

## 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

### 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、磁畴肇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×40mm 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。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，温度为正常事温(27℃)。对 4 个试件分别施以不同的应力速率，如表 1 所示。

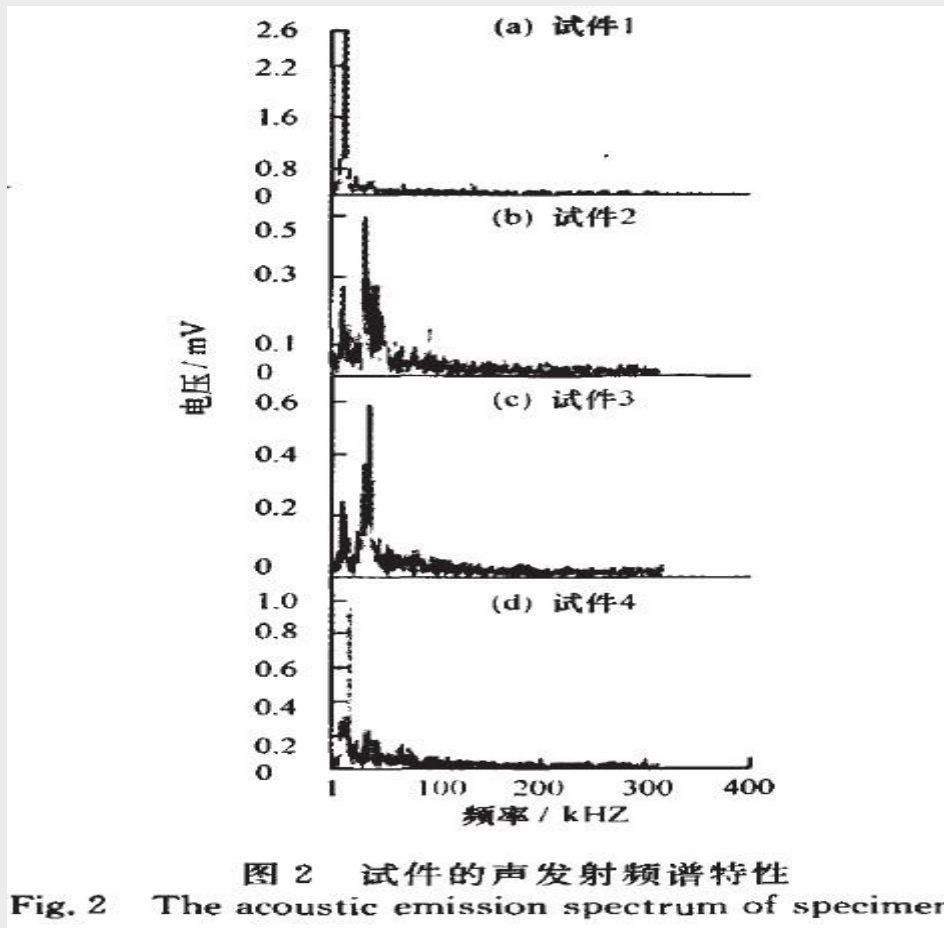
**表 1 试件及应力速率**  
**Table 1 Specimen and stress rate**

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蓝叶变换，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媒体有着明显的不同的声发射频谱特性。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×40mm，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。

