

# 基于小构造预测的采动应力场研究\*

孟 达<sup>1</sup>, 张 梅<sup>2</sup>, 付永刚<sup>1</sup>

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100190; 2. 河北农业大学 城乡建设学院, 河北 保定市 071000)

**摘 要:**在预测显德汪矿区小构造区域的基础上, 结合现场已经揭露的小构造的类型, 建立具有相同应力异常区的数值模型。对开采工作面前方顶板、底板的采动应力场进行数值模拟。采动应力使采矿工作面前方的断层活化, 容易导致突水, 研究其演化过程及规律可以为煤矿的安全生产提供参考。

**关键词:**小构造; 数值模拟; 岩层位移; 塑性应变

中图分类号: TD326 文献标识码: A

文章编号: 1005-2763(2015)06-0110-04

DOI: 10.13827/j.cnki.kyyk.2015.06.016

## The Mining Stress Field Research Based on Small Mining Structure Prediction

MENG Da<sup>1</sup>, ZHANG Mei<sup>2</sup>, FU Yonggang<sup>1</sup>

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. College of Urban and Rural Construction, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** Based on the prediction of small mining structures in Xiandewang mine and combined with the exposed small structure types on site, simulated models with same abnormal stress areas were established. The mining stress fields of the roof and floor in front of the mining face were numerically simulated. Due to the mining stress would cause fault activation in front of the mining face and lead to water inrush, studies on its evolution and laws can provide a reference for the safe production of coal mines.

**Key words:** Small structure, Numerical Simulation, Strata displacement, Plastic strain

## 1 工程背景

显德汪井田是一东深西浅的箕状断陷。在井田东部和南部集中分布有落差大于 20 m 的大中型断层, 构造较为复杂, 在构造变形方式上存在东西差异

和南北差异。矿区内落差 0.5 m 以上的小断层呈现显著的密集成带性。1# 煤层中可划出 5 个小断层密集带, 密度约在 100 条/km<sup>2</sup> 以上; 最大可达 200 条/km<sup>2</sup> 以上; 2# 煤层中可划出 4 个小断层密集带, 断层密度在 67 条/km<sup>2</sup> 以上, 最大可达 140 条/km<sup>2</sup>。

井田内小断层的落差小于 2.5 m 者占绝对优势, 约占总条数的 97%。1# 煤层中落差 1.5 m 以下的小断层多造成“顶断底不断”; 2# 煤层中落差 1.5 m 以下的断层常使“底断顶不断”; 落差 1.5 m 以上的小断层则往往切断煤层, 但延伸不远即行消失, 仍局限于一定层位, 故称为层间断层。小断层水平延展长度与断层的落差呈正相关关系, 小断层的性质如图 1 所示。

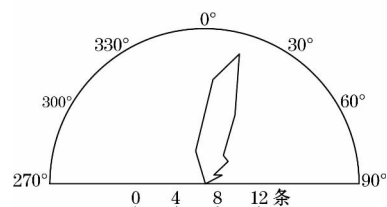


图 1 显德汪矿小型断层走向玫瑰花图

从揭露的小构造来看, 在煤层中小断层大多表现为“顶断底不断”或“底断顶不断”, 图 2 所示的是 2712 运巷揭露的小断层组造成 1# 煤层“顶断底不断”的现象。据井下实际观测, 1#、2# 煤层与其顶、底板间普遍存在剪切层滑面。滑面上有厚约 2~3 cm 的粉煤, 顶底板岩层上有明显滑动擦痕及镜面。除煤层顶、底面发育主滑面外, 煤层内不同煤岩类型分界面、煤分层与夹矸接触面也常发育一些次级局部层滑面。如图 3 所示的是 1110 工作面回风巷揭露的小断层层间滑动造成煤层变薄的现象。2# 煤

\* 收稿日期: 2015-07-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(51274185); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB731500); 国家自然科学基金项目(11302229)。

作者简介: 孟 达(1969-), 女, 辽宁盖州人, 副教授, 博士, 主要从事岩土工程和采矿工程方面的研究, Email: E-mengfanda@126.com。

通信作者: 张 梅(1973-), 女, 河北保定人, 副教授, 主要从事岩土工程及采矿工程方面的研究, Email: zhangmei@hebau.edu.cn。

层 1123 和 1125 工作面中部、1123 工作面北侧、1321 工作面切眼发现的薄煤带位于近东西向的小断层在背斜轴部,见图 4。1523 工作面及其西南侧的薄煤带位于近东西向采卸向斜轴部。这是在挤压应力作用下 NNE 向褶皱形成,并与先期形成的近东西褶皱复合改造过程中顺层滑动的结果。

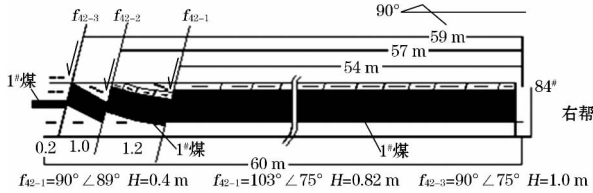


图 2  $f_{12}$  断层组造成 1# 煤层“顶断底不断”素描图

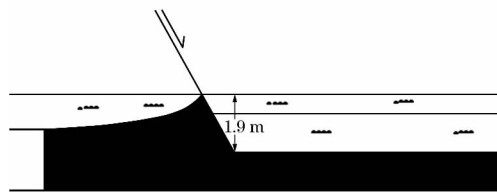


图 3 工作面小断层层间滑动素描图

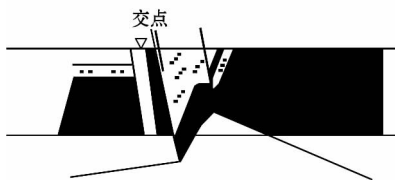


图 4 工作面  $f_{12}$  背斜轴部薄煤带素描图

根据地学及数值模拟,结合现场小构造的节理情况,得到矿区的小构造密度高区的分布图,如图 5 和图 6 所示。根据从上到下作为横剖面的编号和从左到右作为纵剖面的编号。

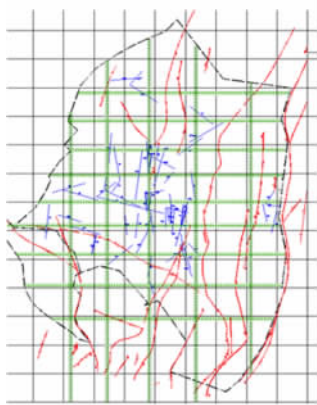


图 5 剖面在矿区位置的示意

## 2 数值模拟采动影响下的断层活化

根据工程地质资料,共取 6 层材料来模拟九煤

一采的地层。由上到下依次为覆土、泥岩砂岩混合层、页岩砂岩混合层、煤层、页岩砂岩混合层、灰岩。对于混合层,采取平均化的方法获得第 2,3,5 层的材料参数。这里采用双线性强化弹塑性模型,各地层的参数见表 1。一般来说,断层处应该建立面一接触。考虑到模拟的是工作面开采,断层并不会产生明显的滑移变形,因此以一种较软的弹性材料来填充断层间的空隙。实际上断层中由于是地质上的破碎带,会充填泥、沙、水并且有大量空隙,因此这种假设是合理的。

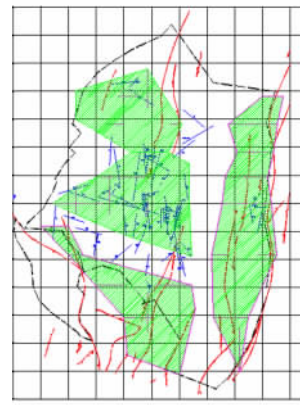


图 6 矿区断层高密度区位置预测结果

表 1 各地层的参数表

材料	密度 /( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	弹性模量 /GPa	泊松比	屈服应力 /MPa	强化模量 /GPa
覆土	2000	9	0.33	15	1
泥砂岩	2200	15	0.31	22	3
煤	1800	2	0.35	10	0.2
砂页岩	2400	25	0.295	30	5
灰岩	2700	40	0.23	55	10

数值模拟采用有限元软件进行计算,模型建立及网格划分如图 7 所示。这里采用单元生死的方法来模拟开采过程,即将已开采的煤层单元杀死来模拟工作面推进。工作面距断层 800 m 的数值模拟云图如图 8 和图 9 所示。

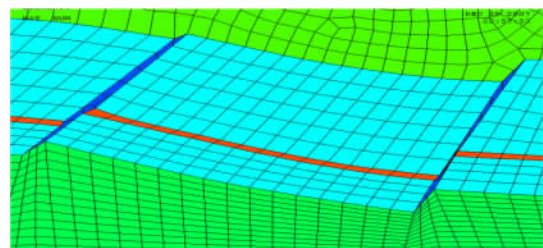


图 7 断面的断层局部放大图

从云图中可以看出,采空区的上方地层会出现

下沉,同时可以看到,由于没有释放采空区的结点地应力,采空区上部并没有产生塑性应变,其实这种状态和采用了支护抵消地应力是相似的。但是由于没有模拟单独的支护体系,采空区的地层会出现下沉。另外工作面附近的顶底板都会出现一定程度的塑性应变,但是还未达到发生断裂破坏的程度。随着开挖的推进,塑性应变开始变大。塑性应变集中的区域是在工作面的正前方,工作面的上下方地层会有一定程度的塑性应变。

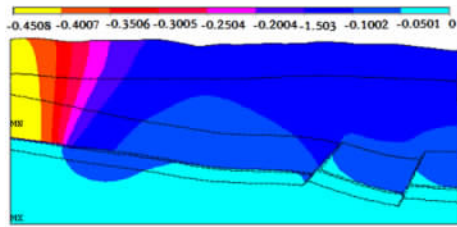


图 8 工作面距断层 800 m 的 y 方向位移云图

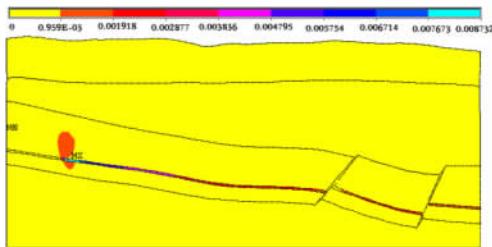


图 9 工作面距断层 800 m 塑性应变云图

工作面距断层 50 m 时 y 方向位移云图和塑性应变云图如图 10 和图 11 所示,由计算结果可知,y 方向位移、塑性应变进一步变大。破坏的区域还是集中在工作面的上下岩层,以及前方一定距离的煤层,此时开采还是安全的。

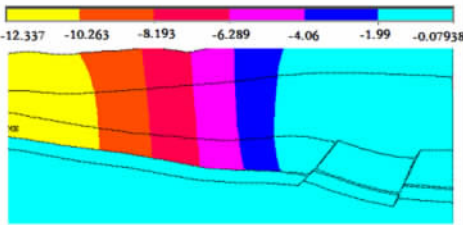


图 10 工作面距断层 50 m 的 y 方向位移云图

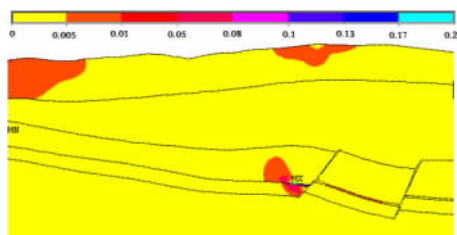


图 11 工作面距断层 50 m 塑性应变云图

随着工作面不断推进,在距断层 25 m 的数值模拟结果如图 12 和图 13 所示,由计算结果可知,y 方向位移、塑性应变进一步变大,塑性应变的区域已经扩展到与断层相贯通,但是贯通区的塑性应变不大,还没有达到煤岩破坏的判断准则。破坏的区域还是集中在工作面的上下岩层及前方有限距离的煤层。所以认为此时断层对开采尚无影响,发生事故的可能性仍然较低。

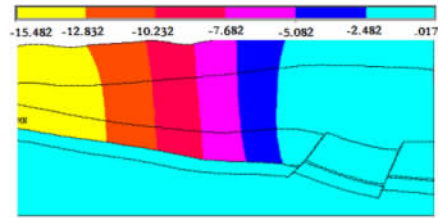


图 12 工作面距断层 25 m 的 y 方向位移云图

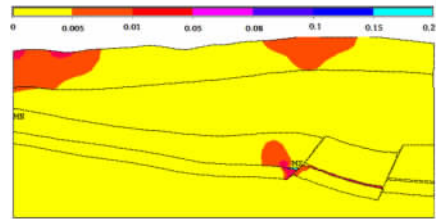


图 13 工作面距断层 25 m 塑性应变云图

当工作面推进到 10 m 的时候,如图 14 和图 15 所示,由塑性应变云图可以看到,开采造成的破坏区已经与断层贯通,且剩余煤体已经全部超过破坏的强度,可见此时预留的煤柱已经不能抵抗断层造成的应力集中。由于破坏区已与断层贯通,破坏的岩层在断层处将会释放应力,这样如果工作面继续向断层方向推进,极可能发生冒顶、突水等事故。因此可以推断,对于九煤一采的情况,应该在断层距采面最近断层处预留 25~10 m 的煤柱,以防止事故的发生。

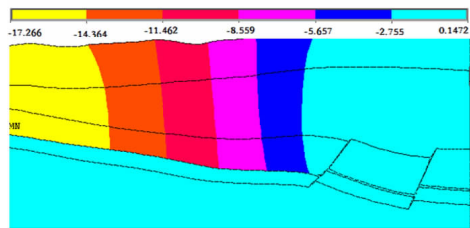


图 14 工作面距断层 10 m 的 y 方向位移云图

### 3 结 论

由于小构造的存在,在采动应力影响下,在一定

距离范围内会使采面前方的断层活化, 并产生冒顶、突水以及冲击地压, 因此, 在预测小构造的基础上确定采面距断层安全距离是相当重要的, 从而也确定了安全煤柱的距离。

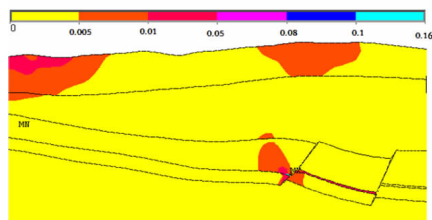


图 15 工作面距断层 10 m 塑性应变云图

(1) 根据九煤一采的采面预测的小构造位置, 结合现场揭露的小构造的特点, 首先建立了小构造地质模型, 进而建立了小构造的数值模型;

(2) 随着采面的不断推进, 得到了相应的数值模拟的位移和塑性应变图, 确定了在采面推进到距离断层 25~10 m 的位置, 小构造已经活化、产生破坏, 因此, 安全煤柱的位置应大于 10 m。

#### 参考文献:

- [1] 郭德勇, 韩德馨, 张建国. 平顶山矿区构造煤分布规律及成因研究[J]. 煤炭学报, 2002, 27(3): 249-253.
- [2] 张国成, 熊明富, 郭卫星, 等. 淮南矿区井田小构造对煤与瓦斯突出的控制作用[J]. 焦作工学院学报(自然科学版), 22(5): 229-333.
- [3] 孙殿斌. 集贤矿区东荣三井田小构造特征分析[J]. 吉林地质, 22(3): 29-30.
- [4] 潘 阳, 赵光明, 孟祥瑞. 非均匀应力场下巷道围岩弹塑性分析[J]. 煤炭学报, 2011(S1): 53-57.
- [5] Bazant Z P, Non-local damage theory based on micro-mechanics of crackinteractions[J]. J Eng Mech-ASCE, 1994, 120: 593-617.
- [6] Slawomir J. Gibowicz, Stanislaw Lasocki. Analysis of Shallow and Deep Earthquake Doublets in the Fiji-Tonga-Kermadec Region[J]. Pure and Applied Geophysics, 2007, 164(1): 42-53.
- [7] Zaretskii Yu K, Karabaev M I. Feasibility of Face Surcharging during Deep Settlement-Free Tunneling in Dense Urban Settings[J]. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2004, 41(4): 1136-1149.