

文章编号: 1000-7598 (2011) 04-1262-07

冲击矿压的声发射监测技术研究

贺 虎¹, 窦林名¹, 巩思园¹, 周 澎², 薛再君², 何 江¹

(1. 中国矿业大学 矿业工程学院 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221116;

2. 甘肃华亭煤电股份有限公司 华亭煤矿, 甘肃 华亭 744100)

摘 要: 煤岩体的破坏伴随着声发射现象, 通过分析煤岩体损伤破坏与声发射之间的耦合关系, 论述了利用声发射评价冲击矿压危险的可行性, 提出了冲击矿压危险性评价的声发射指标的表达式、临界指标的确定以及危险等级的划分。实验室测试了某冲击矿压矿井煤样破坏过程的声发射特征, 为现场应用提供参照。最后分析了波兰 ARES 声发射系统在冲击矿压矿井中的应用效果与存在的问题。

关 键 词: 冲击矿压; 声发射; 损伤; 危险性评估

中图分类号: TD 324

文献标识码: A

Study of acoustic emission monitoring technology for rockburst

HE Hu¹, DOU Lin-ming¹, GONG Si-yuan¹, ZHOU Peng², XUE Zai-jun², HE Jiang¹

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

2. Huating Coal Mine, Gansu Huating Coal-Electricity Stock-Corporation, Huating, Gansu 744100, China)

Abstract: The feasibility of the monitoring technology of acoustic emission (AE) accompanying the fracture of coal and rock mass is discussed based on the analysis of coupling relationship between the damage failure and acoustic emission; and then the expression of rockburst risk assessment using acoustic emission index and its determination methods as well as classification of risk rank are put forward. The acoustic emission characteristics of coal samples under uniaxial compression are tested and obtained in the laboratory in order to provide reference for on-site application. Finally, the effects and limitations of Polish ARES acoustic emission system at rockburst mine hazard are analyzed.

Key words: rockburst; acoustic emission; damage; risk assessment

1 引 言

随着我国煤矿逐步进入深部开采, 以冲击矿压为代表的煤岩动力灾害, 以及其突发性和巨大的破坏性, 对煤矿安全高效生产构成极大威胁, 成为国内外研究的重点与难点^[1]。冲击矿压的发生机制极复杂, 导致其有效监测和预测一直没有较大突破^[2]。

随着科学技术的进步, 各学科之间相互渗透, 先进的地球物理学监测方法与手段被引用到煤矿冲击矿压的监测与预测中, 尤其是利用岩体破裂过程中的声发射、微震现象对岩体破坏过程连续监测, 评价岩体稳定性与危险性, 取得了一定的成果^[3]。岩体声发射是岩体破坏过程中由于弹性能的释放产

生的弹性波^[4]。研究表明, 声发射与岩石破坏过程具有非常好的相关性, 与岩体内部的损伤有直接关系, 声发射累计量是岩体损伤程度的直接表现。关于岩体声发射特性规律, 国内外学者已经做了大量工作。李庶林、付小敏^[5]等对单轴压缩条件下的声发射特征进行了研究; 陈忠辉^[6]等研究了岩石声发射的围压效应; 张茹^[7]等模拟了地下工程开挖过程中岩体受力变化, 通过室内试验研究了多级加载下的声发射特征, 对于声发射监测巷道围岩稳定性具有一定的指导作用; 苏承东等^[8]系统研究了单轴、三轴和三轴卸围压条件下煤样变形破坏过程声发射规律; 赵兴东^[9]等基于声发射定位技术对岩石裂纹动态演化过程进行了研究; Chang^[10]研究了三维加

收稿日期: 2010-03-01

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 资助项目 (No. 2010CB26805, No. 2005CB221501); 国家“十一五”科技支撑计划资助项目 (No. 2006BAK03B06, No. 2006BAK04B02); 国家自然科学基金资助项目 (No. 50490273, No. 50474068)。

第一作者简介: 贺虎, 男, 1985 年生, 博士, 主要从事矿山压力、冲击矿压、采矿地球物理等方面的研究。E-mail: hehu_cumt@126.com

载条件下岩石的损伤张量分析。国内外研究工作多是基于实验室小尺寸煤岩样, 研究在不同应力状态、加载方式下煤岩体破坏过程声发射事件的时空规律, 但这些规律对于现场应用的意义如何则论述较少。声发射技术的现场应用方面, 多以地应力测试、边坡稳定性监测为主^[11-13]。由于受到仪器设备、信号识别等多种因素制约, 利用声发射系统对煤矿煤岩动力灾害进行监测的应用还较少, 是今后研究的难点与热点问题。本文利用某冲击矿压煤矿装备的波兰 ARES 声发射监测系统, 探讨声发射技术在现场实践中监测煤岩体破坏、评估动力危险性的作用与不足, 以期声发射技术的应用与改进提供参考。

2 声发射评价冲击危险机制

2.1 声发射与煤岩体破坏的耦合规律

由煤岩体声发射产生机制可知, 声发射与岩石受载破坏过程中内部微裂纹的产生与扩展(损伤)直接相关, 因此, 岩石声发射与岩石损伤参量存在必然联系。一般监测到的声发射分布也是一种统计分布规律, 可建立损伤与声发射之间的关系^[14]。

设单位面积岩体破坏时的声发射率为 n_w , 则当破坏面积为 dA 时, 声发射事件数为

$$d\Omega = n_w dA \quad (1)$$

当整个面积 A_0 破坏时的声发射事件累积量为 Ω_0 , 则有

$$d\Omega = \Omega_0 dA / A_0 \quad (2)$$

产生应变 $d\varepsilon$ 对应的破坏面积 dA 可表示为

$$dA = A_0 \Phi(\varepsilon) d\varepsilon \quad (3)$$

式中: $\Phi(\varepsilon)$ 为岩体微元的统计分布函数, 一般采用威布尔分布, 则有

$$d\Omega = \Omega_0 \Phi(\varepsilon) d\varepsilon \quad (4)$$

故应变为 ε 时声发射的累积量为

$$\Omega = \Omega_0 \int_0^\varepsilon \Phi(x) dx \quad (5)$$

由损伤变量的定义不难得出

$$D = \frac{\Omega}{\Omega_0} \quad (6)$$

可以看出, 煤岩体的损伤程度可利用声发射的累积量表示, 利用声发射相关参数可评价煤岩体的稳定性以及煤岩体发生动力失稳的前兆信息。

2.2 声发射评价冲击动力危险的原理

由以上分析可知, 煤岩体的损伤破坏程度与声发射累积量成正相关, 当应变 $\varepsilon(t_1)$ 增加至 $\varepsilon(t_2)$ 时有

$$D(t_2) - D(t_1) = \sum \Delta D = [N(t_2) - N(t_1)] / N_t =$$

$$\Delta N(t) / N_t, \text{ 当 } \Delta t \rightarrow 0 \text{ 时, } D'(t) \propto N(t) \quad (7)$$

式中: $D(t)$ 为 t 时刻煤岩体的损伤程度; $N(t)$ 为 t 时刻煤岩体声发射事件累积量。

研究表明, 煤岩体在破坏失稳前裂纹会呈现非稳定的加速扩展, 因此, 裂纹的加速非稳定扩张可作为煤岩体破坏的前兆信息, 由式(7)确定了 t 时刻岩石在载荷影响下实际破坏的危险程度, 即声发射与煤岩体破坏过程和岩石破坏危险之间的关系, 可见能利用声发射参数变化规律表示这种前兆。在确定了冲击危险的声发射临界值后, 即利用上式进行冲击危险性的评价与预测。定义危险程度指标为

$$Z(t) = \frac{D(t) - D_0}{D_1 - D_0} = \frac{N(t) - N_0}{N_1 - N_0} \quad (8)$$

式中: N_0 为声发射事件初始值; N_1 为声发射事件临界值; D_0 为煤岩体损伤程度初始值; D_1 为煤岩体损伤程度临界值。

利用 $Z(t)$ 对冲击危险性进行不同级别划分, 有两种危险程度划分方法, 临界值法与偏差法。临界值法即确定一个发生冲击危险的临界指标 N_1 , 以当前的声发射参数 $N(t)$ 与临界值的比值确定危险性, 冲击危险临界值可通过实验室测试和现场观测确定, 利用临界值法时 $0 \leq Z(t) \leq 1$ 。实践表明, 由于工作面开采过程中地质条件的变化, 声发射参数也会随之改变, 因此, 临界值的确定相对较为困难。偏差值法是指以现场一段时间内声发射参数的平均值 $\bar{N}_T$ 为标准, 对于某个单位时间 T , 确定相对于 $\bar{N}_T$ 指标的偏差(百分比)

$$\mu_d(Z(t)) = \frac{D(t) - D_0}{\bar{D}_1 - D_0} = \frac{N(t) - \bar{N}_T}{\bar{N}_T} \quad (9)$$

依据式(9)可对危险等级进行划分。如表1所示, 以小时为基本时间单位, 利用偏差值的变化将危险等级划分为 a 、 b 、 c 、 d 共4级。其中 a 表示无危险, b 表示弱危险, c 表示中等危险, d 表示强危险。

表 1 小时偏差评价冲击危险准则
Table 1 Rockurst risk evaluation criterion based on hours deviation

持续时间 /h	偏差值 μ_d /%			
	<100	100~200	200~300	>300
1	a	a	a	c
2	a	a	a	c
3	a	a	b	d
4	a	a	c	d
5	a	b	c	d
6	a	b	c	d
7	a	b	c	d
8	a	b	c	d

对于连续推进的采掘工作面, 考虑某一固定点或者采掘面推进过程中某运动点的声发射变化意义并不大。因为采掘工作是向着未破裂的煤体不断推进, 工作面前方不断经历着危险性增加和向未破坏区域推进的两个循环过程。工作面的推进速度和煤岩体破裂速度之间存在着一定的相关性, 通过控制采掘速度可以使煤岩体破裂速度处在一个相对平衡状态, 此平衡状态对应着一个稳定的声发射参数变化, 由煤岩体微元破坏的概率假设可知, 声发射较小的变化(增加或减小)也是一个概率事件, 表明煤岩体破坏状态(危险状态)只是较小的变化。但声发射参数较大变化或长时间持续变化, 则说明煤岩体向另一个状态发展, 偏离或趋向平衡(危险性增加或减弱)。因此, 利用声发射偏差值的持续变化特征, 可预测下一阶段煤岩体的危险状态。以表 1 中偏差值所对应的危险状态为基础, 制定以工作班(1 工作班等于 8 h 或 6 h)为单位的冲击危险评价与预测准则, 如表 2 所示。

表 2 偏差变化评价冲击危险准则
Table 1 Rockurst risk evaluation criterion based on variation of deviation

4 班前	3 班前	2 班前	1 班前	危险性
		$\mu_d > 100\%$		
	$\mu_d > 100\%$	$\mu_d > 100\%$	下降	危险等级增加
	$\mu_d > 100\%$	下降		
$\mu_d > 100\%$	$\mu_d > 100\%$	下降		

3 煤岩样声发射特征试验

煤岩物理力学性质不同, 其破坏过程中声发射的特征规律也有所不同, 利用声发射技术进行冲击危险监测评估前, 要掌握煤层破坏全过程的声发射演化规律, 因此, 需要在实验室研究具体煤样的声发射特征。试验由加载系统、位移载荷记录系统、声发射监测以及微震监测系统组成, 如图 1 所示。主要测试煤样在刚性压力机下全应力-应变曲线以

及加载过程中各种声发射参数。加载系统使用深圳“三思”压力机, 声发射监测为美国 PAC 公司生产的 DISP-24 通道岩层失稳声发射系统。试验时声发射前置放大为 40 dB, 探头中心频率为 7.5 kHz, 阈值设定为 60 dB。图 2 为典型的煤样破坏全程时间-载荷曲线, 图 3 为破坏过程中声发射的能量率与计数率。分析图 2 与图 3 可知, 煤样表现为典型的脆性破坏, 即在应变很小的情况下发生主破坏, 脆性破坏主过程造成强烈震动, 煤样的冲击倾向性也较高。

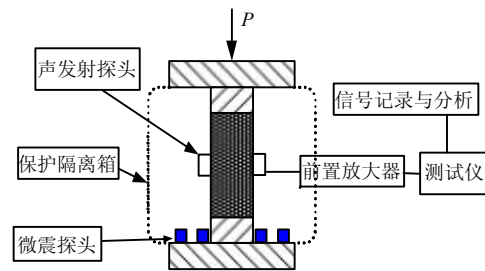


图 1 试验系统示意图

Fig.1 Sketch of experimental system

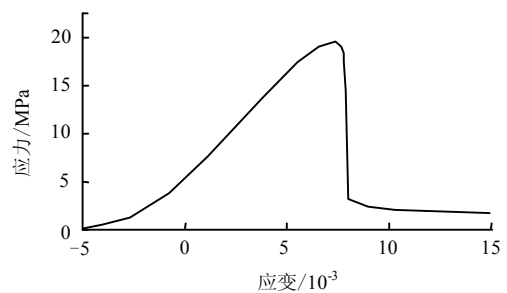
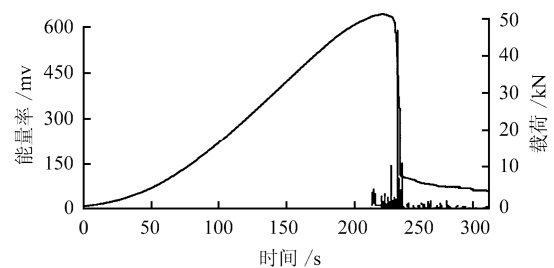
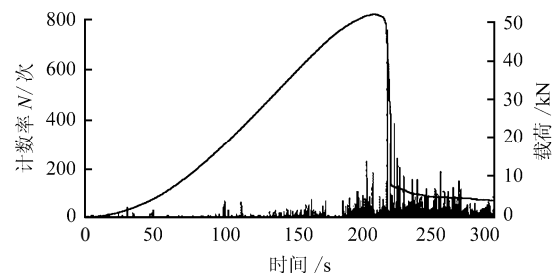


图 2 典型煤样全应力-应变曲线图

Fig.2 Complete stress-strain curve of typical coal sample



(a) 煤样单轴压缩过程中声发射能量率变化图



(b) 煤样单轴压缩过程中声发射计数率变化图

图 3 煤样破坏过程中声发射能量与计数图

Fig.3 Energy and count of AE during the fracture of coal sample

从声发射的能量与计数的变化可见,强冲击倾向性煤样在弹性变形阶段声发射能量很低,声发射计数率则处于相对稳定阶段,表明在进入屈服阶段前,煤样内部的微裂纹的发展处于相对稳定状态。在临近主破坏的屈服阶段,能量与计数均大幅上升,说明煤样内部裂纹扩展速度增加,裂纹的相互贯通形成大量的声发射信号,煤样进入失稳状态。从上图可以看出能量率在破坏前是持续上升趋势,而计数率则先于能量率出现持续上升趋势,但是在临界主破坏,能量率持续上升的时候,却出现了下降,表现为一段“平静期”。利用声发射监测煤岩体稳定性的时候,根据所选参数不同,应该具有不同的判断准则,该煤样破坏前声发射能量率在一段时间内非常小,能量释放集中在主破坏时刻,增加了破坏的隐蔽性与预测的难度,在现场实践中应将声发射的能量阈值降低以保证能够捕捉更多有用信息,同时计数率的“平静”现象应重点关注。

4 现场实践

4.1 工作面简介

某矿煤层地质构造简单,目前正在开采的是二水平首采区 2501 的第 2 个工作面,250 102 工作面,面长为 201 m,倾角为 5°左右,与相邻采空区之间留有 20 m 煤柱,开采深度为 700 m 左右。2007 年 4 月至 2008 年 7 月该工作面顺槽掘进和回采过程中,发生了几十次冲击矿压现象,表现为运输顺槽两帮严重变形、底鼓 100~1 800 mm,机电设备损坏等,严重影响矿井安全生产。为此该矿在全国首次引进波兰开发的 ARES-5 声发射监测系统,该系统为目前世界上较为先进的监测系统,如图 4 所示。系统主要参数:监测通道 8 个,可扩容至 64 通道;监测频率范围为 28~1 500 Hz;信号的最大采样频率 10 kHz;信号传输信噪比 54 dB。系统能够自动监测声发射事件,记录波形曲线,并对监测结果进

行统计绘图及结果可视化。但是目前尚不能对声发射事件进行三维定位。通过对采煤与掘进等工作面小范围(200 m 以内)煤岩体进行连续监测,获取声发射频次与能量参数,统计单位时间监测区域内地音事件的数量和释放的能量,来判断监测区域的冲击危险等级。经过长期监测,在已有数据的基础上,对下一时段内监测区域危险等级进行预测,从而实现对监测区域的危险性评价和预警。该系统广泛应用于波兰冲击矿压矿井,并且依据此系统制定出相关评价标准与规章制度。

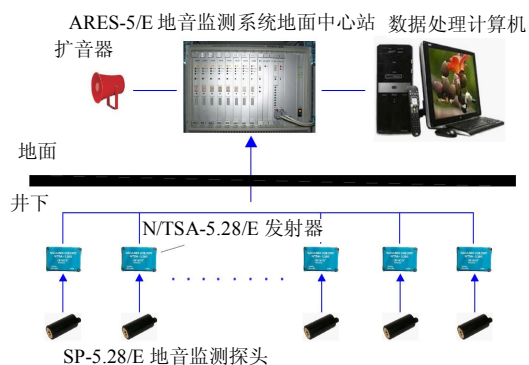


图 4 ARES 声发射监测系统结构图
Fig.4 Structure diagram of the ARES AE system

4.2 声发射监测冲击危险规律

4.2.1 冲击危险性评价准则

从声发射与煤岩体损伤破坏的耦合关系可以看出,声发射频次和能量值的变化趋势能够反映工作面的危险程度。通过确定冲击危险的声发射临界值即可对不同时间煤岩体的危险性进行分级评估。偏差值与煤岩体危险状态密切相关,所以,偏差值的变化代表了危险状态的变化,可以制定基于表 1 以工作班(8 h)为单位评价冲击危险评价方法。上述评价方法已在系统软件中实现。表 3~5 为发生在 250 102 运输顺槽中的 3 次冲击矿压事件。

表 3 250 102 运输顺槽中 1 号冲击事件的声发射评价
Table 3 Acoustic emission evaluation of burst event No.1 in 250 102 haulage gate

工作班	各通道活动危险级				各通道能量危险级				各通道危险级				矿压显现情况
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
2008-08-30 T15:00	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a	b	b	2008-08-31 T10:54, 能量为 8.0×10^4 J, 震源位置在回采线后 3.2 m, 距运输顺槽 28 m, 煤爆声造成棚顶下沉压在转载机封顶板上
2008-08-30 T23:00	a	a	a	c	a	a	c	c	a	a	c	c	
2008-08-31 T07:00	a	a	a	c	a	b	c	a	a	a	b	c	
2008-08-31 T15:00	a	a	a	c	b	b	d	a	a	b	b	d	
2008-08-31 T23:00	a	a	a	c	b	b	d	a	a	b	b	d	

表 4 250 102 运输顺槽中 2 号冲击事件的声发射评价

Table 4 Acoustic emission evaluation of burst event No.2 in 250 102 haulage gate

工作班	各通道活动危险级				各通道能量危险级				各通道危险级				矿压显现情况
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
2008-10-04 T07:00	a	d	d	d	a	d	d	d	a	d	d	d	2008-10-05 T06:30, 煤爆声造成上沿帮 3~4 cm 范围 7 个皮带上托辊靠死, 能量为 9.8×10^3 J, 能源在运输顺槽向出 80 m 处
2008-10-04 T15:00	a	d	d	d	a	d	d	d	a	d	d	d	
2008-10-04 T23:00	a	d	d	c	a	d	d	d	a	d	d	d	
2008-10-05 T07:00	a	d	d	c	a	d	d	d	a	d	d	d	
2008-10-05 T15:00	a	d	d	b	b	d	c	c	b	d	d	c	

表 5 250 102 运输顺槽中 3 号冲击事件的声发射评价

Table 5 Acoustic emission evaluation of burst event No.3 in 250 102 haulage gate

工作班	各通道活动危险级				各通道能量危险级				各通道危险级				矿压显现情况
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
2009-01-04 T07:00	d	b	a	a	d	c	c	a	d	c	c	a	2009-01-05 T08:50, 运输顺槽来一爆声, 造成巷道 1 010~1 050 m 处底鼓 200~300 mm, 有部分巷顶下沉 200~300 mm, 能量为 1.5×10^6 J, 震源位置在距开采线 170 m, 距运输顺槽 29 m
2009-01-04 T15:00	d	b	b	a	d	c	d	a	d	c	d	a	
2009-01-04 T23:00	d	b	a	a	d	c	d	a	d	c	d	a	
2009-01-05 T07:00	d	b	a	a	d	d	d	a	d	d	d	a	
2009-01-05 T23:00	c	a	c	b	c	c	d	b	c	c	d	b	

从表 3 可以看出, 距离震源位置较近的 4 号探测器, 在来压的前一个工作班, 系统的危险等级已经升到 *c* 级, 到矿压显现时危险等级又升高到 *d* 级。表 4 则是在来压的前几个工作班 2、3、4 号探头的危险等级均达到 *d* 级。系统在来压之前对监测区域的危险等级做到了准确的评价, 并且矿压显现之后, 系统的危险等级有降低的趋势。在回风顺槽与掘进工作面也有类似的事件, 通过声发射成功评价。

虽然 ARES-5 系统的工作原理是以震动事件的变化为基础的, 但通过对系统接收到的时间序列信息, 对其进行统计分析, 依然能够得到类似微震的变化规律。从一个角度反映了地音可以和微震相互配合, 取长补短, 从而达到更好的效果。图 5 和图 6 分别为 2008-07-10 与 2008-08-01 发生冲击矿压声发射频次与能量的变化图。

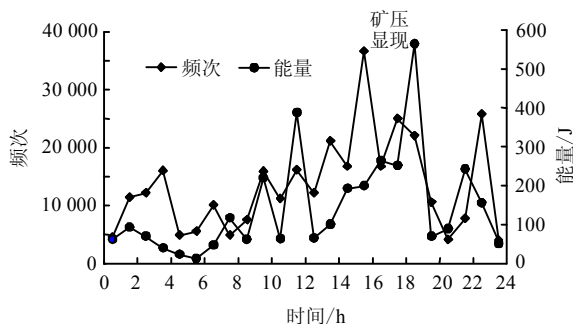


图 5 7 月 10 日矿压显现声发射参数变化图
Fig.5 Variation of AE parameters during strata behaviors on July 10

从图 5 和图 6 可以看出, 在冲击矿压发生前声发射的参数值都有增加的过程, 图 5 表现的是两者持续上升, 而图 6 则是出现了较长时间的“平静”后急剧上升。这两种变化趋势是最危险的, 与矿井微震的变化趋势有相类似。

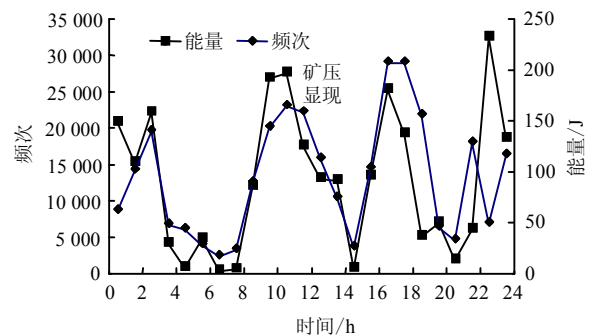


图 6 8 月 1 日矿压显现声发射参数变化图
Fig.6 Variation of AE parameters during strata behaviors on August 1

通过长时间的观测积累, 冲击发生前的声发射时间序列主要有以下特点:

(1) 声发射能量与频次持续升高, 在冲击前增加速度变快, 表现为曲线变陡。

(2) 正常生产条件下, 声发射参数出现下降后保持“平静”, 并且持续时间较长, 后急剧上升, 超过正常水平后依然有上升趋势, 表明能量经过积聚后快速释放。

(3) 当各通道能量和次数都有所升高, 并表现出很强的一致性, 预示着煤岩体内部正经历着大范围破裂运动过程, 此时工作面危险性较高。

5 结论与探讨

(1) 基于声发射与煤岩体破裂之间的耦合关系, 利用煤岩体声发射参量, 定义了表征煤岩体失稳破坏状态的指标, 根据该指标将煤岩体破坏过程划分为4个危险等级。

(2) 声发射偏差值的变化代表着工作面煤岩体危险状态的变化, 根据声发射偏差变化规律, 制定预测评价工作面冲击矿压危险程度变化的准则。

(3) 现场利用波兰声发射系统对冲击危险工作面进行监测, 结果表明声发射应用于冲击危险评估预测是有效可行的。

(4) 工作面声发射频次与能量的时间序列表现为加速持续上升, 以及出现较长时间的“平静期”, 预示着冲击矿压危险性急剧增加。

(5) 目前国内现场声发射应用处于起步阶段, 缺乏理论与经验的指导, 更缺乏适合我国煤矿的评价准则, 因此, 声发射的推广应用还有大量工作要做。

参 考 文 献

- [1] 窦林名, 何学秋. 冲击矿压防治理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [2] 窦林名, 赵从国, 杨思光, 等. 煤矿开采冲击矿压灾害防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [3] 李世愚, 和雪松, 张天中, 等. 地震学在减轻矿山地质灾害中的应用进展[J]. 国际地震动态, 2006, (4): 2—9.
LI Shi-yu, HE Xue-song, ZHANG Tian-zhong, et al. Recent developments of mining seismology for mitigating mining hazards[J]. **Recent Developments in World Seismology**, 2006, (4): 2—9.
- [4] LOCKNER D. The role of acoustic emission in the study of rock fracture[J]. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts**, 1993, 30(7): 883—899.
- [5] 李庶林, 尹贤刚, 王泳嘉, 等. 单轴受压岩石破坏全过程声发射特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2499—2503.
LI Shu-lin, YIN Xian-gang, WANG Yong-jia, et al. Studies of acoustic emission characteristics of uniaxial compressive rock failure[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(15): 2499—2503.
- [6] 陈忠辉, 傅宇方, 唐春安. 岩石破裂声发射过程的围压效应[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16(1): 65—70.
CHEN Zhong-hui, FU Yu-fang, TANG Chun-an. Confining pressure effect on acoustic emissions during rock failure[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 1997, 16(1): 65—70.
- [7] 张茹, 谢和平, 刘建峰, 等. 单轴多级加载岩石破坏声发射特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(12): 2584—2588.
ZHANG Ru, XIE He-ping, LIU Jian-feng, et al. Experimental study of acoustic emission characteristics of rock failure under uniaxial multilevel loadings[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2006, 25(12): 2584—2588.
- [8] 苏承东, 高保彬, 南华, 等. 不同应力路径下煤样变形破坏过程声发射特征的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(4): 757—766.
SU Cheng-dong, GAO Bao-bin, NAN Hua, et al. Experimental study of acoustic emission characteristics during deformation and failure processes of coal samples under different stress paths[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2009, 28(4): 757—766.
- [9] 赵兴东, 唐春安, 李元辉, 等. 花岗岩破裂全过程的声发射特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (增刊2): 3673—3678.
ZHAO Xing-dong, TANG Chun-an, LI Yuan-hui, et al. Study of AE activity characteristics under uniaxial compression loading[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2006, 25(Supp. 2): 3673—3678.
- [10] CHANG S H, LEE C I. Estimation of cracking and damage mechanisms in rock under triaxial compression by moment tensor analysis of acoustic emission[J]. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, 2004, 41(7): 1069—1086.
- [11] 姜永东, 鲜学福, 许江. 岩石声发射Kaiser 效应应用于地应力测试的研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(6): 946—950.

- JIANG Yong-dong, XIAN Xue-fu, XU Jiang. Research on application of Kaiser effect of acoustic emission to measuring initial tress in rock mass[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, 26(6): 946—950.
- [12] 易武, 孟召平. 岩质边坡声发射特征及失稳预报判据研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(12): 2529—2538.
- YI Wu, MENG Zhao-ping. Study of acoustic emission feature of rock slope and its instability forecast criterion[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2007, 28(12): 2529—2538.
- [13] 万志军, 周楚良, 马文顶, 等. 边坡稳定声发射监测的试验研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(增刊2): 627—629.
- WAN Zhi-jun, ZHOU Chu-liang, MA Wen-ding, et al. Experimental study of acoustic emission monitoring of slope's stability[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2003, 24(Supp.2): 627—629.
- [14] 唐春安. 岩石破裂过程中的灾变[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.

第 11 届全国青年岩石力学与工程学术大会

(1 号通知)

(2011 年 11 月 17—20 日, 青岛)

主办单位: 中国岩石力学与工程学会青年工作委员会

承办单位: 青岛理工大学

大会主题: 中国岩石力学与工程学会青年工作委员会拟定于 2011 年 11 月在青岛召开“第 11 届全国青年岩石力学与工程学术大会”, 会议主题: “低碳时代的城市地下空间与工程”。人类已悄然进入“低能耗、低污染、低排放”的低碳时代, 而我国以地铁为代表的大规模城市地下空间开发才刚刚开始, 为此给岩石力学与工程带来的挑战和机遇是什么? 中国岩石力学与工程学会青年工作委员会敬请全国相关学科的专家、学者、科技工作者与工程技术人员, 特别是青年岩石力学工作者踊跃撰稿, 集聚青岛, 围绕会议主题探讨与交流岩石力学研究成果与工程实践经验。

会议专题: ①岩石力学基本性质与本构关系; ②岩石力学新理论、新方法; ③岩石工程数值分析与仿真; ④地下空间与城市可持续发展; ⑤地下空间设计理论与建设技术; ⑥地下工程稳定性与风险分析; ⑦城市环境岩土工程问题与防治技术; ⑧岩石力学测试、监测、检测新设备、新技术。

论文格式要求: 会议投稿论文要求为原创、未公开发表的内容, 经严格评审后择优发表在《岩石力学与工程学报》正刊、《地下空间与工程学报》正刊与增刊上, 按相关规定收取版面费。论文版面一般不超过 7 页, 论文格式请按《岩石力学与工程学报》或《地下空间与工程学报》版面排版。投稿邮箱: qdrock@163.com

大会形式: 大会学术报告与专题研讨会相结合, 并组织青岛岩石地铁、胶州湾海底隧道现场参观与考察。

大会特邀报告: ①岩土工程学科现状与前沿发展方向; ②城市地下工程的现状与展望; ③我国矿山、水利水电、煤炭、石油、铁路交通、安全防护等领域的研究成果; ④特邀国外一些专家学者作大会报告。

重要日程: ①2011 年 4 月 30 日前提供论文全文(电子版); ②2011 年 5 月 31 日发出论文录用和修改通知; ③2011 年 6 月 20 日前提交修改后的全文; ④2011 年 10 月 15 日会议发报到通知; ⑤2011 年 10 月 15 日优惠注册费截止; ⑥2011 年 11 月 17 日会议代表报到; ⑦2011 年 11 月 18-19 日学术交流; ⑧2011 年 11 月 20 日工程考察。

联系方式: 承办单位: 青岛理工大学

联系人: 王在泉、孔亮、张黎明

电话: (0532)85071570; 13969666131, 13792498401, 13792881301

传真: (0532)85071136; E-mail: qdrock@163.com

地址: 青岛市抚顺路11号青岛理工大学工程力学系; 邮编: 266033