

# 点荷载作用下岩石记忆效应试验研究\*

金解放, 赵奎, 刘明松, 许振华

(江西理工大学 建筑与测绘工程学院, 江西 赣州市 341000)

**摘要:**利用点荷载仪和应变仪,选择花岗岩和砂岩进行了分级循环加载试验,详细分析了试验过程中试件载荷、应变、泊松比及损伤因子与声发射间的变化规律,分别得到了不同循环加载阶段的各个参数与累计振铃计数的关系,并利用数理统计理论评判了各参数对先期最大值记忆的准确性和稳定性。结果表明,3个试件在点荷载作用下具有明显的记忆效应,参数载荷对先期最大值的记忆准确程度和稳定性好于其他参数。

**关键词:**岩石点荷载;记忆效应;岩石声发射;力学参数

**中图分类号:**TD315

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-2763(2008)02-0018-03

## Testing Study on Memorizing Effect of Rock under Point Loading

Jin Jiefang, Zhao Kui, Liu Mingsong, Xu Zhenhua

(School of Architectural and Surveying Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

**Abstract:** Graded cyclic loading test was made on granite and sandstone samples by point load tester and strain meter, and then the changing laws among load, strain, Poisson's ratio, damage factor and acoustic emission(AE) for the cyclic loading test on the samples were analyzed in detail, the relations between various parameters and accumulative AE counts on different level loading were obtained, on basis of the theory of statistics, the veracity and stability of different parameters to memorize their previous greatest value were estimated. The results showed that under point loading three rock samples had obvious memorizing effect, and load parameter was better than other parameters in the veracity and stability of memory.

**Key Words:** Rock, Point load, Memorizing effect, Acoustic emission, Mechanics parameters

## 0 引言

岩石的 Kaiser 效应就是岩石对先前应力的记忆

能力,即所谓的岩石应力记忆效应。将此概念延伸到其他力学参数,国内外学者利用声发射技术通过研究发现,不同的岩石对先期最大应变、弹性模量、泊松比和损伤因子都有不同的记忆效应<sup>[1-3]</sup>。目前对岩石记忆效应研究大都还是基于单轴压缩室内试验。在压力机上进行岩石记忆效应研究对岩样要求比较高,不能进行现场大量试验研究,限制了对岩石记忆效应的广泛研究和实际应用;小型点荷载试验装置是便携式的,可带到岩土工程现场进行试验,这是点荷载试验能够广泛采用的重要原因。点荷载试验的另一个重要优点是对试件的要求不严格,不需要像做抗压强度试验那样精心准备试件。最好的试件就是直径为 25~100 mm 的岩芯,没有岩芯时,石块也可以。因此,利用点荷载仪进行大量的现场试验,研究点荷载作用下岩石记忆效应,为岩石记忆效应研究的提供了一个新思路。

通过选用不同矿山的岩样结合应变仪进行点荷载声发射试验,并对这些岩样进行循环加载,人为地给岩石制造一些“先期应力和应变”。试验表明,点荷载作用下岩石声发射能够反映岩石先前的所受载荷,即对先期载荷、应变等具有一定的记忆效应。

## 1 点荷载岩石记忆效应试验

### 1.1 试验仪器和试件选取

试验设施主要包括加载系统、声发射采集系统、计算机信息处理系统。加载系统采用意大利进口的 45-D0550/D 型数字式点荷载仪;声发射采集系统采用广州声华科技有限公司产的 SWAES 全波形多通道声发射检测仪,测试时采用实时处理,整个系统在计算机的控制下进行数据采集和保存,并且可以实时绘制事件计数、振铃计数、能量计数、上升时间、到达时间等任两者之间的图形。

\* 收稿日期:2007-05-08

基金项目:国家自然科学基金(50464002);江西省教育厅科技计划项目(2005-151);江西理工大学校级课题。

作者简介:金解放(1977-),男,河南开封人,助教,主要从事力学方面的教学与研究工作, E-mail: jif\_chang@126.com。

按照国际岩石力学学会 (ISRM) 建议的方法, 取试件受压方向的尺寸  $D$  为 50 ~ 78 mm。本试验共选取了 3 个岩石试件, 其岩性、形状及尺寸见表 1。

表 1 试件性质及其几何尺寸

试件编号	岩性	形状	尺寸 (mm)
1	大理岩	块状	110 × 99 × 102
2	花岗岩	块状	52 × 67 × 104
3	砂岩	块状	76 × 95 × 104

## 1.2 试验方法及过程

在每个岩样上粘贴应变片以测试加载过程中岩样的应变值。在试验过程中, 将岩石试件置于上下两个球端圆台状加荷器之间, 在声发射探头的检测面上抹上一层黄油并紧贴在试件中部, 要求要排净空气, 耦合剂要薄, 试件、耦合剂、探头 3 折的阻抗特性在数量上相匹配。

试验过程中, 施加垂直荷载使岩石试件在“分级循环载荷”下逐渐破坏, 先给试件一个先期载荷  $F_1$ , 然后缓慢卸载至零并间隔几分钟让弹性变形充分恢复, 然后重新缓慢加载至试件有明显的声发射信号发生, 此时载荷记作  $F_2$ , 这为第 1 级循环; 然后继续给试件第 2 级的先期载荷  $F_3$ , 并且使  $F_3$  大于  $F_2$  和  $F_1$ , 如此往复。在加载的同时实时地利用声发射仪采集岩石声发射信号与其各种参数, 以及声发射的振铃计数和到达时间的相关图。用点荷载仪加压时应匀速缓慢进行, 加载速率控制在 0.01 ~ 0.05 kN/s, 用柔软的纸垫放在点荷载仪的加荷器和岩石中间, 并且注意处理掉岩石加载部位松动的岩石颗粒, 经过 1 ~ 2 个循环后, 一般不会再有松动的岩石颗粒出现, 排除了偶然的“声发射信号”。

## 2 试验数据和结果分析

### 2.1 岩石损伤因子计算

假设岩石材料的基元体力学性质服从 Weibull 统计分布<sup>[4]</sup>, 即:

$$\varphi(\alpha) = m/\alpha_0 (\alpha/\alpha_0)^{m-1} \exp[-(\alpha/\alpha_0)^m] \quad (1)$$

式中,  $\alpha$  为岩石介质基元体力学性质参数;  $\alpha_0$  为基元体力学性质的平均值;  $m$  为岩石介质的均质度;  $\varphi(\alpha)$  为岩石基元体力学性质  $\alpha$  的统计分布密度。如果将损伤参量  $D$  视作为点荷载作用下岩石单元中存在的微裂纹比率, 用以量度岩石损伤程度, 并且选用应变  $\varepsilon$  为岩石介质基元体力学性质参数, 则上式可描述为:

$$D = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^m\right] \quad (2)$$

式中,  $\varepsilon$  为岩石弹性应变;  $m, \varepsilon_0$  分别为岩石的均匀性系数和平均应变值。

### 2.2 其他力学参数

为研究岩石在点载荷下是否具有记忆效应以及什么参数能更好地反映岩石点荷载的记忆效应, 选用比值  $F^*(x)$ 、平均比值  $\bar{F}^*(x)$ 、比均差值  $\bar{A}(x)$  和比偏差值  $P(x)$  进行说明。

$$F^*(x) = \frac{x_k}{x_i} \quad (3)$$

$$\bar{F}^*(x) = \frac{\sum_{i=1}^n F^*(x)}{n} \quad (4)$$

$$\bar{A}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n |F^*(x) - 1|}{n} \quad (5)$$

$$P(x) = \frac{\sum_{i=1}^n |F^*(x) - \bar{F}^*(x)|}{n} \quad (6)$$

式中,  $x_k, x_i$  分别表示各参数 Kaiser 点值和所对应的先前最大值,  $n$  表示试验次数。  $F^*(x)$  表示岩石的记忆能力和记忆超前性和滞后性的特征,  $F^*(x)$  越接近于 1 表示记忆越准确,  $F^*(x) < 1$  表示记忆超前 (Felicity 效应), 反之表示记忆滞后;  $\bar{F}^*(x)$  表示整个循环加载过程或整体上的岩石记忆能力的高低;  $\bar{A}(x)$  表示整个循环加载过程中或整体上岩石记忆能力误差程度;  $P(x)$  表征了总体上岩石记忆能力的稳定程度,  $P(x)$  的值越小说明记忆稳定性越好。

### 2.3 试验结果分析

#### 2.3.1 试验数据

图 1 给出了试件 2 在点荷载作用下的 3 级循环加载过程中记忆效应的载荷、应变、泊松比、损伤因子等参数与累计振铃计数的关系。

为了说明试件在点荷载作用下记忆效应的能力高低, 表 2 给出了 3 个试件在分级循环加载过程中记忆先前状态参数和物理性质参数的比值、平均比值、比均差值和比偏差值。

#### 2.3.2 结果分析

(1) 由图 1 和表 2 以及试验过程可以看出, 3 个试件在分级循环加载过程中都有明显的记忆效应, 整体上看 3 个试件各个参数记忆明显具有滞后性, 这与在其他受力状态岩石记忆具有 felicity 效应<sup>[3,5]</sup>不同。

(2) 从比值  $F^*(x)$ 、平均比值  $\bar{F}^*(x)$ 、比均差

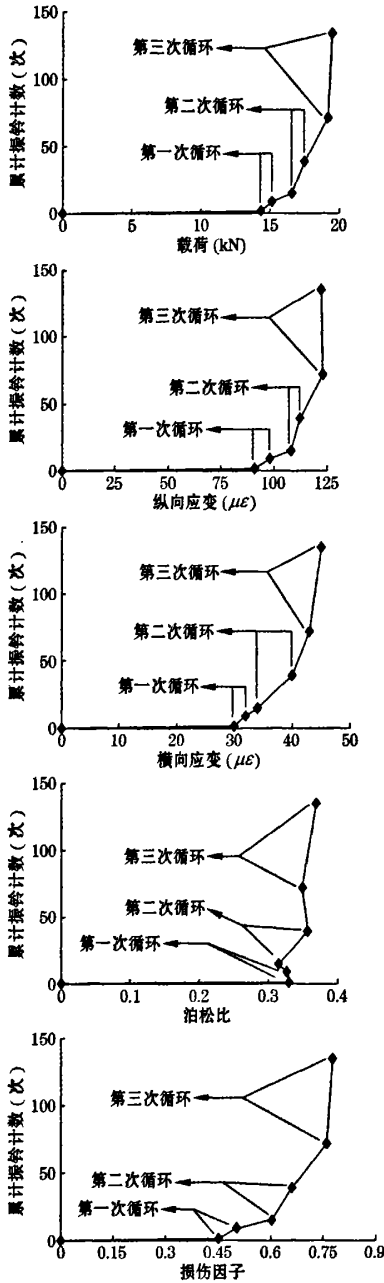


图1 试件2在3级点荷载循环试验中载荷、应变、泊松比、损伤因子与累计振铃计数的关系

值 $\bar{A}(x)$ 和比偏差值 $P(x)$ 上看,3个试件的荷载记

忆明显的比其它参数要好,如第1个试件的荷载的比值 $F^*(x)$ 范围为1.014~0.972,比均差值 $\bar{F}(x)$ 为0.992,而整体记忆误差只有0.017;记忆效果相对较差的参数是损伤因子,这也与其它受力状态下<sup>[2-3]</sup>不同。

表2 3个试件点荷载试验不同参数对记忆能力比较

岩样	参数	$F^*(x)$			$\bar{F}^*(x)$	$\bar{A}(x)$	$P(x)$
		第1阶段	第2阶段	第3阶段			
1	$F$	1.014	0.972	0.99	0.992	0.017	0.015
	$\varepsilon_1$	1.047	0.861	0.895	0.934	0.097	0.075
	$\varepsilon_2$	1.030	0.974	1.071	1.025	0.042	0.034
	$\nu$	0.983	1.036	1.198	1.072	0.063	0.084
	$D$	1.071	0.947	1.118	1.450	0.086	0.066
2	$F$	1.052	1.054	1.011	1.039	0.039	0.019
	$\varepsilon_1$	1.077	1.037	0.992	1.035	0.041	0.029
	$\varepsilon_2$	1.067	1.176	1.047	1.097	0.097	0.053
	$\nu$	0.991	1.134	1.055	1.060	0.066	0.049
	$D$	1.116	1.097	1.021	1.078	0.078	0.038
3	$F$	1.007	1.040	1.010	1.019	0.019	0.014
	$\varepsilon_1$	1.100	1.250	1.133	1.161	0.161	0.059
	$\varepsilon_2$	1.248	1.146	1.151	1.289	0.289	0.119
	$D$	1.248	1.146	1.151	1.289	0.289	0.119

注: $F$ 为载荷,kN; $\varepsilon_1$ 为纵向应变; $\varepsilon_2$ 为横向应变; $\nu$ 为泊松比。

### 3 结论

(1) 试验结果表明,3个岩石试件在点荷载作用下具有明显的记忆效应。

(2) 整体上看,与岩石在其他受力状态下不同,各个参数对先期的记忆具有滞后性。

(3) 在点荷载作用下,岩石试件对载荷的记忆明显好于其他参数。

#### 参考文献:

- [1] 樊运晓. 损伤:KAISER 效应记忆机理的探讨[J]. 岩石力学与工程学报,2000,19(2):254~257.
- [2] 樊运晓. 单轴压缩试验下裂纹闭合阶段岩石 Kaiser 效应的研究[J]. 岩石力学与工程学报,2001,20(6):793~796.
- [3] 李元辉,袁瑞甫,赵兴东. 岩石受载记忆的声发射实验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报,2006,25(4):518~520.
- [4] 唐春安,王述红,傅宇方. 岩石破裂过程数值试验[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [5] 张晖辉,颜玉定,余怀忠,等. 循环荷载下大试件岩石破坏声发射实验——岩石破坏前兆的研究[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(21):3621~3628.

### 新疆有色集团将投巨资勘探整合资源

新疆有色集团公司计划在未来3~5年内投资10亿元对全区有色金属资源进行有效收购、整合和规范有序的资本运作,把铜、镍、黄金、铅锌以及稀有金属建设成大规模、新技术、环保型的现代化产业集群。去年11月,自治区专题研究并出台了六条政策,明确界定了利益分配、行业管理以及宏观调控等原则,给新疆有色工业大发展提供了“天时、地利、人和”的条件。新疆有色集团计划未来3~5年争取提供可供开发利用的大型矿床地2~3处,提交新普查评价基地3~4处。目前已完成29个找矿项目的评审,安排1亿元资金全面启动了今年地质找矿工作。

# 点荷载作用下岩石记忆效应试验研究

作者: [金解放](#), [赵奎](#), [刘明松](#), [许振华](#), [Jin Jiefang](#), [Zhao Kui](#), [Liu Mingsong](#), [Xu Zhenhua](#)

作者单位: [江西理工大学, 建筑与测绘工程学院, 江西, 赣州市, 341000](#)

刊名: [矿业研究与开发](#) 

英文刊名: [MINING RESEARCH AND DEVELOPMENT](#)

年, 卷(期): 2008, 28(2)

引用次数: 0次

## 参考文献(5条)

1. 樊运晓. [损伤:KAISER效应记忆机理的探讨](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2000(02)
2. 樊运晓. [单轴压缩试验下裂纹闭合阶段岩石Kaiser效应的研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2001(06)
3. 李元辉, 袁瑞甫, 赵兴东. [岩石受载记忆的声发射实验研究](#)[期刊论文]-[辽宁工程技术大学学报](#) 2006(04)
4. 唐春安, 王述红, 傅宇方. [岩石破裂过程数值试验](#) 2003
5. 张晖辉, 颜玉定, 余怀忠. [循环荷载下大试件岩石破坏声发射实验一岩石破坏前兆的研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2004(21)

## 相似文献(1条)

1. 期刊论文 [赵奎](#), [金解放](#), [刘明松](#), [王晓军](#), [何国强](#), [支学艺](#), [ZHAO Kui](#), [JIN Jiefang](#), [LIU Mingsong](#), [WANG Xiaojun](#), [HE Guoqiang](#), [ZHI Xueyi](#) [岩石点荷载作用下对应力记忆效应的声发射数值模拟与试验研究](#) -[岩石力学与工程学报](#) 2009, 28(z1)

在分析单轴压缩试验岩石Kaiser效应机制的基础上,建立岩石在点荷载作用下对先前应力记忆效应的理论表达式,采用岩石破裂过程分析软件RFPA2D对14种不同尺寸和力学参数的试件进行数值模拟,模拟结果表明,岩石点荷载声发射试验能够反映岩石先前应力状态,点荷载加压出现声发射时的点荷载值与岩石先前所受应力值成正相关关系.为了进一步验证上述结论,对5个岩石试件进行单轴压缩加载、卸载后用点荷载重新加载的循环试验,得到与数值模拟相同的结论,研究成果为工程现场地应力值估算、评价提供新的研究方法.

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_kyyjykf200802006.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_kyyjykf200802006.aspx)

下载时间: 2010年5月27日