

断层保护煤柱合理留设的数值模拟分析

卢兴利, 尤春安, 孙 锋, 战玉宝

(山东科技大学 土木建筑学院, 青岛 266510)

摘 要: 考虑某典型煤矿特殊地质条件, 采用 ANSYS 建立二维有限元模型, 对于断层存在情况下煤柱的合理留设进行了数值模拟计算。分析了留设不同断层保护煤柱情况下开采对工作面前方煤柱及断层的影响, 并对开采区顶板的支承压力进行了模拟, 提出了断层保护煤柱的合理留设长度, 为实际开采提供了可靠的科学依据。

关 键 词: 断层; 保护煤柱; 支承压力; 数值模拟

中图分类号: TD 325

文献标识码: A

Numerical simulation of rational protective pillar of fault

LU Xing-li, YOU Chun-an, SUN Feng, ZHAN Yu-bao

(School of Architecture and Civil Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

Abstract: Based on the geological and mining condition of a certain coal mine, the two-dimensional finite element model is established by ANSYS, then the rational protective pillar of fault is numerically simulated. The influence of coal and fault in front of working face is also simulated by exploitation under different protective pillars. Through analyzing the abutment pressure of upper floor of coal layer is simulated; and the rational protective pillar is gained. Scientific basis is provided for practical exploitation.

Key words: fault; protective coal pillar; abutment pressure; numerical simulation

1 引 言

断层煤柱尺寸的合理留设不仅对提高开采工作面的煤炭回收率具有重要意义, 而且是关系到矿井安全生产的重要问题。以往的学者^[1,2]对一般情况下煤柱合理采留宽度做了较多的研究, 而对断层保护煤柱合理留设的研究则很少。

实践经验表明, 断层煤柱的留设须保证煤柱有足够的承载力, 且开采工作不会引起断层滑动。常用的留设方法^[3]有:

(1) 用传统经验公式计算确定; (2) 工程类比法: 即根据工程地质和水文条件相似矿井的保护煤柱尺寸来确定。

随着计算机技术的发展, 尤其是岩土材料非线性弹塑性计算技术的发展, 数值模拟方法在国内外得到广泛应用。相比传统计算方法, 数值模拟的优势在于能考虑众多的影响因素, 并通过对比分析得到一个较优的结果。有关岩土工程的数值模拟可以选用多种软件如 FLAC、PLAXIS、ABAQUS、

ANSYS 等。当前 ANSYS 通用有限元软件在煤矿开采中的应用已十分广泛, 如王忠昶^[1]等进行了软岩矿层条带开采合理采留宽度的 ANSYS 三维流变的模拟; 袁灯平^[4]等用 ANSYS 进行开采沉陷的模拟研究; 唐巨鹏^[5]等则对煤矿开采引起的地表沉陷、冲击地压危险区域确定和俯伪斜采煤法参数优化进行了数值模拟分析。

本文基于 ANSYS 软件, 以某典型煤矿为例, 分析了留设不同断层保护煤柱情况下开采对工作面前方煤柱及断层的影响, 并提出了断层保护煤柱的合理留设长度。该模拟结果为矿井断层煤柱的留设提供了理论依据。

2 计算模型分析方法

2.1 煤层开采的有限元分析方法

有限元数值分析软件 ANSYS 在国际上已得到了广泛应用, 并且分析结果可靠。其提供的单元生死功能能很好地模拟钻孔、建筑物的施工过程、顺序组装等。而其原理是将“杀死”单元刚度矩阵乘以

一个很小的因子。死单元的单元载荷将变为 0, 从而不对载荷生效^[6]。

煤层开采的整个仿真过程采用生死单元模拟, 以 10 m 为一步长向断层带方向推进, 同时采用模拟冒落体冒落过程的仿真技术模拟采空区顶板冒落。

煤层的开采与断层之间是相互影响的。当煤层开采工作面距离断层一定长度时, 就会影响到断层的稳定; 而断层对煤层的影响则主要反映在工作面前方煤壁内的塑性区及煤层顶板支撑压力的分布上。因此, 考察工作面前方煤壁内的塑性区及煤层顶板支撑压力的分布情况, 就可以判断断层是否受煤层开采的影响。

2.2 有限元分析模型

某煤矿五采区主要开采 3_上 和 3_下 两条煤层, 煤厚平均为 2~5 m, 一断层成 60° 切穿煤层顶底板。图 1 为其有限元计算模型, 并已充分考虑了节理的影响。

模型采用 Drucker-Prager 理想弹塑性材料模拟岩石与煤层, 按平面应变考虑, 其几何尺寸为长×宽=650 m×700 m。模型两侧面为滚动支承, 底部为固定支承, 上边界为应力边界, 按上覆岩层厚度施加均布荷载。

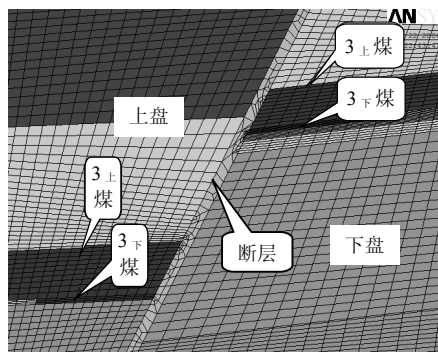


图 1 有限元模型

Fig.1 Model of finite elements

根据相关的钻孔岩石力学试验资料, 并考虑现位岩体与岩石试件的差异, 采用如表 1 所示的物理力学参数。

表 1 材料物理力学参数

Table 1 Physico-mechanical parameters of materials

材料	弹性模量 /Pa	泊松比 μ	黏聚力 /Pa	内摩擦角 /(°)	膨胀角 /(°)
粉砂	4.5×10^8	0.30	7.59×10^6	30.4	15
煤	5.4×10^7	0.16	5×10^6	25	13
中砂	2.32×10^8	0.26	1.51×10^7	21.6	12
泥岩	6.8×10^8	0.32	4.94×10^6	31.9	15
细砂岩	2.2×10^8	0.30	1.34×10^7	28.2	14
断层	2.5×10^7	0.30	4×10^6	15	10
冒落单元	5×10^6	0.30	0.6×10^6	35	25

3 数值模拟结果及分析

3.1 断层下盘煤层不同保护煤柱下的采动规律

为了确定断层保护煤柱的合理留设长度, 深入研究不同保护煤柱情况下, 开采对工作面前方煤柱及断层的影响, 首先研究了断层下盘煤层回采时的采动规律。

图 2 和图 3 是只回采下盘 3_上 煤, 断层保护煤柱为分别 110, 100, 90, 80, 70 m 时, 工作面前方煤壁内的塑性区长度及煤层顶板支撑压力的分布情况。

图 4 和图 5 则是下盘 3_上 煤留设 70 m 保护煤柱, 3_下 煤断层保护煤柱分别为 110, 100, 90 m 和 80 m, 工作面前方煤壁内的塑性区长度及煤层顶板支撑压力的分布情况。

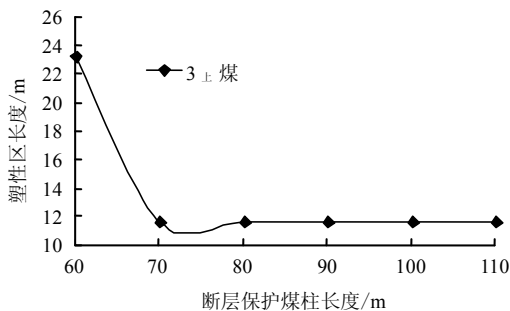


图 2 3_上 煤不同断层保护煤柱下塑性区变化图

Fig.2 Variation of plastic zone with different protective coal pillars on coal 3_上

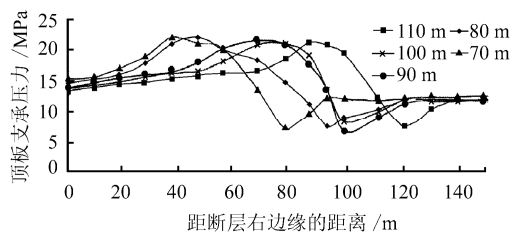


图 3 不同断层保护煤柱下 3_上 煤顶板支撑压力分布图

Fig.3 Abutment pressure distribution of different protective coal pillars on coal 3_上

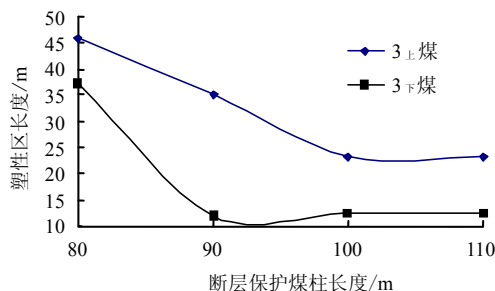
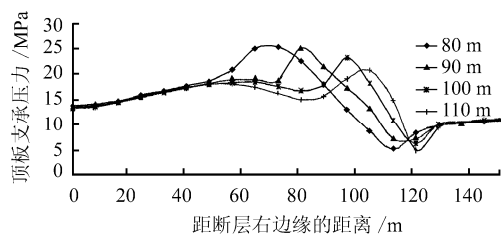


图 4 3_下 煤不同断层保护煤柱下塑性区变化图

Fig.4 Variation of plastic zone with different protective coal pillars on coal 3_下

图5 不同断层保护煤柱下 $3_{\text{上}}$ 煤顶板支承压力分布图Fig.5 Abutment pressure distribution of different protective coal pillars on coal $3_{\text{上}}$

3.1.1 不同断层保护煤柱下塑性区分布规律

(1) 只回采下盘 $3_{\text{上}}$ 煤， $3_{\text{上}}$ 煤断层保护煤柱从110 m变化到70 m时工作面前方塑性区长度基本上是定值，约为12 m，此种情况下可以认为回采工作对断层没有影响；而当保护煤柱留设为60 m时，其前方煤壁内塑性区长度突变为23 m，几乎增长一倍，且塑性区分布已非常接近断层右边缘；当 $3_{\text{上}}$ 煤工作面距离断层下盘界面50 m时，ANSYS计算不收敛，分析原因表明，此时工作面前方煤柱已进入完全塑性流动状态。综合分析的结果是只回采下盘 $3_{\text{上}}$ 煤时，当工作面距离断层小于70 m，回采工作对断层有较大影响。

(2) 断层下盘 $3_{\text{上}}$ 煤留设70 m保护煤柱， $3_{\text{下}}$ 煤工作面距离断层下盘界面80~90 m时，回采工作对断层有影响。而当 $3_{\text{下}}$ 煤工作面距离断层下盘界面小于80 m时，ANSYS计算亦不收敛。

(3) 从图4亦可看出， $3_{\text{下}}$ 煤层的开采对 $3_{\text{上}}$ 煤层亦有影响。具体表现在断层下盘 $3_{\text{上}}$ 煤工作面前方的塑性区长度随着 $3_{\text{下}}$ 煤保护煤柱的缩短而不断增大，并且塑性区分布愈接近断层右边缘。

3.1.2 不同断层保护煤柱下煤层顶板支承压力分布规律

(1) 煤层顶板的支承压力随着工作面的推进，应力趋势线也向前移动；工作面距离断层越近，亦即断层保护煤柱越短，煤层顶板支承压力峰值越大，且峰值越靠近断层，当这一峰值推进到断层处时，就会影响到断层的稳定。

(2) 从图5亦可看出， $3_{\text{上}}$ 煤层的开采对 $3_{\text{下}}$ 煤保护煤柱受力有较大的影响，具体表现在断层下盘 $3_{\text{上}}$ 煤留设70 m保护煤柱， $3_{\text{下}}$ 煤工作面距离断层下盘界面90~110 m时，支承压力最大峰值靠近断层右边缘方向明显又出现了一个小的应力峰值区，而其原因是由这一区域上方对应的 $3_{\text{上}}$ 煤层的采空区卸压造成的。

3.2 断层各保护煤柱合理长度的综合分析

以上的分析只是断层下盘留设不同长度保护煤柱的情况。事实上，断层的上、下盘两侧煤层的开

采活动是相互影响的。为了准确获得断层保护煤柱的合理留设长度，应该将断层两侧煤层的开采活动统一考虑，进行综合地模拟研究。为此采用如表2所示的8种组合工况。

表2 8种组合工况

Table 2 Eight working conditions

工况	保护煤柱长度/m			
	上盘 $3_{\text{上}}$	上盘 $3_{\text{下}}$	下盘 $3_{\text{上}}$	下盘 $3_{\text{下}}$
1	70	100	70	80
2	80	90	70	80
3	80	100	70	80
4	90	110	70	90
5	100	120	80	100
6	80	110	70	90
7	80	110	70	80
8	80	100	70	90

计算中发现，工况1和工况2不收敛，分析其原因是个别保护煤柱已进入完全塑性状态，使得岩体位移太大。图6和图7分别是工况3对应的各煤层塑性区及顶板支承压力分布图。分析各工况计算结果可以得出：

(1) 断层上下盘的 $3_{\text{上}}$ 煤和 $3_{\text{下}}$ 煤所需的最小断层保护煤柱是不同的。上盘所需的最小断层保护煤柱大于下盘， $3_{\text{下}}$ 煤层所需的最小断层保护煤柱大于 $3_{\text{上}}$ 煤层。

(2) $3_{\text{上}}$ 煤层的开采与断层保护煤柱的留设对 $3_{\text{下}}$ 煤层工作面前方煤壁内的塑性区分布和支承压力大小及分布有较大的影响；反之， $3_{\text{下}}$ 煤层的开采与断层保护煤柱的留设对 $3_{\text{上}}$ 煤层则影响较小。受 $3_{\text{上}}$ 煤层开采的影响， $3_{\text{下}}$ 煤层工作面前方煤壁内的塑性区分布可能会出现间断，如图6中的上盘 $3_{\text{下}}$ 所示。

(3) 当断层上下盘的 $3_{\text{上}}$ 和 $3_{\text{下}}$ 煤层留设的保护煤柱小于表3的数值时，煤层就进入塑性流动状态，具体表现为ANSYS计算不收敛，这时开采工作将对断层产生较大的影响。

表3 断层保护煤柱最小长度（单位：mm）

Table 3 The least length of protective coal pillar on fault(unit: mm)

上盘 $3_{\text{上}}$	上盘 $3_{\text{下}}$	下盘 $3_{\text{上}}$	下盘 $3_{\text{下}}$
80	100	70	80

(4) 在所有的工况计算中，未发现煤层底板进入塑性状态，这是因为煤层的强度参数比底板岩层高得多，断层保护煤柱首先进入塑性流动状态。因此，合理留设断层保护煤柱，底板的导水裂隙带得到有效控制。

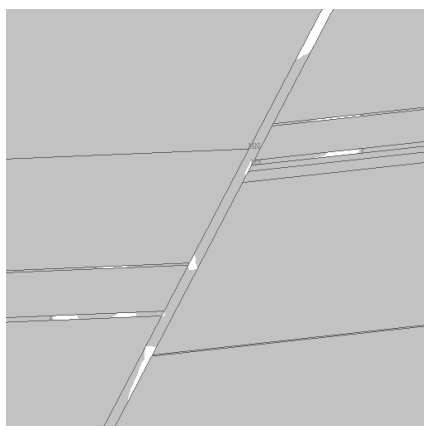


图 6 工况 3 塑性区分布图
Fig.6 Plastic zone distribution of the third working condition

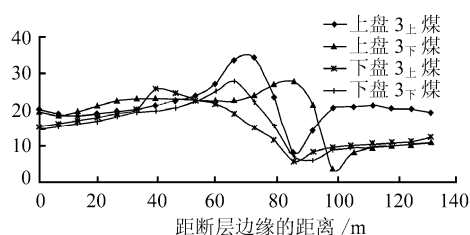


图 7 工况 3 各煤层顶板支承压力分布图
Fig.7 Abutment pressure distribution of different coal pillars on the third working condition

4 结 论

ANSYS 数值模拟方法是确定断层保护煤柱合理长度的一种可靠的技术手段, 并且利用该方法可以较准确地分析工作面前方煤壁内的塑性区及煤层顶板支承压力的分布规律。本文可得到下列主要结论:

(1) 当断层保护煤柱足够长时, 工作面前方煤壁内的塑性区及煤层顶板的支承压力分布几乎不受断层的影响。

(2) 断层上下盘煤层所需的最小保护煤柱长度是不同的。下盘煤层所需的最小断层保护煤柱大于上盘煤层。

(3) 上盘煤层的开采与断层保护煤柱的留设对下盘煤层工作面前方煤壁内的塑性区分布和顶板支承压力大小及分布有较大的影响。

(4) 通过模拟计算, 获得了断层存在情况下煤层开采的一些规律, 为类似地质条件下的采矿活动提供了科学依据。

参 考 文 献

- [1] 王忠昶, 张文泉. 软岩矿层条带开采合理采留宽度的 ANSYS 三维流变模拟[J]. 矿山压力与顶板管理, 2003, 20(2): 110—112.
- [2] 张俊英. 多煤层条带开采模拟理论研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(增刊): 67—70.
- [3] 刘志军. 承压水上采煤断层失稳突水的研究[硕士论文 D]. 太原: 太原理工大学, 2004.
- [4] 袁灯平, 马金荣, 董正筑. 利用 ANSYS 进行开采沉陷模拟分析[J]. 济南大学学报, 2001, 15(4): 336—338.
- [5] 唐巨鹏, 潘一山. ANSYS 在煤矿开采数值模拟中应用研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(增刊): 329—342.
- [6] 郝文化. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.