

Research on Strata-Pressure Behavior in Gentle Inclined Coal Seam

Yushun Yang^{1,2}, Dongming Zhang^{1,2}, Wende Sun³, Song Yang³, Xiang Zhang^{1,2}

¹State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing

²College of Resources and Environmental Sciences, Chongqing University, Chongqing

³Shanmushu Mine, FuRong Company, Sichuan Coal Group, Yibin Sichuan

Email: zhangdm@cqu.edu.cn

Received: Mar. 28th, 2018; accepted: Apr. 16th, 2018; published: Apr. 23rd, 2018

Abstract

The FLAC^{3D} numerical simulation software was used to simulate the movement pattern of overlying strata, the distribution law of mining stress along the working face and the evolution law of plastic zone after mining. It is concluded that in the process of working face mining, the roof is affected by the effect of mining and unloading. The vertical deformation of the roof appears unloading and deforming vertically, causing the roof to separate from the ground and to fall off. The bottom plate appears vertical upward unloading and expansion deformation coal roof deformation is greater than the floor. With the continuous advancement of the working face, the evolution law of roof displacement in the goaf is similar to that of the ellipse with the axial ratio. When the axial ratio is close to 1, the influence area of the roof subsidence is approximately "0". After coal seam mining, stress concentration occurs in front of and behind the work surface. Due to the continuous advancement of the work surface, the coal wall and the goaf continuously move forward, resulting in the stress of the bearing in the front and the back of the work surface being the movable support stress. After coal mining, the plastic zone appears around the working face, and with the increase of working face recovery distance, the plastic zone area increases gradually.

Keywords

Gently Inclined Coal Seam, Underground Pressure, Numerical Simulation

缓倾斜煤层矿压显现规律的研究

杨玉顺^{1,2}, 张东明^{1,2}, 孙文德³, 杨松³, 张祥^{1,2}

¹重庆大学, 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆

²重庆大学, 资源及环境科学学院, 重庆

³四川芙蓉集团实业有限责任公司杉木树煤矿, 四川 宜宾

摘要

通过FLAC^{3D}数值模拟软件模拟研究了缓倾斜煤层工作面的上覆岩层运移形态、沿工作面倾向采动应力分布规律, 以及工作面回采后塑性区演化规律。得出: 工作面回采过程中, 工作面顶板受开采卸荷作用的影响, 顶板出现垂直向下的卸载膨胀变形, 引起顶板的离层、冒落, 底板出现垂直向上的卸荷膨胀变形, 且煤层顶板变形大于底板; 随着工作面的不断推进, 采空区顶板位移演化规律近似于椭圆形随轴比变化, 当轴比接近1时, 顶板下沉影响区域近似为“O”形; 煤层回采后, 工作面前后方出现应力集中现象, 由于工作面不断推进, 煤壁和采空区不断向前移动, 导致工作面前后方支承载力是移动型支承载力; 煤层回采后, 工作面周边出现塑性区, 且随着工作面回采距离的增加, 塑性区面积逐渐增大。

关键词

缓倾斜煤层, 矿压显现, 数值模拟

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着综采技术的推广应用, 我国煤炭资源开采的技术水平和经济效益得到的进一步的改善。同时我国学者对工作面回采过程中的矿压显现规律进行了大量的研究, 已取得了较为丰富的成果。王庆雄等[1]研究了近距离煤层间间距大小对下部煤层开采时工作面的矿山压力影响规律。姜鹏飞等[2]研究了近距离上部煤层遗留煤柱应力传递对顶板和底板应力分布的不同影响, 进而解决了下部煤层工作面的布置以及采场支护问题。张百胜等[3]采用数值模拟方法, 研究了上层煤柱支承压力的分布规律和对下煤层巷道矿压显现的影响, 从而为近距离下部煤层巷道的布置提供理论依据。毛德兵等[4]根据综放开采技术, 提出了大采高综放开采的概念。翁明月等[5]根据微震事件变化间接反映工作面矿压显现, 认为微震事件峰值出现的时间一般略早于工作面周期来压。刘志成[6]在分析大倾角煤层综放工作面矿压显现的基础上, 通过相似模拟试验, 确定了靖远王家山矿大倾角煤层综放液压支架工作阻力。黄庆享[7]根据不同条件的浅埋煤层工作面矿压实测结果, 得出了中国特大浅埋矿区顶板破断规律; 杜峰等[8]针对薄基岩综放采场建立了厚黏土层薄基岩综放采场基本顶周期来压岩层破断的力学模型; 杨敬轩等[9]以石屹台煤矿为背景, 对不同支撑边界条件下坚硬厚顶板破断及来压特征进行了分析研究; 赵毅鑫等[10]基于 H-B 参数确定方法的多煤层开采工作面矿压显现规律开展研究。

本文依据杉木树矿 S3012 工作面地质资料, 分析工作面回采过程中矿压显现规律, 以期对类似缓倾斜煤层开采支护和灾害防治提供理论依据。

2. 工作面概况

四川芙蓉集团实业有限责任公司杉木树煤矿 S3012 工作面所采煤层为 2 + 3#煤层, 工作面走向长度

752 m, 工作面倾斜长度 136 m, 煤层 2°~6°, 煤厚 0.8 m~4.4 m, 平均 3.1 m。煤层直接顶为砂质泥岩, 厚度约 3.0 m。煤层与直接顶之间有一层约 0.4 m 的伪顶, 伪顶为薄层状泥岩, 易碎, 随回采垮落。基本顶为深灰色中厚层状粉砂岩, 平均厚度 6 m。直接底为粘土岩, 松软遇水膨胀, 平均厚度为 2.8 m。基本底为砂质泥岩, 含砂岩, 平均厚度大于 5 m。煤层为煤与瓦斯突出煤层, 煤层瓦斯含量 17.37 m³/t, 瓦斯压力为 1.32 MPa。工作面采用走向长臂后退式回采, 全部冒落法管理顶板, U 型通风方式。S3012 工作面附近地层见表 1。采煤工作面巷道空间布置如图 1 所示。

3.数值计算模型及参数

3.1. Mohr-Coulomb 塑性模型

Mohr-Coulomb(莫尔-库仑)塑性模型通常用于描述岩石材料的剪切破坏, 该准则认为岩石承载的最大剪切力由内聚力 c 和内摩擦角 φ 确定, 直线型 Mohr-Coulomb 强度准则可表示为:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \tag{1}$$

主应力表述表示为:

$$\sigma_1 = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3 + \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \tag{2}$$

由 Mohr-Coulomb 屈服函数可得到岩石剪切破坏准则为:

$$f_s = \sigma_1 - \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3 - \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \tag{3}$$

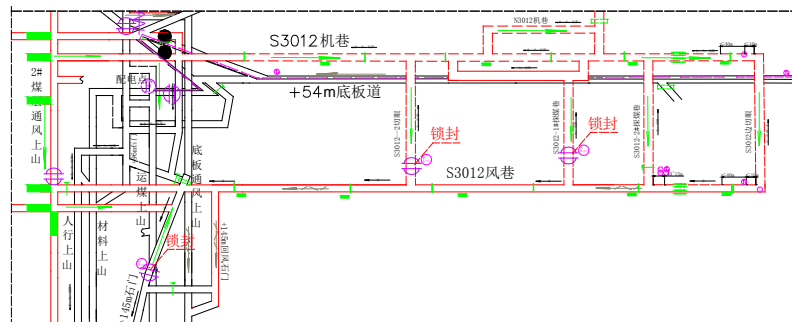


Figure 1. Layout of space roadway in working face
图 1. 采煤工作面空间巷道布置图

Table 1. Auxiliary strata of coal mining face
表 1. 采煤工作面附近地层表

层号	岩石名称	厚度/m	层号	岩石名称	厚度/m
1	泥岩	>15 m	7	K8 泥质灰岩	0.50 m
2	K9 灰岩	0.70 m	8	砂岩-炭质泥岩	6.0 m
3	1#煤层	0.65 m	9	泥岩-泥质灰岩	3.0 m
4	砂岩-粘土岩	8.5 m	10	2 + 3#煤层	3.1 m
5	C2 煤层	0.42 m	11	粘土岩	2.8 m
6	泥岩	10 m	12	砂质泥岩	>5 m

当 $f_s < 0$ 时，岩体将发生剪切破坏。

式中， σ 为正应力； σ_1 、 σ_3 分别为最大、最小主应力。

3.2. 模型参数

选择模型尺寸为长 × 宽 × 高 = 400 m × 200 m × 150 m，采用 FLAC^{3D} 软件建立三维模型，见图 2 所示。模型顶部施加均匀载荷，上覆岩体平均容重 γ 取 24 kN/m³，侧压力系数 λ 取值为 1.0。模型两侧施加水平应力，底部位移约束。本构模型采用 Mohr-Coulomb 破坏准则，深入揭示工作面回采过程中煤岩体位移、应力和塑性区等变化规律。

4. 结果分析

为了更加形象的表示出工作面回采过程中顶底板位移、应力和塑性区变化规律，对三维模型沿 X 方向做剖面（即 $X = 100$ m 剖面），分别进行分析。工作面开挖尺寸如图 3 所示。

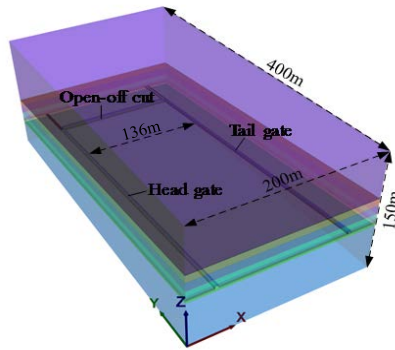


Figure 2. Three dimensional numerical simulation model of FLAC^{3D}
 图 2. FLAC^{3D} 三维数值模拟模型

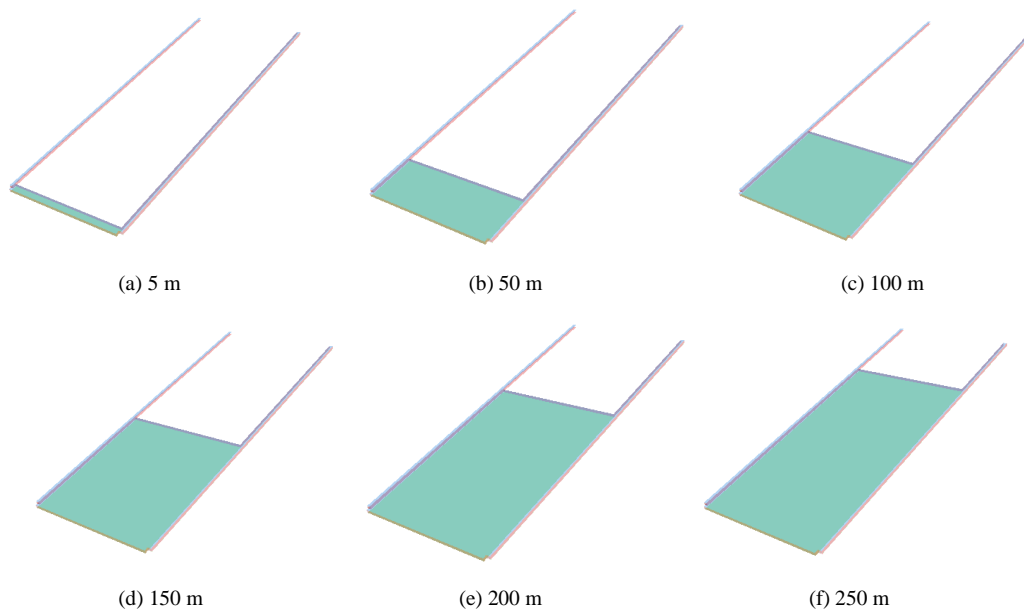


Figure 3. Extraction distance of working face
 图 3. 工作面回采尺寸

4.1. 位移分析

不同开挖距离下 $X = 100\text{ m}$ 平面的顶底板位移云图如图 4 所示。

由图 4 可知，工作面回采后在工作面顶底板出现变形，顶板出现下沉，底板鼓起，且顶板位移大于底板位移。随着工作面的推进，顶底板位移均逐渐增大，工作面开挖 5 m 时，顶板位移为 49.07 mm，底板位移为 59.71 mm；工作面开挖 50 m 时，顶板位移为 0.297 m，底板位移为 0.2 m；工作面开挖 100 m 时，顶板位移为 0.77 m，底板位移为 0.27 m；工作面开挖 150 m 时，顶板位移为 1.55 m，底板位移为 0.33 m；工作面开挖 200 m 时，顶板位移为 2.13 m，底板位移为 0.45 m；工作面开挖 250 m 时，顶板位移为 2.62 m，底板位移为 0.63 m。可知，表明工作面回采后，顶板出现垮落带，导致变形较大。

当工作面推进不同距离时，沿煤层顶底板提取煤层位移曲线如图 5 所示。随着采煤工作面的推进，工作面顶板受开采卸荷作用的影响，开采后顶板出现垂直向下的卸载膨胀变形，引起顶板的离层、冒落，

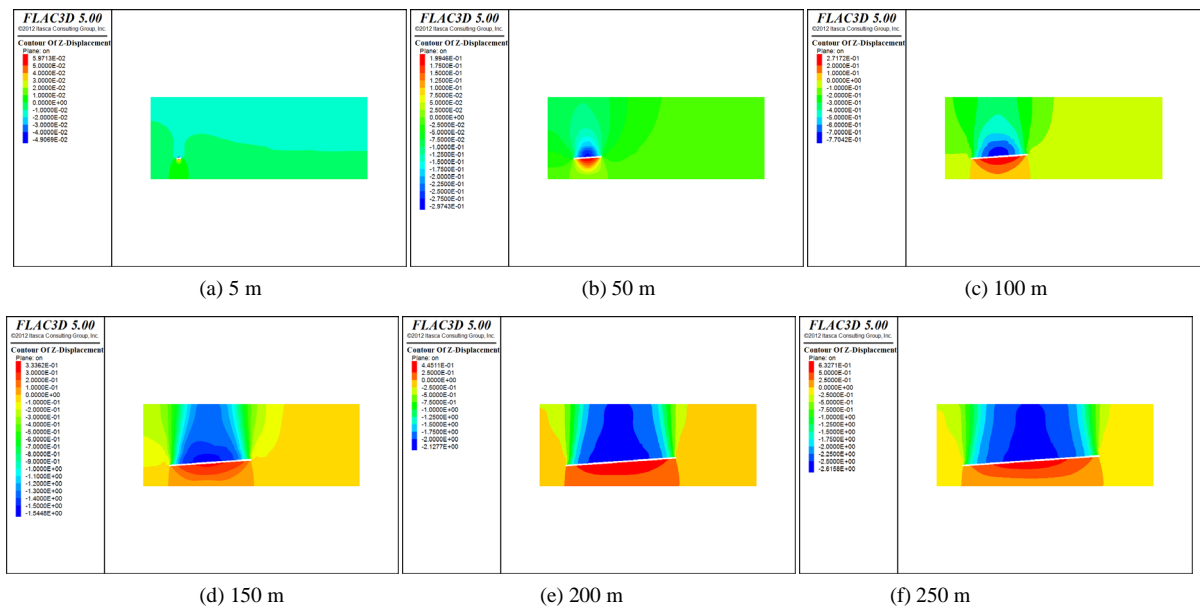


Figure 4. Change of roof and floor displacement nephogram in the process of working face extraction

图 4. 工作面回采过程中顶底板位移变化云图

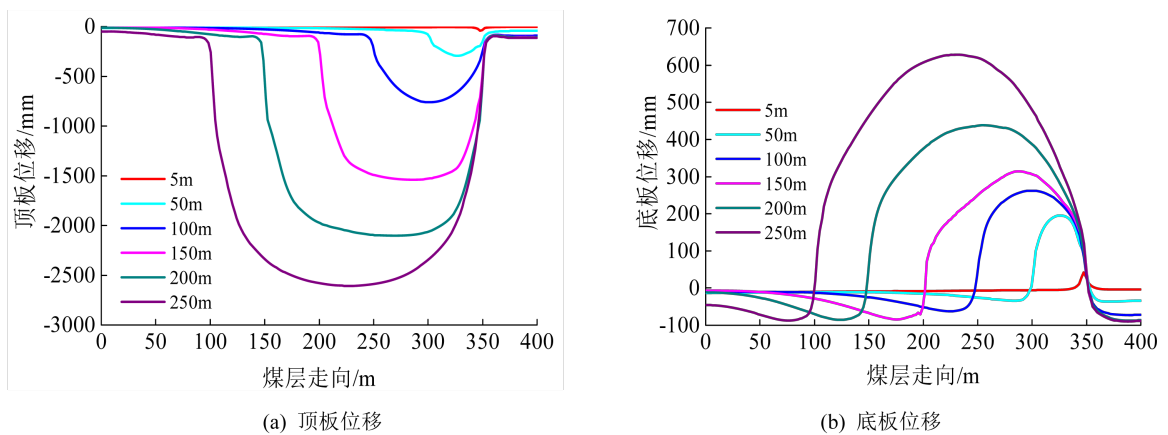


Figure 5. Variation law of roof and floor displacement

图 5. 顶底板位移变化规律

顶板的破坏机理主要为拉破坏。开采后底板出现垂直向上的卸荷膨胀变形，由于煤层直接顶为泥岩，随采随冒，导致煤层顶板变形大于底板。

工作面回采过程中，煤层后方采空区顶板位移变化规律，如图 6 所示。

自开切眼开始，随着采煤工作面的推进，采空区顶板位移演化规律近似于椭圆形随轴比变化。工作面倾斜方向为椭圆形短轴、走向方向为椭圆形长轴，随着工作面不断推进，即长短轴比不断增加，采空区顶板下沉面积不断加大。当轴比接近 1 时，顶板下沉影响区域近似为“O”形。随着工作面继续推进，即长短轴比继续增加，采空区顶板下沉面积沿长轴方向不断加大。

4.2. 支承应力分析

工作面回采过程中 X = 100 m 平面的采动应力云图如图 7 所示。可知，工作面回采后，垂直应力在

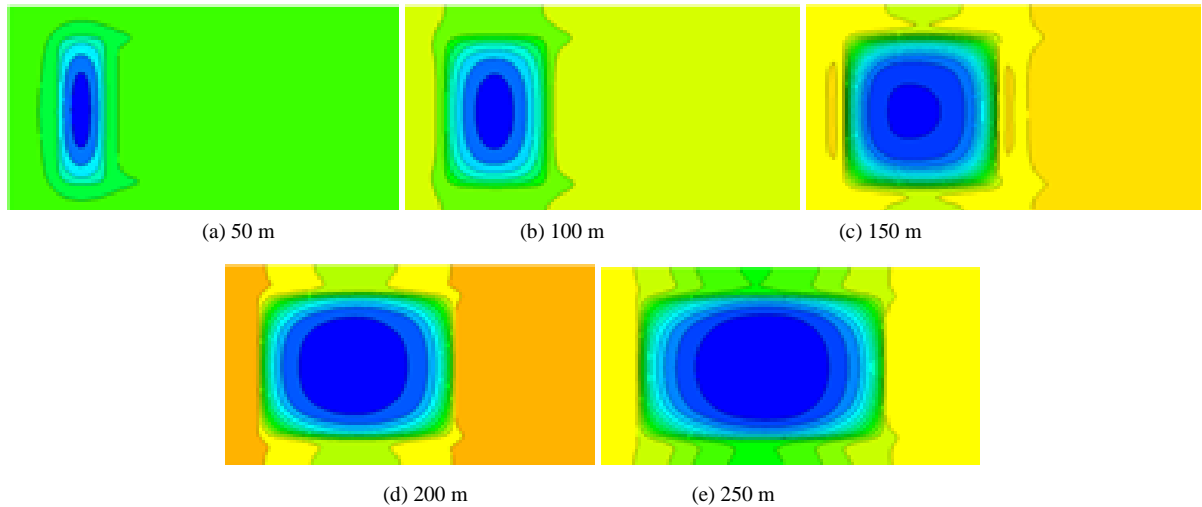


Figure 6. Variation law of roof displacement “O” in goaf

图 6. 煤层顶板位移“O”型圈破断形态

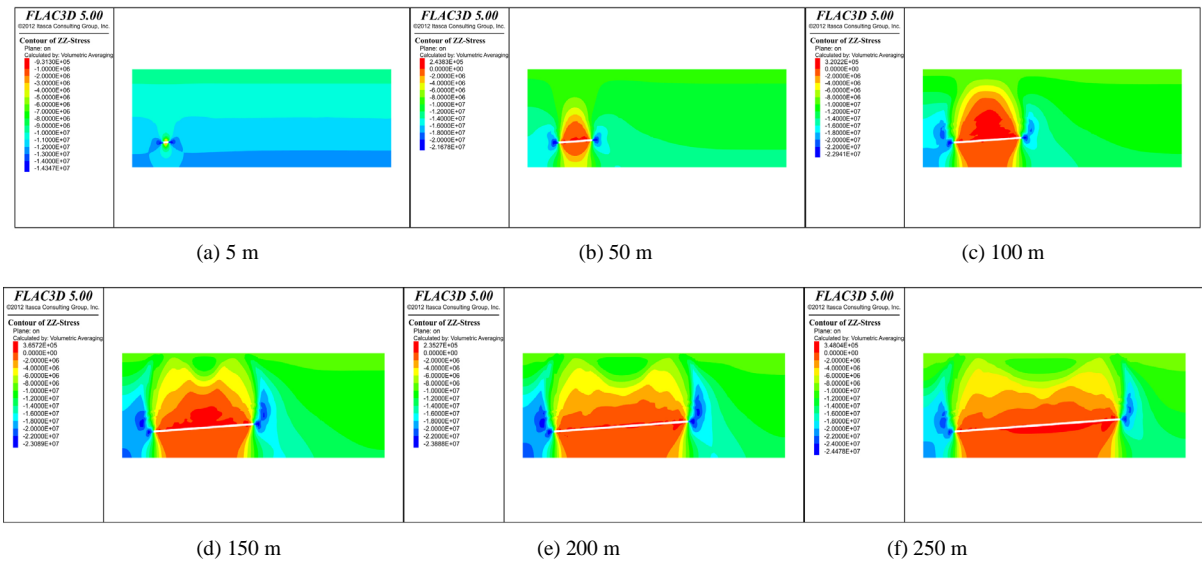


Figure 7. Change of mining stress nephogram in the process of working face mining

图 7. 工作面回采过程中采动应力变化云图

工作前后出现应力集中现象,工作面顶底板为垂直应力卸压区,且工作面推进距离越长,卸压区范围越大,且工作面前后应力集中区范围越大,近似为椭圆形分布。随着工作面的继续推进,工作面前后垂直应力逐渐增大,工作面开挖 5 m 时,垂直应力为 14.34 MPa;工作面开挖 50 m 时,垂直应力为 21.68 MPa;工作面开挖 100 m 时,垂直应力为 22.94 MPa;工作面开挖 150 m 时,垂直应力为 223.06 MPa;工作面开挖 200 m 时,垂直应力为 23.86 MPa;工作面开挖 250 m 时,垂直应力为 24.48 MPa。可知,垂直应力在工作面前后方均出现应力集中现象,且随着工作面的向前推进,应力集中位置前移。

沿煤层顶底板提取煤层采动应力变化规律如图 8 所示。可知,随着采煤工作面的不断推进,导致工作面周围岩体及上覆岩层应力重分布。工作面前后方支承应力的分布特点:工作面前方支承工作面上方裂隙带和上覆岩层大部分重量,即工作面前方支撑应力远大于后方;由于工作面不断推进,煤壁和采空区不断向前移动,导致工作面前后方支承应力是移动型支承应力,从而使采煤工作面处于卸压区;工作面前方形成的支承应力,最大值发生在工作面中部前方,峰值达到 2.5 倍,即应力集中系数 K 为 2.5,前方支承应力峰值深入煤体内 5~10 m,其影响范围达采煤工作面前方 90~100 m,此区域为应力增高区,而煤层工作面前后方未受采动影响区域为原岩应力区。

4.3. 塑性区分析

工作面回采过程中 $X = 100$ m 平面的塑性区云图如图 9 所示,可知,工作面开挖后,采空区周边出现塑性区。工作面回采 50 m 时,塑性区,面积较小,呈“瘦高”状分析。随着工作面回采长度的增大,塑性区面积逐渐增大,在工作面开挖至 400 m 时,工作面塑性区面积占据整个模型。此时,对地表建筑物等影响较大。

5. 结论

- 1) 工作面回采过程中,工作面顶板受开采卸荷作用的影响,顶板出现垂直向下的卸载膨胀变形,引起顶板的离层、冒落,底板出现垂直向上的卸荷膨胀变形,且煤层顶板变形大于底板;
- 2) 随着工作面的不断推进,采空区顶板位移演化规律近似于椭圆形随轴比变化,当轴比接近 1 时,顶板下沉影响区域近似为“O”形;

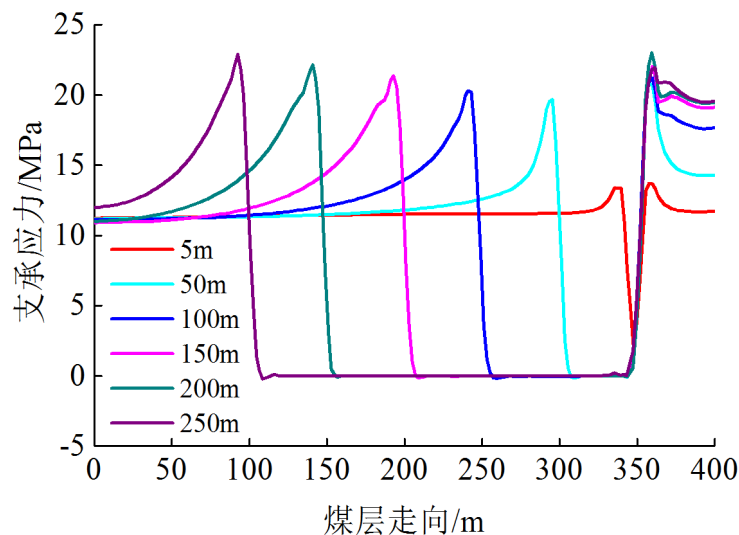


Figure 8. Distribution law of mining stress

图 8. 采动应力分布规律

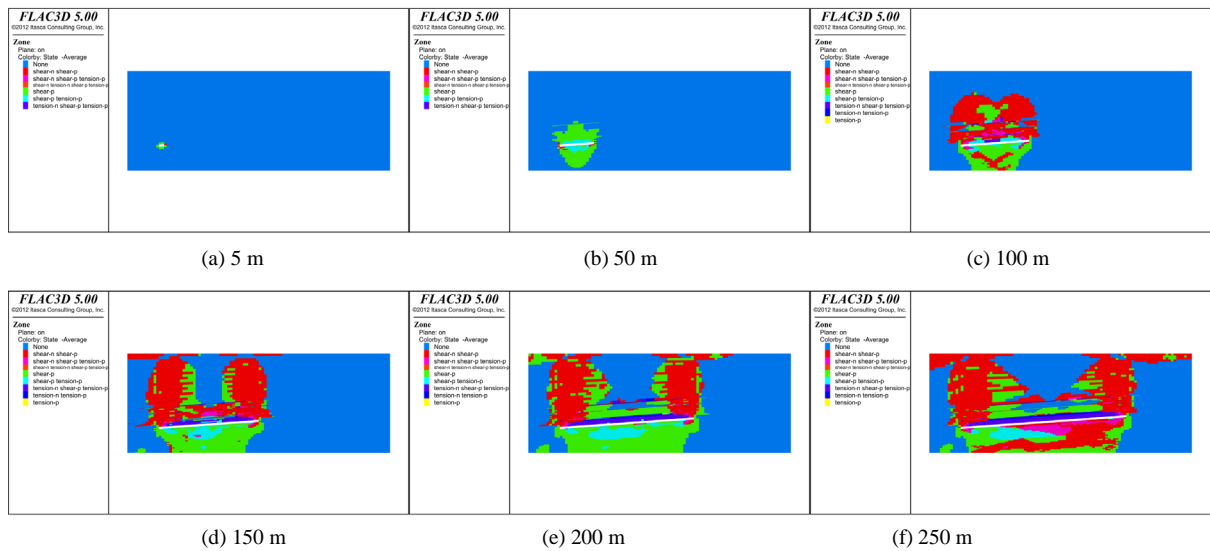


Figure 9. Change of plastic zone nephogram in the process of working face mining

图 9. 工作面回采过程中塑性区变化云图

3) 煤层回采后，工作面前后方出现应力集中现象，由于工作面不断推进，煤壁和采空区不断向前移动，导致工作面前后方支承载力是移动型支承载力；

4) 煤层回采后，工作面周边出现塑性区，且随着工作面回采距离的增加，塑性区面积逐渐增大。

资助项目

川煤集团资助项目：向斜轴部“三软厚煤层综采防突及顶板控制技术研究”（2017001）。

参考文献

- [1] 王庆雄, 张志强, 吴学强, 等. 活鸡兔井近距离下煤层开采层间距变化对矿压的影响[J]. 煤矿安全, 2010, 41(2): 106-109.
- [2] 姜鹏飞, 康红普, 张剑, 等. 近距煤层群开采在不同宽度煤柱中的传力机制[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(3): 345-349.
- [3] 张百胜, 杨双锁, 康立勋, 等. 极近距离煤层回采巷道合理位置确定方法探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(1): 97-101.
- [4] 毛德兵, 康立军. 大采高综放开采及其应用可行性分析[J]. 煤矿开采, 2003, 8(1): 11-14.
- [5] 翁明月, 徐金海, 李冲. 综放工作面煤岩破坏及矿压显现与瓦斯涌出关系的实测研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(10): 1709-1714.
- [6] 刘志成. 大倾角煤层综放开采相似模拟实验研究[J]. 煤矿开采, 2007, 12(2): 65-66.
- [7] 黄庆享. 浅埋煤层的矿压特征与浅埋煤层定义[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(8): 1174-1177.
- [8] 杜锋, 白海波, 黄汉富, 等. 薄基岩综放采场基本顶周期来压力学分析[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(3): 362-369.
- [9] 杨敬轩, 鲁岩, 刘长友, 等. 坚硬厚顶板条件下岩层破断及工作面矿压显现特征分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(2): 211-217.
- [10] 赵毅鑫, 王涛, 姜耀东, 等. 基于 Hoek-Brown 参数确定方法的多煤层开采工作面矿压显现规律模拟研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(6): 970-976.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-7301，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：me@hanspub.org