

格构梁与锚索注浆复合结构在加固边坡工程中的应用研究

徐小华^{1,2}

(1. 中国地质大学(武汉)计算机学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖南省隧道工程总公司, 湖南 益阳 413000)

摘要:格构梁与锚杆(索)复合结构是治理滑坡的一种有效措施。系统阐述了格构梁与锚杆(索)复合结构的作用机理,格构梁简化为受多个集中力作用的弹性地基梁进行计算的原理与步骤,锚管注浆加固裂隙岩体的设计实施过程,并将其应用于具体实例的边坡治理中,取得了满意的结果,可为同类工程提供参考。

关键词:格构梁;锚索;注浆;Winkler 弹性地基梁;滑坡治理

中图分类号:P642.22 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2009)05-0072-03

Application Research on Composite Structure with Lattice Beam and Anchor Cable Grouting in Slope Reinforcement/XU Xiao-hua (1. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Hunan Tunnel Engineering Company, Yiyang Hunan 413000, China)

Abstract: The composite structure with lattice beam and anchor cable grouting is an effective engineering measure in landslide treatment. The paper elaborated the mechanism of lattice beam and anchor cable grouting, calculation principle and steps of lattice beam being simplified as Winkler elastic foundation beam with concentrated forces and design & construction process of anchor cable grouting in fractured rock reinforcement. The composite structure was applied in side slope reinforcement, satisfactory results were obtained.

Key words: lattice beam; anchor cable; grouting; winkler elastic foundation beam; landslide treatment

0 引言

混凝土格构锚固体系是将传统的格构护坡和锚杆(索)加固为一体,利用钢筋混凝土格构梁进行坡面防护,并结合锚杆或锚索进行深层加固,形成的一种有效的复合抗滑护坡体系。这一新型支挡加固结构加固效果可靠,能较好的适应地形,施工方便,已开始广泛应用于边坡防护工程中。但是,在国内对混凝土格构锚固体系中格构梁的研究并不成熟,缺乏设计与施工规范,而将锚索技术与格构梁结合起来进行边坡防护也多停留在经验阶段,缺乏系统的研究。本文利用工程实例,结合相关的分析理论对该支护方法进行了系统的论述,为类似工程的加固设计提供参考。

1 格构梁与锚索注浆复合结构作用机理

格构梁与锚杆(索)注浆复合结构是水泥浆液通过锚孔注入裂隙岩体的缝隙中,使其在缝隙内扩散、胶凝或固化,达到加固裂隙岩体,提高岩体强度与整体性以及锚杆的锚固力,混凝土格构梁通过格构梁交叉点处的锚杆(索)锚固于深层稳定岩体。从传力机理上看,现浇钢筋混凝土格构梁与锚杆

(索)复合结构通常是一种被动支挡结构,格构梁受坡体下滑力作用发生变形,与格构梁相连的锚杆(索)随之拉伸,产生阻止梁外移的拉力,梁受到锚杆(索)作用后对斜坡产生压力,该力与下滑力平衡,使斜坡稳定。

1.1 水泥浆液在岩体水平单一裂隙中的流动机理

1.1.1 水泥浆液的流动沉积特性

水泥浆液颗粒沉积是裂隙被注浆材料充填的原因。浆液存在一最小流动速度 V_{kp} ,即水泥颗粒开始沉积的临界速度值。当 $V < V_{kp}$ 时,固相开始沉积,裂隙壁底处沉积物增加,直到浆液速度达到 V_{kp} 时为止。确定临界速度值半经验公式^[1]为:

$$V_{kp} = K(g\delta)^{1/2} \left[\frac{V^2(\rho_T - \rho_B)\sigma^m}{6fgd_{ep}\rho_B} \right]^{3/7} \quad (1)$$

式中: K ——修正系数, $K = 1.25$; g ——重力加速度, m/s^2 ; V ——水泥颗粒的水中下沉速度, m/s ; d ——裂隙宽度, m ; ρ_T 、 ρ_B ——分别为水泥颗粒、水的密度, kg/m^3 ; σ ——溶液中固体颗粒的含量; f ——裂隙中水的阻力系数; d_{ep} ——水泥颗粒的特征尺寸, m ; m ——经验指标。

1.1.2 水泥浆液在岩体裂隙中的沉积排水机理

收稿日期:2008-12-11

作者简介:徐小华(1967-),男(汉族),湖南常宁人,中国地质大学(武汉)硕士在读,湖南省隧道工程总公司副总经理、高级工程师,探矿工程(掘进)专业,从事隧道及相关专业的技术管理工作,湖南省益阳市益阳大道367号,xuxiaohua414@163.com。

裂隙岩体注浆所用水泥浆液的水灰比多为 1 ~ 5 之间,水泥水化需 5% ~ 25% 的水,而其余 75% ~ 95% 的水则属于多余的。其作用仅为输送浆液,将水泥颗粒输送至预定地点后,多余水分应排除。德国的 C. 库茨纳尔(Cristian Kutzner,1964)认为,注浆过程分为“填满”与“饱和”两个阶段,在填满阶段,浆液进入并充填了裂隙的绝大部分,在饱和阶段,浆液中的多余水分在饱和和压力下产生类似太沙基土力学的固结现象而排出,使得水泥颗粒彼此接近^[2]。

1.2 锚杆(索)锚固机理

1.2.1 锚杆(索)荷载传递机理

Lutz 和 Gergeley(1967)^[3], Hanson(1969)^[4] 等认为,钢锚杆表面上存在着微观的粗糙皱曲,浆体围绕着锚杆充满这些皱曲而形成一个灌浆柱,在锚索(杆)和灌浆体之间的结合破坏之前,其结合力发挥作用;当锚杆和浆体发生一定的相对的位移之后,两者界面的某些地方就要遭到破坏,这时锚杆和灌浆柱之间摩擦阻力就发挥主要作用,而且摩擦阻力是随灌浆体的剪胀而增加,增大锚索(杆)表面的粗糙度就能提高摩擦阻力,对灌浆体而言则提高了其剪切强度。灌浆体的强度及厚度成为承载力的控制因素。

1.2.2 锚杆(索)对裂隙岩质边坡的加固机理

(1) 支撑作用:锚杆(索)能限制、约束边坡岩土体变形,并向岩土体施加压力,从而使处于二维应力状态的地层外表面岩土体转变为三维应力状态,提高了岩土体强度。

(2) 增强作用:对于节理密集破碎岩体,施加锚杆(索),可使破碎岩体具有完整性,增强了锚固区岩土体的强度(如弹性模量 E 、粘聚力 c 等)。

(3) 销钉作用:锚杆(索)穿过滑动面时,表现出的阻滑抗剪作用。

2 格构梁设计模型与流程

2.1 计算模型

格构梁的计算最初是采用倒梁法^[5],将框架视为倒置的交叉梁格体系,坡面反力视为荷载,锚索作用点视为支座,认为整个框架为刚性,假定坡面反力呈均匀直线分布,将纵横梁看成相互独立的连续梁。它忽略了格构梁在锚固力作用下产生的变形,和随之引起的底部反力的不均匀分布,而使设计偏于保守。本文采用杨明^[6],许英姿^[7,8]提出的采用 Winkler 地基模型,假设格构梁为弹性,并将之视为受多个集中力作用的有限长梁进行计算。其计算力学模型如图 1 所示。实际计算中,考虑到钢筋混凝土格

构梁是由纵梁和横梁交叉连接而成,先假定纵梁刚度远大于横梁,则可忽略横梁对荷载传递的影响,这样可以仅计算纵梁受力后对荷载的传递作用。

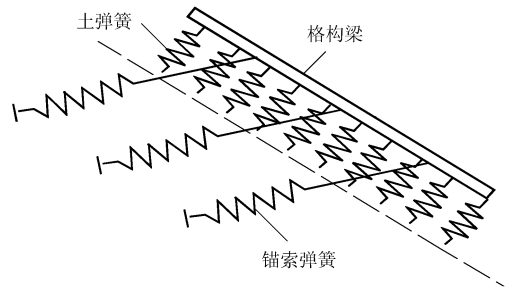


图 1 格构锚固力学模型

2.2 格构锚索设计流程

- 第一步:确定治理工程安全等级及设计安全系数;
- 第二步:选取典型工程地质设计剖面;
- 第三步:斜坡稳定性评价,剩余下滑力计算;
- 第四步:锚索设计;
- 第五步:格构梁设计;
- 第六步:锚头及其它构造设计。

3 实例分析

3.1 工程概况

湖南省皂市水利枢纽工程左岩下游边坡从上到下的地层依次为杂填土、残积土、强风化板岩等地层,残积土可见风化节理,板岩节理裂隙发育,偶见石英脉。岩层产状为 $50^\circ \sim 61^\circ \angle 53^\circ$ 。该处表层地下水含量较少,但由于靠近河浜,河水的涨落对边坡稳定性的影响较大。

3.2 治理工程安全等级及设计安全系数

治理工程安全等级为 II 级,设计安全系数取 1.15。

3.3 典型剖面选取

选取 1-1'剖面(图 2)为典型工程地质剖面进行稳定性评价及治理设计。

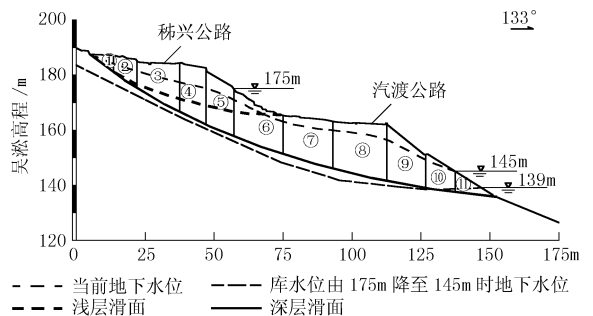


图 2 1-1'剖面简图

3.4 剩余推力计算

因汽渡公路以上岸坡已采用抗滑桩作整体加固,后缘6个条块对第⑦条块的剩余推力按0计算。所以仅需计算⑦~⑪条块的剩余下滑力。

依据勘察报告及工程地质类比,选取岸坡岩体饱水状态下的剪切强度参数如下:粘聚力 $c = 16$ kPa,内摩擦角 $\varphi = 19^\circ$,滑体重度 $\gamma = 20.1$ kN/m³。

设计工况按最不利工况,荷载组合为自重+地表荷载+水库水位从175 m降至145 m+20年一遇暴雨。

取安全系数为1.15,计算得⑦~⑪条块剩余下滑力如表1,设计剩余推力取1712 kN。

表1 条块剩余推力计算结果($K_s = 1.15$)

条块编号	条块推力/kN	条块编号	条块推力/kN
⑦	54	⑩	1680
⑧	0	⑪	1712
⑨	1415		

3.5 锚索设计

3.5.1 锚索根数确定

格构锚索布设在汽渡公路以下岸坡段,分两段布设,两段中间设置马道,上、下段各布置4排,剖面上锚索根数 n 为8根。

上、下段锚索纵、横向间距均取为4 m。

3.5.2 单根锚索锚固力计算

按公式(2)计算单根锚索的锚固力:

$$T = PL_a / \{ [\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) \operatorname{tg}\varphi] n \} \quad (2)$$

式中: T ——单根锚索锚固力; P ——单宽滑体的剩余下滑力; L_a ——锚索的横向间距; α ——滑面倾角,此处为 14° ; β ——锚索与水平面夹角,此处取 15° ; φ ——滑面摩擦角; n ——纵向剖面上锚索根数。

经计算得单根锚杆锚固力 $T = 822$ kN。

3.5.3 每孔锚索钢绞线根数

每孔锚索钢绞线根数 n_0 按下式计算。

$$n_0 = F_{s1} T / P_u \quad (3)$$

式中: F_{s1} ——安全系数,对涉水工程取1.8; P_u ——锚固钢材极限张拉荷载,如选用公称直径为15.2 mm的7丝钢绞线, $P_u = 259$ kN。

经计算,每孔锚索需钢绞线6根。

3.5.4 锚索长度计算

按相关技术要求规定,锚索锚固长度可按下式分别计算 l_a 、 l_{sa} ,然后取其大值作为锚固长度。

$$l_a = F_{s2} T / (\pi d_h \tau) \quad (4)$$

$$l_{sa} = F_{s2} T / (n \pi d_s \tau_u) \quad (5)$$

式中: l_a ——按锚固体与孔壁的抗剪强度确定的锚

固段长度; l_{sa} ——按锚固砂浆与锚索张拉钢材的粘结强度确定的锚固段长度; F_{s2} ——锚固体拉拔安全系数,对永久性锚杆, F_{s2} 取2.5; d_h ——锚固体直径,按类似工程经验,取为150 mm; τ ——锚孔壁对砂浆的极限剪应力,按规范要求,此处取为1000 kPa; τ_u ——锚索张拉钢材与水泥砂浆的极限粘结应力,取3000 kPa。

代入相关数据,经计算得 $l_a = 4.36$ m, $l_{sa} = 1.79$ m。取设计锚固长度为5 m。

锚索长度 $L =$ 锚固体长度 $L_1 +$ 自由段长度 $L_2 +$ 张拉段长度 L_3 。

对此次设计,锚固体长度 L_1 取5 m,张拉段长度 L_3 按构造要求取为1.5 m,自由段长度 L_2 视滑面与坡面的组合形态而定,本次设计上面4排取为32 m,下面4排取为18 m。

经计算上面4排锚索总长度 $L = 38.5$ m,下面4排锚索总长度 $L = 34.5$ m。

3.6 格构梁设计

纵向格构梁受力简图如图1。可将其简化为Winkler弹性地基上的梁来计算。单根锚杆的设计锚固力 $T = 822$ kN 作为集中力作用在梁上,计算中以垂直于梁方向的分力 P 作为设计力。

$$P = T \sin(\beta + \delta) \quad (6)$$

式中: δ ——坡面坡角,此处为 34° 。

经计算设计荷载 $P = 620$ kN。

采用弹性地基梁计算公式编程序计算纵梁不同位置的弯矩、剪力,结果如下:最小剪力 = -343.0288 kN,最大剪力 = 340.5172 kN,最小弯矩 = -137.4943 kN·m,最大弯矩 = 194.5368 kN·m。

4 结论与建议

格构梁与锚杆(索)注浆复合结构通过注浆加固边坡裂隙岩体,锚杆(索)锚于边坡深层岩体,格构梁进行坡面防护,已成功应用于本实例的边坡治理中,取得了满意的结果。通过该工程可以得到以下结论。

(1)采用弹性地基上的有限长梁计算坡面格构梁克服了采用“倒梁法”计算的不足,提高了计算精度,适合于快速计算。复杂及重大工程应参考数值模拟计算结果;

(2)注浆参数是通过现场注浆试验得出,目前浆液在裂隙岩体中作用机理并不十分清楚,注浆理论与工程实际存在差距,应该加强注浆理论的研究;

(下转第80页)

~200 mm,立柱倾角为 $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。木棚子支架的间距要根据围岩的稳固性情况来确定,一般为500~1500 mm。

在坑道废渣出完后要及时支护,以免产生片帮、冒顶事故。侧帮、顶帮的背板与围岩接触要紧密,不能留有空隙。当坑道掘进到47 m处时,遇到含水断层产生涌水,我们采用了密集完全棚子进行支护以防坑道顶板沉降,取得了非常好的支护效果。

通过沉降监测,第一周沉降60 mm,第二周沉降8 mm,第三周以后没有出现沉降,支架趋于稳定。

5 结语

在破碎岩层中进行小断面坑道掘进,一方面岩石的夹制作用大,坑道成形困难;另一方面由于岩石

(上接第74页)

(3)采用格构梁与锚杆(索)注浆联合加固裂隙岩质边坡,可以对坡面及深层岩体进行加固,是一种有效的滑坡治理手段,可以为同类工程提供有益的参考。

参考文献:

- [1] 乔卫国,张玉侠,等.水泥浆液在岩体裂隙中的流动沉积机理[J].岩土力学,2004,25(S1):14-16.
- [2] 江学良,曹平,等.格构梁与锚管注浆复合结构加固裂隙岩质边坡的应用研究[J].防灾减灾工程学报,2008,28(3):330-334.
- [3] Lutz L., Gergeley P. Mechanics of Band and Slip of Deformed

(上接第77页)

正常,尤其是钻头的内外径和底唇面磨损均匀。两个钻头的平均使用寿命60.26 m,平均钻进速度1.91 m/h。但分析两个钻头的钻进指标,可以发现,虽然两个钻头的钻进速度差距不大,但钻头的预计寿命还是有较大的差距,相差14%。究其原因:(1)胎体磨损的测量可能存在误差;(2)钻头的制造工艺难以保证完全一致。

试验结果说明,所研制的钻头的性能基本稳定,钻头的试验研究方法先进,烧结工艺合理,试验研究达到了预计的目标。

4 结论

(1)采用混料回归试验设计方法试验研究热压金刚石钻头的胎体成分与性能,是一种先进的、可靠

破碎易产生片帮、冒顶。光面爆破法和新奥法在PD102坑道中的应用很好地解决了这一难题,施工中未发生安全事故,完全达到地质设计要求,取得了非常好的施工效果。

参考文献:

- [1] 李春泉.景鹰高速公路桃墅岭隧道光面爆破施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(6):80-81.
- [2] 张时钟,吴立,等.凿岩爆破[M].武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [3] JTJ 042-94,公路隧道施工技术规范[S].
- [4] 刘殿中,杨仕春.工程爆破实用手册[M].北京:冶金工业出版社,2003.
- [5] 邵鹏,东兆星.控制爆破技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2004.

- Bars in Concrete [J]. Journal of American Concrete Institute, 1967, 64 (11): 711-721.
- [4] Hansor, N. W. Influence of surface roughness of prestressing strand on band performance [J]. Journal of Prestressed Concrete Institute, 1969, 14 (1): 32-45.
- [5] 宰金珉,宰金璋.高层建筑基础分析与设计[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [6] 杨明,胡厚田,等.路堑土质边坡加固中预应力锚索框架的内力计算[J].岩石力学与工程学报,2002,21(9):1383-1386.
- [7] 许英姿,唐辉明.滑坡治理中格构锚固结构的解析解分析[J].地质科技情报,2002,21(3):89-92.
- [8] 唐辉明,许英姿,程新生.滑坡治理工程中钢筋混凝土格构梁设计理论研究[J].岩土力学,2004,25(11):1683-1687.
- [9] M. Hetenyi. Beams on Elastic Foundation [M]. Michigan. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1946.

的试验研究方法;所得出的胎体性能随胎体成分含量变化的规律是可信的,具有较好的实用性。

(2)含磷较高的铁基合金完全可以作为热压金刚石钻头的胎体材料,具有高的硬度和较强的耐磨性,具有合理的硬-脆性,有利于金刚石出刃。

(3)铁-磷合金在烧结过程中不仅对金刚石没有产生实质性的影响,而且有可能提高包镶金刚石的牢固度,有利于提高钻头的使用寿命。

参考文献:

- [1] 肖俊玲,胡国程,丘定辉.高P铁基合金金刚石工具胎体合金的研究[J].湖南冶金,2001,(6):21-26.
- [2] 杨凯华,段隆臣,汤凤林,等.新型金刚石工具研究[M].武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [3] 邹庆化,汤凤林,胡国荣,等.稀土在以Fe代Co金刚石工具材料中的应用[J].金刚石与磨料磨具工程,2001,(4).