

文章编号:0253-9993(2006)02-0179-04

陷落柱防水煤柱留设对围岩变形影响的数值模拟

尹尚先

(华北科技学院 安全工程中心, 北京 101601)

摘要: 用 FLAC^{3D} 模拟了不同防水煤柱留设条件下采煤工作面推进过程的围岩变化, 结果显示: 应力集中系数和应变均随推进距离的增加而增大, 推进距离超过一定数值后, 应力集中系数趋于常数; 防水煤柱对顶、底板位移影响极大, 煤柱留设少, 底板位移大, 较大的煤柱尺寸, 对应较小的顶、底板破坏深度, 较小的应力集中系数. 因此, 防水煤柱的留设应保证煤柱本身或顶、底板隔水层厚度足以抵抗临近含水层的静水压力, 同时应兼顾压煤量的经济合理性.

关键词: 陷落柱; 防水煤柱; 围岩变形; 数值模拟

中图分类号: TD322.4; TU45 **文献标识码:** A

Numerical simulation of influence of water barrier pillars for subsided column on rock failure in mining process

YIN Shang-xian

(Safety Engineering Center, North China Institute of Science Technology, Beijing 101601, China)

Abstract: Stress and strain in process of working face advances were simulated with FLAC^{3D} under different conditions of water barrier pillars, and the results showed that stress concentrating coefficients and strains increase with working face advances, when distances of advances are over some values, the coefficients are nearly constant, and water barrier pillars have large influence on displacement of roof and floor, the smaller of water barrier pillars, the larger of displacement, the bigger of failure depths in roof or floor, and the bigger of stress concentrating coefficients. So, two factors should be considered in water barrier pillars design, one is thickness of water barrier pillars or aquifuge of roof and floor, which should be large enough to resist water pressure, and the other is quantity of coal pillars, which should be small enough to keep economical and rationality.

Key words: subsided column; water barrier pillars; rock failure; numerical simulation

目前, 防水煤柱的留设是以经验或者力学解析分析为依据进行设计的, 岩体结构非常复杂, 地下工程作用下岩体结构的理论解析分析^[1,2]几乎是不可能的或者是过分简化而不精确的. 数值模拟以其复杂条件的适应性和具有应力应变史的“记忆”功能等优势, 在地下工程中广泛应用. 本文拟通过 FLAC^[3] 在防水煤柱留设问题中的应用来推动数值模拟在矿井生产中的广泛应用.

1 模型及计算结果分析

以某煤矿一采煤工作面为原型, 其地质构造较为复杂, 存在陷落柱且陷落柱穿过煤层达煤层顶板上 50 m (图 1), 陷落柱横截面为 20 m × 20 m 的正方形, 采煤过程中需要留设煤柱以防止地下水的涌入. 岩

收稿日期: 2005-06-25

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-04-0254); 高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目 (2004-295); 广东省自然科学基金资助项目 (04300109)

作者简介: 尹尚先 (1964-), 男, 山西朔州人, 博士后, 教授. Tel: 010-61590327-601, E-mail: yinshx03@126.com

层近似水平。主采14煤层至奥灰含水层之间可划分为厚度、岩性和力学性质不同的29层并测定了岩石力学参数^[4]。为简化网格剖分的工作量,同时充分体现各层之间的力学性质的差异,将岩性、力学性质和分布厚度相近或相同的岩层划归为一个层组,合并后为5个层组^[5-7],其力学参数见表1。

FLAC^{3D}模拟计算采用摩尔-库仑材料本构模型,建立的数值模型(图1)长(y 方向)宽(x 方向)高(z 方向)分别为2400, 1120, 350 m,其中设计采煤工作面总长度800 m,宽度分别为80, 100, 120, 140, 160 m,煤层高3.5 m,一次采全高。模型顶部施加覆盖层自重应力;底部边界延伸到奥灰岩以下20 m,奥灰水位高于煤层底板604 m,因此底板岩层受6.04 MPa空隙静水压力。设计垂向变形为零的简支边界,原岩初始应力采用该区-490六石门实测数据^[4]。数值模型求解过程见文献[3]。

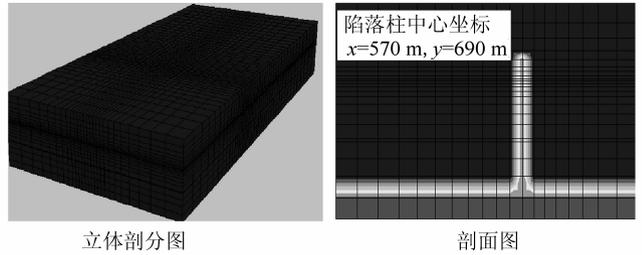


图1 数值模型

Fig. 1 Numerical model

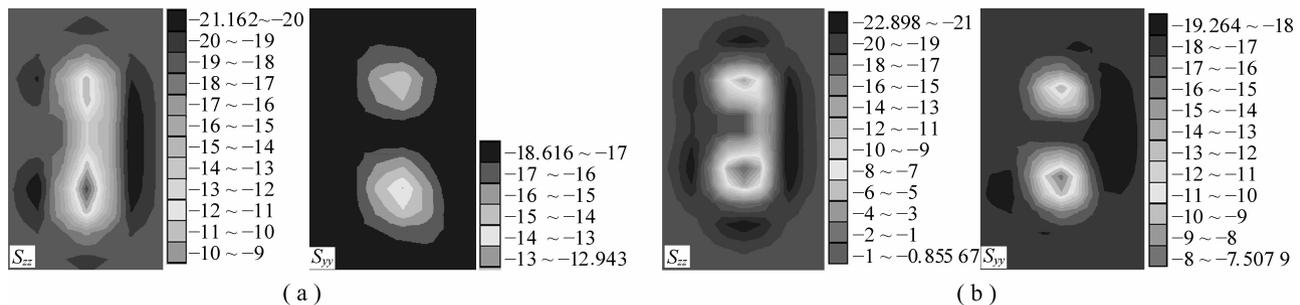
表1 南四背斜轴部层组力学参数

Table 1 Rock mechanics parameters in Nansi anticline

岩层	厚度/m	弹性模量/GPa	泊松比	内聚力/MPa	内摩擦角/(°)	抗拉强度/MPa
砂岩	40.6	27.5	0.25	8.7	35	1.5
K ₃	4.1	50.0	0.30	36.0	40	5.3
页岩	56.0	31.0	0.28	8.2	36	2.1
泥岩	34.8	26.0	0.24	8.5	32	1.4
O ₂	20.0	52.1	0.33	35.0	41	5.8
陷落柱		2.7	0.40	0.9	40	0.2

2 模拟结果分析

分别就陷落柱周围留设20 m和40 m煤柱时的工作面应力应变及破坏状态进行了模拟(图2~9)。工作面被留设煤柱分割,沿推进方向,左侧的工作面称为左工作面,右侧称为右工作面。

图2 底板下5 m深处的垂直应力 S_{zz} 及水平应力 S_{yy} (MPa)Fig. 2 Vertical stress S_{zz} and horizontal stress S_{yy} at 5 m depth with 20 m water barrier pillars (working face, 160 m × 40 m)

(a) 推进40 m时; (b) 推进80 m时

(1) 图2为陷落柱周围留20 m煤柱,采煤工作面分别推进40和80 m时,底板下5 m深处的垂直应力 S_{zz} 及水平应力 S_{yy} 。留20 m煤柱,推进40 m时,采空区内底板下5 m深处的垂直应力 S_{zz} 降低而采场边界出现应力集中,原岩应力为18 MPa,集中应力为21.2 MPa,集中系数为1.18;当推进80 m时,垂直应力 S_{zz} 集中范围扩大,集中系数变大,为1.27。留20 m煤柱,推进40 m时,底板下5 m深处无明显的水平应力 S_{yy} 集中,在采空范围大的地方(煤柱两角)应力降低;当推进80 m时,出现比较明显的水平应力 S_{yy} 集中,集中系数为1.1,其中在采场的前后两端的集中范围要大于左右两边。

以上分析说明,垂直应力 S_{zz} 及水平应力 S_{yy} 均随推进距离增加,集中系数增大,推进距离超过一定数值后,应力集中系数趋于常数(图3)。

(2) 图4为留20 m煤柱, 推进80 m时过陷落柱的剖面走向位移和沿工作面剖面的垂直位移. 留20 m煤柱推进80 m时, 走向位移(过陷落柱的剖面)底板移动为2 cm的范围扩展至底板下55 m深处; 沿工作面方向的垂直位移(过保护煤柱), 在采煤工作面和陷落柱交界处顶、底板位移较大, 由于左工作面宽, 所以最大位移在陷落柱左面2 cm的范围达到底板下63 m左右(图5); 在底板5 m深处, 陷落柱和周边留设的保护煤柱没有破坏. 留40 m煤柱, 推进80 m时, 左工作面走向顶、底板位移, 底板位移为2 cm的范围最深达到底板下15 m左右(图5), 与左工作面相比, 右工作面走向顶、底板位移, 移近量小了很多, 只有毫米级, 底板位移2 mm达到底板下25 m左右. 以上数据说明, 煤柱对底板应力分布、位移影响极大, 煤柱留设少, 底板位移量大、应力变化大(图5, 6).

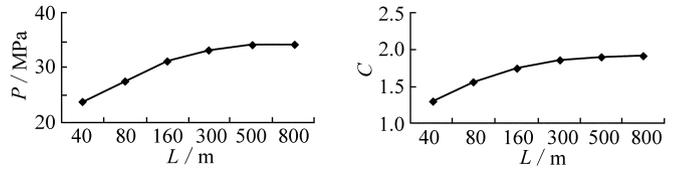


图3 采煤工作面推进过程中应力集中值 P 与应力集中系数 C 和采长 L 的关系曲线

Fig. 3 Relationship curves of stress concentrate P and coefficient C with advance distance L

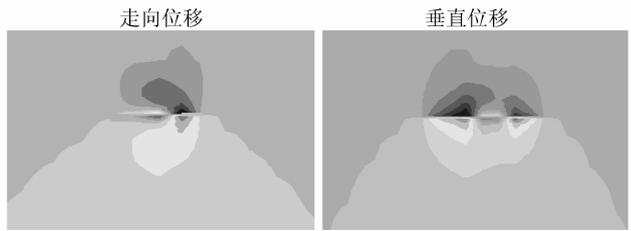


图4 走向位移和沿工作面剖面的垂直位移

Fig. 4 Z-displacement with 20 m water barrier pillars (working face, 160 m × 80 m)

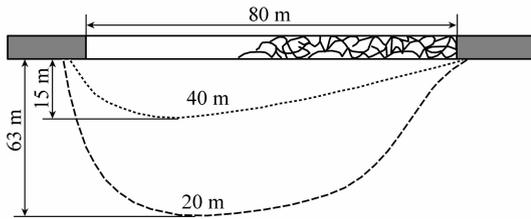


图5 留设不同煤柱推进80 m底板位移2 cm的深度对比

Fig. 5 The depth comparison of displacement 2 cm in the floor strata

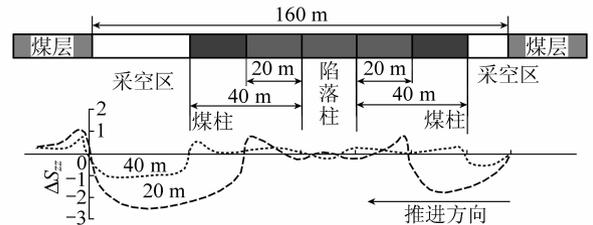


图6 留设不同煤柱推进160 m应力增量 ΔS_{zz} 对比

Fig. 6 The vertical stress increments ΔS_{zz} (MPa) in the floor strata

(3) 图7为留设40 m煤柱, 推进80 m时底板5 m深处垂直应力 S_{zz} 和水平应力 S_{yy} . 留20 m煤柱推进80 m时, 沿工作面剖面的原岩水平应力 S_{yy} 为17.2 MPa, 最大集中应力22.4 MPa, 集中系数为1.3; 沿工作面剖面的原岩垂直应力 S_{zz} 为17.9 MPa, 集中应力为24.2 MPa, 集中系数为1.35. 留40 m煤柱推进80 m时, 左工作面走向水平应力 S_{yy} , 集中系数为1.28, 底板下应力低于承压水压力6 MPa的范围为5~8 m; 左工作面走向垂直应力 S_{zz} , 集中系数为1.29; 底板5 m深处, 没有明显的水平应力 S_{yy} 集中, 右工作面由于开采范围小, 应力降低也不很明显; 底板5 m深处, 左工作面边界垂直应力 S_{zz} 集中比较明显, 集中系数为1.13; 沿工作面顶、底板, 仅在左工作面边界发生明显水平应力 S_{yy} 集中, 集中系数为1.3; 沿工作面顶、底板垂直应力 S_{zz} , 左工作面比右工作面应力集中明显, 集中系数为1.25; 右工作面走向水平应力 S_{yy} , 无明显的应力集中; 右工作面走

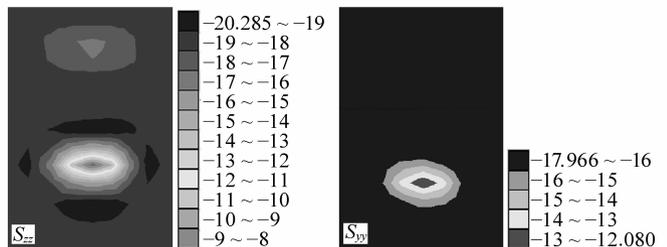


图7 底板5 m深处垂直应力 S_{zz} 和水平应力 S_{yy} (MPa)

Fig. 7 Vertical stress S_{zz} and horizontal stress S_{yy} (working face, 160 m × 80 m)

向垂直应力 S_{zz} , 应力集中不是很明显。

以上分析显示, 煤柱留设大, 应力集中程度轻 (图 6)。

(4) 图 8 是留 20 m 和 40 m 煤柱、推进 80 m 和留 20 m 煤柱推进 40 m 时底板 5 m 深处破坏状态; 图 9 为留 20 m 和 40 m 煤柱, 推进 160 m 时底板 5 m 深处垂直应力 S_{zz} 。

留 20 m 煤柱推进 80 m 时, 过保护煤柱沿工作面剖面, 在陷落柱边界的破坏为最深, 达到底板下 22 m, 被煤柱保护的范围内没有破坏; 过保护煤柱沿走向的陷落柱没有破坏, 底板只在开始时破坏有十几米; 不穿过保护煤柱, 采煤工作面推进 10 m 处, 沿工作面剖面, 由于离陷落柱远一些, 所以破坏深度没有上者深, 只达到底板下 13 m 左右。留 40 m 煤柱推进 80 m 时, 仅在左工作面底板下有破坏, 底板破坏深度为 5 ~ 8 m, 陷落柱和右工作面下没有破坏。

所以, 较大的煤柱尺寸, 对应较小的底板破坏深度。随着推进距离的增加, 煤柱的影响逐渐减小, 直至影响消失。

3 结 论

FLAC^{3D} 模拟分析不同煤柱留设条件下采煤工作面推进不同时刻的围岩应力应变状态, 结果显示: 由于岩溶陷落柱一般都与含水层有密切联系, 因此留设防水煤柱是必要的; 煤柱留设较大, 应力集中系数较小, 底板位移小; 反之, 应力集中系数和底板位移都将增大; 防水煤柱留设的原则是在满足防止突水事故发生的基础上, 同时兼顾经济合理性。

参考文献:

- [1] Wu Q, Wang M, Wu X, Investigations of groundwater bursting into coal mine seam floors from fault zones [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2004, 41 (4): 557 ~ 571.
- [2] Pariseau W G. Applications of finite element analysis to mining engineering [A]. Hudson J. A. Comprehensive Rock Engineering [C]. Oxford: Pergamon Press, 1993.
- [3] Itasca Consulting Group, Inc. FLAC user's manual [M]. Minnesota: State University of Minnesota, CSA, 1997.
- [4] 钟亚平. 开滦煤矿防治水综合技术研究 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [5] 尹尚先, 王尚旭, 武 强. 陷落柱影响采场围岩破坏和底板突水的数值模拟分析 [J]. 煤炭学报, 2003, 28 (3): 235 ~ 239.
- [6] 尹尚先. 煤矿区突 (涌) 水系统分析模拟及应用 [D]. 北京: 中国矿业大学 (北京), 2002.
- [7] Yin S X, Wang S X, Wu Q. Characteristics of Karstic collapse columns in north coalfields of china and mechanism of water inrush from coal seam floor [A]. Rock Stress [C]. Rotterdam: A A Balkema, 2003. 517 ~ 522.

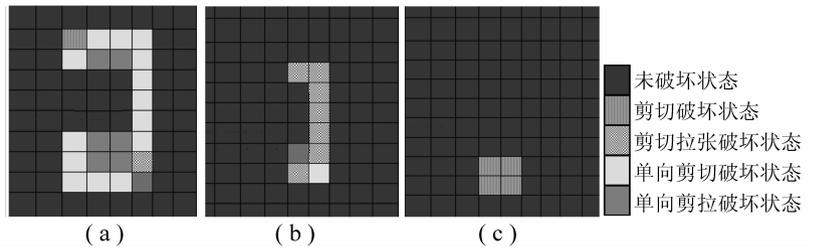


图 8 底板 5 m 深处时的破坏状态

Fig. 8 Failure state at 5 m depth (working face, 160 m × 80 m, 160 m × 40 m)

(a) 留 20 m 煤柱, 推进 80 m; (b) 留 40 m 煤柱, 推进 80 m; (c) 留 20 m 煤柱, 推进 40 m

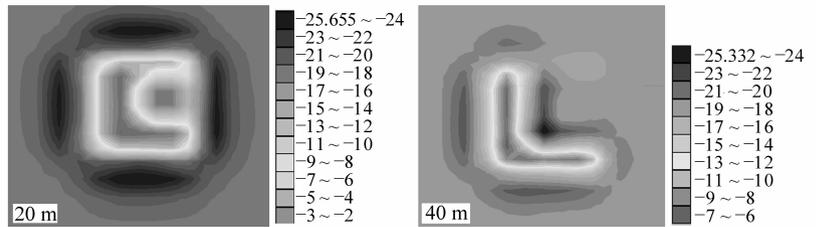


图 9 留 20 和 40 m 煤柱, 推进 160 m 底板 5 m 时的垂直应力 S_{zz} (MPa)

Fig. 9 Horizontal stress S_{zz} at 5 m depth with 20 or 40 m water barrier pillars (working face, 160 m × 160 m)