

影响锚杆锚固效果因素分析

李 鹏

(西昌学院 工程技术系,四川 西昌 615013)

【摘 要】在岩石工程的锚固过程中,影响锚杆加固效果有许多因素:锚杆材料、锚杆结构、锚固方式、岩体性质和锚固参数等。对其影响因素的研究可以为岩石工程围岩的有效防护和具体的施工提供很有价值的参考。研究表明加锚前后围岩稳定性的改变将是锚固效果的直接反映。

【关键词】锚杆材料;锚杆结构;锚固方式;岩体性质;锚固参数

【中图分类号】TD353.6 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2009)01-0049-04

锚固技术自1872年英国北威尔士露天页岩矿首次应用锚杆加固边坡及1912年德国谢列兹矿最先在井下巷道采用锚杆技术以来,至今已有100多年的历史^[1]。锚固技术是一种技术经济优越的技术手段,目前不仅广泛应用于冶金、水利水电、铁路公路、军工及建筑等工程中。本文从锚杆材料、锚杆结构、锚固方式、岩体性质和锚固参数等,研究了锚杆加固效果。

1 锚杆材料对锚固效果的影响

锚杆体是锚杆产生锚固力的最基本条件,如果锚固体系的锚固能力不够,如杆体强度不够,粘结剂的强度不够等,都会在很大程度上影响锚固体系的锚固效果。在实际工程中用做锚杆的材料一般可分为钢筋、高强钢丝、其他替代材料(如竹材、玻璃纤维和碳素纤维等)等。综合考虑到性能和价格,广泛应用钢筋^[2]。不同的强度等级、截面尺寸和构造措施的钢材以及各种替代材料,都可以构成相应的配筋混凝土结构,其受力性能必然随之发生变化。锚固能力的大小取决于钢筋与注浆体的结合力,而不同截面的钢筋与注浆体的结合力有很大的不同,其中又以光面筋的结合力最小,而变形筋的结合力更是光面筋结合力的5倍^[3],故一般采用变形筋。

2 锚杆结构对锚固效果的影响

2.1 预应力与非预应力锚杆

对无初始变形的锚杆,要使其发挥全部承载力则要求锚杆头有较大的位移。为了减少这种位移直至到达结构物所能容许的程度,一般是将通过早期张拉的锚杆固定在结构物,地面的厚板或者其它的构件上面,来产生对锚杆施加的预应力,同时也在结构物和地层中产生应力,这就是预应力锚杆,具有有效地控制结构物的位移等许多优点^[4]。

2.2 拉力型与压力型锚杆

拉力型锚杆的荷载是依赖其固定段杆体与注浆体接触面的界面上的剪应力(粘结应力),由顶端(固定与自由段交界处)向底端传递的;压力型锚杆则借助无粘结钢绞线或带套管钢筋使之与注浆体隔开和特制的承载体,将荷载直接传至底部的承载体由底端向固定段的顶端传递的。这种锚杆虽然成本略高于拉力型锚杆,但由于其受荷时固定段的注浆体受压,不易开裂,用于永久性锚固工程是有发展前途的^[5]。

2.3 缝管锚杆

缝管锚杆由纵向开缝的管体、挡环和托板组成,其力学特性主要表现在以下几个方面。

(1)对围岩施加三向预应力

缝管锚杆打入比其外径小2~3 cm的钻孔中,开缝管体受到岩石孔壁约束产生远比纵向应变大的环向应变,管体在18 kN推力作用下,管体最大环向应变达 $1550 \mu \varepsilon$,而纵向应变为 $133 \mu \varepsilon$,沿管体长度测得的径向力一般可大于0.4 MPa。依赖径向力使锚杆间的岩层挤紧,抑制围岩裂开,阻止岩石滑移或坠落。

(2)锚杆安装后能立即提供支承压抗力,有利于及时控制围岩变形

缝管锚杆在安装后马上就能提供较高的支承压抗力,抗拔试验表明缝管锚杆的初始锚固力一般为35~70 kN,这样就能在早期及时的控制围岩变形。

(3)锚固力随时间而增加

由于缝管锚杆是全长锚固,在工作中没有应力集中现象,岩层的剪切位移或采掘过程中的爆破震动冲击,导致杆体折曲,从而进一步锚固岩层^[6]。在超限应力或膨胀性围岩中,由于钻孔缩小,管体被挤得更紧,使锚杆的径向力增大。杆体在潮湿的介质中有轻微锈蚀,管体表面粗糙度增大,杆体与岩石孔壁间的摩擦力提高,从而使锚杆的锚固力随时

间而增加。

(4)围岩位移后锚杆仍能保持较高的锚固力

缝管锚杆的一个重要特点是全长锚固,受力均匀。即使当锚杆与其周围的岩石发生相对滑动时,它仍保持着较高的锚固力。当岩石荷载大于锚杆的锚固力时,则锚杆在受力方向发生滑移;当锚杆承受的岩石荷载小于其锚固力时,锚杆即停止滑动,并在新的位置与岩层接触的长度上继续保持较高的锚固力,直到围岩进一步位移导致锚杆产生新的滑动,锚杆的这种既允许围岩位移又能保持一定支承抗力的特性,使其在承受较大的拉力或剪力时具有柔性卸载作用,在锚杆与围岩相互作用中,保持围岩位移与锚杆摩擦阻力间的动态平衡^[7]。不过,值得指出的是,锚杆在受力后会出现应力松弛的现象而导致失效,因此,它主要用于临时性的应急支护措施。

2.4 自钻式锚杆与中空锚杆

2.4.1 自钻式锚杆

自钻式锚杆由中空螺纹杆体、钻头、垫板、螺母、连接套和定位套组成,在强度很低和松散地层中钻进后不需退出,利用中空杆体注浆,避免塌孔、卡钎及插不进杆体的缺点,先锚后注浆工艺可提高注浆效果。定位套可保证杆体居中,保证锚杆杆体有均匀厚度的砂浆保护层。当杆体的自由段长度上套有PE套管,可以对其施加预应力,是一种颇有前途的新型锚杆。

2.4.2 中空注浆锚杆

中空注浆锚杆是自钻式锚杆的简化和改型。造价低,能保证施工质量。中空注浆锚杆是在钻孔完成后安装的,因而取消了钻头,并将杆体材料由合金钢改为碳素钢,保留了杆体是全螺纹无缝钢管以及有连接套,金属垫板,止浆塞等优点,而价格约比自钻式锚杆低。特别是带钢质涨壳锚头的中空锚杆,可以施加60KN左右的预应力,有利于控制围岩变形,提高加固效果。

根据上面这些不同结构锚杆的特点,可以看出,其受力性能和方式各不相同,对不同的岩体,他们的锚固效果相差很大。因此,在对岩体进行加固时,要根据实际的地质条件,选择合适的锚杆类型进行加固,可以起到良好的加固效果。

3 锚固方式对锚固效果的影响

为了使锚杆的拉力传入岩层深出,就必须将锚杆与岩体有效地结合起来,而怎样结合和如何使其发挥最大作用对锚杆加固而言是十分重要的。一般采用机械固定、胶结料固定和扩张基底固定三种

方法来固定锚杆^[8]。

3.1 机械固定的锚杆

机械固定方法主要适用于岩层中的临时性短锚杆。具有以下特征:锚杆固定后立即到达足够强度,能及时提供支护抗力或施加预应力;采用杆体端部固定装置紧贴在长度为10~20cm的钻孔壁上,会在岩层中产生大的应力,因而对岩层固定点的强度要求很高;当机械式锚杆超载时,在坚硬岩层中会出现底端的滑移;在软弱岩层中则会出现底端岩层的碎裂现象;加工工艺较复杂,造价较粘结式锚杆高。对钻孔的直径、深度的控制要求较严。

3.2 胶结料固定的锚杆

通过胶结料(水泥浆、合成树脂)把锚杆杆体和地层粘接起来,是固定锚杆最常用的方法,特别适用于软弱岩层和土体,同时也可以用来将较大的拉力传入坚硬的岩石中。此外,只有当胶结料硬化之后才能对其加荷。用胶结料固定锚杆的效果取决于胶结料与锚杆体表面以及胶结料与钻孔中岩层或土体的粘聚力。

3.3 扩张锚根固定的锚杆

提高锚杆的承载力,采用扩张锚根的方法是十分有效的。扩张锚杆固定的锚杆,其承载力的提高,固然摩擦面积的增大有一定作用,但更主要的是突出部分的地层对锚杆拔出的抗力。

4 岩体性质对锚固效果的影响

锚杆的实际工作性能即锚杆的力学特性不仅取决于锚杆自身的力学参数,同样也取决于围岩的力学特性。影响岩体力学性质的基本因素有岩体坚硬程度、岩体完整程度、岩体初始应力状态和地下水情况。

5 锚固参数对锚固效果的影响

5.1 孔径杆径的配合对锚固效果的影响

锚杆直径与钻孔直径的关系影响锚杆的锚固强度和破坏形式。锚杆直径与钻孔直径的关系不同时,破坏面出现的位置也不同,可能是钢筋和沙浆的交界面,也可以是沙浆与岩石的交界面。由厚壁圆筒的静力平衡条件很容易得出关系式:

$$\tau_b D_b = \tau_r D_r \tag{1}$$

式中: τ_b 为锚杆与砂浆交界面的剪应力;

D_b 为锚杆直径;

τ_r 为砂浆与岩石交界面的剪应力;

D_r 为钻孔直径。

假如锚杆在拉拔时因膨胀而产生了径向压应力,从钢筋经由沙浆到岩石的传递过程中,沙浆的径向压应力分布规律影响着锚杆的锚固强度。假

设沙浆与岩石交界面的破坏符合摩尔—库仑强度准则,即:

$$\tau = \mu \sigma + c \quad (2)$$

式中: μ 为交界面摩擦系数;

σ 为正应力;

c 为内聚力。

由于在拉拔过程中产生了径向压应力,在锚杆直径一定的情况下,随着钻孔直径的逐步增加,传递到孔壁上的径向压应力逐步减小,正应力 σ 将减小,根据摩尔—库仑强度准则,沙浆与岩石交界面的抗剪强度将减小。然而另一方面,当内聚力 c 保持不变时,随着钻孔直径增加,沙浆柱的表面积增大,因而锚杆的抗拔力逐渐增加。因此,锚杆直径与钻孔直径存在一个最佳组合,使得锚杆的抗拔力达到最大值,这种匹配本质上取决于剪应力和径向应力在一定厚度沙浆中的传递规律。

5.2 锚固长度对锚固效果的影响

假设锚杆安设在顶板岩层中,被锚固的岩层厚度不大;在它上面有坚固岩层时,则锚杆的长度只要使其锚固部分固定在坚固岩层内。假如直接顶板为软弱岩层和坚固岩层的互层,只要将锚杆锚固部分固定在较远的、较厚的坚固岩层内。在这种情况下,按单体锚杆悬吊作用的理论计算,锚杆长度 l 为

$$l = l_1 + m + l_2 \quad (3)$$

式中: l_2 为锚杆顶端进入岩层的长度;

m 为锚固岩层厚度;

l_1 为锚杆露在锚孔外的长度。

通过实验表明,锚杆的极限抗拔力并非随锚固长度的增加而呈线性增加,存在着临界锚固长度,当锚固长度超过临界值后,极限抗拔力的增加不太明显。

5.3 锚杆倾角对锚固效果的影响

锚杆的倾角是锚固结构中一个重要的参数,正确选取这一参数对支挡结构的受力状况、锚索长短和施工难易等都有重要影响。锚杆的作用力方向与锚杆轴线一致是最为有利的,但往往不一定能做到一致。一般而言,随着锚杆轴线与水平面夹角的增大,会产生较大的垂直分力,势必减小所需的水平支承力,因此要求按锚杆的倾角小于或等于 45°

来设计。

5.4 锚杆间距对锚固效果的影响

在一般情况下,锚杆支护都布置成正方形,即锚杆的间距等于锚杆排距。根据锚杆悬吊作用原理,计算锚杆间距 a 为

$$a = 0.887 d \sqrt{\frac{\sigma_{拉}}{km\gamma}} \quad (4)$$

式中: r 为岩体容重;

k 为安全系数;

m 为锚固岩层厚度;

d 为锚杆直径;

$\sigma_{拉}$ 为杆体材料的设计抗拉强度。

当锚杆群的锚杆间距过小,群锚的承载力将低于各锚杆承载力之和。这就是所谓的群锚效应。这是由于锚杆群中任一根锚杆的工作性状明显不同于孤立锚杆,通过它们传递到边坡岩层中的抗拉力,在岩层中会产生应力重叠,互相干涉,从而降低了孔壁对锚杆的侧阻力的缘故。而当锚杆群的锚杆间距过大时,它就会出现单根锚杆承载力过大而出现应力集中的现象。因此,在进行锚杆间距设计时,要综合考虑各方面的因素,确定合适间距会有利于锚杆的锚固效果。

6 结论

(1) 不同截面的钢筋与注浆的结合力有很大的不同,其中又以光面筋的结合力最小,而变形筋的结合力约等于 5 倍的光面筋的结合力。

(2) 不同结构的锚杆,其受力性能和方式各不相同,锚固效果也相差很大。

(3) 不同锚固方式的锚杆最大锚固力相差较大。在相同围岩和应力条件下,全锚比端锚的最大锚固力大得多,扩底锚固的锚固力最大。

(4) 围岩越坚硬、越完整,锚杆的抗拔力越大。同时,岩体的结构面的发育程度、结合程度对粘结强度的影响也十分显著。

(5) 锚杆直径与钻孔直径存在一个最佳组合,使得锚杆的抗拔力达到最大值,这种匹配本质上取决于剪应力和径向应力在一定厚度砂浆中的传递规律;锚杆的极限抗拉拔力并非随锚固长度的增加而呈线性增长,而存在着临界锚固长度。

注释及参考文献:

[1] 宋海涛,张益东,朱卫国.锚杆支护现状及其发展[J].矿山压力与顶板管理,1999(1):3-5.

[2] 官山月,马念杰.树脂锚杆锚固失效的力学分析[J].矿山压力与顶板管理,1997:201-203.

[3] 许明,张永新等.砂浆锚杆的锚固及失效机理研究[J].重庆建筑大学学报,2001(12):10-15.

[4] 高永涛,吴顺川,孙金海.预应力锚杆锚固段应力分布规律及应用[J].北京科技大学学报,2002(8):379-381.

[5]党泽亮,任玉强.锚杆轴向作用力的分布特征[J].山西煤炭,2002(4):12-13.
 [6]陆士良,汤雷,杨新安.锚杆锚固力与锚固技术[M].北京:煤炭工业出版社,1998.
 [7]邹志晖.锚杆在不同岩体中的工作机理[J].岩土工程学报,1993(6):71-79.
 [8]朱浮声,郑雨天.全长粘结式锚杆的加固作用分析[J].岩体力学与工程学报,1996(4):333-337.

Analysis on Influencing Factors of Strengthening Rock-bolt

LI Peng

(Department of Engineering, Xichang College, Xichang, Sichuan 615013)

Abstract: In the course of rock engineering for rock-bolt strengthening, there are many key factors that influence rock-bolt strengthen such as the material of rock-bolt, the structure of rock-bolt, the way for rock-bolt and rock nature and the parameter of rock-bolt and so on. The research of influencing factors can provide a very valuable reference for valid protection and concrete construction for the rock engineering round rock. The research shows that the change of stability of wall rock round rock-support is the direct reflection of the rock-bolt result.

Key words: Material of rock-bolt; Structure of rock-bolt; Way for rock-bolt; Litholical character; Parameter of rock-bolt

(上接48页)

concrete, framework installation, type of stirrups and concrete pouring in the design and construction, we conclude that it is very important to improve the management level for safety production.

Key words: Area of 9 degree seismic fortification intensity; Building construction; Differential analysis