

# 岩土破坏过程声发射特征的实验研究\*

赵恩来, 王思元

(中国矿业大学能源与安全工程学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:**通过对重庆黄泥包滑坡处采集的岩土试样进行单轴压缩和拉伸实验,测试了岩土破坏过程的声发射信号,得出了岩土破坏过程声发射的基本特征;在单轴压缩实验中,声发射能量信号随着压力的增加呈现连续增加的趋势,在主破裂时刻有较强声发射能量信号产生;在蠕变实验中,AE 在压力上升阶段信号增强,在恒定压力下,AE 信号有所减弱,整体趋势较为平缓;在拉伸实验中,岩土的破坏方式呈主震型和群震型;AE 信号能够反映岩土受载过程;岩土的抗压强度与声发射能量最大值呈正相关性;加载速率越大,声发射能量最大值也越大。

**关键词:** 岩土受载; 声发射; 单轴压缩; 岩土强度

**中图分类号:** TU459 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2006)03-0316-05

## 0 引言

岩石在荷载作用下会产生声、光、电磁和变形等物理效应,声发射现象就是当岩石受力变形时,部分贮藏能量以弹性波(声波)的形式释放出来<sup>[1]</sup>。早在 20 世纪 30 年代末期,美国矿务局的奥伯特(Obert)和杜瓦尔(Duall)<sup>[2]</sup>就发现了受压力作用的岩石结构存在声发射(Acoustic Emission,简称 AE)活动。

滑坡是主要地质灾害类型之一,危害和影响程度仅次于地震、火山。滑坡按土性可分为土体滑坡和岩石滑坡<sup>[3]</sup>。目前,对于滑坡的预测预报包括空间预测与时间预测,两者缺一不可。滑坡的空间预测为时间预报提供对象;滑坡时间预报的选点必须首先以滑坡空间预测成果为依据,从而避免盲目设点造成错漏的弊端<sup>[4]</sup>。

近年来,声发射技术发展迅速,已成为岩石力学研究中很重要的工具之一。借助 AE 监测技术,在国内外已成功地预报了几次大岩体失稳事故,在土体滑坡的预测中,也开始尝试应用这一技术(如黄茨滑坡)。国内学者对岩石声发射现象有了广泛的研究<sup>[5~8]</sup>,并扩展到煤岩<sup>[9]</sup>、混凝土<sup>[10]</sup>等材料的声发射特征的实验研究。前人研究岩土的声发射特征主要从声发射率方面来探讨,本文通过对较软的泥岩材料进行不同方式的加载实验,从能量角度对 AE 规

律及变化趋势进行分析,为进一步准确预测预报土体滑坡提供基础的理论依据。

## 1 试样及实验系统

实验所需的岩土试样均在重庆黄泥包滑坡处采集。其位于万州城区枇杷坪滑坡西侧,滑坡体后缘边界为基岩,滑坡区地形北高南低。滑坡体厚度变化大,为 2.45~25.00 m,滑坡面为泥岩与砂岩的界面,泥岩的分布厚度大约 4.6~12.4 m,砂岩的分布厚度在 10 m 以上。实验所用泥岩试样取自泥岩与砂岩的界面,以褐黄色、灰褐色、紫红色可塑状粘土为主,具较好粘性( $I_p=10.4\sim 15.8$ ),呈可塑状,局部呈坚硬状( $I_L=-0.10\sim 0.55$ ),其间含泥岩角砾。实验过程中,将岩土制成  $\Phi 50\text{ mm}\times 25\text{ mm}$  和  $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}\times 100\text{ mm}$  的 2 种试样。

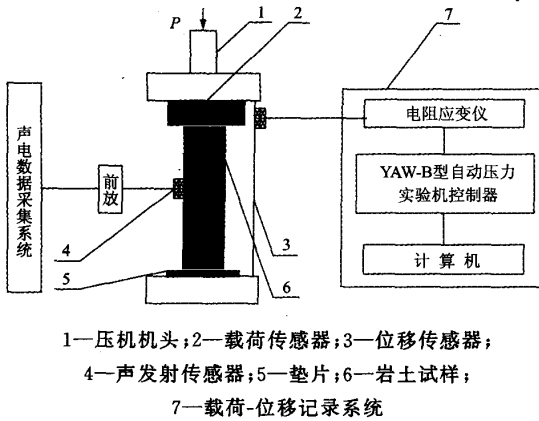
声发射测试系统是本文的核心实验系统,建立的实验系统见图 1,由加载系统、DISP-24 型声电数据采集系统、载荷一位移记录系统组成。

声发射传感器用于接收试样破坏产生的声发射信号,其谐振频率分别是 50 kHz 和 140 kHz。准备实验时,先用酒精将试样的一个侧面擦干净,之后用凡士林将声发射传感器耦合到岩土试样上,并用胶带纸粘紧,保证每次胶带纸使用压力相同,以确保试样破坏过程中产生的弹性波良好传播且被传感器接收。

\* 收稿日期:2005-09-05;修回日期:2005-12-16

基金项目:国家自然科学基金项目(50204010);国家自然科学基金专项基金项目(50427401);国家自然科学基金重点项目(50134040)

作者简介:赵恩来(1982-),男,硕士研究生。主要从事安全技术及工程方面的研究。Email:Zhel8215@163.com



1—压机机头；2—载荷传感器；3—位移传感器；  
4—声发射传感器；5—垫片；6—岩土试样；  
7—载荷-位移记录系统

图 1 声发射实验系统示意

Fig.1 Sketch of AE experiment system

## 2 实验结果及初步分析

### 2.1 单轴压缩及蠕变实验

图 2(a)的加载方式为力控制 0.2 kN/s；图 2(b)

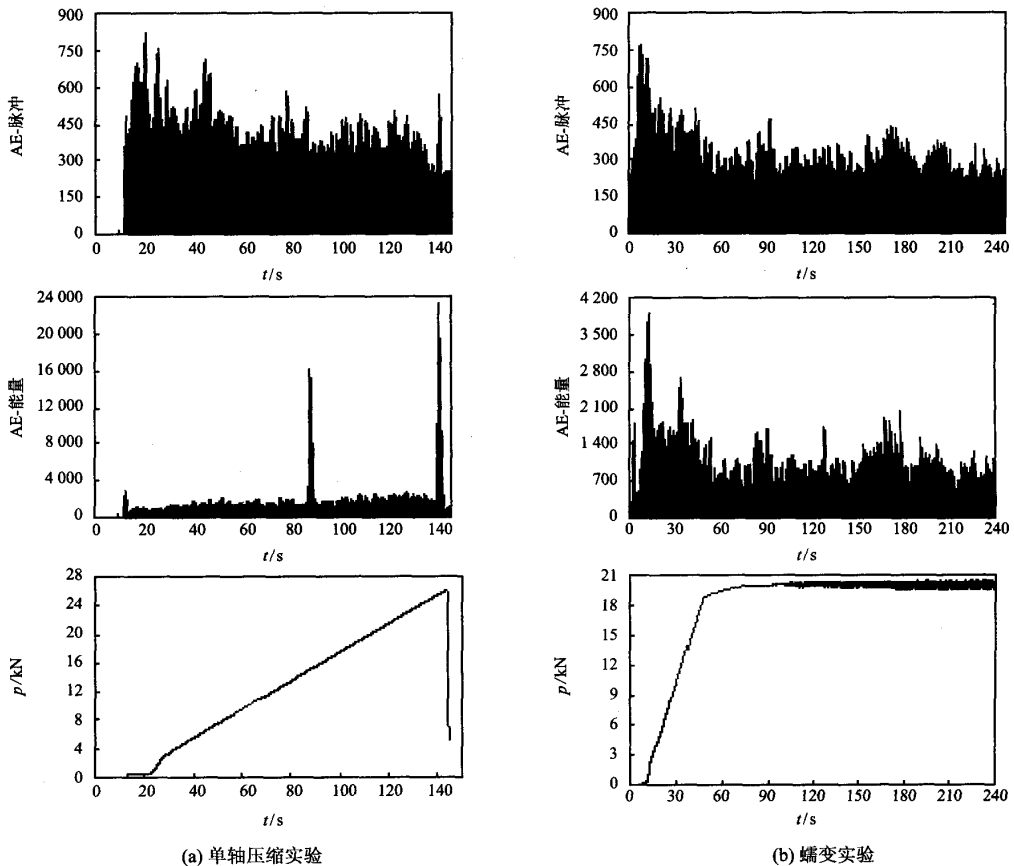


图 2 岩土实验典型结果

Fig.2 Results of rock and soil experiments

的加载方式为程序控制：第一步：等速力，速度 0.2 kN/s，目标 20 kN，预紧速度 5 mm/min，当力值达到 20 kN 时跳转第二步；第二步：压力机实行控制保持，保持压力值在 20 kN。

(1)从图 2(a)看出：岩土单轴压缩实验中，AE 脉冲与能量信号均在受力起始阶段被同时触发。AE 脉冲信号在受力初期较多，后期有所减少，并且在主破裂时刻也未产生强脉冲信号，其原因主要是在刚受力时，岩土快速收缩变形、晶粒之间摩擦多，因而产生较强的 AE 脉冲信号，而在后期的压密阶段，由于岩土的松散特性，内部变形及破裂频次趋于稳定；AE 能量信号随着压力的增加而增加，在主破裂时刻产生强 AE 能量信号，在 90 s 时产生次强 AE 能量信号，表明在此时刻，岩土内部有较大的变形或裂纹产生。

(2)从图 2(b)看出：岩土蠕变实验中 AE 脉冲与能量信号均在受力起始阶段被同时触发。AE 脉冲信号在受力初期较多，后期在压力平稳期间，AE 脉冲信号呈稳态发展的趋势；AE 能量信号也呈现同样的规律。

从图 2(a)与图 2(b)对比看,AE 脉冲信号规律的趋势大体相同,而 AE 能量信号的趋势则与岩土受力过程表现出一致性。

### 2.2 拉伸实验

图 3(a)的加载方式为 0.2 kN/s;图 3(b)的加载方式为 0.1 kN/s。

(1)图 3(a)所示:在岩土拉伸实验过程中,在压力到达峰值 90%左右时,AE 能量出现峰值,并且在

破坏前后 AE 能量均很小,图 3(a)属于主震型。

(2)图 3(b)所示:由于岩土材料的不均匀性,使得荷载呈间断上升的趋势,AE 能量也呈同样的趋势,但在每个间断点都有较强的 AE 能量产生,并且在破坏时刻前有明显的强 AE 能量产生,但与图 3(a)的 AE 能量峰值信号相比则显得较小,图 3(b)属于群震型。

图 3(a)与图 3(b)所表征出来的 AE 能量特征与岩土试样受载路径很吻合。

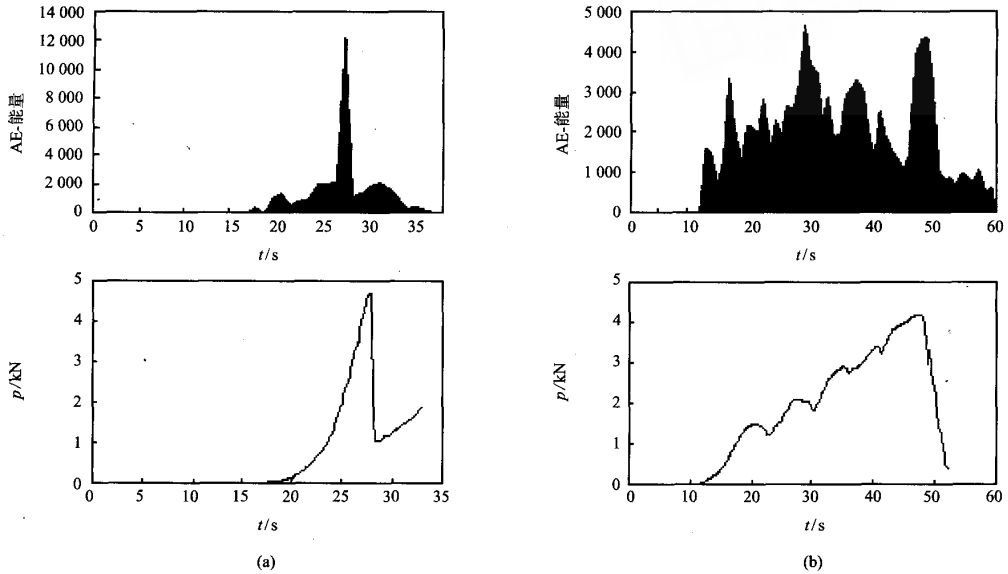


图 3 岩土实验典型结果  
Fig. 3 Results of rock and soil experiments

### 2.3 单轴压缩条件下 AE 能量与加载速率及峰值压力的关系

在岩石力学试验中,加载速率对试验结果会产生较大影响,一般认为加载速率大,则岩石抗压强度大。同样,在岩石声发射试验中,加载速率对试验结果也会有影响,一般认为随加载速率的增加,AE 趋向于在破坏极限时发生,同时岩石的 AE 能量也随加载速率的增加有急剧的增加<sup>[11]</sup>。

通过分析图 4 看出:对于单一试样,加载速率越大,AE 能量最大值也越大,两者呈现正相关性。统计整个单轴压缩实验结果(图 5),可得出这样的结论:在整个加载过程中,AE 能量的最大值与岩石的抗压强度有很好的正相关性。

经过曲线拟合,得出 AE 能量最大值与岩土抗压强度有如图 6 所示的关系。从图 6 可看出:AE 能量最大值与岩土抗压强度呈二次多项式关系,相关

度为 0.903 3。

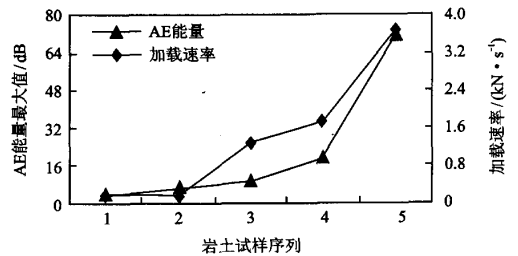


图 4 AE 能量与加载速率之间的关系  
Fig. 4 Relationship between AE energy and loading rate

## 3 结论

(1)在单轴实验过程中,受力初期由于岩土快速压缩变形产生较强的脉冲信号,后期因岩土自身的松散性,AE 脉冲信号有所减弱并呈稳态发展趋势;在整个加载过程中,AE 能量随压力的增加而增加,

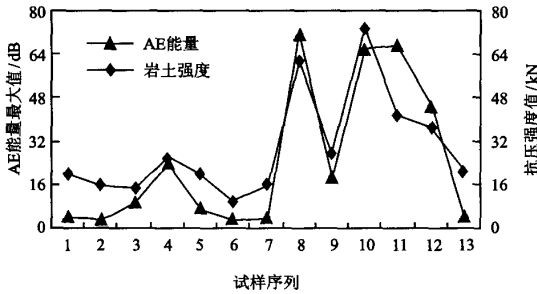


图 5 AE 能量与岩土试样之间的关系

Fig. 5 Relationship between AE energy and rock and soil samples

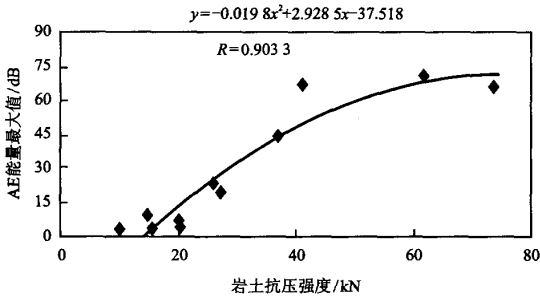


图 6 AE 能量与岩土强度之间的关系

Fig. 6 Relationship between AE energy and intensity of rock and soil

在主破裂时刻,有强 AE 能量信号产生。

(2)在蠕变实验过程中,岩土受力过程中产生的 AE 脉冲信号与能量信号呈现一致性,同时很好地反映了整个加载过程;对于拉伸实验,由于受力面积较小,因而与单轴压缩实验相比,主破裂时刻的 AE 能量有所减小,但 AE 能量信号也很好地反映了整个加载过程。因而,AE 信号与岩土受载过程有很大的关系。

(3)在单轴压缩实验中,AE 能量最大值与岩土的抗压强度有着良好的正相关性,经过拟合,得出了 AE 能量最大值与岩土抗压强度之间的关系式;加载速率对岩土的 AE 能量信号有一定的影响,初步分析认为加载速率越大,岩土主破裂时刻产生的 AE 能量越强。

(4)岩土材料破坏产生的 AE 规律的研究,对于地质滑坡灾害预报有着现实的实际意义,从 AE 能量角度实现对滑坡灾害的预报是有可能的。

本文只是对岩土破坏产生 AE 的特征的初步研究,尚有待从频谱等方面进行深入的探讨。

参考文献:

[1] 谢强,张永兴,余贤斌. 石灰岩在单轴压缩条件下的声发射特征[J]. 重庆建筑大学学报,2002,24(1):19-22  
Xie Q, Zhang Y X, Yu X B. Study on acoustic emission of limestone in uniaxial compression test [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2002, 24(1):19-22

[2] Obert, L., Duvall W. I.. Micro-Seismic Method of Determining the Stability of Underground Openings[R]. Washington: Bulletin 573, Bureau of Mines, United States Department of the Interior, 1957

[3] 陈文化,景立平,徐兵. 岩石声发射监测技术应用分析[J]. 自然灾害学报,1999,8(2):103-109  
Chen W H, Jing L P, Xu B. Monitoring rock slope slipping in three gorge and application of rock acoustic emission techniques[J]. Journal of Natural Disasters, 1999,8(2):103-109

[4] 贾东远,阴可,张培胜. 从重庆建设看西部开发中的若干环境岩土工程问题[J]. 地下空间,2001,12(5):346-348  
Jia D Y, Yin K, Zhang P S. Some environmental geotechnical engineering problems in west china development with chongqing as an example [J]. Underground Space, 2001,12(5):346-348

[5] 秦四清. 岩石断裂过程的声发射试验研究[J]. 地质灾害与环境保护,1994,5(3):48-55  
Qin S Q. Experiment research on acoustic emission in the process of rock fracture [J]. Geological Hazards and Environment Preservation, 1994,5(3):48-55

[6] 陶纪南,张克利,郑晋峰. 岩石破坏过程声发射特征参数的研究[J]. 岩石力学与工程学报,1996,15(增刊):452-455  
Tao J N, Zhang K L, Zheng J F. Research of parameter of acoustic emission under rock failure [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1996,15(Supp.):452-455

[7] 李俊平,周创兵. 岩体的声发射特征试验研究[J]. 岩土力学,2004,25(3):374-378  
Li J P, Zhou C B. Experimental research on acoustic emission characteristics of rock mass [J]. Rock and Soil Mechanics, 2004,25(3):374-378

[8] 周小平,张永兴. 岩石结构面直剪试验中声发射特性研究[J]. 重庆建筑大学学报,2000,22(增刊):158-162  
Zhou X P, Zhang Y X. Study on the property of a-coustic emission in joint straight shearing test of the rock [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University,

- 2000,22(Supp.):158-162
- [9] 王恩元,何学秋,刘贞堂. 煤岩破裂声发射实验研究及RS统计分析[J]. 煤炭学报,1999,24(3):270-273  
Wang E Y, He X Q, Liu Z T. 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
- [10] 纪洪广,贾立宏,李造鼎. 混凝土损伤的声发射模式研究[J]. 声学学报,1996,21(第4期增刊):601-608  
Ji H G, Jia L H, Li Z D. Study on the AE-model of concrete damage[J]. Acta Acustica, 1996, 21 (No. 4Supp.): 601-608
- [11] 王志军,李兴华,刘长友. 加载速率对岩石声发射活动的影响[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2001,20(4):469-471  
Wan Z J, Li X H, Liu C Y. Influence of loading velocity on the rock's acoustic emission activity[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2001,20(4):469-471

## Experimental Study on Acoustic Emission Characteristics of Rock and Soil in the Failure Process

ZHAO En-lai, WANG En-yuan

(School of Mineral & Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** Uniaxial compression and tension experiments have been done with rock and soil samples taken from Huangniba landslide Chongqing. In the process of fracture of rock and soil, acoustic emission signals have been recorded and the characteristics of acoustic emission of rock and soil in the failure process are displayed. In the process of uniaxial compression loading, acoustic emission energy signals increase with the increase of pressure, and in main fracture acoustic emission signals become stronger. In the process of creep loading, acoustic emission signals become stronger under the stage of pressure increasing, and become weaker and then tend to be unchanged under the stage of constant pressure. In tension test, two modes of failure of rock and soil are observed, referred to as main shock type and swarm shock type, respectively. Acoustic emission signals can reflect the loading process of rock and soil. The maximum acoustic emission energy is in positive correlation with the strengths of rock and soil. The acoustic emission energy signals become stronger with the increase of loading rate.

**Key words:** loading of rock and soil; acoustic emission; uniaxial compression loading; strengths of rock and soil

# 岩土破坏过程声发射特征的实验研究

作者: [赵恩来](#), [王恩元](#), [ZHAO En-lai](#), [WANG En-yuan](#)  
作者单位: [中国矿业大学能源与安全工程学院](#), 江苏, 徐州, 221008  
刊名: [防灾减灾工程学报](#)   
英文刊名: [JOURNAL OF DISASTER PREVENTION AND MITIGATION ENGINEERING](#)  
年, 卷(期): 2006, 26(3)  
引用次数: 1次

## 参考文献(11条)

1. [谢强](#), [张永兴](#), [余贤斌](#) [石灰岩在单轴压缩条件下的声发射特征](#)[期刊论文]-[重庆建筑大学学报](#) 2002(01)
2. [Obert L](#), [Duvall W I](#) [Micro-Seismic Method of Determining the Stability of Underground Openings](#) 1957
3. [陈文化](#), [景立平](#), [徐兵](#) [岩石声发射监测技术应用分析](#) 1999(02)
4. [贾东远](#), [阴可](#), [张培胜](#) [从重庆建设看西部开发中的若干环境岩土工程问题](#)[期刊论文]-[地下空间](#) 2001(05)
5. [秦四清](#) [岩石断裂过程的声发射试验研究](#)[期刊论文]-[地质灾害与环境保护](#) 1994(03)
6. [陶纪南](#), [张克利](#), [郑晋峰](#) [岩石破坏过程声发射特征参数的研究](#) 1996(zk)
7. [李俊平](#), [周创兵](#) [岩体的声发射特征试验研究](#)[期刊论文]-[岩土力学](#) 2004(03)
8. [周小平](#), [张永兴](#) [岩石结构面直剪试验中声发射特性研究](#)[期刊论文]-[重庆建筑大学学报](#) 2000(zk)
9. [王恩元](#), [何学秋](#), [刘贞堂](#) [煤岩破裂声发射实验研究及RS统计分析](#) 1999(03)
10. [纪洪广](#), [贾立宏](#), [李造鼎](#) [混凝土损伤的声发射模式研究](#) 1996(zk)
11. [万志军](#), [李学华](#), [刘长友](#) [加载速率对岩石声发射活动的影响](#)[期刊论文]-[辽宁工程技术大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(04)

## 相似文献(0条)

## 引证文献(1条)

1. [戴光](#) [声发射检测技术在中国——庆祝中国机械工程学会无损检测分会成立三十周年](#)[期刊论文]-[无损检测](#) 2008(7)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_dzxk200603014.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzxk200603014.aspx)

下载时间: 2010年5月31日