

# 高强锚杆在深部煤矿巷道支护中的应用

高 杰, 刘玉元, 张京泉

(山东省新汶矿业集团协庄煤矿, 山东 新汶 271221)

**摘 要:**根据深部软岩条件下煤矿巷道锚杆支护效果不理想的情况,分析认为调整锚杆预紧力的大小是改善支护效果的有效方法。通过在具体支护中对螺纹钢锚杆、淮北预紧力锚杆、高预紧力锚杆进行对比试验,采用高预紧力锚杆支护有效地控制住了深部巷道围岩的变形,同时具有较好的经济效益。

**关键词:**高强锚杆;高预紧力;深部煤矿巷道;支护

**中图分类号:**TD353<sup>+</sup>.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)01-0055-04

**Application of High Strength Anchor in Supporting for Deep Coal Mine Tunnel/GAO Jie, LIU Yu-yuan, ZHANG Jing-quan** (Xiezhuang Coal Mine of Xinwen Mine Group in Shandong, Xinwen Shandong 271221, China)

**Abstract:** The shoring results for coal mine under the soft rock conditions were not perfect. The author thought that adjustment of pre-stress in a efficient method to improve shoring results. Test was made on worm steel anchor, Huabei pre-stressed anchor and high pre-stress anchor, to compare the shoring results. The high pre-stress anchor shown that it can efficiently control the surrounding rock deformation in tunnel under deep earth. Meanwhile it has good economic benefits.

**Key words:** high strength anchor; high pre-stress; coal mine tunnel under deep earth; shoring

## 1 问题的提出及理论依据

### 1.1 课题的提出

锚杆支护作为一种主动支护形式,能够及时加固围岩,减少围岩变形,防止顶板早期离层和片帮,顶板下沉量和两帮位移量明显小于架棚巷道。我矿在-550 m水平全面推广锚杆支护,锚杆支护率达到80%以上。随着开采深度的增加,2002年以来我矿-850 m水平准备及回采巷道遇到了空前的技术难题,-850 m水平埋深已达1000 m以上,深部软岩条件下采用原来-550 m水平成功支护经验已不能满足巷道稳定要求,采取锚杆加长措施后,支护效果仍不理想,因此需及时总结-550 m水平锚杆支护成功经验及-850 m水平支护困难的教训,以便采取针对性措施以满足巷道支护要求。

通过分析认为,-550 m水平支护成功经验是锚杆对围岩提供了主动约束力,通过人工施加300 N·m的预紧力(相当于锚杆轴向力12 kN左右)约束破裂围岩,此主动约束力限制了围岩的变形,若进一步提高支护对围岩的约束力,-550 m水平将能够扩大锚杆间排距,减小锚杆使用规格,调整锚杆预紧力的大小是目前改善锚杆支护效果最直接有效的一种方法。

### 1.2 方案的提出

理论和实践证明,提高锚杆的预紧力有利于巷

道锚岩支护体的形成,并提高其强度,以产生较大的承载能力。锚岩支护体中,每一根锚杆的粘着段和托盘之间都形成一个双锥形的应力区。这个锥体的开角与岩层的摩擦角有关,也和穿过的裂隙层理有关。在锚岩支护体中,由锚杆所造成的应力沿粘着段和沿托盘的边缘最大,在锥体的底部应力的强度最小。因此只有使锚杆所形成的双锥体彼此相切,同时还必须对锚杆施加较高的预紧力,才能进一步提高锚岩支护体的承载能力,也就是说,锚杆支护区的厚度及锚杆的预拉力对锚岩支护体的承载能力具有决定性的影响。因此,无论巷道围岩的可锚性如何,选用适合围岩状态具有一定预紧力锚杆使锚固区域内的岩体相互作用组成锚固体,改变锚固体的应力状态、力学参数,并改善其力学性能,将其由二向应力状态转化为三向应力状态,约束其剪胀变形,使锚固区域岩体峰值强度、峰后强度及残余强度均得到强化,提高其自身强度,因而它能够有效地减少巷道围岩的破坏区、塑性区的范围和表面位移,从而获得较大的承载能力,实现围岩的自稳。同样悬吊理论也认为锚杆的主要支护机理是将锚固区域内的岩体通过锚杆固定在位移量小相对稳定而强度较高的岩层上,这一作用同时也具有对锚固区内的围岩起到更有效的加固、组成更强的锚岩承载结构的效果。

收稿日期:2005-07-22

作者简介:高杰(1972-),男(汉族),山东新泰人,山东省新汶矿业集团协庄煤矿区长、工程师,采矿工程专业,硕士研究生在读,研究方向为煤矿开采,山东省新汶矿业集团协庄煤矿掘进三区,(0538)7834613。

万方数据

### 1.3 高预紧力钢锚杆支护技术研究理论依据

支架与围岩二者既对立,又统一。如果不受支护阻挡,在地下空间周边的破裂岩体处于周边切向和空间轴向的双轴受力状态,通常轴向应力是中间主应力,若忽略它,周边的破裂岩体就相当于处于单轴受力状态。这时岩体要产生横向位移(对采动空间相当于径向位移),而支护抑制强加于它的这种横向位移,最后由围岩和支护体各自的力学特性共同决定了各自体内的应力和位移,但在围岩与支护接触面的法向则应该具有相同的应力和位移。围岩的位移特性曲线是双曲线的一个分支,围岩位移越小,应力越大,位移越大,则应力越小,支护反力与应力应具有相同的变化趋势。因此提高支护对围岩的约束力,能够使围岩位移减小。支架在“支架-围岩”力学平衡系统中,只能承担极其有限的一小部分载荷,也就是说,支架在围岩内部应力平衡关系中所起的作用是微小的,不能企图利用支架去明显改变围岩的应力状态,然而支架这个微小的支撑作用却又是极其重要和必不可少的,因为支架的阻力,尤其是初撑力(预紧力)较大的支架,能在一定程度上有时还相当有效地起到抑制顶板离层、减少顶板下沉量及阻止煤壁片帮等作用,因此支架对限制巷道周围松动圈内的围岩移动,防止个别危岩冒落等方面都有十分重要和不可忽视的作用。

就锚杆的功能而言,由于锚杆具有将松动岩石约束在稳定的岩层上的功能,所以它具有悬吊作用;锚杆具有的约束与抗剪作用,一方面可以控制围岩变形、离层的发展,另一方面可以使岩体处于三向应力状态,从而提高岩体的抗剪破坏的强度和承载能力,因此锚杆又具有加固和增强作用。实际上锚杆在围岩支护中的作用不是单一的而是组合作用。因锚杆的使用方法和使用条件不同,锚杆组合作用中的某一作用可能起到关键作用。影响锚杆作用的发挥有多种因素,其中主要的影响因素包括:锚杆构件的力学性能、锚固方式、锚杆的组合方式、锚固岩体的力学特性及巷道围岩岩层特性等。

### 1.4 高预紧力锚杆技术特征及创新点

选用25号左旋无纵筋锚杆,长度2.4m,杆尾细螺纹为M27,采用滚压加工工艺成型,滚丝长度120~150mm,螺距3mm。极限破断力400kN,屈服极限294kN,延伸率17%。锚杆配件:采用高强度锚杆螺母M27×3,配合高强度托盘调心球垫和尼龙垫圈,托盘采用拱型高强度托盘,承载能力<400kN。

根据煤矿支护技术手册,锚杆安装预紧力与尾万方数据

部螺纹规格及预紧力矩相关,其换算公式为:预紧力=5.25×预紧力矩/螺纹规格。

预紧力矩为300、400、500、600、800N·m时,预紧力分别为58.3、77.8、97.2、116.7、155.6kN。实测全螺纹钢等强锚杆在300N·m时,预紧力仅为10~16kN,因此高预紧力锚杆能够明显提高锚杆安装质量。

高预紧力锚杆支护技术的创新点:第一,预紧力大,加大了锚杆对围岩的主动约束力,从而控制围岩的变形,与预紧力低的螺纹钢锚杆相比,可降低支护密度;第二,预紧力锚杆不易松动,受放炮震动影响比其他类型的锚杆小,如全螺纹钢锚杆距迎头10m范围内松动较为严重;第三,杆体采用左旋螺纹,而全螺纹钢锚杆为右旋螺纹,目前安装紧固螺母的工具为右旋,采用左旋螺纹右旋安装方式有利于锚固剂的搅拌,能够提高锚固段的密实度,锚固效果好;第四,此种锚杆使用机械安装,安装可靠性高,避免了人工操作的随意性,保证了安装质量,而全螺纹钢锚杆使用扳手人工紧固,随意性强,难以保证足够的预紧力。

## 2 应用情况

### 2.1 巷道概况

1202E运输巷沿二煤顶板掘进,该区域内煤、煤层走向80°~90°,平均厚度2.4m,厚度稳定,中间夹一层厚0.02m炭质页岩夹石,煤岩成分以半亮煤为主,硬度系数 $f=2\sim3$ ,煤层倾角20°~26°;直接顶为砂质页岩,性脆致密,水平层理发育,破碎易冒落,厚6.5m;其上为煤<sub>1</sub>,黑色,松软破碎,厚为0.5m;直接底为粘土岩,遇水膨胀变软,厚度0~0.5m;其下为砂质页岩,厚2.2m,深灰色,块状,含植物化石。顶底板性质见表1。

表1 煤、煤层顶底板岩性表

顶底板名称	岩石名称	厚度/m	岩性特征
老顶	细砂岩	5.4	灰白色,成分以石英、长石为主,较坚硬, $f=5\sim6$
直接顶	砂质页岩	6.5	性脆致密,水平层理发育,破碎易冒落,中夹煤 <sub>1</sub> ,厚度0.7m
直接底	粘土岩	0.2~0.5	遇水膨胀变软
老底	细砂岩	2.7	灰白色,成分以石英、长石为主

巷道开门点位于1202E运输巷M<sub>6</sub>导线点以东14m处,巷道开门按真方位84°沿煤层施工1290m至设计位置。

巷道为锚带网支护,断面形状为梯形。巷道掘

进断面  $11.1 \text{ m}^2$ , 全宽  $3.7 \text{ m}$ , 全高  $3 \text{ m}$ ; 巷道净断面  $8.84 \text{ m}^2$ , 净宽  $3.4 \text{ m}$ , 净高  $2.6 \text{ m}$ 。

## 2.2 支护设计

(1) 采用锚带网及锚索联合支护, 采用 3600 “W”或“M”钢带配 10 号菱形铁丝网 ( $4000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ ) 及 6 根  $\varnothing 22$  全螺纹钢等强锚杆 (两肩窝 L2400, 其余为 L2200) 支护顶板, 间距  $750 \text{ mm}$ , 排距  $1000 \text{ mm}$ ; 两帮各采用  $\varnothing 20 \times \text{L}2000$  全螺纹钢等强锚杆配钢丝绳梯子梁 (或钢筋梯子梁、皮带梯子梁) 及塑料网 (上帮网  $3500 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ 、下帮网  $2000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ ) 护帮, 上帮 4 根, 间距  $1000 \text{ mm}$ , 下帮 3 根, 间距  $1000 \text{ mm}$ , 锚固方式为加长锚, 每根锚杆使用 2 根 Z2835 型树脂锚固剂。菱形网及塑料网规格为  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 。

(2) 按照每  $3 \text{ m}$  打安一根锚索加强支护, 其距迎头最大距离为  $50 \text{ m}$ , 锚索长度  $6 \text{ m}$ , 间距  $3 \text{ m}$ , 安设在巷道中间偏上  $0.2 \text{ m}$  位置。

在 1202E 运输巷共设 2 种观测手段, 表面位移 2 组、顶板离层指示仪 2 台, 平均离层量达到  $77 \text{ mm}$ , 两帮位移量达到  $583 \text{ mm}$ , 顶底板移近量达到  $698 \text{ mm}$ , 部分锚索及锚杆被拉断, 钢带被撕裂, 现有支护手段不能满足巷道的需要, 须采取措施提高支护强度。从原支护设计现场实施情况看, 传统全螺纹钢锚杆由于预紧力低, 无法满足深部煤巷支护需要。

为此引进了淮北  $\varnothing 22 \times \text{L}2000$  及  $\varnothing 20 \times \text{L}2200$  预紧力锚杆代替全螺纹钢等强锚杆, 现场试验平均离层量达到  $58.5 \text{ mm}$ , 两帮位移量达到  $314 \text{ mm}$ , 顶底板移近量达到  $609 \text{ mm}$ , 支护效果比全螺纹钢锚杆有所提高, 但仍不能满足支护要求。

## 2.3 高预紧力锚杆支护设计方案

锚杆支护初始设计采用有限差分数值计算程序 FLAC3.3, 进行多方案比较, 最后得出合理的锚杆支护初始设计。巷道采用树脂加长锚固强力锚杆锚索组合支护系统。

锚杆选用 25 号左旋无纵筋锚杆, 长度  $2.4 \text{ m}$ , 杆尾细螺纹为 M27, 采用滚压加工工艺成型。极限破断力  $400 \text{ kN}$ , 屈服极限  $294 \text{ kN}$ , 延伸率  $17\%$ 。采用气扳机紧固螺母, 拧紧力矩应达到  $800 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

锚固方式: 树脂加长锚固, 采用 2 支锚固剂, 一支为 K2835, 另一支为 Z2860, 钻孔直径  $32 \text{ mm}$ , 锚固长度  $1440 \text{ mm}$ 。

钢带规格: 采用 W 钢带护顶帮, 钢带厚度  $5 \text{ mm}$ , 宽  $280 \text{ mm}$ , 长度  $3.8$ 、 $3.5$  和  $1.8 \text{ m}$ 。

万方数据

锚杆配件: 采用高强锚杆螺母  $\text{M}27 \times 3$ , 配合高强托盘调心球垫和尼龙垫圈, 托盘采用拱型高强度托盘, 承载能力  $< 400 \text{ kN}$ 。

网片规格: 采用金属经纬网护顶护帮, 网片规格分别为  $4.5 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$ 、 $3.6 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$  和  $1.9 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$ , 网孔为  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ , 材料为 10 号铁丝。

锚杆布置: 锚杆排距  $0.8 \text{ m}$ , 每排 12 根锚杆, 顶板锚杆间距  $900 \text{ mm}$ , 上帮锚杆间距  $1100 \text{ mm}$ , 下帮锚杆间距为  $800 \text{ mm}$ 。

锚索形式和规格: 锚索材料为  $\varnothing 18.9 \text{ mm}$  无涂层七丝左捻钢绞线, 破断强度  $< 400 \text{ kN}$ 。

## 3 应用效果分析

### 3.1 工业性试验报告

2004 年 11 月初开始在 1202E 运输巷试验, 第一段按初试设计施工  $40 \text{ m}$ , 矿压观测结果显示, 两帮及顶底板变形量均较小, 顶板离层量仅为  $3 \text{ mm}$ 。为此将锚杆排距放大至  $1000 \text{ mm}$ , 再施工  $40 \text{ m}$  进行对比观测研究。对比观测情况见表 2~6。

表 2 对比试验观测手段表

观测手段	高预紧力锚杆段	淮北预紧力锚杆段	全螺纹钢锚杆段
表面位移	4 组	2 组	2 组
顶板离层	4 台	2 台	2 台
锚杆受力	5 块	5 块	9 块

表 3 表面位移观测数据表 /mm

锚杆类型	两帮	上帮	下帮	顶底	顶沉	底鼓
螺纹钢锚杆	583	326	257	698	153	545
淮北预紧力锚杆	314	182	132	609	92	517
高预紧力锚杆	55	32	23	115	18	97

表 4 顶板离层指示仪观测数据表

锚杆类型	顶板平均离层量/mm
螺纹钢锚杆支护	77
淮北预紧力锚杆支护	58.5
高预紧力锚杆支护	3

表 5 锚杆受力计数据表

锚杆类型		编号								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
淮北预紧力锚杆	初读数/kN	20	45	23	100	50				
	末读数/kN	50	90	60	140	130				
	变化量/kN	30	45	37	40	80				
高预紧力锚杆	初读数/kN	70	80	30	80	100				
	末读数/kN	90	80	30	90	105				
	变化量/kN	20	0	0	105					
螺纹钢锚杆	初读数/kN	35	30	15	25	20	25	20	39	25
	末读数/kN	50	50	100	110	30	110	80	70	80
	变化量/kN	15	20	85	85	10	85	60	31	55

表6 三种锚杆预紧力实测数据表

淮北预紧力锚杆	高预紧力锚杆	螺纹钢锚杆
	300 N·m = 50 kN	
	400 N·m = 70 kN	
300 N·m = 50 kN	500 N·m = 72 kN	300 N·m = 12 ~ 15 kN
	600 N·m = 78 kN	400 N·m = 20 kN
	700 N·m = 80 kN	

3.2 数据分析

三种锚杆的数据分析见表7。

表7 三种锚杆的数据分析表

锚杆类型	两帮位 移速度/ (mm·天 <sup>-1</sup> )	顶底板位 移速度/ (mm·天 <sup>-1</sup> )	顶板离层指 示仪速度/ (mm·天 <sup>-1</sup> )	锚杆受力计 平均速度/ (kN·天 <sup>-1</sup> )
螺纹钢锚杆	14.57	17.45	1.925	
淮北预紧力锚杆	8.7	16.9	1.625	1.38
高预紧力锚杆	4.57	9.58	0.25	0.58

效果评价:淮北改进式预紧力锚杆,虽然预紧力达到50 kN,但是由于高应力作用,仍不能有效控制顶板离层和约束两帮位移,尽管在锚杆受力和巷道变形量虽有所改善,但还不能满足支护设计要求。高预紧力锚杆在安装机具的配套,锚杆附属构件的选择及锚固形式上进行了优化,实现了高预紧力,高强度锚杆支护,控制顶板离层,约束两帮位移取得显著效果。1202E运输巷使用高预紧力锚杆,通过利用各种手段进行跟踪观测研究,巷道支护状况发生了根本性的改变,锚杆断裂及钢带撕裂现象消失,大大降低了巷道的维修量。

3.3 施工情况

采用MQT-120型锚杆钻机打眼及安装搅拌顶板锚杆,使用风煤钻打帮眼,帮锚杆采用风动锚杆安装器搅拌,力矩偏小,后采用防突钻机搅拌帮锚杆,取得了较好的效果,紧固螺母采用2600型气动扳手,预紧力矩仅能达到500 N·m,难以达到初设800 N·m要求,需进一步研究高预紧力安装机具。

按初始设计采用2块树脂锚固剂,由于搅拌设

备力矩小,经常出现锚杆外露超长现象,导致锚杆报废较多,每排1~2根。为此采取措施将锚固剂减少为一块Z2860型树脂锚固剂,之后锚杆外露得到较好的控制。

3.4 施工费用对比

巷道支护材料费用对比见表8。

表8 巷道消耗材料对比表

锚杆 序号	支护材料规格 /mm	数量 /m	单价 /(元·m <sup>-1</sup> )	金额 /元
1	锚杆 Ø20 × 2200	2.5	24.33	60.83
2	锚杆 Ø20 × 2000	12.5	24.11	301.38
3	钢带	15	19.83	297.45
4	锚索	1	150.2	150.2
合计				809.86
1	锚杆 Ø25 × 2400	13	60.2	782.6
2	钢带			450.54
3	锚索	0.33	150.2	49.63
合计				1282.77

由表8可以看出,高预紧力锚杆支护段比原支护巷道多投入材料费用472.91元/m。

参照2004年二四层煤巷平均施工费用1400元,修复费用为原支护费用的50%,原支护巷道比高预紧力锚杆支护段多投入修复费用700元/m。

综合支护费用与修复费用,高预紧力锚杆支护段比原支护巷道可节约施工费用227.09元/m。每年二四层煤巷进尺为12000m,则年经济效益272.5万元。

4 结语

采用高预紧力锚杆支护,有效地控制住了深部巷道围岩的变形,达到了巷道使用目的,改善了以前边掘边修、前掘后修的状况,既提高了有效进尺,又解决了巷道掘出后能够立即投入使用的问题,缓解了我矿目前的持续紧张局面,技术效果非常明显,同时高预紧力锚杆支护促进了矿井的安全生产,具有较高的安全效益。

江苏省2006年将新开建南京长江四桥等三座过江大桥

新华社消息 从江苏省交通部门了解到,2006年,江苏长江段将新开建南京长江四桥、泰州大桥和崇启大桥等3条过江通道。“十一五”期间,江苏省过江通道将达到11个。

据了解,将于2006年上半年开工的南京长江四桥选址位于长江二桥下游10~15 km处的石埠桥附近,距长江入海口320 km,是国道主干线南京绕城高速公路的过江通道和重要的组成部分,南接312国道和南京绕城高速公路,北接宁通和沿江高速公路,设计行车速度为100 km/h。

南京长江四桥全长约21 km,预计投资52亿元,将于2010年建成通车。

规划中的泰州大桥和崇启大桥也将在2006年动工,其中泰州长江大桥为越江公路工程,全长60多千米。崇启大桥则是江苏省新一轮高速公路网中新增设的过江通道之一,崇启大桥连接江苏省启东市与崇明岛,崇明岛与上海则通过江中隧道相连接。大桥全长约为4720 m,设计标准为双向6车道,工程总投资约35亿元。