

镶嵌试件表面位移场的全息显示*

张天润 吴开统 焦远碧 吕培苓

(国家地震局分析预报中心)

蔡戴恩

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

用激光全息干涉法研究了在单轴压力下的镶嵌试件的表面形变,显示了离面位移场的可见图象。发现在载荷达到破裂载荷的90%左右时,沿镶嵌边界出现剧烈形变带和宏观裂纹;当岩芯强度低于或等于外围介质强度时,这种剧烈形变带集中在岩芯以外的一侧;当岩芯强度高于外围介质强度时,这种剧烈形变带形成围空图象。镶嵌试件在一定程度上模拟了地壳的横向不均匀结构,观察它的表面形变过程有助于探讨震前地震活动图象的物理含义。

一、引 言

全息摄影方法是岩石力学实验中的一种新技术。Spetzler和Sobolev曾用这种方法观测了叶腊石立方柱体的变形过程^[1、2],王仁、赵豫生等根据全息照片识别了大理岩试件中裂缝的逆向共轭剪破裂^[3]。本实验采用全息摄影方法,研究了在大理岩板中镶入圆柱体岩芯的试件的变形过程。在地壳岩层中常有由不同介质组成的侵入岩体存在,在板块缝合线和板块俯冲接触带上也存在经构造运动混杂到一起的混杂体^[4],这些事实为地壳中存在包体提供了证据。在大理岩板中镶入圆柱体岩芯的试件可用来模拟在地壳横向不均匀结构中可能存在包体的情况。根据在实验过程中摄得的全息照片,可以研究包体周围的变形特点,为解释地震前地震活动图象的物理含义提供依据。

二、实验方法

试件中的大理岩板采用北京房山大理岩制成,其质地均匀细密,晶粒直径约0.1—0.2mm,岩板尺寸为120×60×5mm。它可用来模拟地壳中包体外围岩层。试件中的圆柱

*本文是地震学联合科学基金资助的课题。

体岩芯分别用小浪底砂岩、房山大理岩、昌平花岗岩和济南辉长岩制成。岩芯直径分15mm和25mm两种。它可用来模拟地壳中存在的包体。用人造金刚石钻头在大理岩板上打孔和在不同石料上采取岩芯。岩芯与大理岩板镶嵌良好,无晃动。岩芯与孔的耦合偏差约0.01—0.5mm,它们之间用抗剪强度较高的环氧树脂粘结。试件上下受力面用磨床精磨,以确保其相互平行(误差小于0.02mm)。用钢制扶正器夹持试件,使其垂直于上下压头,保证载荷力与岩板面平行。扶正器的另一个作用是防止板状样品发生拱曲失稳,但对样品不可夹得太紧,否则影响面内位移。

用MTS伺服压机进行刚性加载,应变率为 $0.46 \times 10^{-5}/s$ (半小时行程1mm)。用JQS—1型双脉冲激光全息照相机对试件进行全息照相,记录在不同受力阶段内试件表面的离面位移场*。采用双曝光法,即对处在变形过程中的试件在同一全息底板上曝光两次,使两张全迭加起来。两次曝光之间岩石表面所发生的微小位移造成光程差,在用激光再现全息图时就形成干涉条纹。这种条纹可以看作曝光间隔中离面位移的“等高线”,它勾画出了岩石表面的位移场。激光波长量级为 $0.5\mu m$,脉冲宽度30毫微秒。因为试件变形的速率在受力过程中是逐渐增加的,所以双曝光的时间间隔逐渐减小,在初始阶段为30—40秒,接近峰值载荷时为20秒左右,即将破裂时为十几秒。

三、实验结果

图1显示了5号试件(大理岩芯,直径25mm)的实验过程。从载荷达1.0吨开始,形变进入稳定的线弹性阶段。此时摄得的照片1显示出孔的下端绝对位移量最大。在31秒的间隔中,孔下端位移量比右上角多11入(入为氦—氖激光器的波长,为6328埃)。根据理论计算,在孔的上下两端应有应力集中,在许多试件承压的初始阶段都见到了这种现象。

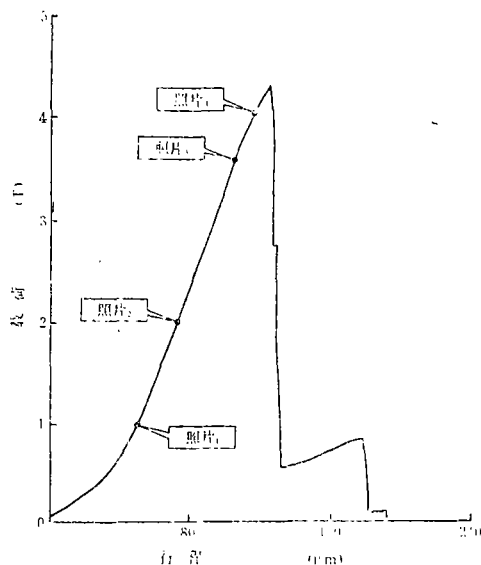


图1 5号试件的载荷—位移关系曲线
Fig.1 Load—stroke curve for No.5 sample
(marble core, diameter 25mm)

*把试件的表面位移分解为垂直于表面和平行于表面两个方向,前者称为离面位移,后者称为面内位移,全息图所反映的主要是离面位移。

对试件继续加载, 在岩芯开始承受压力之后, 初期的集中条纹消失, 恢复了全场均匀的干涉条纹, 仅在试件中部显示稍微拱曲(照片2)。

照片3是在载荷达到峰值的88%即3.79吨时拍摄的。由照片可见, 这时岩芯左侧接缝处已产生裂纹*。岩芯左面外围介质的干涉条纹发生剧烈的扭曲, 说明此处的形变远大于岩芯内部。

当载荷达到峰值的93%时, 试件的载荷一位移曲线开始向下弯, 偏离了线弹性过程。沿左侧边界的裂纹加长, 孔下侧出现垂直方向的裂纹。此时还能看出未来大破裂的走向(照片4)。

照片5是破裂后的试件, 破裂呈Y字形。孔下侧的裂纹发展成主破裂的下支, 其周围岩石破碎度很高。照片3、4中显示, 在岩芯左侧的裂纹形成Y字形破裂的左支。沿岩芯右侧分布着Y字形破裂的右支, 是试件破裂时突然发生的, 在它出现之前, 干涉条纹并无显示。

由以上观测结果可以得出如下结论:

(1) 试件破裂之前, 岩石表面产生剧烈形变带, 这些剧烈形变带一般沿岩石块体的边界呈条带状分布。我们先后对20块不同岩芯的样品进行了试验, 凡摄得清晰照片的, 都出现了这种现象。

(2) 由于应力场分布的差异, 岩芯内外的形变程度相差悬殊, 外部的形变大得多。

(3) 在压缩过程中, 剧烈形变带的位置发生变化。对于5号样品, 加压初期其形变最大位置在孔的下方, 随着压力的增加, 形变最大位置转移到岩芯左侧边界处。

(4) 剧烈形变带预示了未来主破裂发生的位置。

(5) 有的分支破裂在产生之前没有形变前兆, 如5号样品Y字形破裂的右支。

为了研究不同性质的岩芯对离面位移场的影响, 我们用几种不同材料的岩芯作了试验。对含有直径为15mm的砂岩岩芯的13号试件的试验结果表明, 在载荷达到3.4吨(破裂载荷的89%)时, 岩芯左侧的干涉条纹发生显著弯曲, 说明形成了一个剧烈形变带(照片6、7)。

照片8、9是含有直径为25mm的辉长岩岩芯的11号试件的试验结果, 拍摄时的载荷是终破裂时的93%。照片中岩芯周围的干涉条纹密集而复杂, 岩芯内的条纹则均匀而稀疏。说明两部分的应变场显著不同, 剧烈变形区包围着形变较弱的区域。这种情况与地震“空区”的图象相似。

照片10、11是含有直径为15mm的辉长岩岩芯的21号试件, 在载荷达到终破裂载荷的92%时的试验结果。在这张全息图上同样可以看到岩芯周围干涉条纹密集复杂, 与前一张照片不同的是岩芯内部也出现了纵向的裂纹。

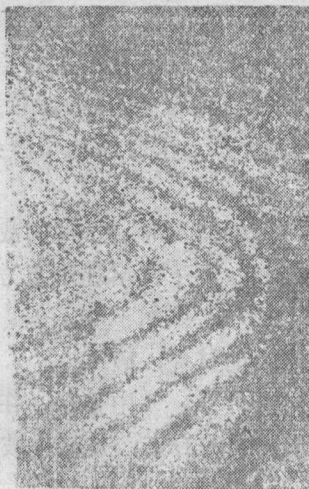
四、讨 论

地震活动图象, 例如“空区”等是当前进行地震预报的重要依据。对“空区”的物理含义曾有不少人进行过探讨。有人用塑性硬化来解释, 有人用膨胀硬化来解释^[6]。但这些解释都是基于均匀介质的假设, 参考单岩体压缩实验的结果作出的。实际地壳介质是不均匀

*产生裂纹的判断包括: 干涉条纹的曲率在裂纹处发生不连续的变化; 裂纹两侧的材料离面运动不同, 或产生一个局部弯矩使裂纹两侧的材料有绕不同轴转动的趋势。详见文献[5]。



照片 1



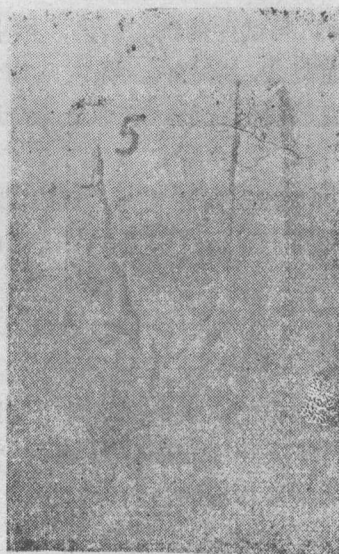
照片 2



照片 3



照片 4



照片 5



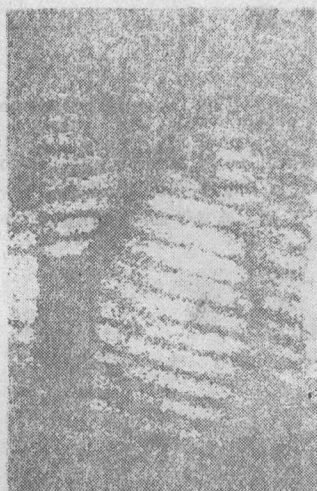
照片 6



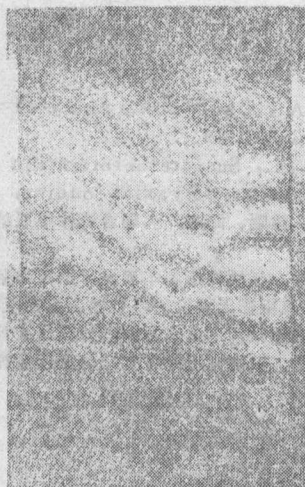
照片 7



照片 8



照片 9



照片 10



照片 11

的,其内部存在的大量断层和裂隙也必然强烈地影响地震孕育过程,我们的实验在一定程度上考虑了这些因素。根据我们的实验,对第二类空区的成因可以提出一种可能的新的解释:当地壳中存在包体的地区受到较强挤压应力作用时,包体外围变形强烈而且不均匀,包体内部变形较弱而且较为均匀。变形强烈的区域,其背景地震活动也较强,反之,则地震活动较弱,从而形成空区图象。

在地壳介质临近大破裂时,包体边缘往往产生剧烈形变带和早期破裂(照片3、4,6、7)。在地震活动图象上对应于孕震空区边缘在大震发生前较短时间发生的“逼近”地震〔7〕。

当包体尺寸较小或强度较低时,包体内部可能在主破裂发生之前先发生较小的裂纹(照片10、11)。因此,在大震发生前较短时间内,空区内部会出现地震活动明显增强的情况〔6〕

(本文1988年9月19日收到)

参 考 文 献

- 〔1〕Sobolev, G.A., Laboratory study of failure precursors, Gerlands Beitr. Geophysik, Vol. 88, No. 2, 140—153, 1979.
- 〔2〕Spetzler, H. A., Surface deformation crack formation and acoustic velocity changes in pyrophyllite under polyaxial loading, J. Geophys. Res., Vol. 86, No. B2, 1070—1080, 1981.
- 〔3〕王仁、赵豫生、陈颀、阎红,大理岩试件中裂缝的逆向共轭剪破裂,地震学报, Vol. 8, No. 2, 191—196, 1986.
- 〔4〕汤耀庆,混杂体,板块构造基本问题,地震出版社, 90—105, 1986.
- 〔5〕R.K. Erf, 全息摄影无损检测, 机械工业出版社, 298—303, 1982.
- 〔6〕陆远忠等,地震预报的地震学方法,地震出版社, 48—58, 1985.
- 〔7〕陆远忠、沈建文、宋俊高,地震空区与逼近地震,地震学报, Vol. 4, No. 4, 1982.

DISPLACEMENT FIELD ON THE SURFACES OF CORE-CONTAINED ROCK SAMPLES DISPLAYED WITH HOLOGRAMS

Zhang Tianrun, Wu Kaitong, Jiao Yuanbi, Lu Peiling

(*Center for Analysis and Prediction, SSB, Beijing, China*)

Cai Daïen

(*Institute of Geophysics, SSB, Beijing, China*)

Abstract

Holographic photograph is applied to study surface deformation of core-contained rock samples under single-axial pressure and visible image of off-surface displacement field is displayed. When load is 90% of the critical value, strong deformation zone and macroscopic cracks appear around cores. Such zone may be found on one side of the core, if the strength of core is below or equal to that of the peripheral material. If the strength of core is above that outside, deformation inside the core may be small in contrast to outside.

Based on the experimental results, a new explanation of 'gap' formation before earthquakes is proposed.