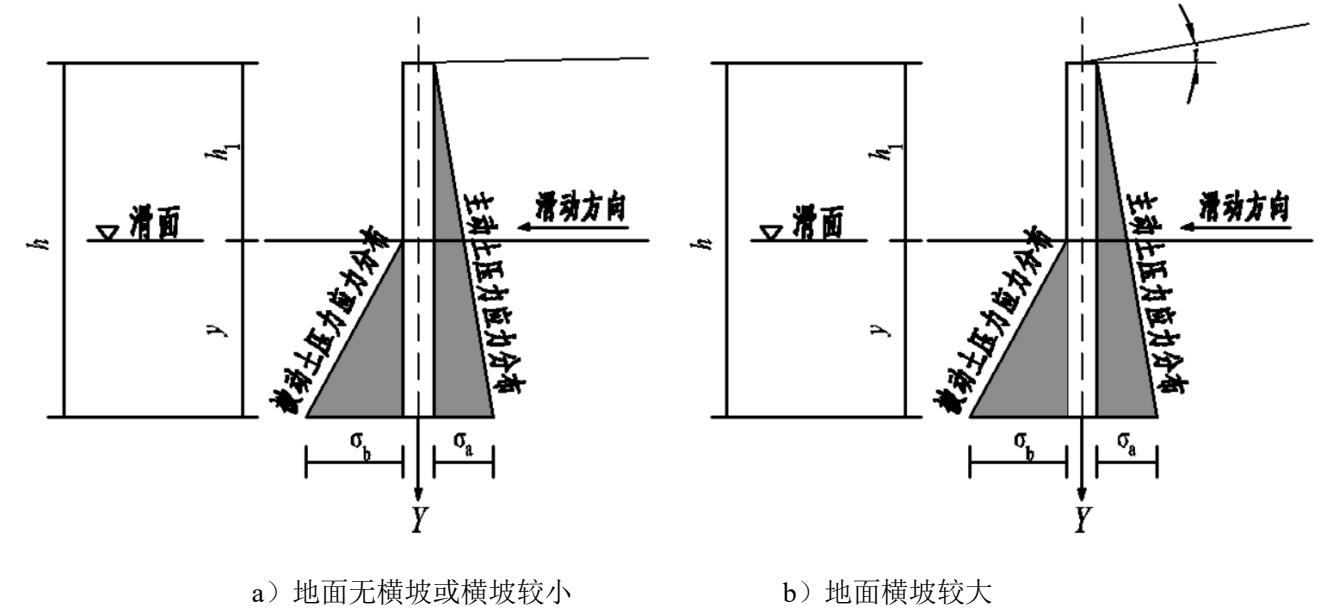


图 2-8 悬臂式抗滑桩土质地基横向容许承载力计算图示

$$[\sigma_H] = 4\gamma_2 y \frac{\tan \varphi_1}{\cos \varphi_1} - \gamma_1 h_1 \frac{1 - \sin \varphi_1}{1 + \sin \varphi_1} \quad (2-36)$$

②当地面横坡*i*较大且*i* ≤ φ_1 时，地基*y*点的横向容许承载力可按式（2-37）确定。

$$[\sigma_H] = 4\gamma_2 y \frac{\cos^2 i \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}}{\cos^2 \varphi} - \gamma_1 h_1 \cos i \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}} \quad (2-37)$$

(八) 矩形抗滑桩配筋计算

1、正截面受弯承载力计算

正截面受弯承载力应符合下列规定：

$$M \leq \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_s' (h_0 - \alpha_s') \quad (2-38)$$

混凝土受压区高度应按下列公式确定：

$$\alpha_1 f_c b x = f_y A_s - f_y' A_s' \quad (2-39)$$

混凝土受压区高度尚应符合下列条件：

$$x \leq \varepsilon_b h_0 \quad (2-40)$$

$$x \geq 2\alpha' \quad (2-41)$$

式中： M ——弯矩设计值；

α_1 ——系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时， α_1 取为 1.0 ，当混凝土强度等级为 C80 时， α_1 取为 0.94 ，其间接线性内插法确定。

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

A_s, A'_s ——受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积；

b ——矩形截面的宽度；

h_0 ——截面有效高度；

α'_s ——受压区纵向普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

α' ——受压区全部纵向钢筋合力点至截面受压边缘的距离。

有屈服点普通钢筋：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}} \quad (2-42)$$

式中： ξ_b ——相对界限受压区高度，取 x_b/h_0 ；

x_b ——截面有效高度；

h_0 ——截面有效高度；

E_s ——钢筋弹性模量；

f_y ——普通钢筋抗拉强度设计值；

β_1 ——系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时， β_1 取为 0.80 ，当混凝土强度等级为

C80 时， β_1 取为 0.74 ，其间接线性内插法确定。

2、斜截面受剪承载力计算

矩形截面受弯构件的受剪截面应符合下列条件：

当 $h_0/b \leq 4$ 时

$$V \leq 0.25\beta_c f_c b h_0 \quad (2-43)$$

当 $h_0/b \geq 6$ 时

$$V \leq 0.2\beta_c f_c b h_0 \quad (2-44)$$

当 $4 < h_0/b < 6$ 时，按线性内插法确定。

式中： V ——构件斜截面上的最大剪力设计值；

β_c ——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过 C50 时， β_c 取 1.0 ；当混

凝土强度等级为 C80 时， β_c 取 0.8 ；其间接线性内插法确定；

b ——矩形截面的宽度；

h_0 ——截面的有效高度。

当仅配置箍筋时，矩形受弯构件的斜截面受剪承载力应符合下列规定：

$$V \leq V_{cs} \quad (2-45)$$

$$V_{cs} \leq 0.7f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (2-46)$$

式中： V_{cs} ——构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值；

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积，即 nA_{sv1} ，此处， n 为在同一个截面内箍筋的肢数， A_{sv1} 为单肢箍筋的截面面积；

s ——沿构件长度方向的箍筋间距；

f_{yv} ——箍筋的抗拉强度设计值。

（九）圆形抗滑桩配筋计算

1、正截面受弯承载力应符合下列规定：

（1）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。

（2）沿周边均匀配置纵向钢筋的圆形截面钢筋混凝土抗滑桩，其正截面受弯承载力应符合式

（2-47）~式（2-49）规定(图 2-9)：

$$M \leq \frac{2}{3}f_c A r \frac{\sin^3 \pi \alpha'}{\pi} + f_y A_s r_s \frac{\sin \pi \alpha' + \sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (2-47)$$

$$\alpha' f_c A \left(1 - \frac{\sin 2\pi \alpha'}{2\pi \alpha'} \right) + (\alpha' - \alpha_t) f_s A_s = 0 \quad (2-48)$$

$$\alpha_t = 1.25 - 2\alpha' \quad (2-49)$$

式中：

M ——桩的弯矩设计值，单位为千牛米(kN·m)；

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)；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；

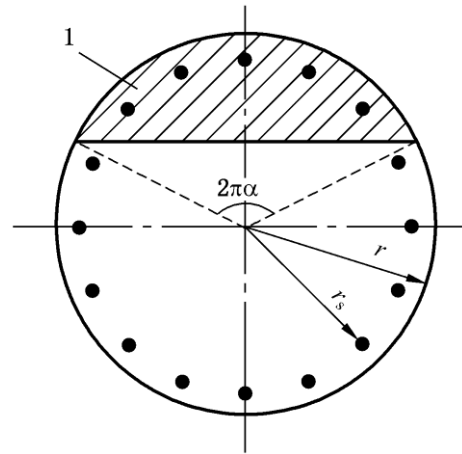
f_y ——纵向钢筋的抗拉强度设计值，单位为千牛每平方米(kN/m²)；

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 2-9 圆形抗滑桩沿周边均匀配置纵向钢筋的截面图

(3) 沿受拉区和受压区周边局部均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(2-50)~式(2-53)规定(图 2-10)：

$$M \leq \frac{2}{3} f_c A r \frac{\sin^3 \pi \alpha'}{\pi} + f_y A_{sr} r_s \frac{\sin \pi \alpha_s}{\pi \alpha_s} + f_y A'_{sr} r_s \frac{\sin \pi \alpha'_s}{\pi \alpha'_s} \quad (2-50)$$

$$\alpha' f_c A \left(1 - \frac{\sin 2\pi \alpha'}{2\pi \alpha'} \right) + f_y (A'_{sr} - A_{sr}) = 0 \quad (2-51)$$

$$\cos \pi \alpha' \geq 1 - \left(1 + \frac{r_s}{r} \cos \pi \alpha_s \right) \xi_b \quad (2-52)$$

$$\alpha' \geq \frac{1}{3.5} \quad (2-53)$$

式中：

M ——桩的弯矩设计值，单位为千牛米(kN·m)；

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

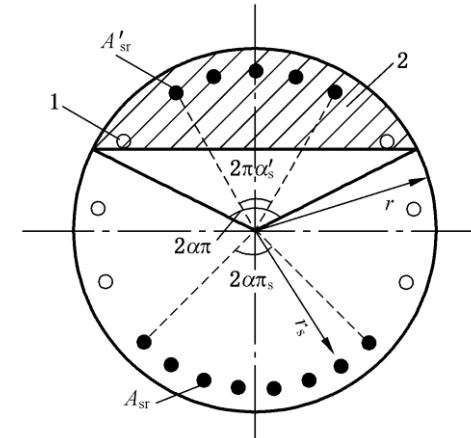
α'_s ——对应于受压钢筋的圆心角(rad)与 2π 的比值，宜取 $\alpha'_s \leq 0.5\alpha'$ ；

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(m²)；

ξ_b ——矩形截面的相对界限受压区高度，单位为米(m)。

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 2-10 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

(4) 沿受拉区和受压区周边局部均匀配置的纵向钢筋数量，宜使按式(2-51)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(2-54)规定：

$$M \leq f_y A_{sr} (0.78r + r_s \frac{\sin \pi \alpha_s}{\pi \alpha_s}) \quad (2-54)$$

2、斜截面受剪承载力应符合下列规定：

圆形截面钢筋混凝土受弯构件和偏心受压、受拉构件，其截面限制条件和斜截面受剪承载力可按矩形截面进行计算，但上述条文公式中的截面宽度 b 和截面有效高度 h_0 应分别以 $1.76r$ 和 $1.6r$ 代替。此处， r 为圆形截面的半径计算所得的箍筋截面面积应作为圆形箍筋的截面面积。

(十) 抗滑桩变形及锚索桩变形协调计算

1、抗滑桩变形计算

抗滑桩桩身按受弯构件设计，无特殊要求时，可不进行变形、抗裂、挠度计算，近年来抗滑桩出现失稳或变形较大现象较多，建议在设计中对桩的变形量进行控制，桩身变形控制指标有两项：一项为滑面处变形(x_A)，变形量不宜超过 6~10mm，当大于该值后，锚固段地基系数将急剧降低；第二项为桩顶变形(X)，宜小于 5% h_1 且不大于 100mm。抗滑桩桩顶变形计算可根据以下公式进行估算。

$$X = x_A + \phi_A \times H_1 \quad (2-55)$$

式中， X ——抗滑桩桩顶位移；

x_A ——抗滑桩滑面处位移，对于 K 法计算的抗滑桩可由公式（2-23~2-25），m 法计算的抗滑桩可由公式（2-28~2-30）根据锚固条件不同进行计算；

ϕ_A ——滑面处抗滑桩转角，对于 K 法计算的抗滑桩可由公式（2-23~2-25），m 法计算的抗滑桩可由公式（2-28~2-30）根据锚固条件不同进行计算；

H_1 ——抗滑桩受荷段长度。

（十一）其他注意事项

抗滑桩的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。

抗滑桩嵌固段应设置在滑面以下的稳定岩（土）体中。

当悬臂抗滑桩设计弯矩过大或桩顶位移超限时，宜采用预应力锚索抗滑桩。当滑坡变形较大且不宜开挖大截面抗滑桩时，可采用圆桩。

三、普通抗滑桩设计说明

1、适用条件

矩形桩适用于滑坡厚度较大、剩余下滑力(或土压力)较大的公路不稳定斜坡或滑坡；圆桩适用于滑坡推力较小、人工挖孔困难或对快速、机械施工要求较高的不稳定斜坡或滑坡。

不适用于嵌固段地基强度差、桩身悬臂高的岩土体边坡防护。

抗滑桩应在自身抗力范围内抵御滑坡推力，严禁超限服役。

2、设计内容

（1）结构形式：坡体内设现浇钢筋混凝土矩形桩或圆桩，矩形桩桩间设置挡板或挡土墙，圆桩常以钢筋混凝土连梁连接。

（2）其他设计要点

矩形抗滑桩长边应与滑动方向平行，最小边宽度不宜小于 1.25m，桩间距宜为 5~10m。圆形抗滑桩桩直径不应小于 0.6m，且桩之间的中心距宜为桩直径的 3 倍~5 倍。

作用于抗滑桩的外力，应考虑滑坡推力（包括地震地区的地震力）、桩前滑体抗力和嵌固段岩层的抗力。作用于每根桩上的滑坡推力应按设计的桩间距进行计算，滑坡推力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。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，设计时选二者中的小值。桩前岩土体有滑动可能时，不计其抗力。

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弯矩、剪力和地基弹性抗力进行计算。

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。

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。

3、主要施工要求

（1）矩形桩

1）施工顺序：施工准备、测量放样——桩孔场地整平——锁口盘施工——分节开挖、分节护壁——钢筋笼制作、吊装——混凝土灌注。

2）抗滑桩施工应符合现行《公路路基施工技术规范》（JTG F10）《公路工程施工安全技术规范》（JTG F90）的有关规定。

3）抗滑桩平面位置应按桩位给定坐标放样。应备好孔内排水、通风、照明设备及人员安全帽等技术、安全保护装备和挖土、提土设备。必要时设置滑坡变形、位移观测设施。

4）整平孔口地面，做好开挖区地表截、排水及防渗工作，孔口地面加筑适当高度的土埂，孔口应设围护栅和孔口罩盖，必要时应加设遮雨棚。

5）桩孔开挖前可根据现场情况适当采取坡脚反压等措施。开挖应采用跳桩分批开挖，间隔两至三根桩开挖，分批灌注成桩。开挖中应进行地质编录，并核对滑带（面）情况，如实际位置与设计出入较大时，应通过变更设计及时处理。

6）桩孔应分节开挖，按要求做好锁口盘和每节护壁，每节开挖 1.0m，开挖一节应立即防护一节，宜就地灌注混凝土，应使护壁混凝土不侵入桩截面净空以内，保证抗滑桩截面尺寸满足设计要求。当上节护壁混凝土终凝后方可开挖下节。如围岩松软破碎或有渗水时，分节应减至 0.5m，且分节不应设于土石界面及滑带（面）处。

7）桩孔开挖中，围岩松软破碎和存在滑动面的节段，应在护壁内顺滑坡方向用临时横撑加强支护，并注意观察其受力情况及时进行加固。当发现横撑受力变形、破损甚至失效时，孔下施工人员要立即撤离，采取必要措施后方可继续施工。

8）挖孔作业孔下人员一般不宜超过 2 人，必须戴安全帽，使用安全电压照明。挖孔遇水应及时抽排。孔内应采用松动爆破，孔内岩石须采用浅眼爆破时，应严格控制炸药用量，不得放大炮，并应在炮眼附近加强支撑和护壁，以防震塌孔壁。孔内经爆破后应先通风排烟，经检查无毒气后方可继续下井作业。

9) 桩孔挖深达到设计深度后，应清除孔底松土、沉渣、杂物，并报监理进行验孔，结合滑带（面）情况现场核定桩底高程，并保证封底厚度。当桩底为倾斜岩层时，桩底应凿成水平状或台阶状。

10) 抗滑桩钢筋宜预制成笼，也可在桩孔内安装。钢筋笼制作时应满足运送、吊装、安放、灌注时刚度和稳定性要求，必要时加强焊接或增设加强钢筋。安设钢筋笼前，应检查桩孔断面尺寸。

11) 采用声波法对抗滑桩进行检测。

(2) 圆桩

1) 施工顺序：施工准备、测量放样——桩孔场地整平——钻孔成孔——钢筋笼制作、吊装——混凝土灌注。

2) 采用机械成孔，并采用跳桩施工，至少跳 2 桩开挖，以减少机械开挖对挡墙自身稳定性的影响。

4、质量验收要点

(1) 孔底地质情况满足设计要求。

(2) 桩混凝土强度、桩位、孔深、截面尺寸（孔径）及桩身完整度等满足《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1）相关规定的要求。

四、锚索抗滑桩设计说明

1、适用条件

一般适用于岩质滑床，特别适用于剩余下滑推力大的公路不稳定边坡或滑坡。

不适用于锚固条件差、地下水特别丰富的公路边坡支挡防护。

2、设计内容

(1) 结构形式：坡体内设现浇钢筋混凝土矩形桩或圆桩，桩顶或桩身特定部位设置一排或多排锚索。

(2) 其他设计要点

锚索孔距桩顶的距离不应小于 0.5m，布置多排锚索时间距不宜小于 1.5m。

锚索抗滑桩内力计算应按超静定体系分析，考虑桩锚变形协调条件下的锚索与桩荷载分配，并分项进行锚索和桩身设计。锚索分担的荷载比例一般不宜超过 50%。

初步确定桩长时，嵌固段可取桩长的 1/3~1/2，最终长度根据桩侧地层的横向容许承载力计算确定。

锚索张拉荷载不应超过设计拉拔力，锁定荷载不应超过设计锚固力的 80%。

其他同锚固结构及抗滑桩要求。

3、主要施工要求

(1) 施工顺序：测放桩位——桩位场地整平——锁口盘施工——开挖桩节与护壁施工——桩体钢筋绑扎或吊装安放——桩体混凝土浇注——锚索施工。

(2) 设多排锚索时，应在上排锚索施工完成后再开挖下一层的桩前土体。

(3) 未施工完桩身所有锚索但需开挖桩前土体的，应按最不利情况进行悬臂桩验算。对于验算不通过的，严禁违规开挖。

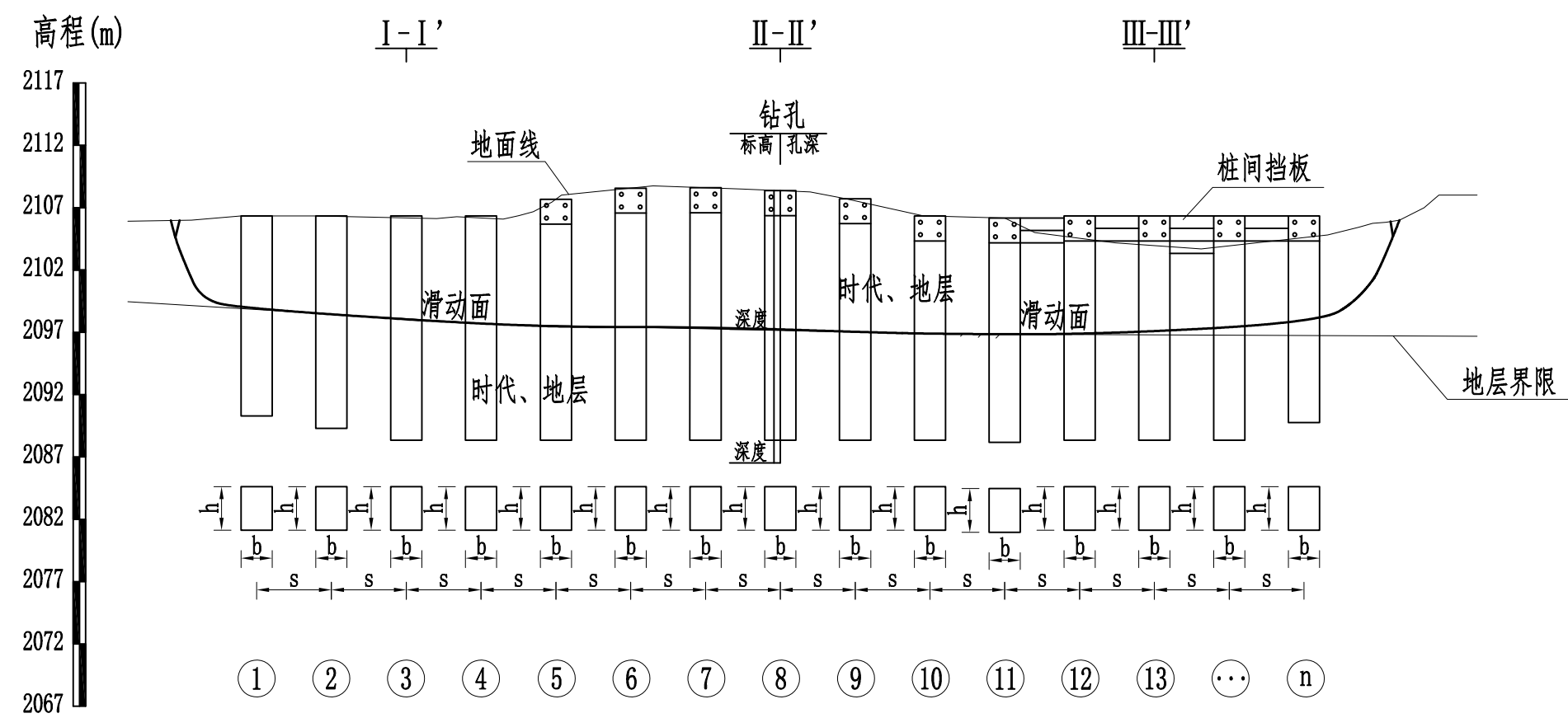
(4) 其他按锚固结构及抗滑桩相关要求执行。

4、质量验收要点

按锚固结构及抗滑桩相关要求执行。

五、抗滑桩通用参考图

抗滑桩工程布置立面图



抗滑桩桩位坐标表

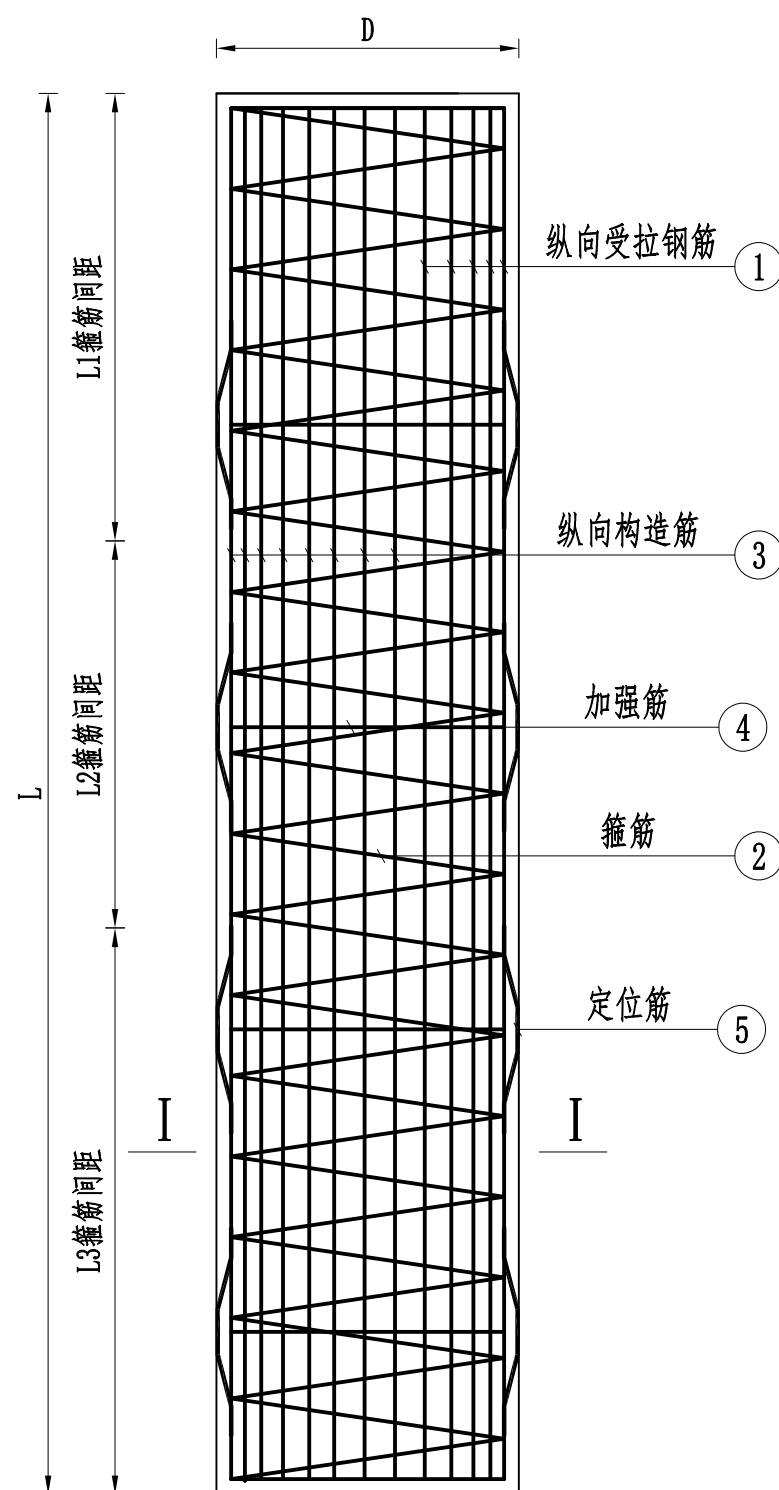
抗滑桩编号	N坐标	E坐标
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
...		
n		
备注	抗滑桩坐标为桩中心坐标； 抗滑桩长边方向为**。	

抗滑桩主要参数一览表

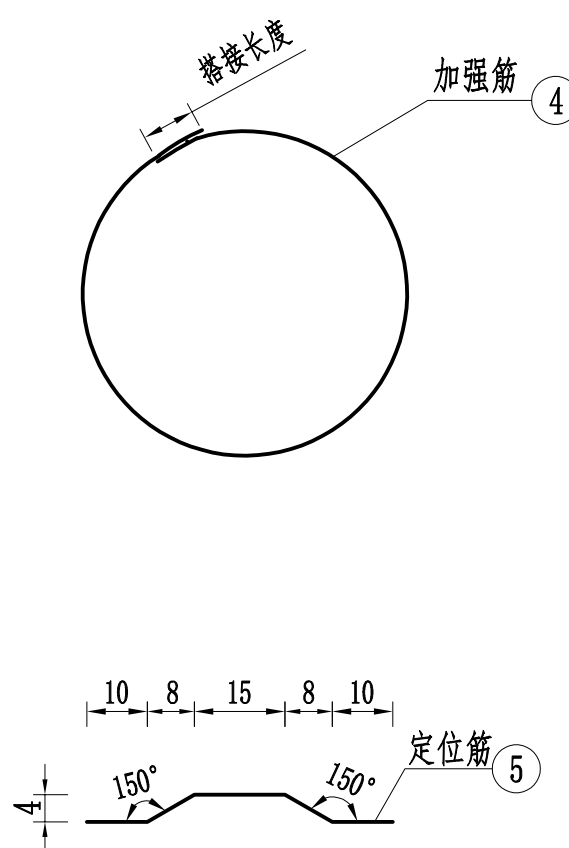
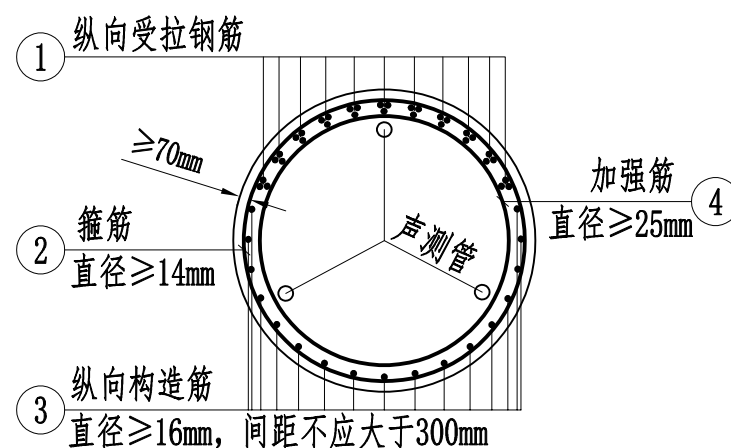
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	n
桩长(m)															
桩顶标高(m)															
桩底标高(m)															
上排锚索长(m)															
下排锚索长(m)															
锚索倾角															
备注															

- 注：
- 1、抗滑桩桩身混凝土强度等级不应低于C30，当地下水存在侵蚀性时，应根据水质情况按有关规定选用水泥。
 - 2、抗滑桩采用跳桩开挖，对变形较快的滑坡宜先采取应急处置措施，再进行抗滑桩开挖。
 - 3、抗滑桩实施过程中应严格按照设计要求实施，挖桩过程可采用松动爆破，严禁放大炮。
 - 4、抗滑桩挖桩过程中，施工单位应派专业地质人员进行编录，若地层情况与勘察设计资料有差异，应及时通知监理、设计方进行变更。
 - 5、挖桩过程中应做好安全监测工作，若桩周围地表或抗滑桩护壁发生变形，应及时通知监理、设计方。
 - 6、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

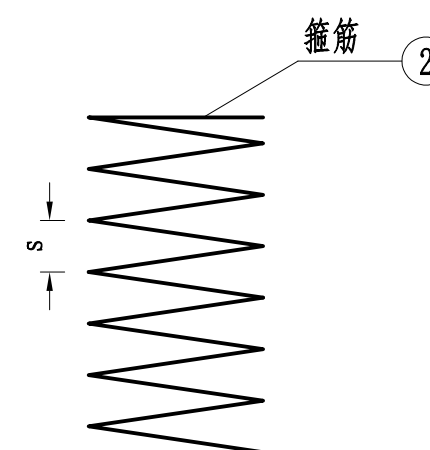
圆桩立面图



I-I



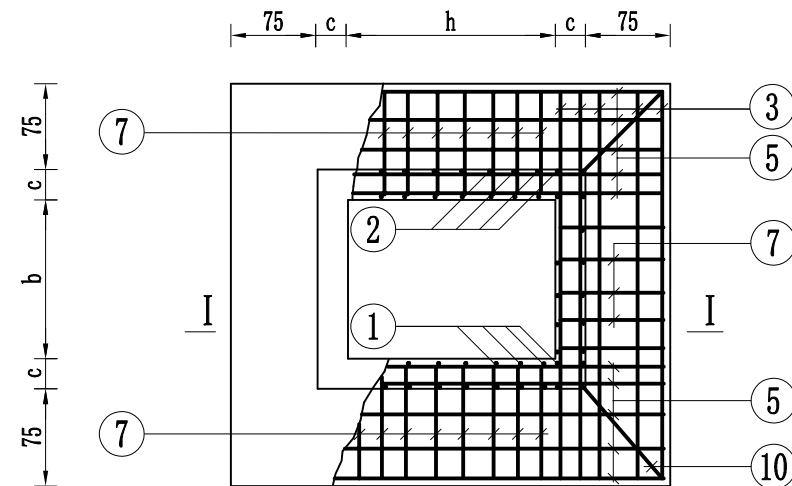
桩身箍筋示意图



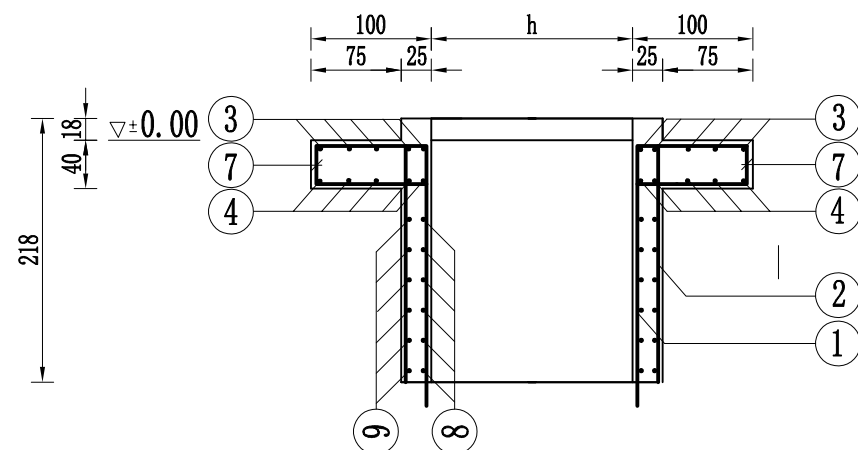
注:

- 1、本图适用于桩长为 L 、直径为 D 的圆桩；图中尺寸除注明者外，均以厘米计。
- 2、纵向受拉钢筋直径不宜小于 25mm ，净距不宜小于 120mm ，情况困难情况下可适当减小，但不得小于 80mm 。
- 3、箍筋可采用螺旋式箍筋，直径不宜小于 14mm ； $L1$ 、 $L2$ 及 $L3$ 箍筋间距应根据计算剪力包络线进行确定，间距宜取 $100\text{mm} \sim 200\text{mm}$ ，且不应大于 400mm 。
- 4、钢筋保护层厚度从箍筋外缘算起，保护层厚度不应小于 70mm 。
- 5、桩两侧及受压侧，应配置纵向构造筋，钢筋直径不宜小于 16mm ，间距不应大于 300mm 。桩的受压边两侧，应配置架立钢筋，其直径不宜小于 16mm 。
- 6、纵向主筋应采用机械连接，接头位置应相互错开，同一连接区段内钢筋的接头面积百分率不应大于 50% ，钢筋束几根钢筋需紧贴，沿钢筋长 $1 \sim 2\text{m}$ 点焊成束。
- 7、箍筋末端应做成 135° 弯钩，架立筋末端应根据固定钢筋形式做成 90° 或 135° 弯钩，对于 90° 弯钩，弯钩内径为 $5d$ ，弯后直线长度不小于 $10d$ ；对于 135° 弯钩，弯钩内径为 $5d$ ，弯后直线长度不小于 $5d$ 。
- 8、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

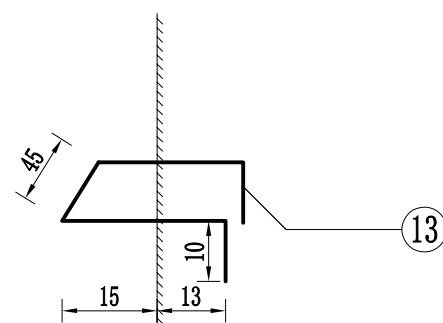
锁口盘配筋图



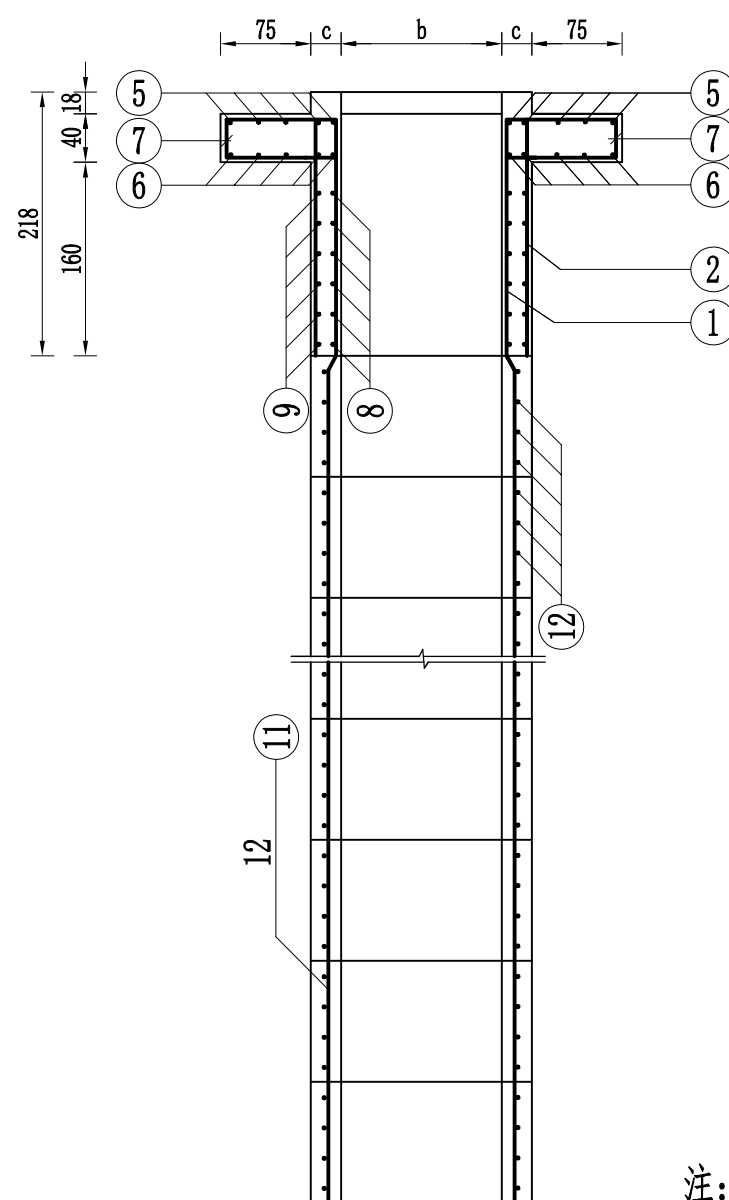
I—I



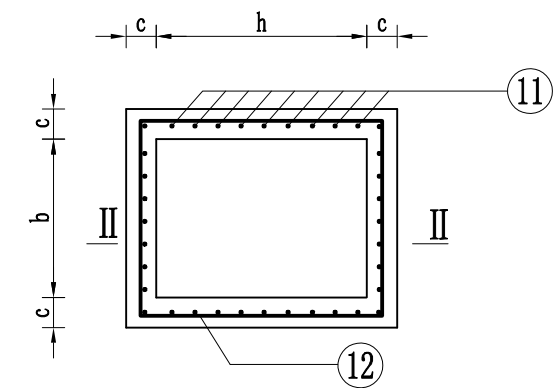
爬梯



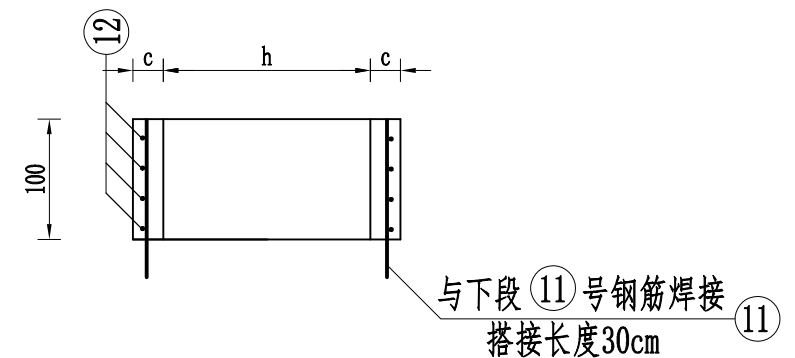
锁口盘及护壁纵剖面图



护壁配筋图



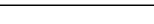
II—II



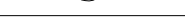
注:

- 1、本图适用于截面尺寸为 $b \times h$ 的抗滑桩；图中尺寸除注明者外，均以厘米计。
- 2、抗滑桩井口应设置锁口，桩井位于土和风化破碎岩层时宜设置护壁，锁口和护壁混凝土强度等级不应小于C20。
- 3、护壁每节长度宜为1.0米，对于正在变形滑坡及设计桩长大于30m滑坡，护壁厚度宜根据计算加厚。
- 4、抗滑桩施工时，应根据地形浇筑锁口盘，若设置抗滑桩处地形坡度较陡，应在桩外侧采用脚手架支撑浆砌片石砌筑形成施工平台，避免开挖桩内侧边坡。
- 5、若边坡坡度较陡，为减少对边坡开挖扰动锁口盘可调整为倾斜状或L型，靠山侧设置钢筋砼侧墙。
- 6、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

抗滑桩工程数量表

钢筋 编号	大 样 (cm)	直 径 (mm)	长 度 (cm)	数 量	总 长 (m)	单位重 (kg/m)	总 重 (kg)	合 计
①								HPB300:
②								
③								
④								HRB400:
⑤								混凝土:
⑥								声测管:
⑦								
⑧								

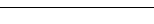
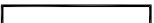
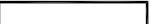
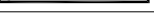
圆桩工程数量表

钢筋明细表						汇总表			
钢筋 编号	大 样 (cm)	直径 (mm)	长 度 (cm)	根 数	共 长 (m)	直 径 (mm)	总 长 (m)	单位重 (kg/m)	总 重 (kg)
①									
②									
③									
④						HPB300: 混凝土: Φ5.7声测管:			
⑤									

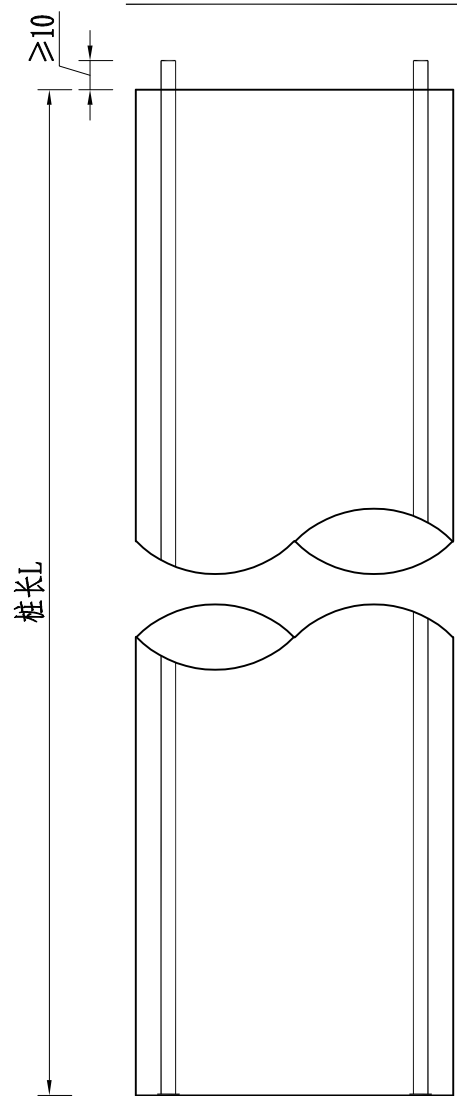
锁口、护壁工程数量表

锚索抗滑桩工程数量表

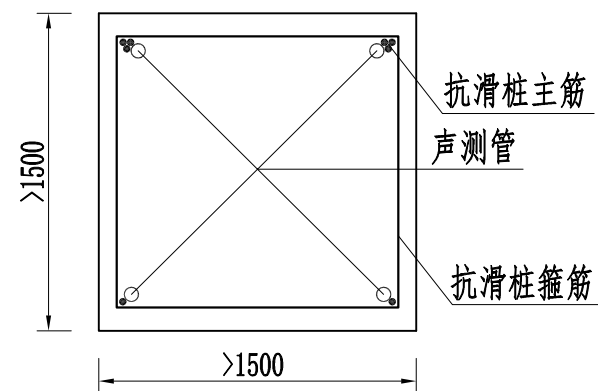
钢筋编号		大 样 (cm)	直 径 (mm)	长 度 (cm)	根 数	总 长 (m)	单位重 (kg/m)	总 重 (kg)	合 计
Ⅰ	①								HPB300:
	②								
	③								
Ⅱ	④								HRB400:
	⑤								混凝土:
⑥									声测管:
⑦									
⑧									
⑨									

构件	钢筋 编号	草 图 (cm)	直径 (mm)	长度 (m)	数量	总长 (m)	单位重 (kg/m)	总重 (kg)	汇总
锁口 b×h	①								
	②								
	③								
	④								
	⑤								
	⑥								
	⑦								
	⑧								
	⑨								
	⑩								
护壁 (每1m)	⑪								
	⑫								
爬梯 (每1m)	⑬								

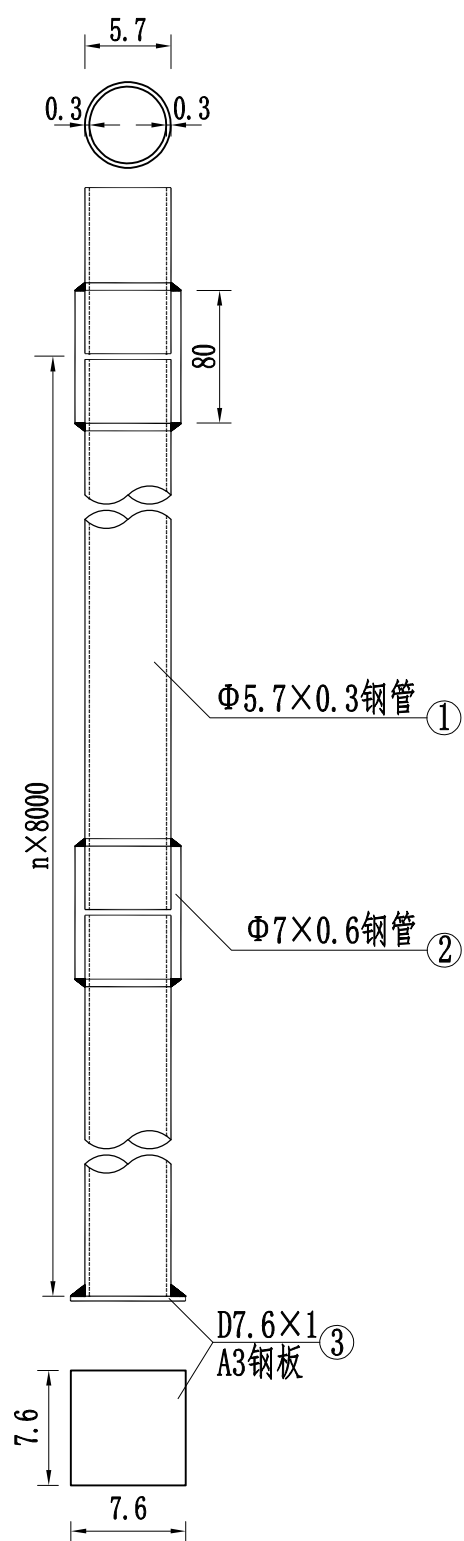
声测管立面布置图



声测管平面布置图



声测管



声测管数量表

编号	规格 (cm)	长度 (cm)	根(块)数	总长 (m)	单位重		总重 (kg)
					(kg/m)	(kg/块)	
①	Φ5.7×0.3						
②	Φ7×0.6						
③	D7.6×1						
合 计:							

注：
1、图中尺寸标注除注明者外，均以厘米计。；
2、声测管外径Φ5.7cm，上端高出基桩顶面必须≥10cm，接头处用Φ7cm的钢管焊接，下端用钢板封底焊牢，不可漏水，浇筑混凝土前，将其灌满水，上口用塞子堵死；
3、检测管每节长8m，最底一节长不大于12m；
4、声测管Φ5.7×0.3cm单位重：4.00kg/m，Φ7×0.6mm单位重：9.47kg/m，A3钢板D7.6×1cm，每块重：0.356kg；
5、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

第3章 锚固结构

一、锚固结构类型

锚固结构是通过锚固受拉杆件提供反力，达到限制被加固岩土体有害变形发展的一种受力系统，一般由锚杆体、锚固体、外锚头三部分组成。

按锚固体受力状态可分为拉力型、压力型、拉力分散型、压力分散型等类型（见表 3-1），实际工程中多采用拉力型和压力分散型；按锚固体的坡面承压结构可分为框架（格子）梁、地梁、单锚墩等；按锚杆体材料可分为钢绞线、高强钢丝、螺纹钢筋、钢管等；按施加预应力可分为预应力锚杆和非预应力锚杆。本图集仅就拉力型锚索通用参考图做工作，属现阶段公路边坡防护支挡工程中大量广泛应用的锚索结构。

表 3-1 锚固结构类型及其选择

序号	锚固结构类型	工作特性及适用条件
1	拉力型	锚固地层为硬岩、中硬岩或非软土层； 单锚的极限受拉承载力为 200kN~1000 kN； 当锚固段长大于 8m（岩层）和 12m（土层）时，锚杆极限抗拔承载力的提高极为有限或不再提高； 锚杆长度可达 50m 或更大
2	压力型	锚固地层为腐蚀性较高的岩土层； 单锚的极限受拉承载力不大于 300 kN (土层)和 1000 kN (岩石)； 当锚固段长度大于 8m（岩层）和 12m（土层）时，锚杆极限抗拔承载力的提高极为有限或不再提高； 良好的防腐性能； 锚杆长度可达 50m 或更大
3	拉力分散型	锚固地层为软岩或土层； 锚杆极限抗拔承载力可随锚固段长度增大按比例增加； 单位长度锚固段承载力高，且蠕变量小； 锚杆长度可达 50m 或更大
4	压力分散型	锚固地层为软岩、土层或腐蚀性较高的地层； 锚杆极限抗拔承载力可随锚固段长度增大成比例增加；

		单位长度锚固段承载力高，且蠕变量小； 良好的防腐性能； 锚杆长度可达 50m 或更大
5	后（重复）高压灌浆	适用于土层或软岩中的临时性或永久性锚杆； 单位长度锚固段抗拔承载力可提高 1.0 倍以上； 可对锚固段周边地层实施多次高压灌浆
6	可拆芯式	锚固与岩石或土层中的临时性锚杆； 锚杆预应力筋材需拆除的工程

二、锚固结构设计

（一）锚固结构材料

- 1、参照《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》（GB 50086）4.4 节内容，锚杆（索）材料和部件应满足锚杆（索）设计和稳定性要求，各材料间不能产生不良影响，其材料和部件的质量标准及验收标准除专门提出特殊要求外，须符合国家现行有关标准相关规定。
- 2、锚索杆体采用的钢绞线应符合下列规定：

（1）钢绞线、环氧涂层钢绞线、无粘结钢绞线，应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定；

（2）对拉锚索及压力型锚索宜采用无粘结钢绞线；

（3）除修复外，钢绞线不得连接。
- 3、锚杆杆体采用的钢筋应符合下列规定：

（1）锚杆预应力筋宜采用预应力螺纹钢筋；

（2）当锚杆极限承载力小于 200kN 且锚杆长度小于 20m 的锚杆，也可采用普通钢筋；

（3）锚杆联接构件均应能承受 100%的杆体极限抗拉承载力。
- 4、注浆用水泥应符合下列规定：

（1）水泥宜采用普通硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，水泥应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定，对防腐有特殊要求时，可采用抗硫酸盐水泥，不得采用高铝水泥；

（2）水泥强度等级不应低于 32.5，压力型和压力分散型锚杆（索）用水泥强度等级不应低于
- 31

42.5。

- 5、注浆料用的拌和水水质应符合现行行业标准《混凝土拌和用水标准》JGJ 63 的有关规定。
- 6、注浆料用的细骨料应符合下列规定：
- （1）水泥砂浆只能用于一次注浆，细骨料应选用粒径小于 2.0mm 的砂；
 - （2）砂的含泥量按重量计不得大于总重量的 3%，砂中含云母、有机质、硫化物及硫酸盐等有害物质的含量，按重量计不得大于总重量的 1%。
- 7、注浆料中使用的外加剂应符合下列规定：
- （1）通过配比试验后，水泥注浆材料中可使用外加剂，外加剂不得影响浆体与岩土体的粘结和对杆体产生腐蚀；
 - （2）对锚杆（索）过渡管内二次充填灌浆时，也可使用膨胀剂；
 - （3）水泥浆中氧化物含量不得超过水泥重量的 0.1%。
- 8、锚杆（索）锚固段注浆体抗压强度应根据结构类型和锚固地层确定，可参考表 3-2。

表 3-2 预应力锚杆（索）锚固段注浆体抗压强度

地层	锚杆（索）类型	抗压强度标准值（MPa）
土层	拉力型和拉力分散型	≥30
	压力型和压力分散型	≥30
岩层	拉力型和拉力分散型	≥30
	压力型和压力分散型	≥35

对于低预应力及非预应力锚杆注浆体抗压强度等级不应低于 M20。

- 9、锚具应符合下列规定：
- （1）预应力筋用锚具、夹具和连接器的性能均应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的有关规定；
 - （2）依锚杆的使用目的，可采用能调节锚杆预应力的锚头；
 - （3）锚具罩应采用钢材或塑料材料制作加工，需完全罩住锚具和预应力筋的尾端，承压板的接缝应为水密性接缝。
- 10、承压板和台座应符合下列规定：
- （1）承压板和台座的强度和构造应满足锚杆（索）拉力设计值，以及锚具和结构物的连接构造要求；
 - （2）承压板及过渡管宜由钢板和钢管制成，过渡钢管壁厚不宜小于 5mm。
- 11、锚杆（索）杆体居中隔离架材料应符合下列规定：
- （1）居中隔离架应由钢、塑料或其他对杆体与注浆体无害的材料组成；

- （2）居中隔离架不得影响注浆浆体的自由流动；
- （3）居中隔离架的尺寸应满足预应力筋保护层厚度的要求。

12、锚杆（索）杆体保护套管材料应符合下列规定：

- （1）应具有足够的强度和柔韧性；
- （2）应具有防水性和化学稳定性，对预应力筋无腐蚀影响；
- （3）应具有耐腐蚀性，与锚杆浆体和防腐剂无不良反应；
- （4）应能抗紫外线引起的老化。

13、注浆管应符合下列要求：

- （1）注浆管应有足够的内径，能使浆体压至钻孔的底部，一次注浆和充填灌浆用注浆管应能承受不小于 1MPa 的压力；
- （2）重复高压注浆管应能承受不小于 1.2 倍最大注浆压力。

（二）锚杆（索）设计

1、锚固结构计算参数选用

锚固结构计算一般需要的参数选用表见表 3-3。

表 3-3 锚固结构计算参数选用表

项目	锚固力	筋材面积	锚固体长度
参数	$E、P_d、\alpha、\beta、\varphi$	$A'_g、P_d、K_1、F_{ptk}、\sigma_{con}$	$L_r、L_g、P_d、K_2、d、f_{rb}、d_g、f_b、n$

2、锚杆（索）布设

- （1）锚固角取值影响锚固力大小和锚固长度，考虑锚固力和锚固长度的经济性，由理论分析按下式计算：

$$\beta = \alpha - \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \tag{3-1}$$

式中： β ——最优锚固角；

α ——滑面倾角；

φ ——滑面内摩擦角。

（注：根据经验，对于注浆锚杆（索）锚固角度必须大于11°，否则须增设止浆环进行压力注浆，且也不应大于45°，倾角宜为15°~30°，倾角越大，锚杆（索）在滑面处提供的锚固分力则相应减小，且会增加锚杆（索）自由段长度，不够经济。）

- （2）预应力锚杆（索）的布置间距应根据边坡地层形态、所提供的总锚固力及单锚承载力设计值确定。锚杆（索）布设须满足以下基本要求：

- 1) 锚杆（索）的间距和长度应满足所锚固构筑物及地层整体稳定性。
- 2) 锚杆（索）上覆地层厚度应不宜小于4.5m，以避开车辆反复荷载及地表动、静荷载等对锚杆（索）的影响，同时也避免因高压注浆使上覆土层隆起。
- 3) 锚杆（索）间距根据单根锚杆（索）承载力确定，间距不宜小于1.5m，避免产生群锚效应而降低锚固力，若需锚杆间距小于1.5m时，则应错开锚杆锚固段，或改变相邻锚杆的倾角，调整至相差3° 以上。
- 4) 当锚索设计锚固力小于 1500kN 时，锚索间距不宜小于 3.0m；设计锚固力大于 1500kN 时，锚索间距宜大于 4.0m，若间距小于 4.0m，应进行群锚效应分析。相邻锚索不宜等长设计，可根据岩体强度和完整性交错布置，长短差宜在 2m~5m 之间。锚索孔直径一般采用 75mm~175mm。

2、锚筋、锚固体截面设计

（1）锚固力计算（参照《公路路基设计规范》JTG D30 5.5 内容）

应根据边坡稳定性分析确定边坡下滑力，按下式计算：

$$P_d = \frac{E}{\sin(\alpha + \beta) \tan \phi + \cos(\alpha + \beta)}$$

(3-2)

式中： P_d —设计锚固力（kN）；

- E —边坡下滑力（kN）；
- α —锚索与滑动面相交处滑动面倾角（°）；
- β —锚索与水平面的夹角（°）；
- ϕ —滑动面内摩擦角（°）。

（2）锚筋截面积的计算

根据锚杆（索）轴向设计荷载进行锚杆（索）锚筋截面计算，钢筋截面计算公式如下：

$$A'_g = \frac{K_1 P_d}{F_{ptk}}$$

(3-3)

式中： A'_g ——由 P_d 计算出的锚筋截面；

- K_1 ——筋材抗拉安全系数，见表3-6；
- F_{ptk} ——锚筋（钢丝、钢绞线、钢筋）抗拉强度标准值。

（3）锚筋的选用。由锚筋截面计算值 A'_g 进行锚杆（索）锚筋配置，且需满足实际锚筋配置截面 $A_g \geq A'_g$ 。锚筋选材应根据锚固工程的作用、锚杆（索）承载力、长度、数量及现场提供的施加应力和锁定设计等因素综合考虑。锚杆（索）锚筋选材可参考表 3-4。

表 3-4 锚杆（索）锚筋选材

类型	筋材	规格
普通非预应力锚杆	普通Ⅱ、Ⅲ级热轧钢筋	直径 ϕ 12~32、长度 $L \leq 20\text{m}$
预应力锚杆	Ⅱ、Ⅲ级冷拉热轧钢筋或其他等级高强度精轧螺纹钢	
预应力锚索	高绞线、高强度钢丝	符合《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224)要求

（4）按实际锚筋面积计算锚杆（索）承载力设计值。假设实际锚筋配置截面为 A_g ，由下式按实际锚筋计算锚杆（索）承载力设计值：

$$P_g = \frac{A_g F_{ptk}}{K_1} \geq P_d$$

(3-4)

式中： P_g ——实际锚筋配置情况下锚杆（索）的承载力设计值；

K_1 ——筋材抗拉安全系数，见表3-6；

F_{ptk} ——锚筋（钢丝、钢绞线、钢筋）抗拉强度设计值。

（5）筋材张拉控制应力 σ_{con}

锚杆（索）预应力筋的张拉控制应力 σ_{con} 应符合表3-5。

表 3-5 预应力筋的张拉控制应力 σ_{con}

锚杆（索）类型	σ_{con}	
	钢绞线	预应力螺纹钢筋
永久	$\leq 0.50 F_{ptk}$	$\leq 0.50 F_{ptk}$
临时	$\leq 0.65 F_{ptk}$	$\leq 0.80 F_{ptk}$

3、锚固段、自由段长度设计

（1）锚固段长度计算

锚固体长度计算由注浆体与锚孔壁的黏结强度计算的锚固长度 L_r 、锚索与注浆体的黏结强度计算的锚固长度 L_g 等两部分控制，设计锚固长度取两者中的较大值，另外，也应复核锚筋强度。

1) 地层与注浆体间黏结长度按下式计算：

$$L_r = \frac{K_2 P_d}{\pi d f_{tb}}$$

(3-5)

式中： L_r —地层与注浆体间黏结长度（m）；

- K_2 —抗拔安全系数，按表 3-6 选取；
- d —锚固段钻孔直径（m）；

f_{rb} —地层与注浆体间黏结强度设计值（kPa），应通过试验确定，当不具备试验条件时可按表 3-7、3-8 选用。

2）注浆体与锚索杆体间黏结长度按下式计算：

$$L_g = \frac{K_2 P_d}{n \pi d_g f_b}$$

(3-6)

式中： L_g —注浆体与锚索杆体间黏结长度（m）；

d_g —锚索材料直径（m）；

f_b —注浆体与锚索杆体间黏结强度设计值（kPa），应通过试验确定，当不具备试验条件时，可按表 3-9 选用；

n —锚索根数（根）。

表 3-6 预应力锚索锚固体设计安全系数

安全系数	公路等级	安全系数	
		服务年限≤2 年（临时性锚索）	服务年限>2 年（永久锚索）
K_1	高速公路、一级公路	1.8	2
	二级及二级以下公路	1.6	1.8
K_2	高速公路、一级公路	1.8~2.0	2.0~2.2
	二级及二级以下公路	1.5~1.8	1.7~2.0
注：1.当二级及二级以下公路在锚固工程附近有重点保护对象时，可按高速公路安全系数取值。 2.土体或全风化岩中锚固体， K_2 应取表中较高值。			

表 3-7 岩体与注浆体界面黏结强度设计值

岩体类型	饱和单轴抗压强度 R_c （MPa）	黏结强度 f_{rb} （kPa）
极软岩	$R_c < 5$	150~250
软岩	$5 \leq R_c < 15$	250~550
较软岩	$15 \leq R_c < 30$	550~800
较硬岩	$30 \leq R_c < 60$	800~1200
坚硬岩	$R_c \geq 60$	1200~2400
注：1.表中数据适用于注浆强度等级 M30。 2.表中数据仅适用于初步设计，施工时应通过试验验证。 3.岩体结构面发育时，取表中下限值。		

表 3-8 土体与锚固体黏结强度设计值

土体类型	土的状态	黏结强度 f_{rb} （kPa）
黏性土	软塑	30~50
	硬塑	50~60
	坚硬	60~80
砂土	松散	90~160
	稍密	160~220
	中密	220~270

	密实	270~350
碎石土	稍密	180~240
	中密	240~300
	密实	300~400
注：1.表中数据适用于注浆强度等级 M30。 2.表中数据仅适用于初步设计，施工时应通过试验验证。		

表 3-9 钢筋、钢绞线与砂浆之间的黏结强度设计值 f_b （MPa）

锚类型	水泥浆或水泥砂浆强度等级	
	M30	M35
水泥砂浆与螺纹钢筋间	2.40	2.70
水泥砂浆与钢绞线、高强钢丝间	2.95	3.40
注：1.当采用 2 根钢筋点焊成束的做法时，黏结强度应乘以折减系数 0.85。 2.当采用 3 根钢筋点焊成束的做法时，黏结强度应乘以折减系数 0.70。		

3）锚固段长度选取

参考规范《公路路基设计规范》（JTG D30）5.5.6 节规定，在确定锚杆（索）锚固段长度时，应分别对锚杆（索）黏结长度 L_r 和 L_g 进行计算，实际锚固段长度应取 L_r 和 L_g 中的最大值，且锚固长度不应小于 3.0m，也不宜大于 10.0m。

（2）自由段长度选取

锚杆（索）自由段长度过短，施加初始预应力后锚杆（索）的弹性位移较小，若锚头出现松动等情况则可能造成较大的预应力损失。参考规范《公路路基设计规范》（JTG D30）5.5.6 节规定，锚杆（索）自由段长度受稳定地层界面控制，在设计中应考虑自由段伸入滑动面或潜在滑动面的长度不小于 1.0m，且自由段长度不得小于 5.0m，并保证锚固段在稳定的地层内。

4、压力分散型锚索承载体面积及锚固长度设计

依据《公路路基设计手册》中规定，压力分散型锚索由若干个单元锚索组成，其锚固体的的尺寸设计应同时满足锚固体局部抗压承载力和锚固注浆体与周边地层件的黏结摩阻力的要求。

（1）承载体面积按下式计算：

$$K_1 P_d / n \leq 1.35 A_p \eta \zeta f_c$$

(3-7)

式中： P_d —设计锚固力（kN）；

K_1 —单元锚索锚固注浆体局部抗压安全系数，见表 3-6；

n —单元锚索数；

A_p —单元锚索承载体与注浆体横截面净接触面积，为受压面积中扣除孔道部分面积(m²)；

η —锚固段注浆体局部受压强度提高系数， $\eta = \left(\frac{A}{A_p}\right)^{0.5}$ ， A 为注浆体截面积；

ζ —锚固段注浆体受压时侧向地层约束力作用的抗压强度提高系数，由试验确定，无试验资料时取 1.0；

f_c —注浆体轴心抗压强度设计值（kPa）。

（2）锚固体长度按照下式通过试算确定。

$$P_d \leq \sum_{i=1}^n \pi d L_{ri} f_{rbi} / K_2$$

(3-8)

式中： P_d —设计锚固力（kN）；

d —锚固段钻孔直径（m）；

L_{ri} —各单元锚索锚固段长度（m）；

f_{rbi} —各单元锚索锚固段注浆体与地层间黏结强度设计值（kPa）；

K_2 —抗拔安全系数，按表 3-6 选取。

5、锁定荷载和锚头设计

（1）锚杆（索）的锁定荷载原则上可按锚杆（索）设计锚固力值（工作荷载）确定，但仍需考虑锚杆（索）的使用目的和地层性状加以调整。

1）边坡坡体结构完整性较好、岩体加固和边坡抗滑锚固、为加固地基和抵抗滑动力施做预应力锚杆，则以设计锚固力作为锁定荷载。

2）边坡坡体由明显蠕变、预应力锚索与抗滑桩相结合、坡体地层松散时，由于张力会引起徐变和塑性变形较大，锁定荷载应由张拉试验确定，或取设计锚固力的 50%~80%。

3）边坡易产生崩滑时，锁定荷载可取设计锚固力的 30%~70%。

4）若锚固结构允许变形时，锁定荷载根据设计条件确定，或按容许变形大小取设计锚固力的 50%~70%。

5）若锚固地层可能产生明显徐变时，可先将锚杆（索）张拉到设计拉力值的 1.2~1.3 倍，然后再退到设计锚固力进行锁定，以减少地层徐变引起的预应力损失。

（2）锚头结构构造和形状尺寸根据锚杆（索）的设计荷载、地层条件、支挡结构施工条件而定。

锚头承压板和台座的强度和构造应满足锚杆（索）锚固力设计值及锚具和结构物连接构造要求。

承压板应采用高强度钢板，不会因施加预应力而造成其变形过大，并导致台座表面不均匀受力破坏。台座的尺寸和构造应具有足够的强度和刚度，不得产生不利变形，一般为现浇钢筋混凝土结构，梯形断面。

锚杆锚具应根据锚杆钢筋的直径、螺纹规格和预应力大小来确定，通常为螺母。同样，锚索锚具也应根据钢绞线直径、锚索束形式和预应力大小等进行选择，如 OVM、JM 和 QM 系列锚具等。

（三）锚固结构防腐

锚杆（索）的防腐等级和措施，应根据锚杆（索）的设计使用年限和所处的地层有无腐蚀性确定，可参考规范规范《公路路基设计规范》（JTG D30）5.5 节和《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》（GB 50086）4.5 节相关规定。

防腐方法应适应岩土锚固使用目的，不能影响锚杆（索）各部件功能，针对锚杆（索）不同部位作不同的防腐结构设计。腐蚀环境中的永久锚杆（索）应采用Ⅰ级双层防腐保护构造，腐蚀环境中的临时性和非腐蚀环境中的永久锚杆（索）可采用Ⅱ级简单防腐保护构造。锚杆（索）Ⅰ、Ⅱ级防腐构造应符合表 3-10 的要求。

表 3-10 锚杆（索）Ⅰ、Ⅱ级防腐保护要求

防腐保护等级	锚杆（索）类型	预应力锚杆（索）和锚具防腐要求		
		锚头	自由段	锚固段
Ⅰ	拉力型、拉力分散型	采用过渡管，锚具用混凝土封闭或钢罩保护	采用注入油脂的护套，或无黏结钢绞线，或有外套保护管的无黏结钢绞线	采用注入水泥浆的波纹管
	压力型、压力分散型	采用过渡管，锚具用混凝土封闭或钢罩保护	采用无黏结钢绞线	采用无黏结钢绞线
Ⅱ	拉力型、拉力分散型	采用过渡管，锚具用混凝土封闭或钢罩保护	采用注入油脂的护套，或无黏结钢绞线	注浆

（四）锚杆（索）试验及监测

1、锚杆（索）试验包括基本试验和验收试验。施工前，应进行锚杆（索）基本试验。基本试验数量取工作锚杆（索）数量的 3%，且不少于 3 根。施工后，应进行锚杆（索）验收试验。锚杆（索）验收试验的数量取工作锚杆的 5%，且不少于 3 根。当有特殊要求时，可适当增加。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>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。锚杆（索）试验内容及要求应符合现行《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》（GB 50086）第 12 章的有关规定。

2、锚杆（索）监测包括施工期监测和运营期监测，监测数量应取工作锚杆数量的 10%，监测项目及其方法可按《公路路基设计规范》JTG D30 附录 F 表 F-3 选定，监测点应设置在边坡锚固区

的关键部位。运营期监测周期应为公路建成营运后不少于一年。

三、锚固边坡坡面结构设计与计算

（一）坡面结构选取与构造要求

锚固边坡坡面结构形式应根据边坡工程地质、水文地质条件、岩土性质、边坡高度、施工方法，按照表 3-11 的规定选用。

表 3-11 坡面结构常用类型及适用条件

结构形式	适用条件	备注
单锚墩	硬质岩、块状或整体性好的岩体	设置单锚墩边坡岩体要求坡面岩体均质性较好，风化程度低，不易风化崩解，具有较好的完整性
地（竖、横）梁	软硬岩体相间、土质边坡	具体部署竖梁或横梁根据工程需要和边坡岩体构成情况确定
框架（格子）梁	分化较严重、地下水丰富、软质岩、土质边坡	多雨地区梁宜做成截流沟式

坡面结构构造要求如下：梁截面可采用矩形或 T 形。格子（框架）梁宽度不得小于 0.4m，地梁和单锚墩截面厚度不得小于 0.4m，单锚墩边长不宜小于 0.8m。梁地嵌入坡面岩体内深度不宜小于 0.2m。框架梁单元形状可采用矩形或菱形，矩形的梁单元尺寸不宜小于 3m×3m，菱形的梁单元尺寸不宜小于 5m×3m。梁、单锚墩混凝土强度等级不宜低于 C30，并配置适量的构造钢筋，格子（框架）梁内主筋应分单元配置通长钢筋。当岩质边坡高度超过 15m，土质边坡高度超过 8m 时，应设置马道，马道宽度不宜小于 2m。

（二）单锚墩设计与计算

单锚墩适用于硬质岩、块状或整体性好的岩体边坡，特别适用于局部加固，如危岩体、危石等。不适用于稳定岩体过深或锚固条件差的边坡锚固工程、腐蚀性环境及坡面松散破碎的边坡锚固工程。

单锚墩设计应根据锚固力大小，满足岩体承载力要求。其中，钢筋混凝土锚墩的尺寸大小可按下式计算：

$$A = \frac{K \cdot P_t}{[\sigma]}$$

(3-9)

式中：A—单锚墩的面积（m²）；
P_d—设计锚固力（kN）；
K—锚索超张拉系数；
[σ]—地基容许承载力（kPa）。

单锚墩的内力可按中心有支点单向受弯构件计算，采取双向布筋，且应验算锚墩垫墩与钢垫板连接处混凝土局部承压与冲切强度，可参考《混凝土结构设计规范》（GB 50010）第 6 章相关内容，结构重要性系数取 1.0，永久荷载分项系数取 1.35。

（三）地梁设计与计算

由于预应力锚索地梁张拉阶段和工作阶段的受力模式不同，在设计时，应分别验算张拉阶段和工作阶段的内力，以确保地梁的安全使用。地梁配筋设计可参考《混凝土结构设计规范》（GB 50010）第 6 张相关内容，结构重要性系数取 1.0，永久荷载分项系数取 1.35。

（1）张拉阶段作用于地梁上的主要外力锚索张拉力 P 已知，梁下岩土体地基反压力 q（x）未知待求，其受力模型可简化为受多个集中荷载的地基基础梁。因地梁重力及梁底摩擦力相对较小，计算时忽略。当地梁上设置两孔锚索时可简化为简支梁进行内力计算；当地梁上设置三孔或三孔以上时可简化为连续梁进行内力计算，即将锚拉点锚索预应力简化为集中荷载，按弹性地基梁计算。一般情况下，可将地梁视为刚性梁，近似将梁底地基反力按线性均布考虑。

假设为矩形梁底宽为 b，长度为 l，按静力平衡条件 ΣP_i=0 和 ΣM_C=0，可求出地梁两端的地基反力 σ₁和 σ₂地梁受力模型见图 3-1（a）。

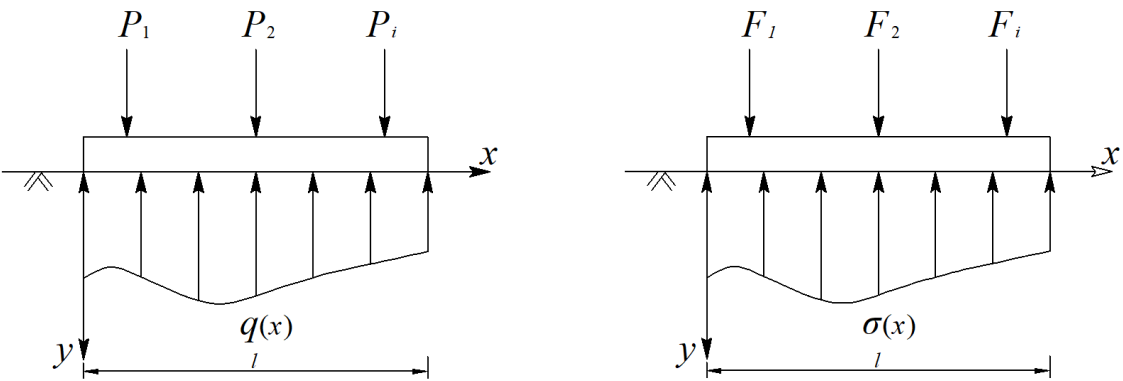
$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\sum P_i}{A} \mp \frac{\sum P_i e_i}{W}$$

(3-10)

式中：A—地梁底面积（m²），即 A=bl；
P_i—锚索张拉力（kN）；
e_i—各锚索张拉力 P_i对梁中心的偏心距（m）；
W—地梁底面的抵抗矩（m³），即 W = bl²/6。

由上式计算出地梁两端反力 σ₁和 σ₂后，可确定地基反力分布形式，再利用静力平衡条件计算出地梁任意截面上的弯矩和剪力，根据弯矩和剪力进行配筋计算。

（2）工作阶段地基反压力主要来自地梁下岩土体变形而形成的主动岩土体压力。在进行工作阶段地梁受力计算时，首先确定作用于地梁上的主动岩土压力 σ（x）（考虑地梁地基反力分布形式，例如线性分布、近似矩形分布），按两端悬臂的连续梁（一般为两跨及以上，视锚索孔数而定）计算锚索拉力及地梁内力，地梁受力模型见图 3-1。



a)张拉阶段

b)工作阶段

图 3-1 地梁受力模式

（四）框架结构设计及计算

当坡体表面岩土体易风化、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。框架内可与植物防护、土工网垫客土植生、空心砖内客土植生、喷混植生、生态袋、植生袋、喷锚网、柔性防护网等防护组合使用。

1、内力计算

依据《滑坡防治设计规范》（GB/T 38509）12.2.5 及 12.2.6，先进行梁节点锚固力分配并按“倒梁法”进行内力计算，参见附录 K.1 及 K.2。

梁截面尺寸应按承载能力极限状态进行设计，按照强度和抗裂要求确定。梁与坡体表面的接触压应力，不应大于地基容许承载力。

2、配筋计算

弯矩与斜截面承载力应符合《混凝土结构设计规范》（GB 50010）有关规定。

四、锚固结构施工技术要求

1、预应力锚索施工技术要求

（1）在永久性锚索及无参考经验的临时性锚索正式施工前，应作锚索拉拔试验（参照《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》（GB 50086）第 12 章执行）。通过试验结果，检验锚索锚固段的锚固效果是否满足图纸要求，如不满足应报请监理工程师及设计单位，修改锚固段设计。

（2）加强施工过程中信息反馈，若地质发生变化或其它特殊情况应及时反映，以便采取相应措施。现场锚索成孔时，施工技术人员应做好地层记录工作，确证锚索锚固段进入稳固地层。

（3）钻孔应采用干钻，特别是在土层或风化岩层中钻孔时，严禁采用水钻，以防坍孔、缩孔。同时钻孔时应注意观察和记录锚孔（尤其是锚索锚固段）岩性，若与设计图出入较大时，应及时通知相关单位进行处理。对严重破碎、易塌孔或存在空腔、洞穴的地层中钻孔，可先进行预灌浆处理，或采用跟管钻进成孔。

（4）锚索孔位应按设计要求准确放置于坡面上，孔位允许偏差±100mm；钻孔深度宜大于设计深度 0.5m；孔径允许偏差±10mm；钻孔倾斜度（mm）2%钻孔长；锚索杆体插入钻孔长度≥设计长度 97%；自由段的套管长度允许偏差应为±50mm。

（5）拌合水的水质应符合《混凝土拌合水用水标准》（JGJ 63），拌合水中酸、有机物和盐类等对水泥浆体和杆体有害物质的含量不得超标，不得影响水泥正常凝结和硬化。

（6）注浆浆体采用水泥浆时，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 0.8～1.5，拌和用砂宜选用中粗砂。注浆浆液应搅拌均匀，随搅随用，并在初凝前用完。严防石块、杂物混入浆液。水泥砂浆的砂料最大尺寸小于 2.0mm，砂的含泥量（按重量计）不得大于 3%，砂中云母、有机质、硫化物和硫酸盐等有害物质的含量（按重量计）不得大于 1%。水泥浆中硫化物的含量不得超过水泥重量的 0.1%。

（7）锚索采用高强度、低松弛预应力钢绞线。要求顺直、无损伤、无死弯。锚具、架线环、箍线环、钢垫板等应符合设计图纸要求和相关规范。

（8）锚索下料采用砂轮切割机切割，避免电焊切割。考虑到锚索张拉工艺要求，实际下料长度要比设计长度多留 1.0m，即锚索长度 L=L 锚固段+L 自由段+1.0m（张拉段）。

（9）锚索安装前应检查钻孔情况，保证孔深与锚索长度相对应，同时应检查附件是否完好，否则应予更换。

（10）锚索可用人工方法推进，使锚索在钻孔对中并顺直送到孔底，避免锚索体扭曲。

（11）锚索安装完毕，应进行注浆。通过注浆管泵送灌注，采用从孔底到孔口返浆式注浆，注浆压力 0.6～0.8MPa，应注意准确测量锚固段的实际长度使符合设计要求。砂浆灌注必须饱满密实，第一次注浆完毕，水泥砂浆凝固收缩后，孔口应进行二次补注浆。

（12）锚固段砂浆强度达到设计强度的 75%后方可进行锚索张拉，且锚索张拉锁定前必须对张拉设备进行标定。正式张拉前先对锚索进行 1～2 次试张拉，荷载等级为 0.1 倍的设计荷载。锚索张拉分两次五级进行，第一次张拉荷载分别为设计荷载的 0.25、0.5、0.70 倍，3 天后进行第二次张拉，张拉荷载分别为设计荷载的 1.0、1.15~1.25 倍（自由段为土层）/1.1~1.15 倍（自由段为岩层），除最后一级需要稳定 10～20 分钟外，其余每级需要稳定 5 分钟，并分别记录每一级钢绞线的伸长量。在每一级稳定时间里必须测读锚头位移三次。当张拉到最后一级荷载且变形稳定后，卸荷至锁定荷载锁定锚索。（分散型锚索张拉依据规范另行规定）

（13）锚索张拉完成 7 天后，应对锚索测力计受力情况等进行检查、核实，经综合评估锚索受力等趋于稳定后，方可切割锚具外超长部分钢绞线，并对锚索进行封头处理。

2、坡面结构施工技术要求

（1）锚固结构的总体施工工序：边坡开挖→清除浮土和松动岩石并平整坡面→确定孔位→钻机就位→调整角度→钻孔→清孔→锚索编制→安装锚索→注浆→开槽（非硬质岩地段）→绑扎钢筋→立模板→浇筑混凝土→张拉、封锚→坡面绿化防护。

（2）根据图纸要求布设锚索孔位。为便于钻机安设和施钻，应平整场地，并清理孔位周围的

松土、危石，对坡面凹陷处采用 M10 浆砌片石补填。

（3）坡面结构浇注前，应在锚索孔位处预埋 PVC 管或钢管。当钢筋与预留位置冲突时，调整钢筋间距保证锚索预留孔位的准确。

（4）锚具垫座必须与坡面结构同时浇筑成整体。锚具垫座的承压面应平整，并与锚索轴线方向垂直。

（5）框架梁施工时，在边坡两侧的三角面部分，根据坡面长度以及高度调整横梁和竖肋长度，并按照图纸要求采用钢筋混凝土梁封边。

3、锚杆框架施工技术要求（非预应力）

（1）施工顺序：边坡开挖→清除浮土和松动岩石并平整坡面→确定孔位→钻机就位→调整角度→钻孔→清孔→安装锚杆→注浆→开槽（非硬质岩地段）→绑扎钢筋→立模板→浇筑混凝土→框架内绿化防护。

（2）首先对段内地表水、地下水及施工用水水质进行取样复测。若地表水、地下水复测结果与设计不相符时，应及时通知有关单位进行再次复测。不得使用有侵蚀性水作为施工用水。

（3）锚杆施工前在同一标段范围内应选择有代表性、与锚杆锚固段地层相同、环境类似的相邻地段进行拉拔试验及开挖检验，试验孔数均不少于 3 孔，以验证锚杆砂浆的握裹性和锚固段地层的设计指标，确定施工工艺及参数，其相关参数在同一标段内相同地层及相同环境类别时通用。

（4）锚索孔位应按设计要求准确放置于坡面上，孔位允许偏差±100mm；钻孔深度宜大于设计深度 0.5m；孔径允许偏差±10mm；钻孔倾斜度（mm）2%钻孔长；锚索杆体插入钻孔长度≥设计长度 97%；自由段的套管长度允许偏差应为±50mm。

（5）做好地表截排水设施后，路堑边坡自上而下分层开挖，每一分层高度 2～3m。每一分层开挖完毕后，立即施工坡面锚杆（定位、造孔、锚杆安装、灌浆），然后进行下一分层施工。为便于钻机安设和施钻，应平整场地并清理孔位周围的松土、危石，对坡面凹陷处可采用 M10 浆砌片石补填。

（6）钻孔应采用干钻，特别是在土层或风化层中钻孔时，严禁采用水钻，以防坍孔、缩孔。钻进过程中应对每孔地层变化、钻进速度、漏风、反渣、地下水情况以及一些特殊情况作现场记录。

（7）注浆管应具有足够的内径，能使浆体压至钻孔的底部。注浆管应能承受 1.0MPa 的压力。

（8）锚杆孔灌浆前应采用高压风清孔，排出孔内杂物和积水，然后将灌浆管插入距孔底 300mm～500mm 处，浆液自下而上连续灌注。灌浆压力不小于 0.6MPa，中途不得停浆，在初凝前要进行补浆，必须做到浆液均匀地填满钢筋与孔壁间的空隙。

（9）锚杆孔灌浆后，至少养护 7 天，养护期间严禁敲击、摇动锚杆或在杆体上悬挂重物。待锚杆孔内砂浆强度达到设计强度的 70%后，进行框架梁和封头施工。

（10）框架梁应采用混凝土整体浇筑，截水缘与框架梁混凝土一体浇筑，锚孔周围等钢筋较密集处混凝土浇筑应仔细振捣，保证质量。

（11）锚杆框架施工时，在边坡两侧的三角面部分，根据坡面长度以及高度调整横梁和竖肋长度，并按照图纸要求采用钢筋混凝土梁封边。

（12）框架开槽底部必须夯填密实，框架梁周边须回填密实。

（13）锚头应埋入框架梁中，锚头钢筋与框架纵梁主筋焊接相连，与纵梁同时浇筑。纵向每隔 3 个框架于框架中部设伸缩缝一道，缝宽 0.02m，缝内填塞沥青麻筋。

（14）加强施工过程中信息反馈，若地质发生变化或其它特殊情况应及时反映，以便采取相应措施。

（15）施工期间严禁在堑顶边缘及边坡平台上堆积集中荷载。

4、质量验收要点

（1）筋材原材料、加工、连接和安装的检验和混凝土所用材料的品种、规格、质量应符合现行《公路工程质量检验评定标准》的有关规定。

（2）混凝土的强度等级应符合设计要求。

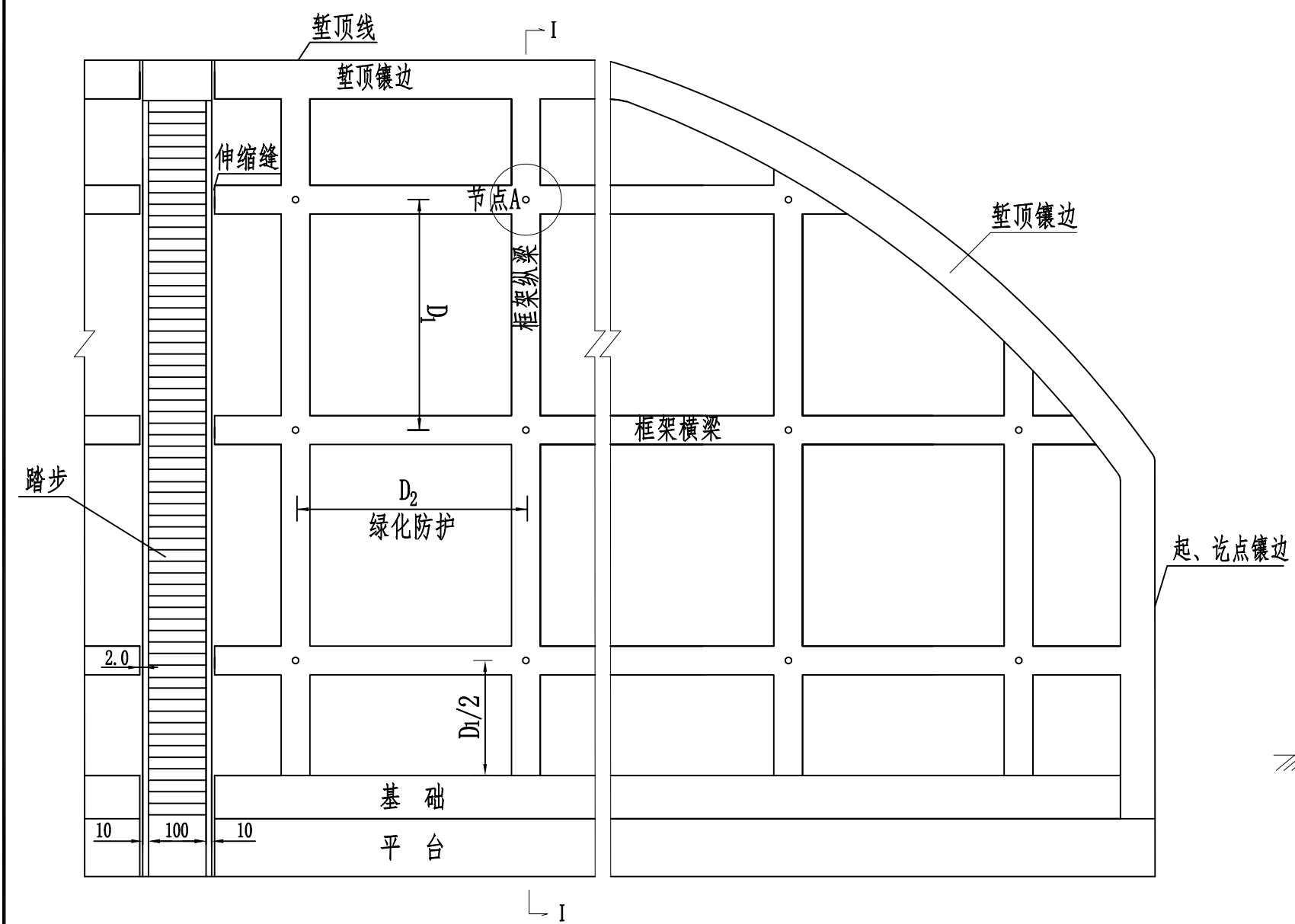
（3）框架梁不应与坡面脱空。

（4）注浆体强度等级、锚杆（索）抗拔力、布置形式、锚杆（索）数量、锚杆（索）长度等应符合设计要求。

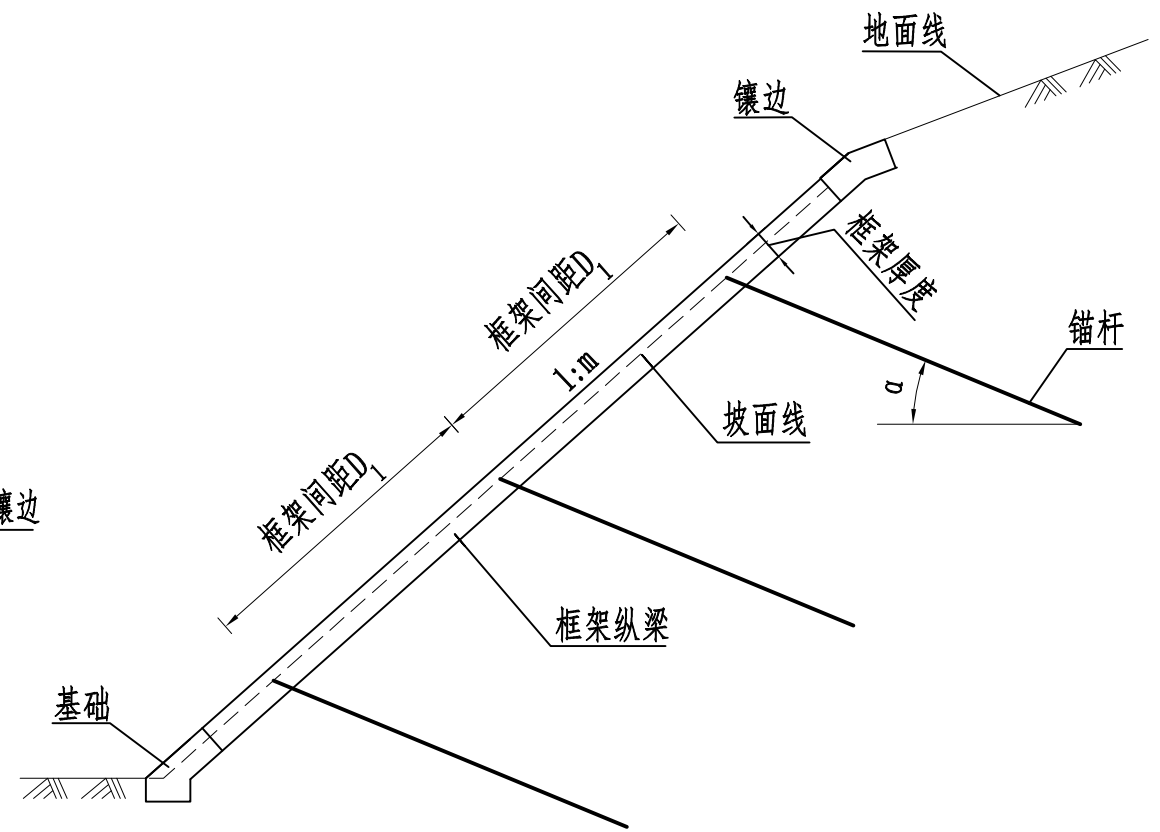
（5）锚杆（索）不应外露。

五、锚固结构常用规格验算

锚杆框架法向投影图

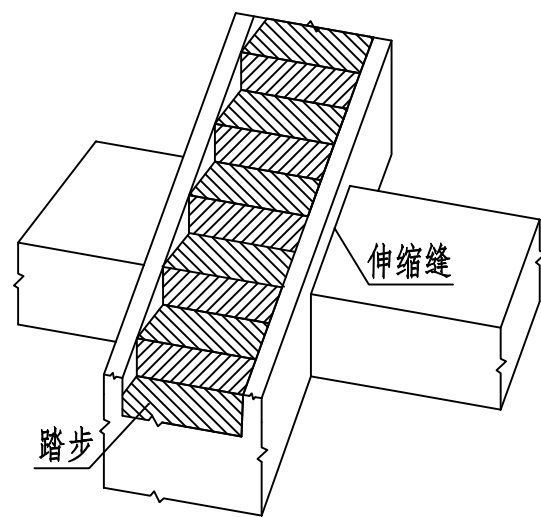


锚杆框架 I-I 剖面图

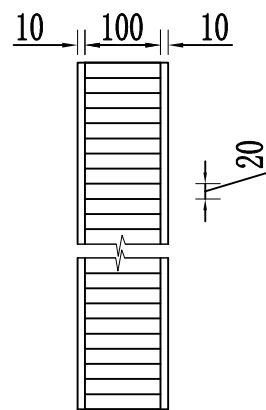


注：
1、图中尺寸标注除注明者外，均以厘米计。

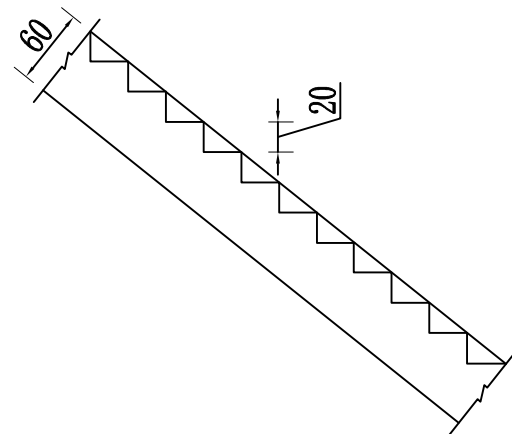
踏步示意图



踏步投影图



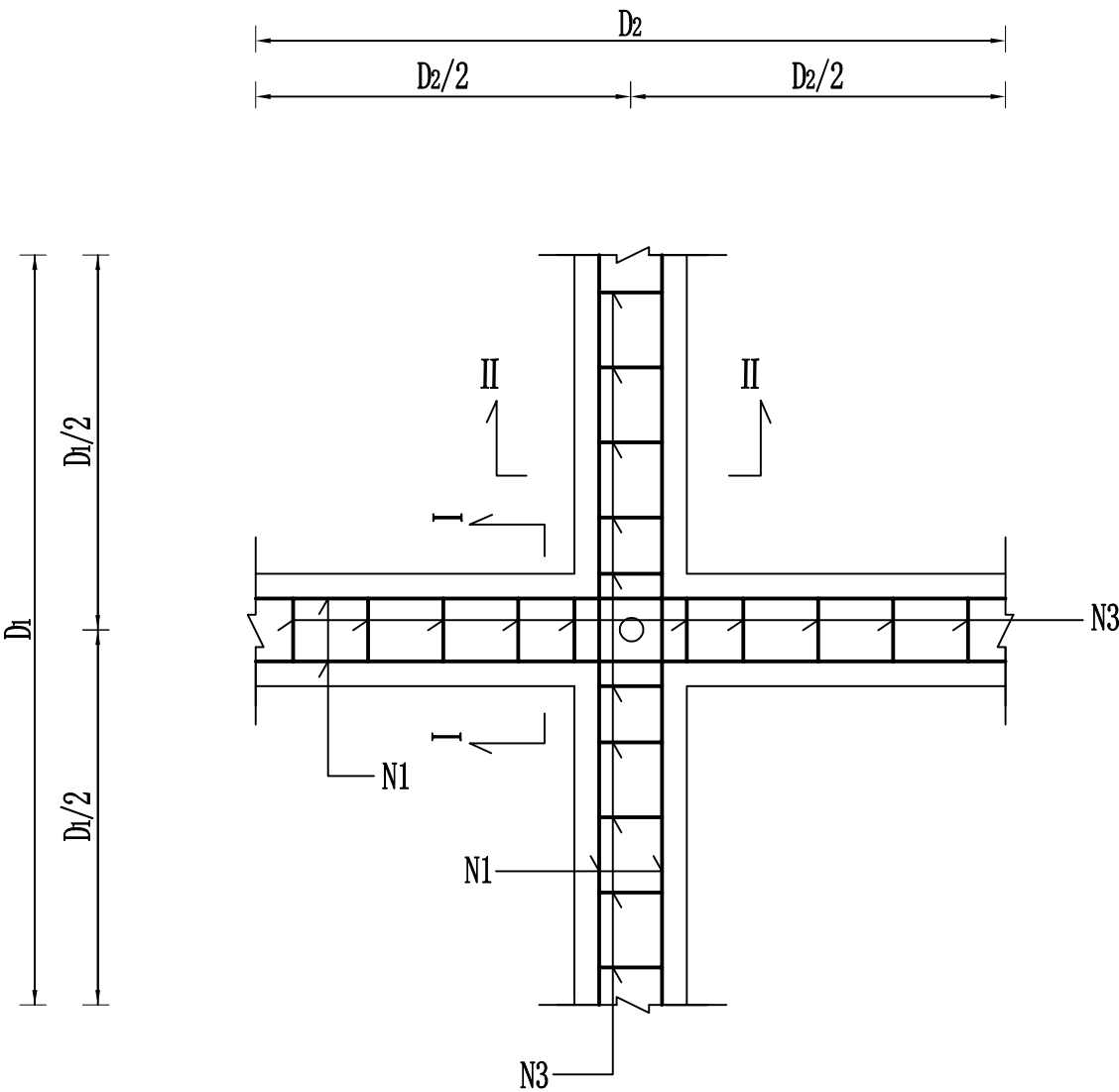
踏步剖面图



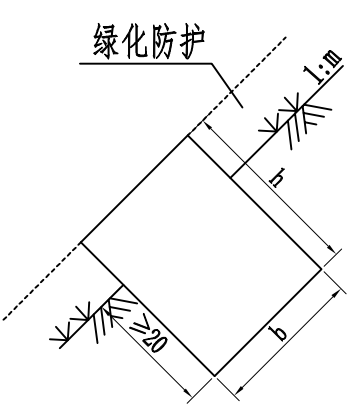
注：

- 1、图中尺寸标注除注明者外，均以厘米计。
- 2、开挖高度较大并具有一定放坡条件的边坡锚固工程，宜采用多级台阶放坡开挖设计，各台阶高度宜为6m~15m。
- 3、边坡坡率宜根据根据地层情况确定，并满足各级边坡及整体边坡的稳定性验算结果。
- 4、框架梁单元形状可采用矩形或菱形，梁单元尺寸宜为1.25m~3m，且不应大于1/2 锚杆长度。
- 5、梁底嵌入坡面内深度不宜小于20cm。
- 6、顺线路方向每隔10~25m于框架中部设伸缩缝一道，对应处的镶边、平台截水沟、平台封闭及基础均设伸缩缝，缝宽2cm，缝内全断面采用沥青麻筋或沥青木板填充，伸缩缝均为贯通缝，严禁设置假缝。
- 7、顺线路方向每隔50~100m沿坡面设现浇混凝土踏步一道，多级边坡上错位设置，以利养护作业，踏步净宽1.0m，踏步两侧各设置一道伸缩缝。
- 8、框架内可与植物防护、土工网垫客土植生、空心砖内客土植生、喷混植生、生态袋、植生袋、喷锚网、柔性防护网等防护组合使用。
- 9、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

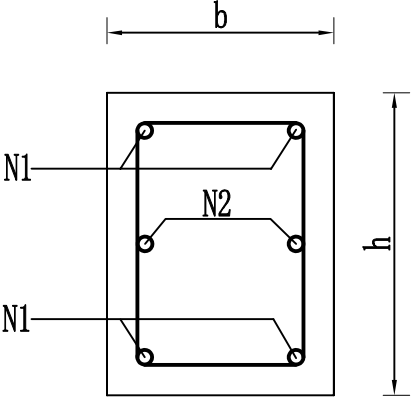
框架梁节点A配筋图



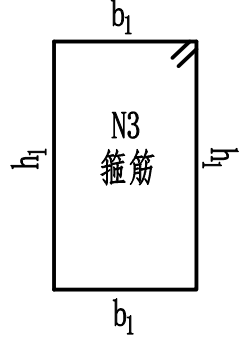
I-I 剖面示意图



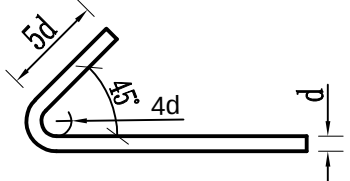
II-II 剖面示意图



箍筋示意图



弯钩示意图



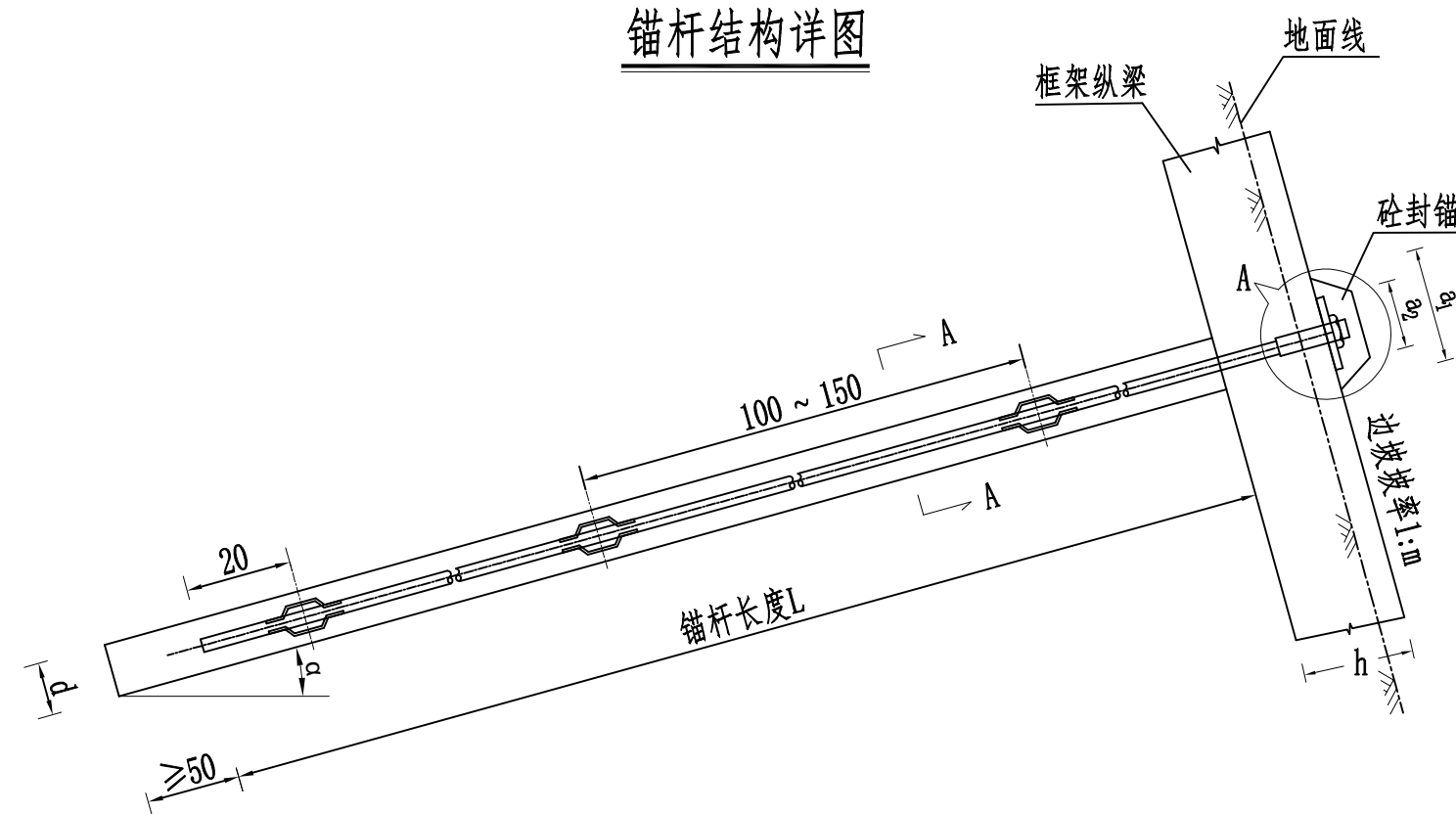
注：
1、图中尺寸标注除注明者外，均以厘米计。

锚杆框架节点工程数量表

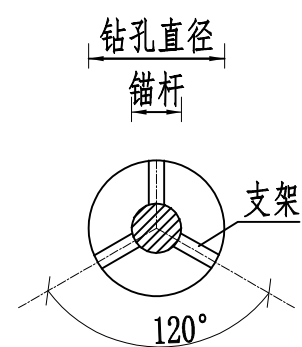
钢筋编号	钢筋类型	直 径 (mm)	单根长度 (cm)	根 数	总 长 (m)	每米重量 (kg)	总 重 (kg)
N1							
N2							
N3							
合计	钢筋： ;混凝土： ;挖基：						
1. 路堑顶镶边、路堑坡脚护脚、起迄点镶边、边坡平台截水沟、平台封闭及框架内护坡数量另计。 2. 框架梁在堑顶、坡脚、起迄点和伸缩缝端头处纵向受力钢筋设弯钩。							

- 注：
- 1、图示节点为标准节点，当节点应用于边坡上下及端部时，可根据实际情况进行截取。
 - 2、框架梁截面宽度不得小于30cm。
 - 3、框架梁混凝土强度等级不应低于C25，最外层钢筋的保护层厚度不应小于35mm。
 - 4、钢筋混凝土框架梁主筋应采用 $\Phi 14$ /HRB400级以上的热轧钢筋，箍筋应采用 $\Phi 8$ 以上的钢筋。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（0.2和45ft/fy中的较大值）。框架梁内主筋应分单元配置通长钢筋。
 - 5、框架梁上部主筋净间距不应小于30mm和1.5d（主筋直径），梁下部主筋净间距不应小于25mm和d。梁内箍筋最大间距不应大于300mm。
 - 6、框架梁内主筋在端头处应设135° 弯钩，箍筋末端应做成135° 弯钩，弯钩内径为4d，弯后直线长度不小于5d。
 - 7、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

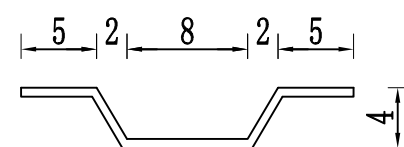
锚杆结构详图



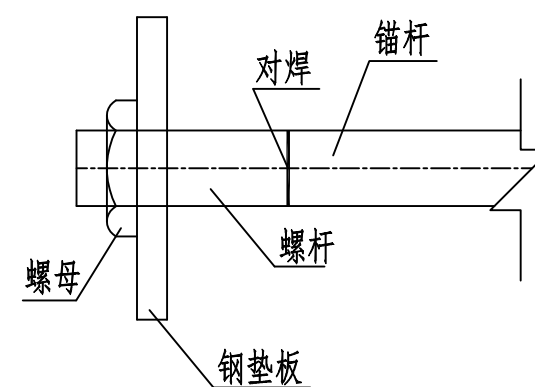
A-A剖面



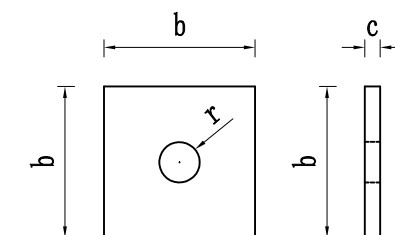
支架详图



A点详图



钢垫板大样图



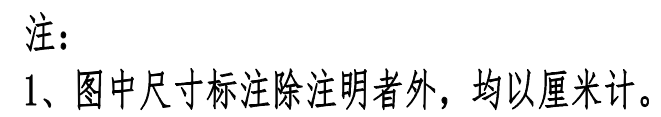
注：

1、图中尺寸标注除注明者外，均以厘米计。

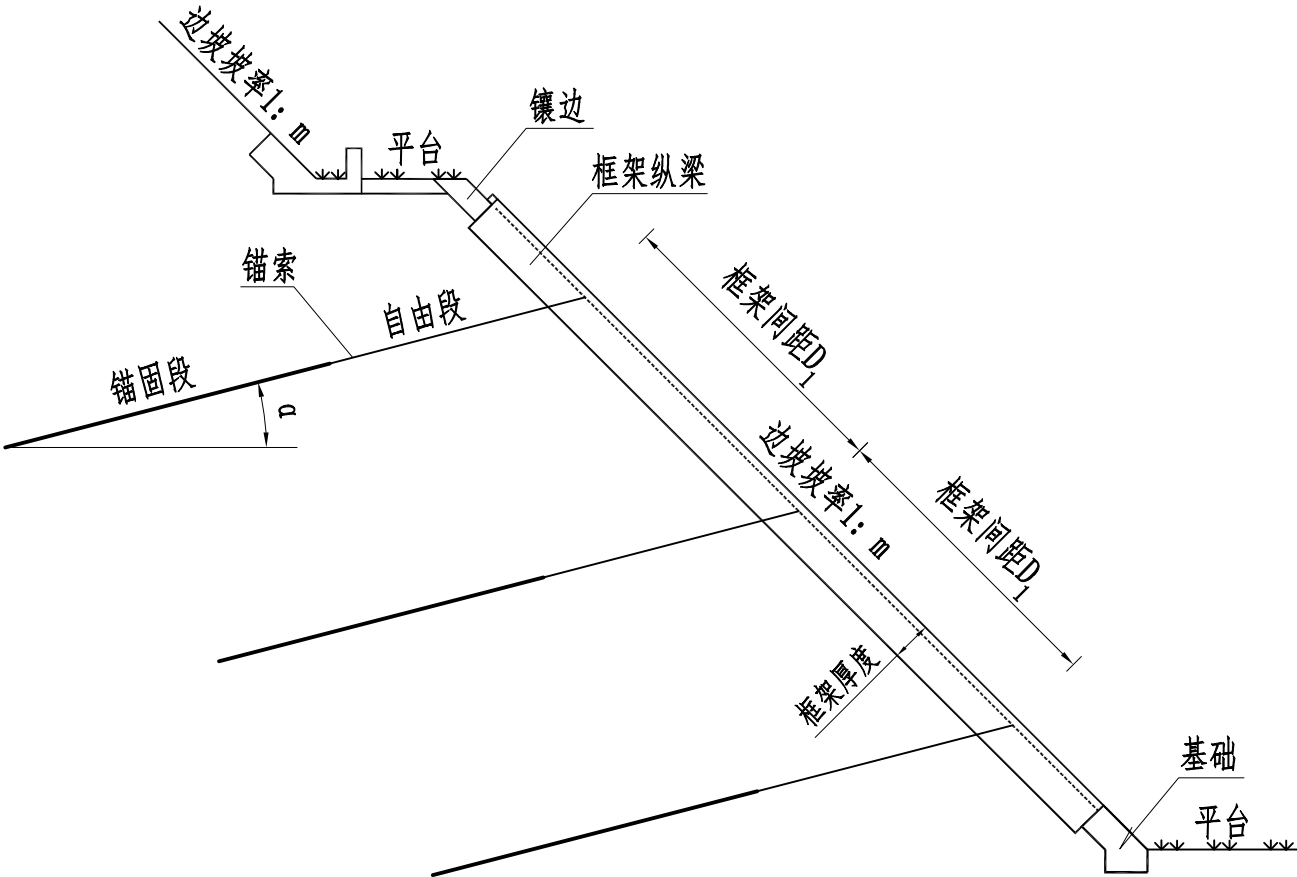
单根锚杆工程数量表

	材 料 项 目	单 位	数 量		
			6m锚杆	9m锚杆	12m锚杆
细目	HRB400钢筋	Kg/套			
	HPB300钢筋支架	Kg/套			
	钻孔	m/套			
	灌注水泥砂浆	m ³ /套			
	螺杆	个/套			
	螺母	个/套			
	钢垫板	Kg/套			
	封锚	m ³ /套			

- 注：
- 1、图中尺寸标注除注明者外均以厘米计；
 - 2、锚杆成束钢筋的根数不应超过三根，钢筋截面总面积不应超过锚孔面积的20%，且杆体保护层厚不应小于20mm 。
 - 3、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，杆体钢筋直径宜为16~32mm。
 - 4、钻孔直径不宜小于42mm，且不宜大于100mm。
 - 5、对中支架应沿锚杆全长设置,且对中支架间距宜为1.0m~1.5m。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8mm。
 - 6、锚杆宜采用压力注浆，对于下倾锚杆应在注浆完成后将孔口封闭实施压力注浆，对于上倾锚杆应将孔口封闭后采用排气注浆方法直接进行压力注浆。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。
 - 7、注浆体所用水泥应采用普通硅酸盐水泥，水泥强度等级不应低于42.5MPa。水灰比宜取0.40~0.5，灰砂比宜取0.8~1.5。锚杆注浆体可采用水泥浆或水泥砂浆，注浆体28d无侧限抗压强度不应小于30MPa。
 - 8、当锚杆注浆体强度达到设计强度的75%且不小于15MPa后,方可进行锚杆的张拉锁定。
 - 9、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

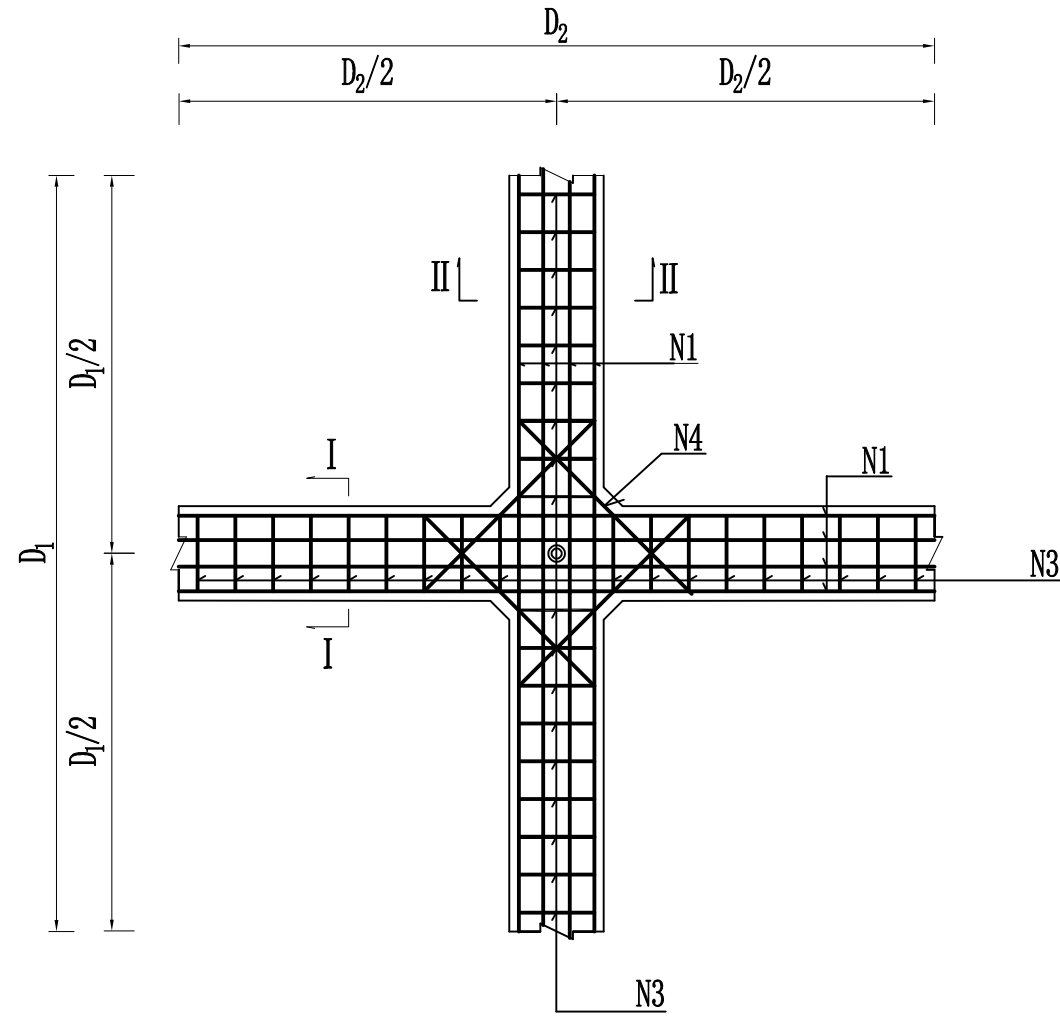


锚索框架 I-I 剖面图

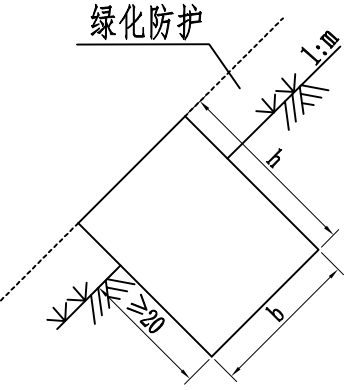


- 注：
- 1、图中尺寸标注除注明者外均以厘米计。
 - 2、开挖高度较大并具有一定放坡条件的边坡锚固工程，宜采用多级台阶放坡开挖设计，各台阶高度宜为6m~15m。
 - 3、边坡坡率宜根据根据地层情况及稳定性计算结果确定，根据以往经验，坡率缓于1:1.25易出现“上爬式”破坏。
 - 4、框架梁单元形状可采用矩形或菱形，矩形的梁单元尺寸不宜小于3m×3m，菱形的梁单元尺寸不宜小于5m×3m。
 - 5、梁底嵌入坡面内深度不宜小于20cm。
 - 6、顺线路方向每隔10~25m于框架中部设伸缩缝一道，对应处的镶边、平台截水沟、平台封闭及基础均设伸缩缝，缝宽2cm，缝内全断面采用沥青麻筋或沥青木板填充，伸缩缝均为贯通缝，严禁设置假缝。
 - 7、顺线路方向每隔50~100m沿坡面设现浇混凝土踏步一道，多级边坡上错位设置，以利养护作业，踏步净宽1.0m，踏步两侧各设置一道伸缩缝。
 - 8、框架内可与植物防护、土工网垫客土植生、空心砖内客土植生、喷混植生、生态袋、植生袋、喷锚网、柔性防护网等防护组合使用。
 - 9、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

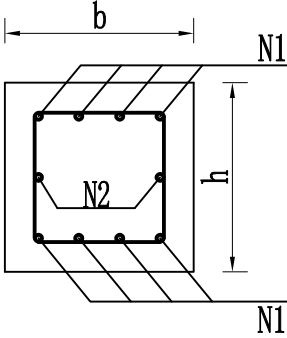
框架梁节点配筋图



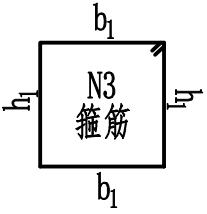
I-I 剖面示意图



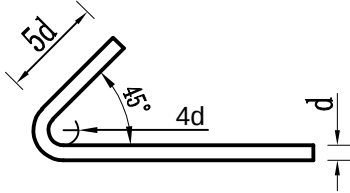
II-II 剖面示意图



箍筋示意图



弯钩示意图



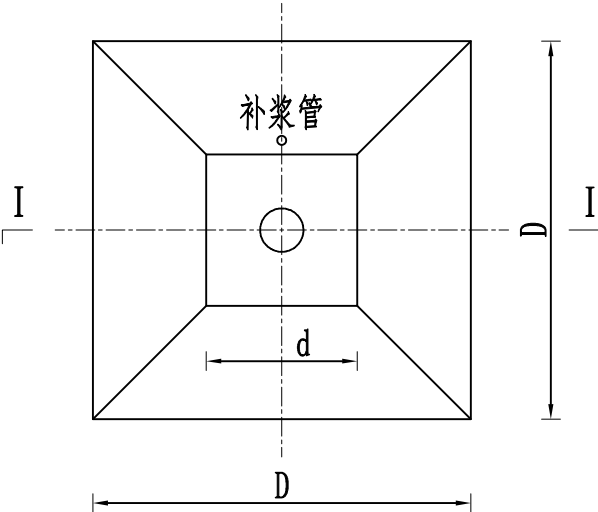
注：
1、图中尺寸标注除注明者外，均以厘米计。

锚索框架节点工程数量表

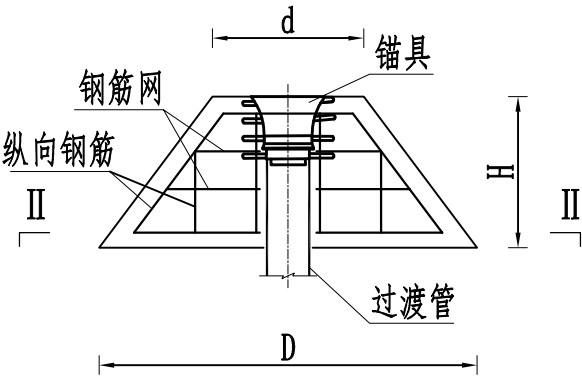
钢筋编号	钢筋类型	直径（mm）	单根长度（cm）	根 数	总 长（m）	每米重量（kg）	总 重（kg）
N1							
N2							
N3							
N4							
合计	钢筋： ;混凝土： ;挖基：						
1.路堑顶镶边、路堑坡脚护脚、起迄点镶边、边坡平台截水沟、平台封闭及框架内护坡数量另计。 2.框架梁在堑顶、坡脚、起迄点和伸缩缝端头处纵向受力钢筋设弯钩。							

- 注：
- 1、图示节点为标准节点，当节点应用于边坡上下及端部时，可根据实际情况进行截取。
 - 2、框架梁截面宽度不得小于40cm，梁厚度不得小于40cm，梁底与坡体表面的接触压应力,不应大于地基容许承载力。框架梁具体尺寸应通过内力计算确定。
 - 3、框架梁混凝土强度等级不宜低于C30，最外层钢筋的保护层厚度不应小于35mm。
 - 4、钢筋混凝土框架梁主筋应采用 $\phi 14$ /HRB400级以上的热轧钢筋，箍筋应采用 $\phi 8$ 以上的钢筋。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（0.2和45ft/fy中的较大值）。框架梁内主筋应分单元配置通长钢筋。
 - 5、框架梁上部主筋净间距不应小于30mm和1.5d（主筋直径），梁下部主筋净间距不应小于25mm和d。梁内箍筋最大间距不应大于200mm。
 - 6、框架梁内主筋在端头处应设135°弯钩，箍筋末端应做成135°弯钩，弯钩内径为4d，弯后直线长度不小于5d。
 - 7、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

锚墩正视图



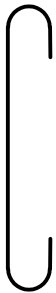
I—I剖面



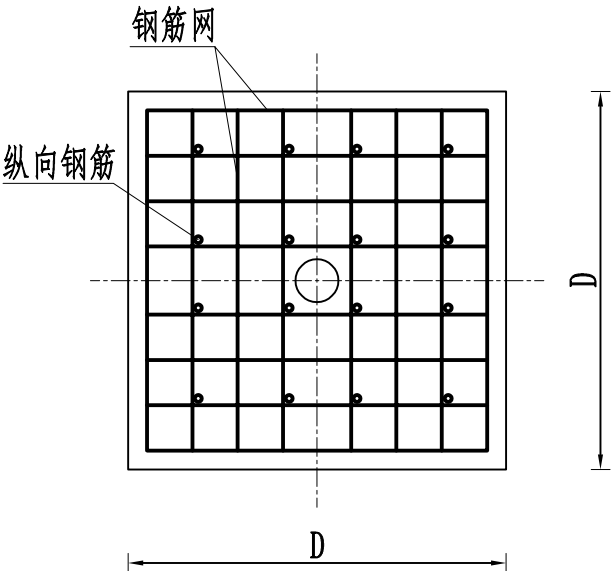
单个锚墩工程数量表

序号	材料名称	规格	单位	数量	备注
1	锚墩混凝土		m ³		
2	钢筋网		kg		
3	纵向钢筋		kg		
4	锚具		套		
5	过渡管		m		
6	封锚混凝土		m ³		
	合 计				

纵向钢筋示意图

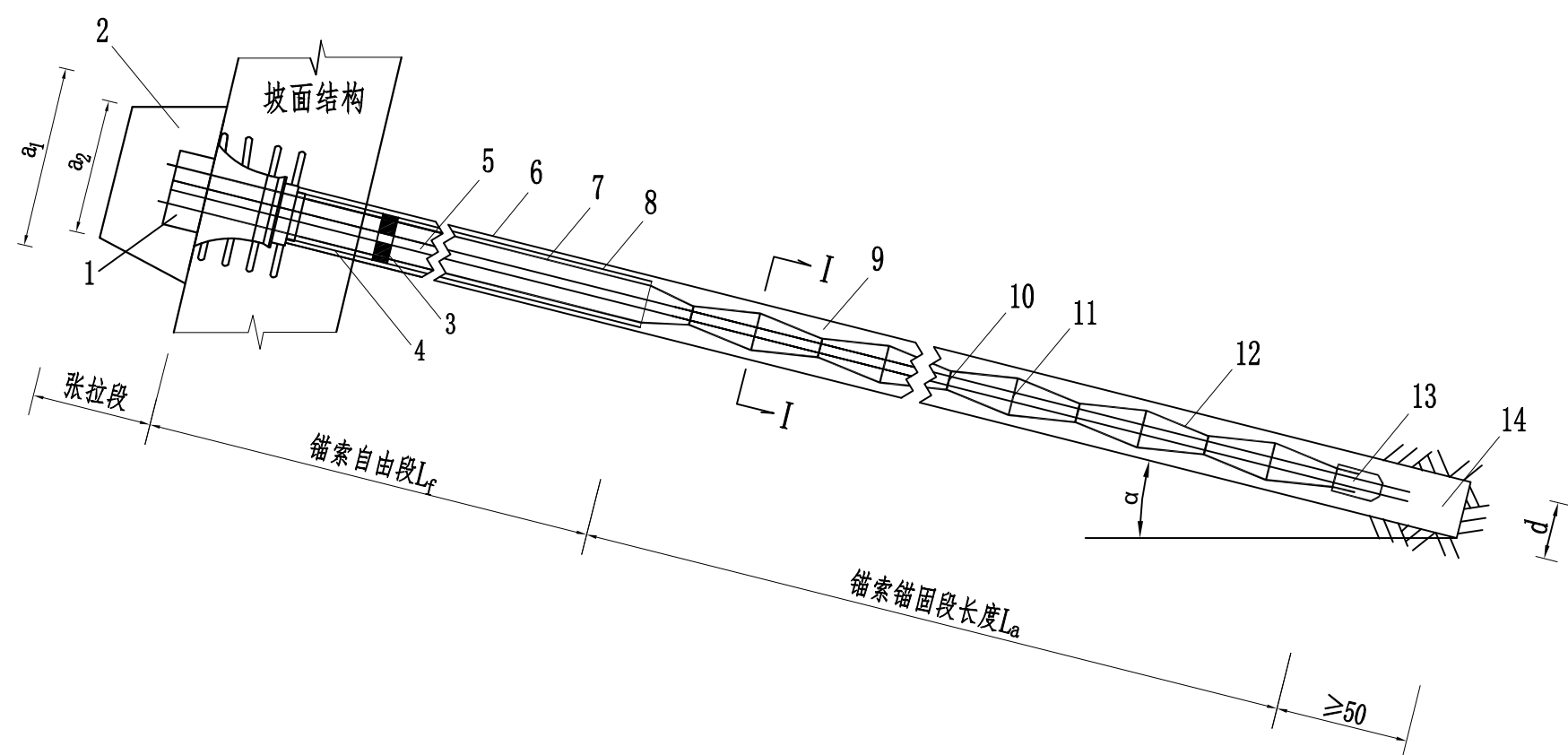


II—II剖面



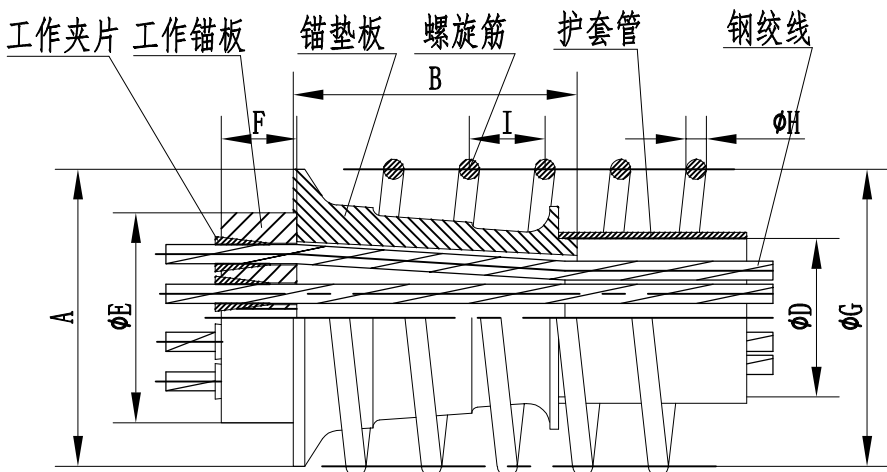
- 注：
- 1、本图尺寸除注明者外，均以厘米计。
 - 2、锚墩适用于硬质岩、块状或整体性好的岩体边坡，特别适用于局部加固，如危岩体、危石等。
 - 3、锚墩横向钢筋网应不少于4片，纵向钢筋设置两端设置弯钩。
 - 4、锚墩的内力可按中心有支点单向受弯构件计算，采取双向布筋，且应验算锚墩垫墩与钢垫板连接处混凝土局部承压与冲切强度，墩底与坡体表面的接触压应力，不应大于地基容许承载力。
 - 5、锚墩边长不宜小于0.8m，厚度不得小于0.4m。
 - 6、墩底嵌入坡面内深度不宜小于20cm。
 - 7、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

预应力锚索结构细部示意图

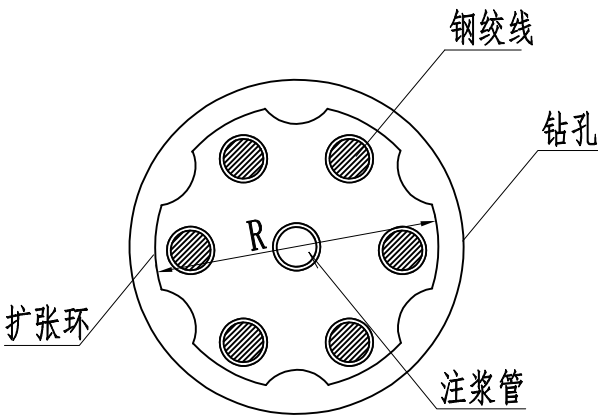


1—锚具；2—砼封头；3—密封；4—过渡管（管内注入防腐剂）；5—注浆管；6—钻孔；7—钢绞线（外套塑料护管，管内注入防腐剂）；8—光滑套管；9—注浆材料；10—紧箍环；11—扩张环；12—无包裹钢绞线；13—导向头；14—沉渣段。

锚具大样图



钢绞线 I—I 截面

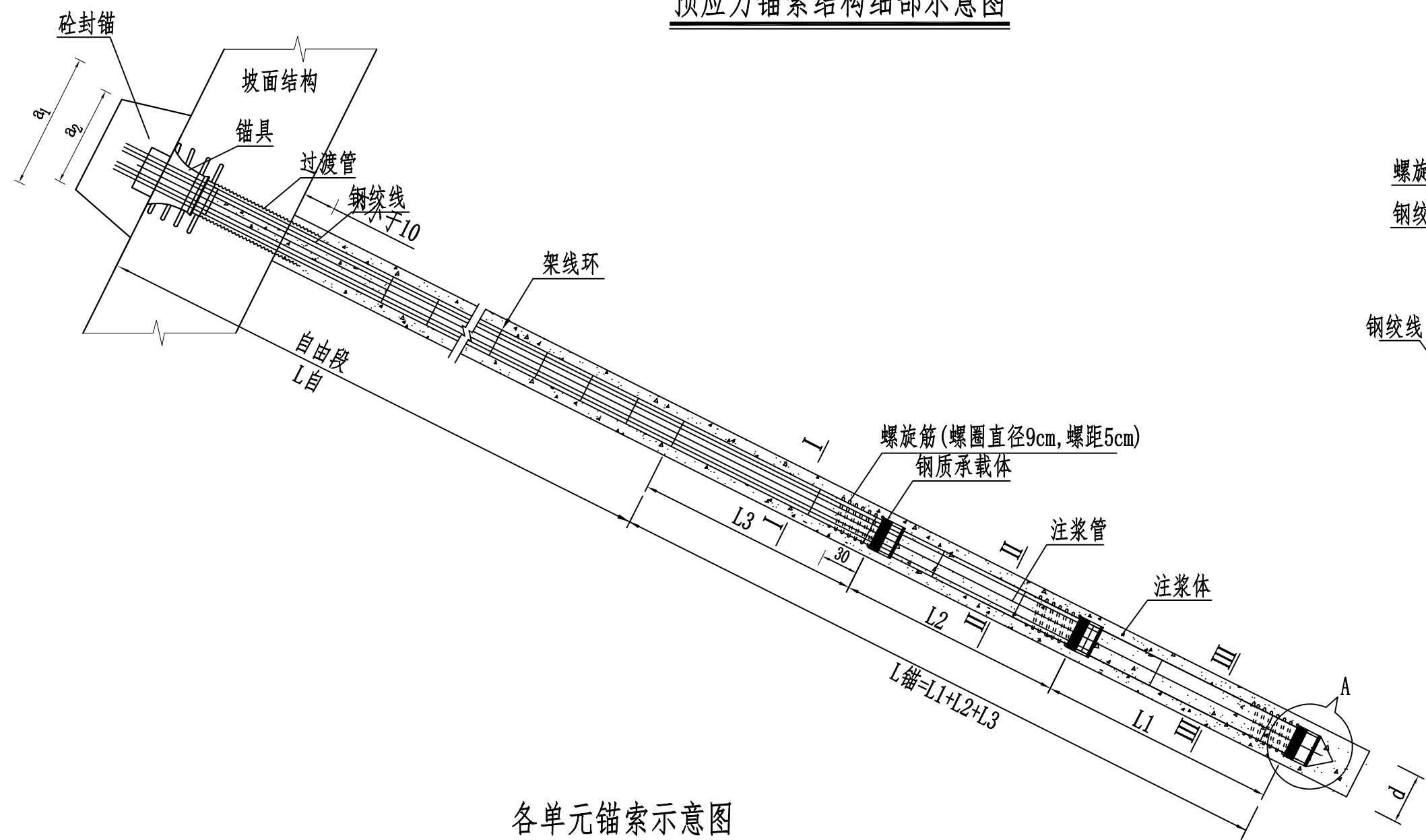


单孔预应力锚索工程数量表

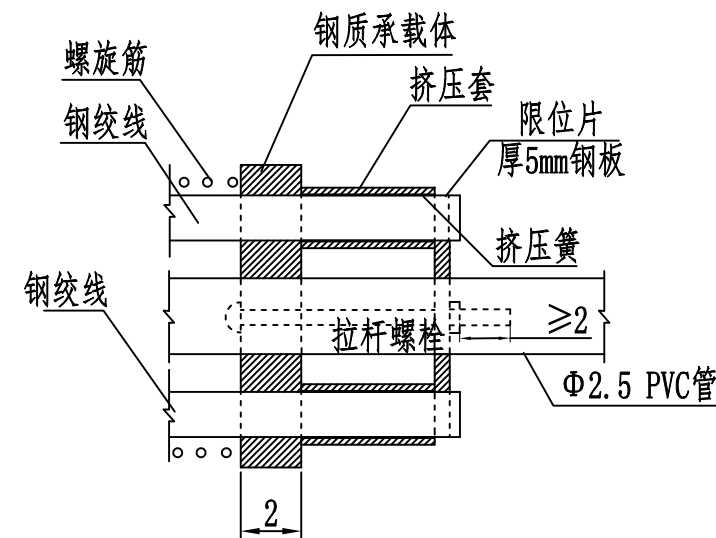
项目	锚 索 长 度			无粘结钢绞线				锚 具		过 渡 管		钻 孔		砼封锚	
	自由段	锚固段	总长	规格	长度	根数	总长	规格	数量	规格	长度	规格	长度	材料	数量
单位	m	m	m		m	根	m		套		m		m		m³
数量															

注：
1、本图适用于一般环境地段。
2、本图尺寸均以厘米计。

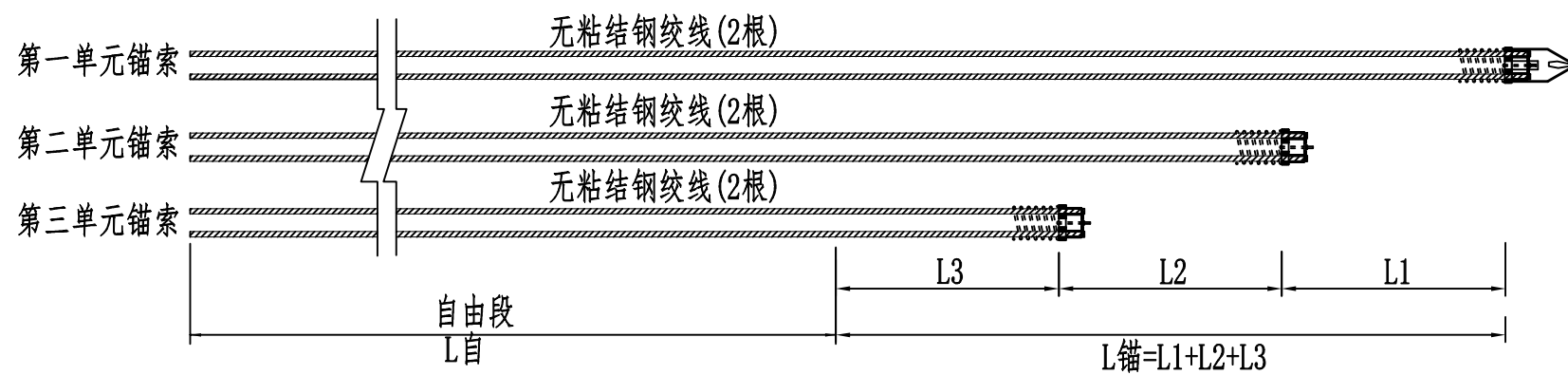
预应力锚索结构细部示意图



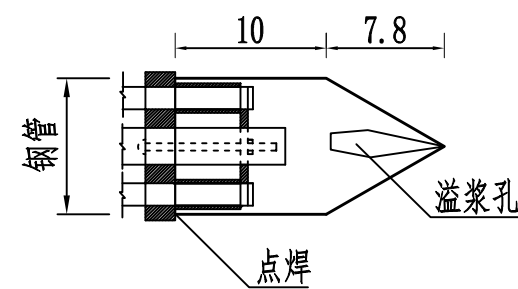
A大样图



各单元锚索示意图



导向帽大样图



注：
1、图中尺寸标注除注明者外，均以厘米计。

预应力锚索设计说明

- 1、施工顺序：平整坡面→框架梁（锚墩）定位、挖槽立模浇筑→锚索制作、安装→锚索注浆及补浆→锚索张拉及锁定→锚索封头。
- 2、预应力锚索由锚固段、自由段和张拉段构成，锚头由垫墩、承压板和锚具组成。
- 3、锚索应采用高强度、低松弛钢绞线材料，当采用对拉锚索及压力型锚索宜采用无粘结钢绞线，钢绞线材料应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224的有关规定。
- 4、注浆用水泥应符合下列规定：
- （1）水泥宜采用普通硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，水泥应符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175的有关规定，对防腐有特殊要求时，可采用抗硫酸盐水泥，不得采用高铝水泥。
- （2）水泥强度等级不应低于32.5，压力型和压力分散型锚杆（索）用水泥强度等级不应低于42.5。
- 5、注浆料用的拌和水水质应符合现行行业标准《混凝土拌和用水标准》JGJ 63的有关规定。
- 6、注浆料用的细骨料应符合下列规定：
- （1）水泥砂浆只能用于一次注浆，细骨料应选用粒径小于2.0mm的砂；
- （2）砂的含泥量按重量计不得大于总重量的3%，砂中含云母、有机质、硫化物及硫酸盐等有害物质的含量，按重量计不得大于总重量的1%。
- 7、锚索锚固段注浆体抗压强度应根据结构类型和锚固地层确定，注浆体抗压强度标准值不低于M30，对于低预应力及非预应力锚杆注浆体抗压强度等级不应低于M20。
- 8、锚具应符合下列规定：
- （1）预应力筋用锚具、夹具和连接器的性能均应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370的有关规定。
- （2）锚具罩应采用钢材或塑料材料制作加工，需完全罩住锚具和预应力筋的尾端，承压板的接缝应为水密性接缝。
- 9、承压板和台座应符合下列规定：
- （1）承压板和台座的强度和构造应满足锚杆（索）拉力设计值，以及锚具和结构物的连接构造要求。
- （2）承压板及过渡管宜由钢板和钢管制成，过渡钢管壁厚不宜小于5mm。

- 10、锚索杆体居中介隔离架材料应符合下列规定：
- （1）居中介隔离架应由钢、塑料或其他对杆体与注浆体无害的材料组成。
- （2）居中介隔离架不得影响注浆浆体的自由流动。
- （3）居中介隔离架的尺寸应满足预应力筋保护层厚度的要求。
- （4）预应力筋每隔1.5~2.0m应设置隔离架。预应力筋的保护层厚度不应小于20mm，临时性锚索预应力筋的保护层厚度不应小于10mm。
- 11、锚索杆体保护套管材料应符合下列规定：
- （1）应具有足够的强度和柔韧性。
- （2）应具有防水性和化学稳定性，对预应力筋无腐蚀影响。
- （3）应具有耐腐蚀性，与注浆体和防腐剂无不良反应。
- （4）应能抗紫外线引起的老化。
- 12、注浆管应符合下列要求：
- （1）注浆管应有足够的内径，能使浆体压至钻孔的底部，一次注浆和充填灌浆用注浆管应能承受不小于1MPa的压力。
- （2）重复高压注浆管应能承受不小于1.2倍最大注浆压力。
- （3）注浆管应采用高压胶管或塑料软管加工，直径宜为25mm。
- 13、锚索钻孔应采用干钻，当边坡的岩土体稳定性较好时，经充分论证许可，方可采用带水钻进，以防坍孔、缩孔。在不稳定地层中施工时，宜采用套管护壁钻孔。同时钻孔时应注意观察和记录锚孔（尤其是锚索锚固段）岩性，若与设计图出入较大时，应及时通知相关单位进行处理。
- 14、锚固结构防腐
- 锚索的防腐等级和措施，应根据锚索的设计使用年限和所处的地层有无腐蚀性确定，可参考规范规范《公路路基设计规范》（JTG D30）5.5节和《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》（GB 50086）4.5节相关规定。
- （1）腐蚀环境中的永久锚索应采用Ⅰ级双层防腐保护构造，腐蚀环境中的临时性和非腐蚀环境中的永久锚索可采用Ⅱ级简单防腐保护构造。锚索Ⅰ、Ⅱ级防腐构造应符合《公路路基设计规范》（JTG D30）5.5节表5.5.8的要求。
- （2）锚固段、自由段及锚头的防腐材料和构造，应在锚杆施工及使用期不发生损坏，且不影响锚杆的功能。
- （3）锚索在张拉作业完成后，应及时对锚头的有关部件进行防腐保护；需调整预应

力的锚索的锚头宜装设钢质防护罩，其内应充满防腐油脂；不需调整拉力的锚索的锚具、承压板及端头筋体可用混凝土防护，混凝土保护层厚不应小于50mm。

15、锚索总长度应由锚固段长度、自由段长度以及张拉段长度组成。各部分长度确定应满足下列要求：

- (1) 在确定锚索锚固段长度时，应取地层和注浆体间黏结长度与注浆体和锚索体间黏结长度中的大值，且不应小于3.0m，也不宜大于10.0m。当计算确定的锚固段大于10.0m时，宜采取改善锚固段岩体质量、改变锚头结构或扩大锚固段直径等措施。
- (2) 锚索自由段长度受稳定地层界面控制，在设计中应考虑自由段伸入滑动面或潜在滑动面的长度不小于1.0m，且自由段长度不得小于5.0m。
- (3) 张拉段长度应根据张拉机具确定，锚索外露部分长度宜为1.5m。

16、预应力锚索长度不宜大于50.0m。单束锚索设计拉力宜为500~2500kN。锚索间距应以设计的锚固力能对地基提供最大的张拉力为标准，宜为3.0~6.0m，最小间距不应小于2.5m。锚索间距小于2.5m时，应将相邻锚杆的倾角调整至相差3° 以上。

17、锚索与水平面的下俯倾角不宜大于45°，宜采用15°~30°。

18、锚杆（索）试验及监测

- (1) 锚杆（索）试验包括基本试验和验收试验。施工前，应进行锚杆（索）基本试验。基本试验数量取工作锚杆（索）数量的3%，且不少于3根。施工后，应进行锚杆（索）验收试验。锚杆（索）验收试验的数量取工作锚杆的5%，且不少于3根。当有特殊要求时，可适当增加。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>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。锚杆（索）试验内容及要求应符合现行《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》（GB 50086）第12章的有关规定。
- (2) 锚杆（索）监测包括施工期监测和运营期监测，监测数量应取工作锚杆数量的10%，监测项目及其方法可按《公路路基设计规范》JTG D30附录F表F-3选定，监测点应设置在边坡锚固区的关键部位。运营期监测周期应为公路建成营运后不少于一年。

19、未尽事宜参见设计说明或相关规范。

第 4 章 柔性防护系统

一、柔性防护系统类型

柔性防护系统根据其对边坡的加固或拦截或引导的作用形式及主被动受力机理，可分为主动防护系统、被动防护系统及引导防护系统三个细类。主动防护系统按柔性金属网组合及其固定方式分为锚固缝合式和搭接点锚式。被动防护系统按柱脚和基座连接方式分为被动防护网和柔性格栅网。引导防护系统按结构形式分为覆盖式引导防护系统和张口式引导防护系统。

二、柔性防护系统计算及其他注意事项

（一）柔性防护系统工程安全等级及计算参数选取表

1、公路边坡柔性系统工程安全等级参见表 4-1。

表 4-1 不同等级公路边坡柔性防护系统安全等级表

公路等级	高速公路、一级公路	二级公路、三级公路	四级公路
防护等级	I	II	III

柔性防护系统计算一般需要的参数选用表见表 4-2。

表 4-2 柔性防护系统计算参数选用表

项目	主动防护系统	被动防护系统	引导防护系统
参数	k、P、R	V_r 、 h_d 、 D 、 γ_E 、 E_d 、 γ_d 、 d_B	参照被动防护系统

（二）主动防护系统计算

1、锚杆锚固点抗拔力应不小于钢丝绳网抗顶破力的 50%，锚杆和基础设计按照现行《岩土锚杆与喷射混凝土工程技术规程》(GB/50086) 和《建筑桩基础技术规范》(JGJ94) 的规定进行。

2、构件的承载力应符合下式要求：

$$kP \leq R$$

(4－1)

式中：P—荷载标准值；
R—承载力设计值；
k—安全系数，可依据防护工程安全等级，分别取 1.35、1.30、1.25。
荷载标准值 P 可根据可能失稳的岩块对网片产生的静载确定。

$$P = k_n \gamma V$$

(4－2)

式中，V—可能失稳的岩块体积；
 γ —岩石重度；
 k_n —荷载折减系数，根据不同岩性、裂隙育程度、裂隙面的性状，一般取 0.5~1。

（三）被动防护系统计算

1、被动防护网安装位置处，危岩落石冲击平动速度标准值应符合下式要求：

$$v_k \leq v_r$$

(4－3)

式中： v_k —危岩落石冲击平动速度标准值；
 V_r —被动防护网所用柔性金属网的容许危岩落石最大冲击平动速度，宜按被动防护网定型试验时的最大冲击速度提高 5m/s 确定。当缺乏试验数据时，则环形网取 35m/s，其他网型取 30m/s。

2、被动防护网设置位置的落石弹跳高度不应大于被动防护网的有效防护高度，被动防护网的有效防护高度应按下式确定：

$$h_p \geq h_d + D$$

(4－4)

式中： h_p —被动防护网结构有效防护高度（m）；
 h_d —落石弹跳高度（m）；
 D —落石最大长边尺寸，当 D 小于 1m 时，取 1m。

3、被动防护网的防护能级应符合下式要求：

$$E_B \geq \gamma_E E_d$$

(4－5)

式中： E_B —实际采用的被动防护网的防护能级标称值（kJ）；
 γ_E —被动防护网防护能级的防护工程安全等级分项系数，安全等级为I、II、III级时宜分别取为 1.5、1.35、1.2，单道被动防护网仅有一跨或两跨时则应取为 2；

E_d —危岩落石冲击动能设计值（m）。

4、被动防护网与其所保护的区域或建筑物间的顺坡面安全距离应符合下式要求：

$$d_s \geq \gamma_d d_B$$

(4－6)

式中： d_s — 被动防护网与其所保护区或建筑物间的顺坡面安全距离(m)；
 d_B — 被动防护网缓冲距离标准值(m)；

γ_d —— 被动防护网缓冲距离分项系数，一般宜取 1.3。

5、被动防护网系统各锚固点锚固力参考值如下表所示。锚杆和基础设计按现行《岩土锚杆与喷射混凝土工程技术规程》(GB/50086)和《建筑桩基础技术规范》(JGJ94)的规定进行。

表 4-3 被动防护网系统各锚固点所需锚固力选用表

能级（kJ）	各位置所需锚固力（kN）				
	支撑绳	上拉绳	侧拉绳	加固绳	端支撑绳
500	140	80	80	80	/
750	140	80	80	80	/
1000	140	80	80	80	80
1500	160	140	140	80	80
2000	160	140	140	80	80
3000	280	200	200	140	140

（四）引导防护系统计算

- 1、引导防护系统中，张口式引导防护系统拦截部分的设置参照被动防护网。
- 2、覆盖式引导防护系统锚固力应参照网片抗拉强度要求进行设计。
- 3、锚杆和基础设计按现行《岩土锚杆与喷射混凝土工程技术规程》(GB/50086)和《建筑桩基础技术规范》(JGJ94)的规定进行。

（五）其他注意事项

- 1、由于产品标准《边坡柔性防护网系统》(JT/T 1328)中未对系统结构形式做具体规定，而只对系统的性能做了具体要求，故在锚固力设计时应重点考虑系统定型报告中对于这部分力的要求。
- 2、柔性防护网系统工程设计宜采用动态设计原则。

三、主动防护系统设计说明

1、适用条件

主动防护系统适用于危岩落石防护工程。
适用于整体稳定，坡面（表）节理裂隙较发育、危岩体发育厚度较小、深部岩体完整性较好的路堑边坡或坡表地形起伏不大的自然边坡。
不适用于整体稳定性不足的边坡及超出防护等级的浅表层落石防护。

2、设计内容

- （1）结构形式：采用锚杆直接固定或结合支撑绳固定方式，将柔性金属网覆盖在具有潜在地质灾害的坡面上，实现浅表层岩土体稳固。
- （2）其他设计要点

柔性金属网：应按《边坡柔性防护网系统》(JT/T 1328)进行，主网的抗顶破力应满足主动防护系统的标称抗力等级要求，内网抗顶破力不小于 20kN。

按《人造气氛腐蚀试验：盐雾试验》(GB/T 10125)的规定进行中性盐雾试验，钢丝绳、十字卡扣等紧固件和连接构件的中性盐雾试验时间不低于 300 小时，钢丝、由钢丝制成的柔性金属网的中性盐雾试验时间不低于 800 小时。

锚杆锚固点抗拔力应不小于主网抗顶破力的 50%。

基础地层为基岩的 A 类基础，锚杆锚固钻凿孔径不小于 φ50 的锚孔。

地基为土质边坡或松散岩石的 B 类基础，应先清理表层浮土再钻凿孔径不小于 φ50 的锚孔锚固并根据地层情况加长锚杆。

3、主要施工要求

- （1）系统锚杆锚固点抗拔力应不小于环形网抗顶破力试验报告中试验值的 50%。
- （2）锚杆注浆，应保证注浆密实饱满，待浆体强度达到设计强度的 70%后进入下一道工序施工。
- （3）防护网在安装时横向支撑绳宜按 40m~60m 进行分段，通常按 50m 进行分段。
- （4）用钢丝将次网与主网固定，每平方米固定不少于 4 处；每张次网连接处应叠盖 5cm。
- （5）根据现场地形情况，为保证支撑绳紧贴地面，锚杆孔宜选在低凹处。
- （6）当柔性金属网与山体间位置空隙大于 30cm 时在沿支撑绳走向的最低处增设加固锚杆。
- （7）横、纵向钢丝绳每段长度不宜大于 50 米。
- （8）横、纵向钢丝绳长度小于 20m 时两端头各 2 个绳卡，大于 40m 时两端头各 4 个绳卡，20m-40m 之间为 3 个绳卡。

4、质量验收要点

（一）产品质量证明文件验收

1、产品应提交以下质量证明文件：

- （1）柔性金属网抗顶破力检测报告，（2）柔性金属网抗拉强度检测报告，（3）若主网采用环形网应提供环链破断拉力检测报告，（4）若主网采用钢丝绳网应提供紧固件抗错动拉力和紧固件抗脱落拉力检测报告，（5）中性盐雾试验检测报告，（6）原材料合格证（钢丝、钢丝绳）。所有检测报告均由第三方具有 CNAS 或 CMA 认证的检测机构提供，报告有效期两年。
- 2、验证《质量证明文件》的真实性、可追溯性、完整性，确保与投标时提供的《质量证明文件》一致。

3、产品应与产品设计图一致（结构一致、材料型号一致）。

（二）构件与材料验收

1、验收依据：产品设计图、《质量证明文件》。

2、验收内容：构件和材料的规格型号、尺寸、外观、力学性能、防腐性能。

3、验收方法：规格型号、尺寸、外观与《质量证明文件》进行对比验收；力学性能、防腐性能抽样送检，抽样应在到场材料中一次性随机抽取，不得指定或单独送样。确保产品构件、材料性能与设计图和《质量证明文件》完全一致。

4、验收重点：钢丝绳、钢丝的直径和力学性能；柔性金属网（主网、次网）的网孔孔径；若采用环形网应查验其圈数和盘结形式；钢丝绳、钢丝、金属网片的防腐性能。

（三）工程验收

1、安装位置验收

应按照设计图要求进行验收，确保系统能够有效地对落石进行防护。

2、锚固点抗拔力验收

锚孔、基础尺寸应符合设计要求，浇筑前应进行检验；锚固点抗拔力符合设计要求，施工完工后应进行抗拔力检验，上排锚固点应全部进行拉拔力验收，其余锚固点抽检比例为 5%且不应少于 3 个点，并出具第三方检测报告。

3、产品结构验收

（1）产品结构验收应保证工程安装的结构与产品设计图一致。

（2）主动防护系统的验收应核对工程安装的形式、配置、数量、尺寸与设计图是否一致，重点查对支撑绳及缝合绳的绳卡数量，主网和次网的孔径、钢丝和钢丝绳的直径。

四、被动防护系统设计说明

1、适用条件

被动防护系统适用于有崩塌、落石等威胁的公路岩质边坡防护工程，特别适用于有库容缓坡的边坡，起被动拦截作用。

适用于整体稳定、坡体中上部发育有危岩体的边坡，一般设置于坡度相对较缓的坡体中下部、及路堑顶或低矮路堤外自然斜坡。

不适用于整体稳定性不足的边坡及超出防护能级的落石拦截。

2、设计内容

（1）结构形式：采用锚杆、钢柱、支撑绳和拉锚绳等固定支撑方式，将柔性金属网以一定的角度安装在坡面上，实现对落石、泥石流流体中固体物质拦截的作用。

（2）其他设计要点

产品应通过按《边坡柔性防护网系统》（JT/T 1328）、《铁路边坡柔性被动防护产品落石冲击试验方法与评价》（TB/T 3449）规定的方法和评价标准进行的落石冲击试验，获得中国计量认证（CMA）的检测报告，报告应注明易维修性等级。

不同等级公路的被动防护系统易维修性等级应按表 4-4 相应要求确定。

表 4-4 不同等级公路被动防护系统拦截部分易维修性等级表

公路等级	高速公路、一级公路	二级公路、三级公路	四级公路
易维修性等级	A 级	B 级	C 级

柔性金属网：按《边坡柔性防护网系统》（JT/T 1328）规定的试验方法进行抗顶破力试验、抗拉强度试验。

按《人造气氛腐蚀试验：盐雾试验》（GB/T 10125）的规定进行中性盐雾试验，钢柱、基座、钢丝绳和连接构件的中性盐雾试验时间不低于 300 小时，钢丝、由钢丝制成的柔性金属网的中性盐雾试验时间不低于 800 小时。

被动防护网的容许最大冲击速度不宜大于 25m/s，。

被动防护系统的有效防护高度不宜大于 7m。

落石弹跳高度不应大于防护高度减去落石粒径。

被动防护系统设置的位置与被保护对象之间的安全距离应不小于缓冲距离。

防护系统锚固点锚固力应不小于冲击检测报告中对应锚固点上所连接的钢丝绳拉力的合力，且各锚固点抗拔力不小于相应防护能级所需钢丝绳锚固力参考值。

基础地层为基岩的 A 类基础，钢柱地脚锚杆锚固直接钻凿孔径不小于 φ50 的锚孔，锚杆长度 1m。钢丝绳锚杆锚固直接钻凿孔径不小于 φ50 的锚孔。

地基为土质边坡或松散岩石的 B 类基础，钢柱设混凝土基础预埋地脚锚杆锚固。钢丝绳锚杆锚固需开挖基坑，基坑截面尺寸及深度根据防护能级选用。

地基为软土、松散堆积体等特殊地层的 C 类基础，钢柱基础及钢丝绳锚杆基础应进行专项设计。

3、主要施工要求

（1）被动防护系统宜沿等高线布置，钢柱基座放线时，相邻钢柱基座间高差宜控制在 0.5m 以内。

（2）锚杆注浆，应保证注浆密实饱满，待浆体强度达到设计强度的 70%后进入下一道工序施工。

（3）土层或砂砾石地层宜采用人工开挖施工，宜选择在旱季、晴天施工。

（4）防护网在安装时系统宜按 40m~60m 进行分段，通常按 50m 进行分段。

（5）下支撑绳与地面有空隙时宜采用柔性金属网进行填补。

（6）用钢丝将次网与主网固定，每平方米固定不少于 4 处；每张次形网连接处叠盖应大于 5cm。

（7）钢柱安装与坡面之间夹角宜为 75°~85°。

4、质量验收要点

（一）产品质量证明文件验收

1、产品应提交以下质量证明文件：

（1）落石冲击检测报告，（2）柔性金属网抗顶破力检测报告，（3）柔性金属网抗拉强度检测报告，（4）环形网环链破断拉力检测报告，（5）消能装置静力性能检测报告，（6）消能装置动力性能检测报告，（7）中性盐雾试验检测报告，（8）原材料合格证（钢丝、钢丝绳）；所有检测报告均由第三方具有 CNAS 或 CMA 认证的检测机构提供，报告有效期两年。

2、验证《质量证明文件》的真实性、可追溯性、完整性，确保与投标时提供的《质量证明文件》一致。

3、产品应与产品设计图一致（结构一致、材料型号一致）。

（二）构件与材料验收

1、验收依据：《质量证明文件》、设计图。

2、验收内容：构件和材料的规格型号、尺寸、外观、力学性能、防腐性能。

3、验收方法：规格型号、尺寸、外观与《质量证明文件》进行对比验收；力学性能、防腐性能抽样送检，抽样应在到场材料中一次性随机抽取，不得指定或单独送样。确保产品构件、材料性能与设计图和《质量证明文件》完全一致。

4、验收重点：钢丝绳、钢丝的直径和力学性能；柔性金属网（主网、次网）的网孔孔径；钢柱及消能装置的规格尺寸；查对环形网的圈数和盘结形式；钢丝绳、钢丝、金属网片、钢柱、基座的防腐性能。

（三）工程验收

1、安装位置验收

应按照设计图要求进行验收，确保系统能够有效地对落石进行防护。

2、锚固点抗拔力验收

锚孔、基础尺寸应符合设计要求，浇筑前应进行检验；锚固点抗拔力符合设计要求，施工完工后应进对除基座外的所有锚固点进行拉拔力验收（抽检比例 5%，不少于 3 个），并出具第三方检测报告。

3、产品结构验收

应核对工程的结构、配置、数量、尺寸与落石冲击检测报告的结构图是否一致，重点查对钢柱规格、消能装置的安装位置和数量、环形网的规格型号和盘结形式、上下支撑绳的数量和直径、绳卡和卸扣的数量、柔性金属网的孔径。

五、覆盖式引导防护系统设计说明

1、适用条件

覆盖式引导防护系统主要用于危岩落石防护工程。

适用于整体稳定，坡面（表）节理裂隙较发育、岩体结构破碎、不宜过多扰动且清理困难的边坡，一般设置于危岩分布去的顶部且坡脚可进行落石处理的自然或人工边坡。

不适用于整体稳定性不足的边坡及超出防护能级的落石拦截与引导。

2、设计内容

（1）结构形式：采用锚杆、支撑绳、纵横向拉绳等构件，将柔性金属网自然覆盖在具有潜在地质灾害的坡面上，形成以控制落石运动范围和轨迹并引导落石滑落或滚落到预设地点的柔性防护网系统。

（2）其他设计要点

1) 柔性金属网：按《边坡柔性防护网系统》（JT/T 1328）规定的试验方法进行抗顶破力试验、抗拉强度试验。

2)按《人造气氛腐蚀试验：盐雾试验》（GB/T 10125）的规定进行中性盐雾试验，钢丝绳和连接构件的中性盐雾试验时间不低于 300 小时，钢丝、由钢丝制成的柔性金属网的中性盐雾试验时间不低于 800 小时。

3)覆盖式引导防护系统配套柔性金属网抗拉强度应不小于下表"覆盖式引导防护系统配套柔性金属网抗拉强度":

表4-5 覆盖式引导防护系统配套柔性金属网抗拉强度						
型 号	GPS-050-C	GPS-075-C	GPS-100-C	GPS-150-C	GPS-200-C	GPS-300-C
标称防护能	500	750	1000	1500	2000	3000

级（kJ）						
柔性金属网 抗拉强度 kN/m	≥15	≥30	≥45	≥75	≥105	≥165

4) 构件技术要求

a) 柔性金属网：应按照JT/T 1328-2020《边坡柔性防护网系统》规定的试验方法进行抗顶破力试验及抗拉强度试验，主网抗拉强度满足表1，次网抗顶破力不小于20kN、抗拉强度不小于8kN/m；环形网应进行环链破断力试验。

b) 卸扣：强度应符合GB/T 25854-2010《一般起重用D形和弓形锻造卸扣》标准的规定，弓形卸扣等级不低于4级。

c) 钢丝绳夹：应符合GB/T 5976-2006《钢丝绳夹》标准的规定。

d) 缓冲装置：缓冲装置提供变形能力不小于1m。

5) 材料技术要求

a) 钢丝绳：应符合GB/T 20118-2017《钢丝绳通用技术条件》标准的规定，所用钢丝绳强度等级不应低于1770，热镀锌等级不低于AB级。

b) 环形网钢丝：应符合YB/T 5343-2015《制绳用圆钢丝》标准的规定，所用钢丝均采用锌＋5％铝＋混合稀土合金镀层，且钢丝强度应不低于1770MPa。

c) 双绞六边形网、格栅网钢丝：应符合YB/T 5294-2009《一般用途低碳钢丝》标准的规定，所用钢丝均采用锌＋5％铝＋混合稀土合金镀层，且强度不低于410MPa。

d) 钢丝绳锚杆所用钢丝绳等级不应低于1570，热镀锌等级不低于AB级。

6) 锚固系统

a) 覆盖式引导防护系统各型号对应锚固点抗拔力应满足表4-6。

表4-6 覆盖式引导防护系统配套柔性金属网抗拉强度

型 号	GPS-050-C	GPS-075-C	GPS-100-C	GPS-150-C	GPS-200-C	GPS-300-C
主锚固点抗拔力（kN）	≥65	≥100	≥190	≥210	≥240	≥240
次锚固点抗拔力（kN）	≥50	≥70	≥150	/	/	/

b) 钢丝绳锚杆：用单根钢丝绳沿中点折弯，折弯处配鸡心环并用绳卡固定。

c) 钢丝绳锚杆采用直接钻凿锚孔的方式锚固，钻孔直径不应小于 50mm，孔深应超出锚杆锚固长度200mm，采用人工注浆，应保证注浆密实饱满。无侵蚀性环境下，注浆材料一般选用强度不低于M30 水泥砂浆（水泥浆）；地下或地表水有侵蚀性时，根据环境作用等级注浆材料掺加粉煤灰或选

用相应的抗侵蚀性水泥。

3、主要施工要求

（1）锚杆注浆，应保证注浆密实饱满，待浆体强度达到设计强度的 70%后进入下一道工序施工。

（2）锚杆及基础施工宜选择在旱季、晴天施工，土层或砂砾石地层宜采用人工开挖施工。

（3）覆盖式引导防护系统在安装时系统宜按 40m~60m 进行分段，通常按 50m 进行分段。

（4）次网应用钢丝固定在环形网上，每平方米固定不少于 4 处；每张次网连接处应叠盖不少于 10cm，叠盖处采用低碳钢丝缝合。

4、质量验收要点

（一）产品质量证明文件验收

1、产品应提交以下质量证明文件：（1）柔性金属网抗顶破力检测报告，（2）柔性金属网抗拉强度检测报告，（3）环形网环链破断拉力检测报告，（4）中性盐雾试验检测报告，（5）原材料合格证（钢丝、钢丝绳）；所有检测报告均由第三方具有CNAS或CMA认证的检测机构提供，报告有效期两年。

2、验证《质量证明文件》的真实性、可追溯性、完整性，确保与投标时提供的《质量证明文件》一致。

3、产品应与产品设计图一致（结构一致、材料型号一致）。

（二）构件与材料验收

1、验收依据：产品设计图、《质量证明文件》。

2、验收内容：构件和材料的规格型号、尺寸、外观、力学性能、防腐性能。

3、验收方法：规格型号、尺寸、外观与《质量证明文件》进行对比验收；力学性能、防腐性能抽样送检。确保产品构件、材料性能与设计图和《质量证明文件》完全一致。

4、验收重点：钢丝绳、钢丝的直径和力学性能；柔性金属网（环形网、双绞六边形网、格栅网）的网孔孔径；环形网应查验其圈数和盘结形式；钢丝绳、钢丝、金属网片的防腐性能。

（三）工程验收

1、安装位置验收

应按照设计图要求进行验收，确保系统能够有效地对落石进行防护。

2、锚固点抗拔力验收

锚孔、基础尺寸应符合设计要求，浇筑前应进行检验；锚固点抗拔力符合设计要求，锚固点施工完成后应进行抗拔力检验，上排锚固点应全部进行拉拔力验收，其余锚固点抽检比例为5%且不应少于3个点，并出具第三方检测报告。

3、产品结构验收

- （1）产品结构验收应保证工程安装的结构与产品设计图一致。
- （2）覆盖式防护系统的验收应核对工程安装的形式、配置、数量、尺寸与设计图是否一致，重点查对支撑绳及缝合绳的绳卡数量，环形网、双绞六边形网和格栅网的孔径、钢丝和钢丝绳的直径。

5、其他

锚杆材料及型式可根据现场条件选用钢丝绳锚杆、螺纹钢锚杆或自进式锚杆等。

六、张口式引导防护系统设计说明

1、适用条件

主要用于危岩落石防护工程。
适用于整体稳定，坡面（表）节理裂隙较发育、岩体结构破碎、不宜过多扰动且高差较大清理困难的边坡，一般设置于边坡中上部且坡脚可进行危岩落石处理的自然或人工高陡边坡。

根据系统引导能量不同，适用于拦截并引导相应能量以内的落石。
不适用于整体稳定性不足的边坡及超出防护能级的落石拦截与引导。

2、设计内容

- （1）结构形式：顶部结合钢柱、拉锚绳、支撑绳等固定方式，将柔性金属网以一定的角度张开，形成以控制落石运动范围和轨迹并引导落石滑落或滚落到预设地点的柔性防护网系统。
- (2)其他设计要点
产品拦截部分应通过按 JT/T 1328-2020《边坡柔性防护网系统》、TB/T 3449-2016《铁路边坡柔性被动防护产品落石冲击试验方法与评价》规定的方法和评价标准进行的落石冲击试验，获得中国计量认证（CMA）的检测报告，报告应注明产品易维修性等级。

不同等级公路的张口式引导系统拦截部分易维修性等级应按表 4-7 相应要求确定。

表 4-7 不同等级公路张口式引导系统拦截部分易维修性等级表			
公路等级	高速公路、一级公路	二级公路、三级公路	四级公路
易维修性等级	A 级	B 级	C 级

柔性金属网：按《边坡柔性防护网系统》（JT/T 1328）规定的试验方法进行抗顶破力试验、抗拉强度试验。

按《人造气氛腐蚀试验：盐雾试验》（GB/T 10125）的规定进行中性盐雾试验，钢柱、基座、钢丝绳和连接构件的中性盐雾试验时间不低于 300 小时，钢丝、柔性金属网的中性盐雾试验时间不低于 800 小时。

防护系统锚固点锚固力应不小于冲击检测报告中对应锚固点上所连接的钢丝绳拉力的合力，且各锚固点抗拔力不小于相应防护能级所需钢丝绳锚固力参考值。

钢丝绳锚杆：用单根钢丝绳沿中点折弯，折弯处配鸡心环并用绳卡固定。

地脚锚杆:由φ25螺纹钢筋加工制作，锚固长度不小于900mm，顶端丝口M24×100mm，并配相应垫片和螺母。锚杆端头部分以及垫片、螺母出厂前和安装完成后均应做防锈处理。

钢丝绳锚杆采用直接钻凿锚孔的方式锚固，钻孔直径不应小于50mm，孔深应超出锚杆锚固长度200mm，采用人工注浆，应保证注浆密实饱满。无侵蚀性环境下，注浆材料一般选用强度不低于M30水泥砂浆（水泥浆）；地下或地表水有侵蚀性时，根据环境作用等级注浆材料掺加粉煤灰或选用相应的抗侵蚀性水泥。

钢柱基座基础分A、B两类：

A类：当基础地层为硬质岩或完整弱风化软质岩时：

钢柱地脚锚杆锚固长度不小于900m，直接钻凿孔径不小于50mm，注浆应密实饱满，水泥砂浆强度不低于M30，地下或地表水有侵蚀性时，根据环境作用等级注浆材料掺加粉煤灰或选用相应的抗侵蚀性水泥。

B类：当基础地层为土层或风化破碎软岩时：

钢柱设现浇砼基础，并与预埋的地脚锚杆（锚固长度不小于 900m）锚固（若位于季节性冻土区，埋深应根据冻胀深度确定），混凝土强度等级根据环境作用等级选用相应标号且不低于 C30，砼基础顶面采用水泥砂浆（水泥浆）抹平。基础采用垂直掏槽方式施工，宜选择在旱季、晴天施工，应及时预埋地脚锚杆并浇注混凝土。

3、主要施工要求

- （1）拦截部分宜沿等高线布置，钢柱基座放线时，相邻钢柱基座间高差宜控制在 0.5m 以内。
- （2）锚杆注浆，应保证注浆密实饱满，待浆体强度达到设计强度的 70%后进入下一道工序施工。

（3）锚杆及基础施工宜选择在旱季、晴天施工，土层或砂砾石地层宜采用人工开挖施工。

（4）张口式引导防护系统在安装时系统宜按 40m~60m 进行分段，通常按 50m 进行分段。

（5）拦截部分次网应用钢丝固定在主网上，每平方米固定不少于 4 处；引导部分次网铺挂在坡面上，次网与主网之间用钢丝固定，每平方米固定不少于 4 处，每张次网连接处应叠盖不少于 10cm，叠盖处采用低碳钢丝缝合。

（6）钢柱安装与坡面之间夹角宜为 75°~85°。

4、质量验收要点

（一）产品质量证明文件验收

1、产品应提交以下质量证明文件：

（1）落石冲击检测报告，（2）柔性金属网抗顶破力检测报告，（3）柔性金属网抗拉强度检测报告，（4）环形网应提供环链破断拉力检测报告，（5）中性盐雾试验检测报告，（6）消能装置静力性能检测报告，（7）消能装置动力性能检测报告，（8）原材料合格证（钢丝、钢丝绳）；所有检测报告均由第三方具有CNAS或CMA认证的检测机构提供，报告有效期两年。

2、验证《质量证明文件》的真实性、可追溯性、完整性，确保与投标时提供的《质量证明文件》一致。

3、产品应与产品设计图一致（结构一致、材料型号一致）。

（二）构件与材料验收

1、验收依据：《质量证明文件》、设计图。

2、验收内容：构件和材料的规格型号、尺寸、外观、力学性能、防腐性能。

3、验收方法：规格型号、尺寸、外观与《质量证明文件》进行对比验收；力学性能、防腐性能抽样送检，抽样应在到场材料中一次性随机抽取，不得指定或单独送样。确保产品构件、材料性能与设计图和《质量证明文件》完全一致。

4、验收重点：钢丝绳、钢丝的直径和力学性能；柔性金属网（主网、次网）的网孔孔径；钢柱及消能装置的规格尺寸；查对环形网的圈数和盘结形式；钢丝绳、钢丝、金属网片、钢柱、基座的防腐性能。

（三）工程验收

1、安装位置验收

应按照设计图要求进行验收，确保系统能够有效地对落石进行防护。

2、锚固点抗拔力验收

锚孔、基础尺寸应符合设计要求，浇筑前应进行检验；锚固点抗拔力符合设计要求，施工完工后应进对除基座外的所有锚固点进行拉拔力验收（抽检比例5%，不少于3个），并出具第三方检测报告。

3、产品结构验收

应核对工程的结构、配置、数量、尺寸与落石冲击检测报告的结构图是否一致，重点查对钢柱规格、消能装置的安装位置和数量、环形网的规格型号和盘结形式、上下支撑绳的数量和直径、绳卡和卸扣的数量、柔性金属网的孔径。

七、柔性防护系统通用参考图

本规范用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在规程总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。
- 2) 在规程条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本规程中的其他规定时，应表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应符合按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。