

# 高应力三软煤层大断面沿空掘巷锚网支护技术

刘银志<sup>1,2</sup>, 贾明魁<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学北京校区, 北京 100083; 2. 平顶山煤业(集团)有限责任公司六矿, 河南平顶山 467091)

**摘要:** 根据采场矿压理论及大型岩土工程分析软件 FLAC3D 模拟, 得出平顶山煤业集团六矿丁<sub>5,6</sub>-22130 风巷沿空掘巷锚网支护合理煤柱宽度并优化了支护参数。矿压监测结果表明, 支护设计合理, 巷道围岩变形在工程允许范围内, 满足了安全生产需要, 取得了良好的技术经济效益。

**关键词:** 高应力; 三软煤层; 大断面; 沿空掘巷; 锚网支护

**中图分类号:** TD353 **文献标识码:** B **文章编号:** 0253-2336(2003)04-0017-03

## Bolt/ mesh support technology for large cross section roadway driving along next goaf in high strees three soft seam

LIU Yin-zhi<sup>1,2</sup>, JIA Ming-kui<sup>1</sup>

(1. Beijing Campus, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

2. No. 6 Mine, Pingdingshan Coal Mining Group Corp. Ltd., Pingdingshan 467091, China)

平顶山煤业集团六矿是年产 300 万 t 的特大型现代化矿井, 自 20 世纪 90 年代以来, 积极与科研院所合作, 大力研究推广煤巷锚网支护技术, 煤巷锚网支护率达 96%, 达到了国际先进水平。近年来, 结合该矿煤层赋存特征, 在丁<sub>5,6</sub>-22130 风巷研究试验高应力“三软”煤层沿空掘巷锚网支护技术, 并取得了成功。

### 1 试验巷道生产地质条件

平顶山煤业集团六矿丁<sub>5,6</sub>-22130 风巷位于丁一采区西翼, 走向长 1 800 m, 垂深 650 m, 其上部丁<sub>5,6</sub>-22110 工作面已回采, 该巷道沿丁<sub>5,6</sub>-22110 工作面采空区边缘掘进, 巷道与采空区之间留有 4 m 窄煤柱, 属于留窄煤柱沿空掘巷。丁<sub>5,6</sub>煤层煤厚 3.0~4.1 m, 平均 3.4 m, 倾角 10°, 煤的普氏系数  $f < 1$ , 裂隙发育; 直接顶为铝土质泥岩, 厚 0.6~3.0 m, 平均 2.0 m, 普氏系数  $f = 2 \sim 3$ , 层理发育, 易片状剥落; 老顶为灰色厚层状砂岩, 厚 1.74~5.8 m, 平均 4.3 m; 直接底为泥岩, 厚 6.05~18 m, 平均 14.78 m。

根据附近地应力测试结果, 巷道最大水平主应力高达 35 MPa, 为垂直应力的 2.2 倍, 与巷道走向夹角 43°。根据原煤炭部围岩分类标准, 该巷道属

于 Ⅲ 类围岩。由于煤层中存在高应力, 属于极难维护的回采巷道。

### 2 确定沿空侧窄煤柱合理宽度及支护参数

#### 2.1 确定沿空侧窄煤柱的合理宽度

矿压理论和实测资料分析表明, 为减少围岩移近率以使巷道稳定并减少煤炭损失, 护巷煤柱宽度应尽可能小一些。但若煤柱过窄, 开巷后煤柱易于迅速变形破坏而使锚杆安设在破碎围岩中, 使锚固力减弱, 锚杆的支护作用降低。为安全起见, 试验前采用 2 种方法确定沿空侧窄煤柱的合理宽度。

(1) 数值分析。根据丁<sub>5,6</sub>-22130 风巷围岩条件及地应力测试结果, 应用大型岩土工程分析软件 FLAC3D 模拟 12 种不同煤柱尺寸方案, 不同煤柱尺寸掘巷时顶底板、两帮相对移近量如图 1 所示。从图 1 中可以看出, 不同煤柱尺寸条件下掘巷引起的围岩变形规律。根据围岩变形规律, 高应力“三软”煤层沿空掘巷应选取较小煤柱宽度。在较小煤柱宽度中, 应以 4.5 m 左右为宜。

(2) 经验估算。按照煤巷两帮煤体应力和极限平衡理论, 合理的最小煤柱宽度  $B$  为

$$B = x_1 + x_2 + x_3$$

式中  $x_1$  ——因上区段工作面开采而在下区段沿空

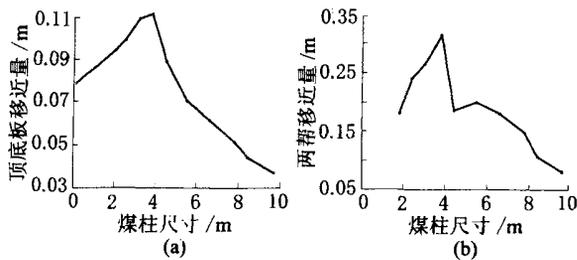


图1 不同煤柱尺寸掘巷时顶底板相对移近量

掘巷窄煤柱中产生的破碎区, 实测

$x_1 = 1.4\text{m}$ ;

$x_2$ ——巷道窄煤柱一帮锚杆有效长度, 再增加 15% 富裕系数, 有效长度 1.9 m,  $x_2 = 2.185\text{m}$ ;

$x_3$ ——考虑煤厚较大而增加的煤柱稳定性系数, 按  $0.2(x_1 + x_2)$  计算,  $x_3 = 0.717\text{m}$ 。

则合理的最小煤柱宽度  $B = 4.3\text{m}$ 。综合考虑 (1)、(2) 结果, 确定沿左侧窄煤柱的合理宽度为  $4.0 \sim 4.5\text{m}$ 。

## 2.2 锚杆支护参数确定

平顶山煤业集团六矿丁<sub>5,6</sub>-22130 风巷沿丁<sub>5,6</sub> 顶板掘进, 断面为斜矩形, 巷道宽  $\times$  中高为  $4.2\text{m} \times 3.2\text{m}$ 。根据“锚杆围岩强化理论”及以往的锚网支护巷道存在失修严重问题, 为提高巷道整体稳定性, 顶帮均采用高强左旋螺纹钢树脂锚杆, 直径 20 mm。顶板锚杆全长锚固, 初锚力 40 kN, 帮锚杆加长锚固, 锚固长度大于 1.0 m, 初锚力 15 kN。顶帮配套使用  $\phi 4\text{mm} \times 40\text{mm} \times 40\text{mm}$  冷拔丝钢笆网和钢筋梯子梁。锚杆长度及间排距采用数值模拟与经验相结合的方法确定。

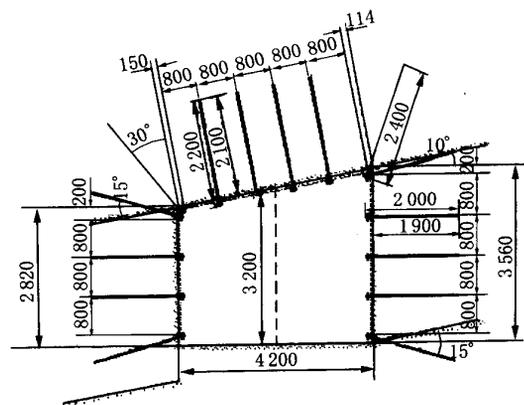
(1) 锚杆长度确定。分别模拟顶锚杆长 1.6 m 的结果表明, 增加锚杆长度, 对控制巷道顶板下沉、两帮移近均有利, 同时对控制底鼓也有一定效果。但若长度超过 2.0 m 以后, 效果不太明显, 结合丁<sub>5,6</sub>-22130 风巷围岩条件和该矿以往锚网支护巷道情况, 选取顶板中间锚杆长 2.2 m, 顶角锚杆长 2.4 m, 帮锚杆长 2.0 m。

(2) 锚杆间、排距确定。锚杆排距分别取 0.6 m、0.7 m、0.8 m、0.9 m、1.0 m 五种和间距 4/5/5、4/6/5、4/7/5 (下帮/顶板/上帮) 3 种组合, 模拟锚杆间、排距对巷道围岩变形影响。从模

拟结果可以看出, 锚杆间、排距的大小对巷道围岩变形有较大影响。综合考虑各种因素, 确定锚杆排距 0.8 m, 间距 0.7/0.8/0.7 m。

## 2.3 金属网与钢筋梯子梁

在现有的金属网中, 网格规格一般在  $100\text{mm} \times 100\text{mm}$  或  $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ , 根据以往软煤帮巷道锚网支护网眼大、刚度低、过于松弛、护帮困难的教训, 必须重新设计金属网, 要求网孔小, 刚度大。决定用直径 4 mm 冷拔钢筋, 制作网格为  $40\text{mm} \times 40\text{mm}$  冷拔丝钢笆网, 并配套使用钢筋梯子梁来维护长距离松散软煤帮。支护断面如图 2 所示。

图2 丁<sub>5,6</sub>-22130 风巷锚杆支护断面示意

## 3 支护效果分析

试验过程中, 为检验设计是否合理, 施工质量是否合乎要求和可靠, 巷道围岩是否稳定, 在 200 m 试验巷道内布置 6 个矿压观测站, 分别观测巷道表面、深部位移, 顶板锚固范围内外离层, 全长锚固锚杆受力及加长锚固锚杆托锚力, 锚杆初锚力及拉拔力抽检, 结果分析如下。

### 3.1 巷道表面位移

(1) 掘进期间。各个侧面观测到的移近速度存在较大差异, 两帮移近速度范围从  $11.4 \sim 45.5\text{mm/d}$ ; 顶底板速度从  $1.2 \sim 12.6\text{mm/d}$ , 造成这种状况的原因是巷道局部地质条件变化。掘进影响期为 7~12 d。

(2) 掘进影响稳定后。两帮最大变形速度为  $1.8\text{mm/d}$ , 最小  $1.2\text{mm/d}$ , 平均为  $1.5\text{mm/d}$ ; 顶底板速度最大为  $1.18\text{mm/d}$ , 最小  $0.15\text{mm/d}$ , 平均  $0.66\text{mm/d}$ 。回采前, 统计各测站围岩移近量,

两帮移近量最大 470 mm, 最小 196 mm, 平均 390 mm; 顶底板移近量最大 142 mm, 最小 56 mm, 平均 111 mm。

(3) 回采期间影响。超前工作面 300 m 开始有影响, 超前 100 m 有较明显影响, 超前 35 m 左右影响剧烈, 在此段内沿空巷道围岩变形较大, 需进行超前加强支护。两帮最大移近量 1 641 mm, 最大变形速度为 510 mm/d, 平均为 79 mm/d; 顶底板最大移近量 776 mm, 最大速度为 152 mm/d, 平均 36 mm, 以底为主。

从观测数据可以看出, 丁<sub>5.6</sub>-22130 风巷采用沿空掘巷锚网支护, 两帮收敛量大, 是顶底板移近量的近 2 倍; 两帮变形不均匀, 煤柱侧以整体移近为主, 实体煤侧下部的移近量大于上部, 表现为向巷道内滑移的趋势; 在顶底板相对移近量中底鼓量大于顶板下沉量, 巷道顶板比较完整, 呈均匀下沉。

### 3.2 巷道深部位移

深孔位移观测表明, 两帮煤体变形破坏特点不同, 煤柱采动影响后期有向两帮垮落的趋势, 实体煤侧则逐渐衰减, 至 9 m 已基本稳定。

顶板离层观测表明, 顶板 6 m 范围内, 锚固区内外离层值不超过 20 mm, 顶板维护状况良好。

### 3.3 测力锚杆受力

测力锚杆观测表明, 帮顶锚杆增阻快, 7d 即有部分锚杆接近最大应力值, 后基本处于稳定状态; 实测最大轴向力均小于锚杆极限强度, 锚杆安全可靠。巷道变形虽大, 但仍处于工程允许范围内, 巷道整体稳定性好, 在端头一定范围内超前加强支护能够满足安全生产要求。

### 3.4 锚杆初锚力及拉拔力

试验过程中, 抽检锚杆初锚力 980 根次, 抽查指标为: 顶锚杆 40 kN, 帮锚杆 15 kN, 合格 85%。拉拔力抽查指标大于 100 kN, 合格 99%, 合乎施工质量要求。

## 4 结 论

(1) 高应力“三软”煤层大断面沿空掘巷采用锚网支护能较好地将巷道围岩变形控制在工程允许范围内, 满足了安全生产需要, 与型钢支护相比, 综合效益提高 1.5 倍。

(2) 采用高强锚杆支护系统、较大初锚力和网孔小、刚度大的冷拔丝钢管网并配套使用钢筋梯子梁等措施是保证支护成功的关键。

(3) 平顶山煤业集团六矿沿空掘巷合理煤柱宽度应在 4.5 m 左右。

(4) 沿空掘巷围岩总移近量较大, 是类似条件下实体煤巷道的近 4 倍, 回采期间移近量是实体煤巷道的 7 倍, 且影响范围大、持续时间长。

(5) 两帮变形不均匀, 煤柱侧以整体移近为主, 实体煤侧下部的移近量大于上部, 表现为向巷道内滑移的趋势。

### 参考文献:

- [1] 侯朝炯, 郭励生, 勾攀峰, 等. 煤巷锚杆支护 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
- [2] 侯朝炯. 煤巷锚杆支护的关键理论与技术 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2002 (1).
- [3] 陈庆敏, 郭 颂, 张 农. 煤巷锚杆支护新理论与设计方法 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2002 (1).
- [4] 康红普. 煤巷锚杆支护动态信息设计法及其应用 [J]. 煤矿开采, 2002 (1).
- [5] 陈庆敏, 金 太, 郭 颂. 锚杆支护的“刚性”梁理论及其应用 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2000 (1).
- [6] 孔 恒, 马念杰, 王梦恕, 等. 锚固技术及其理论研究现状和方向 [J]. 中国煤炭, 2001 (11).

作者简介: 刘银志 (1965 -), 男, 河南平顶山人, 高级工程师, 中国矿业大学北京校区博士研究生, 现为平顶山煤业 (集团) 有限责任公司六矿矿长。

收稿日期: 2003 - 01 - 05; 责任编辑: 刘军娥

广告天地

## 本刊征集袖珍广告

200 ~ 300 字左右 (只要文字, 不要图片)。每次 200 ~ 300 元。有意者请与本刊广告部联系。

电话: (010) 84262926; 传真: (010) 84262340