

# 煤矿沿空掘巷巷旁支护体参数设计

孔祥义<sup>1</sup>, 何 团<sup>1</sup>, 李凯强<sup>2</sup>

1. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁阜新 123000

2. 辽宁工程技术大学安全科学与工程学院, 辽宁阜新 123000

**摘要** 国家《防治煤与瓦斯突出规定》中规定“突出矿井开采保护层时,采空区内不得留有煤岩柱”。铁法大隆煤矿二水平 13# 煤已定为煤与瓦斯突出煤层,现正开采作为保护层的上覆煤层 12# 煤。为了在 12# 煤中实现无煤柱开采,设计在该煤层采用完全沿空掘巷技术。根据岩梁倾斜理论,确定巷旁支护阻力 2860kN/m,煤壁下沉量 0.4725m,选取落叶松木直径为 22cm,高度 240cm,每米巷道支护 10 根。该方案成功避免了应力集中,解决了该矿沿空掘巷巷旁支护问题,提高了煤炭采出率,创造了良好的经济效益。

**关键词** 沿空掘巷;巷旁支护;密集支柱

**中图分类号** TD31

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.20.004

## Mine Parameters Design of Roadside Supporting in Full Driving Along Next Goaf

KONG Xiangyi<sup>1</sup>, HE Tuan<sup>1</sup>, LI Kaiqiang<sup>2</sup>

1. College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

2. College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

**Abstract** The national rule of "Coal and Gas Outburst Prevention and Control Regulations" regulates: Coal-rock pillars shall not be retained in the goaf when exploiting outburst mining the protective layer. Tiefa Dalong mine No. 13 coal layer has been identified as the outburst layer, and the upper protective layer No. 12 coal layer is being exploited. In order to exploit without coal-rock pillars, Tiefa Dalong mine is designed using the scheme of full driving along next goaf. Based on the tilting rock beam theory, the laneway rib deflection of stope laneway and roadside supporting resistance can be calculated, so that the supporting scheme of timber wall has been proposed and successfully resolved the problem of roadside supporting. This scheme promotes the coal recovery rate and creates the great economic benefit.

**Keywords** driving along next goaf; roadside support; timber wall

### 0 引言

沿空掘巷技术在煤矿开采技术先进的国家早已研究与应用。国内陆士良早在 20 世纪 70 年代就对此进行了大量的研究,其成果处于国际领先地位,随后在国内进行了推广应用,但在铁法煤田进行研究和应用尚数首次。沿空掘巷技术可以有效解决突出矿井应力集中带来的巷道矿压大、维护困难和煤与瓦斯突出危险增大的问题。在高瓦斯、高原始应力矿井,并且沿空留巷操作困难的情况下,沿空掘巷技术是解决突出问题的根本方法之一,有利于减少应力集中区的影响范围,降低巷道掘进和巷道维护费用,提高煤炭回采率,并有利于矿井安全生产。

### 1 沿空掘巷技术理论分析

沿空巷道与一般的回采巷道不同,其巷道的一侧帮为煤体,另一侧帮为巷旁支护体,属大变形围岩。同时,还必须承受掘进和两次强烈采动产生的叠加应力的影响,矿压显现剧烈,是一项极其复杂的工程技术。巷旁支护体阻力、可缩性等力学性能应与沿空巷道围岩变形情况相适应,巷旁支护成功的关键是设计合理的巷旁支护体参数和确定合理的巷旁支护方案。

根据岩梁倾斜理论,巷旁支护对巷道基本顶起控制作用,主张用控制巷道煤柱侧和巷旁支护侧的顶板下沉量,即控制顶板倾斜度的方法作为设计巷旁支护工作阻力和可缩

收稿日期: 2013-03-03;修回日期: 2013-03-29

作者简介: 孔祥义,教授,研究方向为矿山压力与矿井动力灾害防治,电子邮箱:2370728125@qq.com

量的依据。巷旁支护体应具有早期强度高、增阻速度快的特点。巷旁支护体应紧随工作面构筑,及时支护直接顶,并能有效地切断直接顶,减小巷旁支护载荷,控制巷道变形。随着工作面推进,巷旁支护阻力应达到切顶阻力,当基本顶弯矩在巷道支护边缘附近达到极限时切断基本顶。

## 2 工程实践

### 2.1 回采巷道煤壁下沉量计算

铁法大隆煤矿井田开拓方式为立井双水平分区式。大隆煤矿可采煤层共 10 层,上水平有 4、5、7、8、9 五层煤,下水平有 12、13、14、15、16 五层煤。二水平南翼 1201 工作面为二水平首采面,埋深-600m,切眼设计长度 200m,巷道坡度 0°~3°。本工作面所采煤层 12# 煤平均煤厚 3m。两顺槽采用锚网索联合支护,巷道围岩稳定,顶板有较小离层。由于窄窄小煤柱势必造成应力集中,所以在运输顺槽采用完全沿空掘巷技术,不留煤岩柱。

根据巷道围岩活动规律,老顶以“给定变形”的方式作用于下方煤岩体,由于老顶的刚度远大于直接顶和煤体的刚度,因此顶板上边界为施加给定变形的边界;下边界受到巷帮煤体支撑力  $P_0$ ,巷内支护阻力  $P_1$ ;由于上覆岩层活动后期残留边界将沿巷帮煤体侧破断,巷道顶板左边界可视为连杆支撑;右边界与采空区冒落矸石接触,简化为横向阻力  $P_2$ ,如图 1 所示。

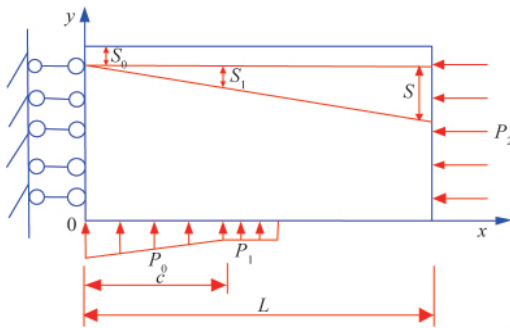


图 1 巷道顶板力学模型

Fig. 1 Mechanical model of roadway roof

由于巷道的围岩活动主要取决于裂隙带上位岩层达到平衡状态前的沉降,所以一般根据裂隙带上位岩层的最终下沉量  $S$  预计巷道煤壁侧的下沉量  $S'$ 。由矿方实际观测得出,裂隙带岩层距煤体极限平衡区原点 19m 远处(即  $L=19m$ )基本达到最大下沉量  $S$ ,由此引起的煤壁下沉分量为  $S_1$ ,有

$$\Sigma h = m / (k_p - 1) \quad (1)$$

式中,  $\Sigma h$  为直接顶厚度, m。

则

$$S = m \left( \frac{k_p - k'_p}{k_p - 1} \right) \quad (2)$$

式中,  $m$  为煤层采高, 3.1m;  $k_p$  为直接顶岩石初始碎胀系数, 1.5;  $k'_p$  为直接顶岩石残余碎胀系数, 1.15。代入式(2)计算得

$$S = 2.205m \quad (3)$$

巷帮极限平衡区的宽度  $c$  为

$$c = \frac{h_0 A}{2 \tan \Phi_0} \ln \left[ \frac{K \gamma H + \frac{C_0}{\tan \Phi_0}}{\frac{C_0}{\tan \Phi_0}} \right] \quad (4)$$

式中,  $A$  为侧压系数,  $A = \mu(1 - \mu)$ ,  $\mu$  为泊松比, 1.247;  $K$  为应力集中系数, 3;  $C_0$  为煤层界面的内聚力, 0.693MPa;  $H$  为巷道埋深, 655m;  $\gamma$  为上覆岩层的平均容重, 0.025MN/m<sup>3</sup>;  $h_0$  为巷道煤帮高度, 3m;  $\Phi_0$  为煤层界面的内摩擦角, 68°, 代入式(4)计算得

$$c = 3.579m \quad (5)$$

由式(1)~式(7)得

$$S_1 = \frac{c}{L} S = 0.4154m \quad (6)$$

传统计算没有考虑巷道煤体侧的变形和弹性基础梁转动支点的内移。实际上,从一些生产矿井的实测资料看,煤层顶板的转动支点具有向煤层里部的可转移性,并非确定在煤体边缘。通过矿压观测可以看出,巷道靠煤体侧上虞角,在来压明显时,出现煤体压密、压酥、片帮掉渣等现象,表明巷道煤体侧具有一定的压缩变形,计算时应考虑煤体边缘的变形  $S_0$ 。在原点  $O$  处,煤体处于极限平衡状态,下沉分量为

$$S_0 = h_0 \frac{K \gamma H}{E_1} \quad (7)$$

式中,  $E_1$  为巷帮煤体的弹性模量, 2583MPa, 代入式(7)计算得

$$S_0 = 0.0571m \quad (8)$$

所以巷道煤壁下沉量为

$$S' = S_0 + S_1 = 0.4725m \quad (9)$$

### 2.2 巷旁支护阻力计算

按照巷旁支护承受载荷的原则,可将巷旁支护受力简化为图 2 所示的形式。即巷旁支护受力,一是直接顶的载荷,二是老顶通过直接顶作用于巷旁支护的载荷。

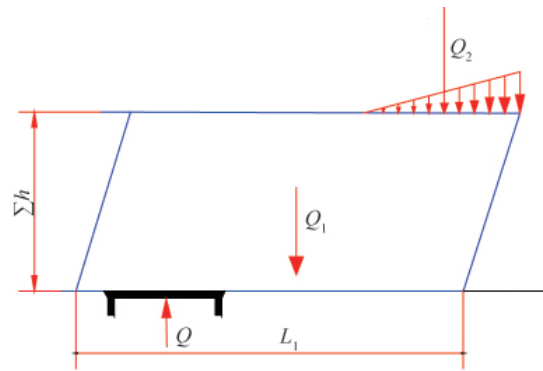


图 2 巷旁支护体受力

Fig. 2 Mechanical model of roadside supporting force

(1) 直接顶载荷

$$Q_1 = \Sigma h L_1 \gamma \quad (10)$$

式中  $L_1$  为直接顶悬顶距, m。

(2) 以直接顶载荷的倍数估算老顶载荷

以一般工作面为准,周期来压时形成的载荷不超过平时载荷的两倍。因此,可得出下述关系

$$P=Q_1+Q_2=nL_1\Sigma hy \quad (11)$$

式中, $P$ 为考虑直接顶及老顶来压时的支护强度, MN;  $n$ 为老顶来压与平时压力强度的比值,称为增载系数,取 2;  $Q_1$ 为老顶载荷,  $Q_2$ 为直接顶载荷。取  $\Sigma h=\frac{m}{k-1}$  ( $m$ 为采高,  $k$ 为碎胀系数), 则

$$P=2L_1\frac{m}{k-1}\gamma \quad (12)$$

$k$ 值取刚破碎时的碎胀系数 1.3~1.5, 因而此时

$$P=2(2\sim 3.34)L_1m\gamma=(4\sim 6.7)L_1m\gamma \quad (13)$$

顶板压力相当于采高 4~6.7 倍岩柱的质量。考虑支护安全系数, 取高倍数 6.7, 即

$$P=6.7L_1m\gamma \quad (14)$$

根据该矿工作面的地质状况, 取  $L_1=5.5\text{m}$ ,  $m=3.1\text{m}$ ,  $\gamma=0.025\text{MN/m}^3$ , 代入式(14)计算得

$$P=2860\text{kN/m} \quad (15)$$

### 2.3 沿空掘巷支护方案设计

采用理论分析方法, 根据地质资料和现场实测数据分析巷道围岩结构, 提出开采期间回采巷道巷旁支护设计方案, 方案确定采用密集支柱作为巷旁支护体。

沿空掘巷的关键是巷旁支护体材料和性能的选择。木材是一种各向异性的材料, 沿纹理方向加压时, 木支柱的可缩性要比垂直纹理加压时小得多。木支柱的优点是质量轻、加工容易、对巷道条件变化的适应性较强, 随着木材直径的增大, 支撑能力也随之增强。

落叶松木具有良好的性能(表 1), 故此次巷旁支护方案选用落叶松木, 在工作面顺槽原有支护基础上, 贴帮打两排木支柱。

表 1 落叶松木支撑性能

Table 1 Supporting performance of larch wood

坑木直径/cm	立柱支撑力/kN	抗压强度/MPa	不同长度顶梁或棚腿的横向抗弯力/kN		
			2.2m	2.6m	3.0m
20	245	—	25.5	21.6	—
22	294	7.73	33.3	28.4	24.5
26	421	7.93	54.9	41.0	40.2
30	559	7.91	—	70.5	62.7

根据顶板载荷 2860kN/m, 确定选用的落叶松木直径及每米巷道落叶松木的用量为

$$N=\frac{2860}{F} \quad (16)$$

式中,  $F$ 为单根立柱支撑力, kN;  $N$ 为所需木材数, 根/米巷道。

(1) 选用直径 20cm 木支柱, 立柱支撑力为 245kN, 计算得

$$N=11.67(\text{根/米巷道}) \quad (17)$$

支柱间距  $L=\frac{2}{N}=0.173<0.20\text{m}$ , 所以此直径木支柱不满足支护要求。

(2) 选用直径 22cm 木支柱, 立柱支撑力为 294kN, 计算得

$$N=9.73(\text{根/米巷道}) \quad (18)$$

支柱间距  $L=\frac{2}{N}=0.206\approx 0.22\text{m}$ , 由于 2.2 节中计算所得顶板载荷已取高倍安全系数, 所以此直径木支柱满足支护要求。经校核确定, 应选取落叶松木直径为 22cm, 高度为 240cm, 每米巷道支护 10 根。

根据 2.1 节所得回采巷道煤壁下沉量 0.4725m, 设计使用 3 块高度 20cm 的杨木垫块, 顶板处两块, 底板处一块。杨木具有良好的可缩性能, 可很好地适应围岩变形, 保证足够的煤壁下沉量。

实际支护时, 接顶接底处打木楔以提高木支柱的稳定性, 使用 K100 充填树脂进行充填密闭。巷帮支护设计平面图和剖面图如图 3 和图 4 所示。

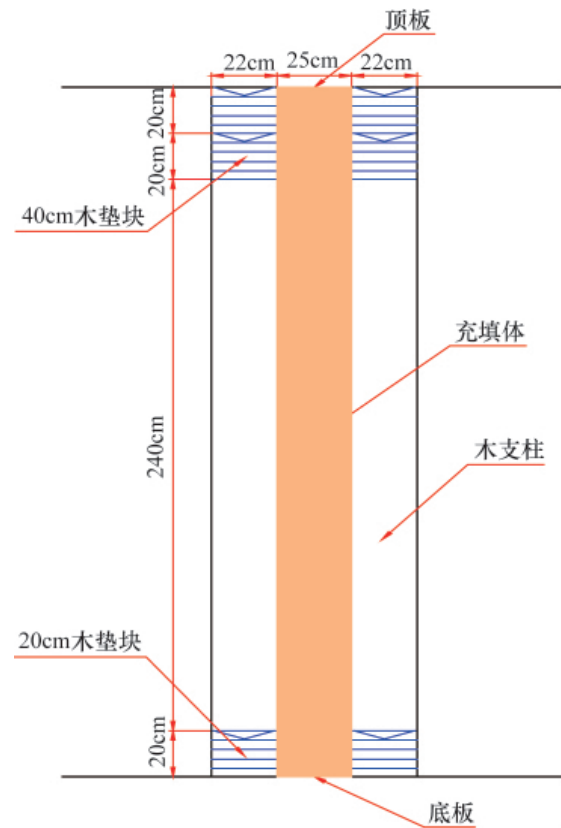


图 3 巷帮支护设计平面图

Fig. 3 Platform of roadside supporting design

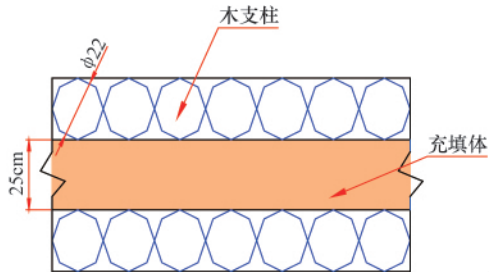


图4 巷帮支护设计剖面图

Fig. 4 Profile of roadside supporting design

### 3 结论

对铁法大隆煤矿 12# 煤 1201 工作面沿空巷道进行长期观测,结果显示巷旁支护整体效果好,接顶效果好,木支柱未出现倒柱、断柱情况,有效支持了巷道顶板。木支柱支护稳定,对采空区顶板有较强的切顶能力,同时能够适应沿空巷道围岩较大变形。该方案大大提高了大隆煤矿煤炭回收率,成功解决了工作面应力集中问题,对沿空掘巷技术的推广具有指导意义。

#### 参考文献 (References)

- [1] 柏建彪. 沿空留巷巷旁支护技术的发展[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 15(12): 113-116.  
Bo Jianbiao. Journal of China University of Mining and Technology, 2004, 15(12): 113-116.
- [2] 徐张保. 沿空留巷技术在回采巷道中的应用[J]. 煤矿安全, 2006, 8(2): 39-41.  
Xu Zhangbao. Safety in Coal Mines, 2006, 8(2): 39-41.
- [3] 王国臣. "沿空留巷"在采煤工作面下巷的应用[J]. 煤矿现代化, 2007(1): 14-20.  
Wang Guochen. Coal Mine Modernization, 2007(1): 14-20.
- [4] 李化敏. 沿空留巷顶板岩层控制设计[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 59(1): 25-29.  
Li Huamin. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 59(1): 25-29.
- [5] 郭育光, 柏建彪, 侯朝炯. 沿空留巷巷旁充填体主要参数的研究[J]. 中国矿业大学学报, 1992, 11(2): 77-83.  
Guo Yuguang, Bo Jianbiao, Hou Zhaojiong. Journal of China University of Mining and Technology, 1992, 11(2): 77-83.
- [6] 费旭敏. 我国沿空留巷支护技术现状及存在的问题探讨[J]. 中国科技信息, 2008(7): 48-51.  
Fei Xumin. China Science and Technology Information, 2008(7): 48-51.
- [7] 翟所业, 吴士良. 沿空送巷的理论探讨[J]. 矿山压力与顶板管理, 2003, 7(2): 41-44.  
Zhai Suoye, Wu Shiliang. Mining Pressure and Strata Control, 2003, 7(2): 41-44.
- [8] 郭正宝. 沿空动压巷道围岩稳定性与支护技术研究[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2011, 11(9): 22-26.  
Guo Zhengbao. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2011, 11(9): 22-26.
- [9] 许岩. 动压巷道围岩破坏机理及其控制研究[J]. 西安科技大学学报, 2009, 37(12): 59-62.  
Xu Yan. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2009, 37(12): 59-62.
- [10] 陈平生, 刘宝敏. 新型让压锚杆在大理深沿空掘巷中的技术应用分析[J]. 煤炭学报, 2008, 27(11): 47-50.  
Chen Pingsheng, Liu Baomin. Journal of China Coal Society, 2008, 27(11): 47-50.

(责任编辑 王媛媛)

#### · 学术动态 ·



### 中国科协印发《中国科协关于加强城镇社区科普工作的意见》

2013年6月19日,为深入贯彻落实党的十八大精神,推动社区居民科学素质行动的深入实施,提高城镇居民科学素质,确保我国公民科学素质建设总体目标的实现,中国科协制定、印发了《中国科协关于加强城镇社区科普工作的意见》,从“充分认识社区科普工作的重要性和紧迫性”、“明确社区科普工作的指导思想、方针和工作目标”、“广泛开展社区科普活动,切实满足社区居民提升自身科学素质的新期待”、“以‘站、校、网’建设为重点,改善社区科普工作条件”、“以‘组、会、员’建设为重点,切实提升社区科普服务能力”、“充分发挥科协组织作用,为社区科普工作创造良好环境”6个方面,就加强我国城镇社区科普工作提出了具体意见。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35488/14815855.html>。