模拟引潮力作用下岩石破坏前兆的实验研究——加卸载响应比(LURR)理论和能量加速释放(AER)

张晖辉[1, 2]，尹祥础[1, 3]，梁乃刚[1]，李世愚[4]，余怀忠[1]，Y. C. Wang[5]，
C. Yin[5]，Victor Kukshenko[6]，Nikita Tomiline[6]，Surguei Elizarov[7]

(1. 中国科学院 力学研究所非线性力学国家重点实验室，北京 100080；
(2. 中国科学院 研究生院，北京 100039；3. 中国地震局 地震预测研究所，北京 100036；4. 中国地震局 地球物理研究所，北京 100081；
5. 昆士兰大学 QUAKES地球科学系，布里斯班 澳大利亚；
6. 俄罗斯科学院 Ioffe物理技术研究所，俄罗斯；7. Interunis公司，莫斯科 俄罗斯)

摘要：大地震前加卸载响应比升高和能量加速释放这 2 种现象可以用来对地震进行中期预报。同时，加卸载响应比升高和能量加速释放有相同的物理机制。实验对于揭示地壳岩石的变形和破坏规律是非常重要的。在三轴应力条件下进行了岩石破坏声发射实验，声发射技术是研究岩石变形破坏微观机理的重要手段。为了模拟日月引潮力对地球的加载和卸载作用，在一常数加载率的轴向压力作用下，叠加上微小的正弦扰动，力求能够模拟地下岩石复杂的受力状态。实验过程中记录到大量的声发射信息，声发射记录包括声发射发生的时间、空间坐标和振幅，它能够反映岩石试件内部每一个损伤(微裂纹)发生的时间、地点和强度。利用声发射记录系统地分析了岩石试件破坏前能量释放及加卸载响应比的演化情况，结果显示，岩石试件宏观破坏前出现了能量加速释放及加卸载响应比剧增这 2 种前兆现象，从而对地震临界点理论给予了实验支持，同时也为地震预测提供了实验依据。

关键词：岩石力学；加卸载响应比；能量加速释放；声发射；循环载荷；临界点理论
中图分类号：TU 45；O 319.56 **文献标识码：**A **文章编号：**1000－6915(2005)17－3172－08

EXPERIMENTAL STUDY OF ROCK FAILURE PRECURSOR USING SIMULATED TIDE STRESS—LOAD/UNLOAD RESPONSE RATIO (LURR) AND ACCELERATING ENERGY RELEASE (AER)

ZHANG Hui-hui[1, 2]，YIN Xiang-chu[1, 3]，LIANG Nai-gang[1]，LI Shi-yu[4]，YU Huai-zhong[1]，
Y.C. Wang[5]，C. Yin[5]，Victor Kukshenko[6]，Nikita Tomiline[6]，Surguei Elizarov[7]

(1. *State Key Laboratory of Nonlinear Mechanics*，*Institute of Mechanics*，*Chinese Academy of Sciences*，*Beijing* 100080，*China*；
2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences*，*Beijing* 100039，*China*；
3. *Institute of Earthquake Science*，*China Earthquake Administration*，*Beijing* 100036，*China*；
4. *Institute of Geosciences*，*China Earthquake Administration*，*Beijing*，100081，*China*；
5. *QUAKES*，*Department of Earth Sciences*，*The University of Queensland*，*Brisbane*，*Australia*；
6. *Ioffe Physical Technique Institute*，*Russian Academy of Sciences*，*Russia*；7. *Interunis Ltd.*，*Moscow*，*Russia*)

收稿日期：2005－02－24；**修回日期：**2005－04－24
基金项目：国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412706，2004CB418406)；国家自然科学基金资助项目(10232050)；中国科学院计算机网络信息中心超级计算中心资助项目(INF105－SCE－2－02)
作者简介：张晖辉(1975－)，女，1999 年毕业于河北大学数学系理论与应用力学专业，现为博士研究生，主要从事固体力学方面的研究工作。E-mail：zhanghh@lnm.imech.ac.cn。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Abstract: High LURR values and observations of Accelerating Moment/Energy Release (AMR/AER) prior to large earthquakes have suggested that intermediate-term earthquake prediction is possible. The LURR and AMR/AER have a similar physical origin. Experiments are very important in exploring the deformation and fracture of earth rock. Acoustic emission experiments of rock failure under triaxial stress have been conducted. The technique of acoustic emission is an important approach to reveal the micro-mechanism of deformation and failure of rocks. In order to simulate the rock in the earth crust the specimens were loaded by the combined action of a constant stress，intended to simulate tectonic loading，and a small sinusoidal disturbance stress，analogous to the Earth tide induced by the sun and the moon. Lots of acoustic emission during the entire loading was recorded. Each acoustic emission signal is characterized by the time，the three coordinates of the hypocenter and the amplitude，which is able to indicate the occurrence time，location and magnitude of every damage (micro-crack) in the specimen. In this paper LURR and AER are carried out in detail using the AE records. The results show that high LURR and AER occur before the macro fracture of the specimens. The experimental results confirm that LURR and AER are two macroscopic failure precursors of rock，which could be served as the experimental support of critical point hypothesis and foundation of earthquake prediction.

Key words：rock mechanics；load/unload response ratio(LURR)；accelerating energy release；acoustic emission；cyclic load；critical point hypothesis

1 引 言

地震常常以其猝不及防的突发性和巨大的破坏力给社会经济发展、人类生存安全带来严重的危害。人类一直渴望能够对地震进行精确的预报，但是由于地球介质的复杂性、资料不全性以及地球的不可入性，使得地震预报非常困难。普遍认为，地震的物理本质就是岩石在地壳应力作用下的突然失稳和破坏。因此，实验室中岩石破裂实验通常作为天然地震破裂的参考和模拟。

岩石材料在应力作用下发生变形的时候，会在其内部产生许多微破裂。这些微破裂在产生、扩展、闭合、张开以及贯通过程中，会有超声波发射，称为声发射(acoustic emission，简称AE)。由于微破裂过程的动态特征很难直接观测，声发射方法成为研究岩石变形过程中微破裂动态演化过程的有力工具。自文[1，2]的开拓性研究以来，国内外学者在此展开大量工作，取得了一系列的实验结果。例如，文[3]提出岩石材料破坏前声发射满足power law的空间分布；文[4]根据花岗岩试件和砂岩试件加载过程中的声发射空间分布特征，考察了岩石试件中微破裂面的成核和扩展过程；文[5]详细地分析了岩石试件灾变破坏前声发射的时空分布以及b值等相关物理量的变化；文[6]研究了不同温度和围压条件下花岗岩变形破坏过程中的声发射时序特征，并据此讨论了强震发生前的地震活动性；文[7]在岩爆模拟实验的基础上，利用声发射技术研究了岩爆发生的机理；文[8]通过大厂铜坑矿细脉带岩石结构面直剪实验中声发射特性的研究，总结了结构面破坏过程中声发射事件数和能率的基本规律；文[9]研究了循环载荷作用下岩石疲劳破坏过程中的变形规律和声发射特征。由于岩石中的微破裂与地壳中的断裂的相似性，岩石变形声发射研究对于地震活动性分析和研究是非常重要和有意义的，岩石变形声发射研究已经成为实验地震学的主要研究方向。

鉴于此，以国际合作的方式进行了中尺度岩石破裂声发射实验。参加实验的单位主要有中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室、中国地震局地震预测研究所、中国地震局地球物理研究所、俄罗斯科学院Ioffe物理技术研究所、澳大利亚昆士兰大学等等。实验中采用了俄罗斯科学院Ioffe物理技术研究所先进的声发射测试仪，通过声发射定位和能级的实时显示，反映出岩石材料内部损伤的时、空、强演化过程。本次实验所采用的声发射测量系统以数字方式输出声发射信号的相关特征量。用这种记录方式所记录到的声发射信号量远远大于传统的、以波形方式记录的声发射信号量。本次实验实现了三轴压缩加载方式。为了模拟孕震条件下日月引潮力对地球的加载和卸载作用，实验中采用循环载荷加载。通过实验结果分析，进一步研究和验证了加卸载响应比理论和能量加速释放现象，对地震临界点理论给予了实验支持，同时也为地震预测提供了实验依据。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　实验系统与实验结果

本次实验选用两种岩石，分别为辽宁锦州的花岗岩和四川成都的砂岩。花岗岩试件尺寸为 360 mm×300 mm×25 mm(长×宽×高)，其相关物理参数分别为：弹性模量 E 为 27 GPa，泊松比 ν 为 0.26，密度 ρ 为 2.6×10^3 kg/m^3，波速 c 为 2 900 m/s。砂岩试件尺寸为 360 mm×300 mm×20 mm(长×宽×高)，其相关物理参数分别为：弹性模量 E 为 19 GPa，泊松比 ν 为 0.26，密度 ρ 为 2.5×10^3 kg/m^3，波速 c 为 1 500 m/s。

实验中采用的加压设备为中国地震局地球物理研究所震源物理实验室的 MTS－100 伺服实验机，可进行双向加载，轴向最大载荷可达 1 000 kN，侧向最大载荷可达 300 kN。对试件采取轴向载荷 σ_1 和侧向载荷 σ_2 同时加载的方式(如图 1 所示)。

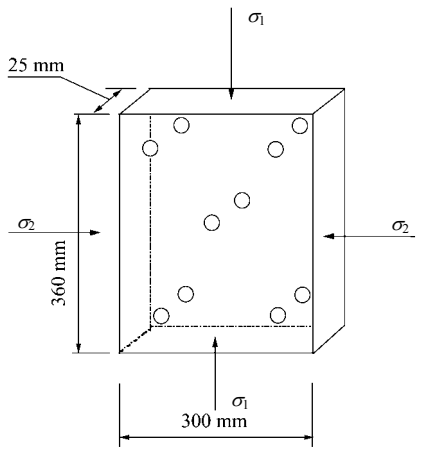
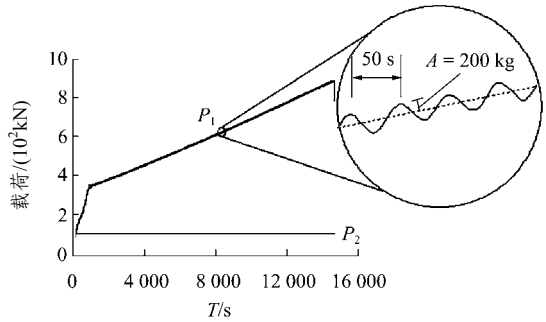


图 1　试件的尺寸、加载方式和声发射探头的布置

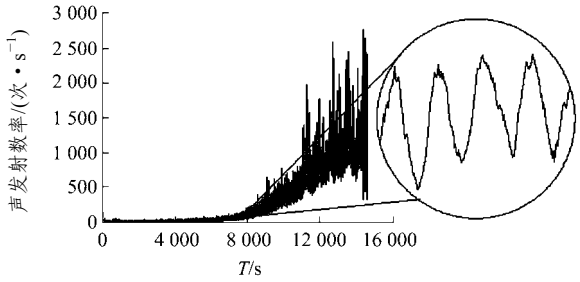
Fig.1　Geometry of the specimens，the loading conditions，and the arrangement of AE sensors

实验采用俄罗斯科学院 Ioffe 物理技术研究所的 A－Line16D 声发射系统，其主要指标如下：16 通道全波形记录，采样速率 5 MHz，声发射信号的门槛值为 45～51 dB，滤波后选定频率范围 50～250 kH。声发射探头将接受到的声波信号转换成电信号，经过放大和滤波以后传送到核心处理器进行分析和处理，然后用数字信号输出相关特征量，包括声发射信号的到达时间、上升时间、驰豫时间、最大幅值、能量和声发射数目等等。实验过程中不仅可以对声发射进行实时定位，还可以记录到完整的波形。声发射探头的直径为 10 mm，试件的每个自由表面布置 5 个探头，共 10 个(如图 1 所示)，“○”表示探头所在位置，用来接收试件内部产生的高频声发射信号。

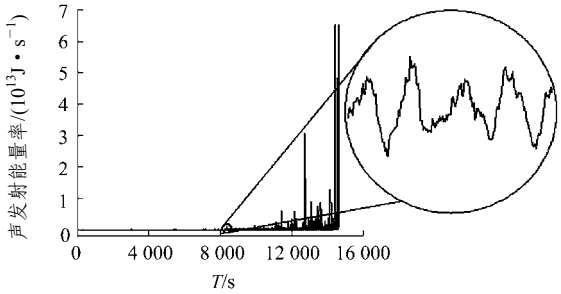
为了模拟地下岩石的应力状态及破坏形式，试件采用双向压缩加载方式($\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3 = 0$)，使之得到三向应力状态(图 1)，同时，为了模拟日月引潮力对地球的加载和卸载作用，在一常数加载率的轴向压力作用下，叠加上微小正弦扰动应力。图 2(a)为花岗岩试件加载过程中的载荷－时间曲线，其中 P_2 为侧向载荷(P_2 = 100 kN)，在整个加载过程中保持不变；P_1 为轴向载荷，先快速加载到一固定值(350 kN)，然后开始循环扰动，直至最后试件破坏。实验过程中记录到大量的声发射信息，声发射的时间序列如图 2(b)，(c)所示。图 3 为砂岩试件的加载过程曲线及声发射记录结果。



(a) 加载过程曲线



(b) 声发射事件率的时间序列

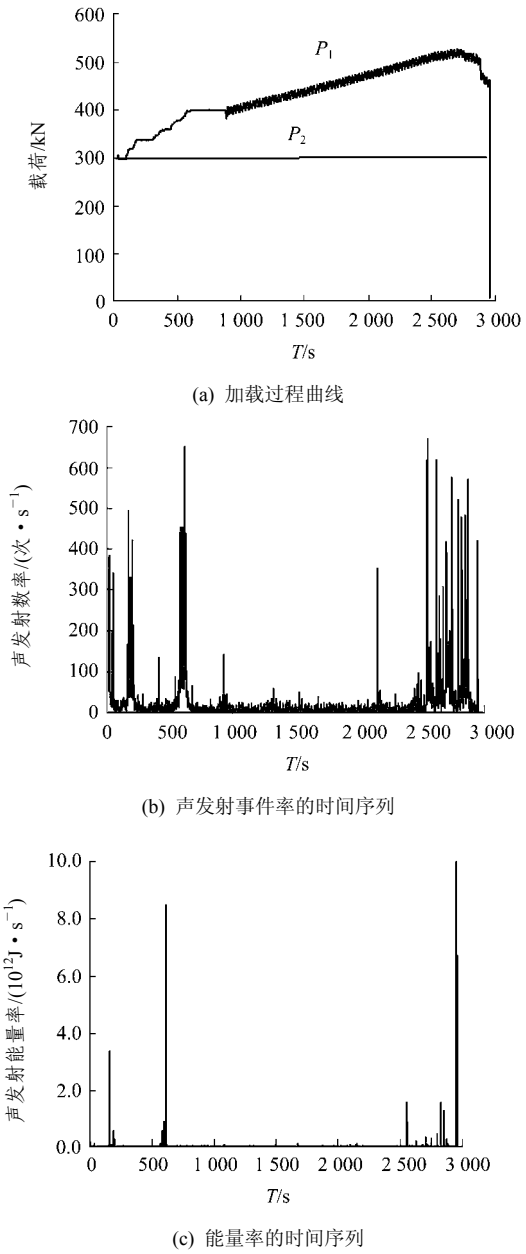


(c) 能量率的时间序列

图 2　花岗岩试件加载过程及声发射记录结果

Fig.2　Loading history and the AE records versus time for granite specimen

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a) 加载过程曲线

(b) 声发射事件率的时间序列

(c) 能量率的时间序列

图 3　砂岩试件加载过程及声发射记录结果

Fig.3　Loading history and the AE records versus time for sandstone specimen

3　实验结果分析

文[10]首先提出了地震的临界点概念。近年来，随着研究工作的深入，有越来越多的人支持这一观点，这样，就形成了地震临界点理论。许多研究表明，大地震发生前，孕震区内的能量常常呈幂律加速释放，利用能量加速释放的幂律拟合可以进行地震的中期预报[11~13]。地壳达到临界状态后，一个非常小的外部扰动(例如日月引潮力)都可能引起很大的地震，而评价地壳是否达到临界状态的一个重要参数就是加卸载响应比。通过研究发现，加卸载响应比理论和能量加速释放有相同的物理机制[14, 15]。本次实验的主要目的就是，在接近孕震的条件下，探索非均匀脆性介质的破坏前兆，进一步研究和验证加卸载响应比理论和能量加速释放。

3.1　加卸载响应比理论

我国地震学家尹祥础在地震力学、断裂力学、损伤力学、非线性科学等学科的基础上提出了一种新的地震预测方法——加卸载响应比理论[16, 17]。经过多年的实践，取得了很好的预测效果。

加卸载响应比 Y 是一个能够定量地反映非线性系统趋近失稳程度的参数，可将其定义为

$$Y = \frac{X_+}{X_-} \tag{1}$$

式中：正号表示加载阶段，负号表示卸载阶段，X 为响应率，有

$$X = \lim_{\Delta P \to 0} \frac{\Delta R}{\Delta P} \tag{2}$$

式中：ΔR 和 ΔP 分别表示载荷为 P 时，响应 R 和载荷 P 所对应的增量。

在地震学中，常使用地震的能量 E 及其相关量作为响应量。此时，Y 可定义为

$$Y = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N+} E_i^m\right)_+}{\left(\sum_{i=1}^{N-} E_i^m\right)_-} \tag{3}$$

式中：E 为地震能量，N 为地震数目。一般情况下 m 取 1/2，此时，E 的平方根在地震学中被称为 Benioff 应变。

文[18，19]进行了中强度地震前加卸载响应比的变化规律的大量震例检验，结果发现 80% 以上的震例在地震前加卸载响应比值均显著大于 1。同时，实验研究和数值模拟也证实了加卸载响应比理论的正确性[20, 21]。图 4 为典型的大地震前加卸载响应比曲线。

在实验中，加载和卸载过程都记录到大量的声发射事件。取 $m = 1/2$，即用 Benioff 应变作为响应，得到加卸载响应比 Y 值随时间的变化情况，如图 5 所示。从实验结果看，它们反映的规律基本相同，即当载荷水平较低、材料的损伤程度较小时，加卸载响应比 Y 的值较小，也比较稳定；当载荷水平较高，接近破坏的临界载荷时，材料的损伤程度较大，加卸载响应比 Y 的值就会急剧增加；当达到或超过临界载荷，并且又在材料发生根本性破坏之前，加

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

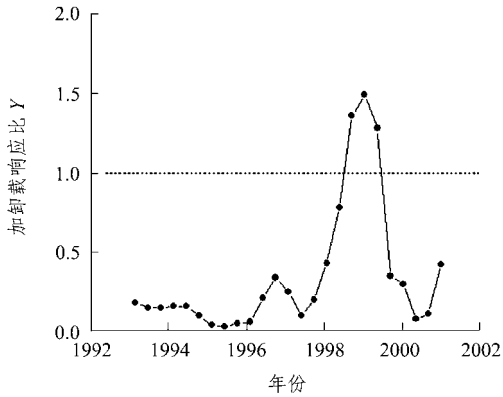
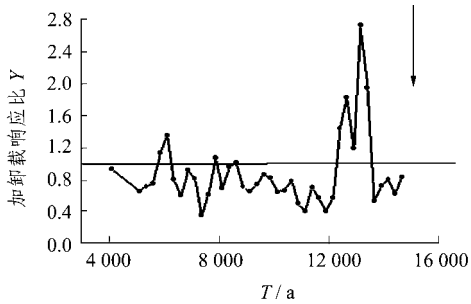


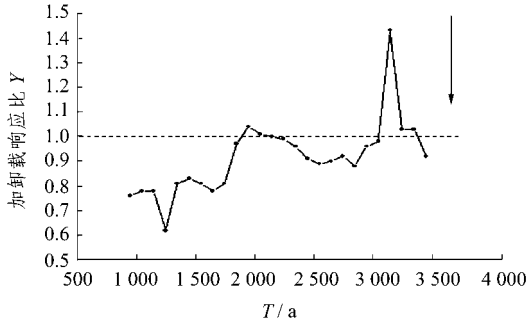
图 4　大地震前 LURR 的变化情况(昆仑山地震，2001－11－14，M = 8.1)

Fig.4　The variation of LURR before large earthquake(Kunlun earthquake，2001－11－14，M = 8.1)

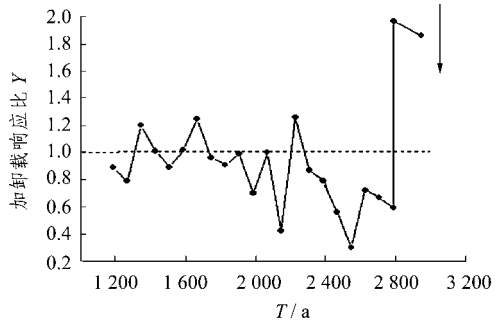
卸载响应比 Y 的值则出现了比较明显的回落，加卸载响应比的演化过程在一定程度上反映了岩石试件内部的损伤破坏程度或接近失稳的程度。这与实际



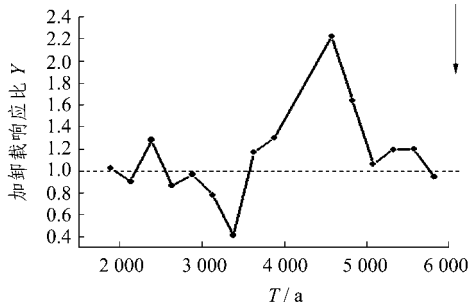
(a) 花岗岩试件



(b) 花岗岩试件



(c) 砂岩试件



(d) 砂岩试件

图 5　岩石试件破坏前加卸载响应比的变化趋势

Fig.5　LURR anomaly during rock fracture experiments of rock specimens

地震震例中加卸载响应比的变化趋势是一致的，这也表明加卸载响应比理论可以被用作反映岩石等脆性材料及地震发生的重要前兆。

3.2　能量加速释放

将声发射技术应用到岩石破坏实验中，通过对岩石试件内部声发射能量的分析，可以研究脆性材料弹性能释放的演化规律。

设 t_k 时刻内记录到的声发射事件能量为

$$E(t_k)=\sum_{t<k}e(t)\quad (k=1,\ 2,\ \cdots,\ n,\ t_k\leqslant t_c) \tag{4}$$

式中：t_c 为临界时刻，$e(t)$为声发射事件的能量。

通常按照下式(power-law)对能量释放过程进行拟合[11]：

$$\sum_{i=1}^{N(t)}E_i(t)=A+B(t_b-t)^z \tag{5}$$

式中：t_b 为大地震发生的时刻；$N(t)$ 为 t 时刻的事件数目；E_i 为第 i 个事件的能量；A，B，z 为拟合参数。根据式(5)，文[22]提出了对数周期(Log-periodicity)的拟合方法。为了对拟合效果进行检验，可把能量释放过程再作线性拟合，并把拟合的结果与 power-law 拟合的结果进行比较[23]，引入参数 r，令

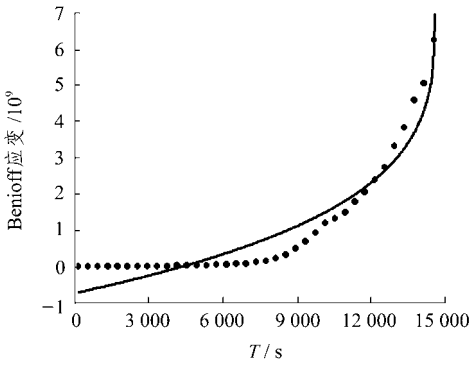
$$r=\text{power-law 拟合方差/线性拟合方差}$$

在这些参数之中，指数 z 是一个小于 1 的数，它直接反映了能量加速释放的程度，而且 z 越小说明能量加速释放的程度就越明显。比值 r 越接近 1，则表明能量释放越接近线性过程，即能量释放没有出现明显的加速；如果比值 r 小于 1 的程度较大，则表明能量释放更接近于幂律加速过程。针对 z 的

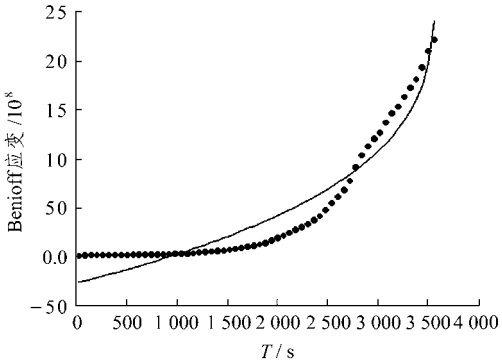
© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

变化情况，前人曾做过很多研究[24~28]。

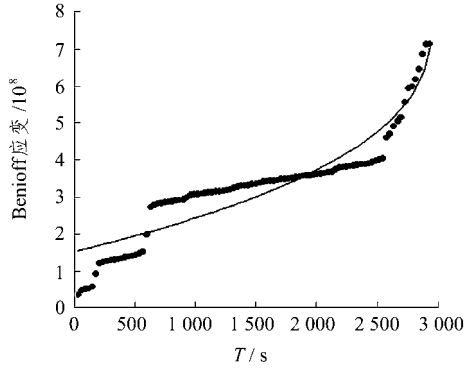
以本次实验结果为例，不同试件的声发射能量释放过程及其 power-law 拟合结果见图 6。在本次实验中，所得到的比值 z 分别为 0.24，0.28，0.38，0.35，与前人的研究结果是一致的，都能够表现出明显的能量加速释放现象。另一方面，本次实验所得到的比值 r 分别为 0.39，0.53，0.38，0.57，都较大程度地小于 1，这表明各个试件的能量释放都更接近于 power-law 拟合结果。由上面的讨论可以看出，岩石试件在加载过程中有明显的能量加速释放现象，符合 power-law 拟合方式，即能量的释放表现出呈幂律的加速过程。实验中所得到的结果有助于对实际震例研究。



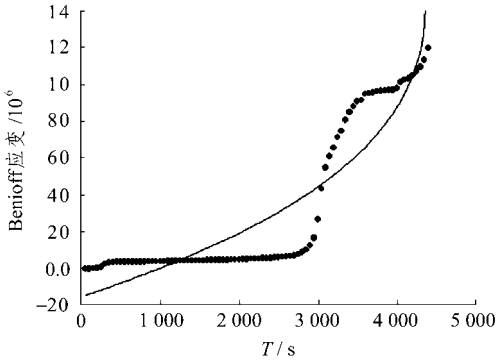
(a) 花岗岩试件



(b) 花岗岩试件



(c) 砂岩试件



(d) 砂岩试件

图 6　不同岩石试件的能量加速释放过程

Fig.6　Accelerating energy release of different specimens

上述的实验结果符合统计细观损伤力学中对于材料的破坏、地震发生和临界敏感性之间关系的论述[29~34]。同时，这些结果也表明加卸载响应比和能量加速释放可被用作反映非均匀脆性介质破坏以及地震发生的重要前兆。

4　结　语

本次实验中岩石试件宏观破坏之前均出现了能量加速释放和加卸载响应比异常增高两种前兆现象。从细观力学的角度来看，岩石等非均匀脆性材料在接近临界点(宏观破坏)时，材料内部微裂纹的数目和长度都会增加，微裂纹之间的相互作用也会增强，此时系统会变得非常敏感，外界非常小的扰动会引起很大的响应。能量呈幂律形式加速释放与材料内部较大裂纹的出现有关，而加卸载响应比值的异常增加与系统的敏感性有关，也就是说材料内部微裂纹之间的相互作用增强时，系统对外界的敏感性也随之增强。因此，能量加速释放和加卸载响应比的异常增高这两种基于临界点理论的前兆现象有着相同的物理机理。文[14，15]中通过详细讨论能量幂律加速释放临界区尺度与加卸载响应比的临界半径之间的关系，更进一步说明了能量加速释放与加卸载响应比这两种前兆现象之间的关系。本次实验结果对地震临界点理论给予了实验支持。

参考文献(References)：

[1] Mogi K. Study of elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and its relation to earthquake phenomena[J]. Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ.，1962，40：125－173.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[2] Scholz C H. Experimental study of the fracturing process in brittle rock[J]. Journal of Geophysical Research，1968，73：1 447－1 454.

[3] Hirata T. Fractal dimension of fault systems in Japan：fractal structure in rock fracture geometry at various scales[J]. Pageoph.，1989，131：157－170.

[4] Lockner D A，Byerlee J D，Kuksenko V，et al. Observations of Quasistatic Fault Growth from Acoustic Emissions，Fault Mechanics and Transport Properties of Rocks[M]. London：Academic Press，1992. 1－29.

[5] Lei X L，Masuda K，Nishizawa O，et al. Detailed analysis of acoustic emission activity during catastrophic fracture of faults in rocks[J]. Jou. Struct. Geol.，2004，26：247－258.

[6] 蒋海昆，张 流，周永胜，等. 基于高温高压岩石破坏实验结果对中强度地震前震中附近区域部分地震学现象的初步解释[J]. 西北地震学报，2002，24(2)：113－122.(Jiang Haikun，Zhang Liu，Zhou Yongsheng，et al. Primary explanation on some seismic phenomena around the epicenter area before strong and moderate earthquake based on the HT-HP rock failure experimental results[J]. Northwestern seismological Journal，2002，24 (2)：113－122.(in Chinese))

[7] 许迎年，徐文胜，王元汉，等. 岩爆模拟试验及岩爆机理研究[J]. 岩石力学与工程学报，2002，21(10)：1 462－1 466.(Xu Yingnian，Xu Wensheng，Wang Yuanhan，et al.，Simulation testing and mechanism studies on rock burst[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering，2002，21(10)：1 462－1 466.(in Chinese))

[8] 周小平，张永兴. 大厂铜坑矿细脉带岩石结构面直剪实验中声发射特性研究[J]. 岩石力学与工程学报，2002，21(5)：724－727.(Zhou Xiaoping，Zhang Yongxing. Study on the property of acoustic emission straight shearing test of rock joint in Dachang Tongkeng mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering，2002，21(5)：724－727.(in Chinese))

[9] 蒋 宇，葛修润，任建喜. 岩石疲劳破坏过程中的变形规律及声发射特性[J]. 岩石力学与工程学报，2004，23(11)：1 810－1 814.(Jiang Yu，Ge Xiurun，Ren Jianxi. Deformation results and acoustic emission characteristics of rocks in process of fatigue failure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering，2004，23(11)：1 810－1 814.(in Chinese))

[10] Vere-Jones D. Statistical theory of crack propagation[J]. Math. Geol.，1977，9：455－481.

[11] Bufe C G，Varnes D J. Predictive modeling of the seismic cycle of the greater San Francisco Bay region[J]. J. Geophys. Res.，1993，98(B6)：9 871－9 883.

[12] Gross S，Rundle J. A systematic test of time-to-failure analysis[J]. Geophys. J. Int.，1998，133：57－64.

[13] Brehm D J，Braile LW. Intermediate-term earthquake prediction using the modified time-to-failure method in Southern California[J]. Bull. Seism. Soc. Am.，1999，89：275－293.

[14] Yin X C，Mora P，Peng K Y，et al. Load-unload response ratio and accelerating moment/energy release critical region scaling and earthquake prediction[J]. Pageoph.，2002，159(10)：2 511－2 524.

[15] 彭克银，尹祥础. 加卸载响应比与应变能加速释放的临界现象讨论[J]. 地震，2004，24(3)：8－14.(Peng Keyin，Yin Xiangchu. Critical point hypothesis study on load-unload response ratio and accelerating release of strain energy[J]. Earthquake，2004，24(3)：8－14.(in Chinese))

[16] 尹祥础. 地震预测新途径的探索[J]. 中国地震，1987，3(1)：1－7.(Yin Xiangchu. Exploring the new approach to earthquake prediction[J]. Earthquake Research in China，1987，3(1)：1－7.(in Chinese))

[17] 尹祥础，尹 灿. 非线性系统的失稳前兆与地震预测[J]. 中国科学(B 辑)，1991，5：512－518.(Yin Xiangchu，Yin Can. The precursor of instability for nonlinear systems and its application to earthquake prediction[J]. Science in China(Series B)，1991，5：512－518.(in Chinese))

[18] Yin X C，Chen X Z，Song Z P. The load/unload response ratio(LURR) theory and its application to earthquake prediction[J]. Journal of Earthquake Prediction Research，1994，3(3)：325－333.

[19] Yin X C，Chen X Z，Song Z P，et al. A new approach to earthquake prediction — the load/unload response ratio(LURR) theory[J]. Pageoph.，1995，145(3/4)：701－715.

[20] Yin X C，Yu H Z，Kukshenko V，et al. Load-unload response ratio (LURR)，accelerating energy release(AER) and state vector evolution as precursors to failure of rock specimens[J]. Pure and Applied Geophysics，2004，161(11/12)：2 405－2 416.

[21] Wang Y C，Mora P，Yin C. David place，statistical tests of load-unload response ratio signals by lattice solid model：implication to tidal triggering and earthquake prediction[J]. Pure and Applied Geophysics，2004，161(9/10)：1 829－1 839.

[22] Sornette D，Sammis C G. Complex critical exponents from renormalization group theory of earthquakes：implications for earthquake predictions[J]. J. Phys. I France，1995，5：607－619.

[23] Bowman D D，Ouillon G，Sammis C G，et al. An observational test of the critical earthquake concept[J]. J. Geophys. Res.，1998，103：24 359－24 372.

[24] Sornette D. Mean-field solution of a block-spring model of earthquake[J]. J. Phys. I France，1992，2：2 089－2 096.

[25] Ben-Zion Y，Lyakhovsky V. Accelerated seismic release and related aspects of seismicity patterns on earthquake faults[J]. Pure and Applied Geophysics，2002，159(10)：2 385－2 412.

[26] Turcotte D L，Newman W I，Shcherbakov R. Micro-and macro-scopic models of rock fracture[J]. Geophys. J. Int.，2002，152：718－728.

[27] Rundle J B，Klein W，Tiampo K，et al. Precursory seismic activation and critical-point phenomena[J]. Pure and Applied Geophysics，2000，157(11/12)：2 165－2 182.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[28] Sornette D. Critical Phenomena in Natural Sciences：Chaos，Fractals，Self-organization，Disorder-Concepts and Tools(Springer Series in Synergetics S.)[M]. Berlin：Springer-Verlag，Heidelberg GmbH and Co. K，2000.

[29] Bai Y L，Xia M F，Ke F J，et al. Analysis and simulation of evolution induced catastrophe[J]. Chinese Phys. Lett.，1993，10(3)：155－158.

[30] Bai Y L，Lu C S，Ke F J，et al. Evolution induced catastrophe[J]. Phys. Lett.，1994，185(2)：196－200.

[31] Bai Y，Jia Z，Zhang X，et al. Long-range stress redistribution resulting from damage in heterogeneous media[J]. Pure and Applied Geophysics，2004，161(9/10)：1 841－1 852.

[32] Zhang X，Xu X，Wang H，et al. Critical sensitivity in driven nonlinear threshold systems[J]. Pure and Applied Geophysics，2004，161(9/10)：1 931－1 944.

[33] 夏蒙棼，韩闻生，柯孚久，等. 统计细观损伤力学和损伤演化诱致突变(I)[J]. 力学进展，1995，25(1)：1－40.(Xia Mengfen，Han Wensheng，Ke Fujiu，et al. Statistical meso-scopic damage mechanics and damage evolution induced catastrophe(I)[J]. Advances in Mechanics，1995，25(1)：1－40.(in Chinese))

[34] 夏蒙棼，韩闻生，柯孚久，等. 统计细观损伤力学和损伤演化诱致突变(Ⅱ)[J]. 力学进展，1995，25(2)：145－171.(Xia Mengfen，Han Wensheng，Ke Fujiu，et al. Statistical meso-scopic damage mechanics and damage evolution induced catastrophe(Ⅱ)[J]. Advances in Mechanics，1995，25(2)：145－171.(in Chinese))

《岩石力学与工程学报》2006年将由半月刊恢复为月刊

为缩短《岩石力学与工程学报》(以下简称《学报》)的出版周期，近几年《学报》由季刊转为双月刊(1997 年)，由双月刊转为月刊(2002 年)，尤其是再由月刊转为半月刊(2004 年)，发展势头过快，并由此带来一些问题。从实际运行情况看来，符合发表条件的高质量稿源显得不足，特别是本专业领域内高层次的 3 个期刊——《岩土工程学报》(2005 年由双月刊改为月刊)、《岩土力学》(2004 年由双月刊改为月刊)和本刊在同一时期都提高了发表文章的数量，对优秀稿件的需求增加了几倍，而优秀稿件的产出却没有同比例增长。此外，2004 年，《学报》出版地方性学会和二级专业委员会专辑过多，影响自由投稿稿件的出版周期。2004 年 5 月初，本刊已通知作者录用的稿件已排到 2005 年第 17 期。从 2004 年 5 月起，本刊经过近 8 个月的重审、补修、退稿、提高录用稿件门槛等措施，至 2004 年底待刊稿件仅排到 2005 年第 19 期，预计出版周期为 11 个月左右。2005 年仅计划出版“973”、“深部岩石力学”等重大基金项目专刊 4 个。有评审专家指出，转为半月刊后，《学报》的学术质量面临严峻挑战，应及时采取果断措施，以促进《学报》的健康发展。编辑部在接到多方面的反馈意见和建议后，结合编辑部现有的情况认为：当时学报由月刊转为半月刊的主要目的是缩短发表周期，作为一种过渡手段在一段短时间内是可行的。2005 年《学报》出版周期可控制在一年以内，基本达到预期目的。为了严把质量关，发表高水平的论文和突出办刊特色，从《学报》长远的、可持续发展的目标来看，对恢复“月刊”还是继续办“半月刊”问题，须重新慎重考虑。

经过充分的酝酿和慎重的研究，武汉岩土力学研究所领导和学术委员会成员、业务骨干于 2005 年 1 月 25 日对本学报提出“由半月刊恢复月刊”的建议进行投票表决，一致同意恢复月刊；随后，编辑部又对本学报的前任主编、学会副理事长(原分管学报)、有关院士和现任副主编发出征求意见函 11 份，其中 10 人同意恢复月刊。2005 年 3 月 25 日，中国岩石力学与工程学会理事长办公会议经过认真审议，同意《学报》从 2006 年由半月刊恢复为月刊，并已得到中国科协的批准。

《学报》由半月刊恢复到月刊，从目前的情况而言，更有利于《学报》的稳定和可持续性发展，对提高《学报》学术质量更为有利，编辑部将更加关注岩石力学发展前沿和重大岩土工程课题，从而能真正把本刊办成国内领先、国际知名的一流刊物。

(《岩石力学与工程学报》编辑部)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net