

文章编号: 1006-6616(2001)01-0092-05

时间对大理岩凯塞效应的影响

樊运晓

(中国地质大学工程技术学院, 北京 100083)

摘要: 岩石的凯塞效应具有记忆历史最大应力和应变的能力, 但时隔两月对大理岩样品进行再加载试验表明, 尽管大理岩仍有凯塞效应出现, 但凯塞效应记忆先前应力和先前应变的准确程度不高。笔者认为岩石声发射产生的原因在于其内部存在的裂纹, 岩石凯塞效应的机理则在于对其先前损伤的记忆。按照笔者确定的损伤因子, 凯塞效应具有记忆先前损伤的能力, 时隔两个月对大理岩样品进行再加载试验, 凯塞效应记忆先前损伤的准确程度仅损失3%。文章从时间因素证明了凯塞效应的机理在于对先前损伤的记忆。

关键词: 大理岩; 凯塞效应; 应力; 应变; 损伤

中图分类号: TU459⁺.4

文献标识码: A

0 引言

1976年, 金川忠等提出岩石的凯塞效应具有记忆历史最大应力的能力^[1]。之后, 村山朔郎等认为: 岩石凯塞效应具有记忆先前最大应变的能力^[1]。1993年, 秦四清^[2]在研究岩石凯塞效应时指出, 岩石记忆应变的精度高于应力; 同年 Hardy 研究了岩盐的凯塞效应, Hardy 定义出现凯塞效应时所对应的应力与先前最大应力之比为应力恰当比值 $FR(\text{应力})$, 该参数反映了凯塞效应记忆先前应力的准确程度, $FR > 1$, 表示岩石记忆内容滞后; $FR < 1$, 表示其记忆超前; FR 越靠近 1, 说明记忆先前应力的能力越准确。试验表明岩盐凯塞效应的恰当比值 (FR) 在 0.94~1.11 之间, 记忆应力的准确度很高, 但时隔一年之后再加载时恰当比值降为 0.79, Hardy 认为时间因素使岩盐的记忆能力丧失了 21%^[3]。笔者认为^[4], 岩石声发射产生的原因是由于岩石内部的存在裂纹, 凯塞效应的机理在于对其先前损伤的记忆。本文将恰当比值的概念加以扩展, 定义出现凯塞效应时所对应的应变与先前最大应变的比值为应变恰当比值, 记作 $FR(\text{应变})$; 出现凯塞效应时所对应的损伤因子与先前最大损伤因子的比值为损伤因子恰当比值, 记作 $FR(\text{损伤因子})$ 。

岩石的凯塞效应究竟记忆岩石什么参数? 为什么岁月会磨平岩石记忆先前应力的能力?

收稿日期: 2000-01-18

作者简介: 樊运晓(1969—), 女, 博士, 中国地质大学讲师, 目前主要从事岩石力学与安全减灾方面的研究。

时间因素会不会改变岩石对其他参数的记忆? 本文选择大理岩进行低载单轴压缩试验, 测得加载过程中的应力、横向应变、纵向应变以及声发射信号。时隔两个月之后进行再加载以检验岩石的凯塞效应, 比较时隔两月之后凯塞效应记忆应力和应变的能力, 并从时间因素证明凯塞效应的机理所在。

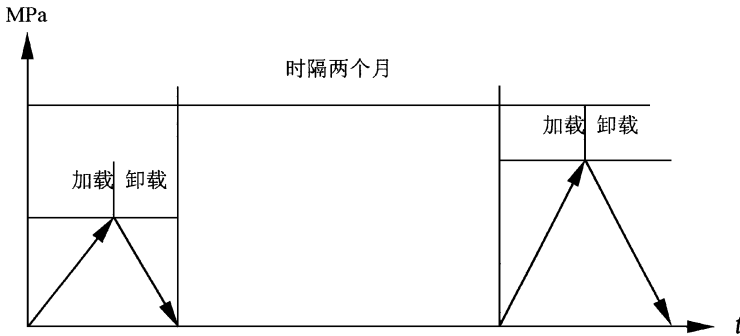


图 1 试验流程示意图

Fig. 1 Frame graph of the experiment

1 试验结果

1.1 存在性

对大理岩样品进行加载—卸载试验, 记录加载过程中最大应力、应变值, 然后将试样放置, 时隔两个月之后进行再加载试验, 观察并记录再加载过程中是否有凯塞效应出现, 记录岩石记忆各参数的能力, 并检验其记忆损失程度。试验流程图见图 1。

试验表明, 时隔两个月之后, 大理岩仍具有凯塞效应。图 2 为某大理岩试样的声发射事件数—应力曲线。图中表明大理岩再加载初始时有声发射信号释放, 但信号较弱, 声发射事件数在 100 以内。当载荷达到 45MPa 左右时, 声发射信号骤然增大, 而且持续保持最大值, 声发射仪上显示声发射信号溢出, 这说明放置两个月之后大理岩仍旧具有凯塞效应。

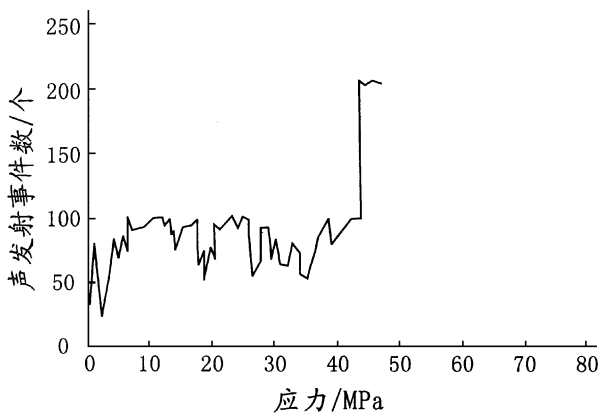


图 2 声发射事件数—应力曲线

1.2 大理岩记忆先前应力与先前应变的比较

表 1、表 2 和表 3 分别给出了时间因素对大理岩凯塞效应记忆应力、纵向应变和横向应变能力的影响。时隔两个月,大理岩的凯塞效应记忆先前应力的恰当比值在 0.746 ~ 0.964 之间(表 1),应力恰当比值均小于 1,说明记忆能力超前,平均应力恰当比值为 0.848,说明大理岩在时隔两月之后对先前应力的记忆损失为 15%。

表 1 时隔两月之后凯塞效应记忆纵向应力的能力

Table 1 Remembering stress ability of Kaiser effect after two months

试样	先前应力/MPa	凯塞应力/MPa	FR(应力)
1	49.2	36.7	0.746
2	50.5	41.2	0.816
3	52.3	50.4	0.964
4	48.8	42.2	0.865

表 2 时隔两月之后凯塞效应记忆纵向应变能力

Table 2 Remembering axial strain ability of Kaiser effect after two months

试样	先前应变/ $\mu\epsilon$	凯塞应变/ $\mu\epsilon$	FR(纵向应变)	残余应变/ $\mu\epsilon$	FR'(纵向应变)
1	2275	2131	0.961	0	0.961
2	1605	1757	0.937	0	0.937
3	1708	633	0.371	950	0.927
4	2144	1211	0.565	285	0.698

注:FR'为修改后的恰当比值,详细内容参见正文

时隔两个月大理岩记忆先前纵向应变(表 2)和横向应变能力(表 3)基本相当,表 3 中数据表明:第 1、2 两个试样凯塞效应受时间因素影响较小,恰当比值在 0.828 ~ 1.102,记忆损失在 10% ~ 17%以内;第 3、4 个试样的凯塞效应受时间因素影响较大,尽管试验中出现明显的凯塞效应现象,但应变恰当比值最小仅为 0.099,记忆准确程度竟不足 10%。比较表 2 和表 3 数据,大理岩凯塞效应记忆纵向应变的能力略好于横向应变。

表 3 时隔两月之后凯塞效应记忆横向应变的能力

Table 3 Remembering transverse strain ability of Kaiser effect after two months

试样	先前应变/ $\mu\epsilon$	凯塞应变/ $\mu\epsilon$	FR(横向应变)	残余应变/ $\mu\epsilon$	FR'(横向应变)
1	731	605	0.828	0	0.828
2	431	475	1.102	0	1.102
3	322	32	0.099	94	0.390
4	549	145	0.264	137	0.514

注:FR'为修改后的恰当比值,详细内容参见正文

2 试验现象分析

尽管在单轴压缩作用下,由于岩石本身组分的复杂多样性以及孔隙、裂纹的影响,受压的大理岩仍伴随有塑性变形的发生。在第一期试验连续加载一卸载过程中,前次试验卸载后,尽管应力降到零,但是横向应变和纵向应变一般不回零,都留有残余应变,因而在继续加载中残余应变累加在新的应变中被记录下来。随着加载次数的增加,残余应变越来越大,当最后一次应力卸载到零时所对应的应变即为该试样的残余应变。以 4 号样为例,其第一期试验中最后一次卸载至应力为零时,所对应的纵向应变和横向应变数据分别为 285 和 137,即为残余应

变。时隔两个月之后再加载以研究凯塞效应对先前应变的记忆能力, 应力和应变值都从零计起, 忽略了第一期试验中的累计残余应变。表 2 和表 3 中列出了时隔两月后再加载时大理岩试样在第一期试验中的残余应变, 如将残余应变累加在相应的数据上再进行处理, 结果有所好转, 具体数据见表 2 和表 3 中的修改后的恰当比值 FR' 一栏。其中, FR' (纵向应变) 表示出现凯塞效应时的纵向应变与残余纵向应变的累加值与先前纵向应变的比值; FR' (横向应变) 则表示出现凯塞效应时的横向应变与残余横向应变的累加值与先前横向应变的比值;

文献[5]认为凯塞的实质是对其内部物理特性的记忆。在此基础上, 文献[5]分析了声发射产生的原因, 提出了声发射信号反映了岩石的微观结构对外力的忍受程度, 凯塞效应的机理在于岩石对所受损伤的记忆。文中定义了损伤因子:

$$D = 3 \sqrt{\frac{E}{E_{eff}} - 1}$$

其中 D 为损伤因子, E 为岩石固有基质无先天裂纹的弹性模量, E_{eff} 为岩石加载过程中实际弹性模量。

根据文献[4]所确定的损伤因子求得时隔两个月之后凯塞效应对于先前损伤因子的记忆, 得到详细数据见表 4。

数据表明: 时隔两个月之后, 岩石凯塞效应记忆损伤的能力并未减少多少, 恰当比值

在 0.97 ~ 1.06 之间, 平均恰当比值 1.030, 说明恰当比值仅损失了 3%。可见时间因素并未改变大理岩凯塞效应对先前损伤的记忆, 由此说明凯塞效应的机理在于对于先前损伤的记忆。

3 结论

本文通过大理岩时隔两个月之后再加载试验凯塞效应的研究, 比较了时间因素对大理岩记忆先前应力、应变以及损伤因子的比较, 主要得到如下的结论:

- (1) 时隔两个月之后, 大理岩仍有凯塞效应出现;
- (2) 大理岩凯塞效应记忆先前应力的能力与时间因素有关, 其记忆损失程度达 15%;
- (3) 大理岩凯塞效应记忆先前纵向应变和横向应变的能力相当, 应变值包括凯塞应变值和残余应变值; 凯塞效应记忆先前应变的能力受时间因素影响大;
- (4) 大理岩凯塞效应记忆先前损伤的能力很好, 其平均恰当比值为 1.03, 记忆损失仅为 3%, 从时间因素可以证明凯塞效应的机理在于对先前损伤的记忆。

参 考 文 献

- [1] 樊运晓. 岩石单轴压缩试验 Kaiser 效应机理的研究[D]. 硕士论文. 中国地质大学(北京), 1994.
- [2] 秦四清. 岩石声发射技术概论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1993.
- [3] Hardy H R Jr. Application of the Kaiser Effect for the Evaluation of In-situ Stress in Salt[A]. 3rd Conference on the Mechanical Behaviour of salt[C]. France, 1993.
- [4] 樊运晓. 岩石单轴压缩试验 Kaiser 效应机理的讨论[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(2): 254 ~ 258.
- [5] 樊运晓. 岩石单轴压缩试验 Kaiser 效应记忆的实质[J]. 现代地质, 2000, 14(1): 95 ~ 99.

RESEARCH ON MARBLE KAISER EFFECT AFFECTED BY TIME FACTOR

FAN Yun-xiao

(China University of Geosciences, Beijing, 100083, China)

Abstract: Marble specimens were reloaded after two months to investigate that time factor has influence on Kaiser effect. The results show that after two months the marble has poor ability to remember its previous stress and strain, but can remember its previous damage very accurately. Therefore from the view of time factor the mechanism of Kaiser effect of marble is reflect of remembrance of rock previous damage.

Key words: marble; Kaiser effect; stress; strain; damage

《华北陆块北缘构造运动序列及区域 构造格局》新书简介

地质力学研究所崔盛芹、李锦蓉、孙家树、王建平、吴珍汉、朱大岗合著的《华北陆块北缘构造运动序列及区域构造格局》由地质出版社2000年11月出版发行。全书共四篇、十六章,约53万字,附图145幅,附表31张,图版4版。

该书在完成横穿全区不同地段五条走廊带与燕山造山带等重点区段野外观测与综合研究的基础上,结合不同类型遥感—地球物理资料综合解译与区域地质资料综合分析,以构造运动序列、古构造编图和区域构造分析为主线,将基底—盖层、构造—建造、形变—相变、深部—浅部、宏观—微观、过程—机制、定性—定量与构造—岩浆—成矿研究有机地结合在一起,力求从三维空间加时间的角度,阐述华北陆块北缘区域构造格局、区域构造演化过程与区域成矿地质背景。提出了华北陆块北缘存在地表多向叠加、地壳深部双向复合、上地幔单向展布的岩石圈三维构造格局;剖析了深断裂和边界断裂的类型、产状与地质、地球物理特征,拟定了构造区带划分新方案;划分出太古宙—古元古代克拉通基底阶段、中—新元古代拗拉槽阶段、古生代华北克拉通盖层与陆缘造山阶段及中生代陆内造山阶段四大构造演化阶段的构造运动序列;编制了基底古构造图、盖层构造图、中生代不同时期古构造图与区域构造体系图等系列区域构造图件,论述了区域构造发展演化过程与不同时期构造运动规律;分析了区域成矿地质背景与不同时期构造—成矿关系。该书资料详实,内容丰富,层次清楚,重点突出,是一部重要的学术专著,具有较高的参考价值。