

动态全息图快速引入背景条纹技术

任国权 叶志生 王明伟 王升平 高慧敏

(天津大学精密仪器工程学院, 天津 300072)

提要 音叉振动镜快速引入背景条纹的动态全息图两次曝光法,适用于一次泵浦的双脉冲全息干涉计量术。其背景条纹的密度和方向具有可调性和重复性。

关键词 音叉振动镜,背景条纹,双脉冲全息干涉计量术

1 引言

脉冲全息干涉计量术已广泛用于热物理动态参数测试中,其中大多数试验段是对光波透明的流场。因其对激光束的吸收作用甚微,而主要作用是改变透射光波的位相,故可称其为位相物体。设位相物体在第一次曝光时,物光波复振幅表达式为 $O_1(x, y) = A_0 e^{i\phi_0(x, y)}$;当第二次曝光时,因试验段位相物体发生变化,则该物光波可写为 $O_2(x, y) = A_0 \cdot e^{i(\phi_0(x, y) + \Delta\phi_0(x, y))}$ 。上述两次曝光全息图被参考光照明时,可得干涉图的光强分布为^[1]

$$I(x, y) = 2A_0^2 A_R^2 [1 + \cos \Delta\phi_0(x, y)]$$

当两次物光波位相差 $\Delta\phi_0(x, y) = 2m\pi$ 时, $I(x, y) = 4A_0^2 A_R^2$ 则为亮条纹;而 $\Delta\phi_0(x, y) = (2m + 1)\pi$ 时,因 $I(x, y) = 0$ 则为暗条纹。

但在引入背景条纹后,所得干涉图的光强分布为

$$I(x, y) = 2A_0^2 A_R^2 \{1 + \cos[\Delta\phi_0(x, y) + \Delta\psi(x, y)]\}$$

式中 $\Delta\phi_0(x, y)$ 是两次曝光期间目标区物光波位相差分布, $\Delta\psi(x, y)$ 则是此期间背景区物光波位相差分布。故 $\Delta\psi(x, y) = 0$ 时,该背景区将产生光强均匀分布的场,并可视为无限宽条纹场,通常把这种全息干涉图称为无限宽条纹干涉图。此时全息图相干条纹只能显示 $\Delta\phi_0(x, y)$ 的等值线,而无法确定干涉图从某一条纹到相邻条纹是增还是减。为消除物光波位相差变化的模糊性,必须借助于其它物理模型。为引入正负方向已知的背景条纹,人们曾研究过“手动旋转物光法”、“气楔法”和“液楔法”等实验技术。因上述方法均为两次曝光期间的手工操作,并需要一个消除扰动恢复平静的过渡时间,所以双脉冲全息术可在几百微秒内拍摄动态全息干涉图的许多优点将被丢失。为此,研究了适用于脉冲全息干涉计量术的音叉振镜全息曝光法。

2 音叉振镜引入背景条纹原理

音叉振镜快速引入背景条纹的脉冲全息光路,如图1所示。

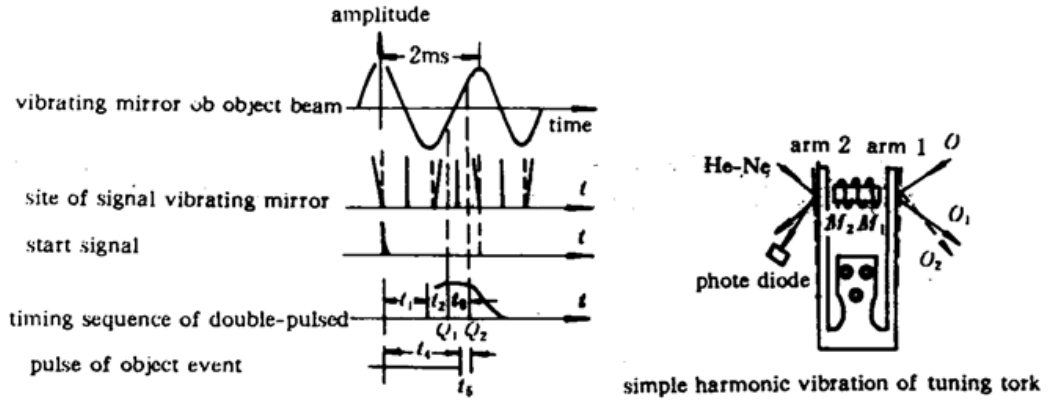


Fig. 1 Timing sequence for vibrating mirror and double exposure

在全息图双曝光期间，音叉振动镜将被调 Q 激光脉冲“冻结”在二个瞬态位置，并使物体照明光束自动偏转一定的微小角度，以便获得条纹密度及其走向均满足要求的背景条纹。令二次曝光时，调 Q 激光脉冲能量与激光脉冲宽度相等，则位相物体在全息干板上的光强分布^[2]

$$I(x, y) = I_1 + I_2 = (O_1 + R)(O_1 + R)^* + (O_2 + R)(O_2 + R)^*$$

设全息干板在线性条件下曝光，再现时用参考光照明，则再现波前中 +1 级衍射光波复振幅表达式

$$\psi(x, y) \propto [A_0 e^{i\Phi_{01}(x, y)} + A_0 e^{i\Phi_{02}(x, y)}]$$

式中 $\Phi_{01}(x, y)$ 和 $\Phi_{02}(x, y)$ 分别是二次曝光时物体照明光的位相，它受控于音叉振镜的瞬态位置。该衍射波的光强分布

$$I_{rec}(x, y) = |\psi(x, y)|^2 = 2A_0^2 \{1 + \cos[(2\pi/\lambda)(\Phi_{01} - \Phi_{02})]\}$$

显然再现像中光强分布将是光强为 $2A_0^2$ 的余弦因子调制函数，该余弦因子则是音叉振镜控制物体照明光快速产生位相差的函数。

由于射入音叉振镜的光束是平行的细光束，即来自全息型红宝石激光器的 TEM_{00} 模激光束。即使考虑红宝石激光器有较大的发散角，通常约为 $5 \sim 6$ mrad，也可充分满足楔形板产生定位干涉带的等厚条纹图所要求的入射光条件^[3]。因此，音叉振镜的两个瞬态位置可视为楔形板的臂尖模型。于是，经振镜反射后的物体照明光可视为来自空气臂尖模型的二个反射面，则双曝光全息干涉图再现时的背景条纹是等厚条纹图。其条纹间距 $e = \lambda M / 2n\theta$ ，式中 λ 为红宝石激光波长， n 为空气折射率， θ 为音叉振镜在二次曝光时的转角， M 为由透镜 $L_1 L_2$ 组成的光束准直系统的放大倍数。由等厚干涉原理可知，其条纹级数是随其光程差的增大而增多，故音叉臂自由端将指向背景条纹级数增多的方向。则当试验段引发事件后，若某点条纹的弯曲是指向背景条纹级数增多的方向时，则表明该点位相物体的折射率应取正变量，其相应的光程变量为 $\Delta L_s = (a/b)\lambda$ 。可见音叉振镜在快速自动引入一组平行的背景条纹时，既便于判断条纹变量的方向，又便于控制背景条纹的疏密。由于音叉振镜的自由振荡频率（即固有频率）取决于音叉振子的尺寸和材料特性，所以音叉振镜在一定电压下，其频率稳定度高达 $\pm 5 \times 10^{-4}$ 。该光学系统的稳定性和重复性均可满足双脉冲全息干涉计量术的要求。

3 实 验

实验系统如图 2 所示。因考虑红宝石激光器泵浦宽度通常为 1 ms 左右，所以选用固有频

率为 500 Hz 的电子机械式音叉作为驱动源。经脉冲激光散斑干涉计量术检测, 已确认该音叉双臂在电磁驱动下, 所做的简谐振动具有张合对称特性。为保证其固有频率的不变性, 在音叉双臂外侧对称处各贴一片镀膜盖波片, 其质量 ≤ 2 g, 面积为 5×5 mm²。令臂 1 振镜为物光 ($\lambda = 694$ nm) 反射镜, 臂 2 振镜为光电同步信号反射镜。先调节 He-Ne 光线对臂 2 振镜反射面的入射角, 再将光电器件置于反射光线的最大张角处, 使光电信号的周期等于音叉固有周期。从中选取任一单脉冲作为动态全息图曝光时序的启动信号, 并调好脉冲全息红宝石激光器的模式、能量和 Q 开关时间。在此条件下为了控制背景条纹密度, 可调节内延时器 t_1 , 使同样的 Q 开关时间间隔对应不同的音叉振幅, 即不同的振镜转角 θ 。

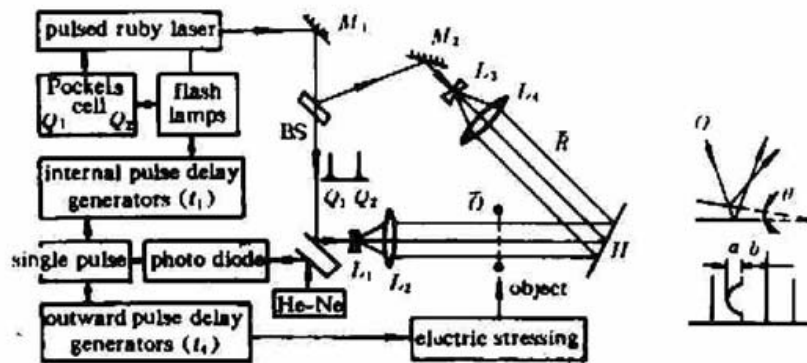


Fig. 2 An electro-optic configuration for making double-pulse holographic interferograms with a vibrating mirror

通过拍照试验段无动态事件时的双曝光全息干涉图, 先验证背景条纹密度及其走向是否符合要求。插入动态事件后, 调节外延时器 t_2 , 以改变引发事件到第二次曝光的时间间隔, 便获得代表各瞬间动态事件不同变量的相干条纹数。实验中需协调内外两个延时器的大小, 便可获得适于定量分析的有限宽条纹干涉图。

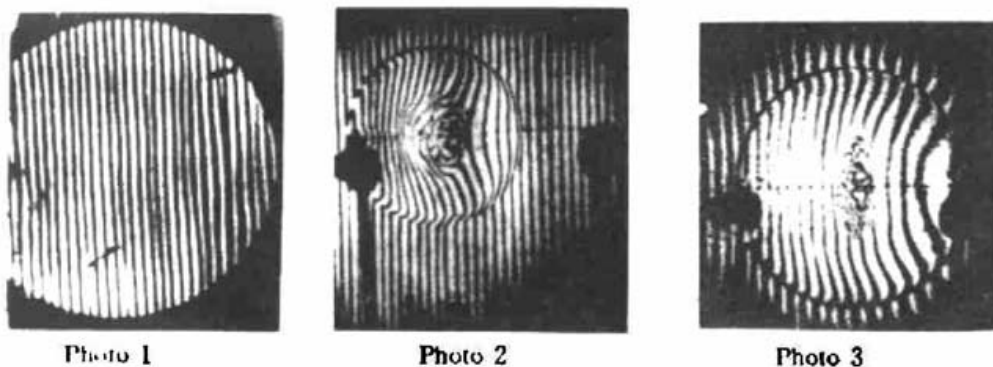


Fig. 3

本系统试验目标选用金属丝爆炸产生的等离子体和冲击波作为位相物体, 其全息干涉图的再现如图 3 照片所示。照片 1 为试验段无动态事件时的有限宽背景条纹图。分析条纹扭曲畸变的原因主要是镀膜盖波片太薄, 表明直接选用医用盖波片, 其质量虽小但表面光学参数不符合要求。照片 2、3 分别是金属丝引爆后 20 μ s 和 30 μ s 的双曝光全息干涉图。

参 考 文 献

- 1 朱德忠 主编. 热物理激光测试技术. 北京: 科学出版社, 1990. 122~130
- 2 R. J. Collier, C. B. Burckhardt, L. H. Lin. Optical Holography. U. K. Edition Published by Academic Press.

INC. (London) LTD. Berkeley Square House, London W1X 6BA. Printed in USA. 1971. 432~437

3 母国光, 战元龄 主编. 光学. 北京: 高等教育出版社, 1978. 229~232

A New Technique for Reference Fringes in Dynamic Holography

Ren Guoquan Ye Zhisheng Wang Mingwei Wang Shengping Gao Huimin

(*Institute of Precision Instrument Eng., Tianjin University, Tianjin 300072*)

Abstract We present a new technique for reference fringes in the double-pulsed holographic interferometry. The technique is based on a vibrating mirror which was driven by an electronic tuning fork. The spacing and orientation of the fringes are adjustable and duplicatable.

Key words vibrating mirror, reference fringes, double-pulsed holographic interferometry

第 13 届国际激光光谱会议将在杭州召开

经国际激光光谱执行委员会讨论决定,并经我国国家科委批准,1997年6月3日至7日在杭州召开第13届国际激光光谱会议。会议由中国科学院上海光机所、复旦大学、中国科学院物理所承办;北京大学、华东师范大学、山西大学、浙江大学、国家自然科学基金委员会协办。

主要内容有:1 相干光物理;2 激光光谱和光动力学;3 原子光学和激光冷却;4 量子光学;5 光学材料和装置;6 非线性光学现象;7 光与凝聚态物质的相互作用;8 超快现象。

来稿要求 35 字英文摘要,200~500 字英文提要。截稿日期:1997 年 3 月 2 日。

有意参加此次会议的请与陈秀娥联系。

地址:上海市 800-211 信箱(邮编 201800)。

电话:(021)59534890-426。

Fax:(021)59528812。