

# 大采深沿空掘巷煤柱尺寸的数值模拟

陈学华<sup>1</sup>, 万长涛<sup>2</sup>, 周建伟<sup>2</sup>

1. 辽宁工程技术大学继续教育学院, 辽宁阜新 123000

2. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁阜新 123000

**摘要** 为确定适合大采深回采巷道的合理煤柱尺寸, 采用数值计算的方法, 对留设不同宽度的煤柱进行模拟, 分别从巷道围岩的应力分布、变形量及塑性破坏区对煤柱的稳定性进行比较分析。结果表明, 煤柱内部应力峰值的分布是确定沿空掘巷窄煤柱的合理宽度重要参考依据, 留设的煤柱尺寸应尽量避免应力峰值过高, 当煤柱宽度为 6—8m 时, 煤柱所承受的应力峰值不大, 顶底板与两帮的位移量较小, 此时煤柱较为稳定, 便于巷道维护和回采率的提高, 同时对煤矿生产安全性给予了保障。本方法的应用对沿空掘巷窄煤柱合理尺寸的确定具有一定的参考价值。

**关键词** 大采深; 沿空掘巷; 数值模拟; 护巷煤柱

**中图分类号** TD324

**文献标识码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.34.009

## Numerical Simulation for Size of Coal Pillar of Large Mining Depth Along Gob-side Entry Driving Direction

CHEN Xuehua<sup>1</sup>, WAN Changtao<sup>2</sup>, ZHOU Jianwei<sup>2</sup>

1. School of Continuing Education, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

2. School of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

**Abstract** In order to determine a reasonable coal pillar size suitable for large mining depth gateways, numerical simulations are carried out for the coal pillar of different width. Analysis and comparison are made for the stress distribution of the surrounding rock of roadways, and for the deformation and the plastic failure zones to study the stability of the coal pillar. The results show that the coal pillar internal stress peak distribution is an important factor for determining the reasonable width of the narrow coal pillar along the gob-side entry driving direction, the retained size of the pillar should be determined in a way to avoid a too high stress peak value. When the width of the coal pillar is 6–8m, the stress peak value under the pillar is not large, the displacements of the roof, the floor and two sides are small. Therefore, the pillar is relatively stable, the maintenance of the gateway becomes easy and the recovering rate is enhanced. At the same time, the coal mine production safety is easy to maintain. The application of this method offers a way for determining the reasonable size of the narrow coal pillar along the gob-side entry driving direction.

**Keywords** large mining depth; gob-side entry driving; numerical simulation; chain pillar

### 0 引言

沿空掘巷<sup>[1]</sup>是中国应用最广的窄煤柱或无煤柱护巷法, 沿采空区边缘布置巷道, 虽仍会破坏原有的应力平衡<sup>[2]</sup>, 但对应力场的扰动较小。沿空掘巷道在掘进过程中会引起围岩明显的变形, 但围岩变形量及流变速度都比较小。沿空巷道围岩稳定性的关键取决于窄煤柱的稳定。因此, 留设合理尺寸<sup>[3-5]</sup>的煤柱, 有利于提高工作面煤炭回收率、消除因煤柱失稳引起的灾害, 而且关系到巷道能否稳定这一重要问题。

本文以济宁二号煤矿 113 下 08 工作面回采巷道为研究对象, 通过现场围岩变形实测, 运用数值模拟的手段, 分析回

采巷道留设不同尺寸煤柱时的巷道围岩及顶底板的应力分布规律<sup>[6-8]</sup>, 旨在保证巷道稳定的基础上, 尽量减少留设煤柱造成的资源浪费, 有着现实的指导意义。

### 1 工作面地质概况

济宁二号煤矿 113 下 08 工作面位于十一采区中部, 工作面倾向长为 216.35m, 走向长度为 1076.8m, 工作面埋深为 -723.4m—-751.8m。该工作面煤层结构稳定, 煤层倾角平均为 6°, 煤厚平均为 5.42m, 可采指数为 1。煤层老顶为粉细砂岩互层, 平均厚度为 8.20m; 直接底为泥岩粉砂岩互层, 平均厚度

收稿日期: 2012-08-14; 修回日期: 2012-09-18

作者简介: 陈学华, 教授, 研究方向为矿山压力与矿井动力灾害防治, 电子信箱: amsober@163.com

为 4.59m;老底为细砂岩,平均厚度为 8.97m。

## 2 模型的建立

本文采用数值模拟软件 FLAC<sup>3D</sup> 对留设不同宽度 (4,6,8,10,12,14m)煤柱的情况分别进行模拟,分析不同情况下沿空留巷小煤柱的应力分布和位移变化规律。模型采用摩尔库伦准则,根据实际工况并考虑计算机的计算能力,建

立数学模型。模型走向取 200m,倾向取 400m,工作面上方和下方岩层厚度各取 60m,共划分 255000 个单元,265226 个节点。模型侧面和底面为位移边界,侧面约束限制水平移动,底部约束限制垂直移动,模型上方为自由边界。根据模型大小和工作面实际埋深,在模型上部边界施加垂直应力 17MPa。

### 2.1 不同宽度煤柱的应力变化量分析

由图 1—图 6 可以看出,在留设不同宽度煤柱时,煤柱体

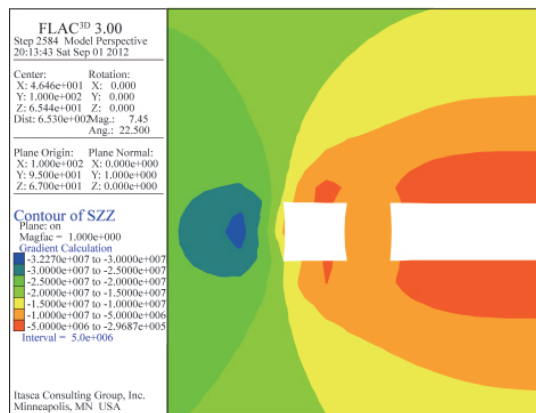


图 1 4m 煤柱应力分布图

Fig. 1 Stress distribution in 4m coal column

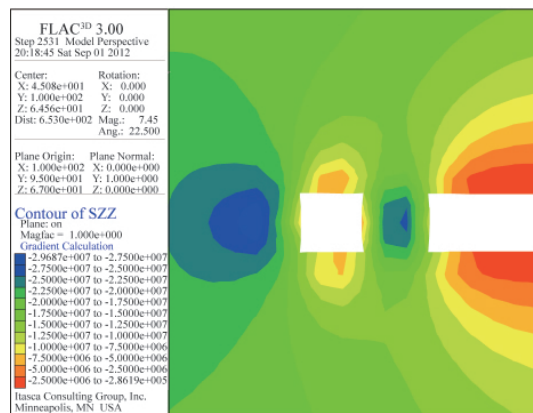


图 2 6m 煤柱应力分布图

Fig. 2 Stress distribution in 6m coal column

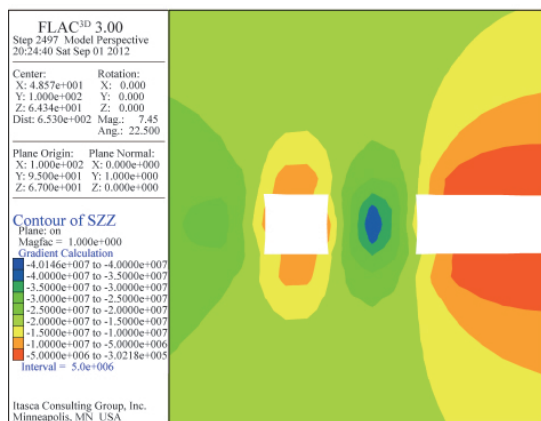


图 3 8m 煤柱应力分布图

Fig. 3 Stress distribution in 8m coal column

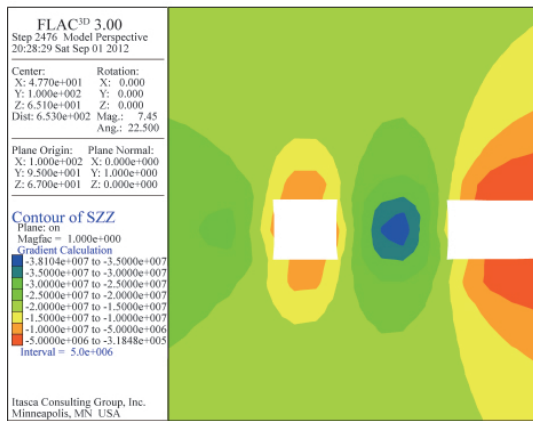


图 4 10m 煤柱应力分布图

Fig. 4 Stress distribution in 10m coal column

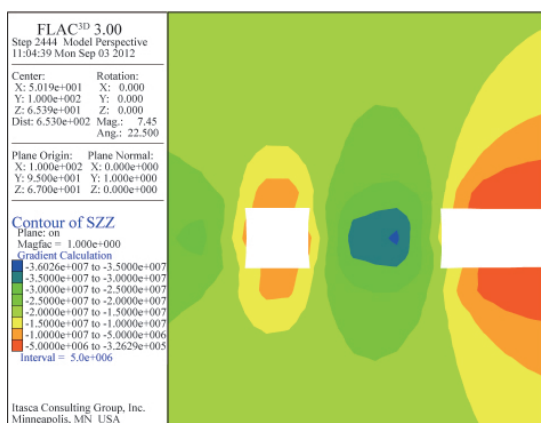


图 5 12m 煤柱应力分布图

Fig. 5 Stress distribution in 12m coal column

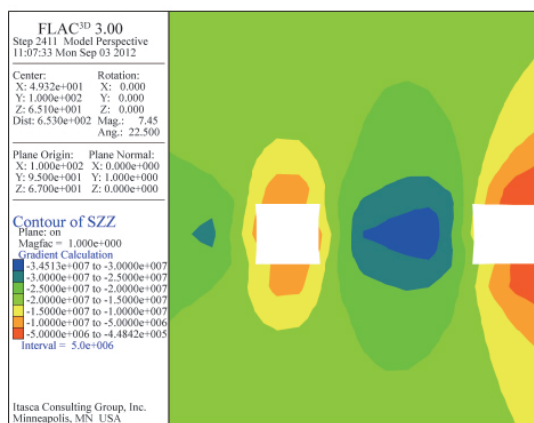


图 6 14m 煤柱应力分布图

Fig. 6 14m coal column stress maps

和巷帮实体煤内的应力大小随着煤柱宽度的变化而变化。当煤柱为 4m 时,应力主要集中在巷道实体煤一侧,煤柱基本不承受压力;当煤柱的宽度为 6m 时,应力逐渐向煤柱体内转移,且煤柱体内出现较大应力值但小于巷帮实体煤侧的应力峰值,此时,巷帮实体煤和煤柱都承受较大的应力。当煤柱宽度增至 8—12m 时,应力峰值出现在煤柱体内,此时煤柱体应力明显增强。当煤柱宽度为 14m 时,出现在煤柱体内的应力峰值也逐渐增大,同时巷道实体煤侧的应力也有所增大。由以上分析可知,煤柱体内的应力随着煤柱宽度的增加而增大,巷帮实体煤内的应力随着煤柱宽度的增加而减小。当煤

柱宽度增加至 8m 以上时,应力峰值均出现在煤柱体内,这说明煤柱体随着宽度的增加其承载能力也有所增加。

### 2.2 不同宽度煤柱的位移变化量分析

由图 7 可知,当煤柱宽度为 4m 时,巷道顶底板在垂直方向位移总量最大,为 0.87m。随着煤柱宽度的增加,巷道顶底板在垂直方向的总位移量逐渐减小,当煤柱宽度为 14m 时,巷道顶底板总位移量为 0.45m。煤柱宽度从 4m 增加至 14m 的过程中,巷道顶底板位移逐渐减小,说明煤柱宽度在增大的过程中对顶底板的支撑作用逐渐增强。从图 8 可以看出,当煤柱宽度为 4m 的时候,巷道两帮的水平总位移达到 1.3m,

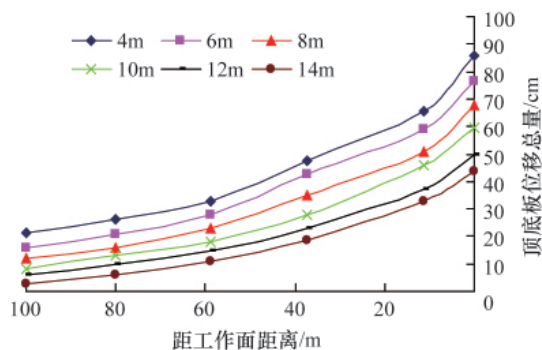


图 7 不同宽度煤柱巷道顶底板位移量

Fig. 7 Roof and floor displacements of coal pillars of different width

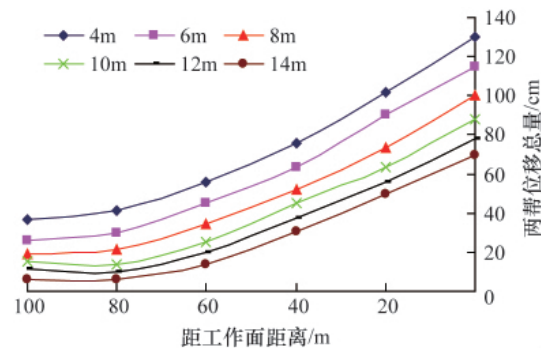


图 8 不同宽度煤柱巷道两帮水平位移量

Fig. 8 Horizontal displacements of two sides of coal pillars of different width

此时煤柱已经发生破坏,无法起到有效的支撑作用。

### 2.3 不同宽度煤柱的塑性区变化分析

由图 9—图 14 可以看出,10m 以内的煤柱体内塑性区均已贯通。结合各个宽度煤柱的应力分布图可知,当煤柱宽度为 10—14m 时,煤柱体内应力峰值较大,由于此时两种状态下的煤柱已经发生塑性屈服,且顶底板位移较小,能量无法转移。因此,煤柱宽度在 10—14m 时,巷道处于不稳定状态,

维护难度大。煤柱宽度为 6—8m 时,虽然煤柱两侧塑性区已经贯通,但由应力分布图可知,此时煤柱体内的能量能很好地向巷帮实体煤转移,煤柱体内的应力峰值不大,所承受的压力不大,如果对巷道采取有效的支护手段,煤柱能够保持较好的稳定性,从而提高煤柱的支撑能力。因此,通过以上分析可知,当煤柱宽度在 6—8m 时,能够对顶底板起到比较有效的支撑作用。

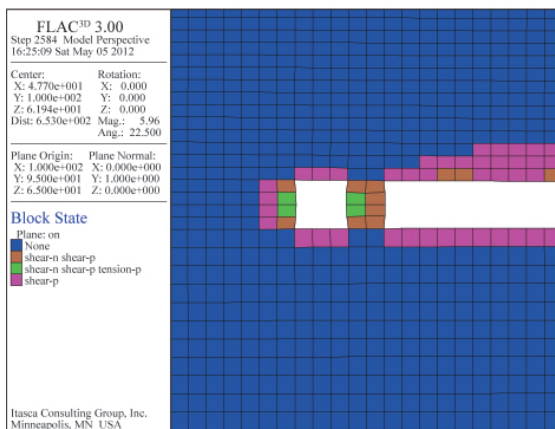


图 9 4m 煤柱时塑性区分布图

Fig. 9 Plastic zone in 4m coal pillar

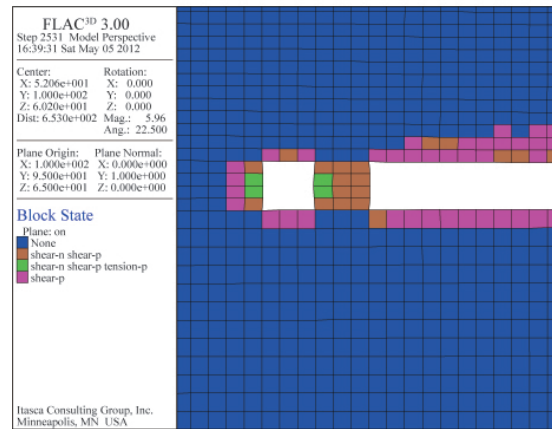


图 10 6m 煤柱时塑性区分布图

Fig.10 Plastic zone in 6m coal pillar



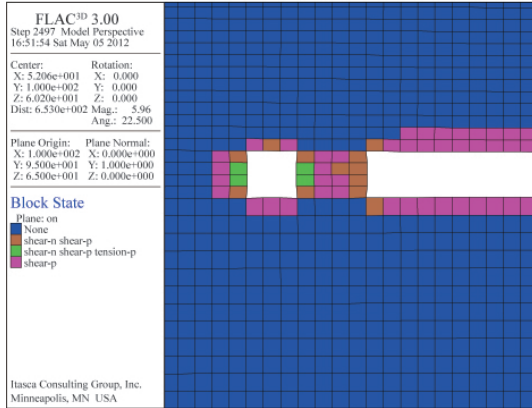


图 11 8m 煤柱时塑性区分布图

Fig. 11 Plastic zone in 8m coal pillar

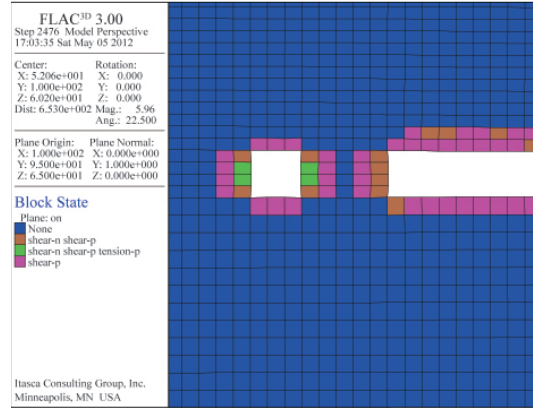


图 12 10m 煤柱时塑性区分布图

Fig. 12 Plastic zone in 10m coal pillar

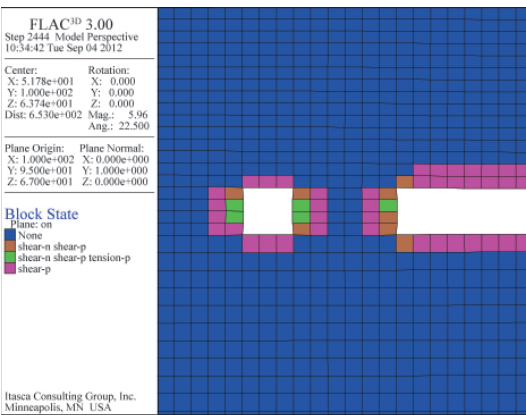


图 13 12m 煤柱时塑性区分布图

Fig. 13 Plastic zone in 12m coal pillar

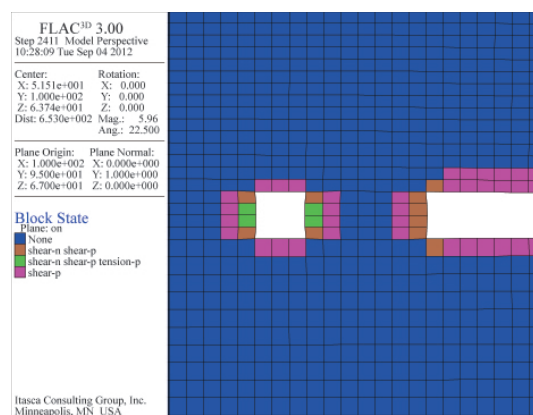


图 14 14m 煤柱时塑性区分布图

Fig. 14 Plastic zone in 14m coal pillar

### 3 结论

针对济二煤矿 113 下 08 工作面地质情况,运用数值模拟手段对不同尺寸的煤柱情况下,巷道围岩的应力、位移及塑性区变化情况进行比较分析,得出以下结论。

(1) 煤柱体内应力峰值的分布是确定沿空掘巷窄煤柱的合理宽度重要参考依据。煤柱宽度较大时,煤柱体内的应力峰值大于巷帮侧实体煤的应力,随着宽度的减小,煤柱体内的应力降低,巷帮侧实体煤内的应力逐渐增大。

(2) 通过对沿空掘巷窄煤柱宽度进行模拟,确定出合理的窄煤柱宽度范围为 6—8m,对工作面回采时巷道的合理布置和维护提供了一定的依据,提高了回采面的产出率,同时也对生产的安全性给予了保障。

#### 参考文献 (References)

[1] 马其华, 王宜泰. 深井沿空巷道小煤柱护巷机理及支护技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(4): 521-523.  
Ma Qihua, Wang Yitai. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2009, 26(4): 521-523.

[2] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 113-114.  
Qian Minggao, Shi Pingwu, Xu Jialin. *Mine pressure and ground control* [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2003:

113-114.

[3] 朱若军, 郑希红, 徐乃忠. 深井沿空掘巷小煤柱合理宽度留设数值模拟研究[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 24(2): 16-18.  
Zu Ruojun, Zheng Xihong, Xu Naizhong. *Underground Space and Engineering*, 2011, 24(2): 16-18.

[4] 常聚才, 谢广祥, 杨科. 综放沿空巷道小煤柱合理宽度确定[J]. 西安科技大学学报, 2008, 36(27): 47-54.  
Chang Jucai, Xie Guangxiang, Yang Ke. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2008, 36(27): 47-54.

[5] 韩承强, 张开智, 徐小兵, 等. 区段小煤柱破坏规律及合理尺寸研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 58(14): 15-16.  
Han Chengqiang, Zhang Kaizhi, Xu Xiaobing, et al. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2007, 58(14): 15-16.

[6] 张少华, 赵英利. 综放沿空留巷围岩活动规律模拟分析[J]. 矿山压力与顶板管理, 2001, 14(56): 7-9.  
Zhang Shaohua, Zhao Yingli. *Mine Pressure and Roof Management*, 2001, 14(56): 7-9.

[7] 张少良. 不同留巷煤柱宽度时巷道围岩的应力分布研究[J]. 中州煤炭, 2010, 31(10): 8-9.  
Zhang Shaoliang. *Zhongzhou Coal*, 2010, 31(10): 8-9.

[8] 张伟, 刘泉声. 小煤柱沿空留巷巷道底板受力变形分析[J]. 煤炭工程, 2009, 10(23): 1-3.  
Zhang Wei, Liu Quansheng. *Coal Engineering*, 2009, 10(23): 1-3.

(责任编辑 吴晓丽)