

高水平地应力煤巷的锚杆复合支护技术

葛妙英, 刘利平

(河南龙宇能源集团有限公司 车集煤矿, 河南 永城 476600)

摘要: 为了解决车集煤矿深部采区煤巷支护难问题, 确保安全, 提出了以提高安装的锚杆预紧力为核心的锚杆设计思路, 在高水平地应力下, 深部采区沿空掘巷内复合锚杆加固技术与参数。结果表明, 通过加强锚杆锚索安装时的预紧力, 加强巷道帮部支护, 显著提高了巷道支护质量。

关键词: 高水平地应力; 深部采区; 沿空巷道; 预紧力; 帮部锚索; 锚索梁

中图分类号: TD353.6 **文献标志码:** B **文章编号:** 0253-2336 (2007) 11-0018-04

Bolt complex support technology for high horizontal earth stressed seam gateway

GE Miao-ying, LIU Li-ping

(Cheji Mine, Henan Longyu Energy Group Corporation Ltd., Yongcheng 476600, China)

锚杆支护技术更多地强调了锚杆支护系统的强度, 但锚杆支护与矿井实测地应力相结合, 锚杆支护初锚力以及同一矿井各回采巷道支护形式与参数选择没有得到更多的重视。对矿井实际地应力认识不清时, 容易造成巷道的过度支护或支护不足; 锚杆预紧力小于松脱岩体所受重力时, 容易造成松动范围进一步发展, 围岩向内部渐次松动, 锚固区岩体逐渐破坏, 产生裂隙, 导致支护失效。

1 工程概况

车集煤矿井田总体构造特征为宽缓褶皱为主, 伴随一定数量的断裂构造, 褶皱和断裂构造呈北北东向和近南北和北东为主。北北东向断层构造居主导地位, 多集中分布在背、向斜两侧, 其次是近东向构造, 局部发育有北西向构造。一水平大巷标高为-550 m, 主要可采煤层为二叠系山西组二2煤层和下石盒子组三煤层, 顶底板岩性主要为细砂岩、砂质泥岩、炭质泥岩、泥岩。随着开采深度的逐渐增加, 巷道矿压显现明显加剧, 围岩破坏强烈, 特别是23采区北翼、三煤层及深部采区沿空巷道, 按原锚网索支护后, 巷道明显收缩, 顶板下沉、两帮收缩、甚至发生底板鼓起等现象。例如在施工2407上平巷(沿空掘巷)和3403上平巷、23采区北翼时, 施工后不到1个月的巷道两帮明显收缩, 最大收缩量达1 m, 巷道顶板下沉, 底板鼓起, 不得不二次扩帮, 增加工字钢棚加强支护, 但效果仍然不佳。图1为3403上平巷原锚网索钢带

支护1个月后, 二次支护工字钢棚的巷道破坏情况实拍图。特别是顶板破碎无法打锚杆时, 采用架设工字钢棚支护和29U型钢支护, 施工后不到一周时间工字钢棚棚腿挤弯、挤出, 顶梁变形, 底板鼓起, 二次支护的工字钢棚修复率100%, 图2为3403上平巷原工字钢棚支护1周后, 二次再加棚支护巷道破坏情况, 甚至出现多次修复, 不仅耗费大量的人力、物力, 影响了矿井生产的正常接续, 而且安全也得不到保障。



图1 3403上平巷原锚网索支护

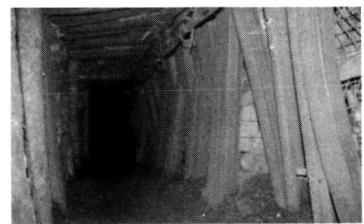


图2 3403上平巷原工字钢棚支护

2 巷道原支护形式

巷道原支护为: 顶板支护采用 $\phi 20\text{ mm} \times 2\ 000$

mm 高强锚杆, 顶锚杆间排距 700 mm × 800 mm, 每根锚杆配 2 根型号为 MSK2335 的树脂锚固剂, 锚固力大于 100 kN, 煤帮使用 $\phi 16$ mm 的普通树脂锚杆, 锚杆长为 1 800 ~ 2 400 mm, 每根锚杆配型号为 MSK3530 的树脂锚固剂 1 根, 锚固力大于 50 kN, 锚杆间排距 800 mm × 800 mm, 全断面挂设钢板网或菱形金属网, 顶板中间打设一排锚索, 锚索间距 3 000 mm, 锚深 7 500 mm, 锚索为 $\phi 15.5$ mm × 8 m 的钢绞线, 每根锚索配 3 根型号为 MSK2350 的树脂锚固剂, 锚固长度不小于 1.5 m, 锚索预紧力不小于 100 kN, 锚杆支护失效时, 采用支设工字钢加强支护; 顶板破碎无法打注锚杆时采用架设 11 号矿用工字钢单棚或对棚支护。

3 地应力实测情况

此次地应力测试采用了中国地质科学院地质力学研究所研制的 KX - 81 型空心包体三轴地应力计, 具体测点位置选择及参数见表 1, 实测后所得地应力数据见表 2。

表 1 地应力测点位置及参数

测点位置	岩性	测点位置 (大地坐标)			方位角/ (°)	倾角/ (°)	孔深/ m
		x/m	y/m	z/m			
北材料库	砂质泥岩	7 088	3 341	-547.3	181	5.0	8.6
26 轨道	砂质泥岩	5 914	4 529	-751.0	159	4.5	12.0
南大巷	泥岩	2 328	2 378	-539.6	110	4.0	9.8
27 泵房	细砂岩	2 181	3 489	-769.0	67	4.0	8.9

表 2 地应力测试结果

钻孔位置与 测点埋深	名称	主应力			垂直应力/ 力/MPa
		应力/MPa	方位角/(°)	倾角/(°)	
孔北材料库 埋深 578 m (1 号孔)	σ_1	24.64	190.71	4.13	15.52
	σ_2	17.45	-80.27	-13.40	
	σ_3	15.36	117.48	-75.96	
26 轨道 埋深 782 m (2 号孔)	σ_1	33.11	171.34	6.00	20.48
	σ_2	21.85	82.60	-11.82	
	σ_3	20.26	234.86	-76.70	
南大巷 埋深 570 m (3 号孔)	σ_1	24.29	188.70	4.51	15.18
	σ_2	17.13	-80.64	8.35	
	σ_3	15.08	250.61	-80.49	
27 泵房 埋深 800 m (4 号孔)	σ_1	34.14	185.72	5.63	21.03
	σ_2	21.97	-84.56	-2.88	
	σ_3	20.90	158.46	-83.67	

从表 2 所示的 4 个孔测点的主应力数值可以发现, 车集矿深部地应力场分布存在如下的规律: 在每一测点, 有 2 个主应力接近于水平方向, 其倾角一般小于 6° , 最大不超过 14° , 另有一个主应力接近于垂直方向, 与垂直方向夹角不大于 14° 。垂直应力基本上等于或略小于单位面积上覆盖岩层的重量。最大主应力位于水平方向, 说明该矿的地应力场是以水平构造应力为主, 而不是以自重应力为主。各个主应力和水平应力都为压应力, 没有出现拉应力的现象。

4 高水平地应力煤巷锚杆支护设计

4.1 煤巷锚杆支护设计原则与技术关键

(1) 煤巷锚杆支护技术更多地强调了锚杆支护系统的强度, 但锚杆支护初锚力仍很低。锚杆安装之初对围岩的作用主要取决于锚杆预紧力的大小。当锚杆预紧力小于松脱岩体所受重力时, 松动范围进一步发展, 向上渐次松动, 锚固区岩体逐渐破坏, 产生裂隙, 导致支护失效; 当锚杆预紧力大于松脱岩体所受重力时, 则克服了这个缺陷。因此, 不仅强调支护材料本身的强度、锚杆与围岩的锚固强度, 更应注重支护能够实现的初始支护力, 即锚杆预紧力。

(2) 巷道支护更多地强调对顶板的支护, 而忽视了增加煤帮的自身承载能力。对于水平地应力高的煤巷, 加强巷道煤帮支护, 提高巷道煤帮自身承载力, 对控制巷道顶板起关键性作用, 即通过控制帮部来达到控制顶板的目的。

(3) 加大围岩锚固层范围, 控制顶及帮。主要通过锚网组合支护和帮顶打注锚索, 维护巷道的整体稳定性。

(4) 关键部位加强支护。顶板两侧锚杆尽量靠近两帮, 两帮四角锚杆尽量靠近顶、底板, 顶部中央采用高强锚杆锚索支护, 压力大时在帮部或底角增设锚索, 增设锚索能有效调动深部围岩的承载能力。

(5) 顶板破碎时采用架棚与帮锚相结合, 支护与卸压相结合, 来达到控制帮顶的目的。

4.2 顶板应力分析与锚杆长度确定

(1) 顶板拉应力分析。从控制顶板拉应力区分布范围的角度, 组合梁厚度应不小于顶板拉应力区范围的最大高度。采用扭矩应力锚杆时, 这相当于非锚固自由段长度, 加上锚固段长度和外露长

度,即为锚杆长度。

(2) 围岩剪切破坏。为了确定巷道围岩的剪切破坏范围,莫尔库仑安全系数法是最常用也是相对可靠的方法,莫尔库仑安全系数 S_F 计算公式为

$$S_F = \frac{K\sigma_3 + C}{\sigma_1}$$

式中 K ——与最大主应力有关的系数;

σ_1 ——最大主应力;

σ_3 ——最小主应力;

C ——黏聚力。

根据国内外大量的经验和实测数据,巷道顶板的莫尔库仑安全系数 S_F 大于 1.5 的范围被认为是安全的, S_F 小于 1.5 的范围是不稳定范围,对不稳定范围需要对其支护控制。

对两帮来说,通常认为安全系数 S_F 大于 1.0 的区域是安全的,小于 1.0 被认为是不安全的,需要巷道侧帮进行支护控制。综合巷道围岩拉应力范围和围岩剪切破坏范围,可以确定顶板锚杆长度和帮锚杆长度。

5 支护方案设计

车集煤矿深部采区沿空巷道和三煤巷道顶侧压均很大且帮部煤层松软,巷道收缩量极大,帮部松动范围大。

(1) 对于顶板较完整,可打注锚杆的巷道,确定支护形式为锚网索梁钢带钢筋梯梁支护。① 顶板支护采用 $\phi 20 \text{ mm} \times 2\,000 \text{ mm}$ 高强锚杆,顶锚杆间排距 $700 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$,每根锚杆配 2 根型号为 MSK2335 的树脂锚固剂,锚固力大于 100 kN,预紧力扭矩不小于 $250 \text{ N} \cdot \text{m}$,M 型钢带宽 220 mm,厚 4.75 mm,孔间距为 700 mm,双排锚索,锚索绳为 $\phi 15.5 \text{ mm} \times 8 \text{ m}$ 的钢绞线,每根锚索配 3 根型号为 MSK2350 的树脂锚固剂,锚固长度不小于 1.5 m,锚索预紧力不小于 100 kN,锚索挂设 11 号矿用工字钢锚索梁,锚索梁平行巷道方向,与 M 型钢带成十字交叉,锚索间排距为 $1\,100 \text{ mm} \times 1\,600 \text{ mm}$ 。全断面金属网,网规格为 $2\,000 \text{ mm} \times 1\,000 \text{ mm}$,网格 $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$, $\phi 6 \text{ mm}$ 的金属丝;② 两帮支护形式及参数:帮部采用 $\phi 18 \text{ mm} \times 2.5 \text{ m}$ 的高强螺纹锚杆,每根锚杆配 2 根型号为 MSK2335 的树脂锚固剂,锚杆孔径为 28 mm,锚固力大于 100 kN,预紧力扭矩不小于 $150 \text{ N} \cdot \text{m}$,间排距 $800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$,帮部锚杆挂设钢筋梯子

梁,钢筋梯子梁采用 $\phi 16 \text{ mm}$ 圆钢焊制而成。网片采用金属丝网网片规格为 $2\,000 \text{ mm} \times 1\,000 \text{ mm}$,网格 $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$, $\phi 6 \text{ mm}$ 的金属丝,由于帮部侧压极大,帮部松动范围大,仅靠锚杆不能避免两帮整体向巷道内挤进,帮部增加帮锚索(帮部锚索采用自制的轻型帮部锚索钻机打注),每帮打注 1 排,锚索间距 2 m,锚索绳为 $\phi 15.5 \text{ mm} \times 6 \text{ m}$ 的钢绞线,每根锚索配 3 根型号为 MSK2350 的树脂锚固剂,锚固长度不小于 1.5 m,锚索预紧力不小于 100 kN,锚索挂设 11 号矿用工字钢锚索梁,锚索梁平行巷道方向,与钢筋梯子梁成十交叉。锚杆、锚索布置如图 3 所示。

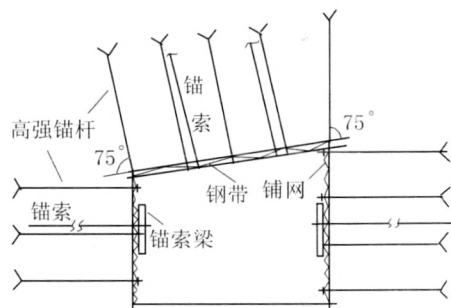


图3 顶板较完整时支护

(2) 对于顶板极其破碎,顶板无法打注锚杆的巷道支护形式确定为:先采用支护工字钢棚或 29U 型弧形棚,然后在帮部加打锚杆、锚索,并且棚腿后预留不小于 300 mm 的空隙,以便围岩卸压,即通过控制帮部来达到控制顶板的目的,通过对帮部围岩卸压来达到避免棚腿挤出目的。棚支架、锚杆、锚索布置如图 4 所示。

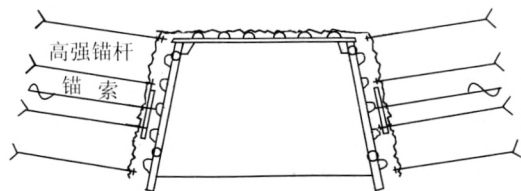


图4 支护效果分析

(3) 有的地段不仅帮部松动范围大,且底板鼓起量也很大。此种巷道支护形式为,在上述支护方案的基础上采用打角锚杆、锚索的方法控制底板,底角锚杆、锚索与水平方向均成 30° 。

经现场试验,新支护方法取得较好效果,基本保证了巷道支护,控制了巷道顶底板与两帮的移近

量, 锚网索支护优化前后 3403 上平巷两帮及顶底板移近量如图 5 和图 6 所示。

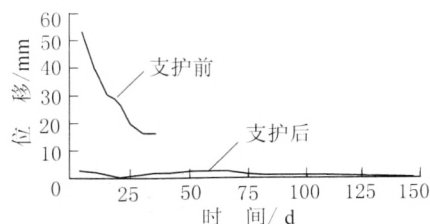


图 5 两帮移近量

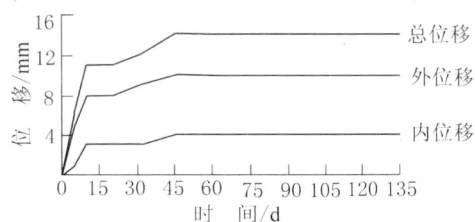


图 6 顶底板移近量

该支护技术通过现场试验与推广, 取得的经济与安全效益, 使车集煤矿深部巷道维护状况明显改善, 避免了二次套棚多次修巷的弊端, 为矿井高产高效安全生产提供了重要保证。此支护方式已推广

(上接第 17 页)

4 结 语

(1) 掌握了 3237 深部大倾角厚煤层综放开采工作面的矿压显现规律和顶煤、顶板的运移特征。在此方面还应补充 3 条: ① 工作面来压步距在走向方向上不一致, 呈中上部长, 两端短, 初次来压相差达 10 m 以上。② 工作面沿倾斜方向应力分布, 工作面两端压力小于中部压力, 下端压力小于上端压力, 压力最大点位于中部偏上。③ 工作面开采时沿走向方向的垮落角为 $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$; 沿倾斜方向向下端头顶板垮落角为 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 而上端头仅为 50° , 最大顶板垮落高度为 52 m, 位于回风巷的斜上方, 垂直顶板垮落高度约为 37m, 仅为采高的 3.5 倍。

(2) 得出了大采深与大倾角回采巷道变形与支承压力的分布特征。即 2 个巷道的围岩变形量和变形速度及破坏程度有较大的差别, 运输巷围岩的垂直变形量为回风巷的 74%, 而水平变形量仅为回风巷的 43%, 运输巷的顶底板移近速度为回风巷的 64%。在距离工作面大于 50 m 时, 巷道两帮

应用到所有顶压、侧压大的深部采区沿空巷道和三煤巷道中, 均取得良好效果。如深部采区 2413 上巷沿空巷道 (标高 -760 m), 工作面现已回采 60%, 巷道两帮收缩量不大于 200 mm, 顶板保持完整; 深部采区 2307 上巷沿空掘巷 (标高 -780 m) 采用了此种支护方式, 现已回采 50%, 巷道两帮收缩量最大不超过 190 mm, 顶板保持完整, 完全满足安全。

参考文献:

- [1] 张 农, 高明仕. 煤巷高强预应力锚杆支护技术与应用 [J]. 中国矿业大学学报, 2004 (5).
- [2] 王洪涛, 王延国, 朱跃泉. 深井煤巷预应力支护体系研究与应用 [J]. 山东煤炭科技, 2005 (4).
- [3] 李国峰, 蔡 健, 郭 志. 深部软岩巷道锚注支护技术研究与应用 [J]. 煤炭科学技术, 2007 (4).
- [4] 李仕明, 陈光升. 区段煤柱影响下的巷道矿压显现规律及支护 [J]. 煤炭工程, 2005 (4).

作者简介: 葛妙英 (1966-), 男, 河北石家庄人, 高级工程师, 现任车集煤矿总工程师。Tel: 13781531691

收稿日期: 2007-06-10; 责任编辑: 曾康生

移近量大于顶底板移近量; 当小于 50 m 范围时, 顶底板移近量大于两帮移近量, 说明深部回采巷道变形受采动的影响较大。通过现场矿压实测及研究结果的应用, 成功地改变了赵各庄矿传统陈旧的开采方式, 大大地提高了机械化水平。

参考文献:

- [1] 李乐珍. 急倾斜特厚煤层综放矿压规律 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2000 (1).
- [2] 谢连银, 王永飞. 深部采区轻放工作面矿压规律研究 [J]. 大屯煤炭科技, 2004 (2).
- [3] 王红胜, 张东升, 万志军, 等. 综放工作面支架与围岩适应性分析 [J]. 煤炭工程, 2006 (5).
- [4] 李建民. 开滦矿区采掘机械化技术现状与发展趋势 [J]. 煤炭科学技术, 2007 (1).

作者简介: 孟宪锐 (1951-), 男, 北京人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为开采方法、现代采矿新技术、矿山压力、资源开发与规划、辅助运输、巷道支护及计算机在采矿中的应用等。Tel: 010-62331388, E-mail: mengxr@cumt.edu.cn

收稿日期: 2007-08-10; 责任编辑: 曾康生