



移动扫码阅读

孙学阳,刘亮东,李 成,等.基于相似材料试验特厚煤层分层开采对断层影响研究[J].煤炭科学技术,2019,47(2):35-40.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.02.006  
SUN Xueyang, LIU Liangdong, LI Cheng, et al. Study on influence of layered mining of extra thick coal seam on faults based on similar materials test [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(2): 35 - 40. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.02.006

# 基于相似材料试验特厚煤层分层开采对断层影响研究

孙学阳<sup>1,2</sup>,刘亮东<sup>1</sup>,李 成<sup>2,3</sup>,苗霖田<sup>4</sup>

(1.西安科技大学 地质与环境学院,西安 710054;2.矿山地质灾害成灾机理与防控重点实验室,西安 710054;  
3.陕西省地质调查院地质调查中心,西安 710054;4.自然资源部 煤炭资源勘察与综合利用重点实验室,西安 710054)

**摘 要:**为了研究某矿特厚煤层分层开采对断层的影响,根据煤层实际情况,采用相似材料模拟试验的方法,研究了特厚煤层分层开采下断层的发育规律。结果表明: $F_{18}$ 和 $F_{16}$ 受开采影响大,破坏严重, $F_1$ 断层距离煤层较远,相对受扰动较轻;因工作面推进方向和断层倾斜方向一致,致使各断层上方的移动变形大于下方的移动变形,使得 $F_1$ 上盘含水层的水容易通过采动裂隙导入工作面;断层 $F_{18}$ 与工作面侧岩层交汇面的移动数值最大,开采拟3工作面时被采动裂隙贯通地表;重复采动57002工作面时,导水断裂带将会导通地表。

**关键词:**特厚煤层;分层开采;相似材料模拟;导水断裂带发育

**中图分类号:**TD164 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2019)02-0035-06

## Study on influence of layered mining of extra thick coal seam on faults based on similar materials test

SUN Xueyang<sup>1,2</sup>, LIU Liangdong<sup>1</sup>, LI Cheng<sup>2,3</sup>, MIAO Lintian<sup>4</sup>

(1.School of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2.Key Laboratory of Mine Geological Hazards Mechanism and Control, Xi'an 710054, China; 3.Geological Survey Center of Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710054, China; 4.Key Laboratory of Coal Resources Exploration and Comprehensive Utilization, Ministry of Natural and Resources, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** In order to study the coal mining thick coal seam layering mining influence on fault, according to the actual situation of coal seam, using the methods of similar material simulation experiment, the development regularity of the fault influenced by the special thick coal seam layering mining. The results show that  $F_{18}$  and  $F_{16}$  are greatly affected by mining and seriously damaged. The working face advancing direction is the same with the fault dip direction, causing the fault at the top of the mobile deformation is greater than at the bottom of the movement, making  $F_1$  in aquifer groundwater easily through mining fissure import face; The movement value of fault  $F_{18}$  at the interface between the rock strata on the working face and the working face is the largest. When the 57002 working face is repeatedly mined, fault development causes similar materials in the water-conducting fracture zone to reach the bottom of the load, indicating that the water-conducting fracture zone may reach the surface.

**Key words:** extra thick coal; seam layer mining; similar material simulation; water conduction fractured zone development

## 0 引 言

在煤层开采过程中,覆岩移动对采空区范围周围的断层具有重要影响<sup>[1-2]</sup>。首先,工作面开采会引起区域内断层位移的变化,造成断层的滑移失稳,引起断层的“活化”,并进一步引发矿井灾害<sup>[3-6]</sup>。

其次,开采过程中顶板突水对断层产生不同形式的破坏,进而影响断层产生的导水断裂带开采发育动态<sup>[7-13]</sup>。同时,通过重复采动影响下小断层的活化机理及断层诱发断裂带的演化情况可以研究深部煤矿采动诱发断层活动规律<sup>[14-15]</sup>。文献[16-17]通过断层影响带的发育规律及其力学成因,论证了煤

收稿日期:2018-09-01;责任编辑:杨正凯

基金项目:国家自然科学基金面上资助项目(41272388)

作者简介:孙学阳(1976—),男,安徽涡阳人,副教授,博士。E-mail: sxy163@163.com

岩层岩性、厚度及组合对小断层发育的影响<sup>[16-17]</sup>。刘江波等<sup>[18]</sup>采用相似材料模拟试验的方法,研究下盘煤层开采后断层及上盘区域煤层变形及应力变化特征。王恩营等<sup>[19]</sup>以多煤层采掘资料为依据,通过对不同煤层间小断层特征的比较研究,论证了煤岩层岩性、厚度及组合对小断层发育的影响。

在此背景下,研究特厚煤层分层开采后对断层上、下盘区及断层产生的作用具有重要意义。煤炭资源开采对断层的影响成为利用其附近煤炭资源的重中之重<sup>[20]</sup>。研究断层附近煤层安全开采技术以及煤层采动的影响,对于煤矿安全生产、延长矿井服务年限具有重大的意义。

表1 X剖面相似材料模拟试验地层统计及配比

Table 1 Similar material simulation experiment formation statistics and ratio

名称	厚度/m	岩层倾角/ (°)	模拟材料配比				总质量/kg	模拟材料质量/kg			
			煤粉	沙	石膏	大白粉		煤粉	沙	石膏	大白粉
绿色页岩Ⅰ	0~278	21	0	8	3	7	181.28	0	145.02	10.88	25.38
绿色页岩Ⅱ	168~180	3	0	8	3	7	88.23	—	70.58	5.29	12.35
绿色页岩Ⅲ	339~367	13	0	8	3	7	76.58	—	61.27	4.59	10.72
绿色页岩Ⅳ	183~206	13	0	8	3	7	20.53	—	16.42	1.23	2.87
煤Ⅰ	98	21	26	1	5	15	156.21	86.41	3.32	16.62	49.85
煤Ⅱ	98~239	0	26	1	5	15	59.73	33.04	1.27	6.35	19.06
煤Ⅲ	100	9	26	1	5	15	25.88	14.31	0.55	2.75	8.26
泥灰岩Ⅰ	0~310	21	0	7	3	7	241.42	0.00	168.99	21.73	50.70
泥灰岩Ⅱ	67	13	0	7	3	7	17.93	—	12.55	1.61	3.77
砂砾岩	600	17	0	8	3	7	59.38	—	47.50	3.56	8.31
油母页岩Ⅰ	245	21	0	9	2	8	389.91	—	350.92	7.80	31.19
油母页岩Ⅱ	245~283	0~40	0	9	2	8	68.92	—	62.03	1.38	5.51
油母页岩Ⅲ	171	3	0	9	2	8	58.90	—	53.01	1.18	4.71
油母页岩Ⅳ	68	13	0	9	2	8	15.20	—	13.68	0.30	1.22
玄武岩	99~111	3	0	7	4	6	27.40	—	19.18	3.29	4.93

注:由于试验设备高度有限,上覆松散岩层厚204 m,长1 200 m,换算模型质量538.56 kg,钢块质量5.15 kg,需钢块104块。

1.2 相似材料与配比

根据煤系赋存地区地层结构的一般特点,以河沙为骨料,以石膏为胶结物,以大白粉为填料,用不同配比模拟地层中的软弱、中硬和坚硬岩层。用白云母片模拟各岩层之间的层理面。根据相似比以及模拟煤岩层的物理力学参数(以抗压强度和弹性模量为主,以其它参数为辅),结合相似材料试件测试成果选择相似材料的配方和配比。

由于每个模拟岩层的厚度、容重及配比配方不同,铺设各模拟岩层所用的材料总重及各种材料的

1 模拟试验方案设计

1.1 相似材料模拟

由于地下岩体是复杂的力学介质,开采过程中不同位置的围岩会产生不同性质的变形、非连续性的断裂等过程,使得理论计算极其困难,现场实测又受人力、物力及实际条件的限制。而相似模拟试验则可以在一定程度上解决该问题。

相似模拟试验的优点体现在,可以人为地控制和改变试验条件,从而确定单因素或多因素对煤层开采的影响规律,效应清楚、结果直观,周期短,成效大,能对影响因素进行重复分析,再与实地观测和理论研究相配合。相似材料模拟研究已成为岩层控制学中最重要研究方法。

用量各不相同。本次试验按下式计算各分层材料的总重,然后按配比配方计算其中各种材料的用量。

$$W = kldh\gamma_m$$

式中:  $W$  为材料总重;  $k$  为材料损失系数;  $l$ 、 $d$ 、 $h$  分别为该层长度、宽度和厚度;  $\gamma_m$  为该层相似材料的密度。

根据相似材料模拟试验目标,在充分分析首采区地质资料的基础上,依据X地质剖面图,确定本次相似材料模拟的地层,见表1。相似材料模拟试验所用装置长3.0 m,高1.5 m,宽0.2 m。结合相似

条件,确定本次试验模拟煤层上覆岩层三带发育过程,比例为1:400。

### 1.3 装架过程

相似材料模拟试验模拟地层厚度约为 810 m, 其中煤层上覆岩最大厚度 744 m, 模拟煤层厚度 97 m, 根据相似条件及拟装置的尺寸, 本试验主要模拟土层与煤层之间的岩层, 土层等上覆岩层则以荷载的形式实现。模型垂向高度为 1.50 m, 模型装架时

模型的垂向高度模型尺寸及开采条件见表 2, 如图 1 所示。

表 2 模型尺寸及开采条件

**Table 2** Model size and mining conditions

类别	横向长度	垂向高度	覆岩厚度	煤层采高
原型尺寸/m	1 200	600	220~523	40~50
模型尺寸/cm	300	150	55~130	10.0~12.5

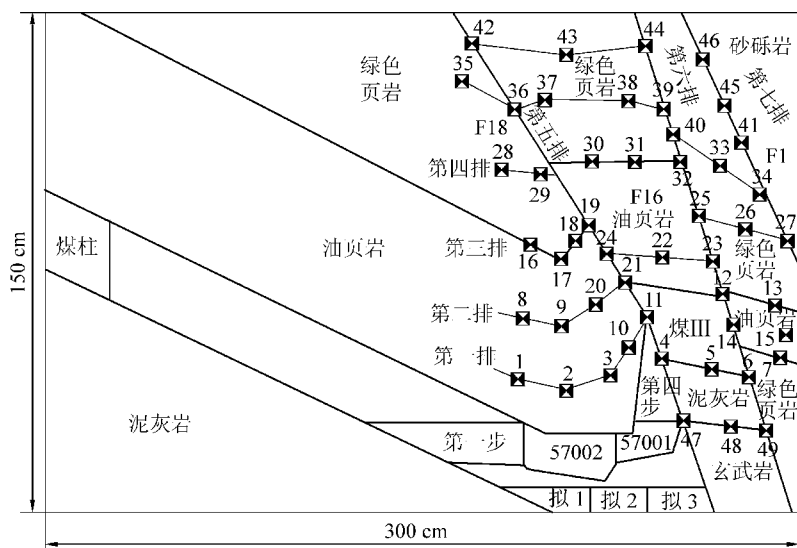


图 1 相似模拟模型

Fig.1 Similar simulation model

## 2 相似材料模拟试验

## 2.1 试验过程分析

模型左边留有 30 cm 的煤柱,第一步模拟开采倾斜煤层和水平煤层连接处的部位,开采总厚度 9 cm(即 36 m),水平长度为 64 cm(即 256 m);第二步模拟开采 57002 工作面,开采最大厚度 12 cm(即 48 m),开采长度 30 cm(即 120 m);第三步模拟开采 57001 工作面,开采厚度 10 cm(即 40 m),开采长度 24 cm(即 96 m);第四步为模拟开采 68001 工作面上方的三角煤,并将其全部开采;拟设工作面处于第一步开挖煤层、57002 工作面与 73003 工作面下部,共布设 3 个拟采工作面,且都处于同一水平,开采厚度均为 10 cm(即 40 m),开采长度 30 cm(即 120 m)。

第一步:开采总厚度 9 cm(即 36 m),水平长度为 64 cm(即 256 m),分 2 小步开采。第 2 小步工作面推进至 170 cm(680 m),产生的采空区对  $F_{18}$  断层产生一定的影响,如图 2 所示。第二步:模拟开采 57002 工作面分 2 步开挖完成。第 1 小步,工作面推进至距开切眼 186 cm(744 m)。断层  $F_{18}$  在距工

作面前方 20 cm(80 m),水平煤层顶板 47 cm(188 m)处向上延伸 57 cm(228 m),断层发育宽度发育 0.2 mm(0.08 m),如图 3 所示。第 2 小步,工作面推进至距开切眼 205 cm(820 m)处时, $F_{18}$ 断层距煤层顶板 95 cm(380 m),随垮落发生而垮落,其余部位变化不明显, $F_{16}$ 和  $F_{17}$ 断层无明显变化,如图 4 所示。

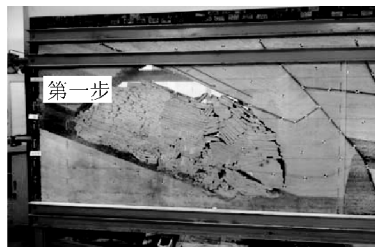


图 2 工作面推进 170 cm 覆岩破裂

Fig.2 Working face advancing 170 cm overlying rock fracture diagram

第三、四、五步开挖完成后,断层无明显继续发育现象。

第六步:模拟开采拟设工作面 2, 开采厚度为 10 cm (即 40 m), 断层  $F_{18}$  距顶板上方 17 cm (68 m) 处, 向上发育至采空区, 发育较均匀, 为 1 mm (0.4 m); 断层  $F_{16}$  距顶板上方 34 cm (106 m), 向上发育至钢块下

方,发育宽度 1.5 mm(0.6 m);断层  $F_1$  从顶板上方 81 cm(324 m)处,向上发育至钢块下方,如图 5 和图 6 所示。

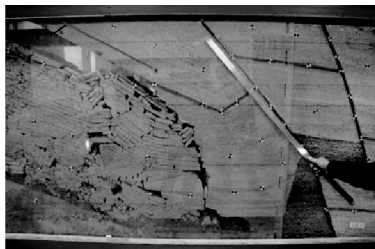


图3 工作面推进 186 cm 采动断层扰动

Fig.3 186 cm mining fault disturbance mapworking face advancing

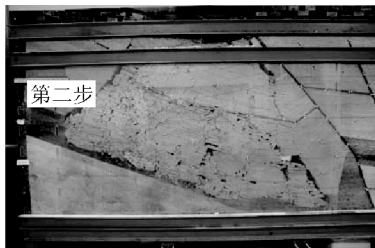


图4 工作面推进 205 cm 全景

Fig.4 Promote the 205 cm panorama of working face



图5 拟2工作面开采后断层扰动

Fig.5 NO.2 working face of postharvest fault disturbance



图6 拟2工作面采后覆岩变化

Fig.6 Change of overlying rock in No.2 working face of postharvest

第七步:模拟开采拟设3工作面,开采厚度为 10 cm(即 40 m),开采长度 30 cm(即 120 m)。  $F_{18}$  断层未继续发育;  $F_{16}$  断层开裂宽度发育至 2 mm(0.8 m),长度未继续发育;  $F_1$  断层宽度发育 1 mm(0.4 m)。长度未继续发育。

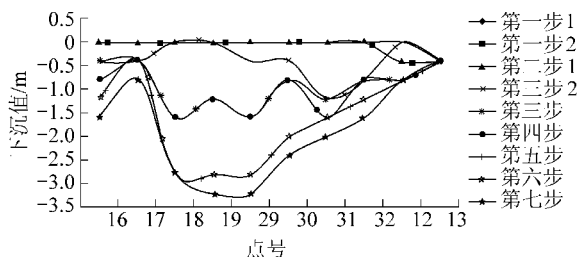
## 2.2 试验现象分析

第1和2排观测点开采后断层无明显变化。第3排观测点当工作面推进到第二步第2小步时,  $F_{18}$  断层开始出现整体下沉,下沉值达 0.4 m,如图 7a 所示。第4排观测点当工作面推进后,断层无明显变化。

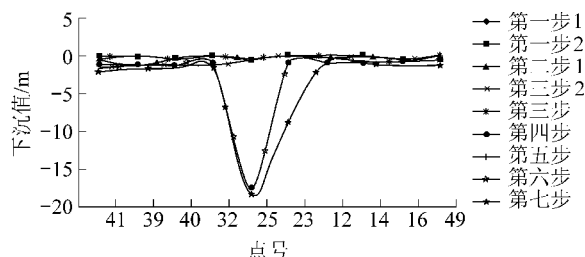
## 2.3 断层扰动分析

从图 7b 可以看出,  $F_{18}$  断层上在第二步中第1小步开始出现整体下沉,下沉值达 0.4 m,第七步时下沉达到最大即 3.6 m。

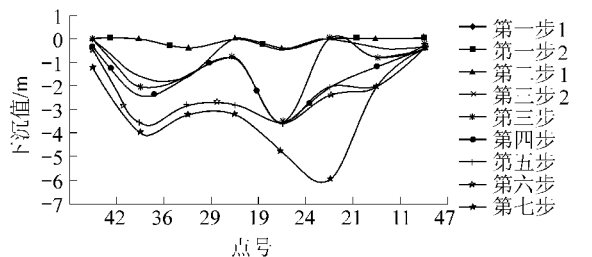
从图 7c 可以看出,  $F_{16}$  中下沉最大的是最上部点,其最大下沉值为 2 m。因该断层倾斜状态与  $F_{18}$  断层大致相同,倾斜角度较大,下部点受开采活动影响较小,造成上部位移变化大,下部位移的变化小,试验结果显示此种位移状态有利于导水断裂带发育,增大了水害发生的可能。



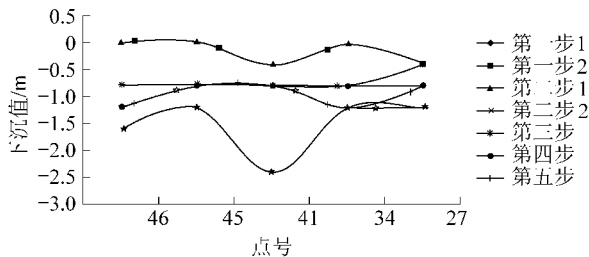
(a) 第3排观测点



(c) 第6排观测点



(b) 第5排观测点



(d) 第7排观测点

图7 观测点下沉曲线

Fig.7 Sinking curve of observation points



从图 7d 可以看出,  $F_1$  断层面上测点下沉最大为 1.6 m, 位移变化规律与  $F_{16}$ 、 $F_{18}$  基本相同。

第 1 排测点、第 3 排测点和第 4 排测点均跨  $F_{18}$  和  $F_{16}$  断层上盘和下盘, 通过观测可知受开采活动影响和断层角度问题, 断层下盘下沉值远远大于上盘下沉值, 造成断层直接裂开。

分析第 5 排测点可看出, 开采倾斜煤层对  $F_{18}$  断层扰动影响较小,  $F_{18}$  在采煤工作面向正上方下沉较大, 特别是 57001 工作面正上方下沉较大。开采第六步和第七步时造成 42 号点垮落, 断层裂隙明显且导通地表。

试验选取剖面  $F_{16}$  断层分布状态与  $F_{18}$  断层基本一致, 无交汇点, 与  $F_{18}$  断层检测位移变化大致相同。通过分析下盘位移变化和断层监测点位移变化可以看出, 从第六步开始  $F_1$  断层出现扰动, 随着开采活动的进行变形量逐渐增大, 57001 和 57002 工作面开采结束后下沉值达到 0.4 m, 拟设工作面的开采, 增加  $F_1$  断层面上测点的下沉值。

### 3 结 论

1) 开采 57002 工作面时, 导水断裂带导通相似材料直达荷载底部, 因此导水断裂带可能达到地表。

2) 因煤层厚度大, 开采扰动范围大,  $F_{18}$  和  $F_{16}$  受开采影响大, 破坏严重。  $F_1$  断层距离煤层较远, 相对受扰动较轻, 但是当开采拟 3 工作面时造成断层  $F_1$  产生长度约 80 m, 宽约 0.4 m 的裂隙。

3) 因断层倾斜, 工作面推进方向和断层倾斜方向一致, 致使各断层上山方向的移动变形大于下山方向的移动变形,  $F_1$  上盘含水层的地下水容易通过采动裂隙导入工作面。

4)  $F_1$  断层面上最大下沉 1.2 m, 水平移动最大 1.3 m, 水平移动比下沉量大, 为上盘含水层中的地下水有向下涌入提供了空间和通道。

### 参考文献 (References):

[1] 曾先贵, 李文平, 李洪亮, 等. 综放开采近断层导水断裂带发育规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(3): 306-310.  
ZENG Xiangui, LI Wenping, LI Hongliang, et al. Study on development law of near fault water conduction fracture zone in fully mechanized top coal caving mining [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2006, 23(3): 306-310.

[2] 赵海军, 马凤山, 李国庆, 等. 断层上下盘开挖引起岩移的断层效应[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(9): 1372-1375.  
ZHAO Haijun, MA Fengshan, LI Guoqing, et al. The faulting effect of rock movement caused by the excavation of the upper and lower faults[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(9): 1372-1375.

[3] 李志华, 窦林名, 曹安业, 等. 采动影响下断层滑移诱发煤岩冲击机理[J]. 煤炭学报, 2011, 36(S1): 68-73.  
LI Zhihua, DOU Linming, CAO Anye, et al. Mechanism of coal and rock impact induced by fault slip under mining influence [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(S1): 68-73.

[4] 姜耀东, 王 涛, 赵毅鑫, 等. 采动影响下断层活化规律的数值模拟研究[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(1): 1-5.  
JIANG Yaodong, WANG Tao, ZHAO Yixin, et al. Numerical simulation study of activation law of faults under mining influence [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2013, 42(1): 1-5.

[5] 张国龙, 蒋金泉, 张培鹏, 等. 正断层活化影响下覆岩结构演化规律[J]. 煤炭技术, 2017, 36(9): 48-51.  
ZHANG Guolong, JIANG Jinquan, ZHANG Peipeng, et al. Overburden structure evolution under the influence of normal fault activation [J]. Coal Technology, 2017, 36(9): 48-51.

[6] 朱光丽, 张文泉, 张贵彬, 等. 采动诱发断层活化导水试验研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(11): 3163-3172.  
ZHU Guangli, ZHANG Wenquan, ZHANG Guibin, et al. Pilot study on the activation of induced faults in mining by fault [J]. Rock and Soil Mechanics, 2017, 38(11): 3163-3172.

[7] Kratzsch H. Mining bsidence engineering [J]. New York: Springer, 1983, 21(5): 8-12.

[8] 刘宝琛, 廖国华. 煤矿地表移动的基本规律 [M]. 北京: 中国工业出版社, 1965: 20-55.

[9] 胡 戈, 李文平, 程 伟. 淮南煤田综放开采导水裂隙带发育规律研究[J]. 煤炭工程, 2008(5): 74-76.  
HU Ge, LI Wenping, CHENG Wei, et al. Study on the development law of water induced fracture zone in fully mechanized caving mining in Huainan coal field [J]. Coal Engineering, 2008(5): 74-76.

[10] 胡 戈, 李文平, 刘启蒙, 等. 综放开采过断层顶板破坏规律数值模拟[J]. 能源技术与管理, 2008(1): 1-3.  
HU Ge, LI Wenping, LIU Qimeng, et al. Numerical simulation of roof failure law of fully mechanized top coal caving mining [J]. Energy Technology and Management, 2008, (01): 1-3.

[11] 路 军, 许家林, 王 露, 等. 断层采动活化对导水裂隙带高度影响的模拟实验研究[J]. 中国煤炭, 2012(1): 36-40.  
LU Jun, XU Jialin, WANG Lu, et al. Simulated experimental study on the influence of mining activation on the height of water flowing fractured zone [J]. China Coal, 2012(1): 36-40.

[12] 浦 海, 张 东. 断层影响下顶板突水特性的数值模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(3): 421-424.  
PU Hai, ZHANG Jian. Numerical simulation of water bursting characteristics of roof under the influence of faults [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2010, 27(3): 421-424.

[13] 甄亚彬, 赵玉成, 陆丹峰. 断层下采场顶板破断规律的研究[J]. 煤矿安全, 2013, 41(4): 62-64.  
ZHEN Yabin, ZHAO Yucheng, LU Danfeng. Under the fault of stope roof breaking of [J]. Safety in Coal Mine, 2013, 41(4): 62-64.

[14] 左建平, 陈忠辉, 王怀文, 等. 深部煤矿采动诱发断层活动规律[J]. 煤炭学报, 2009, 34(3): 305-309.  
ZUO Jianping, CHEN Zhonghui, WANG Huaiwen, et al. Laws of

- mining induced faults in deep coal mines [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(3): 305-309.
- [15] 黄炳香, 刘长友, 许家林. 采场小断层对导水裂隙高度的影响 [J]. 煤炭学报, 2009, 34(10): 1316-1321.
- HUANG Bingxiang, LIU Changyou, XU Jialin. Stope small faults on the height of water flowing fracture effect [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(10): 1316-1321.
- [16] 雷光伟, 杨春和, 王贵宾, 等. 断层影响带的发育规律及其力学成因 [J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 43(2): 231-241.
- LEI Guangwei, YANG Chunhe, WANG Guibin, *et al.* Development law and mechanical origin of fault zone [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016, 43(2): 231-241.
- [17] 崔建宁, 李晓阳. 断层影响下上盘煤层开采相似材料模拟研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2015(8): 196-197.
- CUI Jianning, LI Xiaoyang. Simulation study of similar material in the upper plate coal seam under the influence of fault [J]. Inner Mongolia Coal Economics, 2015(8): 196-197.
- [18] 刘江波, 王亚博, 王怀远, 等. 大断层下盘采动对上盘煤层影响的相似材料模拟 [J]. 金属矿山, 2014, 44(1): 34-37.
- LIU Jiangbo, WANG Yabo, WANG Huaiyuan, *et al.* Similar material simulation of the effect of footwall mining on the upper wall seam [J]. Metal Mine, 2014, 44(1): 34-37.
- [19] 王恩营. 煤炭开采中小断层研究的几个问题 [J]. 中国矿业, 2006, 15(8): 60-62.
- WANG Enying. Research on several problems of coal mining in small and medium sized fault [J]. China Mining, 2006, 15(8): 60-62.
- [20] 刘兴全. 断层对煤炭开采的影响因素及处理方法 [J]. 科技创新与应用, 2017(23): 89-90.
- LIU Xingquan. Influence factors of fault on coal mining and treatment methods [J]. Science and technology innovation and application, 2017(23): 89-90.