

基于图像处理技术对岩石破裂前后的应变场的研究

陶 鑫 裴振兴

黑龙江工业学院 黑龙江鸡西 158100

摘要: 采用DIC对大理石试样单轴受压进行采样,对岩石破裂前后的应变场进行分析。结果表明岩石在破裂前期位移为均匀变化,破裂后岩石的三轴方向的位移应变都出现变形局域化。通过对各方向位移均方差的分析,找出破裂点,可以作为岩石破坏的预兆。对工程安全性监测具有很大的意义。

关键词: DIC; 岩石单轴压缩; 位移; 破裂

Study on strain field before and after rock fracture based on image processing technology

Xin Tao, Zhenxing Pei

Heilongjiang Institute of technology, Jixi 158100, Heilongjiang

Abstract: DIC is used to sample marble samples under uniaxial compression and analyze the strain field before and after rock fracture. The results show that the displacement of rock is uniform in the early stage of fracture, and the displacement and strain of rock in the triaxial direction are localized after a fracture. Through the analysis of the mean square deviation of the displacement in each direction, the fracture point can be found, which can be used as the precursor of rock failure. It is of great significance to project safety monitoring.

Keywords: DIC; Rock uniaxial compression; Displacement; fracture

1 引言

DIC是一种基于高速图像采集和定量分析的高速三维数字图像相关方法^[1-3],是非接触,用于全场形状、变形、运动测量方法。他将物体表面随机分布的斑点或随机分布的人工散斑作为变形信息载体,是一种对材料或结构表面在外荷载或其他因素作用下进行全场位移和应变分析的新的实验力学的方法。基于这些优良特性,相关法有着非常广泛的工程应用^[4]。数字图像相关方法首先由M.A.Sutton等人提出^[5]。为了实现三维变形的测量,P.F.Luo等^[6]人在1993年提出了基于双摄像机的三维DIC。本文应用DIC技术对岩石单轴加载的应变场进行分析,进而找出岩石破坏前的突变点,对工程上预防岩石破坏有很大的意义。

2 试验过程

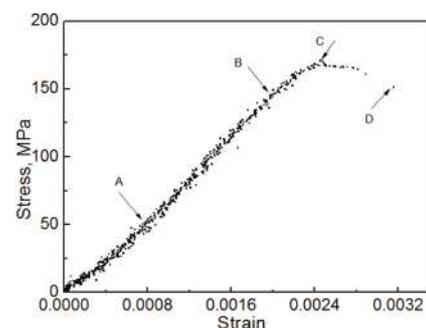
本文以大理石试样为研究对象,采用单轴压缩,双相机跟踪拍摄系统进行试验,后期分析系统采用基于图像处理的应变位移测试分析系统,对图像进行分析,可得出试件在三轴方向的位移,应变。加载系统采用上海

华龙微机控制电液伺服万能试验机,最大负荷600KN。加载方式为等应变速率,加载速率为0.1mm/s。

3 岩石加载过程中的应变变化特征

3.1 应力应变曲线

本实验可通过伺服试验机与图像处理系统相结合的方法绘出大理石的应力应变曲线,通过伺服试验机输出压力值,可求出对应时间的大理石的内部应力,通过图像采集分析软件可以得出大理石的应变,进而画出其应力应变曲线^[7-8]。通过对比发现其与原始方法测得的应力应变曲线相近,说明其对应变的计算的可信度很高。



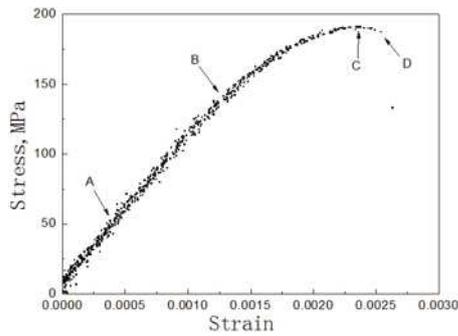


图1 两大理石试件的应力应变曲线

从图1中可以看出A点前为初始阶段, 岩石因内部空隙和微裂隙被压密使得曲线略向下弯曲; AB段为弹性变形阶段, 曲线近似为直线型; BC段为弹塑性阶段, 应力上升缓慢, 曲线略微向上弯曲, C点为应力峰值点; C点过后应力出现下降, 并出现裂缝, 岩石最终破坏^[9-10]。

3.2 岩石加载后的位移场的演化特征

图2为大理石试件1在加载过程中的U方向的特征点位移变化, 通过对照可以发现, 开始位移为均匀变化, 从上部到下部位移依次减小, 从第五张图569s或第六张图585s开始可以观察到在右下角处有明显的位移集中现象, 最后可以看到试件在位移集中处开裂, 第七张图601s对应着应力应变曲线的峰值点, 在峰值点前既出现位移集中较明显现象。图3为试件2的U方向位移随时间变化的云图, 发现其位移演化规律与试件1相同, 更能说明位移局域化的规律。

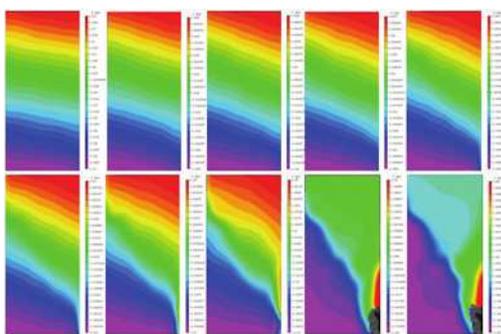


图2 试件1U方向的位移云图

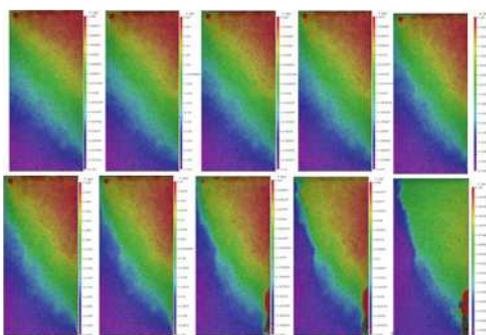


图3 试件2U方向的位移云图

3.3 加载过程中的第一主应变场的演化特征

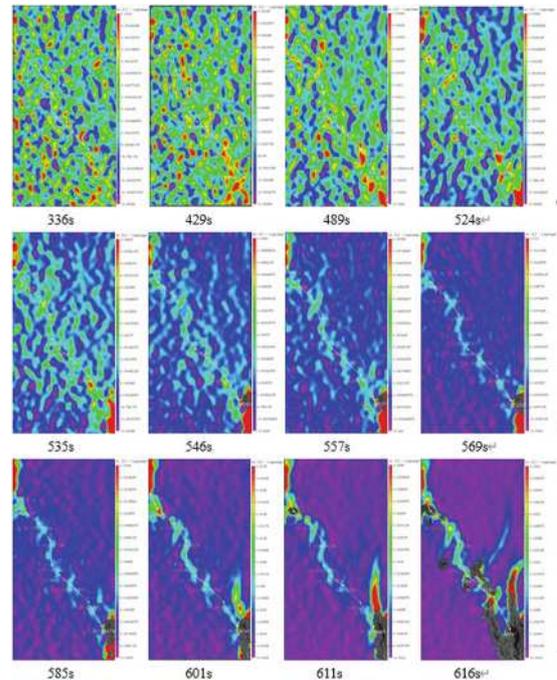


图4 试件1第一主应变云图

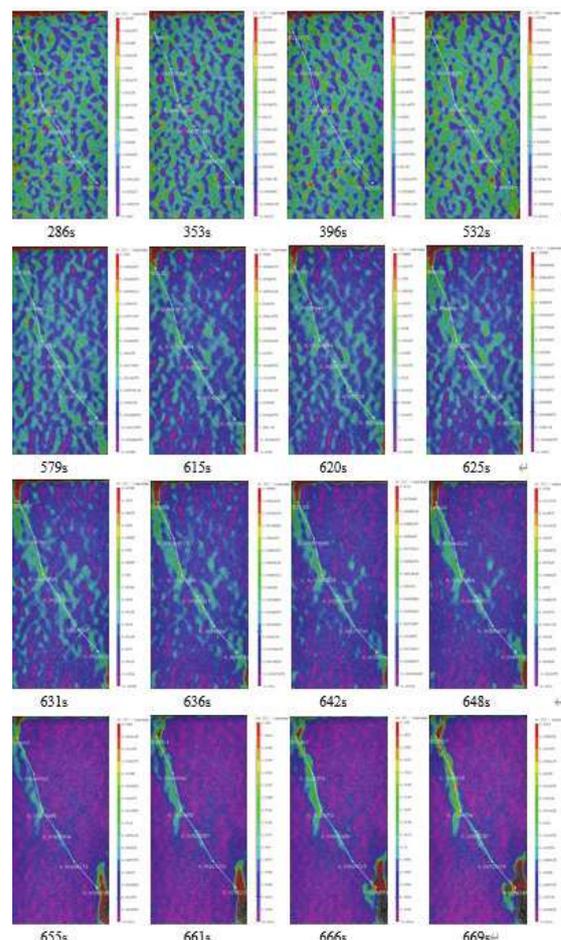


图5 试件2第一主应变云图

由于第一主应变需细致分析, 所以将特征点进行加

密, 图4为试件1的第一主应变云图。从图中可以看出应变的演化特征, 前四幅图的第一主应变处在无规则增长阶段, 从第五幅图557s中依稀的可以看出应变集中现象, 图中划线处的应变集中现象越来越明显, 应变也越来越大, 可得出裂缝沿着应变集中处开裂, 所以应力集中现象可以很好地作为岩石灾变的预警特征。第十幅图601s为应力峰值, 在峰值点前应变集中现象既已很明显, 十一幅图611s处已出现细微裂缝, 所以在第8幅569秒到第11幅611秒之间为捕捉岩石破坏失稳前兆的最佳阶段。图5为试件2的第一主应变云图, 通过图片我们可以发现在631s时, 应变集中现象已很明显, 661s处为应力峰值点, 随着应变局部化的加剧, 将在应变集中处开裂。两个试件的应变演化过程相似。

3.4 特征点、线中的第一主应变场的演化特征

图6为将试件表面垂直于裂缝取一条直线, 通过计算直线上各点的第一主应变可以发现, 在应变未集中前第一主应变是无规则增长的, 但当应变集中现象出现之后在裂缝处的应变明显的高出其他点很多, 且裂缝处的应变增长速度高于其他各点, 图7为各时间段直线上各点的第一主应变值, 可以使我们更清晰的理解上述现象, 这也很好的说明应变集中现象可以作为岩石灾变的预警。

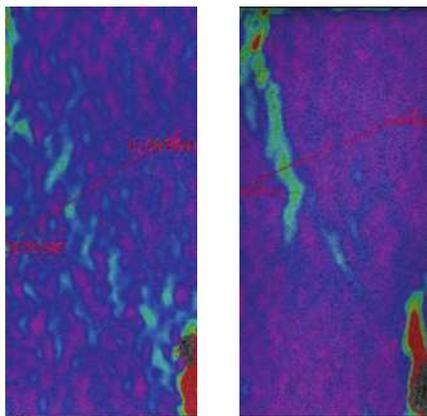


图6 垂直于裂缝处的直线

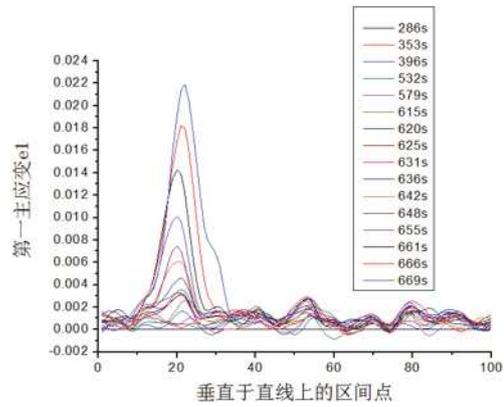
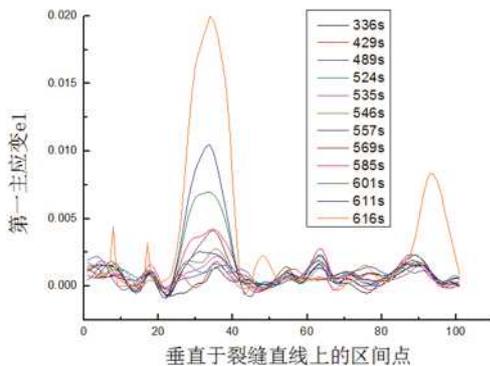


图7 各时间段直线上各点的第一主应变值

图8为在试件表面相同高度应变集中处与非集中处取相同大小的两个特征点, 通过对两个点处平均第一主

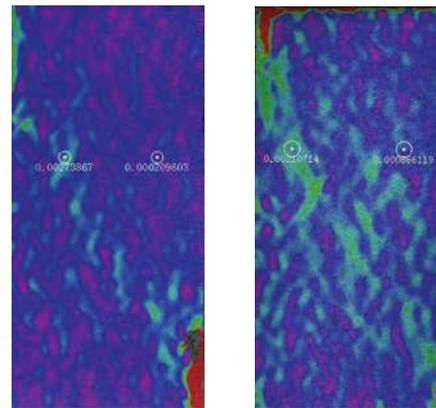


图8 计算特征点位置图示

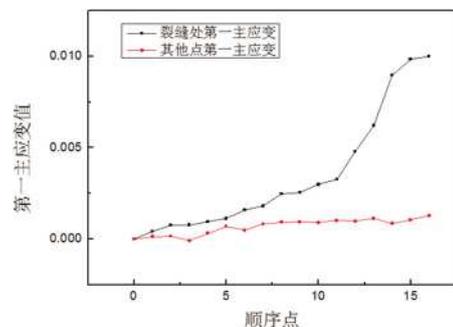
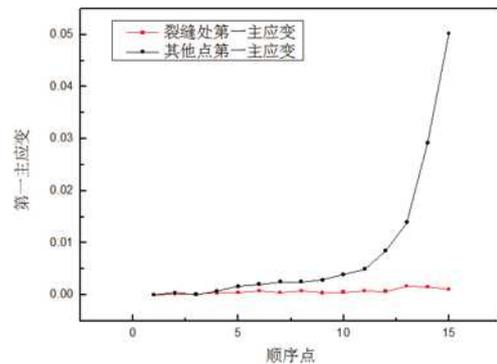


图9 两特征点随时间变化的第一主应变示意图

应变值随时间增长的趋势进行分析。图9为两特征点随时间变化的第一主应变示意图,同样可以发现在应变集中处第一主应变的增长速度明显高于非集中处,随着局域化趋势的发展,裂缝也将慢慢产生。

3.5 利用均方差对应变集中现象进行分析

在加载过程中试件的位移应变是一个逐渐增长的过程,虽然到中后期出现位移应变集中现象,但是从全场平均位移应变并不能反映出集中现象,虽然集中处的位移应变很大,但是通过全场平均也很难反映出集中的真实情况,因此我们选择位移和应变的均方差来说明集中

现象。从图10中可以看出,无论是y方向位移、y方向全场统一应变还是第一主应变,他们的均方差都在峰值前后有较大的较大的变化,这也说明了位移应变集中的现象。图11为相应均方差对时间的的导数图,在图上能够清楚的发现,在弹性阶段导数值波动很小,说明应变位移增长很平均,到了峰值点前后,导数值出现明显的波动,说明位移应变现象集中现象明显。(图11横轴为时间点,每一点代表40ms,横轴起始点为360s,本文只为观察峰值前后的均方差的变化情况,因此只从360s开始取点)。因此位移应变集中现象可以作为岩石灾变的征兆。

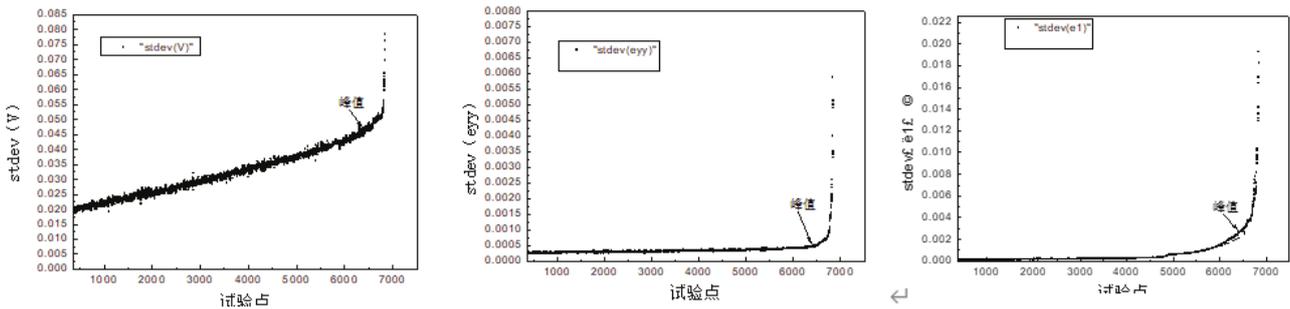


图10 各变量的均方差

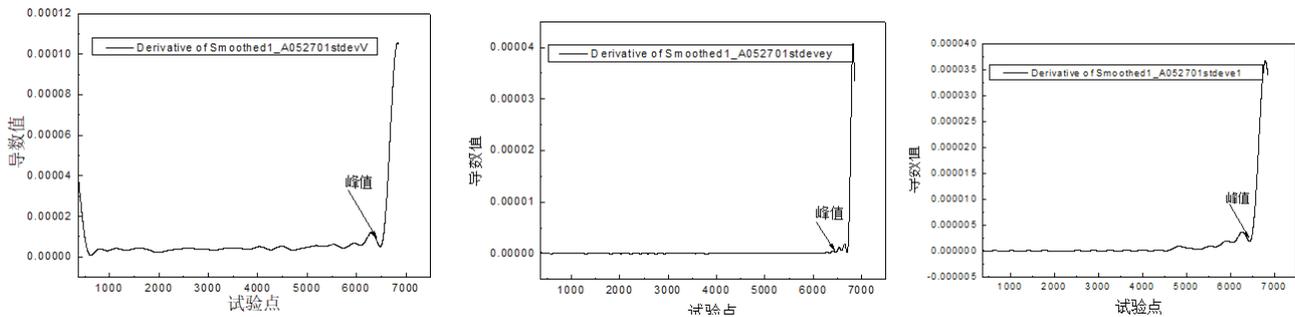


图11 相应均方差曲线的导数图

4 结论

从以上的分析中可以得出随着加载的进行,应变发生局域化的结论,而应变局域化处即是裂缝发展的区域,在应力接近峰值点前应变开始出现局域化现象,通过分析应变局域化的发展情况可以将应变局域化作为岩石破坏的预兆。

本文通过DIC采集系统对岩石试件单轴加载过程中的位移应变场的演变特征进行了分析,重点分析了位移应变局域化及裂缝的发展征兆,得出以下结论:

(1) 加载后期,随着岩石宏观裂缝的临近,出现位移应变局域化的现象,表现为剪切破裂面处位移应变增长迅速,且高于表面其他位置处的应变值,即在裂缝处出现明显的位移应变局域化现象,这种现象是岩石破裂灾变早期的重要前兆。

(2) 位移应变局域化现象在应力峰值之后得到了明显的加强,直至岩石试件在其局域化处开裂破坏。

上述研究对岩石受力灾变具有很好的预警作用,是提前预兆岩石灾变的一种很好的方法。

参考文献:

[1]Chu T C, Ranson W F, digital image—correlation Sutton M A.Applications of techniques to experimental mechanics[J].Experimental Mechanics, 1985, 9: 232-244.
[2]王怀文, 亢一澜, 谢和平.数字散斑相关方法与应用研究进展[J].力学进展, 2005, 35(2): 195—203.
Wang Huaiwei, Kang Yilan, Xie Heping.Advance in digital speckle correlation method and its application[J].Advances in Mechanics, 2005, 35(2): 195—203.(in Chinese)
[3]Pan Bing, Qian Kemao, Xie Huifin.Two—

dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review[J]. Meas Sci Technol, 2009, 20(6): 2001—2017.

[4]金观昌, 孟利波, 陈俊达, 等. 数字散斑相关技术进展及应用[J]. 实验力学, 2006, 21(6): 689—701. Jin Guanchang, Meng Libo, Chen Junda, et al. The progress and application of digital speckle correlation method[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2006, 21(6): 689—701. (in Chinese)

[5]SUTTON M, McNEILL S, HELM J, et al. Advances in two-dimensional and three-dimensional computer vision[J]. Photomechanics, 2000, 77: 323—372.

[6]LUO P, CHAO Y, SUTTON M, et al. Accurate measurement of three-dimensional deformations in deformable

and rigid bodies using computer vision [J]. Experimental mechanics. 1993, 33(2): 123—132

[7]杜凯, 邓建华, 王化俗, 杨壮, 代旭东. 基于3D-DIC技术的约束岩石裂缝扩展研究[J]. 力学季刊, 2021, 42(04): 743—751.

[8]苏昊, 杨俊, 周建庭, 王劫耘, 王宗山, 马兴林. 基于DIC的UHPC加固锈蚀钢筋混凝土柱轴心受压性能研究[J]. 材料导报, 2021, 35(S2): 194—199.

[9]赵文慧, 宫能平, 穆朝民, 何雅杰. DIC法在岩煤岩冲击破坏试验中的应用[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2021, 41(05): 31—36.

[10]齐飞飞, 张科, 谢建斌. 基于DIC技术的含不同节理密度类岩石试件破裂机制研究[J]. 岩土力学, 2021, 42(06): 1669—1680.