

# 孤岛工作面应力分布规律的数值分析

宋艳芳<sup>1</sup>, 唐 治<sup>1</sup>, 潘一山<sup>1</sup>, 李晓燕<sup>2</sup>, 罗 浩<sup>1</sup>

(1. 辽宁工程技术大学 力学与工程学院, 辽宁阜新 123000; 2. 北方重工矿山机械分公司, 辽宁沈阳 110000)

**摘要:**为得出孤岛工作面推进过程中应力分布规律,采用有限差分法分析软件 FLAC-3D 进行模拟分析。得出了孤岛工作面的上下两区段煤柱分别承受着孤岛工作面上覆岩层的重量,处于高应力集中状态;随孤岛工作面向前推进,在工作面前方形成了应力降低区、应力升高区、原岩应力区;随孤岛工作面向前推进,煤岩应力集中系数不断增大。该研究为制定防冲、防突等措施提供参数数据,对于指导现场生产具有重要的应用价值。

**关键词:**孤岛工作面;数值模拟;应力集中

文章编号:1003-8035(2012)04-0065-04

中图分类号:TD823

文献标识码:A

## 0 引言

随煤矿资源的不断开采,有时采用跳采接续方式来避免生产和接续工作面之间的干扰。这样就不可避免地要在采区内形成至少一个沿工作面走向方向两侧均为采空区的工作面,或工作面三边、四周均为采空区的工作面,这样的工作面称为孤岛工作面。孤岛工作面的煤层,工作面周期来压频繁,矿压显现更加剧烈,开采难度大,开采安全难保证<sup>[1-3]</sup>。因此,研究孤岛工作面上覆岩层应力分布规律,对于指导现场生产具有重要的应用价值。

某矿戊<sub>9-10</sub>-12160 工作面位于戊二下延采区西部,采面东起戊二下延皮带下山,北邻已回采的戊<sub>9-10</sub>-12180 采面,西至北风井戊组保护煤柱线,南至已回采的戊<sub>9-10</sub>-12140 采面,属于典型的孤岛工作面。孤岛工作面及其周围巷道附近应力集中程度高,顶板

运动剧烈,再加上地质构造的影响,采深较大时,矿井动力现象显现危险程度就很高,很容易引发矿井动力灾害<sup>[4-5]</sup>。该工作面机巷、切眼、风巷掘进期间多次超标、发生动力现象。为制定防冲、防突等措施提供基础数据参数,采用岩土工程有限差分法分析软件 FLAC-3D 对工作面上覆岩层应力分布规律进行数值分析<sup>[6-11]</sup>。

## 1 模型参数选取及建立

### 1.1 计算基本参数的选取

工作面煤层厚度一般为 3.7~4.8m,平均 4.3m,煤层倾角 9°~12°,平均 10°,煤层埋藏深度为 720.5~836.2m,赋存整体稳定。老顶为砂质泥岩,厚度为 25m;直接顶和伪顶均为泥岩,厚度分别为 3.5m 和 2m;老底为砂质泥岩及粉砂岩,厚度为 24m;直接底为泥岩,厚度为 1.5m。煤岩层顶底板组成及物理参数见表 1。

表 1 煤岩力学参数

Table 1 coal mechanical parameters

岩层	岩性	厚度(m)	粘聚力(MPa)	内摩擦角(°)	弹性模量(GPa)	泊松比	容重(kg·m <sup>-3</sup> )	抗压强度(MPa)	抗拉强度(MPa)
老顶	砂质泥岩	25	2.32	40.39	27.28	0.24	2570	27.3	3.6
直接顶	泥岩	3.5	2.03	41.00	26.35	0.23	2500	22	1.8
伪顶	泥岩	2	2.03	41.00	26.35	0.23	2500	22	1.8
煤层	煤	4.3	0.62	41.74	3.67	0.25	1444	7.79	1.55
直接底	泥岩	24	2.03	41.00	26.35	0.23	2500	22	1.8
老底板	砂质泥岩	1.5	2.32	40.39	27.28	0.24	2570	27.3	3.6

### 1.2 计算模型的建立

根据煤层柱状图建立计算模型,模型长、宽、高分别为 1000m、120m、400m,煤层倾角 10°。根据顶板主要为泥岩及砂质泥岩,底板也为泥岩及砂质泥岩,所以将模型简化为 5 个煤岩层组成,从上至下分为砂质泥岩、泥岩、煤、泥岩、砂质泥岩。模型底部为固定约

收稿日期:2012-05-15;修订日期:2012-08-20

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2010CB226803)

作者简介:宋艳芳(1979—),女,讲师,博士研究生,主要从事矿山灾害力学研究方面的工作。

E-mail:syfl9790805@126.com

束边界,两侧为 X 方向位移约束,考虑到计算模型只是极限半无限体中的一部分,因此模型的顶面考虑为均布载荷即上覆岩层重量,所设模型上边界距地表的平均累深为 500m,模型顶面受铅直地应力 12.5MPa,并考虑整个模型体的自重。利用适用于模拟计算地质材料力学行为的 FLAC-3D 有限差分计算软件,采用拉格朗日算法进行计算<sup>[12-13]</sup>。根据煤矿实际开采情况,先开采戊<sub>9,10</sub>-12140 工作面,然后开采戊<sub>9,10</sub>-12180 工作面,最后开采戊<sub>9,10</sub>-12160 工作面。模型如图 1 所示。

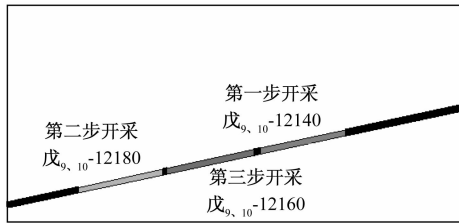


图 1 有限元模型  
Fig. 1 Finite element model

## 2 计算结果分析

### 2.1 戊<sub>9,10</sub>-12140 开采结果分析

图 2~3 为戊<sub>9,10</sub>-12140 开采过程中的部分煤岩垂直应力云图。对戊<sub>9,10</sub>-12140 模拟开采分析可得:(1)在工作面前方形成了应力降低区、应力升高区、原岩应力区。(2)工作面推进 32m 时,工作面前方应力集中区域的应力为 17.8MPa;工作面推进 94m 时,工作面前方应力集中区域的应力为 21.1MPa;工作面推进 200m 时,工作面前方应力集中区域的应力为 25.9MPa。说明随工作面不断推进,工作面前方应力集中系数增大。



图 2 工作面推进 94m 处垂直应力云图  
Fig. 2 Vertical stress cloud of the 94m mining face

### 2.2 戊<sub>9,10</sub>-12180 开采结果分析

图 4~5 为戊<sub>9,10</sub>-12180 开采过程中的部分煤岩垂直应力云图。对戊<sub>9,10</sub>-12180 模拟开采分析可得:(1)在工作面方形成了应力降低区、应力升高区、原

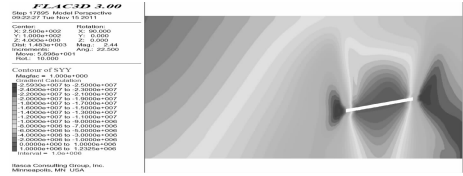


图 3 工作面推进 200m 处垂直应力云图

Fig. 3 Vertical stress cloud of the 200m mining face

岩应力区。(2)随工作面不断推进,工作面前方应力集中系数变化较小,对倾斜向上的应力影响范围较小。(3)戊<sub>9,10</sub>-12180 工作面的采动对煤岩应力影响程度小于戊<sub>9,10</sub>-12140 工作面的采动影响程度。(4)从图 5 可以看出上下两个工作面开采后,所形成的采动影响范围是相互独立,相互影响较小。

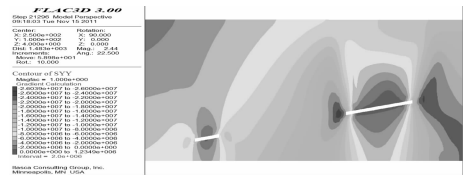


图 4 工作面推进 70m 处垂直应力云图

Fig. 4 Vertical stress cloud of the 70m mining face

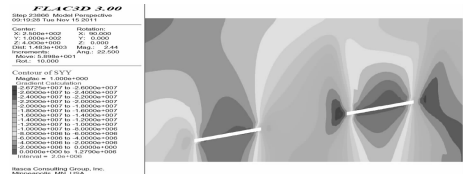


图 5 工作面推进 200m 处垂直应力云图

Fig. 5 Vertical stress cloud of the 200m mining face

### 2.3 戊<sub>9,10</sub>-12160 开采结果分析

在上下两个工作面开采完毕后,该工作面的两头处于上下工作面开采后所引起的应力升高区,因此,戊<sub>9,10</sub>-12160 工作面开采过程中,需要重点研究上下区段煤柱内的应力变化情况。图 6~7 为戊<sub>9,10</sub>-12160 开采过程中的部分煤岩垂直应力云图。对戊<sub>9,10</sub>-12160 模拟开采分析可得:(1)工作面推进 46m 时,工作面前方应力集中区域的应力为 24MPa;工作面推进 80m 时,工作面前方应力集中区域的应力为 26MPa;工作面推进 160m 时,工作面前方应力集中区域的应力为 34MPa;工作面推进 200m 时,工作面前方应力集中区域的应力为 40MPa。说明随工作面不断推进,工作面前方应力集中系数增大。(2)该工作面刚推进时,对上区段煤柱几乎没有影响,但下区段煤柱中部的应力集中系数上升至 2.5,煤柱边

缘的应力集中系数下降到 0.5。说明工作面推进后,改变了煤柱附近的应力分布规律,使下区段煤柱中间处于的应力集中状态,边缘处于残余应力状态。随工作面推进距离的增加,下区段煤柱中部的应力集中系数逐渐增大,对上区段煤柱的影响也逐渐增大,且也出现煤柱中部的应力集中系数上升,煤柱边缘的应力集中系数下降规律。(3)工作面倾斜推进完毕后,三个工作面采空区上覆破断岩层连通,破断岩层会发生瞬时大面积移动。(4)工作面倾斜推进完毕后,上下区段煤柱应力集中系数达到 3.7,在如此高的应力集中程度下,上下区段煤柱边缘煤体在无支护条件下,煤体强度降低至最低,区段煤柱处于失稳的临界状态。而主关键层断裂后上覆岩层大面积运动会带来巨大能量,从而会导致区段煤柱发生瞬时冲击破坏。

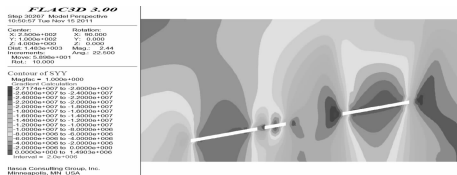


图6 工作面推进 80m 处垂直应力云图

Fig. 6 Vertical stress cloud of the 80m mining face

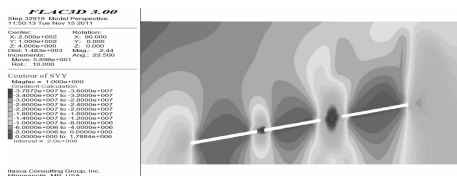


图7 工作面推进 160m 处垂直应力云图

Fig. 7 Vertical stress cloud of the 160m mining face

### 3 结论

通过对煤层开采的模拟分析,主要得出如下结论:

(1)上下两个工作面开采完毕后,孤岛工作面的两区段煤柱分别承受着孤岛工作面主关键层上覆岩层直至地表岩层的重量,在上下区段煤柱处于高应力集中状态。所以,孤岛工作面开采初期中要做好支护工作。

(2)随孤岛工作面不断推进,工作面前方应力集中系数不断增大。在工作面前方高应力区内,应及时做好超前支护工作,防止冒顶、片帮等灾害的发生。

(3)孤岛工作面推进过程中的应力分布规律,为

制定防冲、防突等措施提供基础数据参数,对于指导现场生产具有重要的应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 窦林名,何学秋. 冲击矿压防治理论与技术[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2001:35-39.  
DOU Linming, He Xueqiu. Theory and technology of rock burst pre-vention [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2001:35-39.
- [2] 吴健,陆明心,张勇,等. 综放工作面围岩应力分布的实验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(S2):2356-2359.  
WU Jian, LU Mingxin, ZHANG Yong, et al. Simulation research on stress distribution of surrounding rocks of LTCC workface [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(S2): 2356-2359.
- [3] 康红普,王金华,高富强. 掘进工作面围岩应力分布特征及其与支护的关系[J]. 煤炭学报,2009,34(12):1585-1593.  
KANG Hongpu, WANG Jinhua, GAO Fuqiang. Stress distribution characteristics in rock surrounding heading face and its relationship with supporting [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(12): 1585-1593.
- [4] 潘一山,李忠华,章梦涛. 我国冲击地压分布、类型、机理及防治研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(11):1844-1851.  
PAN Yishan, LI Zhonghua, ZHANG Mengtao. Distribution, type, mechanism and prevention of rockburst in China [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(11): 1844-1851.
- [5] 王卫军,侯朝炯,柏建彪,等. 综放沿空巷道底板受力变形分析及底鼓力学原理[J]. 岩土力学,2001,22(3):319-322.  
WANG Weijun, HOU Chaojiong, BAI Jianbiao, et al. Mechanical deformation analysis and principle of floor heave of roadway driving gob in fully mechanized sub-level caving face [J]. Rock and Soil Mechanics, 2001, 22(3): 319-322.
- [6] 王金华. 千米深井煤巷围岩变形特征及其控制技术研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2007.  
WANG Jinhua. Study of deformation characteristics of rock surrounding coal roadways in coal mines with depth of 1 000 m and strata control technology [D]. Beijing: China University of Mining and Technology (Beijing), 2007.

- [7] 蒲海, 缪协兴. 综放采场覆岩冒落与围岩支承压力动态分布规律的数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(7): 1122 - 1126.  
PU Hai, MIAO Xiexing. Numerical simulation of dynamic falling of overlying rocks and abutment pressure in surrounding rocks for fully-mechanized top-coal caving stope [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(7): 1122 - 1126.
- [8] 王同旭, 刘传孝, 王小平. 孤岛煤柱侧向支承压力分布的数值模拟与雷达探测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(S2): 2484 - 2487.  
WANG Tongxu, LIU Chuanxiao, WANG Xiaoping. FLAC-3D numerical simulation and radar detection of lateral abutment pressure distribution of isolated coal pillar[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(S2): 2484 - 2487.
- [9] 陈忠辉, 谢和平, 王家臣. 综放开采顶煤三维变形、破坏的数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(3): 309 - 313.  
CHEN Zhonghui, XIE Heping, WANG Jiachen. Numerical simulation on three dimensional deformation and failure of top coal caving [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(3): 309 - 313.
- [10] 肖明. 地下洞室施工开挖三维动态过程数值模拟分析[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(4): 421 - 425.  
XIAO Ming. Three-dimensional numerical model of construction process for underground opening [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(4): 421 - 425.
- [11] 司荣军, 王春秋, 谭云亮. 采场支承压力分布规律的数值模拟研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(2): 351 - 354  
SI Rongjun, WANG Chunqiu, TAN Yunliang. Numerical simulation of abutment pressure distribution laws of working faces [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(2): 351 - 354.
- [12] 刘耀儒, 刘元高, 周维垣, 等. 应用三维 FLAC 方法进行动力分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(S2): 1518 - 1522.  
LIU Yaoru, LIU Yuangao, ZHOU Weiyuan, et al. Analyzing of the dynamic force with three-dimensional FLAC method [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(S2): 1518 - 1522.
- [13] 吴洪词, 胡兴, 包太. 采场围岩稳定性的 FLAC 算法分析[J]. 矿山压力与顶板管理, 2002, (4): 96 - 98.  
WU Hongci, HU Xing, BAO Tai, et al. Analyzing of the stability of the surrounding rock with FLAC calculating in stope [J]. Ground Pressure and Strata Control, 2002, 4: 96 - 98.

## Numerical analysis of stress distribution of isolated working face in underground mining area

SONG Yan-fang<sup>1</sup>, TANG Zhi<sup>1</sup>, PAN Yi-shan<sup>1</sup>, LI Xiao-yan<sup>2</sup>, LUO Hao<sup>1</sup>

(1. School of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. Northern Heavy Mining Machinery branch, Shengyang 110000, China)

**Abstract:** The paper utilizes Finite Difference Method software FLAC-3D for simulation analysis to get the discipline of stress distribution discipline of isolated island working face. The coal pillars on the isolated island working face bear the gravity of overlying strata layer of isolated island working face, in the status of stress concentration; the front of the working face forms the stress reduced area, stress increases area, protolith stress area, coal and rock stress concentration coefficient increases constantly, while the isolated island working face moving forward. The study provides parameter data for the development of anti-red and outburst prevention measures, and it also has important application value for guiding the on-site production

**Key words:** isolated working face; numerical simulation; stress concentration