

# 下保护层开采覆岩应力变化特性数值模拟

费玉祥<sup>1</sup>,徐超杰<sup>2</sup>,贾方旭<sup>2</sup>

(1.淮南矿业集团,安徽淮南 232001; 2.安徽理工大学 能源与安全学院,安徽淮南 232001)

**摘要:**为了预防生产矿井的煤与瓦斯突出,利用保护层开采过程中的被保护层的卸压作用对卸压瓦斯进行强化抽采,使被保护层由高瓦斯突出危险煤层变为低瓦斯无突出危险煤层,实现对煤与瓦斯突出煤层的消灭.应用数值模拟软件进行模拟,对下保护层开采后顶板覆岩的卸压程度、煤岩层移动变形、岩体裂隙发育和煤层卸压瓦斯抽采方法进行系统的研究.结果表明,被保护层的膨胀变形使得被保护范围内的围岩体内部形成大量孔道和裂隙,煤层的透气性增大.被保护层地压减小,弹性潜能得到缓慢释放.开采保护层结合采取相应的瓦斯抽放措施,对于防治深部煤层瓦斯突出和实现煤矿安全生产具有重要的意义.

**关键词:**保护层开采;数值模拟;瓦斯压力;应力场

中图分类号:TD311

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2014)03-0001-05

## Numerical simulation of the stress and rock deformation characteristic caused by mining protecting stratum

FEI Yuxiang<sup>1</sup>, XU Chaojie<sup>2</sup>, JIA Fangxu<sup>2</sup>

(1. Huainan Mining Industry Group Co. Ltd., Huainan 232001, China;

2. School of Energy and Safety, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** With the increase of mine mining depth, the dangerous gas mine is outstanding increasingly, and the risk factors affecting coal seam mining is becoming more and more complex. Protective layer mining is widely used in the currently regional technical measures to prevent coal and gas outburst, and many domestic coal mines have adopted mining protective layer to prevent the mine coal and gas outburst, and to realize the coal and gas outburst coal seam outburst elimination. In the protective layer, under the influence of working face mining stope, overburden will have corresponding deformation. The original stress state balance will be destroyed, leading to the permeability of coal and rock. Then, the intensity and gas pressure will be changed. This paper applies the numerical simulation software to simulate, the protective layer of roof strata after mining under unloading, coal strata movement deformation and fracture of rock mass and coal seam gas extraction methods for pressure relief system research. Mining protective layer is combined with the corresponding gas drainage measures for prevention and treatment of deep coal seam gas outburst, and the realization of coal mine safety production is very important.

**Key words:** protective seam; numerical simulation; gas pressure; the stress field

在矿井中有可以作为保护层开采的煤层,一般都会采用开采保护层来预防本矿井的煤与瓦斯突

出,实现对煤与瓦斯突出煤层的消灭<sup>[1]</sup>. 保护层的选择对于需要被保护的煤层来说也是一个需要研

究分析的问题,影响保护层开采的效果因素很多主要有:保护层和被保护层之间的距离,保护层的采高,保护层顶底板的岩性,被保护层的岩层性质.当保护层的采高不高时,采空区的空间范围就会比较小,不能对被保护层进行有效的卸压.当保护层和被保护层之间相距的比较远时,保护层的效果将会很不明显,被保护层就不能够很好的卸压,以至于不能使被保护层达到消除突出危险性的目的<sup>[2]</sup>.研究如何扩大远距离保护层开采,通过岩体的采动破坏使的能量传播的更远,影响的范围大,所能够保护的就越远.所以提高保护层开采的保护效果,增强对被保护层的影响和瓦斯的卸压程度是未来开采保护层需要急待解决的问题.我国各地的矿井地质条件是复杂多变的,保护层开采的顶底板条件又有很大的差异,加上保护层与被保护层所以保护层开采对被保护层的影响又各不相同.研究在不同矿井地质条件下进行保护层开采,提高对被保护层的开采效果是必要的.

## 1 矿井概况

顾北煤矿所在地区的地质属二叠系和石炭系,其中二叠系含煤段的总厚度约为 506.70 m,共含有煤层 20 多层,煤层总厚度约为 27.68 m,在煤系的第 1~第 4 含煤地层中总共分布可采煤层有 8 层,煤层平均的可采厚度约为 22.61 m.8 层可采煤层依次为 13-1,13-1 下,11-2,8,7-2,6-2,4-1 和 1 煤,其中 13-1,11-2,8,6-2 和 1 煤层是矿井的主要可采煤层,13-1 下,7-2,4-1 煤层为局部有突出危险性的可采煤层.

全矿井区域共有 5 层主采煤层 13-1,11-2,8,6-2 和 1 煤,除 8 煤层由于冲刷是局部煤层变薄和缺失,造成矿井北一采区局部地段不可采外,其它大部煤层区段均为全区可采煤层;共有 3 层局部不稳定的可采煤层 13-1 下,7-2,4-1 煤,其中 13-1 下是 13-1 煤的下分层煤,距离 13-1 煤平均距离约为 0.9 m,7-2 煤层上距 8 煤层约为 0.96~11.65 m,平均距离约为 6 m,4-1 煤层的平均厚度约为 0.71 m,且煤层厚度变化较大,不具备全部可以开采条件.因此,13-1 下,7-2,4-1 煤层均不适合作为保护层进行保护开采;而且 7-1,5-2,5-1 煤厚度较薄且不稳定,不具备煤层开采条件.

## 2 下保护层开采的作用机理

### 2.1 保护层开采后覆岩“三带”的形成

在保护层开采之后上覆岩层的破坏规律具有非常明显的分带特性,这是由于岩层的物理力学性质和受采动影响程度的不同<sup>[3]</sup>.保护层的开采会引起采场上覆岩层的原有平衡应力状态发生变化,在某些区域由于所受的应力增大,致使岩层受到压缩;在另一些区域由于所受的应力减小,致使岩层发生膨胀变形.在保护层工作面上方不同位置和不同岩性的岩层,它们所发生的破坏变化是不同的.这些不同破坏的形式可以总结为覆岩“三带”分布规律,通过这些理论分析对了解保护层开采后,采场上覆岩层的活动规律以及被保护层的瓦斯抽采卸压都有重要的作用.采场上覆岩层会出现三个破坏的形态,自下而上依次称为:冒落带、断裂带和弯曲下沉带<sup>[4]</sup>.

### 2.2 煤与瓦斯突出动力因素的影响

由于保护层开采的影响,使得被保护层原有的应力平衡状态被打破,煤层发生移动变形.被保护层的膨胀变形作用,使得被保护范围内的围岩体内部形成大量孔道和裂隙,煤层的透气性增大<sup>[5,6]</sup>.被保护层地压减小,弹性潜能得到缓慢释放<sup>[7]</sup>.所以被保护层内的大量瓦斯可以释放到保护层开采后的采空区内,被保护层内的瓦斯压力和瓦斯含量都将显著降低.

当煤层卸压之后煤体的强度开始增加,提高了煤层自身抵抗煤与瓦斯突出的能力<sup>[8]</sup>.同时煤层的瓦斯压力和瓦斯含量有所降低,开采保护层可以有效的消除煤层突出危险性<sup>[9]</sup>.

## 3 数值模拟

### 3.1 数值模拟条件及覆岩物理力学参数

为了能清楚了解保护层开采后对被保护层的影响,选择典型工作面顾北矿 12326 工作面为研究对象.12326 工作面为 6-2 煤层采区首采工作面,工作面实际标高约为 -690~-750 m,工作面煤层倾角 3°~8°,平均倾角 5°.顾北矿 12326 工作面范围内煤层的最大瓦斯含量是 6.29 m<sup>3</sup>/t,最大瓦斯压力是 1.2 MPa,工作面走向长度为 1 310 m,工作面长为 195 m.煤层掘进采用的是底板巷预抽煤层瓦斯掩护掘进,12326 胶带机顺槽底板巷内,向上

施工穿层钻孔对6-2煤层进行预抽瓦斯。

被保护层8煤的实测瓦斯压力为3.4 MPa,瓦斯含量为10.97 m<sup>3</sup>/t,煤层开采时均需综合治理瓦斯,8煤层的平均厚度为2.37 m,8煤层下距6煤层的平均距离为39 m。

根据具体研究问题的实际情况,主要模拟6煤层(保护层)与8煤层(被保护层)之间覆岩移动、变形及透气性变化规律。因此,数值模拟主要模拟岩层柱状为6煤层直接顶至8煤层直接底,各岩层主要岩体力学参数如表1所示。

表1 煤岩层物理力学特性参数表

| 序号 | 岩性   | 容重<br>/(kg/m <sup>3</sup> ) | 摩擦角<br>/(°) | 层厚/m | 累计厚度<br>/m |
|----|------|-----------------------------|-------------|------|------------|
| 1  | 中粒砂岩 | 2.50                        | 45          | 9.0  | 9.0        |
| 2  | 泥岩   | 2.50                        | 35          | 3.0  | 12.0       |
| 2  | 8煤   | 1.43                        | 35          | 3.5  | 15.5       |
| 3  | 泥岩   | 2.50                        | 35          | 3.0  | 18.5       |
| 4  | 中粒砂岩 | 2.50                        | 45          | 3.0  | 21.5       |
| 5  | 中粒砂岩 | 2.50                        | 45          | 2.0  | 23.5       |
| 8  | 铝质泥岩 | 2.60                        | 35          | 3.0  | 26.5       |
| 12 | 粉砂岩  | 2.70                        | 45          | 4.0  | 30.5       |
| 13 | 中粒砂岩 | 2.50                        | 45          | 8.0  | 38.5       |
| 14 | 泥岩   | 2.50                        | 35          | 2.0  | 40.5       |
| 15 | 6煤   | 1.40                        | 30          | 3.0  | 43.5       |
| 16 | 泥岩   | 2.50                        | 35          | 2.0  | 45.5       |
| 17 | 粉砂岩  | 2.70                        | 45          | 10.0 | 55.5       |

### 3.2 物理模型

本次数值模型采用的是平面二维应变模型。以谢桥矿21116保护开采工作面顶底板岩层赋存状况作为数值模拟的研究依据。保护层开采工作面的等效介质模型如图1所示,为了能够反映保护层开采过程中的位移量和应力变化,各煤岩层均是用三维立体模型表示出。

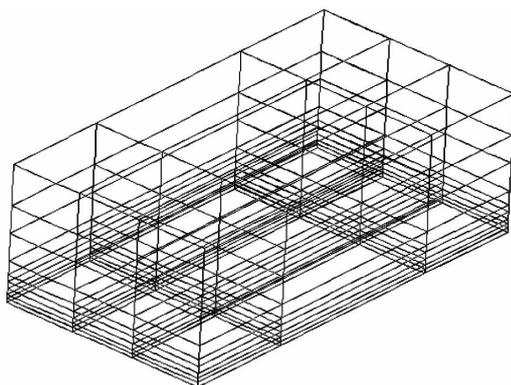


图1 数值模拟模型

数值模拟实验中各岩层的单元弹性模量、岩石的抗拉强度和岩石的坚固性等力学性质均按照实际工作面参数输入,分布密度函数如式(1)所示<sup>[10,11]</sup>。

$$f(\sigma_c) = \frac{m}{\sigma_0} \left( \frac{\sigma_c}{\sigma_0} \right)^{m-1} \exp\left(-\frac{\sigma_c}{\sigma_0}\right)^m \quad (1)$$

式中, $m$ :均质参数,岩石的均质度; $\sigma_c$ :弹性模量、强度、泊松比等参数值; $\sigma_0$ :与所有参数的平均值有关的一个参数。在分布密度函数中,各单元的强度都接近于所给定的分布平均值。

各煤岩层的煤岩层物理力学特性参数如上表1所示,在本次数值模型中,模型上部边界岩层的重量设置为均匀载荷。

## 4 数值模拟结果及分析

在顾北矿12326工作面开展的岩层移动、应力变化、瓦斯涌出量、瓦斯压力等综合监测工作,为本次数值模拟研究提供了详实的数据。为了能够系统的研究采动过程中裂隙场、围岩应力场以及位移场的变化规律,在现场收集数据的基础上,应用数值模拟软件,对顾北矿12326工作面采动过程中所引起的变化规律进行了模拟研究。

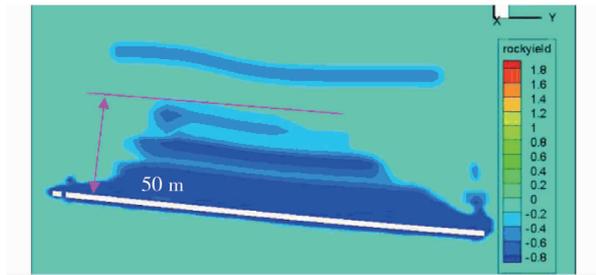
### 4.1 保护层开采裂隙场分布特性

岩层的断裂带和离层带都有明显的竖向拉伸和拉伸之后的压缩特征,但是两者竖向应变的差别不是很明显,只靠应变状态的变化难以区分。所以在计算过程中需要同时对岩层是否发生过失稳状态进行记录,这样就能够对断裂带和离层带进行有效的区分。

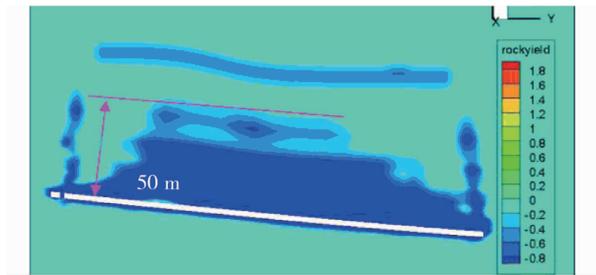
图2显示了在工作面分别推过40,80,200 m后,沿工作面倾斜向上的上覆岩层破坏区域。由模拟结果可知,上覆岩层连续破坏的高度大概在煤层上方顶板53 m左右,此高度在工作面向前推进40 m之后没有继续增大。由此可知12326工作面断裂带的高度在煤层上方顶板50 m左右。

图3显示了不同分带内上覆岩层位移和竖向应变的变化规律。由图3可知,在竖向应变上各分带都具有增大、缩小和趋于稳定这3个阶段,反映了上覆岩层在不同时段内裂隙变大、压缩到稳定的全过程。其中,模型中的冒落带、断裂带、离层带和弯曲带,分别是在工作面顶板上方7,30,88,226 m的位置所测得的位移变化量。上覆岩层开始发生压

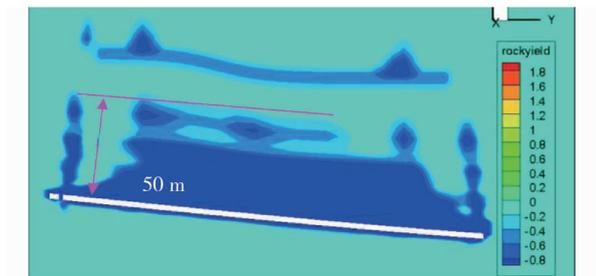
缩的距离分别在工作面后方 25,40,50,70 m 的位置,各带发生明显变化的部位基本上都是在工作面推过 160~180 m 以内。



(a) 工作面推进后 40 m



(b) 工作面推进后 80 m



(c) 工作面推进后 200 m

图2 工作面推过不同距离后竖向切面上的覆岩破坏区域

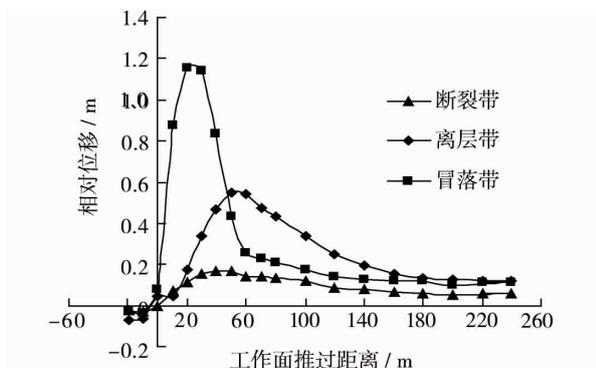


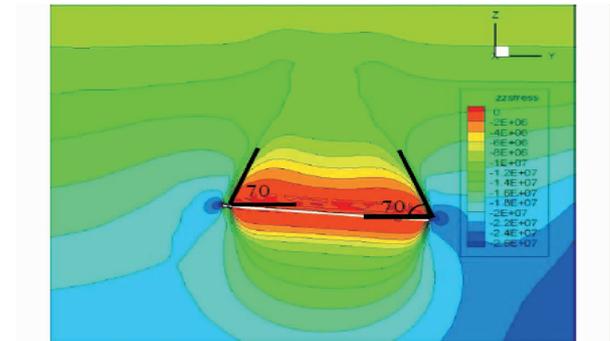
图3 模拟的覆岩相对位移变化

#### 4.2 采动应力动态变化

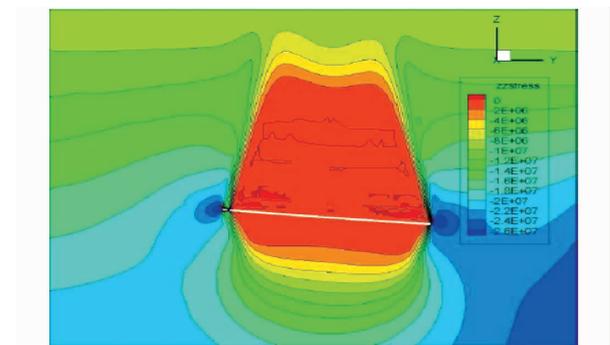
图4显示了工作面推进 30,60,100 m 过后,12326 工作面采空区周围的应力分布云图。随着顶板高度的增加,应力降低边界逐渐向采空区一侧移

动,卸压角也随工作面向推进逐渐由 70°变化到 80°。随工作面向前不断推进,采空区中部的应力逐渐恢复稳定,采空区的内侧存在着一定宽度的卸压区,其宽度大小随煤层顶板高度的增加而不断减小。

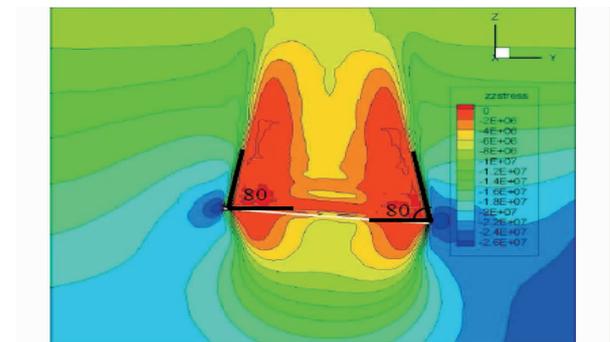
在采空区上方清晰的看到,沿采空区边界的卸压保持区,其形状类似于“O”形圈,在到一定高度后消失。



(a) 工作面推过 30 m



(b) 工作面推过 60 m



(c) 工作面推过 100 m

图4 随工作面推进倾向切面

如图5所示为采空区在不同高度时,上覆岩层沿工作面走向上的应力变化曲线,由图5可知:在工作面向前推进的方向上,竖向应力的变化出现了4个阶段特征,应力降低、增加、恢复稳定和稳定。其中超前支承压压力可达到工作面前方大约 300 m

的影响范围,应力峰值大概位于工作面前方 10 m 左右的位置.保护层卸压角大概为  $80^\circ$ ,在工作面后方煤层顶板的卸压范围大约可达到 200 m 左右,200 m 之后应力开始基本恢复稳定.

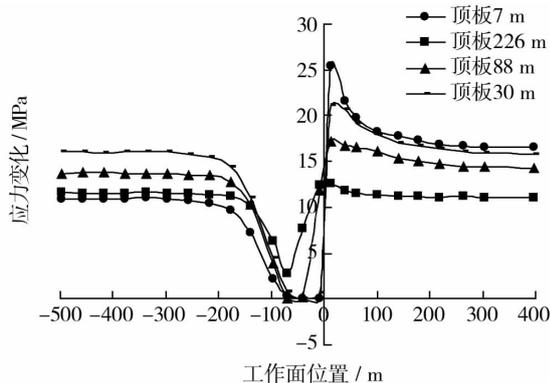


图5 采空区不同高度覆岩沿工作面走向上的应力变化曲线

### 4.3 保护层位移变化特性分析

图6被保护层煤厚变形量随保护层工作面推进的关系.图6横坐标为工作面前进的距离,纵坐标为被保护层煤厚的变化大小.

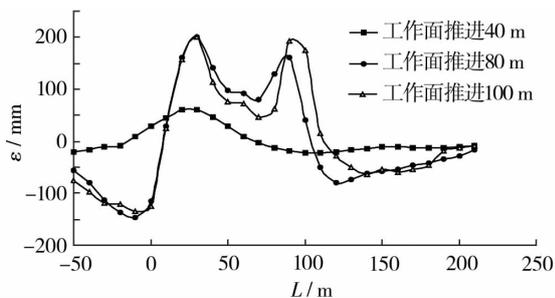


图6 煤层厚度变形值随保护层工作面推进距离变化

由图6可以得出:在保护层开采的初期,对被保护层的煤体变化影响比较小.在工作面回采了 40 m 时,其中被保护层的最大膨胀变形值大概是 6 cm.随着工作面开采不断向前推进,被保护层的最大的膨胀变形值大概为 20 cm,被保护层 8 煤的膨胀变形率大概为 2.22%,数值模拟结果与现场实测结果基本吻合.

## 5 结论

1)随着保护层的不断开采,采场上覆岩层呈现裂隙增大、压缩、稳定的周期性交替变化过程,移动曲线基本符合负指数函数分布.

2)由于保护层开采的影响,使得被保护层原有的应力平衡状态被打破,煤层发生移动变形.被保护层的膨胀变形使得被保护范围内的围岩体内部形成大量孔道和裂隙,煤层的透气性增大.被保护层地压减小,弹性潜能得到缓慢释放.所以被保护层内的大量瓦斯可以释放到保护层开采后的采空区内,被保护层内的瓦斯压力和瓦斯含量都将显著降低.

3)随着工作面开采距离的增加,被保护层的应力有所恢复,煤层的膨胀变形值逐渐变小,最后逐渐趋于稳定.在工作面后方的一定范围采空区内,应力没有恢复的区域煤层膨胀变形值仍较大.所以,当保护层工作面向前推进到一定距离时,在被保护层卸压区内,煤层厚度变化呈现“M”型分布.

### 参考文献:

- [1] 石必明.保护层开采覆岩变形移动特性及防突工程应用实践[M].北京:煤炭工业出版社,2008.
- [2] 袁亮.煤矿总工程师技术手册[M].北京:煤炭工业出版社,2010.
- [3] 钱鸣高,许家林.覆岩采动裂隙分布的“O”形圈特征研究[J].煤炭学报,1998,23(5):466-469.
- [4] 杨天鸿,唐春安,徐涛,等.岩石破裂过程渗流特性:理论、模型和应用[M].北京:科学出版社,2004.
- [5] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等.岩层控制的关键层理论[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000.
- [6] 程远平,俞启香,袁亮,等.上覆远程卸压岩体移动特性与瓦斯抽采技术[J].辽宁工程技术大学学报,2003,22(4):483-486.
- [7] 程涛,杨胜强.采场瓦斯运移规律模拟及其治理措施分析[J].煤炭科学技术,2010,38(12):61-65.
- [8] 王义江,杨胜强,许家林,等.阳泉三矿大采长综放工作面瓦斯涌出特征分析[J].河南理工大学学报,2007,26(1):11-15.
- [9] 徐永圻.煤矿开采学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009.
- [10] 何学秋,申宝宏,罗海珠,等.煤矿瓦斯防治技术与工程实践[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009.
- [11] 唐世斌,唐春安,杨天鸿,等.保护煤层开采引起覆岩垮落及其被保护层透气性变化的数值模拟[J].岩石力学与工程学报,2005,24(1):5096-5102.