

利用多重全息实现实时-双曝光 (时间平均)的全息干涉术*

赵志敏 俞洪敏** 林有义

(南京航空航天大学应用光学研究室 ** 动力工程系 南京 210016)

提要 提出了利用多重全息成功地实现实时-双曝光(时间平均)的全息干涉术。同时观察双曝光(时间平均)记录的标准状态变化的干涉条纹图和实时法提供的“活的条纹”,就可对标准状态变化与不同时刻的状态变化进行比较。这种新的全息干涉术为精密实时检测提供了一种新方法。

关键词 多重全息, 实时, 双曝光, 时间平均

1 引 言

全息干涉计量是利用一标准波前与物体变形后产生的波前相比较而实现的。常用的和由其派生的方法^[1],都不能对物体的标准状态变化与另一物体在不同时刻的状态变化进行实时抽样记录和比较,也不能对不同物体在同振频(或振型)下的振型(或振频)作实时观察和比较其差异。要实时比较不同物体状态变化的差异,必须采用多通道技术。

多重全息能记录并再现许多波前,因而有可能在一张干版上实现双曝光或(和)时间平均与单次曝光全息干涉计量。同时观察双曝光记录的标准状态变化的干涉条纹图,和实时法提供的“活的条纹”,就可以对标准状态与不同时刻的状态变化进行抽样比较。同时观察时间平均法提供的干涉条纹图,和实时法获得的“活的条纹”,就可以同时观察到不同物体在同振频(或振型)下振型(或振频)的差异。

实现这一技术的关键,是再现时要能同时观察到实时、双曝光和(或)时间平均全息图,而且必须是无畸变、不重迭的,横向放大率也应相等。利用多平行参考光编码记录的旋转光楔多重全息术^[2-4]能满足这些要求。本文将根据这种多重全息术,提出实现实时-双曝光(时间平均)的全息干涉计量术的基本原理,并给出相应的实验结果。理论分析与实验结果是吻合的。

2 基本原理

利用图 1 所示的旋转光楔多重全息术,经旋转光楔调制的平面参考波可表示为

$$R_i = R_0 \exp[j\Phi_i(x, y)] = R_0 \exp[jk(x \cos\phi + y \sin\phi) \sin\theta_i] \quad (1)$$

物体上一点源 $O_i(x_i, y_i, z_i)$ 发出的物光波可以写成

* 航空科学基金资助项目。

$$O_i = O_0 \exp[j\Phi_i(x, y)] = O_0 \exp\left[\frac{jk}{2z_i}(x^2 + y^2 - 2x_i x - 2y_i y)\right] \quad (2)$$

经多次曝光记录($i = 1, 2, \dots, n$), 在线性记录条件下, 多重全息图的透射率为

$$\tau = \tau_0 - \beta \sum_{i=1}^n [|O_i|^2 + |R_i|^2 + O_i R_i^* + O_i^* R_i] t_i \quad (3)$$

式中 τ_0 和 β 是常数, t_i 是每次记录时的曝光时间。

用斜入射平面波再现, 则再现光波 C 可取与式(1) 相同的表达式, 即

$$C = C_0 \exp[j\Phi_c(x, y)] = C_0 \exp[jk(x \cos\phi_c + y \sin\phi_c) \sin\theta_c] \quad (4)$$

将(1)、(2)和(4)式代入(3)式, 简化后所有原始像项的位相组合是

$$\begin{aligned} \Phi_{oi} - \Phi_{ri} + \Phi_c &= K \left[\frac{1}{z_i}(x^2 + y^2) - 2 \left[\frac{x_i}{z_i} + \cos\phi_i \sin\theta_i - \cos\phi_c \sin\theta_c \right] x - \right. \\ &\quad \left. 2 \left[\frac{y_i}{z_i} + \sin\phi_i \sin\theta_i - \sin\phi_c \sin\theta_c \right] y \right] \\ &= \frac{k}{2} \cdot \frac{1}{z_{pi}} (x^2 + y^2 - 2xX_{pi} - 2yY_{pi}) \end{aligned} \quad (5)$$

式中

$$\begin{aligned} Z_{pi} &= Z_i \\ X_{pi} &= x_i + z_i \cos\phi_i \sin\theta_i - z_i \cos\phi_c \sin\theta_c \\ Y_{pi} &= y_i + z_i \sin\phi_i \sin\theta_i - z_i \sin\phi_c \sin\theta_c \end{aligned} \quad (6)$$

由上式可以看出, 再现原始像位于 $z = z_i$ 平面, 其横向放大率 $dX_{pi}/dx_i = dY_{pi}/dy_i = 1$ 。当 $\phi_c = \phi_i, \theta_c = \theta_i$ 时, 再现原始像为

$$Z_{pi} = z_i, \quad X_{pi} = x_i, \quad Y_{pi} = y_i$$

这时再现的原始像与物体所在位置 (x_i, y_i, z_i) 重合, 这就是说, 该通道可供作实时观察“活的条纹”, 而其余通道则可用于记录双曝光或(和)时间平均全息图。

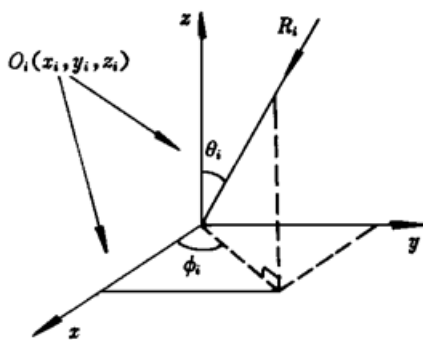


图 1 记录平面坐标系

Fig. 1 Coordinate system for recording

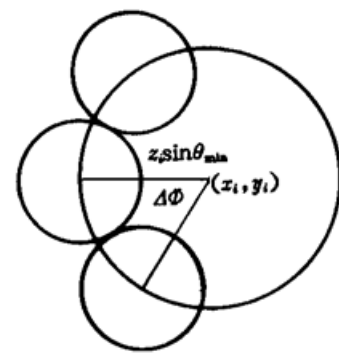


图 2 再现像的分离

Fig. 2 The separation of the reconstructed images

由于所有再现的多重像均位于 z_i 平面, 并分布在以 (x_i, y_i) 为中心的不同半径 $z_i \sin\theta_i$ 的圆周上, 其所能容纳的直径为 D 的圆形物体的再现像分离条件可用光楔旋转的角增量 $\Delta\Phi$ 表征, 如图 2 所示。

从图 2 可得出多重像分离的条件为

$$\Delta\Phi \geq \frac{D}{z_i \sin\theta_{\min}} \quad (7)$$

3 实 验

实验光路如图 3 所示。其中,光源采用的是 633 nm 波长的 He-Ne 激光器;试件采用的是矩形铝板。实验时先用式(7)估算光楔转动的角增量,并根据实测要求选取某几个通道拍摄标准试件的双曝光或时间平均全息图,再用一个通道拍摄被测试件的单次曝光全息图。记录冲洗完成后,精确复位或就地显定影,这时用原光路的参考光就可以观察到再现的无畸变原始像,如图 4。图 4 中右下角是被测试件的再现像,其余是再现的标准试件时间平均或双曝光全息图的干涉条纹图。若在原光路用参考光和物照明光同时照明,则被测试件的再现像与原物光相干提供了“活的条纹”,也可以用再现像与调制后的物光相干实现干涉条纹扰动(载波)法作实时观察,同时观察其余通道再现的干涉图,就可以对标准试件状态变化与被测试件的状态变化进行比较判别其差异。图 5 是应用实时-双曝光术,实时判别记录的标准试件(图的左方)与两被测试件(图的右方),在同一集中力载荷下变形差别。

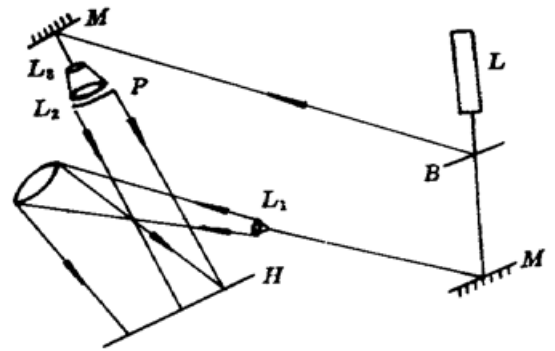


图 3 实验装置

L: 激光器; *B*: 分束镜; *L*₁ ~ *L*₃: 透镜;
P: 旋转光楔; *M*: 反射镜; *H*: 全息干板

Fig. 3 The experimental layout

L: laser; *B*: beam splitter; *L*₁, *L*₂, *L*₃: lenses;
P: rotating prism; *M*: mirror; *H*: holographic plate

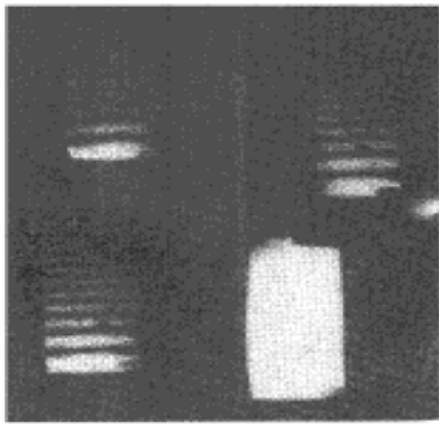


图 4 实验结果(实时-时间平均全息)

Fig. 4 Experimental results (the holographic real time-time average)

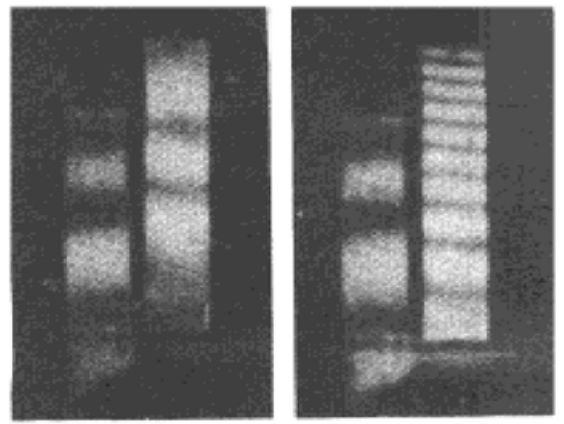


图 5 实验结果(实时-双曝光全息)

Fig. 5 Experimental results (the holographic real time-double exposure)

4 结 论

实验结果说明,利用多重全息术,完全可以实现实时-双曝光(时间平均)全息干涉术。利用这种全息术所得的实验结果,与一般双曝光、时间平均记录的结果相同,但它又具有在一张干版上可记录多幅双曝光、时间平均及实时全息图的特色。这为精密实时检测提供了新方法。

本文提出的这种全息术,可以推广应用到全息等高轮廓线上。用标准试件产生的等高线,与实时法产生的等高线相比较可检测被测试件与标准件的差别。

因此,这种全息术可以综合运用全息术的各种方法,有广泛的应用前景。

参 考 文 献

- 1 戴福隆, 方萃长, 刘先龙 等. 现代光测力学. 北京: 科学出版社, 1990, 116~ 185
- 2 林有义, 胡克莉, 吴健南. 旋转光楔多重全息术. 光学学报, 1992, **12**(5): 437~ 439
- 3 Y. Lin, K. Hu, J. Wu. Rotating prism multiplex holography and its application. *Opt. Engineering.*, 1994, **33**(1): 209~ 212
- 4 赵志敏, 林有义, 严朝军. 一种新的多通道全息干涉术. 南京航空航天大学学报, 1993, **25**(6): 748~ 752

The Use of Multiple Holographic Interferometry in Realizing the Holographic Real Time-double Exposure (Time Average) Interferometry

Zhao Zhimin Yu Hongmin Lin Youyi

(Applied Optics Research Section, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract This paper presents the successful use of multiple holographic interferometry in realizing the holographic real time-double exposure (time average) interferometry. Observing interference figures of the change of a standard state recorded by double-exposure (time average) and “the activity fringe” provided by a real-time method, we can compare the change of the standard state with that of states of different times. This holographic interferometry provides a new method for precise real-time measurement.

Key words multiple holographic interferometry, real time, double exposure, time average