

构造应力与采动损害关系的数值试验研究

夏玉成¹, 雷通文²

(1.西安科技大学 地质与环境工程系, 陕西 西安 710054; 2.铁道第二勘察设计院 地堪分院, 四川 成都 610031)

摘 要: 采用岩石破裂与失稳分析系统(RFPA), 对不同构造应力条件下煤矿区地表环境损害特征进行数值试验。结果表明: 处于伸展构造背景下的煤矿区, 煤层覆岩受到拉张构造应力作用, 在煤层开采过程中, 覆岩运动、变形和对地表地质环境的损害相对比较强烈; 而处于挤压构造应力作用下的煤矿区, 覆岩运动、变形及其对地表地质环境的损害相对较弱, 或表现滞后。

关键词: 构造应力; 采动损害; 数值试验

中图分类号: TD 315.3

文献标识码: A

Numerical test study on relation between tectonic stress and ground damage related to coal mining

XIA Yu-cheng¹, LEI Tong-wen²

(1.Department of Geology and Environment Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2.Geology Reconnaissance Branch, The Second Railway Survey & Design Institute, Chengdu 610031, China)

Abstract: The results from numerical tests of ground damage related to coal mining under different tectonic stress conditions with rock failure process analysis system show that in the coal mining area of tension tectonic setting, both the motion and deformation of surrounding rocks as well as the damage degree of ground geological environment are relatively more acute, whereas the motion and deformation of surrounding rocks and the damage degree of ground geological environment will decrease or lag behind in the coal mining area under the action of compressive tectonic stress.

Key words: tectonic stress; ground damage related to coal mining; numerical test

0 引 言

地球是一个极不均匀且高度活动的动态系统, 处在地球表层的任何一个煤矿区要么处于挤压构造应力场, 要么处于拉张构造应力场^[1-3]。因此, 挤压与拉张是煤矿区常见的两种最基本的构造应力状态^[4]。但在煤矿区岩层移动研究中, 对构造应力往往是忽略不计的^[5]。笔者通过力学推导和典型实例分析, 指出构造应力对井工开采引起的地表环境损害(以下简称采动损害)有不可忽视的影响^[6-7]。本文主要根据数值试验结果进一步论证这一观点。

1 数值试验模型

据煤矿区常见地层组合关系, 设计了数值试验覆岩结构模型(图 1)。模型中的各种岩石力学参数见表 1。煤层上覆岩层软硬相间, 综合普氏硬度为 5.2, 代表一种横向均匀连续的中等硬度构造介质类型。

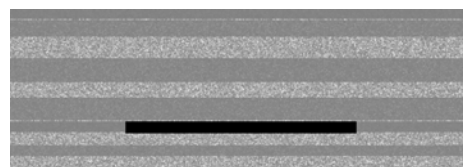


图 1 煤层及其顶底板结构模型

Fig.1 structural model of coal and surrounding rocks

试验目的是研究在不同的构造应力场中, 由于地下开采引起的覆岩破坏规律的差异性。为了使试验结果具有可比性, 除侧向受力条件外, 覆岩结构和开采条件完全相同(表 2)。在设置侧向受力条件时, 如果构造应力绝对值设置过大, 则仅构造应力即可把模型压坏或者拉坏, 达不到试验目的; 如果设置过小, 则又反映不出构造应力的作用。经过反复试验, 模拟挤压构造应力场时, 在 X 方向施加双边侧向应力 0.4 MPa, 模拟拉张构造应力场时, 在 X 方向施加双边侧向应力 - 0.4 MPa。Y 方向受覆岩自重应力作用。

收稿日期: 2004-08-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40472104)

作者简介: 夏玉成(1957-), 男, 甘肃 武威人, 博士, 教授, 主要从事构造控煤与控灾研究, E-mail: xaiyc@xust.edu.cn。本文编校: 赵 娜

表 1 覆岩结构模型相关参数
Tab.1 structure model and parameters of rounding rock

		实际尺寸/mm	模型尺寸/mm	单元个数	材料均质度		
X 方向		400 000	400 000	400	20		
Y 方向		135 000	135 000	135			
岩 层	厚度 /m	重力密度 /(10^{-5} N·mm $^{-3}$)	抗压强度 /MPa	弹性模量 /MPa	内摩擦角/(°)	泊松比	普氏系数
松散层	9	1.4	14.1	4 300	20	0.15	0.8
粉砂岩	15	2.3	26.9	26 000	35	0.24	2.7
砂 岩	17	2.5	102.3	34 000	41.5	0.21	10.0
粉砂岩	21	2.3	26.9	26 000	35	0.24	2.7
砂 岩	12	2.5	102.3	34 000	41.5	0.21	10.0
粉砂岩	20	2.3	26.9	26 000	35	0.24	2.7
煤	10	1.3	16.67	20 500	30	0.28	1.6
砂 岩	10	2.5	102.3	34 000	41.5	0.21	10.0

表 2 控制条件和模拟开采参数
Tab.2 control conditions and mining parameters

覆岩结构		不同构造应力场中的覆岩结构完全相同, 详见图 1 和表 1			
模 拟	覆岩厚度/m	94	开采厚度/m	10	
开 采	每步开采长度/m	5	开采总步数/步	30	
控 制 条 件	X 方向双边应力	模拟挤压	0.4 MPa	模拟拉张	- 0.4 MPa
	Y 方向应力	覆岩重力	加载类型	平面应变	
	计算控制精度	0.000 1	强度准则	摩尔库仑准则	

2 数值试验结果

2.1 挤压应力与采动损害

当地下开采进行到 20 步时, 开始出现强度较大连续不断的声发射(图 2), 且发生次数也显著增多。

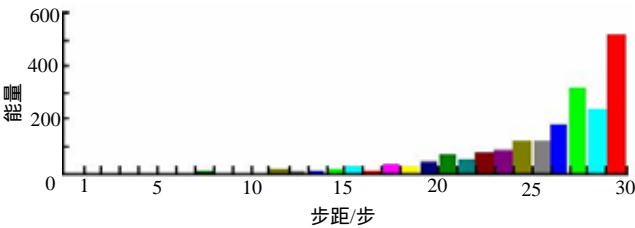
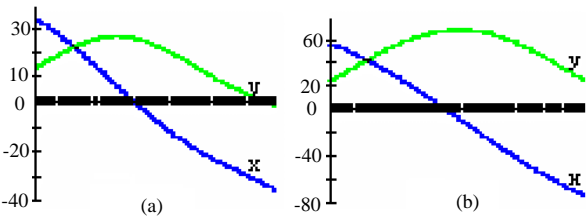


图 2 声发射能量与开挖步的关系

Fig.2 relation between AE intensity and mining steps



曲线 Y—垂向位移; 曲线 X—水平位移, 单位 mm

a—开挖 20 步时; b—开挖 30 步时

图 3 地表位移与工作面推进距离的关系曲线

Fig.3 ground displacement and mining length

从地表位移情况来看, 当开采第 20 步时, 地

表才开始明显沉陷, 但沉陷幅度不大(图 3a); 开挖到第 30 步时, 地表沉陷幅度还不到 70 mm(图 3b)。

2.2 拉张应力与采动损害

在拉张构造应力场中, 当地下开采进行到第 7 步时, 覆岩中首次出现破裂; 开挖到第 10 步时, 声发射能量显著增强(图 4a), 次数增多(图 4b), 表明覆岩已经开始了愈来愈强烈的破坏过程。

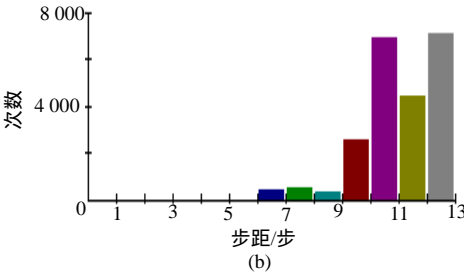
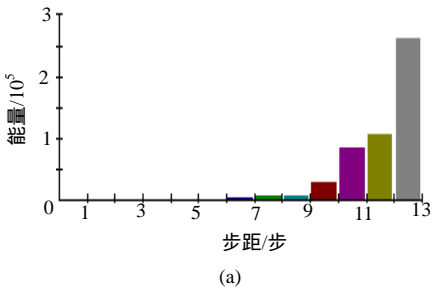


图 4 声发射能量(a)和声发射次数(b)与开挖步的关系

Fig.4 relation between AE intensity(a), frequency(b) and mining steps

表 3 不同构造应力条件下采动损害与开采长度的关系对比

Tab.3 damage degree correspond to mining length in different tectonic stress fields

损害程度	覆岩开始破裂(连续声发射)	顶板下沉 > 10mm	地表下沉 > 10mm	覆岩强烈破坏	地表大范围塌陷
挤压构造应力场/m	60	85	100	130	> 150
拉张构造应力场/m	35	50	60	60	65

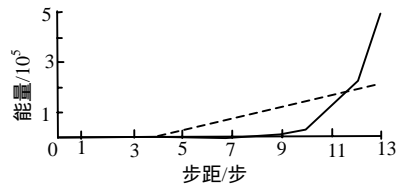


图 5 声发射累积能量与开挖步的关系

Fig.5 relation between AE accumulated intensity and mining steps

随着覆岩中声发射能量的急剧增强(图 5),位于采空区上方的地表对应位置出现明显塌陷(图 6)。

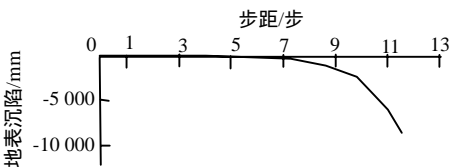


图 6 地表沉陷与开挖步的关系

Fig.6 relation between ground subsidence and mining steps

2.3 数值试验结果对比

在数值试验中,RFPA 软件自动记录和存储了各开采步的应力分布、位移矢量、声发射次数与能量、覆岩单元位移与开挖步关系曲线等信息。为了节省篇幅,将采动损害程度分为五个级别:覆岩中首次出现声发射(表明开始破裂)、煤层顶板下沉幅度大于 10 mm、地表下沉幅度大于 10 mm、覆岩强烈破坏、地表大范围塌陷,分别从挤压与拉张构造应力模型的模拟开采试验结果中取得各级别损害发生时工作面已经推进的距离(开采长度),并将其归纳总结为表 3。

3 结 论

(1) 构造应力对煤矿区采动损害有明显控制作用。由于构造应力的作用,可以改变采动影响下的覆岩移动方向和移动量的大小,同时也影响井下

巷道的变形破坏模式,并产生冲击地压。因此,无论从保护地表地质环境的角度,还是从井下安全的角度,构造应力都是不容忽视的。

(2) 处于伸展构造背景下的煤矿区,煤层覆岩受到拉张构造应力作用,在煤层开采过程中,覆岩运动、变形和对地表地质环境的损害相对比较强烈;而处于挤压构造应力作用下的煤矿区,覆岩运动、变形及其对地表地质环境的损害相对较弱,或表现滞后。

(3) 目前被广泛采用的岩层移动和开采沉陷规律是在不考虑构造应力的情况下总结出来的,而实际上煤矿区都处于一定的地质构造应力场之中,开采引起的岩层与地表移动受到覆岩自重应力和侧向构造应力的联合作用。因此用现有的岩层与地表移动预计方法对覆岩及地表进行移动和变形计算,其结果必然与实际情况存在差异。

致谢:东北大学岩石破裂与失稳研究中心提供了软件支持,谨致谢忱。

参考文献:

[1] 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.

[2] 孙玉科,杨志法,丁恩保,等.中国露天矿边坡稳定性研究[M].北京:中国科学技术出版社,1999:134-159.

[3] 蔡美峰.地应力测量原理和技术(修订版)[M].北京:科学出版社,2000.

[4] 隋惠权,于广明.地质动力引起岩层移动变异及突变灾害研究[J].辽宁工程技术大学学报,2002,21(1):25-27.

[5] 康建荣,王金庄.采动覆岩力学模型及断裂破坏条件分析[J].煤炭学报,2002,27(1):16-20.

[6] 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.

[7] 夏玉成.构造应力对煤矿区采动损害的影响探讨[J].西安科技大学学报,2004,24(1):72-74.