

文章编号:1673-3363(2009)01-0097-04

不同应力速率下含水煤岩声发射信号特性

童敏明, 胡俊立, 唐守锋, 戴新联

(中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 对不同应力速率下含水煤岩声发射频谱特性进行了实验和分析。结果表明, 在煤岩的受载变形破裂过程中声发射是阵发性的, 其声发射的频率特性较为单一。煤岩含水量的不同, 对其声发射特性有一定影响。具体表现为对声发射强度的影响。含水量较大的煤岩较之含水量小的在声发射强度上略低。应力速率大时, 声发射主要集中在煤岩破裂前的一段时间内; 应力速率小时, 煤岩破裂前的声发射较应力速率大时变少。在应力速率提高后, 声发射在频次和幅度上有很明显的增加。

关键词: 煤岩; 声发射技术; 频谱特性; 应力速率

中图分类号: TD 74 **文献标识码:** A

Study of Acoustic Emission Signal Characteristic of Water-Containing Coal and Rock Under Different Stress Rates

TONG Min-ming, HU Jun-li, TANG Shou-feng, DAI Xin-lian

(School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining & Technology,
Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: This paper analyzes acoustic emission spectrum of water-containing coal and rock under different stress rates through the experiment. The result shows that the acoustic emission of such coal and rock is paroxysmal in the process of deformation and fracture and its acoustic emission is simple. Different water content of coal and rock are different in acoustic emission characteristic, mainly in the effect on acoustic emission intensity. The more water the coal and rock contain, the lower acoustic emission intensity it will have. When the stress rate is high, acoustic emission mainly takes place before the coal and rock become ruptured; when the stress rate is low, acoustic emission became less than before; while the stress rate is high, acoustic emission increases significantly in frequency and intensity.

Key words: coal and rock; acoustic emission technology; spectrum properties; stress rate

煤层底板突水一直是威胁矿井安全生产的重大问题。在煤矿开采过程中, 煤层底板突水、淹井事故时有发生, 严重影响煤矿的正常生产。特别是近些年来, 矿井开采深度已达千米, 这样矿井突水问题就显得更加突出^[1]。研究表明, 煤层底板突水的主要影响因素为煤层底板含水情况, 水压以及底板隔水层厚度等等。目前对于矿井突水现象的预测已

经有了初步的研究, 比如利用神经网络对矿井突水进行预测^[2]。但目前其预测的可靠程度与生产实际还有较大的差距。

声发射技术是近年来出现的一种新的预测方法。对于声发射技术的研究有着非常广阔的应用前景: 如煤与瓦斯突出、围岩变形、滑坡、地震及岩石混凝土建筑失稳等^[3]。利用声发射技术预测煤层底

收稿日期: 2008-03-15

基金项目: 教育部科技创新工程重大项目培育资金项目(706029); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CB209407)

作者简介: 童敏明(1956-), 男, 浙江省龙游市人, 教授, 博士生导师, 从事传感器及检测技术方面的研究。

E-mail: jctmm@163.com Tel: 13852432802

板突水,与现行的预测方法相比,可克服人工、煤岩体分布不均匀及受力状态不稳定的影响,实现连续动态监测预报^[4]。

利用声发射技术预测煤层底板突水的关键在于了解不同应力速率下含水煤岩在压力作用下的声发射频谱特征规律,并且从中分析得出能够准确反应煤层底板突水过程中的危险程度的本质特征。

本文研究的目的在于确定不同应力速率下含水煤岩声发射的频谱特征规律和变化趋势,为预测煤岩灾害现象提供准确的依据。

1 声发射测试原理

固体材料在外力的作用下,内部的缺陷或不均质区会发生应力集中,导致微破裂的产生和扩展,同时累积的应变能也随之迅速释放。伴随着应变能的释放而产生的应力波,叫声发射(也称应力波发射,简称 AE)。材料在应力作用下的变形与裂纹扩展,是结构失效的重要机制。这种直接与变形和断裂机制有关的弹性波源,通常称为典型声发射源。流体泄漏、摩擦、撞击、燃烧、磁畴壁运转等是与变形和断裂机制无直接关系的另一类源,称为其它或二次声发射源。声发射波的频率范围很宽,从次声频、声频直到超声频,可包括数 Hz 到数 MHz。但就声发射信号来说,声发射信号一般分为连续型和突发型两类。连续型声发射信号是一些连续发射的小幅度应力波脉冲,如无缺陷金属在塑性变形过程中产生的信号。突发型声发射信号则是指幅值很高但衰减很快的单个应力脉冲,如裂纹扩展过程中产生的信号。利用仪器检测、分析声发射信号和利用声发射信号推断声发射源的技术称声发射技术。声发射技术在各行各业中是应用极为广泛的新兴技术,特别是在材料研究、压力容器评价、飞机构件的强度监视和测定燃料燃速等方面的研究与应用,已取得了明显效果。应用声发射技术检测是一种动态无损检测方法,应用领域非常广泛,应用范围也在不断的扩大。

煤岩体是一种非均质体,其中存在各种微裂隙、孔隙等,以致煤岩体在受外力作用时就会在这些缺陷部位产生应力集中,发生突发性破裂,使积聚在煤岩体中的能量得以释放,且以弹性波的形式向外传播。这就是煤岩体在地应力、瓦斯压力及采掘作用等影响下产生的声发射(AE)现象。显然,声发射活动的特征提供了煤层底板突水危险程度的前兆信息。研究煤层底板突水过程中的声发射活动正是基于突水前兆的声波信息,通过对煤岩体声发

射频率和幅度等参数的统计分析,了解声发射在突出前的活动规律及特征,并通过现场试验研究,找到采用声发射参数预测预报突出危险的信息。

2 声发射测试方法

实验研究的主要目的是,确定煤岩体受载变形及破裂过程中产生声发射的特性、规律,寻求煤岩体变形及破裂的前兆信息,为煤层底板突水做出预测。实验所需煤岩样本为自制试件,材料为方砖,模拟煤层底板。一般加工成 120 mm×110 mm×40 mm 的长方体状。在煤岩声发射特性实验中,实验加载系统是绍兴肯特公司的全自动压力实验系统,其加载系统的最高载荷达 300 t,加载系统用计算机控制,能自动控制应力速率,自动读取载荷并保存到计算机中。实验系统如图 1 所示,主要由加载系统(包含加载头 2 和试件 3),声发射(AE)信号数据采集系统(包含声发射接收传感器、40 dB 前放和 SDAES 声发射检测仪)等组成。声发射信号数据采集系统采用的是北京声华兴业科技有限公司的 SDAES 声发射检测仪,该装置可根据需要选配不同的传感器和放大器,对应每一通道的参数、波形分别触发,数字信号处理电路避免了漂移现象,实现更高的精度和稳定性,可编程任意或全部通道的参数和波形采集。

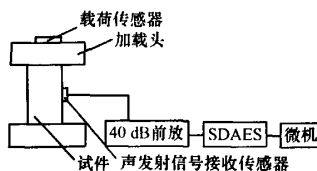


图1 实验系统
Fig. 1 Experimental system

声发射信号接收传感器用胶带固定在试件中间位置,传感器与试件之间用凡士林耦合。传感器的谐振频率为 150 kHz。声发射信号接收传感器将接收到的模拟信号首先经过 40 dB 前置放大器放大,SDAES 将放大后的信号数字化并进行后续处理。触发方式为声发射触发,当声发射强度超过设定门限值时,SDAES 声发射检测仪记录以此触发点为中心前后 2 048 个数据点,之后等待下一次触发。试验过程中,声发射检测系统实时显示煤岩破裂声发射的测定数据曲线,并将数据实时存入计算机,该系统能记录下各通道收集到的振铃计数、声发射事件持续时间、声发射能量、上升时间等数据。

实验中一共选取了 4 块煤岩试件,分别做饱水和烘干处理。标记为试件 1,2,3,4,其中试件 1,2

作保水处理,将试件放入水中保持 24 h. 试件 3,4 做烘干处理,将试件置于烘箱在 100~110 ℃ 加热 12 h 后自然冷却. 测试时,试件测点固定,试件处于零应力状态,温度为正常室温(27 ℃). 对 4 个试件分别施以不同的应力速率,如表 1 所示.

表 1 试件及应力速率
Table 1 Specimen and stress rate

编号	饱水		烘干	
	试件 1	试件 2	试件 3	试件 4
应力速率	5 kN/s	10 kN/s	5 kN/s	10 kN/s

3 不同含水量煤岩声发射实验及分析

图 2 所示为试件的声发射频谱特性曲线. 结合如图 2 可以看到,实验中不同类型的 4 种时间在受载破裂时均有声发射信号产生. 试件在破裂过程中产生的声发射信号不是连续的,而是一种脉冲信号. 试件的破裂过程也是不连续的,其破裂过程类似与脉冲信号. 由于试件质密、颗粒坚硬、没有节理,声发射过程的能量累积时间很短,在加载的初期就有声发射信号产生,随着载荷的增加,声发射信号逐步增多,幅度逐渐增强,达到极限值后声发射信号锐减. 对受载煤岩变形破裂过程中的声发射实时采集数据进行快速傅立叶变换,采用矩形窗,可以得到声发射信号的频谱. 试件的这种声发射特性与煤体有着明显的不同^[5].

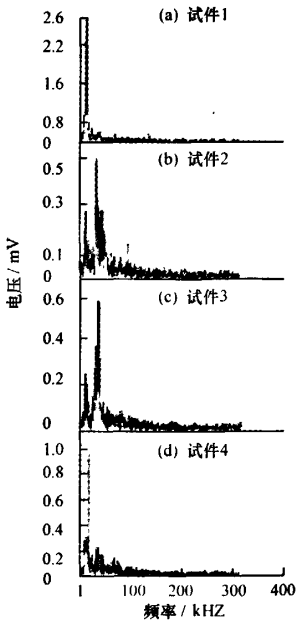


图 2 试件的声发射频谱特性
Fig. 2 The acoustic emission spectrum of specimen

实验中记录了 4 个试件从开始加荷到破裂后

的声发射频谱特性. 图 2 是 4 个试件声发射信号的谱分析结果,试件尺寸均为 120 mm×110 mm×40 mm,应力速率分别为 5 kN/s 和 10 kN/s.

由图 2a 和图 2c 对比可以看出,烘干试件的声发射信号较烘干试件丰富. 试件经水浸泡后,明显软化,在破裂主峰值前后幅度变化较为平缓. 烘干试件由于其质密未经软化,幅度变化明显. 试件的声发射特性与试件的强度有关,初始破裂时,信号急剧增加,破坏的程度越大,信号增多也越强烈. 在破坏的瞬间,信号强度达到最大.

图 2a 和图 2b 所示的试件均为饱水,加载速率分别为 5 kN/s 和 10 kN/s 在应力速率较大时,声发射的平均幅值要高于应力速率小时的情况. 加载速率大时,煤岩破裂所要累积能量的时间很短,整个破坏过程中声发射信号极为丰富,释放的能量很大,且在加载的初期就有强烈的声发射信号.

从频谱中可以看出,试件不管是饱水还是烘干,声发射信号的能量都集中在 300 kHz 以下部分,高于 300 kHz 的频谱分量很少. 在含水量不同时,饱水试件的声发射信号在强度上低于烘干试件. 在含水量相同的条件下,应力速率的不同会导致试件变形过程中声发射的变化. 应力速率大时,声发射主要集中在试件破裂前的一段时间内;应力速率小时,试件破裂前的声发射较应力速率大时变少. 另外,由图 2 对比可以看出,在应力速率提高后,声发射在频次和幅度上有很明显的增加. 从实验结果来看,含水煤岩在不同应力速率下的破坏前兆还是比较明显的.

4 结 论

- 1) 煤岩在受载破裂的过程中的声发射信号较为丰富. 在受载变形破裂过程中声发射是阵发性的,其声发射的频率特性较为单一.
- 2) 煤岩含水量的不同,其声发射信号的强度有所变化. 含水量较大的煤岩较之含水量小的在声发射信号强度上略低.
- 3) 声发射信号主要集中在煤岩破裂前的一段时间内. 应力速率小时,煤岩破裂前的声发射信号较应力速率大时少. 在应力速率提高后,声发射在频次上有很明显的增加.
- 4) 对利用声发射技术进行煤矿突水预测具有一定的参考价值. 通过研究不同应力速率和不同含水量对煤层底板的声发射特性的影响,有助于掌握矿井突水的信息特征,为灾害预测奠定基础.

参考文献:

- [1] 江 东,王建华. 基于神经网络的煤矿底板突水预测[J]. 灾害学,1999(14):29-32.
JIANG Dong, WANG Jian-hua. Forecasting of water inrush in coal mine by artificial neural network[J]. Journal of Catastrophology, 1999(14):29-32.
- [2] 来兴平,张 勇. 基于 AE 的煤岩破裂与动态失稳特征实验及综合分析[J]. 西安科技大学学报,2006,26(3):290-292.
LAI Xing-ping, ZHANG Yong. Comprehensive characteristics analysis of crack propagation and dynamical destabilization of coal-rock based on acoustic emission experiment[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2006, 26(3):290-232.
- [3] 景继东,施龙青,李子林. 华丰煤矿顶板突水机理研究[J]. 中国矿业大学学报,2006,35(5):49-51.
JING Ji-dong, SHI Long-qing, LI Zi-lin. Mechanism of water-inrush from roof in Huafeng mine[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 35(5):49-51.
- [4] 孙明贵,李天珍. 基于层状岩体渗流失稳条件的煤矿突水机理[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(3):335-339.
SUN Ming-gui, LI Tian-zhen. Mechanism of water inrush based on the instability of the seepage flow in rock strata[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 34(3):335-339.
- [5] 王恩元,何学秋,刘贞堂. 煤岩破裂声发射实验研究及 R/S 统计分析[J]. 煤炭学报,1999, 24(3):270-273.
WANG En-yuan, HE Xue-qiu, LIU Zhen-tang. Experimental research and R/S statistic analysis of ae during the fracture of coal or rock[J]. Journal of China Coal Society, 1999, 24(3):270-273.

下期内容预告

下期《采矿与安全工程学报》主要发表下列内容的文章:

1. 基于人工神经网络的采空区地基稳定性评价
2. 三维地震动态解释技术在防治煤矿突水中的应
3. 返修大断面硐室加固及数值模拟研究
4. 复杂围岩环境下大断面巷道支护系统研究与实践
5. 煤层底板陷落柱活化突水过程的数值模拟
6. 高温双向约束条件下石灰岩的组构分析
7. 高瓦斯易自燃超大俯采工作面的防灭火技术研究
8. 采动影响对陷落柱活化导水机理数值模拟研究
9. 突出煤层卸压前后钻孔瓦斯涌出初速度的变化规律
10. 高应力复杂煤层沿空巷道锚注支护数值模拟研究
11. 断层防水煤柱合理宽度的研究
12. 煤层顶板离层水体分布规律及防治技术探讨

不同应力速率下含水煤岩声发射信号特性

作者: [童敏明](#), [胡俊立](#), [唐守锋](#), [戴新联](#), [TONG Min-ming](#), [HU Jun-li](#), [TANG Shou-feng](#), [DAI Xin-lian](#)

作者单位: [中国矿业大学, 信息与电气工程学院, 江苏, 徐州, 221116](#)

刊名: [采矿与安全工程学报](#) **ISTIC EI PKU**

英文刊名: [JOURNAL OF MINING AND SAFETY ENGINEERING](#)

年, 卷(期): 2009, 26(1)

引用次数: 0次

参考文献(5条)

1. [江东](#), [王建华](#) [基于神经网络的煤矿底板突水预测](#) 1999 (14)
2. [来兴平](#), [张勇](#) [基于AE的煤岩破裂与动态失稳特征实验及综合分析](#) [期刊论文]-[西安科技大学学报](#) 2006 (03)
3. [景继东](#), [施龙青](#), [李子林](#) [华丰煤矿顶板突水机理研究](#) [期刊论文]-[中国矿业大学学报](#) 2006 (05)
4. [孙明贵](#), [李天珍](#) [基于层状岩体渗流失稳条件的煤矿突水机理](#) [期刊论文]-[中国矿业大学学报](#) 2005 (03)
5. [王恩元](#), [何学秋](#), [刘贞堂](#) [煤岩破裂声发射实验研究及R/S统计分析](#) 1999 (03)

相似文献(7条)

1. 学位论文 张勇 基于声发射的采空区煤岩失稳预报研究 2007

煤和岩石等脆性材料在受载荷变形与破坏过程中产生微破裂时伴有声发射(acoustic emission, AE)现象,因此AE技术是用来对材料在受载情况下,对材料内部损伤进行实时检测的一种方法。煤矿采空区内煤岩动态损伤、破裂并演化致失稳过程预报是灾害控制的前提之一。本研究以神东矿区大柳塔煤层1'-2'煤60m煤层全厚开采形成的采空区上覆岩体动态破坏与失稳预报问题为研究对象,尝试利用声发射技术,完成了不同加载模式下的煤和岩石破坏过程的声发射特征实验,同时完成了基于声发射的物理相似模拟实验设计及实验,对采空区煤和岩石失稳的声发射特征参数(总事件数、能率)与时间演化过程进行对比分析,同时综合分析应力(S-stress)、声发射(AE)和变形(D-deformation)之间蕴涵的物理、力学机制以及煤岩断裂与声发射之间的相关性,借助煤岩介质损伤与失稳的声发射理论定量地分析采空区煤岩介质的孕裂和失稳的规律及前兆。然后采用三维非线性有限差分程序FLAC^{3D}对采空区覆岩宏观运动规律进行了数值模拟,深入分析开采过程中围岩应力和变形规律。研究表明,声发射技术是解决采空区动力失稳预测及诱发灾变预报的有效手段之一,为采空区动力失稳及灾变行为分析提供线索。

2. 期刊论文 来兴平, 张海燕, 刘叶玲, 张勇, 蔡美峰. Lai Xingping, Zhang Haiyan, Liu Yeling, Zhang Yong, Cai

Meifeng 支持向量机在岩石破裂失稳声发射定位实验中的应用 -金属矿山2006,""(12)

声发射技术是研究岩石变形破坏微观机理的重要手段,对开采扰动下采空区煤岩破裂失稳的机制和前兆预测具有重要意义。基于声发射定位实验,利用支持向量机方法,对煤岩单轴抗压破裂与失稳过程中的声发射信号进行分析与预测,为采空区煤岩破裂定量化预测提供科学依据。

3. 会议论文 童敏明, 冯英波, 徐剑坤, 戴新联 煤矿声发射信号噪声的滤除 2007

声发射信号可用于预测煤矿岩瓦斯等动力灾害。然而由于煤矿井下噪声复杂多样,使得反映矿井灾害的信号难以甄别,严重影响了声发射技术预测预报的准确性。本文通过对煤矿井下噪声的分析,采用小波变换与小波滤波法的结合技术,对矿井中机械噪声和电气噪声进行滤除,同时也可以有效地滤除矿井环境中无规则噪声。Matlab仿真实验表明,采用这种改进性小波变换滤波方法可以取得比较好的抗干扰效果,提高了灾患信息识别的可靠性。

4. 会议论文 杨慧明, 文光才, 邹银辉 基于小波分析的煤岩破坏声发射信号处理 2009

煤岩变形破坏过程中会以声发射的形式向外释放能量,利用声发射技术可以判断煤岩体的稳定性,声发射预测瓦斯动力灾害具有很好的应用前景。然而,现场采集到的声发射信号往往含有许多噪音,严重影响了有效信号的自动识别以及灾害预测的可靠性。针对这一问题,根据煤岩声发射信号的特点,对煤岩掘进过程中监测到的信号进行小波时频分析和滤波处理。结果表明:Daubechies小波族中的db6小波基能满足煤岩声发射信号处理的要求;小波时频分析可以有效地识别出信号中的300Hz左右的低频噪声和有效声发射信号,并且有效声发射信号的频率随时间逐渐由1000Hz逐步增大到2000Hz,信号的频率宽度也逐步增大;小波滤波效果显著,可以有效地滤除噪音,保留有效的AE信号,提高信号的信噪比。

5. 期刊论文 程秀芝. CHENG Xiu-zhi 矿井地音监测技术的研究 -中国矿业2008, 17 (6)

本文针对煤岩体声发射信号的特点以及地音监测实时性的要求,提出了一种基于DSP的地音监测系统的设计方案,通过安装在锚杆上的地音传感器,连续监测工作面前方的煤岩体声发射活动的变化规律和特征,实现对矿井动力灾害的预测预报。

6. 期刊论文 [刘京红](#), [姜耀东](#), [赵毅鑫](#), [Liu Jinghong](#), [Jiang Yaodong](#), [Zhao Yixin](#) [声发射及CT在煤岩体裂纹扩展实验中的应用进展](#)-[金属矿山](#)2008,“(10)

声发射技术和CT扫描技术是监测煤炭岩体裂纹扩展的重要手段。概述了声发射及CT扫描实验在煤炭岩体领域的发展历程和应用现状。结合声发射技术与CT扫描实验的优点,提出声发射与CT相结合进行煤炭岩体实验的研究方向,以便于有效结合煤炭岩体内部裂纹变化情况进行煤炭岩体裂纹扩展机理的研究,为进一步研究煤矿冲击地压的发生机理提供理论依据。

7. 期刊论文 郭秉超, 张坤, 曹建涛 三维可加载条件下工作面围岩局部变形规律 -煤炭工程2010, "" (2)

以苇湖梁煤矿+579E2B1+2急倾斜特厚综放开采工作面为典型物理原型,系统的进行大型三维立体相似模拟实验,同时利用数字化声发射技术(acoustic emission, AE)对局部化过程中的动力学响应参数及其与之对应的微结构演化过程进行实时追踪,从宏观与微观角度揭示不同开采条件下煤岩复合围岩介质局部化变形-演化-失稳规律,为开采扰动区衍生动力学灾变行为预报和控制研究提供线索。

