

# 急倾斜特厚煤层开采冲击地压发生过程监测与分析

蓝航<sup>1,2</sup>, 杜涛涛<sup>1</sup>

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013; 2. 中国煤炭学会 岩石力学与支护专业委员会, 北京 100013)

**摘要:**为解决急倾斜特厚煤层水平分段开采时的冲击地压问题,采用微震监测系统,确定了两煤层间岩柱中产生的矿震是诱发巷道冲击地压的力源,结合具有高采样频率的冲击地压监测系统进行了冲击震源震波及其响应信号的实测,得出急倾斜特厚两煤层之间岩柱诱发冲击地压的震源信号具有距离工作面近、波形呈现出明显的P波、S波,延时较长,能量较大等特征;震源产生的动载使得煤体应力和锚杆受力瞬间升高,距离震源越近,引起煤体应力变化的幅度越大,煤体垂向应力较水平应力升高更为明显,冲击发生前至少1 h内,煤体应力就已开始发生变化,表现出了一定的冲击前兆特征。研究表明,通过震波及其响应信号实测可分析冲击地压发生过程。

**关键词:**急倾斜特厚煤层;冲击地压;微震监测;矿震

中图分类号:TD324 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2016)06-0078-05

## Monitoring and analysis of rock burst process during steeply inclined and ultra thick seam mining

Lan Hang<sup>1,2</sup>, Du Taotao<sup>1</sup>

(1. Department of Coal Mining & Designing, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China;

2. Rock Mechanics & Supporting Professional Committee, China Coal Society, Beijing 100013, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of rock burst occurred during steeply inclined and ultra thick seam horizontal-slicing mining, the micro seismic monitoring system was used to confirm the mine earthquake induced by rock column between two seam, which was the force source to make rock burst occurred. The shock wave and response signal were measured by rock burst monitoring system with high sampling frequency, and the features were obtained that seism location was near to coal mining face, seism waves took on obvious P wave and S wave characteristic, the wave delay was longer, and the energy was large. The dynamic load resulting from seism made coal body stress and anchored bolt force increase instantaneously, coal body stress variation range was larger with close to the seism distance. The coal body vertical stress variation was more obvious than horizontal stress variation. Within 1 hour before mine seism occurred, coal stress began to varied, which showed rock burst precursor characteristic. The results showed that monitoring seismic wave and its response signal could analyze rock burst process.

**Key words:** steeply inclined and ultra thick coal seam; rock burst; micro seismic monitoring; mine earthquake

## 0 引 言

随着我国煤矿开采深度和强度不断增加,冲击地压灾害事故在近年来开始有大幅上升的趋势<sup>[1]</sup>。对冲击地压机理的研究除了从结构失稳、能量失衡等方面进行理论探讨外,随着现代煤岩监测技术的发展,

针对冲击地压的各种监测设备已开始应用到我国冲击地压矿井中。冲击地压监测技术的发展对于研究冲击地压致灾机理及防治提供了必要的手段。目前常用的直接进行冲击地压监测的设备有电磁辐射仪、地音及微震监测系统<sup>[2-6]</sup>。它们都属于非接触式探测,优点是可以进行实时在线监测。但目前冲击地压

收稿日期:2016-03-20;责任编辑:代艳玲 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2016.06.012

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51304116,51574149)

作者简介:蓝航(1978—),男,湖北利川人,研究员,博士。Tel:010-84263121, E-mail: hlan527@163.com

引用格式:蓝航,杜涛涛.急倾斜特厚煤层开采冲击地压发生过程监测与分析[J].煤炭科学技术,2016,44(6):78-82.

Lan Hang, Du Taotao. Monitoring and analysis of rock burst process during steeply inclined and ultra thick seam mining[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(6): 78-82.

监测设备的使用基本还停留在对监测数据进行统计分析的水平上,大多反映的是随采掘活动变化而变化的煤岩能量聚集及释放状态。冲击地压是一种受开采活动影响而导致的一种特殊矿压显现,从孕育到发生可认为是一个由量变引起质变的关联过程,与其孕育阶段相比,冲击地压发生过程十分短暂。目前常规的矿压监测设备都属于接触式探测,可以用来监测冲击地压在孕育过程中各种矿压参数的状态和变化<sup>[7-9]</sup>。目前常用的矿压监测手段主要有支架压力监测、煤体应力监测、围岩位移监测、锚杆锚索受力监测等。在安装有些矿压监测设备的采掘工作面附近发生冲击地压时,必然会使相关区域的监测变量发生急剧变化,但这些监测设备的设计都是基于常规矿压监测目的,采样间隔时间大都以数十秒甚至分钟计,相对于冲击地压发生的瞬间,其采样频率太低,难以满足冲击地压发生过程各变量监测的需要。而微震设备能对矿震进行实时监测,正是由于其具有很高的采样频率。笔者针对急倾斜特厚煤层水平分段开采条件,采用微震监测设备对井下矿震信号特征进行分析,结合具有高采样频率(毫秒级)的矿压监测设备,监测冲击地压发生瞬间矿压参数的变化,通过对急倾斜特厚煤层冲击地压的发生过程进行分析,探讨冲击震源与响应的关系,以期冲击地压机理的研究提供实测数据。

### 1 微震事件与冲击地压关系

某矿急倾斜特厚煤层采用水平分段综放开采方法,正在开采+475 m水平的B3+6工作面,下部为+450 m水平准备工作面,尚未回采。B3+6煤层赋存稳定,为单斜构造,构造简单。没有大、中型断层和褶皱,也无岩浆侵入。

急倾斜特厚煤层以其特殊的地质赋存条件和开采技术条件,在较浅的采深就开始发生较严重的冲击地压显现。2014年3月24日5时12分,在该矿+475 m水平B3+6工作面的B3巷道发生1起冲击地压显现,冲击造成B3巷1120—1150 m区域底鼓变形,主要集中在B3巷南帮侧,平均底鼓量为400 mm;1120—1150 m区域内有5架U型钢支架受到不同程度的变形,其中3副支架钢箍崩断,冲击同时伴随巨大声响。

微震监测台站的布置如图1所示,形成了从地表+800 m至井下+400 m,高差达到400 m的立体监测网络。图1中,1—2号为地表传感器;3号为

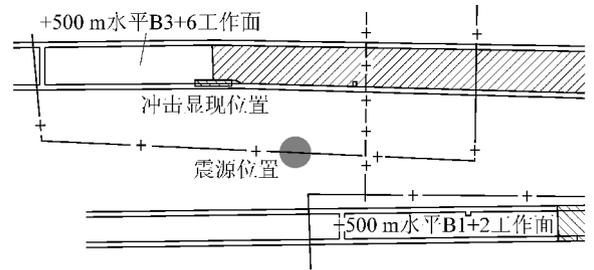
+600 m传感器;4—7号、9—10号为+500 m水平传感器;8号、11—15号为+475 m水平传感器;16号为+400 m水平传感器。



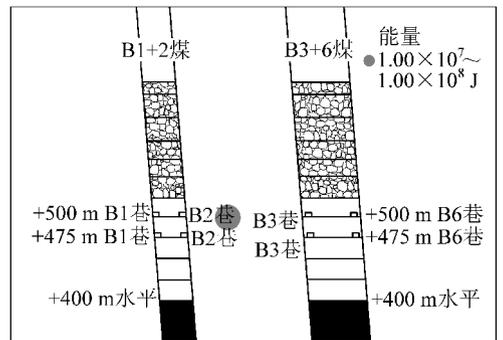
图1 微震监测台站布置

Fig. 1 Micro-seismic stations layout

冲击地压发生时,微震系统监测到岩柱活动产生的微震事件,通过定位和能量计算,该事件发生在B2和B3煤层之间的岩柱,走向距B3+6工作面76 m,倾向距B3巷55 m,倾向距B2巷44 m,能量为 $2 \times 10^7$  J,冲击显现和震源不在同一位置,冲击显现位置在+475 m水平B3巷上覆B3+6工作面前后15 m区域,如图2所示。



(a) 平面分布



(b) 剖面分布

图2 “3·24”冲击事件震源定位结果

Fig. 2 Seismic source focus location of “3·24” rock burst

文献[10]分析了急倾斜特厚两煤层同采发生冲击地压的致灾机理,得出两煤层中间的岩柱在自重和水平地应力作用下产生弯曲后对开采水平及以下的煤体产生撬动作用,煤体产生应力及能量集中从而诱发冲击地压。本次冲击地压显现地点及震源定位表明,B2煤层和B3煤层之间的岩柱是造成本次冲击的主要危险源,这也证实了文献[10]的结论。“3·24”冲击事件发生前后微震

事件日释放能量与日释放次数统计曲线如图3所示。由图3可知,冲击发生前,微震事件日释放能量突然升高,表明围岩活动增强,从3月1日—16日,微震日释放能量始终保持较低水平,且日释放次数相对较高,冲击显现发生前一周,即从3月17日起,微震日释放能量变化剧烈,日释放能量突然升高,且维持在较高的水平,而日释放次数却开始明显下降,并维持在较低水平,表征高能量围岩活动程度增加。

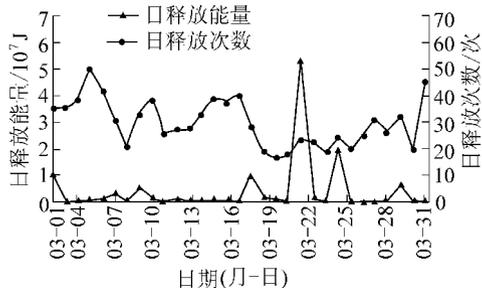


图3 “3·24”冲击事件发生前后微震统计

Fig. 3 Micro-seism statistics before and after “3·24” rock burst

## 2 冲击地压发生过程分析

### 2.1 高采样频率监测设备安装

为进一步分析急倾斜特厚两煤层间岩柱诱发冲击地压的过程,采用具有毫秒级采样功能的KJ21冲击地压监测系统捕捉冲击地压发生瞬间各监测变量的变化情况。根据监测目的与+475 m水平工作面位置,将KJ21冲击地压监测系统安装在距离巷道开口1 045 m的煤门位置。如图4所示,安装6个钻孔应力计,编号分别为1—6,用风煤钻及配套麻花钻杆施工,钻头直径42 mm。距离煤门右帮5 m开始施工2号孔,孔深5 m;1号孔深3 m,与2号孔间距2 m;3号孔深5 m,距B3巷帮8 m;4号孔深5 m,与3号孔间距3 m;5号孔深5 m,距B3巷帮8 m;6号孔深5 m,与5号孔间距3 m,各孔距离底板1.5 m。煤门的5、6号钻孔应力计和煤门的3、4号煤体应力计,用于监测水平方向应力。B3巷安装的1、2号钻孔应力计用于监测垂直方向应力。安装2个锚杆测力计,编号分别为I、II, I号锚杆测力计安装在1 045 m煤门中,距B3巷帮8 m; II号锚杆测力计安装在B3巷中,距1 045 m煤门右帮6 m。

### 2.2 冲击地压震源及响应监测分析

2015年10月24日03时53分,微震监测系统监测到1次强烈矿震,造成+475 m水平B3+6综采

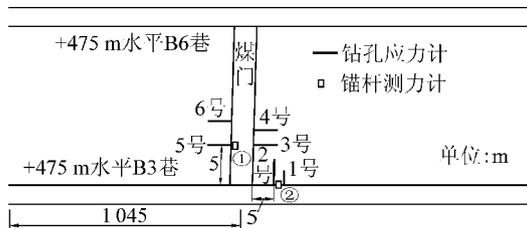


图4 KJ21冲击地压监测系统布置

Fig. 4 KJ21 rock burst monitoring system layout

工作面发生冲击地压显现。共有8个传感器监测到该事件。经定位,震源在B3煤层底板岩层,位于工作面后方11 m的煤层底板深度27 m处,震源与KJ21冲击地压多参量监测区域水平相距181 m,震源埋深为393 m,震级2.1级(能量 $3.4 \times 10^8$  J),震源与工作面位置相对关系如图5所示。

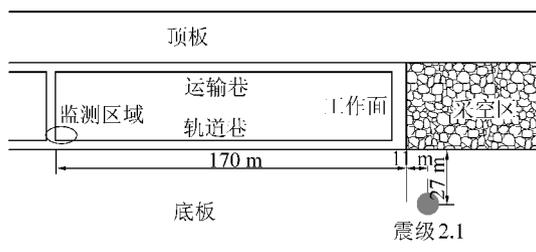


图5 矿震震源与工作面位置关系示意

Fig. 5 Location relationship between mine seism and coal mining face

微震系统监测到的本次矿震波形如图6所示。

由图6可知,震源仍然位于B3煤层和B2煤层之间的岩柱中,本次震动的波形较复杂,说明震动波从岩柱中分别穿过岩体和煤体到达微震传感器,经过多次反射和折射,表现出明显的P波、S波特征,延时达到1 200 ms以上。

KJ21煤体应力监测结果如图7所示,6个钻孔应力计中有4个监测到本次震动引起的应力变化。根据监测曲线可知,在冲击地压发生时,煤体应力瞬间升高,1、2、4、5号钻孔应力计监测到煤体应力瞬间分别增大1.0、0.5、0.1、0.1 MPa,同时发现动载作用到煤体上引起垂向的应力升高明显(1、2号钻孔应力计)。因此,距离震源越近,引起煤体应力的变化越剧烈。根据现场冲击地压显现情况可知,距离震源近的区域,冲击地压显现剧烈,破坏严重。矿震发生时,冲击显现位置的煤体应力达到或超过冲击地压发生临界应力条件时,就会发生冲击地压显现;矿震发生后,煤体应力大都出现不同程度降低,表明煤体应力得到了释放。

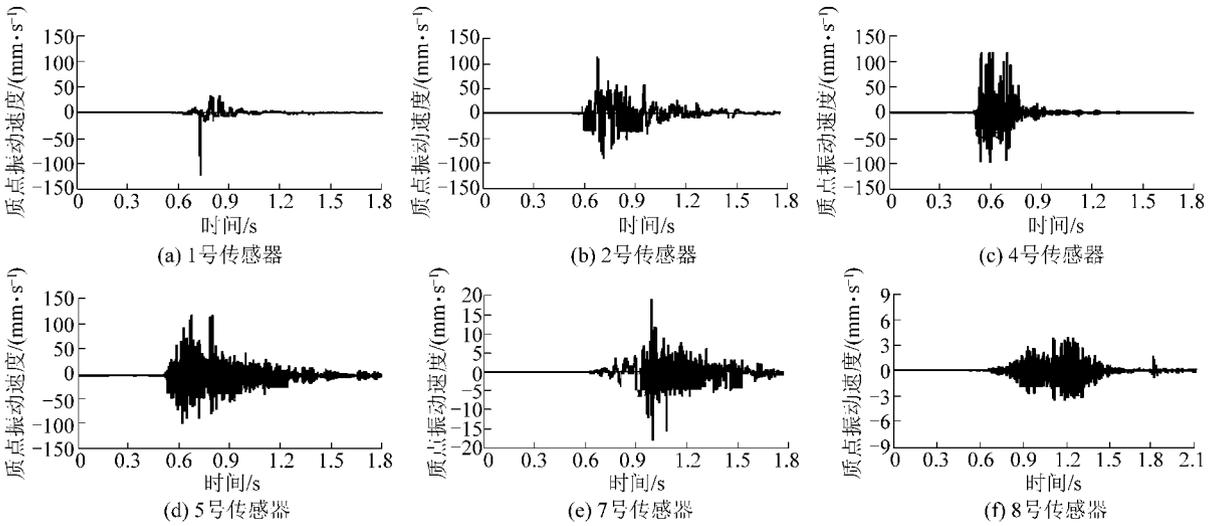


图6 矿震震动波形

Fig. 6 Micro-seism waves

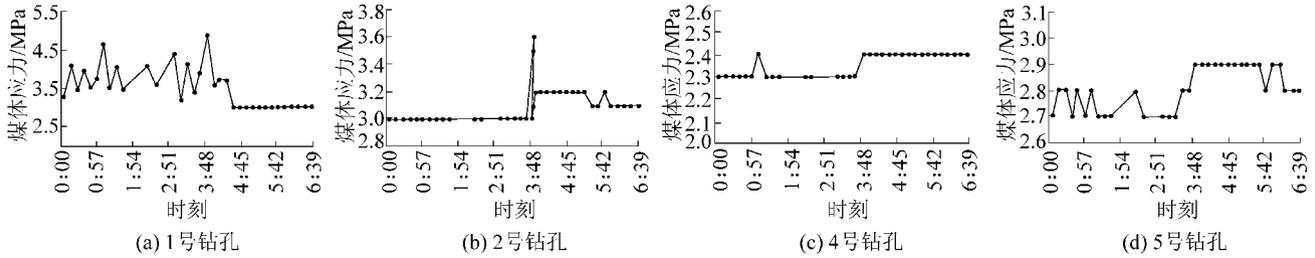


图7 煤体应力计监测结果

Fig. 7 Coal stress monitoring results

由图7a可知,冲击地压发生前,1号钻孔应力计的应力发生了剧烈变化,应力变化最大为1.25 MPa,发生在冲击前不到3 h内。由图7d可知,冲击地压发生前,5号钻孔应力计多次出现煤体应力变化幅度在0.1 MPa内波动,最近的变化时间距离冲击不到1 h。矿震发生时刻,煤体应力及时响应,煤体应力变化过程如图8所示。图8显示矿震瞬间煤体应力呈现出突然降低、升高、再降低的过程,最大变化值达到0.6 MPa,煤体应力的变化揭示了动载对煤体应力影响的过程。由此可以判断在冲击地压显现的区域,矿震使煤体应力瞬间升高超过煤体的极限强度,煤体自身无法消耗掉升高的应力而引起冲击地压显现,而煤体自身抵抗一部分载荷,另一部分载荷由支护体承担。

该段巷道采用锚索网和U型钢棚联合支护,利用KJ21冲击地压监测系统对锚杆受力进行了监测,监测结果发现,矿震引起了锚杆受力瞬间增加,如图9所示。图9a显示距离震源较近的采掘巷道支护体在强矿震的作用下,受力变化较大,总体达到12 kN。图9b显示矿震瞬间1号锚杆受力变化达到5

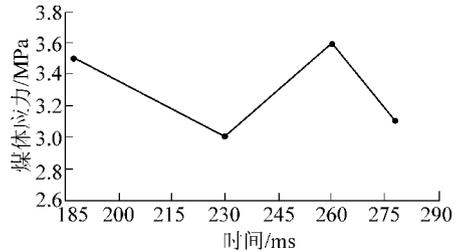


图8 矿震时煤体应力变化

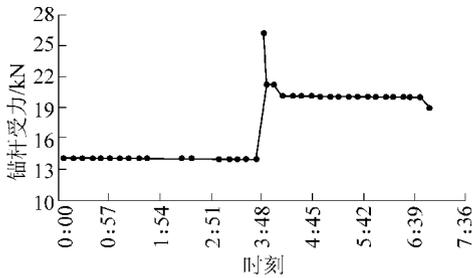
Fig. 8 Coal stress variation at the moment of mine seism

kN。说明在冲击地压发生前,锚杆受力已经增加了7 kN。

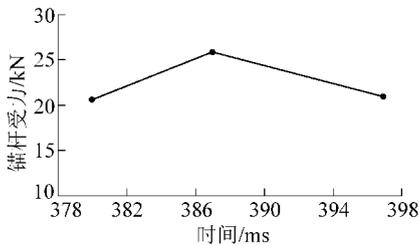
综上所述,矿震会引起煤体应力突然升高,造成锚杆受力增大,而且距离震源越近,造成的变化越剧烈,当煤体应力升高到一定程度,煤体应力要突然释放,当锚杆(索)、U型钢支护抵御强度不能完全消耗释放的能量时,会表现为巷道的突然急剧变形与冲击地压显现。

### 3 结 论

1)微震监测表明,两煤层间岩层活动是急倾斜特厚煤层冲击地压的主要诱发因素,围岩活动经历



(a) 矿震前后1号锚杆受力



(b) 矿震瞬间锚杆受力变化过程

图9 矿震发生前后锚杆受力曲线

Fig. 9 Anchored bolt force variation before and after mine seism

高发期—平静期—高发期的周期性特征,在平静期围岩处于积累能量状态,当能量积聚到一定程度时,容易突然释放能量,诱发冲击显现。

2) 急倾斜特厚两煤层之间岩柱诱发冲击地压的震源信号具有距离工作面近、波形呈现出明显的P波、S波,延时较长、能量较大等特征。

3) 震源产生的动载使得煤体应力和锚杆受力瞬间升高,距离震源越近,引起煤体应力的变化幅度越大,煤体垂向应力较水平应力升高更明显,冲击发生前至少1 h内,煤体应力就已开始发生变化,表现出了一定的冲击前兆性。

#### 参考文献 (References) :

[1] 蓝航,陈东科,毛德兵.我国煤矿深部开采现状及灾害防治分析[J].煤炭科学技术,2016,44(1):39-46.  
Lan Hang, Chen Dongke, Mao Debing. Current status of deep mining and disaster prevention in China [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 39-46.

[2] 曹安业,窦林名,秦玉红,等.微震监测冲击矿压技术成果及其展望[J].煤矿开采,2007,12(1):20-23.

Cao Anye, Dou Linming, Qin Yuhong, *et al.* Technical products of micro-seism monitoring rock-bursting and its prospect [J]. Coal Mining Technology, 2007, 12(1): 20-23.

[3] 邓志刚,任勇,齐庆新.关于应用地音监测法防治冲击地压的初步探讨[C]//2008年全国冲击地压研讨会暨2008年全国煤矿安全、高效、洁净开采技术新进展研讨会论文集,徐州:中国矿业大学出版社,2008.

[4] 贺虎,窦林名,巩思园,等.冲击矿压的声发射监测技术研究[J].岩土力学,2011,34(4):1263-1268.  
He Hu, Dou Linming, Gong Siyuan, *et al.* Study of acoustic emission monitoring technology for rockburst [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 34(4): 1263-1268.

[5] 任勇,夏永学,张秀丰.基于地音活动规律的冲击危险性评价技术[J].煤矿开采,2010,15(6):90-95.  
Ren Yong, Xia Yongxue, Zhang Xiufeng. Evaluation technology of rock-burst danger based on earth acoustic data [J]. Coal Mining Technology, 2010, 15(6): 90-95.

[6] 窦林名,何学秋,王恩元.冲击矿压预测的电磁辐射技术及应用[J].煤炭学报,2004,29(4):396-399.  
Dou Linming, He Xueqiu, Wang Enyuan. Electromagnetic emission technique of monitoring rock burst and its application [J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(4): 396-399.

[7] 尹希文,王旦旦,付东波.高精度支架工作阻力监测系统在寺河矿的应用[J].煤炭科学技术,2007,35(9):22-25.  
Yin Xiwen, Wang Dandan, Fu Dongbo. Application of high accuracy monitoring system on working resistance of support in Sihe Mine [J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(9): 22-25.

[8] 付东波,齐庆新,秦海涛,等.采动应力监测系统的设计[J].煤矿开采,2009,14(6):13-16.  
Fu Dongbo, Qi Qingxin, Qin Haitao, *et al.* Design for mining stress monitoring system [J]. Coal Mining Technology, 2009, 14(6): 13-16.

[9] 凌标灿,蒋伟,丁后稳,等.松软煤层综放面顶底板采动应力分布规律研究[J].工程地质学报,2005,13(2):160-163.  
Ling Biaocan, Jiang Wei, Ding Houwen, *et al.* Distribution of induced stresses in roof and floor of the seam by longwall top-coal caving in soft coal [J]. Journal of Engineering Geology, 2005, 13(2): 160-163.

[10] 蓝航.近直立特厚两煤层同采冲击地压机理及防治研究[J].煤炭学报,2014,39(S2):308-315.  
Lan Hang. Rock-burst mechanism and prevention in mining sub-erect and extremely-thick coal seam with horizontal slicing method [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(S2): 308-315.