

岩体加固新论与实践

马国彦

(黄河水利委员会勘测规划设计研究院,河南 郑州 450003)

摘要:以往岩体加固很少考虑其工程地质特性,因而加固工程就不可能物尽其用,根据加固岩体的工程地质条件,特别是透水透浆岩体特性,提出了一整套岩体加固理论、方法和工艺,并介绍了几个岩体加固的实例。

关键词:工程灌浆;排水减压;岩体锚固

中图分类号:TV543,TV223.3+4

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2001)07-0115-03

本文论述的岩体加固设计,并不包括岩体加固整个设计的全过程,而仅涉及最关键的也是过去极少有人研究的锚固件(指锚杆和锚索,下同)的设置方位和角度、灌浆与排水钻孔的设置方位和角度等。

1 岩体加固问题

目前,国内外在确定岩体加固钻孔的方位和角度方面,主要有以下几种方法:

a. 防渗帷幕孔主要是用“对分法”按孔口等距离布置,钻孔与开挖基岩面垂直,当使用多排防渗帷幕时,上游排钻孔也有向上游倾斜的,但钻孔倾向是固定的,即与帷幕轴线垂直。

b. 固结灌浆孔主要与基岩开挖面垂直,只有在周边采用与边界线垂直的少量倾斜孔。

c. 接触灌浆孔几乎都与开挖面垂直且等距离布置,不管吃浆不吃浆,一律按一个模式进行系列灌浆。

无论是坝基降低扬压力的排水孔,还是地下厂房围岩以及基岩边坡的排水孔,都按与开挖面基本垂直的方向布置,只有在坝基防渗帷幕后面布置的排水孔,按与排水幕轴线垂直且向下游倾斜布置;在边坡和边墙上布置的排水孔,其方位仍是按倾斜仰向与岩壁、边坡走向线垂直且有一定仰角($5^{\circ} \sim 10^{\circ}$)布置。

大多数锚杆、锚索的方向和角度也都是按一种模式即所谓的最优角度布置,如砂浆锚杆,多按倾角 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 布置。

从岩体加固方向而言,尽管也有些形式的变化,但最主要的问题则是其方向和角度都是一种模式。然而,在不同地质体内,岩体裂隙的发育程度是千差

万别的,显然,岩体加固件(灌浆、排水钻孔、锚杆锚索)在某一个固定方向上可能不会遇到一条裂隙,而在另一个方向上可能穿裂隙最多。因此,岩体加固新方法的主要精髓,就是要在被加固岩体内,搜索出透水透浆地质缺陷最多的方向。

2 岩体加固新论

在任何一个调查点内,从平面和剖面的三维空间内,都可以拟定出相当数量的比选孔群,对每一比选孔都可计算出与铅直孔相比的效益系数,从中选择效益系数最大的作为加固岩体的方向。

2.1 各类隧洞轴向的选择

隧洞轴线有水平的也有倾斜的,对于前者,没有角度的选择,只有轴向选择问题,隧洞的坡度常常是由多因素来决定的,然而,坡度的选定又常常影响洞向的选择,在洞向选择方面,排水洞向选在多裂隙地段,对排除地下水是有利的;而其它隧洞,则以避开多裂隙岩体为主要目的,实际上并不存在完全水平的隧洞,它们都是有一定坡度的。

2.2 防渗与排水帷幕产状的选择

防渗与排水帷幕可分为两大类:一是单层帷幕,它可以是直立的、或倾斜的;二是多层帷幕,可以设计成多层倾斜的,也可以仅上层是倾斜的,本文侧重讨论直立帷幕与倾斜帷幕如何组合问题,其实质是直立帷幕与倾斜帷幕产状的优选。

a. 直立帷幕最优倾斜孔的选择,在已定的防渗帷幕或排水帷幕轴线上,如SN方向上,用向北或向南倾斜的倾角 50° , 60° , 70° 和 80° ,进行全方位计算,可以从8个效益系数中选择效益系数最大的方位和

倾角为最佳斜孔产状。

b. 倾斜帷幕最佳倾斜孔的选择。在已定的帷幕轴线的某一调查点上,把一批斜孔组成圆锥体式进行全方位计算,从一大批全方位计算成果中,选择效益系数最大的斜孔产状作为选定的斜孔产状。

2.3 边坡岩体三维加固方向的选择

按边坡坡度的不同,可将其分为直立边坡与倾斜边坡两类。加固措施主要有排水与锚杆或锚索两类。

a. 直立边坡灌浆与锚固孔产状的选择。直立边坡(墙)灌浆与锚固孔的常规倾角为 0° , 5° 或 10° 。用与边坡走向线垂直、倾角 5° 的斜孔为标准孔,利用边坡岩体结构面的编录资料,全方位地计算斜孔与边坡岩壁夹角大于 30° 的各个三维方向上的效益系数。标准孔的效益系数为一次效益系数。将除标准孔以外的其它斜孔的效益系数与一次效益系数进行比较,所得比值为2次效益系数,其大小标志着优选的灌浆与锚固孔比常规孔穿裂隙的能力大小。比值愈大,穿裂隙的能力也愈大。

b. 直立边坡排水孔产状的选择。直立边坡(墙)排水孔的常规角度多采用仰角表示。将常规仰孔的仰角(与边坡走向线正交)、仰角换算成倾向与倾角,以倾角 10° 为标准孔,全方位地计算一次效益系数,将除标准孔以外的其它方位斜孔的效益系数与标准孔的效益系数进行比较,所得比值为2次效益系数。

c. 倾斜边坡灌浆与锚固孔产状的选择。设倾斜边坡的坡角为 α 。常规斜孔的方向常与边坡面直交,即它的倾角为 $90^\circ - \alpha$ 。利用边坡岩体结构面的资料,全方位地计算多个斜孔产状的效益系数。其中与坡面走向正交、倾角为 $90^\circ - \alpha$ 的那个产状的斜孔效益系数为标准效益系数,其余所有斜孔产状的效益系数必然有一个或几个最大值,用 $\eta_{\max}$ 表示;标准孔的效益系数用 η_s 表示; $\eta_{\max}$ 与 η_s 的比值为2次效益系数,用 λ 表示, λ 值愈大,表示其穿越裂隙能力就愈大。反之则愈小。

d. 倾斜边坡排水孔产状的选择。倾斜边坡的倾角为 α ,排水斜孔仰角 α_1 。常规斜孔与边坡走向线正交,向坡外倾斜 $5^\circ \sim 20^\circ$ 。常规孔为与边坡走向正交,倾向坡外 5° , 10° , 15° 和 20° 的倾斜孔。

利用倾斜边坡附近岩体的结构面编录资料,按倾角 5° , 10° , 15° 和 20° 分别计算每种角度的全方位。从全部计算成果中,选出与边坡走向线正交的 5° , 10° , 15° , 20° 四种倾角的标准效益系数,最后计算出2次效益系数。

2.4 地基固结灌浆斜孔产状的选择

固结斜孔灌浆是所有斜孔灌浆比铅直孔灌浆提高效益系数最多的一种新方法。

斜孔灌浆倾角的确定,以避免浆液外溢为原则,其倾角(与地基岩面的交角)不宜小于 30° 。故 30° , 40° , 50° , 60° , 70° 和 80° 都是斜孔灌浆可比选的角度。

根据地基岩体结构面的编录资料,把结构面的倾向、倾角和隙宽等资料输入到程序中,分别对斜孔倾角 30° , 40° , 50° , 60° , 70° 和 80° 进行全方位的计算。一般来说,斜孔倾角愈缓,其效益系数就愈大。但选取斜孔灌浆倾角时,也要考虑到斜孔倾角愈缓则钻孔与灌浆的难度就愈大。斜孔倾角 60° 时,并不对钻孔和灌浆造成什么难度,其斜孔固结灌浆的效果也相当好;斜孔倾角 80° 时,其效益系数增大不多。

2.5 地下洞室围岩三维加固方向的选择

目前,对地下洞室围岩无论是灌浆加固还是排水孔,其钻孔都与开挖面垂直并均匀布置,即所谓的系统加固方法。

这里要说明的是:根据岩性及其结构面的发育程度,根据岩体加固的需要,应采取非系统加固方法,例如在层状裂隙地层区,由于陡倾角裂隙发育,故边墙两侧水平加固是必要的。顶拱承受沉陷张力而使裂隙拉开,因而垂直向加固孔也是需要的,其它孔应因地制宜。

由于斜孔孔口位置的不同,岩体三维加固方向的选择方法也不一样。无论地下厂房还是隧洞,可按加固孔的位置进行如下的分析。

a. I_1 型加固斜孔(组)。该型斜孔是经常用来防止底板回弹变形的(图1)。把用常规方法钻的铅直孔的效益系数假定为1,将与底板面交角大于 30° 的范围作为斜孔的比选范围。计算出斜孔倾角等于或大于 30° 时的一系列效益系数,从中选择最大效益系数者为选定斜孔。同样也可从斜孔倾角 60° 的一系列效益系数中选择最佳的斜孔方位。

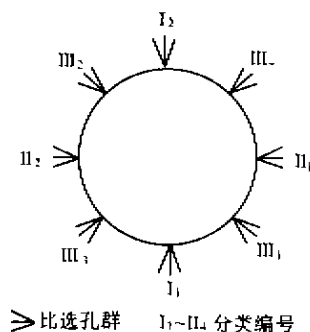


图1 地下洞室比选孔群布置示意图

b. I_2 型加固斜孔。该型斜孔是加固顶拱层状岩体沉陷缝的最有效的方法。把与顶拱面交角大于 30° 的范围作为斜孔的比选范围。在比选范围内可从24个斜孔中找出最佳斜孔方位。从计算成果中选出最佳斜孔的倾向和仰角。

c. II₁型和II₂加固斜孔.该位置是经常进行系统加固的地方.把与岩壁交角等于或大于30°的范围作为斜孔的比选区.在常规加固点上,选一拟想的与岩壁垂直的方向钻一斜孔(常规钻孔).新的钻孔方向设计,不仅是拟钻这一个加固方向的钻孔,而是在钻孔周围设想钻一系列钻孔,计算出它们的效益系数,从中选择一个效益系数最大的作为最佳加固岩体的斜孔产状.

d. III₁型加固斜孔.从图1中可以看出,III₁组与I,II组都不一样,它既不是重力方向的,又不是水平方向的,而是具有一定倾斜方向的岩壁.应首先把各个比选孔的定位系统确定下来,即确定出各个比选孔的倾(仰)向和倾(仰)角;其次把各个比选孔的倾仰角合并归类,按倾仰角计算出各个方位的斜孔的效益系数;最后,根据水工要求和计算的一系列效益系数而推荐出一组较优的加固斜孔产状.

e. III₂型比选斜孔. III₂型比选孔组与III₁型比选孔组,在钻孔编号、交割线产状、比选孔面产状以及比选钻孔产状的计算方法等方面完全相同,惟在交割线方向、中心常规孔的倾向与III₁型比选孔组相差180°.

f. III₃与III₄型比选孔.在相对均质区内,相同方向所遇到的结构面及斜孔与结构面交割关系是相同的,因此III₃型比选孔组与III₄型比选孔组所穿越的裂隙情况是相同的,因此,III₃区完全可以利用III₄区的计算结果,惟把III₄区的钻孔倾向变换成仰向就可以了.

3 岩体加固实践

在长期大量实践中,我们逐渐发现和认识到,如若不深入了解岩体结构特性,不把加固措施与岩体的缺陷结合(或统一)起来考虑,不管付出何种代价,都是难以达到预期目的的.笔者在长期研究岩体加固方法中,总结出了一整套理论、方法和工艺.

3.1 小浪底进水塔群地基固结灌浆

小浪底进水塔群由16个引水洞口组成,地基由泥质粉砂岩和硅质、硅钙质细砂岩组成.由于岩体在爆破开挖后充分卸荷,岩体破碎、渗透性较大,需要进行固结灌浆处理.处理面积约2.2万m².为了寻找吃浆量较大的斜孔方向,进行了一系列计算:早期,计算程序尚不十分完善,我们优选了固结灌浆斜孔产状(见表1,钻孔倾角均为60°),取得了较好的固结灌浆效果,提高效益1~3.28倍;后期,计算程序达到了完善程度,如果早期有这个程序,其灌浆效益还可以提高2.86~4.86倍.

表1 固结灌浆斜孔最优方位

部 位	最优固结灌浆斜孔		施工固结灌浆斜孔		①/②
	方位	效益系数①	方位	效益系数②	
2号孔板塔	NE80°	3.28	SE112°58'	2.96	1.11
3号孔板塔	NW350°	3.55	SE112°58'	2.53	1.40
2号明流塔	NW340°	4.86	SE112°58'	3.28	1.48
3号发电塔	NE20°	2.86	SE112°58'	1.00	2.86

3.2 小浪底引水洞出口边坡排水孔

边坡内的地下水位较高,消力塘开挖后的上游边坡是不稳定的,需要进行地下水排水.然而,这里的透水结构面倾角大都在80°以上,如用铅直孔排水,其效果是不会好的.为此,我们开展了优选排水斜孔产状的工作,结果表明,采用斜孔倾角45°~60°,可以提高排水效果1.46~9.47倍.考虑到现场施工等诸多因素,在上游边坡排水隧洞内,只选用了具有代表性的两种产状的排水斜孔.即在顶拱选用了210°/60°的排水斜孔;在内侧壁上选用了265°/45°的排水斜孔.施工后,渗压计观测资料表明,上游边坡地下水的排水效果非常好.

3.3 小浪底洞群进口高边坡锚固方向的选择

进口高边坡是按最优锚固角设计的,它的确把稳定性不高的边坡加固成稳定性较好的边坡,然而由于采用的边坡加固设计中基本没有(或者无法)考虑边坡工程地质条件,特别是软弱结构面条件,因而只能设计出一种方位、一种倾角、一种模式的锚固和排水斜孔,而地质条件是千变万化的,显然这种设计存在“先天不足”点(见表2).

表2 用塔基结构面资料计算高边坡锚固斜孔2次效益系数

孔号	比选孔产状		各比选孔 效益系数	各比选孔 2次效益系数
	倾向/(°)	倾角/(°)		
n ₁ ¹	252	4	2.55	3.9
n ₂ ¹	270	6	1.53	2.4
n ₃ ¹	260	32	1.33	2.0
n ₄ ¹	280	2	0.94	1.4
n ₅ ¹	293	40	0.85	1.3
n ₆ ¹	293	10	0.68	1.0
n ₇ ¹	326	32	2.35	3.6
n ₈ ¹	306	2	1.05	1.6
n ₉ ¹	334	4	2.66	4.1
n ₁₀ ¹	316	6	1.63	2.5
n ₁₁ ¹	173	10	3.20	4.9
n ₁₂ ¹	53	10	3.59	5.5

从表2中可以看出,如果在这个边坡上,采用NE53°或SE173°方向的锚固孔,其2次效益系数可以提高490%~550%.

(收稿日期:2001-08-08 编辑:熊水斌)