

不同含水率红砂岩单轴压缩试验声发射特征研究

文圣勇 韩立军 宗义江 孟庆彬 张 建

(中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室 江苏 徐州 221008)

摘要:利用微机控制电液伺服岩石三轴试验机,分别对不同含水率砂岩进行常规单轴压缩试验,加载过程中同时进行声发射(AE)检测,得到4种不同含水率试样全应力-应变曲线、声发射振铃数和累计振铃数曲线。结果表明:水对砂岩的力学特性和声发射特征有较大影响;峰值前不同含水率试样应力-应变曲线无明显屈服特征,而应力与声发射累计振铃数曲线有明显的台阶出现;岩样声发射振铃数在加载过程中基本呈递增趋势,越接近后期增加越明显,峰值处声发射振铃数达到最大,声发射累计振铃数以近乎直线方式增长;峰值后应力与声发射振铃数同时减小。含水率越高,砂岩声发射振铃数越少且越滞后,但各种试样所得声发射累计振铃数曲线在形状上相似。

关键词: 红砂岩; 含水率; 单轴试验; 声发射; 声发射振铃数

中图分类号: TD315 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2013)08-0046-03

Study on Acoustic Emission Characteristics of Sandstone Uniaxial Compression Test with Different Moisture Content

WEN Sheng-yong ,HAN Li-jun ,ZONG Yi-jiang ,MENG Qing-bin ,ZHANG Jian

(State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: The conventional uniaxial test for different moisture content sandstone was carried by computer controlled electro-hydraulic servo controlled rock triaxial test machine and the acoustic emission was detected at the same time. Stress-strain curves, AE ring counts curves and cumulative AE ring counts curves were gotten from four different moisture content sandstone samples. The results showed that the moisture content had great influence on mechanical properties and the acoustic emission characteristics of sandstone. Before peak the samples of different moisture content didn't have yield characteristics in the stress-strain curves and stress-cumulatively acoustic emission ringing curve had obvious step. Rock acoustic emission ring counts showed an increasing trend during the loading process and the closer to the late, the more obviously increased. The acoustic emission obtained its highest point at peak and acoustic emission accumulative ring counts were close to linear growth mode. The stress declined dramatically and acoustic emission ring counts decreased after peak. When the moisture content was higher, rock acoustic emission ring counts were less and less lag, but various samples acoustic emission accumulative ring counts curves were similarity in shape.

Key words: sandstone; moisture content; uniaxial test; acoustic emission; acoustic emission ring counts

0 引言

声发射(Acoustic Emission, AE)是通过察听受荷岩石内的发声来探测其内部状态和力学特性的一种方法。当岩石受载荷产生变形时,岩石中原有的或新生的裂隙周围区域出现应力集中,应变能增高。当载荷增大到一定数量级时,原有微裂纹尖端附近

区域出现了微观变形或屈服,裂纹扩展,从而使得应力迟滞,岩石中所储藏能量的一部分以弹性波(声波)的形式释放出来,这就是声发射现象^[1]。声发射是研究脆性材料内部失稳破裂演化过程的一个常用工具,因为它能连续、实时地监测在载荷作用下脆性材料内部微裂纹的产生和扩展过程,并可对破坏位置进行定位,这是其他试验方法所不具有的特点,

收稿日期: 2013-02-18; 责任编辑: 曾康生

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51174196)

作者简介: 文圣勇(1989—),男,山东临沂人,硕士研究生。Tel: 15951467863, E-mail: shengyong1229@126.com

引用格式: 文圣勇,韩立军,宗义江等. 不同含水率红砂岩单轴压缩试验声发射特征研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 46-48, 52.

已被广泛应用于研究岩石、混凝土等材料的破裂失稳机理,并取得了很多成果^[2-10]。文献[11]在周期性循环载荷作用下,通过改变应力幅度和加载速率对细粒砂岩进行了声发射试验研究; Jansen 等^[12]应用声发射技术研究了岩石破裂过程中,随时间变化的三维微裂纹分布,描述了岩石的损伤累积、裂纹成核以及宏观裂纹扩展的过程; 赵兴东等^[13]针对不同岩石声发射活动特性进行了研究,反映了岩石声发射与其自身属性的关系。砂岩是矿山建设及采矿工程中常见的岩石,脆性较大,不同深度下含水率不同,加载中声发射振铃数比其他种类脆性岩石要少^[13],声发射规律较难统计。笔者在所研究结果基础上,应用声发射技术对不同含水率砂岩声发射进行了试验研究,分析了其声发射特征,对矿井建设及其他岩石地下工程声发射监测具有一定参考价值。

1 砂岩加载试验

1) 岩样特征。试验选取的岩样采自济宁煤矿的红砂岩,一部分进行烘干处理,一部分以浸入水中不同时间的方式控制含水率。岩样均质性较好,干燥状态下单轴抗压强度为(80 ± 1) MPa,饱和状态下岩样单轴抗压强度为(61 ± 1.5) MPa,便于对数据进行分析比较。试样严格按照 GB/T 2356.1—2009《煤和岩石物理力学性质测定方法》规定进行加工,岩样尺寸为直径 50 mm、长度 100 mm 圆柱体。

2) 试验装置。TAW-2000 型微机控制液压伺服岩石三轴试验机最大轴向载荷 2 000 kN,根据试验需要可采用载荷、位移、应变等多种加载控制方式。声发射装置采用 PXWAE 数字化全波形声发射检测仪,试验系统如图 1 所示。

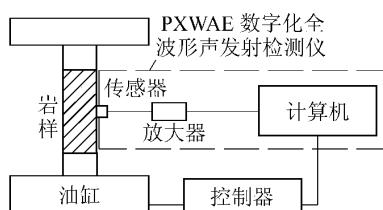


图 1 岩样单轴压缩声发射测试系统

3) 试验内容及过程。首先用透明胶带将岩样的上中下部分别缠绕 1 圈,防止试验过程中岩样崩飞损伤仪器,在试样中间段表面固定 1 个 AE 传感器,为保证传感器与试样耦合,将热熔胶作为耦合剂。为尽量减少端部效应,在试验机压头部位涂抹黄油。试件安装好后以位移控制方式进行加载,加

载速率为 0.002 mm/s,直至试件破坏,试验中依次对不同含水率砂岩试件进行加载。

2 试验结果及分析

2.1 单轴压缩下岩样全应力-应变曲线分析

岩样在单轴压缩下的全应力-应变曲线可以直观反映岩样受力过程中的应力-应变特性。根据试验结果,绘制出不同含水率砂岩岩样全应力-应变关系曲线如图 2 所示。

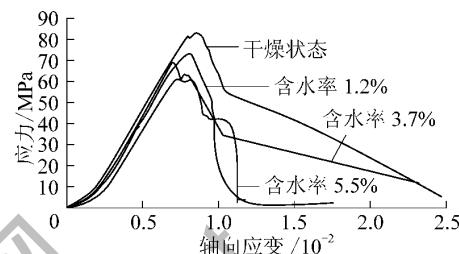


图 2 不同含水率岩样全应力-应变关系曲线

由于岩样中所含矿物成分、初始含水率、颗粒构成及应力状态等因素的变化,含水率不同对岩样的软化产生不同程度的影响^[14]。由图 2 可以看出,水的存在严重影响了岩样的变形特征。干燥状态下的岩样强度相对较大,脆性更强,加载过程中的变形也较大。峰值前仅有一小段压密阶段,剩余变形几乎全是弹性变形。在达到峰值前会随机出现小幅波动,可以视为破坏前的先兆。达到峰值后会在短时间内完全破坏,并伴有爆裂声响,应变大幅增加,轴向载荷几乎瞬间跌落到底。随着岩样含水率的增加,其强度相比于干燥岩样逐渐下降,饱和岩样的强度只有干燥岩样的 75%。不同含水率岩样峰前压密及弹性变形阶段曲线相似,斜率略有减小。含水岩样出现峰值时的应变要小于干燥岩样。峰值后干燥岩样表现出更大的脆性。由于加载过程中干燥岩样积累的能量更多,在峰值后应变更大。

2.2 单轴压缩下岩样声发射对比分析

图 3 给出了不同含水率试样在单轴压缩破坏过程中声发射监测结果,包括轴向应力、振铃数、累计振铃数和时间的关系。从图 3 中可以总结出,砂岩单轴压缩破坏过程中的声发射有以下规律。

1) 在加载初期,即压密阶段,干燥岩样声发射出现较少,能量较低,在个别岩样加载过程中甚至不出现,带有一定的随机性。主要由于砂岩矿物颗粒较硬、结构致密、没有节理,岩样应力较小,主要变形为其内部原有的微裂纹被压密闭合,闭合过程中部

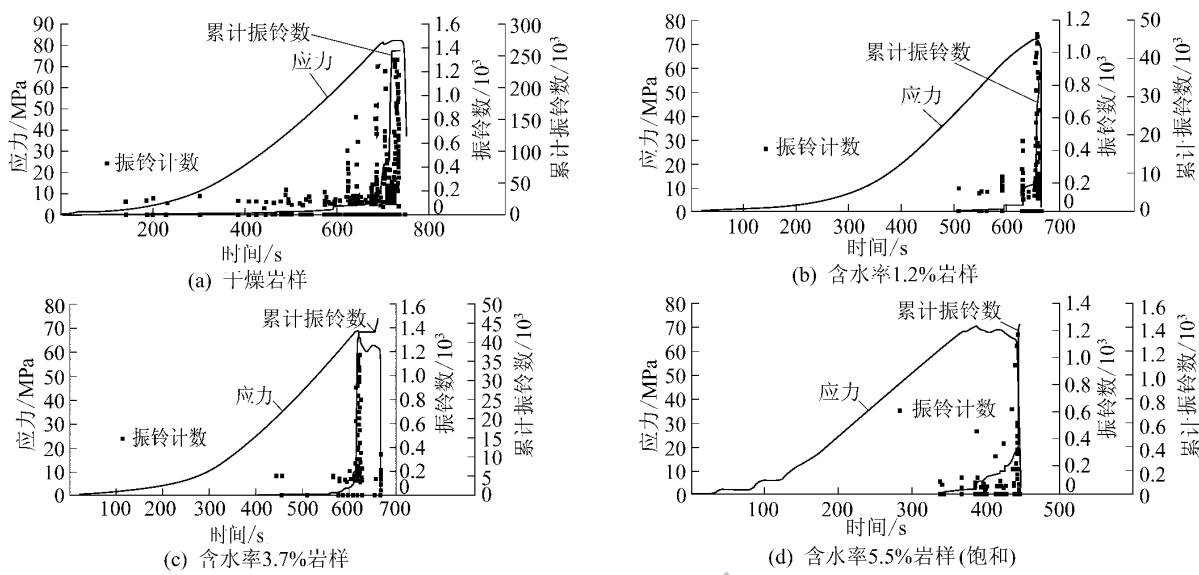


图3 不同含水率砂岩岩样单轴压缩状态下时间-振铃数-轴向应力关系曲线

分粗颗粒擦碰及粗糙面咬合破坏,产生较少量的声发射。而含水岩样在此阶段均未出现声发射振铃,即水的存在使岩石声发射延迟出现。

2) 随着载荷增大,砂岩岩样进入弹性变形阶段,干燥岩样声发射振铃数开始增多,但在弹性变形初始阶段仍然较少,增加幅度不明显,而在其弹性阶段后期,声发射振铃数开始明显增加。而含水岩样在弹性变形初期仍未出现声发射振铃,在弹性阶段后期均开始出现声发射。含水岩样在此阶段的声发射振铃数则远小于干燥岩样,随含水率的增加,声发射累计数量分别只有干燥试样的14%、5%、1%。并且含水岩样声发射振铃的出现时间要远晚于干燥试样,干燥岩样在弹性变形阶段一直有声发射出现,而含水岩样的声发射在弹性阶段的中后期才有。

3) 随着轴向应力的增大,岩样开始进入屈服阶段,岩样内微裂纹开始增多并逐渐扩展,即岩样的初步损伤开始发展。此阶段内岩样声发射更加活跃,声发射振铃数大幅度增加。声发射累计数曲线带有台阶形跃增的现象,曲线斜率变大。干燥试样声发射振铃数约是饱和试样的10倍。在全应力-应变曲线中饱和试件的屈服现象并不明显,但在累计振铃数上有较明显的上升台阶,因此声发射可作为判断、评价岩样破损状态的辅助标准。而此时声发射振铃数的快速累积也是岩样开始破坏的前兆。

4) 当轴向载荷继续增大达到岩样的承载极限时即进入破坏阶段,此时岩样内部的微裂纹贯穿并继续发展,从而导致岩样内部出现宏观的破裂面,在

极短的时间内发生破坏崩裂,轴向应力迅速跌落。由于砂岩岩样较脆,破坏在极短时间内发生,轴向载荷近乎垂直下降。此阶段的声发射异常活跃,声发射累计振铃数几乎垂直上升,干燥岩样和含水的曲线形状相似,但在数值上相差较大,干燥岩样声发射累计数约是饱和岩样的5倍。此时声发射振铃既有岩样劈裂所产生,也有裂隙面滑移摩擦所产生。

3 结 论

1) 砂岩岩样脆性较大,随着含水率的升高,砂岩岩样的单轴抗压强度下降。干燥状态下砂岩岩样强度较大,全应力-应变过程中的变形更大,且弹性变形阶段持续时间更长。不同含水率试样在压密阶段和弹性阶段前期变形特性有较好的相似性;峰值前,不同含水率试样应力-应变曲线无明显屈服特征,而应力-累计声发射曲线有明显的台阶出现,可作为屈服阶段的判断特征;峰值后随含水率增大,岩样脆性减小。随着含水率的增大,岩样从开始加载到完全破坏的时间减小。

2) 砂岩岩样在单轴压缩过程中,干燥岩样在各阶段都有声发射出现,含水岩样在加载初期基本无声发射。岩样声发射事件基本呈递增态势,越接近后期增加越明显,在峰值前趋于活跃且增幅显著增大。峰值处声发射达到最高点,声发射累计值以近乎直线方式增长。峰值后应力急剧下降,声发射随之减少,残余声发射主要来自于宏观裂隙的摩擦。

(下转第52页)

5) 顶板离层监测。通过窥孔仪在试验段对顶板6个观测孔进行的观测发现,仅个别点出现了3~5 mm的离层,其中浅部最大离层4 mm,深部最大离层3 mm。

5 结 论

1) 通过耦合让均压锚杆、锚索的共同作用,增强了巷道支护系统的强度;通过提高高强锚杆、锚索的预紧力以及巷道表面支护强度,提高了巷道的支护效果,巷道实现了一次性支护稳定,不需维修及加固。通过耦合支护设计,实现了支护系统与围岩的变形协调,既适应了巷道变形需要又实现了保护支护系统的目标。二水平南翼运输下山耦合让压支护试验的成功表明,在高应力软岩条件下采用合理的耦合让压支护系统和设计参数可以实现类似条件下的巷道一次支护成功,是一种技术可行、经济合理的支护方式。

2) 采用耦合让压支护技术后,支护系统有效地控制了围岩变形,提高单进速度20%,支护综合费用降低30%以上。

(上接第48页)

3) 水对砂岩力学变形性质和声发射特征有较大的影响,含水砂岩的声发射振铃数比干燥试件少很多且滞后,但2种试样所得曲线在形状上相似。实际矿山工程或其他地下工程中岩样通常接近或位于地下水位以下,必须考虑地下水对声发射探测的影响。

参考文献:

- [1] 陈 颖. 声发射技术在岩石力学研究中的应用[J]. 地球物理学报, 1977, 20(4): 312~322.
- [2] 余贤斌, 谢 强, 李心一, 等. 直接拉伸、劈裂及单轴压缩试验下岩石的声发射特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(1): 137~142.
- [3] 张 茹, 谢和平, 刘建锋, 等. 单轴多级加载岩石破坏声发射特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(12): 2584~2588.
- [4] 李庶林, 尹贤刚, 王泳嘉, 等. 单轴受压岩石破坏全过程声发射特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2499~2503.
- [5] 吴 刚, 赵震洋. 不同应力状态下岩石类材料破坏的声发射特性[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(2): 82~85.
- [6] 赵兴东, 李元辉, 袁瑞甫, 等. 基于声发射定位的岩石裂纹动态

参考文献:

- [1] 于 斌. 高强度锚杆支护系统及在大断面煤巷中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(8): 5~8, 18.
- [2] 王 强, 吴拥政. 煤矿井下锚杆预紧力控制研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(1): 29~32.
- [3] 王金华. 全煤巷锚杆锚索联合支护机理与效果分析[J]. 煤炭学报, 2012, 37(1): 1~7.
- [4] 王亚杰. 深井高地压、大变形围岩巷道支护技术及锚杆设计[J]. 煤矿支护, 2008(1): 8~18.
- [5] 连传杰, 韦立德, 王 阁. 高预应力让压锚杆数值模拟方法研究[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(10): 1437~1443.
- [6] 陈东印. 地下工程预应力锚杆支护数值模拟分析[D]. 青岛: 山东科技大学, 2005.
- [7] 霍丽萍. 端锚锚杆对巷道围岩的支护作用分析[J]. 矿山压力与顶板管理, 2002, 19(2): 62~63.
- [8] 胡传亭, 郭爱民, 乔理学, 等. 湖西矿井深部回采巷道变形让压锚杆的应用[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(8): 18~20.
- [9] 杜木民, 郭励生. 用注、锚、索综合技术治理极破碎顶板[J]. 煤炭科学技术, 1998, 26(10): 25~26.
- [10] 沈运才, 王 风, 王勤俭. 非常规地应力破碎顶板巷道支护技术[J]. 矿山压力与顶板管理, 2005, 22(1): 71~72.
- [11] 于 洋, 朱 琪, 王襄禹. 大断面下山煤巷围岩稳定性控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(3): 1~4.

演化过程研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(5): 944~950.

- [7] 谢和平, 左建平. 岩石断裂破坏的声发射机制初探[C]//谢和平, 彭苏萍, 何满潮. 深部开采基础理论与工程实践. 北京: 科学出版社, 2006: 66~72.
- [8] 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): 1810~1814.
- [9] 尹贤刚, 李庶林, 唐海燕. 岩石破坏声发射强度分形特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(19): 3512~3516.
- [10] 唐 琥, 刘卫群, 费晓东. 峰后岩石类材料的声发射特性研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(5): 21~24.
- [11] Xu J, Li S C, Tang X J, et al. Rock Fatigue Damage Evolution Based on Acoustic Emission [J]. J Univ Sci Technol Beijing, 2009, 31(1): 17~19.
- [12] Jansen D P, Carlson S R, Young R P, et al. Ultrasonic Imaging and Acoustic Emission Monitoring of Thermally Induced Microcracks in Laedu Bonnet Granite [J]. J Geophys Res, 1993, 98(12): 2231~2243.
- [13] 赵兴东, 陈长华, 刘建坡, 等. 不同岩石声发射活动特性的实验研究[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(11): 1633~1636.
- [14] 李尤嘉, 黄醒春, 邱一平, 等. 含水状态下膏溶角砾岩破裂全程的细观力学试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(5): 1221~1225.