

# 锚固技术在高切坡稳定性中的应用

郭志明

(武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:**大型水利设施建设过程中产生了许多人工边坡,根据边坡的特点,确定工程治理方案,是紧密结合工程实践的重要课题. 峡口码头高切坡,处于硬软岩性的交接部位,自然地形陡缓有别,岩体中裂隙发育,多为层状结构和碎裂结构,其稳定性受层面的控制,在切坡初期,常产生规模不等的滑移破坏,在工程地质调查的基础上,基于小变形的假设和有限元分析,运用典型的稳定性分析方法,确定潜在滑动面,进行工程地质网格剖分,确定潜在剖面推力曲线. 提出了锚固地梁技术治理措施与复杂岩体结合的较完整研究思路.

**关键词:**锚固技术;人工高边坡;岩体;顺向坡

**中图分类号:**TU432

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.09.013

## 0 引 言

工程岩体十分复杂,受到自然地质作用与人类工程活动的复合影响,地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件等都影响高切坡的稳定性. 锚固,最早在建筑加固中的钢筋的锚固是指钢筋被包裹在混凝土中,增强混凝土与钢筋的连接,使建筑物更牢固,目的是使两者能共同工作以承担各种应力,即使混凝土与钢筋协同工作以承受来自各种荷载产生压力、拉力以及弯矩、扭矩等. 锚固锚杆,在岩石或土壤钻孔或挖井后灌入混凝土,也有在底部用高压灌浆的固定方法. 锚固后,被锚固体的承载力决定周边的剪力和锚底的阻力. 地梁也称为基础梁,圈起来有闭合的特征,与构造柱共成抗震限裂体系,减缓不均匀沉降的负作用. 与地圈梁有区别,(地梁)基础梁主要起联系作用,增强水平面刚度,有时兼作底层填充墙的承托梁,不考虑抗震作用. 在基础梁的现有计算方法中,较有代表性的是以下两种:**a.**对墙下基础梁,可视承台梁以上墙体为半无限平面弹性体,基础梁与墙体(半无限弹性体)共同变形,视基础梁为桩顶荷载作用下的倒置弹性地基梁,按弹性理论求解基础梁的反力,经简化后作为作用在基础梁上的荷载,然后按普通连续梁计算内力.**b.**对柱下条形基础梁,可视弹性地基梁计算,即将桩顶反力作为集中力作用在梁上,柱为梁的支座,按普通连续梁分析其内力,桩顶反力按弹性地基架计算确定. 根据工程岩体的特性采用锚固与格构相结合技术,

使岩石荷载压力、拉力以及弯矩发生改变,可以实现工程岩体相对固定.

## 1 工程地质特征

1999 年 3 月至 2000 年底,兴山县峡口镇码头及高岚河大桥施工,在临山斜坡形成了以岩质为主的高切坡,该高切坡总体坡向为 NNE25°~30°,坡面倾向西. 坡底高程 177~188 m,坡顶高程一般 200~228 m,最高达 245 m. 坡高一般 20~30 m,最高 47 m. 高切坡所处硬软岩性的交接部位,因而自然地形陡缓有别,也决定了高切坡形态特征各异. 峡口镇码头一带原系香溪河左岸斜坡,斜坡的走向近南北、倾向西. 在自然状态下,临河第一斜坡坡顶高程 800 m 左右,香溪河河底高程 117~120 m,自然状态下斜坡坡度 30~45°,在临高岚河出口地带达 50°以上. 高切坡主要由三叠系嘉陵江组灰岩、巴东组泥灰岩、侏罗系香溪组长石石英砂岩、粉砂岩组成岩层产状 280~285°∠35~43°. 高切坡现场调查坡长 120 m,切坡面积 5 600 m<sup>2</sup>. 高切坡治理前岩体中裂隙发育,多为层状结构和碎裂结构,其稳定性受层面的控制,在切坡初期,常产生规模不等的滑移破坏. 现在切坡顶仍悬挂有较多的岩土体,高切坡的坡脚又多切穿部分砂岩层,即存在一定的临空面,因而在切坡的顶部和底部均存在不稳定的岩土体,因此小规模变形滑移时有发生. 工程的具体治理目标是:保证长江三峡工程移民工程的顺利进行不至影响按预期计划蓄水发电;在进行移民工程建设的过程中不会发

生施工扰动影响边坡体的稳定性;保证峡口高切坡在设计使用年限内的正常营运和安全.

在调查钻孔取样室内试验测试结果,综合类  
比长江水利委员会综合勘测局的《长江三峡水利  
枢纽库区兴山县迁建城镇新址地质论证报告》(详

勘)等资料<sup>[1-4]</sup>的基础上,确定各岩层的物理力学  
指标如表 1. 表中所列为实验室对岩块所测的试  
验值,其岩体的力学指标根据本边坡岩体裂隙发  
育程度及岩体完整性进行折减,一般岩体的抗剪  
强度  $C$  值取岩块的 20%, $\phi$  值取岩块的 80%.

表 1 峡口码头高切坡岩土体物理力学性质指标值							
Table 1 Index ualue of the physical and mechanical properties of soil and rock for Xiakou wharf of Xingshan County							
岩石名称	风化状态	天然容重 g/cm <sup>3</sup>	抗压强度/ MPa	变形模量/ MPa	泊松比	承载力标准值/ kPa	抗剪强度参数 c/MPa $\phi/(^{\circ})$
泥质粉砂岩	中等风化	2.66	20	3.8	0.25		1.68    34
碎石土		2.0				200~300	0.02    32
粉砂岩中的结构面						35	25

2 边坡稳定性分析与评价

2.1 边坡稳定性计算方法

从高切坡的地质结构特征可确定高切坡将会  
沿顺岩层层面发生整体滑移的变形模式.

对可能产生折线滑动的高切坡应采用推力传  
递系数法进行计算. 考虑高切坡区域可能遇到的  
各类情况,特别是最危险的情况,由于区内基本地  
震烈度为 6 度,可不考虑地震的影响,故综合确定  
以下两种计算工况. 工况一:天然(自重)状态;工  
况二:自重+暴雨. 本高切坡的安全等级为二级,  
根据《建筑边坡工程技术规范》<sup>[5]</sup>规定,采用折线  
滑动法计算,边坡稳定安全系数取 1.30.

2.2 典型剖面的选择与潜在滑面的确定

在现场调查及在工程地质分析基础上,选取  
代表性工程地质剖面进行稳定性评价.

2.3 计算结果

在以上模型与参数给出的情况下,利用折线滑  
动法对潜在滑面进行稳定性计算,计算结果见表 2.

表 2 各潜在滑面稳定性系数计算结果			
Table 2 Efforts of the stability coefficient of the potential sliding surance on computation			
潜在滑面	稳定性系数		安全系数
	天然状态	暴雨状态	
顺层滑动面	1.22	1.013	1.30

2.4 边坡稳定性评价

高切坡稳定性分析与计算表明,高切坡目  
前的整体稳定性安全储备不高. 随着风化作用的加  
强,结构面强度的降低,在强降雨的情况下,有可能  
发生失稳,产生顺层滑移,进行工程治理十分必要.

3 治理方案研究

高切坡治理方案应结合斜坡变形破坏的特点  
及项目所在区域环境经济特点综合分析确定. 常  
见的加固措施有:削坡整形、挡土墙、格构、抗滑桩

及锚固措施及其组合. 大规模的削坡整形会造成  
区域环境资源的破坏,挡土墙只在坡面以土体为  
主及下滑力不大的前提下应用,抗滑支挡措施不  
经济. 该切坡由破碎岩体和滑坡体组成,局部有整  
体滑动的危险,为防止在暴雨作用下,边坡有可能  
发生顺层滑动破坏,分析认为采取预应力锚索+  
地梁的措施进行治理是恰当的.

3.1 推力计算

根据高切坡的特征,选择典型剖面进行推力计  
算<sup>[6-7]</sup>. 根据稳定性计算结果,对安全储备不高的工  
况进行推力计算,有关计算参数根据实验与经验值  
分析确定见表 1. 采用传递系数法(推力传递法),典  
型剖面计算模型及条分见图 1,剩余下滑力分布曲  
线见图 2. 剖面剩余推力模拟计算值为 520 kN/m.

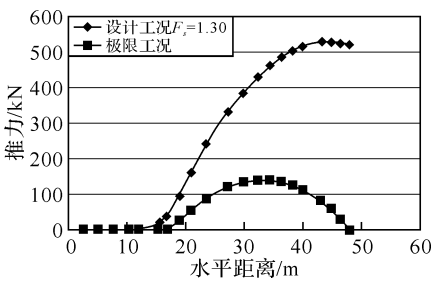


图 1 工程地质剖面潜在滑体网格剖分图

Fig. 1 Grids curve of the potential sliding body for the engineering geological body

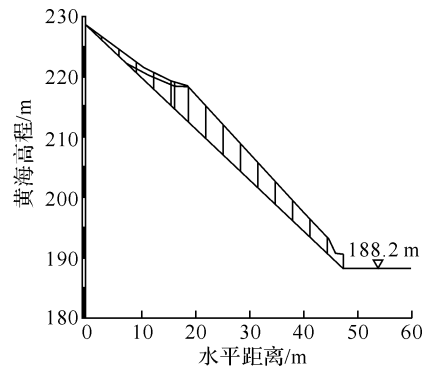


图 2 潜在剖面推力曲线

Fig. 2 Push power curve for the potential slidingsurface

3.2 地梁方案确定

基础梁上所分配的荷载一旦确定,就可按纵向梁上所分配的荷载,以单向条形基础进行计算.

格构梁设计尺寸采用  $b \times h = 400\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ ,梁跨比  $b/L = 0.4/4.0 < 1/6$ ,为弹性基础,故可按弹性基础进行结构计算确定.

a. 地梁承载荷载计算<sup>[8]</sup>. 锚索+地梁方案中锚索锚固力按 1 000 kN 进行设计,锚固角取  $20^\circ$ ,地表倾角为  $46^\circ$ . 地梁承载的荷载  $F_i$  是锚索锚固力在垂直地梁方向的分力,那么地梁承担的荷载为

$$F_i = N_a \sin(\alpha + \phi) = 913.5\text{ kN}$$

b. 地梁结构确定. 地梁结构可以采用各种结构,采用矩形截面,是一种常见的结构形式,其承载能力确定思路如下.

①承载力计算

正截面承载力计算. 简化计算采用公式(1).

$$M \leq M_u = \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) \tag{1}$$

混凝土受压区高度确定:

$$\alpha_1 f_c b x = f_y A_s \tag{2}$$

式(1)(2)中  $M$  为弯矩设计值; $M_u$  为正截面极限抵抗弯矩; $\alpha_1$  为系数,按文献[9]第 7.1.3 条的规定计算; $f_c$  为混凝土轴心抗压强度设计值,按文献[9]表 4.1.4 采用; $f_y$  为钢筋的抗拉强度设计值,按文献[9]表 4.2.3 采用; $A_s$  为受拉区纵向钢筋的截面面积; $b$  为截面宽度; $x$  为按等效矩形应力图计算的受压区高度; $h_0$  为截面有效高度, $h_0 = h - a_s$ , $a_s$  为受拉钢筋合力点至截面受拉边缘距离,当为一排钢筋时, $a_s = c + d/2$ ,其中  $d$  为钢筋直径, $c$  为混凝土保护层厚度.

设相对有效高度  $\zeta = \frac{x}{h_0}$ ,即  $x = \zeta h_0$ ,带入(1)和(2)求得

$$\zeta = 1 - \sqrt{1 - \frac{2M}{\alpha_1 f_c b h_0^2}} \tag{3}$$

从而 
$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b h_0 \zeta}{f_y} \tag{4}$$

根据计算需要的截面面积选用锚索直径,锚索截面面积不应小于计算要求截面面积. 同时配筋率  $\rho$  满足

$$\rho_{\min} \leq \rho (= \frac{A_s}{bh_0}) \leq \rho_{\max} = \zeta_b \alpha_1 \frac{f_c}{f_y} \tag{5}$$

式(5)中  $\rho_{\min}$  和  $\zeta_b$  取值参考文献[9]中的表 4-1.

斜截面承载力计算. 矩形截面的受弯构件,其受剪截面应符合下列条件:

$$\text{当 } h_w/b \leq 4 \text{ 时, } V \leq 0.25 \beta_c f_c b h_0 \tag{6}$$

$$\text{当 } h_w/b > 4 \text{ 时, } V \leq 0.2 \beta_c f_c b h_0 \tag{7}$$

式(6)(7)中  $V$  为构件斜截面上的最大剪力设计值; $\beta_c$  为混凝土强度影响系数:当混凝土强度等级不超过 C50 时,取  $\beta_c = 1.0$ ;当混凝土强度等级不超过 C80 时,取  $\beta_c = 0.8$ ;其间按线性内插法确定; $h_w$  为截面的腹板高度;对矩形截面,取有效高度.

同时,无预应力钢筋矩形截面的一般受弯构件,当仅配置箍筋时,其斜截面的受剪承载力应符合下列规定:

$$V \leq V_{cs} \tag{8}$$

$$V_{cs} = 0.7 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \tag{9}$$

式(8)(9)中  $V$  为构件斜截面上的最大剪力设计值; $V_{cs}$  为构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值; $A_{sv}$  为配置在同一截面箍筋各肢的全部截面面积; $A_{sv} = n A_{sv1}$ ,此外, $n$  为在同一截面内箍筋的股数, $A_{sv1}$  为单肢箍筋的截面面积; $s$  为沿构件长度方向的箍筋间距;文献[9]表 4.2.3-1  $f_y$  值[10]采用.

$f_t$  为混凝土轴心抗拉强度设计值,按文献[9]表 4.1.4 采用.

对地梁锚索布置位置左右一定范围内箍筋要加密. 依文献[9]第 10.1.10 条规定,加密范围从钻孔外壁向外的分布长度不应小于  $1.5h_0$ ;箍筋应做成封闭式,直径不应小于 6 mm,间距不应大于

$$h_0/3. \text{ 同时箍筋配筋率应满足 } \rho_{sv} = \frac{A_{sv}}{bs} \geq 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}}.$$

箍筋在满足了上述规定以后,如果箍筋选得较粗而布置较稀,则可能因箍筋间距过大在两根箍筋之间出现不与箍筋相交得斜裂缝,使箍筋无法发挥作用. 为此参照文献[9]确定箍筋得最大间距  $s_{\max}$ (见文献[9]表 10.2.10),箍筋和弯起钢筋得间距均不应超过  $s_{\max}$ .

②内力计算

以单向条形基础进行计算,根据上面分析,此地梁可认为是弹性地基,故对单向条形基础可采用 winkler 地基上梁法进行内力计算.

钢筋地梁与锚索复合结构是一种兼顾深层加固与浅层护坡的治理措施. 地梁锚固是一种较新型可靠的边坡加固技术,不需动用大型机械设备,可使坡体尽早稳固. 地梁首先起表层护坡作用,在地梁上加锚索,锚索锚于滑动面以下稳定地层中,预应力锚索主动抗滑.

钢筋混凝土地梁是索集中荷载通过基础梁共同作用传递到地基上. 计算了每个结点荷载后,地梁可以看作一个独立的单向条形基础,然后可以

计算单向条形基础受力后对荷载的传递作用见图 3 图 4.

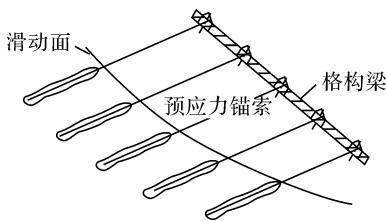


图 3 地梁锚固力学模型

Fig. 3 Mechanics mode of the anchoring ground beam

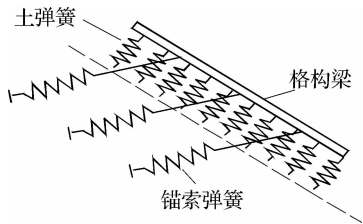


图 4 地梁锚固示意图

Fig. 4 Schematic diagram for the anchoring ground beam

据文献[9]规定,梁中砣采用 C25,纵筋为 II 级螺纹筋,箍筋为 I 级钢筋.其中有关参数取值为: $E=3.0e7\text{ kPa}$ , $k=3e5\text{ kPa}$ ,按 winkler 地基上梁法根据锚索荷载对地梁进行内力计算和配筋.纵横梁剪力、弯矩计算如图 5 图 6.

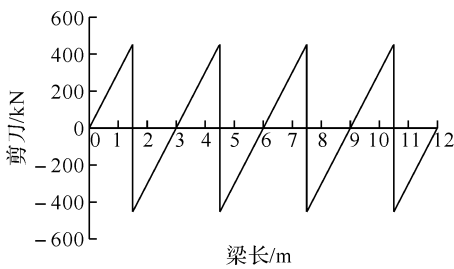


图 5 剪力分布图

Fig. 5 Distribution graph of the shearing force

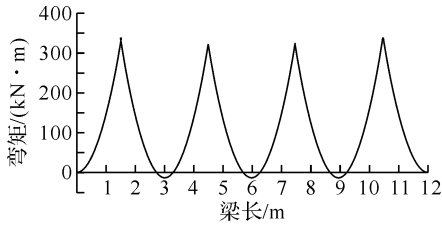


图 6 弯矩分布图

Fig. 6 Distribution graph of the biegmoment  
最大剪力: $V_{\max}=461.4\text{ kN}$   
最大弯矩:锚索作用点处截面  $M_{\max}=338.42\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,跨中最大负弯矩  $|M_{\min}|=21.12\text{ kN}\cdot\text{m}$ .

③结构方案确定

纵筋计算.按受弯构件正截面承载力计算纵筋,钢筋保护层按 50 mm 计.

锚索作用点处截面  $M_{\max}=338.42\text{ kN}\cdot\text{m}$ .选用 6 $\Phi$ 28 的 II 级螺纹筋;

跨中最大负弯矩  $|M_{\min}|=21.12\text{ kN}\cdot\text{m}$ .选用 3 $\Phi$ 28 的 II 级螺纹筋;

箍筋选择.在剪力最大值处截面即锚索作用点处截面进行纵梁的斜截面承载能力计算, $V_{\max}=461.4\text{ kN}$ ,根据计算  $V_c=194.38\text{ kN}<V_{\max}$ ,故需配置箍筋,采用  $\Phi$ 12@100 的双肢箍筋, $V_{cs}=511.44\text{ kN}>V_{\max}$ ,不需再配置弯起筋.对格构纵横梁交叉处一定范围内纵横梁内箍筋应加密,加密范围为左右各 500 mm 间距内采用  $\Phi$ 12@50.

人工边坡岩土力学性质因结构特征的差异,稳定性不同,治理施工条件的不同,如何科学合理确定治理方案,确定工程结构,是一个复杂的问题.

参考文献:

[1] 郭志明. 泥灰岩质高陡边坡加固技术及其应用研究——以湖北省聂家沟大桥高切坡为例. 武汉大学学报[J]. 2009,31(5):37-40.  
[2] 长江水利委员会综合勘探局. 水利枢纽库区兴山县迁建城镇新址地质论证报告[R]. 武汉:长江水利委员会综合勘探局,1997.  
[3] 郭志明. 人工土质边坡加固技术及其应用研究——以三峡库区湖北省巴东县孔堡二组人工土质边坡为例[J]. 硅谷,2009(4):85-86.  
[5] 中华人民共和国建设部. GB50330-2002 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京:中国建筑出版社,2004.  
[4] 郭志明. 岩质顺向人工边坡稳定性分析和治理方案分析[J]. 才智,2009(2):89-93.  
[6] 陈祖煜. 土质边坡稳定性——原理方法程序[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.  
[7] 潘别同. 工程岩体强度估算方法[J]. 地球科学,1985,1(1):34-37.  
[8] Shpiro A. Statistical analysis of jointed rock data[J]. int J Rock Mech min sci and Geomech abstract,1991,28:375-383.  
[9] 中华人民共和国建设部. GB50010-2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2003.  
[10] 中华人民共和国建设部. 预应力锚索混凝土结构设计规范[M]. 北京:中国建筑出版社,2004.