

# 断层冲击地压发生机理研究

杨随木<sup>1</sup> 张宁博<sup>2,3</sup> 刘 军<sup>1</sup> 赵善坤<sup>2,3</sup>

(1. 河南能源化工集团有限公司 义马煤业集团股份有限公司 河南 义马 472300; 2. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院 北京 100013;  
3. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室(煤炭科学研究总院) 北京 100013)

**摘 要:** 为得到断层冲击地压的发生机理,以义马矿区 F16 断层为研究对象,采用相似模拟和数值模拟的研究手段,研究了开采扰动诱发断层冲击地压的过程,提出了断层滑移失稳的敏感性指标,揭示了断层冲击地压发生的原因。结果表明:按照开采扰动程度的不同将断层冲击地压的过程划分为 3 个阶段:断层开始活化、断层剧烈活化和断层冲击显现。剪应力和正应力比值作为断层滑移失稳的敏感性指标,可以建立断层应力场和断层活动状态之间的联系;当应力比降低时,滑移速度较小,几乎为 0;当应力比开始升高时,滑移速度出现波动并逐渐增大;当应力比达到最大值时,断层滑移速度突变,断层滑移失稳,断层冲击地压发生。采动引起覆岩破坏是断层冲击地压发生的直接原因,开采扰动导致断层应力场改变是冲击地压发生的根本原因。

**关键词:** 冲击地压; 断层活化; 覆岩破坏; 应力比

中图分类号: TD324

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2014)10-0006-04

## Research on Mechanism of Fault Rock Burst

YANG Sui-mu<sup>1</sup> ZHANG Ning-bo<sup>2,3</sup> LIU Jun<sup>1</sup> ZHAO Shan-kun<sup>2,3</sup>

(1. Yima Coal Group Co., Ltd., Henan Energy and Chemical Industry Group Co., Ltd., Yima 472300, China;

2. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

3. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract:** In order to obtain the mechanism of fault rock burst occurred taking F16 fault in Yima mining area as a study object, this paper used analog simulation and numerical simulation method. The process of fault rock burst induced by mining disturbance was researched and a sensitivity index of fault slip was proposed. The reason of fault rock burst was revealed. The results showed that according to mining disturbance degree, fault rock burst contains three stages which were start of fault activation, fault intense activation and fault impact. The ratio of shear stress and normal stress could connect fault stress field and fault activity, the ratio was sensitive indicator of fault slip instability. When the stress ratio was low, sliding velocity was almost zero. When the ratio rised, sliding speed began to wave and increased gradually. When the ratio reached at maximum, the fault sliding instability, sliding velocity mutations and fault rock burst occurred. The overlying strata destruction caused by mining was the direct cause of fault rock burst and its root cause was changed of fault stress field.

**Key words:** rock burst; fault activity; strata destruction; stress ratio

## 0 引 言

随着我国煤矿开采深度的逐年增加,冲击地压作为一种常见的煤矿动力灾害,许多学者进行了研究<sup>[1-6]</sup>。断层冲击地压是井下冲击地压的一种类

型,是指井田范围内的断层由于采矿活动而引起突然相对错动并猛烈释放能量的现象<sup>[7]</sup>。与一般冲击地压相比,断层冲击地压破坏性更强、影响范围更大。针对断层冲击地压,国内许多学者<sup>[8-13]</sup>采用理论分析、实验室试验等多种研究手段对断层冲击地

收稿日期: 2014-05-11; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.10.002

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2010CB226806); 中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金资助项目(2013ZD002-04, 2013MS015); 煤炭科学研究总院技术创新基金资助项目(2012CX04)

作者简介: 杨随木(1961—),男,河南灵宝人,高级工程师,现任河南能源化工集团有限公司义马煤业集团股份有限公司总工程师。

引用格式: 杨随木,张宁博,刘 军,等. 断层冲击地压发生机理研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(10): 6-9, 27.

YANG Sui-mu, ZHANG Ning-bo, LIU Jun et al. Research on Mechanism of Fault Rock Burst[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(10): 6-9, 27.

压进行了研究,其中文献[7-11]将断层冲击地压视为断层系统的结构失稳,文献[14-15]试图从突变理论入手解释断层冲击地压的发生过程,文献[16-17]采用微震监测手段对断层活化进行了分析预测,文献[18-19]主要分析了断层存在导致顶板冲击地压的发生机理。但通过分析可以发现,断层冲击地压仍面临发生机理不清、防治措施不利的困境,给矿井安全生产和人员安全带来了严重威胁。例如,2011年11月3日,千秋煤矿21221下平巷在掘进过程中由于F16大型逆冲断层活化发生了特大冲击地压事故,造成人员伤亡,损坏巷道长度400 m左右,部分巷道完全合拢。断层冲击地压严重威胁着井下工作人员和生产设备的安全,因此需要深入研究断层冲击地压的发生机理,了解其发生的根本原因,进而提出合理的指标对断层冲击地压进行有效预测,以保障煤矿的安全高效生产。基于此,笔者以义马矿区F16断层为研究对象,通过相似模拟、数值模拟等手段,分析开采活动与断层冲击地压之间的相互关系,揭示断层滑移失稳的根本原因,初步解释断层冲击地压的发生机理。

## 1 工程概况

F16逆冲断层位于义马煤田南部,为近东西向压扭性逆冲断层。该断层横穿常村、跃进、千秋、耿

村、杨村5个井田,在义马煤田的延展长度达24 km,走向近东西,倾向 $160^{\circ} \sim 170^{\circ}$ ,倾角一般 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ,落差50~450 m,水平错距120~1 080 m,断距和落差自东向西有逐渐增大趋势。逆冲断面上陡下缓,浅部断层面倾角大,切层向下逐渐平缓,多沿义马组2-3煤层顶板顺层分布,局部出现下切。

选取千秋煤矿21221工作面作为试验工作面,21221工作面走向长度约为2 700 m,倾斜长度为363 m,煤层倾角为 $18^{\circ}$ ,煤层厚度为30.2 m,采深为762 m,直接顶为28.53 m厚的泥岩,直接底为11.6 m厚的细砂岩。工作面掘进过程中揭露F16断层局部,断层与21221工作面斜交。

## 2 相似模拟试验

### 2.1 相似模拟模型设计及观测方案

根据相似理论,并结合现场实际条件及试验模型情况,确定模型的几何相似比1:200,时间相似比1:14.14,容重相似比1:1.56,应力相似比1:312,弹性模量和抗压强度相似比均为1:20.06。模型上部模拟到砾岩层,根据相似常数计算顶部施加载荷为39 kPa,采用重物对顶部施加载荷。相似材料采用河沙作为骨料,以石膏和碳酸钙作为胶结物,通过改变骨料和胶结物的配比,获得多种不同抗压强度的相似材料、煤岩物理力学参数见表1。

表1 煤岩块体物理力学参数

位置	岩层岩性	厚度/m	密度/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/( $^{\circ}$ )	抗拉强度/MPa
上盘断层	砂质泥岩	100	2 731	43.4	42.8	1.48	51.8	6.32
	粉砂岩	150	2 738	44.4	41.2	2.97	51.0	8.65
	砂质泥岩	60	2 686	62.6	59.3	1.19	47.8	9.41
	中砂岩	20	2 783	60.4	54.4	2.42	50.0	12.20
下盘断层	巨厚砾岩	200	2 865	60.1	55.9	4.10	49.8	7.32
	砂质泥岩	110	2 656	42.5	44.5	2.40	40.0	9.30
	细砂岩	20	2 783	54.4	51.2	3.92	51.0	6.65
	煤层	20	1 462	2.7	1.2	1.34	30.0	2.06
	砂质泥岩	20	2 679	33.4	28.4	1.57	35.8	5.50

搭建的相似模拟试验台长、宽、高分别为5.0、0.4、1.5 m,采用红外线全站仪、电阻应变式压力传感器和SWAES声发射仪对试验过程中的相关数据进行采集。

### 2.2 断层冲击地压发生过程分析

根据试验结果,工作面向断层方向推进过程中由于F16断层活化发生了断层冲击地压。通过对试验结果进行分析,可将断层冲击地压的发生过程分

为3个阶段:断层开始活化阶段、断层剧烈活化阶段以及断层冲击地压显现阶段。笔者将结合试验过程中的现象和数据对上述三个阶段进行详细分析。

1) 断层开始活化阶段。当工作面推至断层100 m时,覆岩裂隙向上扩展至砾岩层,在自重作用下,裂隙带覆岩弯曲下沉,砾岩与基本顶泥岩之间的岩层结构面处产生一道横向裂隙,并逐渐向断层延伸,如图1所示。

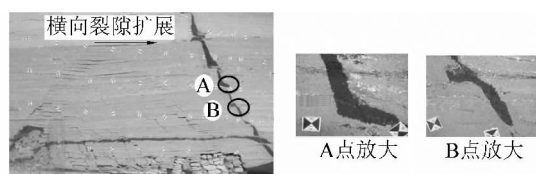


图1 断层开始活化阶段覆岩垮落形态  
同时受开采扰动影响,断层带岩体发生剪切变

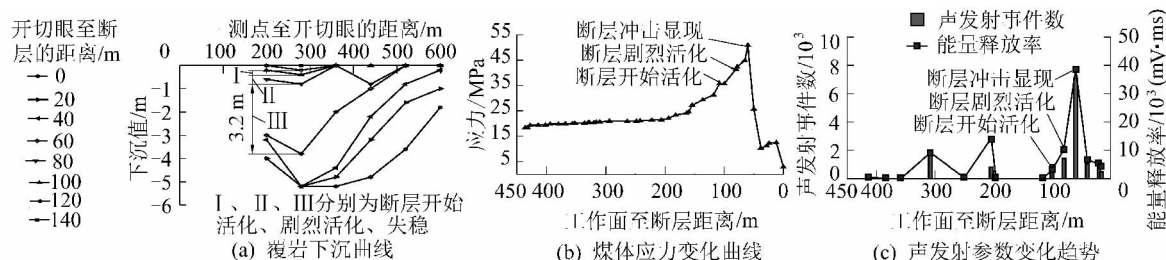


图2 随工作面回采覆岩下沉量、煤体应力、声发射参数变化

2) 断层剧烈活化阶段。工作面向前推进 20 m, 与断层距离为 80 m。此时基本顶泥岩层下部离层并垮断,造成离层裂隙横向扩张,并延伸至断层。在集中剪应力的作用下,断层带岩体产生大量裂纹并相互贯通形成裂隙带,如图 3 所示。在覆岩自重作用下,断层带裂隙沿断层带向下扩展,断层剧烈活化。覆岩下沉位移进一步增加,部分测点下沉量接近 1 m。工作面前方支承压力上升,超过 30 MPa,应力集中系数大于 1.67。声发射事件数和能量释放率显著增加。

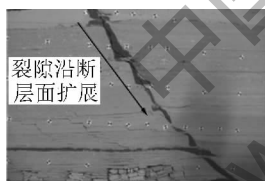


图3 断层剧烈活化阶段裂隙扩展形态

3) 断层冲击地压显现阶段。当工作面推至距断层 60 m 时,开采活动对覆岩进一步扰动,造成覆岩破坏程度增大,裂隙沿断层面方向工作面方向急剧扩展。断层系统平衡状态被打破,断层滑移速度加快。断层滑移引起下盘破坏覆岩整体下沉,下沉覆岩同时又进一步促进了断层滑移,如此循环,最终导致断层滑移失稳,并伴随能量大量释放,模型整体震动,发生断层冲击地压,工作面被冲击破坏岩体堵塞,断层失稳破坏形态如图 4 所示。监测结果显示,覆岩整体下切,部分测点下沉高度达 3.2 m。测点应力达到峰值,接近 50 MPa,应力集中系数接近 2.7。声发射能量释放率突变,事件数达到极值。

形,局部产生微小裂纹,此时断层开始“活化”。利用不同监测系统对试验过程中的覆岩下沉曲线、煤体应力、声发射参数变化趋势等参量进行实时监测分析,所得试验结果如图 2 所示,断层开始活化时,覆岩下沉量较小,位于断层与煤层交界处的测点监测到煤体支承压力开始上升,声发射事件数逐渐增加,能量释放率明显增大。

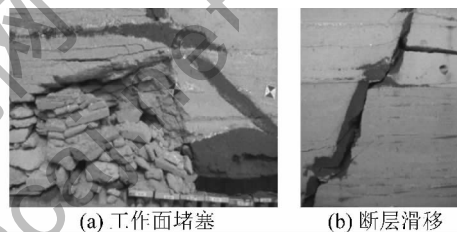


图4 断层冲击地压显现引起断层滑移及工作面破坏示意

### 3 数值模拟分析

#### 3.1 数值模拟模型建立及测点布置

为了进一步研究断层冲击地压发生机理,笔者根据义马矿区 F16 断层的大致揭露情况和煤层的分布条件,煤岩层物理力学参数见表 1,采用 UDEC 离散元软件建立了 F16 断层数值模型如图 5 所示。

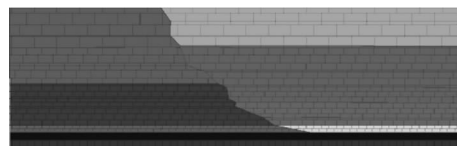


图5 F16 断层数值模型

根据现场实测地应力结果对施加数值模型的边界条件。模型上边界施加均布载荷,模拟其上方覆岩的自重;左右  $x$  边界施加水平压应力,模拟断层附近的构造应力;前后  $y$  边界限制  $y$  方向位移,底部边界限制  $z$  方向位移。块体本构模型采用摩尔-库仑本构模型,节理面采用库仑滑移准则。模型各岩层的物理力学参数取实验室岩石参数的  $1/5 \sim 1/2$ ,节理面参数取岩层结构面参数的  $1/3 \sim 1/2$ ,断层面的参数在岩层结构面参数基础上作进一步弱化。工作面从下盘向断层开挖,同时回采过程中对断层下盘

顶板的下沉速度和断层带应力场及滑移速度进行监测, 数值模拟测点布置如图 6 所示。

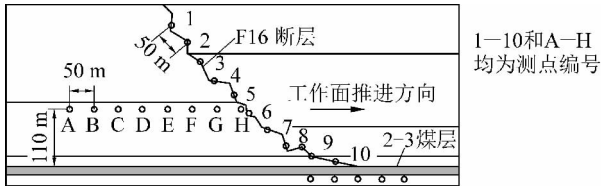


图6 数值模拟测点布置

### 3.2 模拟结果分析

断层面应力状态一般可以通过剪应力和正应力的大小来反映, 但经过对模拟试验数据的分析发现, 单独依靠剪应力或正应力变化无法直接和断层活动

状态建立联系。因此, 笔者提出以断层面剪应力和正应力的比值(断层应力比)进行研究, 用断层应力比的变化来研究采动对断层滑移失稳的影响规律。顶板下沉速度反映了开采活动对覆岩的扰动程度大小, 随工作面回采部分测点断层应力比和顶板下沉速度变化曲线如图 7 所示。随着工作面推进, 顶板下沉速度均呈逐渐上升趋势, 说明工作面回采对覆岩扰动逐渐增强; 当工作面距离断层较远时, 断层应力比和顶板下沉速度均变化不大; 随着工作面推进, 可以看出顶板下沉速度与断层应力比在变化趋势上表现出很强的相关性。由此可得覆岩破坏与断层应力场相互影响, 覆岩运移对断层应力场形成了扰动。

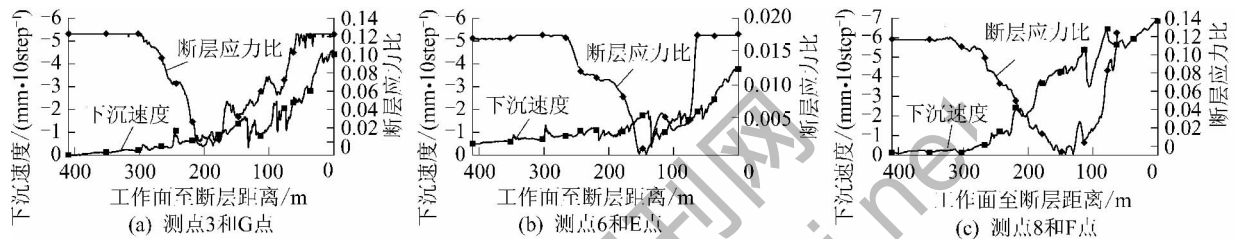


图7 部分测点顶板下沉速度和断层应力比变化曲线

随工作面回采部分测点断层应力比和滑移速度变化曲线如图 8 所示。断层应力比随工作面的推进呈先降低后升高的变化趋势, 断层面滑移速度随着工作面与断层距离的减小而逐渐升高; 当应力比降

低时, 滑移速度较小, 几乎为 0, 当应力比开始升高时, 滑移速度出现波动并逐渐增大; 当应力比达到最大值时, 断层滑移速度突变, 断层滑移失稳, 断层冲击地压发生。

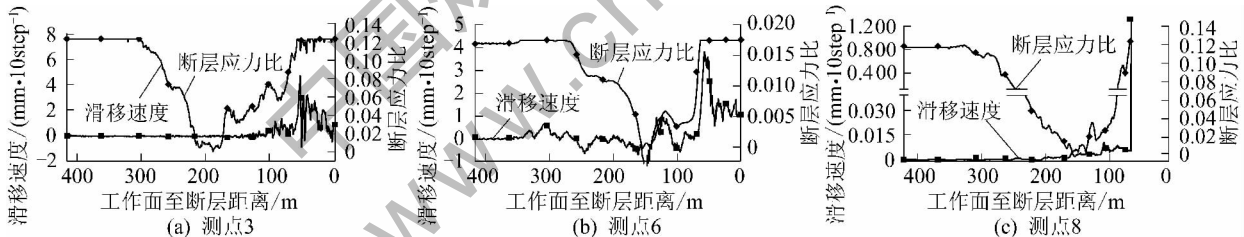


图8 部分测点断层应力比和滑移速度变化曲线

## 4 结 论

1) 相似模拟研究结果表明, 采动影响导致断层冲击地压的发生过程分为 3 个阶段: 断层开始活化、断层剧烈活化和断层冲击显现。

2) 采动影响导致覆岩破坏, 裂隙带扩展至断层, 并与断层带贯通, 是断层冲击地压发生的直接原因; 覆岩破坏对断层应力场形成扰动, 引起断层应力场改变, 是断层冲击地压发生的内在原因。

3) 提出了以断层应力比(断层带剪应力和正应力比值)作为断层滑移失稳的敏感性指标, 发现随着工作面向断层推进, 断层应力比先减小后增大, 当应力比达到最大值时, 断层冲击地压发生。

### 参考文献:

- [1] 齐庆新, 李晓璐, 赵善坤. 煤矿冲击地压应力控制理论与实践[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 1-5.
- [2] 姜福兴, 魏全德, 姚顺利, 等. 冲击地压防治关键理论与技术分析[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 6-9.
- [3] 潘俊峰, 毛德兵, 蓝航, 等. 我国煤矿冲击地压防治技术研究现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 21-25.
- [4] 何满潮, 王炯, 孙晓明, 等. 负泊松比效应锚索的力学特性及其在冲击地压防治中的应用研究[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2): 214-221.
- [5] 蓝航. 浅埋煤层冲击地压发生类型及防治对策[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(1): 9-13.

(下转第 27 页)

孔进行了观测, 该孔垮落带高度约 171.32 m, 与覆岩内部位移监测结果(166 m) 较吻合。

由地表下沉曲线可知: ①地表移动变形主要集中在采空区上方地表, 采区边界附近下沉量迅速减小, 采空区外侧地表移动变形很小; ②地表移动变形曲线形态总体上以采空区为中央, 近似呈对称或反对称分布, 出现了台阶状下沉现象; ③倾向观测线上, 受开采影响, 地表变形值逐渐增大, 并在一定时期后其变形值趋于稳定; ④走向观测线上, 地表移动与变形曲线(最大值的位置) 随工作面的推进而向前平移, 并逐渐趋于稳定。

## 4 结 论

1) 阳湾沟煤矿 6204 综放工作面现场实测表明, 基于孔间地震探测技术、地面钻孔电视窥视技术、覆岩内部位移监测技术和地表沉降监测技术等 4 种监测技术相结合的综合监测技术, 可以为确定裂隙带高度、判定垮落带和裂隙带的离层情况、掌握地表移动变形规律等方面提供技术支撑。

2) 在裂隙发育高度判定中, 孔间地震探测和地面钻孔电视窥视监测具有很高的吻合性, 其确定的裂隙发育高度分别位于 110、106 m 处。

3) 覆岩内部位移监测和地表沉降监测一体化的监测技术揭示了覆岩自下而上的破坏特征, 对于今后研究浅埋深、厚松散层下综采工作面的覆岩变形和破坏规律提供了一种监测技术与手段。

### 参考文献:

- [1] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [2] 宋振骐. 实用矿山压力控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989.
- [3] 姜福兴, 张兴民, 杨淑华, 等. 长壁采场覆岩空间结构探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 979-984.
- [4] 侯志杰. 浅埋煤层关键层研究[J]. 煤炭学报, 1999, 24(4): 359-363.
- [5] 黄庆享, 钱鸣高, 石平五. 浅埋煤层采场基本顶周期来压的结构分析[J]. 煤炭学报, 1999, 24(6): 581-585.
- [6] 杨治林. 浅埋煤层长壁开采顶板结构稳定性分析[J]. 矿山压力与顶板管理, 2005, 22(2): 7-9.
- [7] 任艳芳, 刘江, 齐庆新. 薄基岩浅埋深长壁工作面覆岩结构运动特征[J]. 煤矿开采, 2011, 16(3): 35-37.
- [8] 李佩全, 白汉营, 马杰, 等. 厚松散层薄基岩综采面覆岩破坏高度发育规律[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(1): 35-37.
- [9] 刘贵, 张华兴, 刘治国, 等. 河下综放开采覆岩破坏发育特征实测及模拟研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(6): 987-993.
- [10] 尹希文, 常运飞. 浅埋煤层综放工作面覆岩破坏规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(S1): 22-25.
- [11] 王振伟, 张青波, 刘天苹, 等. 地下开采引起覆岩破坏的三维数值模拟研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(S1): 121-124.
- [12] 王文学, 隋旺华, 董青红, 等. 松散层下覆岩裂隙采后闭合效应及重复开采覆岩破坏预测[J]. 煤炭学报, 2013, 38(10): 1728-1734.
- [13] 张宏伟, 朱志洁, 霍利杰, 等. 特厚煤层综放开采覆岩破坏高度[J]. 煤炭学报, 2014, 39(5): 816-821.
- [14] 张平松, 刘盛东, 舒玉峰. 煤层开采覆岩破坏发育规律动态测试分析[J]. 煤炭学报, 2011, 36(2): 217-222.
- [15] 张玉军. 基于固流耦合理论的覆岩破坏特征及涌水量预计的数值模拟[J]. 煤炭学报, 2009, 34(5): 610-613.
- [16] 李文, 胡智. 薄基岩浅埋旺采工作面覆岩运移特征研究[J]. 煤炭工程, 2013(2): 62-68.
- [17] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [18] 姜福兴, 潘一山, 姜福兴, 等. 我国煤炭开采中的冲击地压机理和防治[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2): 205-213.
- [19] 潘一山. 冲击地压发生和破坏过程研究[D]. 北京: 清华大学, 1999: 101-116.
- [20] 齐庆新, 高作志, 王升. 层状煤岩体结构破坏的冲击矿压理论[J]. 煤矿开采, 1998, 2(2): 14-17.
- [21] 齐庆新, 刘天泉, 史元伟. 冲击地压的摩擦滑动失稳机理[J]. 矿山压力与顶板管理, 1995, 12(4): 174-177.
- [22] 潘一山, 王来贵, 章梦涛, 等. 断层冲击地压发生的理论与试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(6): 642-649.
- [23] 姜福兴, 苗小虎, 王存文, 等. 构造控制型冲击地压的微地震监测预警研究与实践[J]. 煤炭学报, 2010, 35(6): 900-903.
- [24] 姜福兴, 刘伟建, 叶根喜, 等. 构造活化的微震监测与数值模拟耦合研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(S1): 3590-3597.
- [25] 赵扬锋, 潘一山, 于海军. 基于剪切梁层间失效模型的断层冲击地压分析[J]. 岩土力学, 2007, 9(8): 92-97.
- [26] 潘岳, 刘英, 顾善发. 矿井断层冲击地压的折迭突变模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 39-44.
- [27] 潘岳, 解金玉, 顾善发. 非均匀围压下矿井断层冲击地压的突变理论分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(3): 132-137.
- [28] 王学滨, 潘一山, 海龙. 基于剪切应变梯度塑性理论的断层岩爆失稳判据[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(4): 77-81.
- [29] 王来贵, 潘一山, 梁冰, 等. 矿井不连续面冲击地压发生过程分析[J]. 中国矿业, 1996, 5(3): 61-64.
- [30] 李志华, 袁林名, 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(S0): 68-73.
- [31] 李志华, 袁林名, 牟宗龙, 等. 断层对顶板型冲击矿压的影响[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(2): 154-158.

(上接第 9 页)

- [6] 姜耀东, 潘一山, 姜福兴, 等. 我国煤炭开采中的冲击地压机理和防治[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2): 205-213.
- [7] 潘一山. 冲击地压发生和破坏过程研究[D]. 北京: 清华大学, 1999: 101-116.
- [8] 齐庆新, 高作志, 王升. 层状煤岩体结构破坏的冲击矿压理论[J]. 煤矿开采, 1998, 2(2): 14-17.
- [9] 齐庆新, 刘天泉, 史元伟. 冲击地压的摩擦滑动失稳机理[J]. 矿山压力与顶板管理, 1995, 12(4): 174-177.
- [10] 潘一山, 王来贵, 章梦涛, 等. 断层冲击地压发生的理论与试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(6): 642-649.
- [11] 姜福兴, 苗小虎, 王存文, 等. 构造控制型冲击地压的微地震监测预警研究与实践[J]. 煤炭学报, 2010, 35(6): 900-903.
- [12] 姜福兴, 刘伟建, 叶根喜, 等. 构造活化的微震监测与数值模拟耦合研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(S1): 3590-

3597.

- [13] 赵扬锋, 潘一山, 于海军. 基于剪切梁层间失效模型的断层冲击地压分析[J]. 岩土力学, 2007, 9(8): 92-97.
- [14] 潘岳, 刘英, 顾善发. 矿井断层冲击地压的折迭突变模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 39-44.
- [15] 潘岳, 解金玉, 顾善发. 非均匀围压下矿井断层冲击地压的突变理论分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(3): 132-137.
- [16] 王学滨, 潘一山, 海龙. 基于剪切应变梯度塑性理论的断层岩爆失稳判据[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(4): 77-81.
- [17] 王来贵, 潘一山, 梁冰, 等. 矿井不连续面冲击地压发生过程分析[J]. 中国矿业, 1996, 5(3): 61-64.
- [18] 李志华, 袁林名, 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(S0): 68-73.
- [19] 李志华, 袁林名, 牟宗龙, 等. 断层对顶板型冲击矿压的影响[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(2): 154-158.