

不同应力路径对岩石声发射 Kaiser 效应的影响

李元辉¹, 袁瑞甫^{1,2}, 赵兴东¹

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 河南理工大学 能源科学与工程学院, 河南 焦作 454000)

摘 要: 为了解在循环加载过程中使用不同应力路径岩石声发射 Kaiser 效应的特征, 采用岩石破裂过程分析软件(RFPA^{2D})对三种不同应力路径下岩石试样的声发射特征进行了数值计算. 在循环加载中采用不同的应力路径对试样加载, 在二次加载过程中仍能观测到清晰的 Kaiser 效应, 但是 KF 值却与先前的最大应力值有较大差别. 研究表明, 岩石 Kaiser 记忆的真实内容不是先前所受的最大应力, 而是岩石内部的损伤程度. 使用从原岩中取样, 在实验室做单轴压缩声发射实验观测 KF 值的方法测得的应力值与真实的原岩应力有较大的差别. 这一结论对于进一步认识 Kaiser 效应的本质和用 Kaiser 效应准确的测定原岩应力有重要的作用.

关键词: 声发射; Kaiser 效应; 应力路径; 数值实验; 原岩应力

中图分类号: TD 315 文献标识码: A 文章编号: 1005-3026(2007)04-0576-04

Effect of Different Stress Paths on Kaiser Effect of Rock Acoustic Emission

LI Yuan-hui¹, YUAN Rui-fu^{1,2}, ZHAO Xing-dong¹

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China. Correspondent: LI Yuan-hui, E-mail: neulyh@126.com.)

Abstract: To understand the characteristic of Kaiser effect along different stress paths during cyclic load acting on rock, a numerical computation was conducted using the software RFPA^{2D} (Rock Failure Process Analysis) for the characteristics of AE (acoustic emission) along three different stress paths in rock specimens. The results showed that the Kaiser effect is still clearly observed in the subsequent cycle when the specimens are under the action of cyclically loading though a big difference between KF values (the stress value at Kaiser effect point) and previous max stress value is found. It was revealed that what was actually recorded in the Kaiser effect memory is the damage level within rock other than the max stress acting previously on the specimens. So, if sampling from parent rock, the stress value measured from observing KF value by uniaxial compression AE testing in lab is different greatly from that in parent rock. The conclusion is significant to understanding the essence of Kaiser effect and how to use it to determine the in-situ stress.

Key words: acoustic emission; Kaiser effect; stress path; numerical test; in-situ stress

1953年,德国科学家 Kaiser 首先发现金属材料在受载过程中的声发射具有不可逆现象^[1],即对材料进行重复加载时,只有载荷达到材料先前所受的最大载荷后,才会有明显的声发射产生. 材料的这种“记忆”现象被称为 Kaiser 效应. 1963

年 Goodman 通过实验发现在岩石材料中也存在 Kaiser 效应^[2]. 此后, Kaiser 效应就因其能直观表现岩石的记忆能力而备受关注,并且被广泛地应用于测试原岩应力^[3-6].

岩石声发射 Kaiser 效应的力学本质是岩石

受到载荷后内部的损伤会增加(新的微裂纹出现或原有微裂纹扩展),重新加载时,只有在达到先前最大载荷后新的损伤才会重新扩展,Kaiser 效应表现的是岩石对所经历的外部环境的记忆,而其实是岩石对自身受到的损伤程度的记忆,它明确表达了岩石材料破坏过程的不可逆性^[6-7]。在用 Kaiser 效应测定原岩应力时,通常采用的方法是在原始岩芯上取 6 个(或 9 个)方向上的试样,在实验室里做单轴压缩声发射实验,测得各试样的 Kaiser 效应点应力,以此应力值做为该试样方向上的最大应力,然后用弹性力学理论求出岩芯所处环境的原岩应力^[3-4]。但是,用此方法测试时的试样已经脱离了原始地质环境,文献^[8]表明不同的应力路径对岩石所造成的损伤程度是不一样的,实验室对岩石试样的单轴压缩与岩样所受的原岩应力显然不是同一个应力路径,所以单轴压缩所测的 Kaiser 效应点应力是否就是试样在原始地质环境中该方向上的最大应力值得怀疑。

为此,本文应用岩石破裂过程分析软件(RFPA^{2D}),采用不同的应力路径对岩石试样循环加载,以探讨不同应力路径对 Kaiser 效应的影响。(关于 RFPA 的具体使用方法、功能及原理的介绍见文献^[9-10])。

1 数值模型设定

本文采用平面应力模型,试样的尺寸为 100 mm × 50 mm,模型划分为 200 × 100 个单元。设定试样的力学性质(单元的弹模及强度)服从 Weibull 分布 $\phi_c(m, \beta)$,其中 m 表示构成岩石的所有单元力学性质的均质程度, β 表示单元力学性质的平均值。本模型单元的弹模和强度的分布形态分别为 $\phi_k(3.45 \text{ GPa})$ 和 $\phi_\sigma(2.5, 100 \text{ MPa})$,单元的拉压强度比为 1/10,内摩擦角为 30°。采用修正的摩尔-库仑准则(Mohr-Coulomb Criterion)作为单元破坏的判据^[11]。

2 实验结果及分析

为了更清晰地认识不同的应力路径对 Kaiser 效应的影响,首先对试样进行最简单的单轴循环压缩实验,得到了声发射累计数与应力关系曲线(图 1)和加载步与应变和声发射(AE)数的关系图(图 2),与真实实验结果非常吻合^[4]。从图 1、图 2 中可以看出,单轴循环加载条件下,可以清晰地观测到 Kaiser 效应,而且 Kaiser 效应十分准确地记忆了试样先前所受的最大应力,即 Felicity 比值(FR)^[4,7]等于 1。

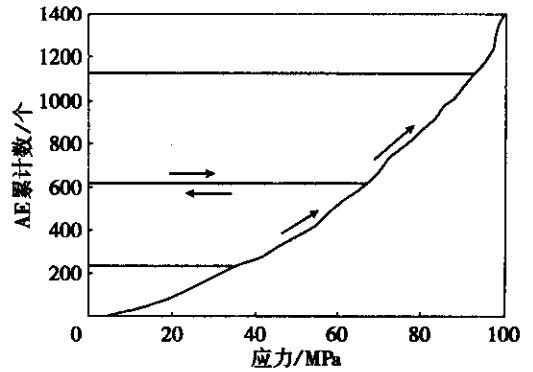


图 1 单轴循环加载 AE 累计数与应力关系
Fig. 1 Relationship between AE accumulated counts and stress under uniaxial cyclic loading

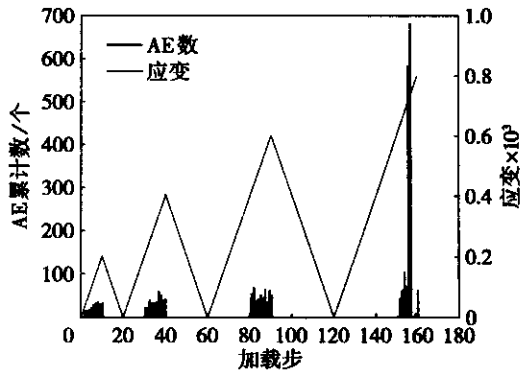


图 2 单轴循环加载加载步与 AE 数和应变关系
Fig. 2 Relationship between AE counts, strain and loading step under uniaxial cyclic loading

2.1 加载路径的选择

根据软件自身的功能并结合用 Kaiser 效应测试应力的实际情况,选择三种加载路径:

(1) 首循环单轴加载,位移控制,每步加载 0.002 mm,加载至 0.06 mm 后卸载,二次加载时加上围压(分别为 5, 10, 15, 20, 30 MPa),轴向加载过程与首循环相同,加载至试样破坏,此加载路径记为路径 I;

(2) 首循环常规三轴加载(围压分别为 5, 10, 15, 20, 30 MPa),轴向采用位移控制加载,每步加载 0.002 mm,加载至 0.1 mm 后卸载,二次加载采用单轴加载,加载至试样破坏,此路径记为路径 II;

(3) 首循环常规三轴加载,与路径 II 首循环相同,卸载时先卸围压,每步 0.5 MPa,然后卸轴压,二次加载仍采用单轴加载,加载至试样破坏,此路径记为路径 III。

2.2 实验结果

(1) 路径 I

从图 3 可以看出,二次加载加上围压后,Kaiser 效应点的应力值(以下简称 KF 值)出现明显的滞后现象,而且围压越大 KF 值越滞后。图 4 显示 Felicity 比值随着二次加载时围压值的增大而增大,但不同围压下的 FR 几乎都处于同一

线上.

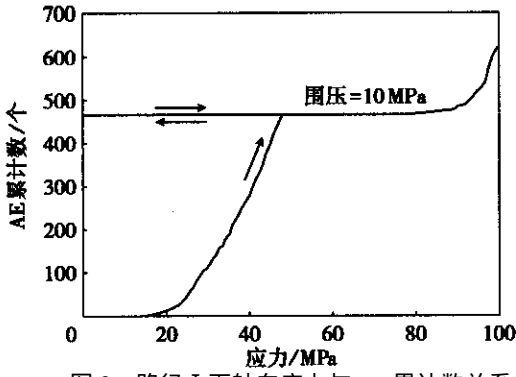


图 3 路径 I 下轴向应力与 AE 累计数关系
Fig. 3 Relationship between axial stress and AE accumulated counts along path I

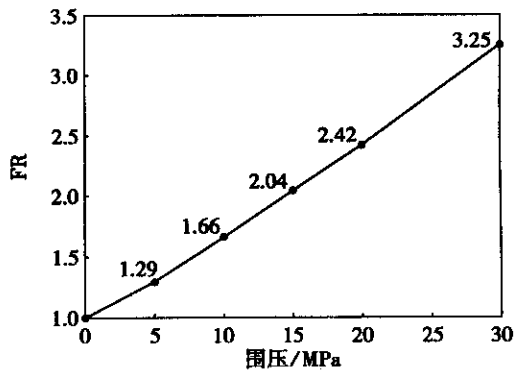


图 4 Felicity 比值 (FR) 与二次循环围压值关系
Fig. 4 Relationship between Felicity ratio and confining pressure in the subsequent loading cycle along path I

(2) 路径 II

此加载路径与用 Kaiser 效应测原岩应力时试样受到的应力路径十分相似. 图 5 显示, 二次加载时由于卸去了围压, KF 值出现明显的超前现象, 即单轴压缩测得的 KF 值比先前有围压加载时的最大应力要小, 并且围压对 KF 值的影响很大. 如图 6, 首次加载时加 5 MPa 围压, 则测得的 KF 值仅为先前最大应力的 43% (FR = 0.43), 围压越大, 对 FR 值的影响越大, 当围压达到 30 MPa 时, 测得的 FR 值仅为 0.10.

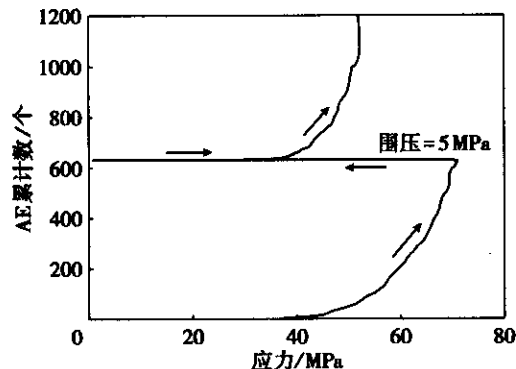


图 5 路径 II 时轴向应力与 AE 累计数关系
Fig. 5 Relationship between axial stress and AE accumulated counts along path II

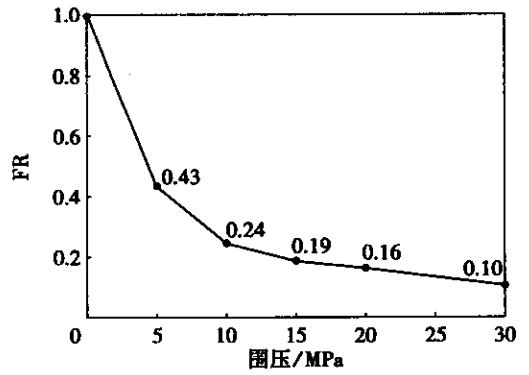


图 6 Felicity 比值 (FR) 与首次循环围压值关系
Fig. 6 Relationship between Felicity ratio and confining pressure in the previous loading cycle along path II

(3) 路径 III

图 7 显示, 在保持轴向变形的情况下卸围压, 虽然轴向应力减小, 但试样内部微裂纹继续产生和扩展, 表现为声发射数继续增加. 二次加载时采用单轴加压, KF 值与首循环过程中卸围压至零时的轴向应力相等, 而并非等于试样先前所受的最大轴向应力.

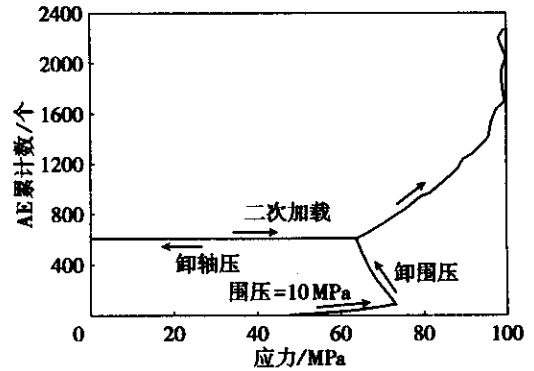


图 7 路径 III 时应力与 AE 累计数关系
Fig. 7 Relationship between axial stress and AE accumulated counts along path III

2.3 结果分析

从以上结果可知, 试样受到不同的应力路径加载, Kaiser 效应记忆先前最大应力的准确性受到很大影响.

首先, 在加载路径 I 下, 由于二次加载时加上了围压, 要使先前产生的裂纹继续扩展则必须要超过先前最大载荷, 所以声发射的恢复出现滞后现象. 而当路径为 II 时, 情况则正好相反, 由于首次加载有围压的保护作用, 使微裂纹的出现和扩展需要比单轴加载时更大的轴向应力, 二次加载时去掉了围压, 所以在还没有达到先前最大的轴向应力时就有 AE 事件出现, 声发射的恢复表现出超前现象.

采用路径 III 加载时, 在保持轴向应变卸围压时, 虽然轴向应力逐渐减小, 但试样继续受到损

伤,声发射数继续增加.二次加载时 KF 值与首循环过程中卸围压至零时的轴向应力相等,显然 Kaiser 效应记忆的并不是最大轴向应力,而是试样在首循环加载过程中所受的最大损伤.

从以上结果和分析可知,对试样采用不同应力路径循环加载时,二次加载过程中都能观测到类似的“Kaiser 效应”,但 Kaiser 效应记忆的并不是试样先前所受的最大应力,而应该是试样内部的最大损伤程度,图 7 更是非常形象地表达了这种现象.

3 结论与讨论

通过使用 RFPA^{2D}软件对岩石试样在三种不同循环应力路径下的声发射特征进行了数值实验,发现试样先后受到不同的应力路径加载时,在二次加载过程中仍能观测到清晰的“Kaiser 效应”,但 KF 值并不等于先前的最大应力值.所以 Kaiser 效应记忆的真实内容不是岩石先前所受的最大应力而是岩石内部的损伤程度,从图 3 图 5,图 7 可以清楚地观测到这一现象,这更进一步验证了 Kaiser 效应的实质.

迄今为止,Kaiser 效应的最大用途是用于测定原岩应力.根据加载路径 II 下的实验结果,使用从原岩中取样然后在实验室单轴加载测定 KF 值的方法测得的结果与真实原岩应力值有很大差别.如要准确地测定原岩应力,必须在实验室重现试样先前所受的应力路径,而这又是不可操作的.如前所述,Kaiser 记忆的是岩石内部的损伤程度,所以如何从岩石损伤的角度用实验室测得的 KF 值推测真实的原岩应力,是使用 Kaiser 效应准确测定原岩应力必须要解决的课题.

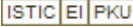
参考文献：

[1] Kaiser J. Erkenntnisse und folgerungen aus der messung von gerauschen bei zugbeanspruchung von metallischen werkstoffen[J]. *Archiv Eisenh Uttenwesen*, 1953, 24: 43 -

45.

- [2] Goodman R E. Sub audible noise during compression of rock [J]. *Geo Soc Am Bull*, 1963, 74:487 - 490.
- [3] Kurita K, Fujii N. Stress memory of crystalline rocks in acoustic emission[J]. *Geophysical Res Lett*, 1979, 6:9 - 12.
- [4] Li C L, Norlund E. Experimental verification of the Kaiser effect in rock[J]. *Mechanics and Rock Engineering*, 1993, 26(4):333 - 351.
- [5] 陈勉,陈治喜,金衍. 用斜井岩芯的声发射效应确定深层地应力[J]. *岩石力学与工程学报*, 1998, 17(3):311 - 314. (Chen Mian, Chen Zhi-xi, Jin Yan. Determination of in-situ stresses at great depth by using acoustic emission technique of inclined core[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 1998, 17(3):311 - 314.)
- [6] Lockner D. The role of acoustic emission in the study of rock fracture[J]. *Int J Rock Mech Min Geomech Abstr*, 1993, 30 (7):883 - 899.
- [7] 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 - 258. (Fan Yun-xiao. Damage: the mechanism of Kaiser effect[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2000, 19(2):254 - 258.)
- [8] 尤明庆,华安增. 应力路径对试样强度和变形特征的影响 [J]. *岩土工程学报*, 1998, 20(5):101 - 104. (You Ming-qing, Hua An-zeng. Effect of stress path on strength and deformation of specimen[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1998, 20(5):101 - 104.)
- [9] 徐涛,唐春安,张哲,等. 单轴压缩条件下脆性岩石变形破坏的理论、试验与数值模拟[J]. *东北大学学报:自然科学版*, 2003, 24(1):87 - 89. (Xu Tao, Tang Chun-an, Zhang Zhe, et al. Theoretical, experimental and numerical studies on deformation and failure of brittle rock in uniaxial compression [J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2003, 24(1):87 - 89.)
- [10] 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, 2003:48 - 97. (Tang Chun-an, Wang Shu-hong, Fu Yu-fang. Numerical test of rock failure[M]. Beijing: Science Press, 2003:48 - 97.)
- [11] Tang C A. Numerical simulation of rock failure and associated seismicity[J]. *Int J Rock Mech Min Sci*, 1997, 34(2):249 - 262.

不同应力路径对岩石声发射Kaiser效应的影响

作者: [李元辉](#), [袁瑞甫](#), [赵兴东](#), [LI Yuan-hui](#), [YUAN Rui-fu](#), [ZHAO Xing-dong](#)
作者单位: [李元辉, 赵兴东, LI Yuan-hui, ZHAO Xing-dong \(东北大学, 资源与土木工程学院, 辽宁, 沈阳, 110004\)](#), [袁瑞甫, YUAN Rui-fu \(东北大学, 资源与土木工程学院, 辽宁, 沈阳, 110004; 河南理工大学, 能源科学与工程学院, 河南, 焦作, 454000\)](#)
刊名: [东北大学学报 \(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF NORTHEASTERN UNIVERSITY \(NATURAL SCIENCE\)](#)
年, 卷(期): 2007, 28(4)
引用次数: 4次

参考文献(11条)

1. [Kaiser J](#) [Erkenntnisse und folgerungen aus der messung von gerauschen bei zugbeanspruchung von metallischen werkstoffen](#) 1953
2. [Goodman R E](#) [Sub audible noise during compression of rock](#) 1963
3. [Kurita K. Fujii N](#) [Stress memory of crystalline rocks in acoustic emission](#) 1979
4. [Li C L. Norlund E](#) [Experimental verification of the Kaiser effect in rock](#) 1993(04)
5. [陈勉, 陈治喜, 金衍](#) [用斜井岩芯的声发射效应确定深层地应力](#) 1998(03)
6. [Lockner D](#) [The role of acoustic emission in the study of rock fracture](#) 1993(07)
7. [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)
8. [尤明庆, 华安增](#) [应力路径对试样强度和变形特征的影响](#)[期刊论文]-[岩土工程学报](#) 1998(05)
9. [徐涛, 唐春安, 张哲](#) [单轴压缩条件下脆性岩石变形破坏的理论、试验与数值模拟](#)[期刊论文]-[东北大学学报 \(自然科学版\)](#) 2003(01)
10. [唐春安, 王述红, 傅宇方](#) [岩石破裂过程数值试验](#) 2003
11. [Tang C A](#) [Numerical simulation of rock failure and associated seismicity](#) 1997(02)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [吴胜兴, 张顺祥, 沈德建, Wu Shengxing, Zhang Shunxiang, Shen Dejian](#) [混凝土轴心受拉声发射](#)

Kaiser效应试验研究 - 土木工程学报2008, 41(4)

通过对48个试件进行轴拉声发射试验,研究混凝土试件在往复循环拉伸加载条件下Kaiser效应的有效性及其应力范围,探讨混凝土材料中Kaiser效应与Felicity效应的关系,并就Kaiser效应的影响因素进行系统全面的分析.结果表明:混凝土在轴心受拉试验中存在明显的Kaiser效应,其存在的机理是混凝土材料损伤不可逆的结果.Kaiser效应存在的应力上限值约为极限抗拉强度的80%.Felicity比随着相对应力水平的提高而单调下降,当达到较高的应力水平后,Felicity比迅速下降,Kaiser效应衰退,出现Felicity效应.加载速率对混凝土轴拉声发射Kaiser效应基本没有影响;而加载制度、应力水平、卸载后放置的时间以及干湿条件等对混凝土轴拉声发射Kaiser效应产生较大的影响.研究结果为应用声发射技术探讨混凝土轴拉声发射机理奠定基础,同时也为Kaiser效应的工程实际应用提供参考.

2. 学位论文 [张顺祥](#) [混凝土轴心受拉声发射Kaiser效应试验研究](#) 2007

混凝土是一种具有微裂隙的非均质材料,其受拉破坏过程比理想的脆性材料复杂得多,而声发射技术能动态实时探测材料内部微观结构变化,对探明混凝土轴拉声发射机理具有很大的促进作用.然而声发射技术在混凝土轴拉领域中的应用还不成熟,有许多问题亟待全面深入的研究和解决,如混凝土Kaiser效应对其轴拉声发射特性的影响.本文结合导师所承担的国家自然科学基金重点项目,开展混凝土轴拉声发射特性试验研究,就Kaiser效应对混凝土轴拉声发射特性的影响进行研究,为应用声发射技术探讨混凝土轴拉声发射机理奠定基础,同时也为Kaiser效应的工程实际应用提供参考.

本文在总结国内外声发射Kaiser效应研究的基础上制定了可行的Kaiser效应试验方案,通过70个试件的轴拉声发射试验研究混凝土Kaiser效应的存在性及其存在条件,并就Kaiser效应的影响因素进行系统全面的分析,最后探讨Kaiser效应的工程应用.本文主要的研究内容如下:

- (1) 研究混凝土试件在往复循环拉伸加载条件下Kaiser效应的有效性及其存在的应力范围,并对其产生机理进行解释;探讨混凝土材料中Kaiser效应与Felicity效应的关系;讨论Kaiser效应的记忆内容.
- (2) 就加载制度、加载速率、强度等级、试件大小、骨料粒径、应力水平、卸载后放置时间以及干湿条件等因素对Kaiser效应的影响进行研究。

- (3) 讨论Kaiser效应在声发射试验排噪检测、应力历史评定、混凝土材料损伤劣化水平评价以及混凝土材料可靠性评价中的应用。

通过以上的研究工作,得到以下几个主要结论:(1)混凝土在轴拉试验中存在明显的Kaiser效应,其产生的机理是混凝土材料损伤不可逆的结果;(2)Kaiser效应的存在是有条件的,其声发射的不可逆性具有应力上限,上限值约为极限抗拉强度的82%;

(3)Felicity比是对材料声发射过程不可逆程度的更详细描述,随着相对应力水平的提高而单调下降,当达到较高的应力水平后,Felicity比迅速下降,Kaiser效应衰退,出现了Felicity效应;(4)混凝土Kaiser效应应具有记忆前期最大应力和前期最大应变的特性;(5)强度等级、试件大小、骨料最大粒径以及加载速率对混凝土轴拉声发射Kaiser效应基本没有影响;(6)加载制度、应力水平、卸载后放置的时间以及干湿条件对混凝土轴拉声发射Kaiser效应产生一定的影响;(7)Kaiser效应在声发射试验排噪检测、应力历史评定、混凝土材料损伤劣化水平评价以及混凝土材料可靠性评价中的应用具有一定的发展前景。

3. 期刊论文 [张艳霞, 何晖, ZHANG Yan-xia, HE Hui](#) [岩石声发射的Kaiser效应研究进展](#) - [地下空间与工程学报](#)

2007, 3(6)

简要介绍了声发射技术的原理、发展史,从Kaiser效应应用方面,还介绍了声发射技术的研究成果.还介绍了岩石的Kaiser效应及声发射技术在

岩土工程中的应用,最后讨论了声发射技术未来的研究方向。

4. 期刊论文 [姜永东, 鲜学福, 许江, JIANG Yong-dong, XIAN Xue-fu, XU Jiang](#) [岩石声发射Kaiser效应应用于地](#)

[应力测试的研究—岩土学](#)2005, 26(6)

介绍了声发射Kaiser效应测定岩体地应力的原理、方法和测试技术,应用弹性力学理论推导出地下岩体测点处的地应力表示和地应力椭圆基本方程。通过在定向岩芯9个特殊方向取样,进行声发射试验得到了各方向的单向正应力值,将其值代入地应力计算公式中得到了3个主应力的方向、大小、方向。其实验研究结果可为工程提供借鉴和参考。

5. 期刊论文 [赵兴东, 李元辉, 袁瑞甫, 张建勇, ZHAO Xing-dong, LI Yuan-hui, YUAN Rui-fu, ZHANG Jian-yong](#) [花](#)

[岗岩Kaiser效应的实验验证与分析—东北大学学报\(自然科学版\)](#) 2007, 28(2)

应用八通道的声发射系统,实验研究了10个花岗岩试样(150mm×150mm×150mm)在单轴压缩循环荷载作用下的Kaiser效应,同时研究了保载、旋转(90°)加载和延时加载对Kaiser效应的影响。应用单纯形算法对声发射事件进行定位,研究裂纹扩展过程。结果表明:在初次加载条件下,声发射事件连续急剧产生,反映岩体本身的损伤程度;在岩样弹性循环加载阶段,花岗岩表现出明显的Kaiser现象,同时表明岩石具有一定的受载记忆能力;声发射事件定位结果明显显示出裂纹的初始、扩展过程,与实际观察到的岩样破坏结果是一致的。同时发现保载、旋转(90°)加载和延时加载对Kaiser效应没有影响。但是,一旦岩样被加载至非线性阶段,再对岩样进行重复加载,声发射事件急剧增加,超过前几次加载过程产生的声发射数,这个结果与Kaiser效应试验结果完全不同。

6. 学位论文 [黄志鹏](#) [岩石声发射及Kaiser效应的试验研究](#) 1997

该文简要介绍了岩石声发射和Kaiser效应的发展历史、研究现状及基本理论;通过试验研究了重庆砂岩单轴压缩的破坏过程及声发射特征,建立了岩石单轴压缩声发射Kaiser效应的损伤记忆模型;通过三轴压缩声发射试验研究了岩石声发射Kaiser效应方向独立性问题,并运用二维翼状裂纹理论,建立了岩石三向压缩声发射Kaiser效应的应力记忆模型,并用试验结果对模型进行了验证,表明:模型分析与试验结果完全一致,岩石声发射Kaiser效应方向独立性不成立;根据裂纹尖端微裂纹密度理论,提出了声发射总数与裂纹尖端的显微裂纹总长度成正比的假定,推导出了裂纹稳定扩展时声发射总数与应力强度因子之间的关系式。通过试验研究了重庆砂岩的断裂特性,并对该文推导出的声发射总数与应力强度因子之间的关系式进行了验证,结果表明:理论推导与试验结果比较吻合。

7. 期刊论文 [廖孟柯, 梁忠雨, 陈志福, LIAO Mengke, LIANG Zhongyu, CHEN Zhifu](#) [岩石单轴压缩Kaiser效应的试](#)

[验研究—石河子大学学报\(自然科学版\)](#) 2009, 27(3)

岩石材料在压缩过程中能量释放将产生大量的声发射现象。本文基于Kaiser效应理论及Kaiser点的确定方法,运用单轴压缩试验研究了岩石试件的Kaiser效应,结果表明:当岩石应力达到或超过先期加载应力水平时,将首次出现大量的声发射事件,此处应力水平点即为Kaiser点,采用声发射确定的Kaiser效应点应力值比真实值大3%~8.7%。这表明,Kaiser效应法是一种简单、直观、经济的地应力测定方法。

8. 期刊论文 [陈勉, 张艳, 金衍, 李良川, CHEN Mian, ZHANG Yan, JIN Yan, LI Liangchuan](#) [加载速率对不同岩性岩](#)

[石Kaiser效应影响的试验研究—岩石力学与工程学报](#)2009, 28(z1)

当加载速率较快时,砂岩、粗砂岩、泥岩等岩石相对于加载速度较慢的测试,Kaiser点对应的应力值增大,但对于灰岩等脆性岩石,加载速率对其Kaiser效应影响甚微。因此,需要具体分析加载速率对不同岩性岩石Kaiser效应的影响。试验发现,不同加载速率导致声发射累积次数随应力的变化曲线存在显著差异。这是因为当加载速率较慢时,岩心内部较大和较小的裂缝都会发生错动和扩展,致使声发射信号比较明显,得到的Kaiser点对应的应力值较小;而当加载速率较快时,只有较大的裂缝才会发生错动和扩展,Kaiser点对应的应力值相对较大。当深度大于2 500 m的岩心在声发射测量过程中,Kaiser点往往出现在岩石破坏点之后,因此必须模拟地层条件采用围压下的Kaiser效应进行测量,测得相应地层的地应力大小。针对不同的岩性岩石选取不同的加载速率进行加载研究,试验结果与现场试验结果基本一致。结论为Kaiser效应试验测地应力提供理论依据和借鉴。

9. 期刊论文 [李彦兴, 董平川, LI Yanxing, DONG Pingchuan](#) [利用岩石的Kaiser效应测定储层地应力—岩石力学与](#)

[工程学报](#)2009, 28(z1)

用单轴压缩试验测试岩石Kaiser效应特征,进而确定岩体地应力状态的方法,在岩体工程实践中得到广泛的应用。长庆靖安油田长6储层属于低孔低渗透层,需要进行水力压裂后才能得到高效地开发,为此必须研究该储层的地应力。用岩石的Kaiser效应,结合岩芯古地磁定向来研究储层19口井的地应力。研究表明,岩石声发射得到的最小主应力与水压致裂瞬时停泵法进行比较,大小吻合较好,而用岩芯古地磁定向结合岩石的声发射测试,能准确测定出地层中主应力分布的方向,与地层倾向测井解释结果比较接近。

10. 期刊论文 [鲍洪志, 孙连环, 于玲玲, 张华卫](#) [利用岩石声发射Kaiser效应求取地应力—断块油气田](#)2009, 16(6)

在油气勘探开发中地应力是重要的基础数据,测量地应力的方法较多,利用岩石声发射Kaiser效应求取地应力是其中的方法之一。该方法具有简单、直观等优越性。针对准噶尔盆地勘探开发中存在的问题进行研究,首先介绍了利用岩石声发射Kaiser效应测试地应力的基本原理及实验方法,根据弹性力学理论给出了岩石测点处地应力方程;然后应用该方法求取了准噶尔盆地中部区块2口井的地应力大小,并与测井资料处理结果进行了对比,处理结果较为一致,说明利用声发射Kaiser效应确定地应力是一项准确可靠的室内测试方法,分析结果也为该区块的钻井工程设计与施工提供了基础数据。

引证文献(4条)

1. [赵奎, 金解放, 刘明松, 王晓军, 何国强, 支学艺](#) [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\[期刊论文\]-岩石力学与工程学报](#) 2009(z1)

2. [苏承东, 高保彬, 南华, 李小军](#) [不同应力路径下煤样变形破坏过程声发射特征的试验研究\[期刊论文\]-岩石力](#)

[学与工程学报](#) 2009(4)

3. [陆铁彬, 张勇华](#) [深部巷道地应力测量及岩爆倾向性分析\[期刊论文\]-工程建设与设计](#) 2009(1)

4. [张广清, 陈勉, 赵振峰](#) [Kaiser取样偏差对深层油藏地应力测试的影响分析\[期刊论文\]-岩石力学与工程学报](#)

2008(8)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dbdxbx200704031.aspx

下载时间: 2010年5月31日