

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.03.17

构造介质对采煤沉陷影响的数值模拟分析

李祥, 李成伟, 张舜尧

(西安地质矿产勘查开发院, 陕西 西安 710100)

摘要: 本文采用数值模拟试验, 针对不同构造介质条件下, 地下采空对上覆岩层的损坏程度进行模拟研究。试验结果表明, 介质越坚硬, 地下开采对地表损害的程度就越小, 煤柱所受的压应力就越大, 采空区直长边所受的拉应力越大; 介质越软弱, 地下开采对地表损害的程度就越大, 煤柱所受的压应力就越小, 采空区直长边所受的拉应力越小。此结论对于采煤沉陷的预测及矿山地质灾害的防治, 将具有一定的理论价值和指导意义。

关键词: 构造介质; 采煤沉陷; 数值模拟; 应力应变

中图分类号: TD327

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)03-0091-04

Analysis of medium hardness on mining subsidence based on numerical simulation

LI Xiang, LI Chengwei, ZHANG Shuniao

(Xi'an Geology and Mineral Exploration and Development Institute, Xi'an, Shaanxi 710100, China)

Abstract: This paper applies numerical simulation test, According to the different tectonic conditions, the extent of damage of underground space of overlying strata simulation research. The test results show that the structure of medium, the more hard, degree of underground mining on the surface damage of more small coal pillar, the compressive stress of mined out area is greater, the long side of the tensile stress is larger; the more weak structural medium, degree of underground mining on the surface damage is bigger, the coal pillar the compressive stress of mined out area is smaller, the long side of the tensile stress is small. This conclusion has a certain theoretical guidance meaning for the prevention and control of coal mining subsidence in the occurrence and development regularity and mine geological disasters.

Keywords: structural medium; mining subsidence; numerical simulation; stress and strain

0 引言

采动引起的地表变形破坏取决于多种地质因素的综合影响, 只有正确认识和掌握这些因素的影响, 才能进行有效合理的采煤沉陷预计, 这已成为大家的共识。本文针对构造介质单因素的基础性研究, 初步探讨地下采空对上覆岩体的影响, 为后续进行构造环境与采煤沉陷综合影响研究提供理论基础。构造介质是具有“构造记忆”的构造岩体, 它既是构

造作用的客体或对象, 同时也是构造应力传递的媒介^[1]。在工作面放顶后, 不同类型的构造介质所表现的损害程度是不一样的。为了研究构造介质对采煤沉陷的影响程度, 本次以层状连续型构造介质为研究对象, 借助于计算机数值试验, 针对不同力学性质的覆岩进行采煤沉陷的控制机理研究, 揭示不同构造介质条件下采空区上覆岩体的变形与破坏。本文应用 ANSYS-FLAC^{3D} 软件进行数值试验时, 首先将开采煤层的底板、煤层及其上覆岩层剖面按实际比

收稿日期: 2014-09-11; 修订日期: 2014-10-10

基金项目: 基于构造控灾机理的采煤沉陷预警基础研究(41272388)

第一作者: 李祥(1987-), 男, 陕西西安人, 硕士, 地质工程专业, 地质灾害评价与灾害防治。E-mail: 284344675@qq.com

例划分为网格单元^[2],通过给不同的岩层和煤层赋予不同的材料力学性质参数,模拟不同类型构造介质在地下开采过程中的变形破坏。

1 岩石普氏硬度与覆岩的类型划分

在岩土工程设计手册和工程标准定额及概预算中,大多数沿用普氏系数 F 表示岩石的类别,该方法是前苏联 M. M. 普罗多吉亚柯诺夫于 1926 年提出的普氏分类法^[3],该分类法以岩体的单轴抗压强度为分类依据,其中

$$q = R_{\text{压}}/1000$$

式中: q ——普氏系数,又称为岩石硬度系数;

$R_{\text{压}}$ ——岩石的单轴抗压强度/($\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$)。

以普氏岩石硬度系数为依据,定义覆岩综合普氏硬度如下:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n m_i q_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

式中: Q ——覆岩综合普氏硬度;

m_i ——覆岩 i 分层的法线厚度/ m ;

q_i ——覆岩 i 分层的岩性评价系数,或称为岩石的硬度系数;

n ——覆岩分层数。

参照国家煤炭工业局《建筑物、水体、铁路及主要巷道煤柱留设与压煤开采规范》^[4],根据覆岩的综合普氏硬度,将覆岩划分为坚硬($Q \geq 6$)、中硬($6 > Q > 3$)、软弱($Q \leq 3$)三种类型。本次模拟实验将构造介质按覆岩的综合普氏硬度将岩土体划分为三类,即软弱构造介质类、中硬介质类以及坚硬介质类,进行模拟对比研究。在此基础上,针对构造介质对采煤沉陷的影响度进行分析。

2 计算模型及模型参数

计算模型长 300 m,宽 300 m,高 118 m,分为六层,底板岩性设计为砂岩,采空区长度为 100 m,采厚为 8 m,宽度为 40 m,开采深度为 70 m,对模型底部、左右侧和前后两侧分别设置了固定边界条件。坚硬构造介质模型(M1-1)、中硬构造介质模型(M1-2)及软弱构造介质模型(M1-3)的材料参数(表 1)。限于篇幅,本文仅给出坚硬介质模型的计算过程。

表 1 计算模型及其材料参数一览表

Table 1 The material parameter list of the model structural medium

模型	岩性 岩性	厚度 H/m	容重 $\gamma/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	体积模量 G/Pa	切变模量 G/Pa	抗拉强度 T/Pa	粘聚力 C/Pa	内摩擦角 $F/(\circ)$	普氏 系数	综合普 氏系数
M1-1 型	砂岩	30	2400	3.10E+09	2.83E+09	2.25E+06	3.07E+06	41	8.5	6.70 坚硬
	粉砂岩	30	2200	2.34E+09	1.91E+09	3.20E+06	3.67E+06	38	6.5	
	泥岩	10	2000	1.39E+09	1.04E+09	2.30E+05	2.21E+06	30	3	
	煤	8	1300	1.33E+09	8.00E+08	1.34E+05	2.02E+06	32	3.2	
	泥岩	10	2000	1.39E+09	1.04E+09	2.30E+05	2.21E+06	30	3	
	砂岩	30	2400	3.10E+09	2.83E+09	2.25E+06	3.07E+06	41	8.5	
M1-2 型	砂岩	30	2400	1.90E+09	1.74E+09	2.01E+06	2.72E+06	38	5.6	4.41 中硬
	粉砂岩	30	2200	1.98E+09	1.61E+09	2.50E+06	3.12E+06	35	4.4	
	泥岩	10	2000	1.11E+09	8.33E+08	1.74E+05	1.85E+06	28	3	
	煤	8	1300	9.67E+08	5.80E+08	1.26E+05	1.35E+06	30	2	
	泥岩	10	2000	1.11E+09	8.33E+08	1.74E+05	1.85E+06	28	3	
	砂岩	30	2400	1.90E+09	1.74E+09	2.01E+06	2.72E+06	38	5.6	
M1-3 型	砂岩	30	2400	1.44E+10	1.03E+10	2.31E+06	9.89E+05	35	2.5	2.10 软弱
	粉砂岩	30	2200	1.28E+10	8.06E+09	1.85E+06	1.18E+06	32	2	
	泥岩	10	2000	1.04E+10	5.95E+09	2.60E+06	7.12E+05	25	1.5	
	煤	8	1300	9.09E+09	4.69E+09	1.97E+06	6.52E+05	28	1.8	
	泥岩	10	2000	1.04E+10	5.95E+09	2.60E+06	7.12E+05	25	1.5	
	砂岩	30	2400	1.44E+10	1.03E+10	2.31E+06	9.89E+05	35	2.5	

2.1 坚硬介质模型

计算结果如图 1~图 4 所示,由位移等值线分布图可知,地表下沉不明显,采空区直接顶(泥岩层)发生垮塌,老顶(砂岩、粉砂岩层)弯曲变形量较小,底板出现底鼓现象;采空区顶板的垮塌范围呈三角形向外扩展,中部垮塌集中,向两侧逐渐减少;地表盆地的下

沉较为平缓,中部最大,向外逐渐变小。由应力分布图可知,采空区两端出现了应力集中,顶板出现拉应力,而底板出现压应力。

2.2 中硬介质模型

由位移等值线分布图可知,地表下沉位移较为明显;工作面放顶后直接顶发生冒落,冒落发育较充分,

而老顶均为中硬岩,其自身起到板梁的作用,故地表沉降不大。由应力分布图知,由于采空区上部中硬介质的悬顶量较坚硬介质的悬顶量小,故在采空区两端中硬介质所受到的压应力小于坚硬介质所受到的压应力,直接顶的拉应力在增大,直接底的压应力在减小;由于采空区上部中硬岩体的垮塌,边缘区内变形带和裂隙带所受到的压应力进一步减小,而边缘区以外的拉应力却增大了。

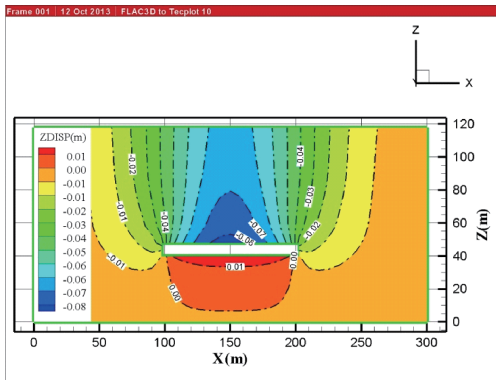


图 1 下沉等值线分布图

Fig. 1 Settlement isoline distribution map

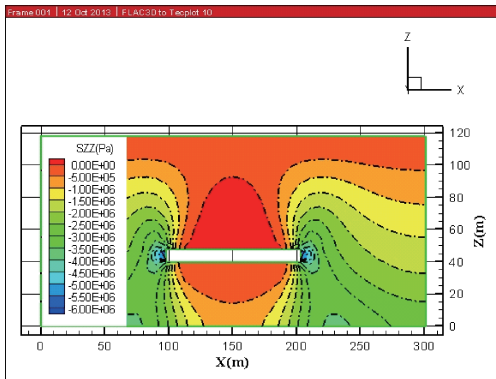


图 2 竖向应力分布图

Fig. 2 Vertical stress distribution diagram

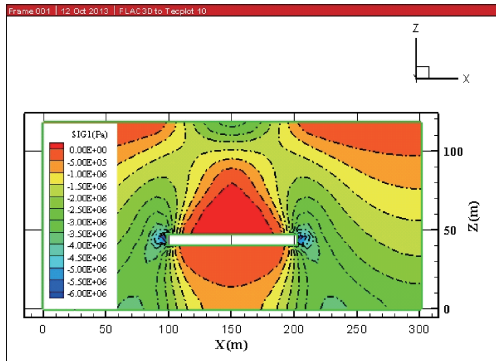


图 3 最大主应力分布图

Fig. 3 The maximum principal stress distribution map

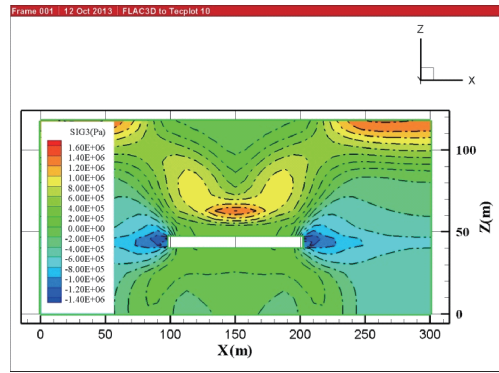


图 4 最小主应力分布图

Fig. 4 The minimum principal stress distribution map

2.3 软弱介质模型

由位移等值线分布图可知,上覆岩土层冒落充分,地表下沉明显。由应力分布图知,由于采空区上部软弱介质的悬顶量较中硬介质的悬顶量更小,故在采空区两端软弱介质所受到的压应力小于中硬介质所受到的压应力,直接顶的拉应力进一步增大,直接底的压应力也在逐渐减小;边缘区内压应力继续减小,而边缘区以外的拉应力却继续增大。

3 数值模拟结果分析

3.1 位移量对比分析

由位移等值线分布图可知,最大下沉值位于采空区中央之上方,自盆地中心至盆地边缘下沉值逐渐减小,在盆地边界点处下沉值趋于零;地表下沉量随着构造介质综合普氏系数的减小,采空区顶板发生垮塌的范围会扩大,底鼓的现象也会更加明显,地表下沉量也将同时增大,地表下沉量(Z_{DISP} 坚硬 $< Z_{DISP}$ 中硬 $< Z_{DISP}$ 软弱)(图 5)。

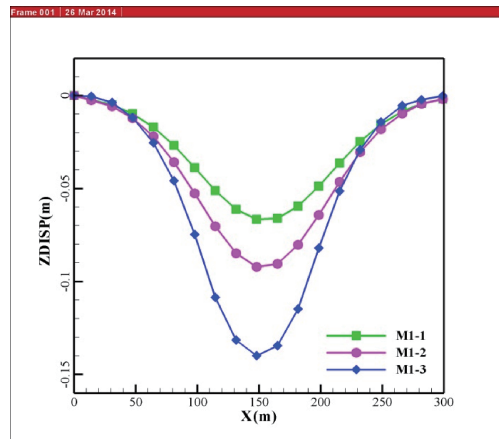


图 5 地表下沉量对比图

Fig. 5 Surface subsidence comparison chart

(1) 构造介质为坚硬岩层(综合普氏系数大于6)时,工作面放顶后地表下沉不明显,这是由于在一定的范围内,坚硬介质能够承受更大的极限强度,岩体只发生弹性变形而无塑性流动,岩体没有破坏或松动,因此上覆岩层冒落发展到该坚硬岩层时会形成悬顶,坚硬岩体起到梁板作用,不发生冒落,弯曲现象,地表产生缓慢的连续变形;

(2) 构造介质为中硬岩层(综合普氏系数大于3且小于6时),工作面放顶后地表下沉介于坚硬岩层与软弱岩层之间,这是由于采空区围岩变形较大,存在弹性变形和塑性变形,或有少量岩石破碎作用,加之围岩应力重分布需要一定时间,因此,上覆岩层冒落发展到该中硬岩层时会形成一定范围的悬顶和离层裂缝,各分层即开始沿岩层层面的法线方向,向采空区依次弯曲,中硬岩层将产生拱冒变形;

(3) 构造介质为软弱岩层(综合普氏系数小于3)时,工作面放顶后地表下沉较为明显,这是由于软弱岩体的结构面极为发育、极限强度很低,开挖过程或开挖结束后,重新分布的应力很容易超过岩体强度而引起围岩的破坏、松动与塌落。因此,上覆岩层冒落发展到该软弱岩层时,不会形成悬顶和离层裂缝,易于弯曲下沉,地表可能会产生抽冒现象,形成漏斗型塌陷坑。

3.2 应力对比分析

采空区两端随着介质综合普氏系数的增大,采空区上覆岩层的稳定性就越好,垮塌量就越少,悬空量也就越多,煤柱承受的压力也就越大,发生片帮的可能性也就越大,采空区两端垂直应力对比(S_{zz} 坚硬 > S_{zz} 中硬 > S_{zz} 软弱), (图6)。

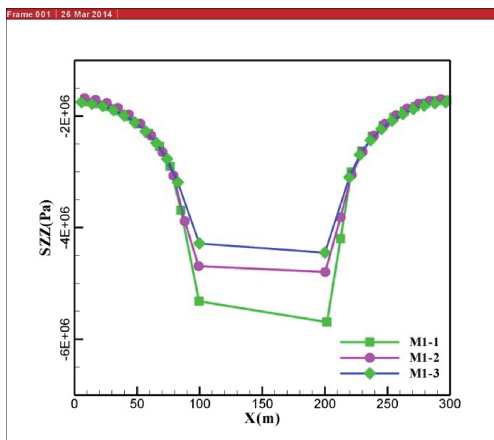


图6 垂直应力(44 m)对比图

Fig.6 The vertical stress comparison chart(44 m)

由应力分布图可知,采空区拐点地方出现了较大的应力集中,顶板出现拉应力,而底板出现压应力,而

这些附加应力的出现,会造成采空区围岩破坏的加剧,进一步降低采空区围岩的稳定性。

地表移动盆地的中间区域,下沉值达到最大,应力近乎为零,一般不出现明显的横向裂缝;地表移动盆地的内边缘区,地表下沉值不等,各点向盆地中心方向移动,呈凹形,产生压缩变形,一般不出现拉张裂缝;地表移动盆地的外边缘区,地表下沉不均匀,各点向盆地中心方向移动,呈凸形,产生拉伸变形,地表产生拉张裂缝;随着构造介质综合普氏系数的减小,中间区增大,拉伸区减小,压缩区增大。

4 结论

(1) 采空区上覆岩层的综合硬度,是影响构造介质力学性质的重要因素。

(2) 构造介质越坚硬,地表下沉量就越小,边缘区就越平缓,采空区拐角的应力就越集中,拐点偏移距也相对较大。

(3) 构造介质越软弱,地表下沉量就越大,边缘区就越陡立,采空区拐角的应力就越集中,拐点偏移距也相对较小。

参考文献:

- [1] 夏玉成. 构造环境对煤矿区采动损害的控制机理研究[D]. 西安:西安科技大学,2003.
XIA Yucheng. Study of control mechanism of tectonic settings on environment hazards related to Coal-mining [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology,2003.
- [2] 徐涛,唐春安,王述红,等. 岩石破裂过程围压效应的数值试验[J]. 中南大学学报,2004,35(5):840-844.
XIU Tao, TANG Chunan, WANG Shuhong, et al. Numerical tests on confining pressure effect in rock failure process [J]. Journal of Central South University of Technology,2004,35(5):840-844.
- [3] 张咸恭,王思敬,张倬元,等. 中国工程地质学[M]. 北京:科学出版社,2000.
ZHANG Xiangong, WANG Sijing, ZHANG ZhuoYuan, et al. Engineering geology Chinese [M]. Beijing: Science Press,2000.
- [4] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[M]. 北京:煤炭工业出版社,2000.
State Bureau of Coal Industry. Buildings, water, railway and coal pillar design specification and the pressure of coal mining [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House,2000.