

Application of Acoustic Emission Alerting Model Based on Avalanche Dynamics in Coal and Gas Outburst Monitoring and Forecasting

Yu Chen^{1,2}, Zhongguang Sun^{2,3}, Haitao Sun³, Kang Li⁴, Wei Shen⁵

¹Chongqing Survey Institute, Chongqing

²Chongqing University, Chongqing

³China Coal Technology Engineering Group Chongqing Research Institute, Chongqing

⁴Shenhua Xinjiang Energy Co., Ltd., Urumqi Xinjiang

⁵Zaozhuang Mining (Group) Co., Ltd., Zaozhuang Shandong

Email: chenjie_cqu@163.com

Received: Jun 26th, 2018; accepted: Jul. 9th, 2018; published: Jul. 16th, 2018

Abstract

Reasonable sound emission warning indicators and early warning models are the basis for using the acoustic emission monitoring technology to highlight risk prediction. The field observations of microseismic monitoring data are compared and analyzed. The results show that the microseismic and acoustic emission monitoring data have similar variation rules, but the number of events received by the acoustic emission device per unit time is much more than the number of events received by the microseismic device, and the response to danger in front of the face is better. The probability density function of acoustic emission energy at any time interval before the gas exceeds the limit satisfies the power law distribution. Fitting shows that the critical index of the interval decreases with the distance from the gas exceeding the standard area. The critical power value distribution is quantified by the maximum likelihood method for risk assessment. When the critical value represented by the critical power value curve moves downwards, and even declines sharply, the distribution of the curve with large energy is stable, indicating that the working surface has highlighted the danger, increased the discrepancies of the data, and increased the critical power value.

Keywords

Avalanche, Coal and Gas Outburst, Power-Law Distribution, Alerting Model

基于雪崩动力学的声发射预警模型在煤与瓦斯突出监测与预报的应用

陈玉^{1,2}, 孙中光^{2,3}, 孙海涛³, 李康⁴, 沈伟⁵

¹重庆市勘测院, 重庆

²重庆大学, 重庆

³中煤科工集团重庆研究院, 重庆

⁴神华新疆能源有限责任公司, 新疆 乌鲁木齐

⁵枣庄矿业(集团)有限责任公司田陈煤矿, 山东 枣庄

Email: chenjie_cqu@163.com

收稿日期: 2018年6月26日; 录用日期: 2018年7月9日; 发布日期: 2018年7月16日

摘要

合理的声发射预警指标及预警模型是利用声发射监测技术进行突出危险性预测的依据。本文对现场实测微震监测数据进行对比分析, 结果表明: 微震与声发射监测数据变化规律相似, 但单位时间内声发射装置接收到的事件数远比微震装置接受到的事件数多, 更能良好反应工作面前方突出危险。瓦斯超标前期的任意时间区间声发射能量概率密度函数满足幂律分布, 拟合表明区间的临界指数随着离瓦斯超标区域的距离的靠近呈减小趋势。临界幂值分布通过最大似然的方法量化进行危险性评估, 当临界幂值曲线所表征的临界值向下移动, 甚至急剧下滑, 曲线在大能量区间分布较稳定, 此时预示着工作面具有突出危险性, 数据离散性增加, 临界幂值越大。

关键词

雪崩动力学, 煤与瓦斯突出, 幂律分布, 指数降低

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自然界中, 由于煤岩体内部存在非均匀性, 在压力作用下, 高应力的集中往往会诱发突变性破坏。在实际的工程运用和现场测试中, 煤岩体并非如实验室中的岩样一直处于应力状态, 作业工艺的不同会增加很多不确定因素。目前, 针对煤与瓦斯突出[1] [2] [3]等多因素的灾变破坏很难建立定量的模型。

煤岩体在受外力或内力作用产生变形或断裂过程中以弹性波形式向外界释放出应变能的现象称为声发射/微震活动[4] [5]。这源于煤岩体内在微观结构的不均匀性[6], 响应出跨越多个数量级且不同尺寸的“雪崩事件”, 表现为不同尺度的规模下具有统计无尺度分布。Salje, E. K. H.等[7] [8]研究证实了声发射事件是一种特殊的“雪崩事件” [9], 并发现无论大到地震尺度还是小到细观尺度, 雪崩事件都满足雪崩动力学理论统计模型[10]。与此同时, 其临界指数浮动变化预测模型的提出突破了对突发性灾害预测的局

限性, 量化了灾害发生前后相关指标的变化特征, 对有效预测灾害具有重要的指导意义。

煤与瓦斯突出预测模型, 一直是广大学者不断探索的课题。目前, 声发射的引入为煤与瓦斯突出预测预报提供了主要依据。但目前大部分研究主要从理论上分析了煤岩体破坏产生的震动波可以通过设备进行接收, 进而判断是否发生了煤与瓦斯。其判断指标的非普适性往往导致了灾害预测的滞后特征。因此, 具有普适性的煤与瓦斯突出预警模型是有效预测灾害发生的根本保障。

本文基于声发射监测系统, 将超震动事件的临界指数浮动特征的灾变预测模型引入打通一矿现场数据的分析与判断, 实现了工作面回采过程全方位实时监测和灾害的提前预测预报, 提高煤与瓦斯突出预测准确性。

2. 声发射数据监测特性

试验期间, 将传感器安装在打通一矿 W2707 综采工作面(图 1)两巷来监测回采过程中的声发射信号。声发射信号是一种脉冲式波形信号, 其特征参数指标较多, 如振铃计数、事件数、能量、振幅、信号到达时间、信号上升时间和信号持续时间等。由于采集数据量大, 波形显示太快, 一般不直接使用, 而是通过对波形信号进行特征参数指标的提取进而分析声发射信号的特征及规律。

选取的某班作业的一段时域信号波形图可以看出, 属于突发类信号, 且信号持续时间短, 具有不连续性特征, 频率与幅值波动情况具有同步性(图 2)。通过信号幅值的大小直观地反映出信号能量的大小(图 3), 能量换算公式如下[8]:

$$E = \int_{t_i}^{t_j} U^2(t) d_t / R \quad (1)$$

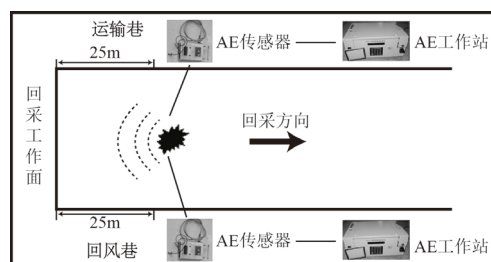


Figure 1. Schematic view of the work surface
图 1. W2707 工作面示意图

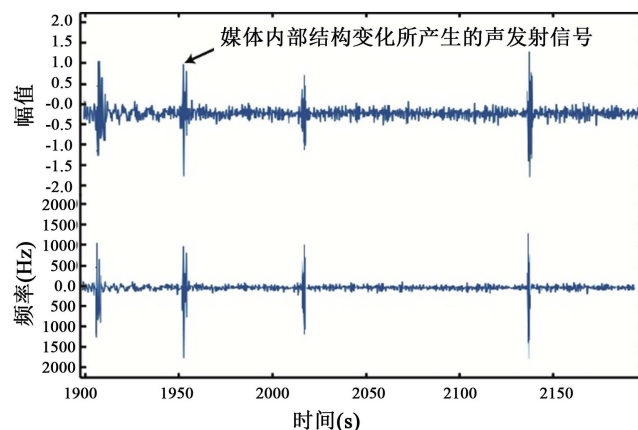


Figure 2. Time domain signal waveform
图 2. 时域信号波形图

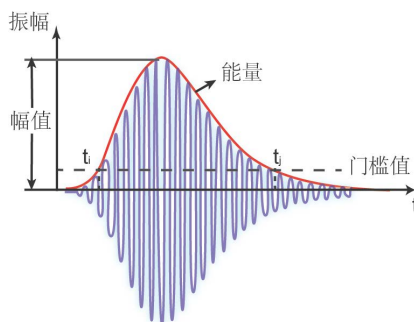


Figure 3. Energy diagram
图 3. 能量示意图

3. 指标变化规律

声发射监测技术原理和微震监测技术原理相同，所不同就是频谱范围的差异。与传统技术相比，微震声发射定位监测具有远距离动态、三维、实时监测的特点，还可以根据震源情况进一步分析破裂尺度、强度等性质。这两类监测技术和手段是研究岩石类材料变形破坏微观机理的重要手段。对研究岩石类材料失稳机制和前兆辨识具有重要意义。

由于频谱的差异也决定着微震和声发射对现场信号的敏感程度，虽说两种设备也有局部相同的频谱范围，但频谱的长度决定了信号在接受区间。因此，微震与声发射在不同的应用背景信号采集精度也存在差异。目前，常用的声发射和微震信号特征主要为事件数与能量，其反映了事件的活动频率和系统内部释放能量的程度。打通一矿 W2707 综采工作面 3.18 煤与瓦斯突出的现场实测数据的微震与声发射事件率(图 4(a))和能率(图 4(b))的变化规律，如图 4 所示。可以看出，无论是微震监测还是声发射监测，事件率与能率的变化趋势具有同步性，各参数呈现出来的变化特征一致。如图所示，微震与声发射的事件率变化规律相似，尤其在发生煤与瓦斯突出前浮动规律几乎一致，但明显的是，单位时间内声发射装置接收到的事件数远比微震装置接受到的事件数多，存在一倍的差距。且在煤与瓦斯突出发生过程中，声发射事件率急剧增长，出现事件率的高值异常，相比微震采集的事件率，发生灾变时数据变化差异更为显著。这说明在煤与瓦斯突出的孕育过程中，内部结构变化的响应量频谱值范围较小，参数尺度不大，针对此类物理响应参数，声发射具有较高识别和采集的技术优势。

4. 基于雪崩效应的煤与瓦斯突出预警模型

如今，雪崩理论逐渐引入煤矿灾害预警，其物理统计背景揭示了煤岩内部演化机理，并精准呈现了与大尺度“地震”破坏相契合的统计分布规律，揭示了具有临界特性的灾变系统的雪崩行为。在灾变破坏的孕育过程中，针对大量的杂乱无章、尺寸不一且跨越多个数量级的声发射事件能量值，统计模型的引入将数据重整化，实现了复杂信号模型建立的精细化表征。

由于监测期间胶带巷受外界干扰严重，噪声信号繁杂，不利于有效信号提取，因此选取轨道巷监测的声发射信号指标进行规律性分析，其中振铃计数、能量值均以时间为单位进行统计。选取 W2707 工作面回采期间声发射监测信号与回采期间异常动力现象(煤与瓦斯突出)进行对比分析，如图 5 所示。

选取图 6 中瓦斯超标前期的声发射能量值分布作为计算的区域，以 2 d 的时间区间作为步长，采用 Matlab 编程语言算取各步距区间的概率密度分布图和最大似然估计曲线。如图所示，以步距长度划分的临近煤与瓦斯突出的 5 个子集中声发射能量概率密度分布，初步拟合表明区间的临界指数随着离瓦斯超标区域的距离的靠近在减小。离瓦斯超标区域越远，每个步距区间中的声发射数据点的减少，其直接结果是直方图统计的不稳健性增加。数据离散性增加，临界幂值越大。

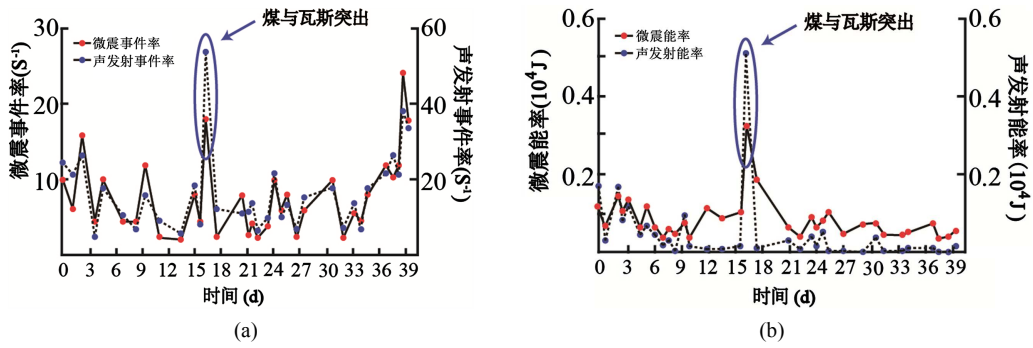


Figure 4. Microseismic and acoustic emission changes
图 4. 微震与声发射的变化规律

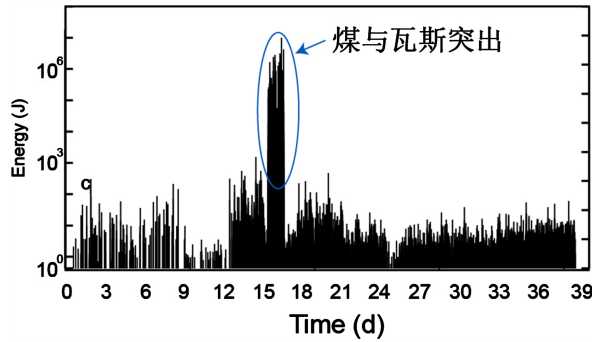


Figure 5. Changes in acoustic emission energy during mining at workplace
图 5. W2707 工作面回采期间声发射能量变化规律

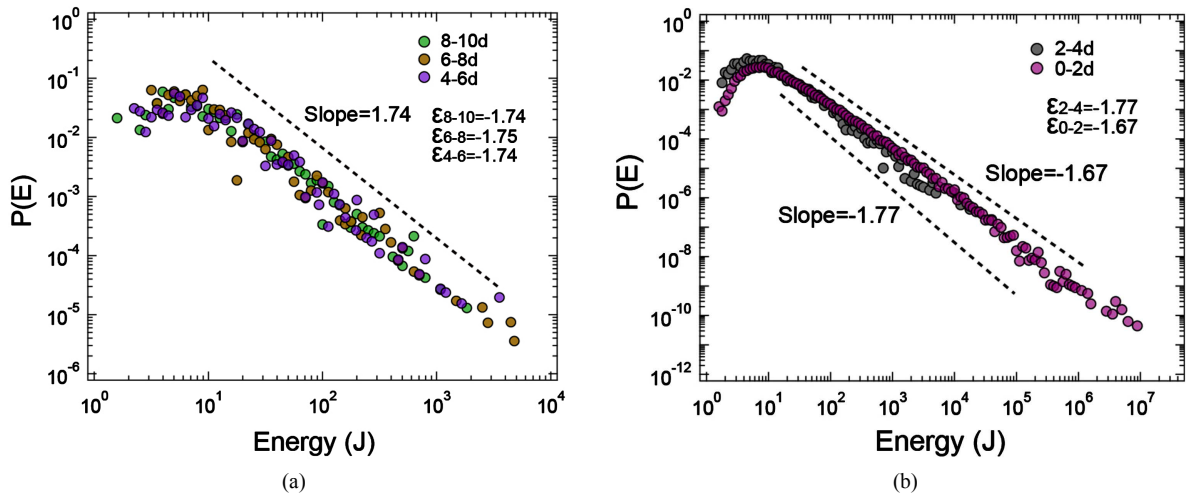


Figure 6. Acoustic emission energy probability density diagram in time interval
图 6. 时间区间内的声发射能量概率密度图

从图 7 可以发现, 临界幂值分布通过最大似然的方法量化危险性评估, 临近危险区的区间临界幂值远比其他区域小, 安全区域的临界幂值曲线特征有向上浮动的特征, 大能量区间的声发射事件较少, 临界幂值分布较为离散, 缺乏跨越多数量级的稳定特征, 说明探测区域的媒体结构稳定, 没有明显的突出危险性。当临界幂值曲线所表征的临界值向下移动, 甚至急剧下滑, 曲线在大能量区间分布较稳定, 此时预示着工作面具有突出危险性, 如图 8 所示, 临界幂值的变化显著表征了危险区域的程度。

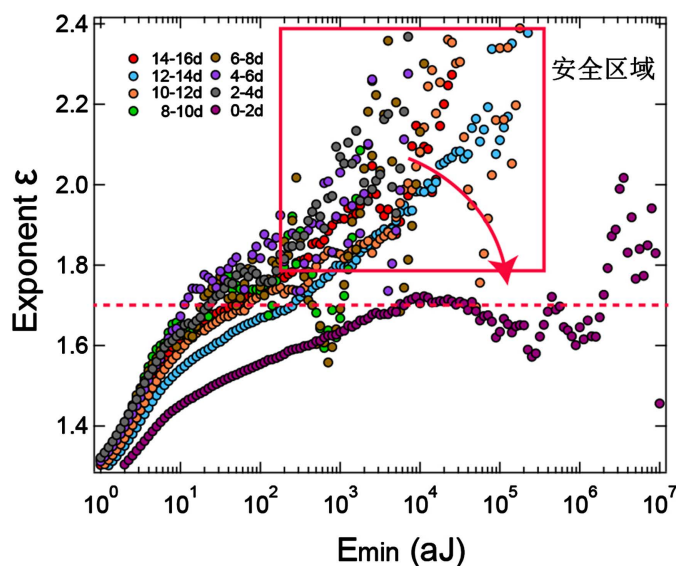


Figure 7. Critical energy distribution of acoustic emission energy in time interval

图 7. 时间区间内的声发射能量临界幂值分布

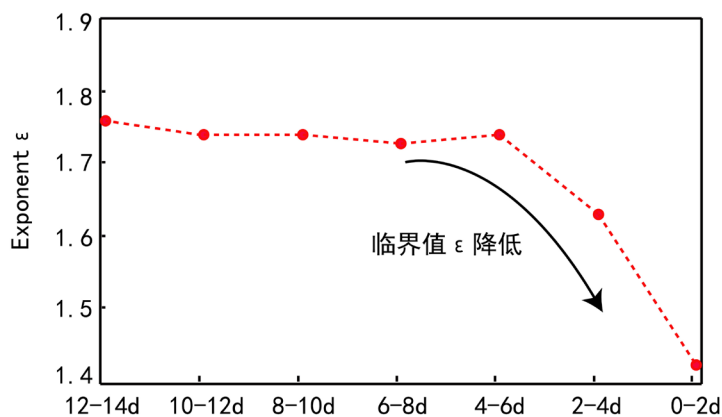


Figure 8. Critical power curve

图 8. 临界幂值的变化曲线

5. 结论

1) 在工作面监测的过程中，微震与声发射监测数据变化规律相似，但单位时间内声发射装置接收到的事件数远比微震装置接受到的事件数多，更能良好反应工作面前方突出危险。

2) 瓦斯超标前期的任意时间区间声发射能量概率密度函数满足幂律分布，拟合表明区间的临界指数随着离瓦斯超标区域的距离的靠近呈减小趋势。

3) 临界幂值分布通过最大似然的方法量化进行危险性评估，当临界幂值曲线所表征的临界值向下移动，甚至急剧下滑，曲线在大能量区间分布较稳定，此时预示着工作面具有突出危险性，数据离散性增加，临界幂值越大。

参考文献

- [1] 李成武, 付帅 解北京, 等. 煤与瓦斯突出能量预测模型及其在平煤矿区的应用[J]. 中国矿业大学学报, 2018(2): 231-239.

- [2] 潘一山. 煤与瓦斯突出、冲击地压复合动力灾害一体化研究[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 105-112.
- [3] 牟全斌. 我国煤与瓦斯突出区域预测方法研究现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(11): 59-63.
- [4] 高保彬, 李回贵, 李化敏, 等. 声发射/微震监测煤岩瓦斯复合动力灾害的研究现状[J]. 地球物理学进展, 2014(2): 689-697.
- [5] Chang, S.H. and Lee, C.I. (2004) Estimation of Cracking and Damage Mechanisms in Rock Under Triaxial Compression by Moment Tensor Analysis of Acoustic Emission. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **41**, 1069-1086. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2004.04.006>
- [6] Salje, E.K.H., Ding, X., Zhao, Z., *et al.* (2011) Thermally Activated Avalanches: Jamming and the Progression of Needle Domains. *Physical Review B*, **83**, Article ID: 104109. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.83.104109>
- [7] Salje, E.K.H. and Dahmen, K.A. (2014) Crackling Noise in Disordered Materials. *Annual Review of Condensed Matter Physics*, **5**, 233-254. <https://doi.org/10.1146/annurev-conmatphys-031113-133838>
- [8] Castillo-Villa, P.O., Baro, J. and Planes, A. (2013) Crackling Noise during Failure of Alumina under Compression: The Effect of Porosity. *Journal of Physics: Condensed Matter*, **25**, Article ID: 292202. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/25/29/292202>
- [9] Friedman, N., Jennings, A.T., Tsekenis, G., *et al.* (2012) Statistics of Dislocation Slip Avalanches in Nanosized Single Crystals Show Tuned Critical Behavior Predicted by a Simple Mean Field Model. *Physical Review Letters*, **109**, Article ID: 095507. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.109.095507>
- [10] 姜德义, 谢凯楠, 蒋翔, 等. 页岩单轴压缩破坏过程中声发射能量分布的统计分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2016(a02): 3822-3828.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-1724, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojs@hanspub.org