

陷落柱影响采场围岩破坏的数值模拟分析

孟 辉¹, 马守君², 樊海艳³, 宋淑光¹, 杨志豪⁴, 李传磊⁵

(1. 淄博矿业集团 岱庄煤矿, 山东 济宁 272051; 2. 淄博矿业集团, 山东 淄博 255100;

3. 枣庄科技职业学院 电气工程系, 山东 枣庄 277500; 4. 约翰芬雷华能设计工程有限公司, 北京 100004;

5. 山东科技大学 资源与环境工程学院, 山东 青岛 266590)

摘 要:针对岱庄煤矿 4325 工作面在掘进过程中揭露一岩溶陷落柱的情况, 结合以往研究成果和工作面实际情况, 利用 FLAC3D 数值模拟软件建立三维模型, 对工作面距岩溶陷落柱不同距离的垂直应力和水平应力进行模拟, 分析得到: 该工作面垂直应力、水平应力均小于地应力的正常值; 由于岩溶陷落柱的存在, 使应力应变分布极不均匀, 陷落柱附近顶板应力在垂直方向的作用范围在 40~50 m, 远离陷落柱其影响逐渐减小, 但对底板岩层的最大破坏深度为 25 m。

关键词:岩溶陷落柱; 数值模拟; 应力分布; 底板破坏深度

中图分类号: TD823. 251

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2011)05-0026-04

Numerical Simulation Analysis for Influence of Subsided Columns on Failure of Face Surrounding Rocks

MENG Hui¹, MA Shoujun², FAN Haiyan³, SONG Shuguang¹, YANG Zhihao⁴, LI Chuanlei⁵

(1. Daizhuang Coalmine, Zibo Mining Group Co. Ltd, Jining, Shandong 272051, China;

2. Zibo Mining Group Co. Ltd, Zibo, Shandong 255100, China; 3. Department of Electrical Engineering,

Zaozhuang Vocational Institute of Science and Technology, Zaozhuang, Shandong 277500, China;

4. John Finnray Huaneng Project Design Co. Ltd, Beijing 100004, China; 5. College of Resources and Environmental Engineering, Shanong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Aiming at present situation of a karst subsided column discovered in the heading process of Working Face 4325 of Daizhuang Coalmine and combining with existing research achievements and the practical situation of the face, the authors built a 3D model and simulated the vertical stress and horizon stress with different distances away from the karst subsided column by means of the FLAC3D software. The analysis concludes that both vertical stress and horizon stress are less than the normal value of ground stress; due to the existence of subsided columns, the stress and strain distributions are very uneven and the scope of the roof stress in vertical direction in vicinity of subsided column is 40-50 m and the stress comes gradually smaller as the increase of distance away from the subsided column. The maximum failure depth of floor rock is 25 m.

Key words: karst subsided column; numerical simulation; stress distribution; depth of floor failure

突水是煤矿安全生产的重大灾害之一,也是煤炭安全开采的一大难题^[1]。岩溶陷落柱是我国华北型石炭二叠纪煤田的一种特殊地质构造体,广泛分布于华北和两淮等各大煤田及矿区。在开采过程中,揭露的陷落柱大部分不会发生突水事故,只有极少一部分可能造成导水淹井的重大危害^[2-6]。目前,利用力学理论和数值方法对陷落柱的形成过程、形成机理、导水机理以及陷落柱发育规律、导水类型、导水条件等均有不同程度的研究^[7-11],为本研究提供了借鉴和依据。由于岱庄煤矿 4325 工作面在掘进过程中遇到岩溶陷落柱,因此研究分析岩溶陷落柱对围岩的破坏情况十分重要,为制定相应的技术措施防止导通顶底板水,安全通过该

收稿日期: 2011-05-24

作者简介: 孟 辉(1974—),男,河北景县人,工程师,主要从事矿井地质方面的研究工作。E-mail: lichuanley@sina.com.

岩溶陷落柱提供依据。

1 工程概况

岱庄煤矿 4325 工作面位于 4300 东翼集中轨、东翼集中胶大巷以北，西距已经回采结束的 4324 工作面 17 m，东北部为 3_F 煤层实炭区，地面标高 +38.4~+39.5 m，工作面标高 -215.6~-286.1 m。工作面煤层直接顶以粉砂质泥岩为主，老顶以细砂岩为主，直接底以泥岩为主，老底以中粒砂岩为主，老顶为细砂岩，平均厚度为 3.8 m，灰白色，坚硬，具水平波状层理。直接顶为粉砂质泥岩，平均厚度为 1.16 m，深灰色至灰黑色，质均匀，可见植物茎化石，直接底为泥岩，平均厚度为 0.9 m，上部灰色，细腻，中部浅灰色，可见植物化石。老底为中粒砂岩，灰白色中砂岩，主要成分为石英，层理比较发育，底部含有不规则泥质、炭质包体，平均厚度为 17.47 m。两顺槽和切眼在掘进中揭露大小断层共 3 条，工作面北部地质构造较复杂，南部比较简单，煤层顶底板出水点少，只在皮顺中部局部有滴水，为顶板砂岩水，水文地质条件简单。

2 模型的建立及边界条件

从现场巷道选取有代表性的围岩抽取岩样，在实验室获得岩体物理力学参数。工作面埋深范围 -262.9~-327.3 m，煤层平均厚度 3.5 m，工作面宽 110 m。依据以往的勘探资料，该陷落柱平面形状为不规则椭圆形，长轴方向近东西向，半长轴 20 m 左右，短轴方向近南北向，半短轴 13 m 左右。

计算采用图 1 所示的三维模型，模型尺寸 200 m×106 m×120 m (X×Y×Z)；为节省计算空间和加快计算速度，在不影响计算精度的情形下，单元采用不均匀离散方法划分，模型共计 100 775 个单元，109 415 个节点，单元离散划分见图 1。初始应力场垂直方向按覆岩自重生成，水平方向侧压系数 $\lambda=0.5$ 。模型岩性分布与 3 煤层实际地质综合柱状图一致。模型参数及岩性分布见图 2，岩性参数见表 1。模型侧向边界限制水平位移，底部限制垂直位移，上部施加覆岩自重应力，大小为 8 MPa。

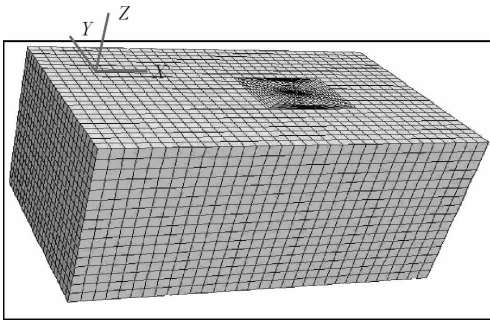


图 1 数值模型坐标及单元离散划分图

Fig. 1 The coordinates of numerical model and discrete

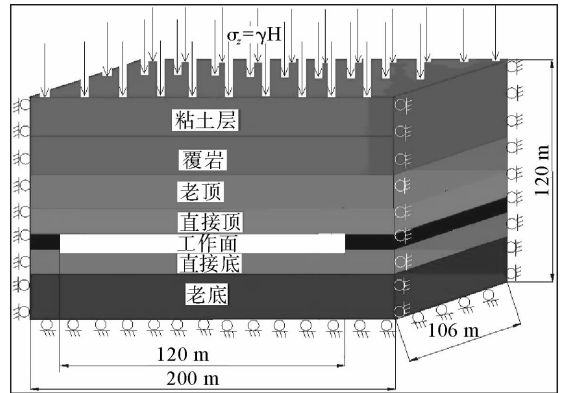


图 2 边界条件示意图

Fig. 2 Sketch of the boundary conditions division of elements

表 1 煤岩力学参数表

Tab. 1 The mechanical parameters of coal and rocks

岩层编号	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	密度/(kg/m ³)	摩擦角/(°)	粘结力/MPa	抗拉强度/MPa
粘土层	10.0	2.0	1 200	25	2.0	2.0
覆岩	25.0	15.0	2 500	30	3.0	7.0
老顶	37.0	22.0	2 500	37	4.0	8.0
直接顶	10.0	2.0	1 200	25	2.0	2.0
陷落柱	0.1	0.2	1 700	23	0.6	0.5
煤层	13.0	6.0	1 500	30	3.0	4.0
直接底	11.0	4.0	1 300	25	2.0	2.0
老底	37.0	22.0	2 500	37	4.0	8.0

模型中对陷落柱的处理:按照岩溶陷落柱柱体充填压实特征、围岩裂隙带发育程度及导水特征,可以将陷落柱划分为 4 种类型:强充水型、充水型、弱充水型、不充水型。从陷落柱柱体充填压实特征、围岩裂隙带发育程度及导水特征看,无论那种类型陷落柱,在采动应力扰动、环境影响等综合因素影响下,有可能被活化进而诱发突水,现从陷落柱充填特征和围岩致塌结构出发,对有陷落柱存在的工作面回采过程中围岩活动规律进行数值模拟分析。

本研究取垂向渗透为水平方向的 60%,陷落柱周边裂隙强度按经验折算为完整状态的 60%。陷落柱类型为柱体和围岩裂隙带共同弱导水陷落柱,边界条件处理如下:①顶部为上覆岩层自重,地面平均标高+40 m,不考虑构造应力,按 $\sigma = \gamma H$,其中 γ 取平均容重 23 kN/m^3 ,由此可得 $\sigma = 8 \text{ MPa}$;②后、右边界水平应力的侧压系数为 1.2;③前、左边界水平约束,下部边界全约束;④陷落柱边界取水压力边界 3.1 MPa;⑤底板节点竖向位移固定,水平方向自由。

3 数值模拟结果与分析

3.1 模拟结果

数值模拟开挖点设在距陷落柱左边界外 80 m 处,模拟过程中选取了工作面在距离陷落柱 70 m,30 m,10 m 垂直应力和水平应力状态图见图 3—图 8,开挖厚度为 2.4 m,顶板“两带”发育高度数值模拟图如图 9 所示,底板破坏深度图如图 10 所示。

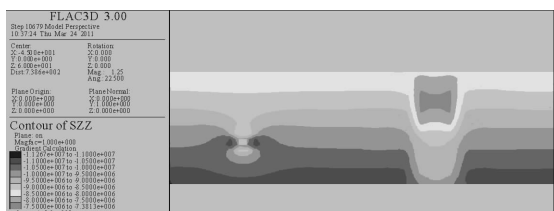


图 3 距陷落柱 70 m 垂直应力示意图
Fig. 3 The sketch of vertical stress at 70 m away from subsided column



图 4 距陷落柱 70 m 水平应力示意图
Fig. 4 The sketch of horizontal stress at 70 m away from subsided column

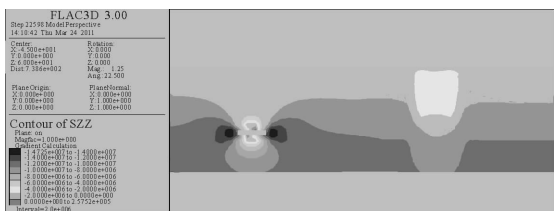


图 5 距陷落柱 30 m 垂直应力示意图
Fig. 5 The sketch of vertical stress at 30 m away from subsided column

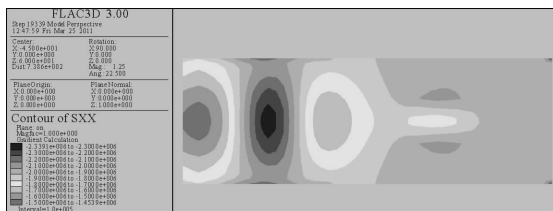


图 6 距陷落柱 30 m 水平应力示意图
Fig. 6 The sketch of horizontal stress at 30 m away from subsided column

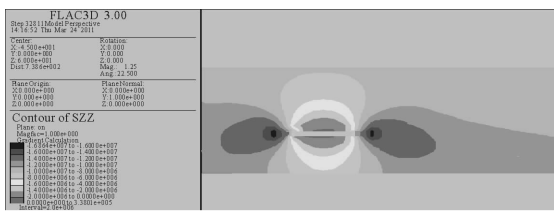


图 7 距陷落柱 10 m 垂直应力示意图
Fig. 7 The sketch of vertical stress at 10 m away from subsided column

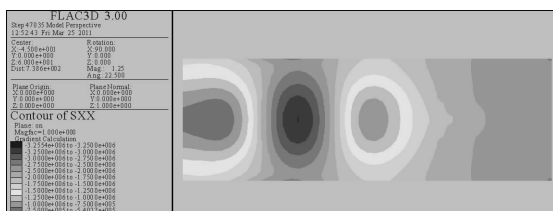


图 8 距陷落柱 10 m 水平应力示意图
Fig. 8 The sketch of horizontal stress at 10 m away from subsided column

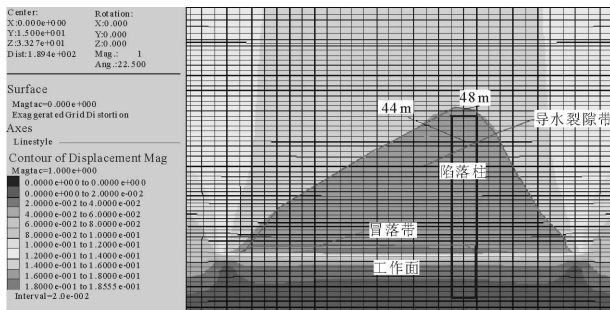


图 9 采厚 2.4 时“两带”发育高度图

Fig. 9 The developed height of “two zones” with 2.4 m of mining thickness

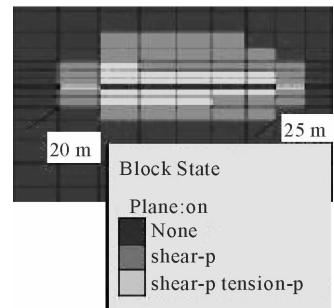


图 10 采厚 2.4 m 时底板破坏范围图

Fig. 10 The range of floor failure with 2.4 m of mining thickness

3.2 数值模拟结果分析

1) 从图 3、图 5、图 7 可以看出,随着工作面的不断推进,从距离陷落柱体外 80 m 向离陷落柱推进过程中,陷落柱柱体、工作面围岩和陷落柱周围岩石裂隙带破坏程度不断加大。陷落柱柱体自身的地应力状态和岩性均不同于周围的岩体,与周围的岩石相比,陷落柱柱体在垂直方向的应力和水平方向的应力均小于地应力的正常值。陷落柱在经过多次塌陷作用后,内部物质结构变得非常复杂,逐渐形成以柱体为中心形状近似环形的不规则破碎裂隙带。

2) 从图 4、图 6、图 8 可以看出,工作面的回采使应力重新分布,在工作面前方形成了应力集中,在顶板和底板中形成了卸压区。受采动影响,陷落柱中水平径向应力小于正常地应力,水平切向应力大于正常的地应力。陷落柱柱体上部周围岩层的垂直应力形成了环形卸压带,水平方向的应力变大,陷落柱受工作面回采破坏范围加大。

3) 从图 3、图 5、图 7 可以看出,工作面从 70 m 到 30 m 推进过程中,陷落柱破坏程度逐渐变大,顶底板应力在垂直方向作用范围在 15~25 m,陷落柱基本上能保持自身的应力状态;距离陷落柱 10 m,陷落柱周围破碎带、裂隙带和周围煤壁前方出现塑性区域叠加,顶板应力在垂直方向的作用范围在 40~50 m。

4) 由图 9、图 10 知,由于陷落柱的存在,围岩变形破坏形成不规则对称态势,即陷落柱周围裂缝带高于正常回采侧,采厚为 2.4 m 时导水裂缝带高度范围为 44~48 m,未延伸至第四系底界面,底板是自上而下破坏,最大破坏深度为 25 m 左右,距离煤层上部第四系含水层有一定距离,但距离煤层底板以下含水层距离更大,工作面可以安全回采。

4 结论

陷落柱顶面上方岩层的应变较大,与周围不协调,容易产生局部剪切变形陷落柱边壁、工作面底板压缩区与膨胀区的分界线重合在一条线上时,是剪切破坏的最危险状态,最容易发生底鼓突水。陷落柱影响下的底板最大破坏深度为 25 m。

根据以上分析,陷落柱的存在使底板的应力应变分布极不均匀,陷落柱顶面上方岩层的应变较大,与周围不协调,容易产生局部剪切变形。数值分析也有力地支持了“采掘工程底板岩层破坏拉剪复合以剪为主的力学机理”这一结论。

参考文献:

[1] 尹尚先,武强,王尚旭. 北方岩溶陷落柱的充水特征及水文地质模型[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(1):77-82.

YIN Shangxian, WU Qiang, WANG Shangxu. Water-bearing characteristics and hydro-geological models of karstic collapse columns in north China[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(1): 77-82.