

岩质边坡锚喷加固应用中的几个问题

陈建平,唐辉明,李学东

(中国地质大学工程学院,湖北武汉 430074)

摘要: 锚喷加固岩质边坡应用越来越广泛,但设计与施工尚未规范化,导致实施中存在一些问题。结合工程实例,分析了岩质边坡的破坏特性、锚喷加固机理及设计中存在的一些问题。

关键词: 锚喷加固;岩质边坡;加固机理;设计。

中图分类号: TU45; TU47 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0357-04

作者简介: 陈建平(1958—),男,教授,1982年于中国地质大学探工系毕业,获学士学位,主要从事地下建筑工程与边坡工程设计与施工研究。

锚喷加固边坡是一种新型的加固方法。近年来因其良好的整治效果、可实施性强、施工简便,相比其他加固措施经济合理而得到广泛应用,如三峡永久船闸主体段高边坡工程规模之大、技术难度之高均为国内外边坡工程所罕见,在加固过程中,采取了喷混凝土、挂网锚杆、系统锚杆等加固方法^[1];高速公路与铁路边坡,也使用锚喷加固边坡。肖勤学^[2]对锚杆与锚喷加固的作用进行了实验研究,结果表明,锚喷技术用于加固围岩有显著的加固效果,尤其表现在非常明显地控制岩体位移的作用。但由于目前对其在高边坡加固中的作用机理尚未完全弄清,导致锚喷加固的设计方法及参数的确定方法不一致,陈建平^[3]根据在湖北京珠高速公路大悟段岩质高边坡和湖北襄十高速公路武许段的岩质高边坡应用锚喷支护的经验,对应用锚喷支护的几个问题提出初浅探讨。

1 岩质边坡变形破坏特征与锚喷加固适用范围

岩质边坡在形成后,受岩体产生的岩石压力与坡角、坡形的影响,易产生坡面变形,变形过大即发生破坏。然而影响边坡岩体稳定性的因素与影响地下工程岩体稳定性的因素有很大不同,影响地下工程岩体稳定性主要是岩体强度、岩体完整性以及地

应力大小,而影响边坡岩体稳定性因素主要是结构面的产状、岩体完整性和地下水等,岩体强度的影响不是很大,只有当岩体的强度极低时(如强风化岩)才有明显的影响^[4]。

对锚喷加固而言,一般岩质边坡破坏可根据破坏规模分为整体滑移和局部破坏。整体滑移多由于岩体存在贯通性极好,且产状与坡面相近的结构或构造面,从而产生边坡整体平面或阶梯状破坏,或者由于岩体极风化破碎(类似土体)而产生圆弧形破坏,这类破坏一般沿倾角接近 $(45^\circ + \varphi/2)$ 角度的破坏面滑移^[4];局部破坏多由于岩体存在3组以上的结构面,或受开挖时爆破的作用而产生的局部破坏,当破坏面角度在理论上大于摩擦角时,就有可能滑移,因而,破坏面角度有可能远远小于 45° 。上述破坏形式在湖北京珠高速公路大悟段岩质高边坡和湖北襄十高速公路武许段岩质高边坡中均有出现,但局部破坏出现的频率要远远高于整体滑移,而整体滑移的破坏影响要远远超过局部破坏。因而,在作锚喷加固设计时,要对岩质边坡作稳定性分析,以推断其发生破坏的可能性与破坏类型。

锚喷加固施工经验证明,只要边坡岩体不属强风化体,无论是边坡有整体滑移趋势还是有局部破坏可能,锚喷加固方法均能取得较理想的加固效果,因为锚杆的轴向锚固能力与抗剪切能力能较大地提高边坡稳定性系数。由于混凝土或砂浆与风化土体的粘结力要远远小于混凝土与岩体的粘结力,所以锚喷加固对强风化岩体与土体边坡的加固作用要比

对岩体边坡小得多,过去施工中曾发生强风化边坡锚喷加固体大面积滑塌事故,故一般锚喷加固不适用于强风化体和土体边坡。

另外,当边坡发生滑动时,使用锚喷加固方法,不能发挥其主动加固作用,因而起不到好的效果,应以其他方法加固,或将滑动层清除后再作锚喷加固。

2 岩质边坡锚喷加固作用机理

锚喷加固最早是从应用地下洞室加固逐渐应用到地表边坡和基坑工程中的,在锚喷支护中,一般认为锚杆支护起主要作用,喷射混凝土作用为辅助作用,所以在设计中锚杆参数是首先要考虑的。

对锚杆支护在地下洞室加固的作用机理,地下工程研究专家共认其起悬吊、组合梁和挤压加固的作用。显然,锚杆支护对洞室的加固机理与洞室的空间几何形状有关,而边坡的空间几何形状有别于地下洞室,锚杆支护对边坡的加固作用机理不完全等同于地下洞室,笔者认为,在岩质边坡工程中,锚杆起压力墙和组合梁的作用。

从加固作用机理来分析,相对如挡土墙、抗滑桩、护坡墙、格子梁等被动式加固方法而言,锚喷加固为主动式加固。所谓主动式加固,指视被加固体既为荷载体又视为承载体,加固体与被加固体合为一体共同承载。主动式加固以锚喷加固为主体的加固措施,如锚杆、喷射混凝土等。显然,在作用机理上,主动式加固更科学合理、更经济,但这种加固方法有一定的适用范围。

对于锚杆的压力墙机理可以这样分析,当岩质边坡没有明确的滑动面,但岩体被多组节理、层理切割成不规则块状,破裂面呈不连续状,或呈陡峭形,或逆坡向,这种情况下破坏呈塌落、倾倒等坍塌形式,往往层层递进。这种含软弱结构面的岩体稳定性主要由其间结构面的抗剪强度决定。岩质边坡的系统锚杆大大提高了锚固区域破碎岩体的整体性,同时,锚固区域锚杆与岩体共同形成厚度与锚杆深度相近的压力墙(如图 1 所示),并控制了锚固区外岩体的变形,压力墙因镶嵌在岩体里,它的作用不完全类同于挡土墙或抗滑桩,其主动式的加固机理决定加固后的边坡能“自我”稳定,这也是锚杆加固边坡的优越性之一。

对于锚杆的组合梁作用,当岩体含软弱结构面主要为层理或片理,且岩层的产状与岩体坡面相近,

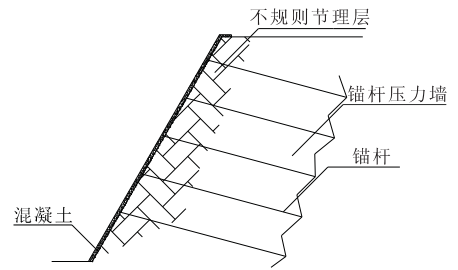


图 1 锚杆的压力墙作用

Fig. 1 Pressure wall working of systematic bolts

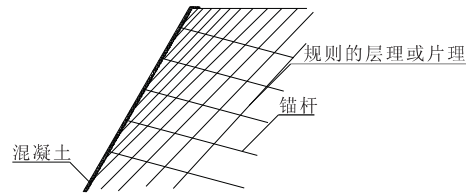


图 2 锚杆的组合梁作用

Fig. 2 Assorted beam action of systematic bolts

结构面间 c, φ 值较小,极易发生顺层滑移。使用锚杆加固时,将锚杆与结构面近似垂直方向布置,锚杆的加固大大提高了层理或片理间的抗剪切强度,锚杆起了力学组合梁的铆钉作用(如图 2 所示)。在这种情况下,锚杆的加固作用是非常明显的。湖北襄十高速公路武许段高边坡设计中应用了锚杆的组合梁原理,采用以锚为主、锚喷网结合的加固方法,成功地控制了含云母片岩、片麻岩岩体的顺层滑坡。

关于锚杆加固对岩体力学性质的改善,张玉军等^[5]提出了下述经验关系式:

$$c_1 = c_0 (1 + \eta \frac{\tau S}{ab}), \varphi_1 = \varphi_0.$$

式中: $c_0, \varphi_0, c_1, \varphi_1$ 分别为原岩体及锚固岩体的粘聚力和内摩擦角; τ, S 分别为锚杆材料的抗剪强度及横截面积; a, b 为锚杆的纵、横向间距; η 为综合经验系数,可取 2~5。

对于喷射混凝土的作用机理,实验结果^[2]表明,不论是完整岩体还是软弱结构面的裂隙岩体,也不论有无锚杆支护,喷射砼都不同程度地对岩体有加固作用(图 3)。对于裂隙岩体,除公认的高压喷砼浆液渗入裂隙的加固作用外,就单轴压缩试样而言,砼喷层还具有粘结捆绑作用,将软弱面分割离散的岩块粘结成整体,有效地减弱了应力集中的现象,从而提高了岩体的整体稳定性和强度,同时约束了岩体的变形,从而改善岩体的应力状态,起到加固围岩的作用。

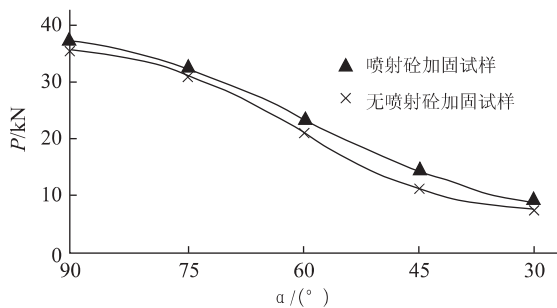


图3 喷射砼对含软弱结构面试样的加固作用

Fig. 3 Reinforcement action of shotcrete to weakness structural planes in rock mass

岩质边坡失稳时,主要原因是受结构面影响和水的的作用,混凝土喷射层有效地控制地表水的渗入和岩体的进一步风化,因此喷射混凝土层对边坡的稳定也起着重要作用。

锚喷加固中,锚喷联合加固作用不可忽视。因为系统锚杆是按一定间距和排距排列(2~4 m)。由图1可知,锚杆间存在锚固作用以外的区域,当岩体破碎时,此区域易发生局部破坏,破坏虽然不大,但影响系统锚杆的锚固效果。设计时只要锚杆排间距不至过大,喷射混凝土层(有时增加钢筋网)完全有能力抵抗破坏。

锚喷加固中,经常在喷混凝土层中增加钢筋网,挂网的目的主要是防止喷射砼因收缩而产生裂缝,增强抵抗动载能力并使砼应力能均匀分布。

3 锚喷加固设计中的几个问题

3.1 关于边坡稳定性的分析方法

边坡稳定性分析内容包括边坡整体稳定性分析和局部稳定性分析。其目的是研究设计的边坡稳定性状态。分析过程是,首先对边坡进行地质条件和水文条件调查,调查范围一般在边坡附近数 km 之内,从地质构造和岩体结构方面了解边坡稳定的客观条件,分析其滑动的可能性;其次,运用调查资料 and 现代分析方法进行室内分析,确定边坡稳定性状况和加固方法。

对边坡整体进行稳定性分析方法很多,归纳起来有3种:(1)极限平衡法;(2)数值分析法(如有限元法);(3)近年出现的新方法(如神经元法)。

对边坡进行局部稳定分析,主要考虑多组贯通性良好的岩体结构面相交,以及爆破的振动和直接

破坏可能引起的坡面局部滑动或破坏。对于岩体结构面的分析,使用赤平投影法是常用的方法。

3.2 关于岩体力学参数的确定方法

在进行锚喷加固设计时,岩质边坡稳定性分析结果的可靠性很大程度决定于岩体力学参数的选取,尤其是岩体结构面的 c 、 φ 值。因为工程现场在未开挖时取样困难,取样方法简单时,往往得不到设计者需要的合理参数;若取样方法复杂,则勘察费用过高。笔者的经验是,设计时将现场取样的试验值与现有规范和有关资料结合使用,边坡开挖后,再取样修正力学参数值,并反馈修正设计的加固参数。

3.3 对锚喷加固安全系数取值的建议

对锚喷加固的边坡工程,安全系数的取值与边坡的重要程度有关,一般都由相关规范确定。设计时应分别确定两个方面的安全系数,即边坡稳定安全系数和锚杆体安全系数,两者需分别考虑。

3.3.1 锚杆体安全系数 该系数应根据预应力锚杆的使用条件、有效使用期和防腐措施,分别确定下列安全系数:(1)锚杆材料安全系数;(2)握裹体与内锚段岩体间的拉拔安全系数;(3)锚杆与握裹体间的拉拔安全系数;(4)若锚固段采用加套锚杆,还需确定套管与握裹体间的安全系数。设计中,对以上(2)~(4)可取相同的安全系数。

叶伟峰等^[6]提出如下建议:对于重要的永久性锚固工程,一旦失稳可能带来较大危害的,安全系数 $K \geq 1.8$;一般性工程 $K \geq 1.5$;临时性锚固工程 $K \geq 1.5 \sim 1.2$ 较为适宜。

3.3.2 边坡稳定安全系数 设计中一般按相关规范执行,但规范的标准相差较大,有的取得偏大。由于结构面参数不易选准,因而应当有较高安全系数,尤其是当缺乏经验的情况下更应如此。经验较丰富时,可适当降低其安全系数。

3.4 关于锚喷网的加固参数与确定方法

锚喷加固工程中一般采用锚喷和锚喷网两种加固类型,边坡稳定时也可采用素喷混凝土加固,3种支护类型的使用视边坡稳定性系数、边坡高度和坡角等因素确定。在设计锚喷网时,常要求边坡加固必须紧随开挖,每挖完一层台阶,迅速加固其产生的边坡,防止边坡产生过大的位移变形。

3.4.1 锚杆加固参数 工程中一般使用砂浆锚杆。加固参数包括:锚杆深度、锚杆间距、锚孔直径与锚杆直径、最大锚固力等。对于锚杆受力的确定,当边坡在侧向压力作用下发生位移时,锚杆中可能会同

时产生拉力、剪力与弯矩,受力状态复杂,设计中同时考虑这 3 种力的作用是很困难的.但有关试验资料表明:锚杆中的剪力和弯矩对边坡稳定所起的作用,与轴向拉力相比,处于次要地位,可略去不计,这就使锚杆支护设计大为简化.在计算最大锚固力时,要考虑爆破对结构面产生的松动,以及加固不及时,受雨淋使结构面裂隙内充水等几种因素.

在设计锚杆参数时要考虑几点:(1)分析边坡岩体是整体破坏还是局部破坏,层理或片理产状是趋于顺向滑移还是反向滑移;(2)选取岩体合适的 c 、 φ 值非常重要;(3)在确定锚杆深度和间距时,除按常规的类比法计算外,要重点考虑贯通结构面的间距和密度,目的是使锚杆参数更切合实际.

京珠高速公路大悟段边坡,岩体以中硬以下的片岩和片麻岩为主,边坡整体稳定,仅出现局部破坏,片理产状是趋于反向滑移,其锚杆加固参数为:(1)锚杆深度为 3 m,局部 6 m;(2)锚杆间距 2 m;(3)最大锚固力 30~50 kN;(4)锚杆孔径与直径分别为 40 mm 和 20 mm.襄十高速公路武许段边坡,岩性与大悟段相近,但片理产状多趋顺向滑移,其锚杆加固参数为:(1)锚杆深度 6~8 m;(2)锚杆间距 2 m;(3)最大锚固力 100~150 kN;(4)锚杆孔径与直径分别为 70 mm 和 $25 \times (1 \sim 3)$ mm.

3.4.2 关于锚杆深度确定的新建议 对于岩质边坡而言,当锚杆起压力墙作用(见图 1)时,按压力墙原理,将锚杆作用区厚度看成挡土墙厚度.首先确定边坡压力,或按郑颖人等^[4]提出边坡岩体压力计算公式,或按库仑公式或郎金公式计算.然后根据边坡压力值确定挡土墙支挡压力及挡墙厚度——锚杆深

度.这种确定锚杆深度的设想在襄十高速公路武许段部分边坡中应用过,当边坡压力计算准确时,可以作类比法设计的辅助手段.但这个问题有待进一步研究.

3.4.3 喷射混凝土参数 包括喷射厚度与混凝土强度.公路规范规定:喷射混凝土厚度一般定为 10 cm,在稳定性系数较低的边坡定为 15 cm;混凝土强度一般为 C20.工程实践证明,当锚杆间距为 2 m 时,以上参数是满足要求的.

目前,我国岩质边坡锚喷加固设计与施工规范尚未建立,而锚杆喷射混凝土支护技术规范的实施对象为洞室,与边坡有较大的差别.这给锚喷加固设计与施工的规范化带来困难.所以,有必要对锚喷加固理论、成功实施的实例、实施中的问题等进行认真的研究与总结,以使锚喷加固方法在岩质边坡工程中得到更广泛的应用.

参考文献:

- [1] 马连城,郑桂斌.我国水利水电工程高边坡的加固与治理[J].水力发电,2000,(1): 34-37.
- [2] 肖勤学.模型材料锚喷加固实验研究[J].重庆建筑大学学报,1997,19(2): 94-99.
- [3] 陈建平,唐辉明.京珠高速公路大悟高边坡加固设计方法探讨[J].地质与勘探,2000,36(2): 45-48.
- [4] 郑颖人,朱小康.建筑边坡岩石压力计算的研究[J].地下空间,1999,19(4): 4-10.
- [5] 张玉军,朱维申.三峡工程船闸高边坡锚固方案的平面有限元计算[J].岩土工程学报,1997,19(1): 71-74.
- [6] 叶伟峰,王冬珍.对岩体边坡抗滑稳定安全系数取值的商榷[J].人民长江,2000,31(5): 14-16.

SOME PROBLEMS ON ANCHOR-SHOTCRETE REINFORCEMENT APPLICATION IN ROCKSLOP

Chen Jianping, Tang Huiming, Li Xuedong

(Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The anchor-shotcrete reinforcement has been more and more applied in rockslopes. However, there are some problems in the application, because of the lack of rules about designs and constructions of this type of reinforcement. The paper analyzes some breaking features in rockslopes and anchor-shotcrete reinforcement mechanism together with some problems in the design.

Key words: anchor-shotcrete reinforcement; rockslop; reinforcement mechanics; design.