脉冲激光全息干涉术在岩石力学研究中的应用

陈 颙 郑 捷 郭继光* 阎 虹

（国家地震局地球物理研究所，北京）

在岩石力学研究中，经常需要测量岩石各点的变形情况，即需要观测岩石的变形场．例如在和地震预报有关的岩石力学研究中，需要研究地震断层面形成过程中变形场的时空规律．激光全息干涉术是进行这种全场性测量的重要手段． 70 年代以来 Spetzler[1]、Soga[2]、Sobolev[3] 等应用连续激光进行过这种全息干涉测量．最近我们成功地利用脉冲激光全息照相进行了干涉测量．

激光全息干涉术是激光全息照相的最重要的实际应用之一．它可以无接触地测量物体表面的微小位移或变形，其精度可达到用来建立全息图的激光器波长的一半（H_e—N_e：波长 = 6328 Å，红宝石：波长=6943 Å）．脆性岩石直到破裂其变形量仍不大，例如以 100 毫米长的济南辉长岩试件进行压缩试验，至破裂时压缩量仅为 0.1 毫米． 设泊松比 $\nu = 0.25$，则横向总变形量为 0.025 毫米=25 微米，如用千分表来测量，表针仅移动 2.5 格．但是如果用激光全息干涉术，则大约可产生 35 条干涉条纹，精度可提高一个数量级以上，这样就有可能不仅测量总的位移量，而且可以测量载荷增量下的位移或变形量．这对地学问题的研究，无疑是有重大意义的．

目前，在岩石力学研究中使用的光源均为连续激光光源，将它用于岩石试验中存在着一些技术问题．一方面在记录一个全息图时，一个必须满足的条件是，全息装置中的光学元件和被照物体，在全息干板曝光期间内，不允许有大于 1/8 波长的相对移动（对 H_e—N_e 约为 0.91 微米）．当用连续氦氖激光器制做全息图时，由于受其能量所限，曝光时间一般在几秒到几十分钟，因此在此期间内即便是被照物体与全息装置之间有 0.07910 微米/秒的相对运动速度就已不能得到全息图． 一般地说，这可以用将被测物与光路放在同一个质量极大的隔振台上来解决．但另一方面，岩石的强度较高，为了保证足够大的视场，岩石试件的尺寸又不能太小．因此，一般地说，用于岩石破裂实验的压机不可能放到光具台上． 此外，诸如岩石破裂扩展过程的研究，非谐振波动现象等，是不可能用连续激光器（如 H_e—N_e）制做全息图的．

为了克服这个困难，我们采用脉冲激光器做光源．其出光脉冲宽度为 20×10^{-9} 秒，在这样短的时间内就可使全息干板得到足够的曝光．在此情况下，可允许的相对运动速度为 4 米/秒．这样，甚至象岩石中的冲击波现象，也有可能进行研究．压机机械运动和地基振动的影响已被有效地克服．

利用脉冲全息干涉法，我们研究了房山大理岩岩石试件（89.94×45.12×15.00 毫米^3）在单

本文 1983 年11月28日收到．

* 北京市光电技术研究所．

轴压缩下，破坏过程中位移场的变化过程. 所用的仪器是北京光电技术研究所研制的 JQS-1 型双脉冲激光全息干涉仪，其照相光路见图1，可测量与岩石试件表面垂直的位移(离面位移)，在单轴压缩实验中，当压力为 P_i 时，进行第一次曝光；当压力增加 ΔP_i，变为 $P_i' = P_i + \Delta P_i$

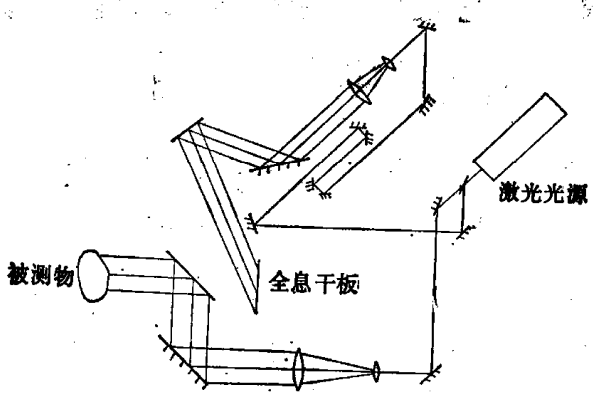


图 1　双脉冲激光干涉仪光路图

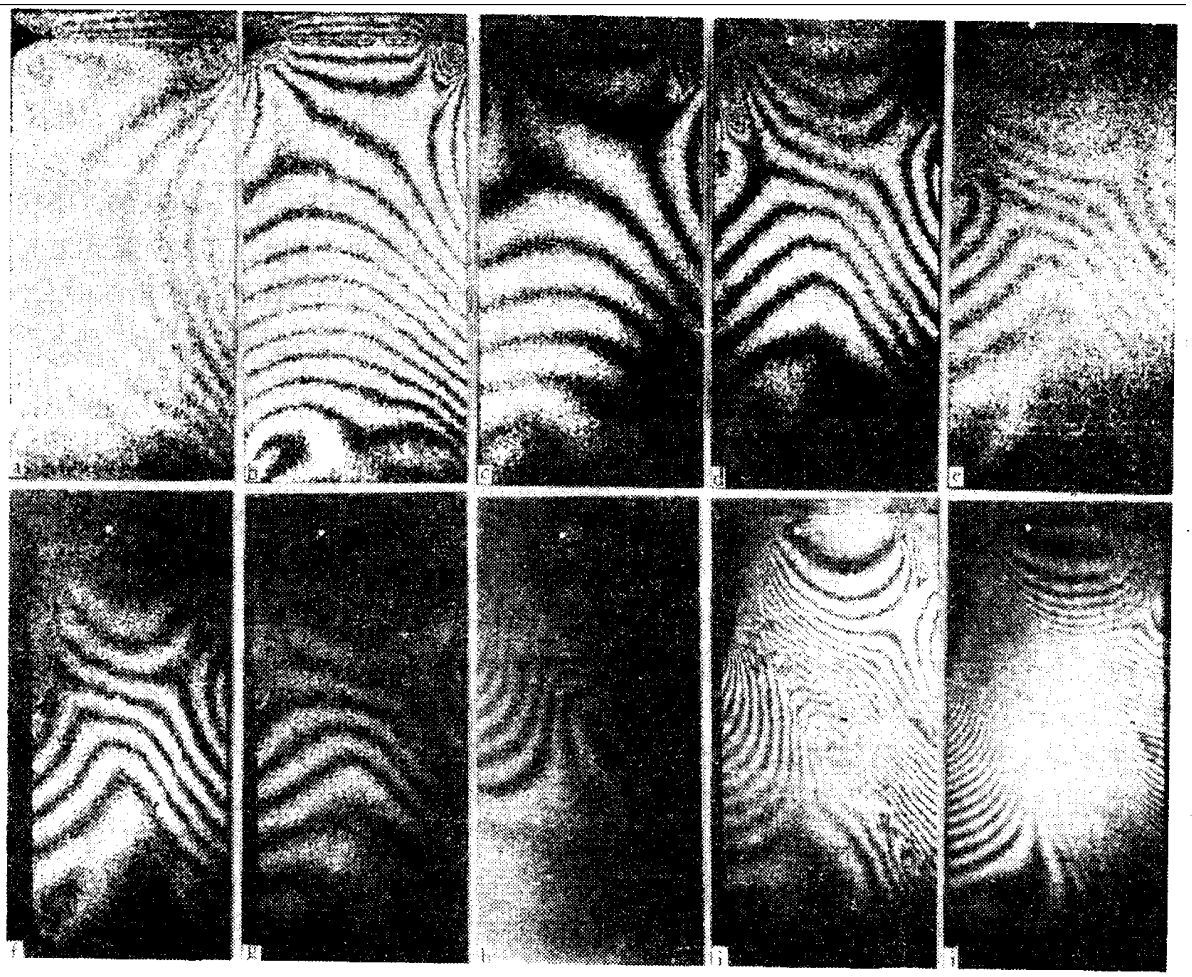


图 2　大理岩破裂过程中表面变形场的干涉条纹照片(单轴压缩)

单位：吨

(a) 3.00—5.00；(b) 6.00—8.00；(c) 9.00—10.00；(d) 12.00—12.25；(e) 12.25—12.50；(f) 12.50—12.75；(g) 12.75—13.00；(h) 13.00—13.10；(i) 13.10—13.20；(j) 13.20—13.30

时，再进行第二次曝光．用参考光束照明两次曝光的全息照片，可以得到反映这两个压力状态之间岩石位移场的干涉条纹图．岩石表面的离面位移 d 与干涉条纹级数的关系为：

$$d = \frac{n\lambda}{2} \quad \text{(对应于亮条纹)},$$

$$d = (2n + 1)\lambda/4 \quad \text{(对应于暗条纹)}.$$

图 2 是一组用以上方法得到的大理岩表面变形场的全息照片．图 2a—c 是岩石试件在应力为最大主应力的 70% 以下拍摄的．从条纹图上可看到，在不考虑上下的端部效应时，岩石试件的中间部分变形较均匀，离面位移随压力增加的变化也比较缓慢．在应力为最大主应力的 70%—95% 间拍摄的四张照片如图 2d—g 所示．此时岩石试件表面离面位移变化较快，条纹形成一 "X" 形区域．随着压力继续增加，当应力在最大主应力的 95% 以上时，图 2(h)～(j) 条纹逐渐在一个方向上密集，表面离面位移变化得很快，随着压力的增加，变形集中区逐渐变窄，最后宏观断裂在该处发生．

上述结果为岩石破裂前变形局部化模式提供了实验依据，表明激光全息干涉术对岩石力学研究具有很大潜力．

参　考　文　献

[1] Spetzler, H. et al., *Pure Appl. Geophys.*, **112** (1974),571—581.

[2] Soga, A. et al., *J. Geophys. Res.*, **83** (1978), 4451—4458.

[3] Sobolev G. A. et al., *J. Geophys. Res.*, **83** (1978), 1775—1784.