

岩芯表面瑞利波速率的激光测试方法

王云山 王明吉 傅石友 杜文祥 刘业厚

(大庆石油学院物理教研室, 安达 151400)

提要 提出油田井下岩芯表面瑞利波的激光全息测试方法, 给出了测量结果并进行了分析和讨论。

关键词 岩芯, 激光全息, 瑞利波

油田井下岩芯表面瑞利波速率的实验测量, 是石油地质工作十分重要的问题^[1]。本文提出用激光实时全息术测量岩芯表面瑞利波速率和用脉冲激光全息术测量岩芯表面瑞利波速率的方法。

1 实验原理与技术

1.1 用激光实时全息术测量岩芯表面瑞利波速率

把不同井位的不同层次的岩芯切割成 $22 \times 25 \times 70 \text{ mm}^3$ 的方形棱柱状条形样品, 被测表面涂银粉以增加反射率, 用 100 kHz 横波声发射换能器与被测样品一端耦合, 样品的另一端紧固, 如图 1。让一束激光经半反半透镜 G 垂直照射至样品被测表面, 由样品表面散射的光再经 G 和成像透镜 L 在全息干板 H 上成像, 并与参考光叠加作第一次曝光, 原位显影、定影, 然后调整耦合声波频率和幅度, 并通过全息图观察, 当样品表面形成驻波时, 被测点位移 $m = 2A \times \cos(2\pi x/\lambda) \cos 2\pi \nu t$, 其中 λ 是声波波长, ν 是声波频率, $2A$ 是驻波最大位移。这时样品表面有干涉条纹, 用照像机拍下条纹照片(图 2) 进行测量。

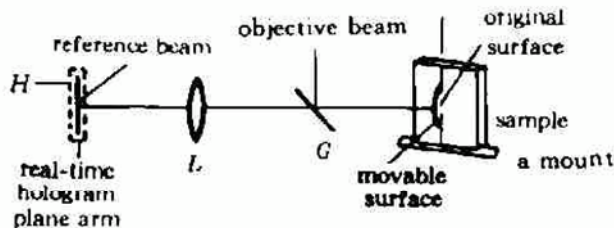


Fig. 1 Schematic diagram of the laser real-time holography experiment



Fig. 2 A photograph of the interference fringes

在线性记录情况下,通过窗口边观察边调整物光和参考光的比例,使用减光板和光程补偿板来实现这种调整,当样品表面上出现对比度好的干涉条纹时,可认为全息图的再现像的物光与样品上散射的光强相等。这样照片上光强的分布为^[2]

$$I = \int |s - s_0|^2 dt$$

式中 s_0 为物表面的静态光幅度, s 是物表面动态光幅度。两者关系为 $s = s_0 e^{i\phi}$, 此处随时间变化的位相是

$$\phi = (2\pi/\lambda)2m = (2\pi/\lambda)4A\cos[(2\pi/\lambda)x]\cos(2\pi\nu t)$$

这样

$$\begin{aligned} I &= I_0 \int [2 - (e^{-i\phi} + e^{i\phi})] dt = \frac{I_0}{2T} \int_0^T \{2 - \cos\{(2\pi/\lambda)4A\cos[(2\pi/\lambda)x]\cos(2\pi\nu t)\}\} dt \\ &= I_0 [1 - J_0\{(2\pi/\lambda)4A\cos[(2\pi/\lambda)x]\}] \end{aligned} \quad (1)$$

式中 λ 是所用激光波长, I_0 是曝光期间物体静止时的光强, 在 A 较小时 ($< 2 \mu\text{m}$), 在满足条件

$$x = (2k + 1) \frac{\lambda}{4} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

的地方, 照像底片上像的中央主瓣内出现暗条纹, 即 $I = 0$ 。图 3 是相对光强分布曲线。测得条纹间距 $\Delta\xi$, 就可以得到

$$\Delta/2 = f \frac{\lambda}{\Delta\xi}, \quad \Delta = \frac{2f\lambda}{\Delta\xi} \quad (3)$$

从而得到岩芯表面瑞利波速率 v_R 为

$$v_R = \Delta\nu \quad (4)$$

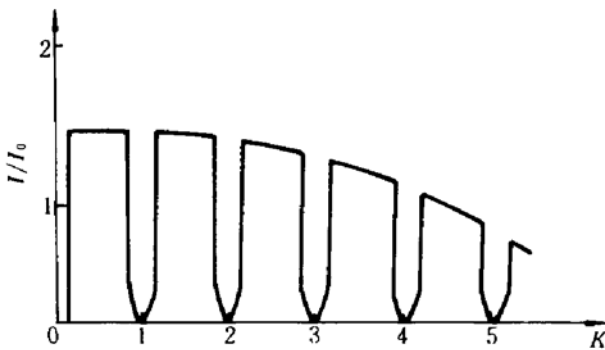


Fig. 3 The relative intensity distribution

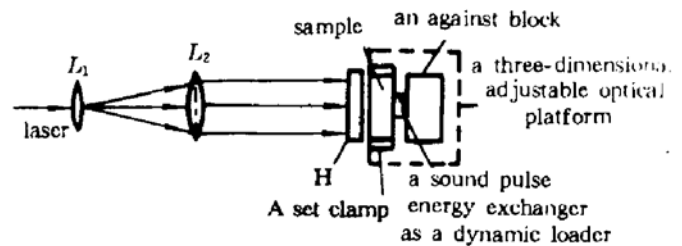


Fig. 4 Schematic diagram of the pulsed laser holography experiment

1.2 用脉冲激光全息术测量岩芯表面瑞利波的速率

岩芯样品同 1.1。样品夹在一固定夹具上, 被侧面涂银粉作为全息物光反射面, 背面中部用压电超声换能器对其进行动态加载, 实验装置如图 4 所示。当压电超声换能器在一脉冲电信号作用下, 给岩芯样品一动态脉冲时, 样品表面将有表面瑞利波加载处向外传播。在全息底片上拍下样品加载前后适当时间 T (约 $10 \mu\text{s}$) 的动态双曝光全息图, 将全息图再现, 同时测出表面波传播距离 L (即全息图再现干涉条纹的总宽度), 即可测得岩芯样品的表面瑞利波的速率

$$v_R = \frac{L}{2T} \quad (5)$$

岩芯样品的加载信号及其与激光脉冲间的时序由时序控制及岩芯动态加载电路完成, 如

图 5 所示。两者的时序关系如图 6 所示。

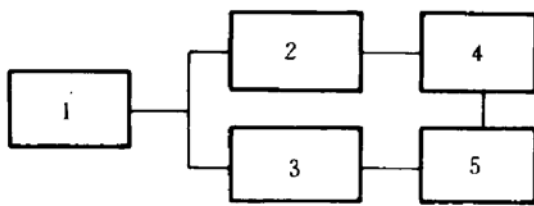


Fig. 5 The frame figure of time-order control and the core dynamic loading circuit

1: the ordering signal circuit of the internal time system; 2: the removing high voltage signal circuit of KD*P crystal; 3: the touch off signal circuit of a silicon controlled rectifier; 4: the interval measuring device between two pulses; 5: the loading circuit of the core sample

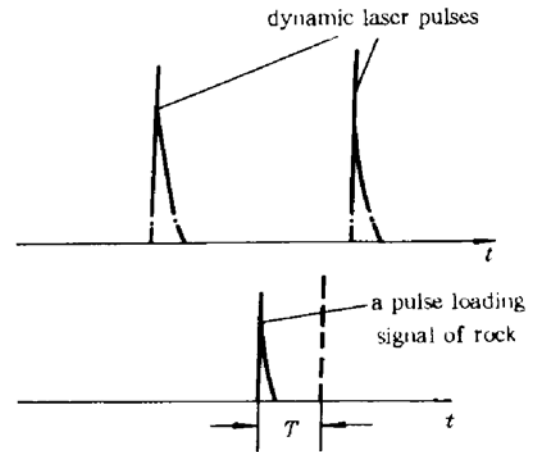


Fig. 6 The time-order figure

2 实验结果与讨论

2.1 用激光实时全息术测量岩芯表面瑞利波速率

2.1.1 用本方法对每块岩芯样品采用三个共振频率测量,取平均值 \bar{v}_R 作为真值,并计算出相对误差 $\Delta v_R / \bar{v}_R$ 。

2.1.2 同一样品用文献[3]的声波法测量横波速率 v_s 和纵波速率 v_p ,再用理论公式

$$v_p/v_s = [2(1 - \mu)/(1 - 2\mu)]^{1/2}$$

$$v_R/v_s = (0.87 + 1.12\mu)/(1 + \mu)$$

即

$$v_R = [(0.87 + 1.12\mu)/(1 + \mu)][(1 - 2\mu)/(2 - 2\mu)]^{1/2} v_p \quad (6)$$

式中 μ 是被测样品的泊松比,由(6)式可获得 v_R 值。将上述结果列表比较。表 1 是 8 种岩芯样品的数据表。

Table 1 The measured results of 8-kind cores

Order	Sample	μ	v_p (m/s)	v_p/v_R	\bar{v}_R (m/s)	v_p/\bar{v}_R	$\Delta v_R/\bar{v}_R$ (%)
1	Z ₁₋₁	0.27			1101		1
2	Z ₂₋₃	0.29	2083	1.97	1090	1.91	0.97
3	Z ₃₋₇	0.30	2117	2.01	1097	1.93	0.98
4	C ₁₋₂	0.31	2176	2.04	1127	1.93	0.98
5	C ₂₋₄	0.33	2316	2.12	1178	1.97	0.99
6	C ₃₋₅	0.35	2521	2.22	1240	2.03	0.98
7	D ₁₋₃	0.37	2710	2.34	1278	2.12	0.97
8	D ₄₋₁	0.41	3008	2.71	1296	2.32	0.99

由表 1 分析可知,本方法测量重复性好,基本与频率无关,即无频散现象。与声波测速法所得 v_p 值经(6)式算得 v_R 值比较,两者数据较接近,反映了 v_R 的规律性,说明本方法是适用的。

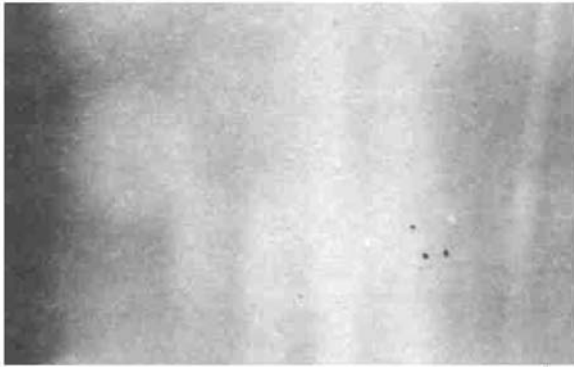


Fig. 7 The interference pattern of the reconstruction

2.2 用脉冲激光全息术测量岩芯表面瑞利波速率

用脉冲激光反射全息法,拍摄了大庆油田不同井位和不同层位的7块岩芯样品的动态双曝光全息图,其再现干涉条纹如图7所示。对每块样品做6张动态双曝光全息图,并对每张底片进行分析测量,最后得出每块样品的平均表面瑞利波速率如表2,综合测量误差小于4%。

用文献[3]的声波法测出该7块样品的纵波速率 v_p ,再粗略估计出横波速率 v_s ,结果见表2。可以看出, v_R 和 v_s 之间具有可比性。

Table 2 The measured results of the surface Rayleigh-wave rates of the cores

Core	1	2	3	4	5	6	7
v_R (m/s)	1131	1045	1051	1129	1198	1231	1243
v_p (m/s)	2176	2083	2117	2316	2521	2710	3008
v_s (m/s)	1256	1211	1230	1347	1459	1568	1749

参 考 文 献

- 1 Herman H. Rieke 等著,徐大怀译. 泥质沉积物的压实. 北京:地质出版社,1984. 1~50
- 2 厄尔夫 R. K. [美国]主编. 全息摄影无损检测. 北京:机械工业出版社,1982. 25~55
- 3 孙成栋. 岩石声学测试. 北京:地质出版社,1981. 10~27

Measurement of the Surface Rayleigh-Wave Rate of the Oil-drill-core by Laser

Wang Yunshan Wang Mingji Fu Shiyou Du Wenxiang Liu Yehou
(Daqing Institute of Petroleum, Anda 151400)

Abstract A laser holographic method of measuring the surface Rayleigh-wave rate of the core taken from the oil-drill of Daqing is given. The measured results were analyzed and discussed.

Key words core, laser holograph, Rayleigh-wave