

断层影响下覆岩破坏规律研究

尹立明, 郭惟嘉, 尹增德

(山东科技大学 矿山灾害预防控制教育部重点实验室, 山东 青岛 266510)

摘 要:应用 ANSYS 有限元分析软件和相似材料模拟实验, 分析在采动和断层影响下覆岩变形破坏和矿压分布规律。结果表明:在采动影响下断层“活化”, 断层带及其影响范围内的岩体破碎, 表现为周期断裂步距小, 冒落带高, 尤其是断层下盘, 顶板稳定性差。通过断层后, 顶板岩体中支撑力减小, 比无断层存在的情况低。但断层对于上覆岩层导水裂隙带的高度和范围的影响不明显。

关键词:断层; 开采; 覆岩破坏; 数值计算; 相似模拟试验

中图分类号: TD325

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2009)04-0059-05

Study on Failure Law of Overlaying Strata under Influence of Faults

YIN Li-ming, GUO Wei-jia, YIN Zeng-de

(Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control, Ministry of Education, SUST, Qingdao, Shandong 266510, China)

Abstract: The authors analyzed the laws of deformation and failure of overlaying strata and the distribution of mine pressures under the influence of faults and mining activities by applying the ANSYS finite element software and similar materials simulation test. The results indicated that the faults were “activated” by coal mining, and the rock-mass in fault zone and its influential range was broken, and the distance of periodic weighting decreased and the caving zone increased, particularly, the roof stability in the footwall of fault seemed to be weakened. The supporting force of the rock mass in roof decreased after passing the fault, and it was lower than that without the existence of fault. The height and scope of water flowing fractured zone in overlying strata were not influenced by the existence of fault evidently.

Key words: fault; mining; failure of overlaying strata; numerical calculation; similar simulation test

岩体是经过漫长的地质演化过程而形成的复杂结构体, 由于地质构造运动的影响, 其内部存在大量的断层、节理、层理和地质弱面。这些地质结构面的存在, 破坏了岩体的整体性, 影响着岩体的变形性质和强度特性, 从而导致岩体开采沉陷更加复杂, 是影响顶板稳定性的重要地质因素之一。长期以来, 国内外不少学者已注意到断层对采矿的影响, 并已进行了卓有成效的研究^[1-6]。在采动影响下, 易于使构造结构面“活化”^[7], 使煤层顶板稳定性受到影响。尤其是当开采区域断层比较发育时, 断层对上覆岩层破坏规律、矿压分布规律的影响十分明显, 在这种情况下就必须考虑断层的影响。本文以兖州矿业集团鲍店煤矿 5307 工作面煤层及其顶底板岩体为对象, 通过室内数值、物理模拟研究, 探讨了在采动和断层双重影响下的覆岩破坏规律, 为矿井开采灾害预测与防治提供理论与技术依据。

1 研究区顶底板岩性和力学参数

鲍店煤矿 5307 工作面开采的煤层为山西组 3 层煤。厚度 8.20 ~ 8.87 m。煤层直接顶为深灰色粉砂岩, 主要成分为石英长石, 泥质胶结, 裂隙较发育, 呈水平层理, 硬度 $f = 4 \sim 6$, 厚度为 4.37 m。老顶为灰 ~

收稿日期: 2009-06-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50874070); 国家自然科学基金重点项目 (50874070); 教育部博士点基金项目 (20080424004); 山东省自然科学基金项目 (Y2008F01)。

作者简介: 尹立明 (1979—), 男, 山东平度人, 讲师, 博士研究生, 主要从事开采沉陷和矿山压力方面的研究。

灰白色粉细砂岩互层、中砂岩、粉砂岩，以中砂岩为主，主要成分为石英长石，泥钙质胶结，坚硬致密，具有水平层理及缓波状层理，硬度 $f = 6 \sim 10$ ，厚度为 23.68 m。其工作面内煤层倾角 $2.5^\circ \sim 17^\circ$ ，各岩层的岩性参数见表 1。

2 数值计算

计算模型采用走向方向的平面应变模型，模型走向长度为 1 600 m，高为 148.7 m，煤层平均埋深为 380 m，煤厚 8.7 m，考虑到煤层底板对采动后上覆岩层的影响较小，模型底板岩层模拟厚度为 20 m，模型上方至地表岩体的自重施加垂直方向的载荷 ($P = H = 2.6 \times 230.7 = 6$ MPa)。模型侧边界施加水平约束，底板施加水平与垂直约束，计算采用 Drucker-Prager 屈服准则。在粘土岩与粉砂岩之间设置了接触，用来模拟离层。在模型的中部从煤层开始，设立一条倾角为 60° ，垂高为 66.3 m 的断层进行模拟，并将结果同无断层情况进行比较。开挖距离为断层前后各 300 m，以每步 50 m 来分步开挖。

在无断层未充分采动时，上覆岩层的原岩应力在采空区内未得到充分释放，当工作面推进至 300 m 时，原岩应力在采空区内基本释放完，越靠近工作面，由于采空区后部老顶不断断裂、触矸、压实，而工作面煤壁上方悬臂梁仍然传递上方岩层的力，导致工作面煤壁后方拉应力向煤壁逐渐增大。而在煤壁前方由于煤体支承，在煤壁前出现较大的压应力，并逐渐向前方减小。在断层影响下，与无断层相比，在工作面过断层前拉应力为 1 MPa 的等值线不再是对称的“马鞍型”，而变为一头高一头低的“马头型”^[8]。这是因为对于具有断层构造的裂隙岩体，在其附近不能再简单地从第一主应力一个方面来判断岩石的破坏情况。由于断层的存在，使得周围岩体对上覆岩层的支撑能力降低，从而导致其远处采空区的导水裂隙带高度要略低于没有断层时的高度，如图 1、图 2 所示。

产生这样的原因主要是由于工作面位于断层的下盘，因而其岩层的断裂模型由原来的两端固支的梁(图 3(a))变为一端固支的悬臂梁(图 3(b))。这是由于断层处粘结力

表 1 各岩层岩石力学参数表

Tab. 1 The mechanic parameters for strata

岩性	厚度 / m	弹性模量 E / MPa	泊松比 μ	内聚力 C / MPa	内摩擦角 / (°)	容重 / (kg/m ³)
细砂岩	12.6	4 200	0.21	4.2	37	2 560
中砂岩	6.5	5 000	0.23	4.5	38	2 560
细砂岩	6.8	4 200	0.21	4.2	37	2 560
粗砂岩	10.0	6 000	0.18	5	39	2 560
中粗砂岩	4.6	5 500	0.2	4.5	38	2 560
粘土岩	5.2	2 500	0.3	3	29	2 400
粉砂岩	4.9	3 500	0.24	4	35	2 500
粉细砂互层	4.8	4 000	0.22	4.1	36	2 500
粘土岩	9.0	2 500	0.3	3	29	2 400
粉砂岩	5.3	3 500	0.24	4	35	2 500
粘土岩	2.6	2 500	0.3	3	29	2 400
粉砂岩	5.2	3 500	0.24	4	35	2 500
粘土岩	2.1	2 500	0.3	3	29	2 400
粉细砂互层	5.1	4 000	0.22	4.1	36	2 500
中砂岩	23.7	5 000	0.23	4.5	38	2 560
粉砂岩	4.4	3 500	0.24	4	35	2 500
煤 3	8.7	3 000	0.25	2.5	27	1 400
粉砂岩	20.0	3 500	0.24	4	35	2 500
冒落岩石		200	0.35	0	25	1 700

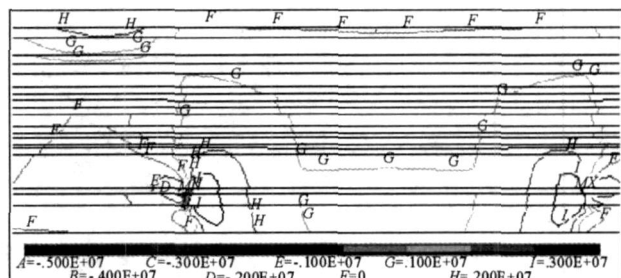


图 1 开采 300 m 时第一主应力等值线图

Fig. 1 The contours of first principal stress after face advanced by 300 m

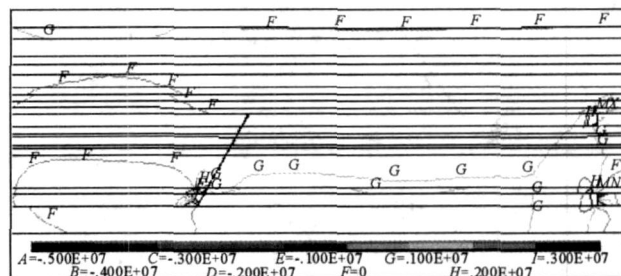


图 2 断层影响下开采 300 m 时第一主应力等值线图

Fig. 2 The contours of first principal stress after face advanced by 300 m under influence of faults

较小,在不大的拉应力作用下就会发生断裂破坏。对于图 3(a)中的梁,其最大弯矩在 A 点和 C 点,值为 $ql^2/12$ 。对于图 3(b)中的梁,其最大弯矩在 D 点,值为 $ql^2/2$ 。从而可以得出,图 3(b)中的梁要先于图 3(a)中的梁在其端部断裂,并且由于断层的存在,使得周围岩体对上覆岩层的支撑能力降低,从而导致其远处的导水裂隙带高度要略低于没有断层时的高度。而在断层处的导水裂隙带高度要略高于远处,且其最大高度要低于没有断层时的高度。

在工作面推过断层后,沿断层面有一应力集中,随着推进逐渐减小。在断层后上方的岩层里第一主应力为零的等值线随采掘推进逐渐向下方岩层扩展。当推进至 600 m 时,断层两盘各形成一形状和范围相似的零等值线区,如图 4、图 5 所示。这是因为断层是采场岩层中最大的软弱面,采掘工作形成的矿压对其影响必然更为强烈。矿山压力对顶底板的破坏作用主要发生在采场周边的应力集中区,在采场顶底部的岩层内,由于采掘活动打破了断层两盘岩层的天然平衡,使得应力重新分布,引起断层重新活动。若断裂走向与支承压力方向重合时,则形成剪切应力集中区。此时,剪应力将沿断裂面传播至很大深度,如果断裂面含水,则使其内聚力和摩擦角降低。当剪应力足以克服断裂面阻力时,则沿断裂构造面发生不可逆滑动或张开,造成岩体的剧烈破坏,形成统一连续的破坏带。

综合上面的分析结果,断层对于导水裂隙带高度的影响可以简化为如图 6 所示的状况。

3 相似材料模拟

模拟试验采用平面应力模型,模型架的长×宽×高为 4 m×0.3 m×2 m,有效试验高度为 1.8 m。几何比例为 1:100,推进长度为 400 m。模型实行分层建造,按每分层的厚度(体积)加入一定重量的相似材料,轴压成确定的密度,保证容重相似。模型建造完毕后即进行养护,当模型材料的容重和含水率以及力学性质都满足相似准则时,开始开采。模型两端分别保留 50 m 煤柱,以消除边界条件的影响。

工作面推进到 45 m 时,在距开切眼 42.4 m 处,直接顶与老顶出现断裂线,但未垮落,老顶上方出现细小离层。随着开采的继续,离层逐渐发育变大,在推进至开切眼 60 m 处时,直接顶从断裂线处垮落。随着开采的继续,直接顶也随之垮落,而老顶发生弯曲下沉,显现较明显。当工作面推进至 120 m 时,老顶仍未垮落,

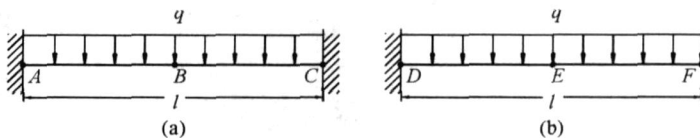


图 3 岩层的断裂模型图

Fig. 3 The fractural model of stratum

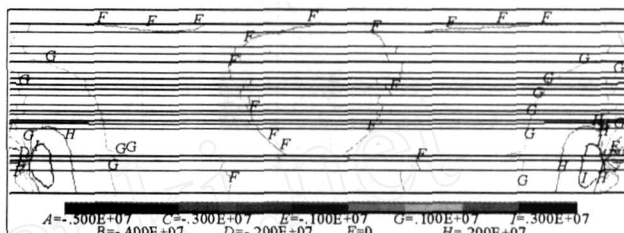


图 4 开采 600 m 时第一主应力等值线图

Fig. 4 The contours of first principal stress after face advanced by 600 m

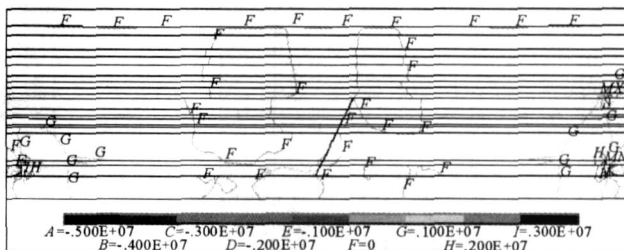


图 5 断层影响下开采 600 m 时第一主应力等值线图

Fig. 5 The contours of first principal stress after face advanced by 600 m under influence of faults

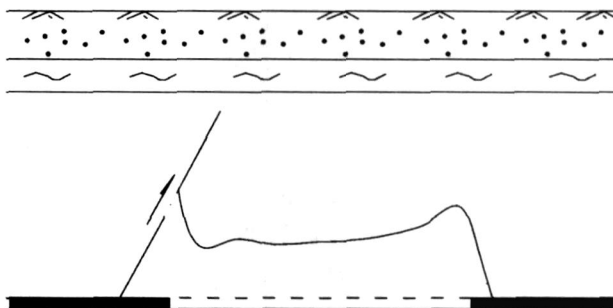


图 6 断层对导水裂隙带高度的影响示意图

Fig. 6 The sketch of influence of fault on height of water flowing fractured zone

煤屑挤出外崩,煤体受压明显,出现离层。随着工作面的继续推进,老顶岩梁在距开切眼 38.7 m 处,出现一条近似竖直的裂隙,此后裂缝逐渐发育完全。在老顶与其上方的粉细砂岩互层之间出现明显的离层,并且逐渐发育。当工作面推进至 140 m 时,老顶大面积垮落(图 7)。在工作面继续推进了 10 m 后,在顶板上方煤层处出现离层,岩层弯曲下沉,并与垮落岩层接触(图 8)。

再随着工作面推进,老顶岩梁产生周期性的运动,周期来压步距 45 ~ 52 m。而直接顶则随工作面推进先行垮落。当工作面推进到 250 m(断层位置)时,上覆岩层以断层线为界突然垮落(图 9)。当工作面推过断层以后,煤层上支撑压力减小,直接顶和老顶又出现周期性的垮落。

实验表明:

1) 由于断层的存在,开采中在断层带及其影响范围内岩体破碎,当工作面开采到距断层面 20 ~ 30 m 时,由于煤体被压煤屑外崩,从而证实前方煤岩体中支撑压力增大。在工作面前方,顶板岩体易于沿着断裂结构面发生滑移、回转和破坏失稳,当工作面开采到断层面时,断层“活化”,顶板岩体发生整体垮落,运动步距大、强度高。当工作面推过断层后,由于断层的存在,从而阻止顶板岩体载荷向前方煤体中转移,以致前方煤岩体中断层附近支撑压力减小。

2) 当工作面推进 45 m 时,老顶岩层开始下沉。老顶岩梁在距开切眼 38.7 m 处,出现一条近似竖直的裂隙,此裂缝逐渐发育完全。并且在老顶与其上方的粉细砂岩互层之间出现明显的离层,此后逐渐发育,老顶出现回转下沉。到工作面推进到 50 m 时,老顶初次运动结束。此后,工作面每推进 25 ~ 33 m,该岩层便产生一次周期性的运动。

3) 不同推进步距时的裂隙带高度如表 2 所示。

表 2 不同推进步距时裂隙带高度表

Tab. 2 The height of water flowing fractured zone at the different distance between two steps

推进步距/m	60	90	120	150	180	210	240	250	270	300
裂隙带高度/m	28.05	33.15	33.15	40.46	43.06	43.06	100.7	129.3	4.37	28.05

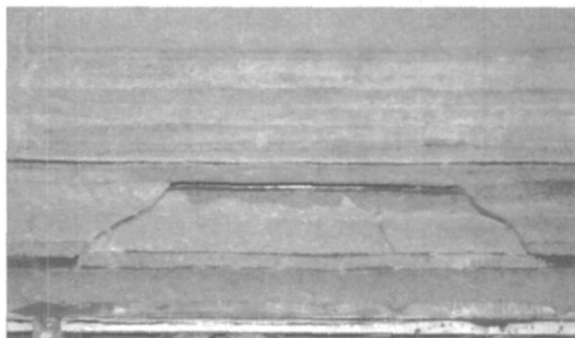


图 7 老顶垮落图

Fig. 7 The main roof caving

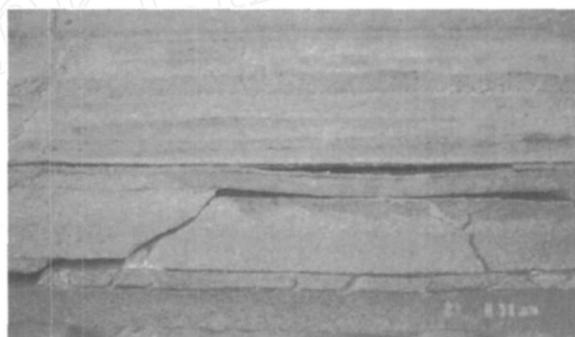


图 8 顶板离层图

Fig. 8 The roof separation layers

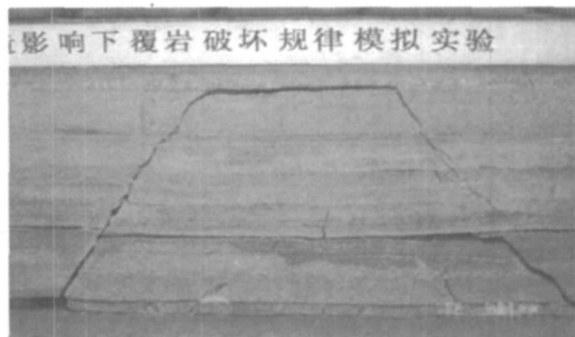


图 9 在断层面处上覆岩层的整体垮落图

Fig. 9 The whole caving of overlying strata on fault plane

4 主要结论

1) 由数值计算得出:在断层影响下,周围岩体对上覆岩层的支撑能力降低,从而导致其远处的导水裂隙带高度要略低于没有断层时的高度。而在断层处的导水裂隙带高度要略高于远处,且其最大高度要低于没有断层时的高度。

2) 由模拟实验得出:在断层和采动影响下,断层“活化”,断层带及其影响范围内,岩体破碎。当工作面推进至断层面时,断层面全部“活化”,顶板岩体突然发生整体垮落。随着工作面的推进,岩层中的超前支承压力不断前移。当工作面开采到距断层面 20~30 m 时,前方煤岩体中支承压力增大。当工作面推过断层面以后,前方煤岩体中支承压力减小。

3) 通过表 2 统计分析得出:裂隙带高度为 43.06 m,断层对于周围岩石破坏影响很大,对导水裂隙带高度影响不大。

参考文献:

- [1] 胡戈. 综放开采断层活化导水机理研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2008.
- [2] 郭惟嘉,徐方军. 覆岩体内移动变形及离层特征[J]. 矿山测量,1999(3):36-38.
GUO Wei-jia, XU Fang-jun. Movement, deformation and bed separation features of mining-affected overburden [J]. Mine Surveying, 1999(3):36-38.
- [3] 任奋华,蔡美峰,来兴平. 河下开采覆岩破坏规律物理模拟研究[J]. 中国矿业,2008,17(3):51-54.
REN Fen-hua, CAI Mei-feng, LAI Xing-ping. Physical simulation study on the pattern of destroy of the covering rock from mining beneath riverbed [J]. China Mining Magazine, 2008, 17(3):51-54.
- [4] 朱斌,武强. 断层影响下的地下水流数值模拟[J]. 桂林工学院学报,2005,25(1):31-35.
ZHU Bin, WU Qiang. Numerical simulation of groundwater under the influence of faults [J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2005, 25(1):31-35.
- [5] 安艳辉,邓喀中. 复杂地质条件下覆岩破坏规律研究[J]. 金属矿山,2007,367(1):21-24.
AN Yan-hui, DENG Ka-zhong. Overlaying rock failure law under complex geological conditions [J]. Metal Mine, 2007, 367(1):21-24.
- [6] 尹增德,李伟,王宗胜. 兖州矿区放顶煤开采覆岩破坏规律探测研究[J]. 焦作工学院学报,1999,18(4):235-238.
YIN Zeng-de, LI Wei, WANG Zong-sheng. Surveying on the destruction laws of the cover rocks by sublevel caving method in Yanzhou mine areas [J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology, 1999, 18(4):235-238.
- [7] 于广明,谢和平,杨伦,等. 采动断层活化分形界面效应的数值模拟研究[J]. 煤炭学报,1998,23(4):396-399.
YU Guang-ming, XIE He-ping, YANG Lun, et al. Numerical simulation of fractal effect induced by activation of fault after coal extraction [J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(4):396-399.
- [8] 杨贵. 综放开采导水裂隙带高度及预测方法研究[D]. 青岛:山东科技大学,2004.