

应用实时全息术和散斑照相术 测量岩石的弹性参数

王云山 梁碧芳 刘业厚

(大庆石油学院)

提 要

本文介绍用激光实时全息术测量岩石的泊松比 μ , 用散斑照相放大术测量岩石的杨氏模量 E , 进而由弹性理论中的关系式 $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ 计算出岩石的切变模量 G 。由此可以获得所测岩石的弹性参数。

前 言

岩石弹性分析的目的在于研究岩石的变形特性、断裂特性以及与之伴生的变质、裂缝变态和井下压裂等事件的关系。它被广泛地用于指导地质勘探工程、石油钻井工程和石油开发工程。因此, 国内外^[1,2]对于岩石弹性的研究都极为重视。激光测试技术是一种较新的无损试验测试方法, 这种方法应用于测量岩石的弹性。将使岩石弹性的测量技术更趋于现代化。

根据现场提供的岩石试样, 采用激光实时全息术测量了岩石的泊松比 μ , 采用激光散斑照相放大术测量了岩石的杨氏模量 E , 并由弹性理论中的关系式 $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ 计算出岩石的切变模量 G , 由此获得了所测岩石的弹性参数。并把所得数据与电阻应变汽法做了比较, 两者符合得很好。为现场提供了有价值的岩石弹性的技术数据。

一、实验原理与技术

1. 用激光实时全息术测量岩石的泊松比 μ 笔者曾应用激光全息干涉计量方法测量岩石的泊松比^[3], 而用实时全息术测量岩石的泊松比与前者在方法上基本相同, 只是全息干板改放在实时干板架上。实验装置如图 1 所示。使试样的主平面在两个相等的反向力偶距 M 的作用下发生纯弯曲, 试样发生纯弯曲时, 其反翘曲面的双曲线型等高线的渐近线方程为

$$Z^2 - \mu Y^2 = 0 \quad (1)$$

式中 μ ——试样的泊松比; Z 、 Y ——主平面上某点坐标。应用实时全息术^[4]时, 把试样加载前的全息图就地显影、定影(或放回复位架复位), 然后加载, 边观察边调整实验装置, 使试样反翘曲面上能出现清晰的、对称性好的双曲型等高线, 再用照相机拍下, 并测量照

片上双曲线型等高线的渐近线的最小夹角 2β ，再由关系式

$$\mu = \operatorname{tg} \beta \tag{2}$$

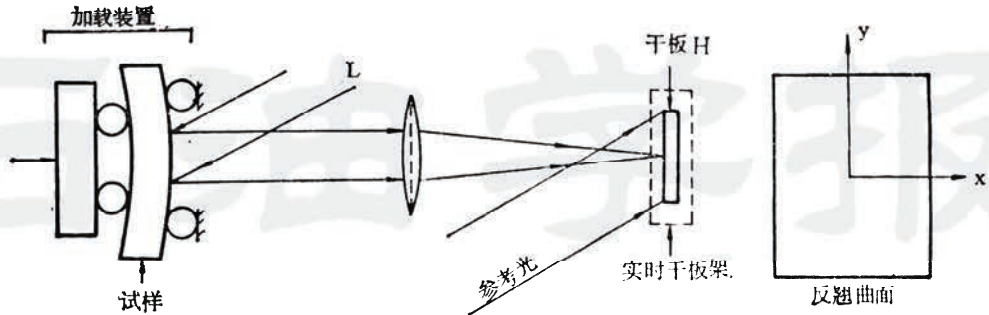


图 1 实时全息术测量装置示意图

求得所测试样的泊松比。

2. 用激光散斑照相放大术测量岩石的杨氏模量 E 由虎克定律知，当试样受单轴(如 X 轴)向应力 σ_x 作用时，就有应变 ϵ_x 发生。由弹性理论^[5]知，

$$E = \frac{\sigma_x}{\epsilon_x} \tag{3}$$

式中 E ——试样的杨氏模量。

实验装置如图 2 所示，成像透镜 L 使物表面放大 M 倍，则散斑平均大小为

$$\sigma = 1.22\lambda F(1+M) \tag{4}$$

式中 λ ——激光波长； F ——系统焦距 f 和孔径 D 的比值； M ——成像透镜的横向放大率。因为 σ 太大，提取位移信息有困难，所以取 $M=5$ ， $F=4.5$ 。

对双曝光散斑照相底片的分析是采用逐点分析法， X 方向的位移 d 为

$$d = \frac{\lambda L}{M\Delta} \tag{5}$$

式中 λ ——激光波长； L ——底片到屏幕的距离； M ——成像系统的横向放大率； Δ ——屏幕上所测得的杨氏条纹间距

根据 (5) 式由测量所得的 d ，及已知的 σ_x 值利用 (3) 式，即可获得试样的杨氏模量 E 的测量值。

3. 电阻应变片法 为了确认激光测试技术的精度和可靠性，在试样上同时粘贴电阻应变片，以获得同一试样在相同状态下的泊松比和杨氏模量，并与前者进行对比。

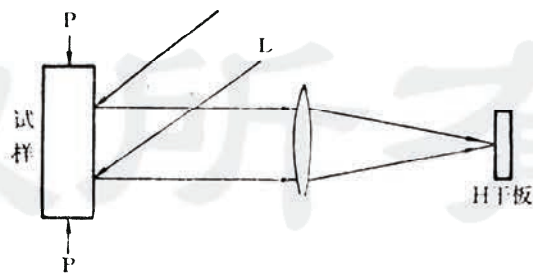


图 2 激光散斑照相放大术的实验装置示意图

二、实验结果及讨论

把现场提供的大庆油田不同井位、不同层位的岩石样品，分割成棱柱形条状试样。对每块试样分别取 6 张不同加载状态下的应变场的实时全息等高线图的照片，取 6 张同一试样不同加载状态下试样表面散斑照相放大术的双曝光记录底片。然后对每张照片和底片进行分析和测量，并利用 (2) 式和 (3) 式计算出所测试样该种应变时所对应的泊松比 μ 和杨氏模量 E ，所测的实验结果如下：

1. 用实时全息术测量岩石的泊松比，相比之下，消除了应用激光全息干涉计量方法测量岩石的泊松比中由于等高线的不对称性所造成的测量误差，因而前者较后者更精确，提高了测量精度。由于实时法就地显影，就地调整加载系统，就地拍摄试样表面上双曲线型的等高线照片，故比后者在操作步骤上显得集中而紧凑、省时、快速和准确等优点。实时法所获得的双曲线型等高线图的照片如图3所示。由实时法测得的不同试样的泊松比 μ 随加

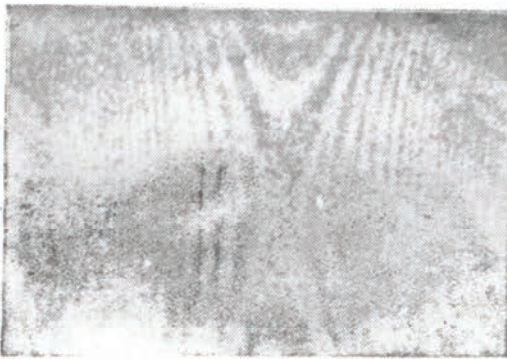


图 3 双曲线型等高线的照片

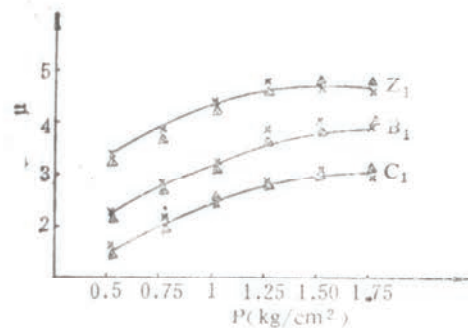


图 4 泊松比 μ 随加载量 P 变化的曲线

×—用实时全息术的测值；△—用电阻应变片监视的测值

载量 P 的改变情况如图 (4) 所示。试样不同则实验曲线不同，但是每个试样的泊松比 μ 随加载量 P 变化的规律基本一致，这反映了岩石弹性的一般规律。同时也可以看到与电阻应变片的测值相符合。

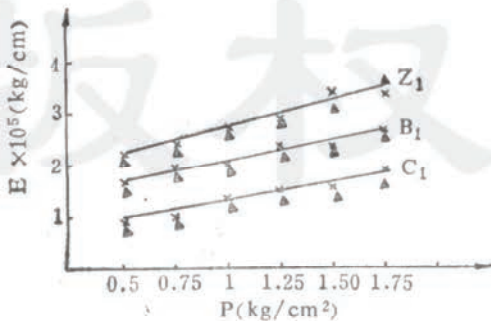


图 5 杨氏模量 E 随加载量 P 变化的曲线

×—用散斑法的测值；△—用电阻应变片监视的测值

2. 用激光散斑照相放大术测量岩石的杨氏模量 E ，由于使用照相放大术可以提高测量面内微小位移的测量精度，利用小孔使激光束直径约为 0.5mm 的细光束垂直照射两次曝光散斑照相记录的底片进行逐点分析，使屏幕上杨氏条纹间隔的测量精度提高，提高了杨氏模量的测量精度。用这种方法测量所得到的杨氏模量 E

的实验值随加载量 P 变化的关系如图 5 所示。三种试样对应三条曲线，而三条曲线基本上是直线，表明岩石弹性的一般规律。并可以看到与电阻应变片的测值相符合。

3. 弹性体试样的切变模量与该试样的杨氏模量、泊松比的关系^[5]为

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (6)$$

式中 G ——试样的切变模量； E ——试样的杨氏模量， μ ——试样的泊松比。

由上述方法测量所获得的岩石样品的杨氏模量 E 和相应的泊松比 μ ，代入 (6) 式可得对应的切变模量 G 。用这种方法所测得的几种岩石样品的杨氏模量、泊松比和切变模量列在表 1 中。而用电阻应变片监视所测得的对应状态下的岩石样品的杨氏模量、泊松比和切变模量列于表 2 中。

表 1 几种岩石弹性参数的平均测值表

试样序号	C ₁₋₀₁	C ₂₋₀₂	B ₁₋₀₁	B ₂₋₀₂	Z ₁₋₀₁	Z ₂₋₀₂
$\bar{E} (\times 10^5 \text{kg/cm}^2)$	1.596	2.538	2.314	3.790	2.857	3.560
$\bar{\mu}$	0.321	0.497	0.422	0.498	0.469	0.493
$\bar{G} (\times 10^5 \text{kg/cm}^2)$	0.604	0.848	0.814	1.265	0.972	1.192

表 2 几种岩石电阻应变片的平均测值表

试样序号	C ₁₋₀₁	C ₂₋₀₂	B ₁₋₀₁	B ₂₋₀₂	Z ₁₋₀₁	Z ₂₋₀₂
$\bar{E} (\times 10^5 \text{kg/cm}^2)$	1.587	2.504	2.310	3.781	2.845	3.558
$\bar{\mu}$	0.318	0.490	0.419	0.490	0.461	0.480
$\bar{G} (\times 10^5 \text{kg/cm}^2)$	0.602	0.840	0.814	1.268	0.973	1.202

结 束 语

用实时全息术测量岩石的泊松比，用激光散斑照相放大术测量岩石的杨氏模量，再由关系式 $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ 获得对应的切变模量，不仅能获得所测岩石的弹性情况，且具有设备简单、易作、测量精度高和非接触等优点。可以预言，设计适当的模拟井下环境并有透明窗口的加载装置，通过多种介质作散斑记录（见另文），可以测量井下环境下岩石的弹性参数。

（本文收到日期1988年3月21日）

参 考 文 献

- (1) A·尼可拉斯、J·P·泊利埃著, 林任勇、史兰斌译, 变质岩的晶质塑性和固态流变, 科学出版社, 1985
- (2) Herman H. Rieke等著, 徐大怀译, 泥质沉积物的压实, 地质出版社, 1984年5月
- (3) 王云山等, 应用激光全息干涉计量方法测量岩石的泊松比, 大庆石油学院学报, 1987, 4。
- (4) Robert J. Collier etc, *Optical Holography*, 1971, Academic Press New York and London.
- (5) S. P. Timoshenko J. N. Goodier, *Theory of Elasticity*, Third Edition, New York, McGraw-Hill, 1970

THE APPLICATION OF REAL-TIME HOLOGRAPHY
AND SPECKLE PHOTOGRAPHY TO DETERMINING
THE ROCK ELASTICITY PARAMETERS

Wang Yunshan Liang Bifang Liu Yehou

(*Daqing Petroleum Institute*)

Abstract

This paper introduces the application of laser real-time holography to measuring Poisson's ratio μ of rock and speckle photography amplification to measuring Young's modulus E . Through the relation $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ from the theory of elasticity the shear modulus G of rock can be calculated.

版权所有