

一种新的多通道散斑照相术及其应用

赵志敏 林有义

(南京航空航天大学应用光学研究室, 南京 210016)

俞洪敏

(南京航空航天大学动力工程系, 南京 210016)

摘 要 提出了一种新的多通道散斑照相术, 通过旋转光楔实现多通道散斑图记录。该方法不仅能在一张记录介质上记录物体动变形一些状态的多通道散斑图, 且用全场滤波分析时, 能方便地同时给出所有通道的物变形信息, 得到清晰的, 高衬比的干涉条纹图。文中还给出了物体动变形及板弯曲等实测结果及分析。结果表明, 理论分析与实验结果相一致。

关键词 散斑法, 多通道散斑照相术, 旋转光楔。

1 引 言

用于解决动态问题的散斑照相方法常见的有: 高速摄影法^[1]、多脉冲白光散斑照相法^[2]及多重错位散斑干涉法^[3]等。现有的方法用来解决非稳变化过程都有诸多不足之处。为解决和完善非稳过程的测试方法, 国外一直在研究新的多通道技术, 利用多通道技术就能记录非稳态场的变化情况。本文提出的多通道散斑照相术——旋转光楔散斑照相术, 是在一般散斑照相光路中置入一旋转光楔, 即可实现多通道散斑照相, 并具有通道数可任意选择等优点。

2 实验装置与原理

2.1 实验装置

旋转光楔散斑照相实验装置与普通散斑照相的不同之处是在光路中采用了旋转光楔散斑照相机。它是在一般散斑照相机中加一玻璃光楔, 当光楔转到一定位置后, 在像平面用记录介质 H 对物体变形前后作双曝光散斑记录, 就记录了一个通道、带有物体变形信息的散斑图, 依次旋转光楔到不同位置, 对物体变形前后作双曝光散斑记录, 就在同一张记录介质上记录了数个通道带有不同变形信息的双曝光散斑图。

2.2 旋转光楔散斑照相成像规律

如图 1(a) 所示, 用 $U_L(x, y)$, $U_L'(x, y)$ 及 $U_L''(x, y)$ 表示照射到透镜上、通过透镜及通过光楔后的光振动复振幅分布。对薄透镜, 且不考虑光楔、透镜对光能的吸收, 略去无关的位相因子则有

$$U'_L(x, y) = \exp[-j \frac{k}{2f}(x^2 + y^2)] U_L(x, y) \tag{1}$$

$$U''_L(x, y) = \exp[-jk(n-1)ar] U'_L(x, y) \tag{2}$$

式中 n 为光楔折射率; a 为光楔顶角; 又如图 1(b) 所示, $r = x \cos \varphi + y \sin \varphi$, φ 为光楔转角。

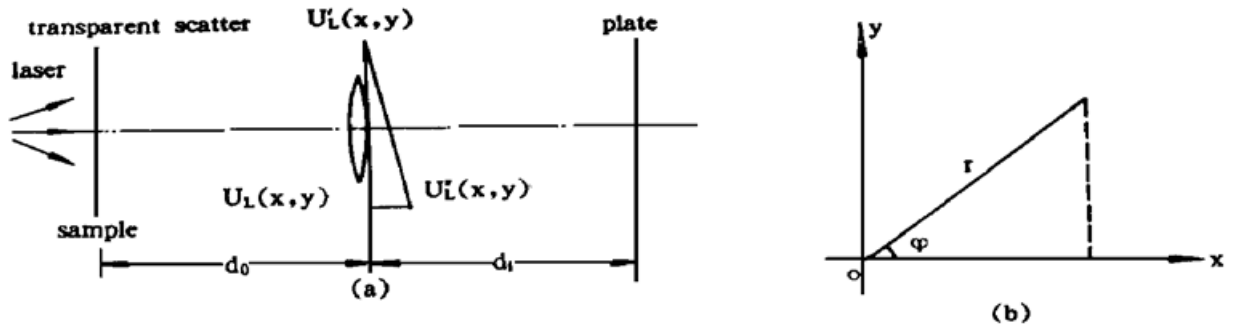


Fig. 1 Coordinate of optical system

按照菲涅尔衍射公式, 在透镜前表面的光场复振幅分布为^[4]

$$U_L(x, y) = \frac{\exp(jkd_0)}{j\lambda d_0} \iint U(x_0, y_0) \exp\{ \frac{jk}{2d_0} [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2] \} dx_0 dy_0 \tag{3}$$

像方场分布为

$$U(x_i, y_i) = \frac{1}{M} U[-\frac{x_i}{M} - (n-1)ad_0 \cos \varphi, -\frac{y_i}{M} - (n-1)ad_0 \sin \varphi] \tag{4}$$

相应的像光强分布为

$$I(x_i, y_i) = \frac{1}{M^2} \left| U[-\frac{x_i}{M} - (n-1)ad_0 \cos \varphi, -\frac{y_i}{M} - (n-1)ad_0 \sin \varphi] \right|^2 \tag{5}$$

d_0 为物距, d_i 为像距; $M = d_i/d_0$, 为成像放大倍数。

由(5)式可看出, 像方 $U(x_i, y_i)$ 与物方 $U(x_0, y_0)$ 分布形式一样, 只是在 x_i, y_i 方向成比例放大 M 倍, 而像中心轨迹为圆形, 当 $M = 1$ 时, 其半径为 $(n-1)ad_i$ 。摄得的多通道散斑图与寻常的散斑照相相同, 可用逐点或全场分析法提取信息。

2.3 通道数计算

如图 2 所示, 当光楔置于图 2 示位置时, 物点 A 经透镜、光楔成像于 A' 处。则

$$\overline{OA'} = d_i \delta$$

设通道数为 N , 在以 $\overline{OA'}$ 为半径的圆周上, 能容纳直径为 D_0 的圆形被测试件(取放大倍数 $M = 1$) 个数就称通道数。则

$$N \approx \frac{2\pi d_i \delta}{D_0} \tag{6}$$

若用光楔旋转的角增量 $\Delta\varphi$ 表征像分离(即像不重合)条件, 则

$$\Delta\varphi \geq \frac{2\pi}{N} = \frac{D_0}{d_i \delta} \tag{7}$$

式中 δ 为光楔偏向角, $\delta = (n-1)\alpha$; α 为光楔顶角。

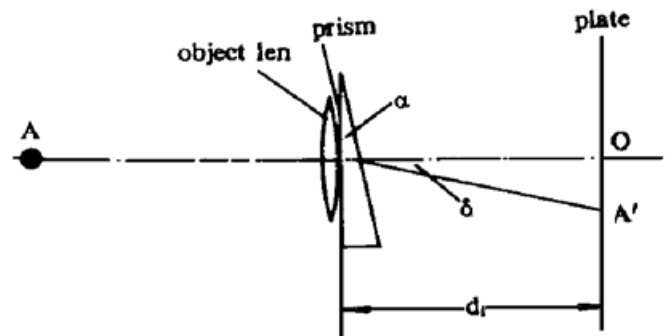


Fig. 2 Estimation of number of channels

3 实 验

3.1 物体面内动变形测量

实验光路如图 1 所示。实验用圆形透明散射体作为试件。氦氛激光经扩束照到试件，试件在电机控制下作慢匀速直线运动，用步进电机控制光楔旋转实现通道数的转换，拍摄试件在运动过程中前后不同时间间隔的双曝光散斑图。根据式(6)计算，共拍摄 8 个通道的双曝光散斑图。两次曝光的时间间隔 Nt_1 依次递增(t_1 是 $N = 1$ 通道两次曝光的时间间隔)，并用千分表测量两次曝光之间试件移动的间距 d ， d' 为实测结果。实验结果见表 1。

Table 1. Result of point by point method^[5]

N	1	2	3	4	5	6	7	8
Δ (mm)	10.50	7.88	6.00	5.00	4.51	3.72	3.40	2.98
d (μm)	31.2	41.6	52.0	62.4	72.8	83.2	93.6	104.0
d' (μm)	30.1	40.2	52.7	63.3	70.2	85.1	93.1	106.2
error (%)	4	3	1	1	4	2	1	2

用全场滤波系统^[6]观察，可同时观察到 8 个通道的干涉条纹图，如图 3(a) 所示。

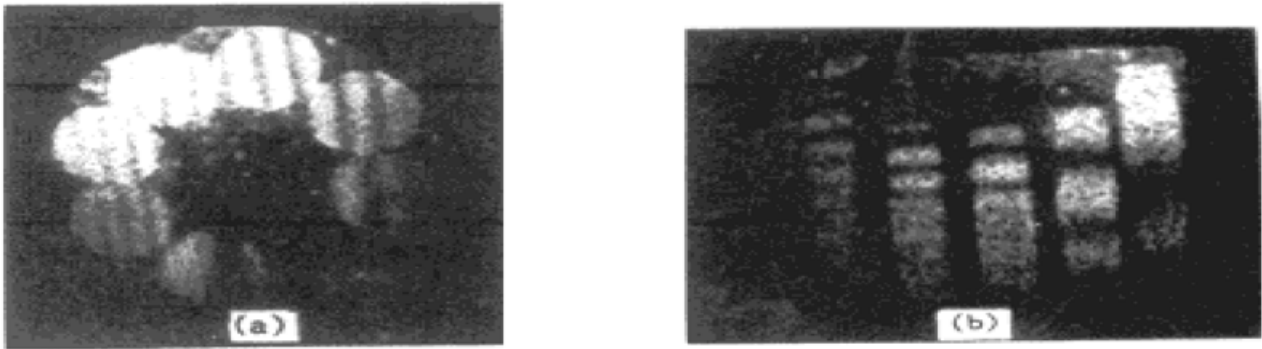


Fig. 3 Experimental results

3.2 板弯曲离面变形测量

试件选用底边固定，顶端加载的矩形铝板。实验光路如图 4 所示。选离焦量 $\rho_{po} = 28.0$ mm。通道转换仍用步进电机控制光楔转换来实现。在连续加载的情况下，用 5 个通道记录板加载前后双曝光散斑图。所受的集中载荷是顺时针依次递增的。全场滤波观察结果如图 3(b) 所示。从图可看出，5 个通道散斑图干涉条纹分布与所施加的载荷是基本吻合的。

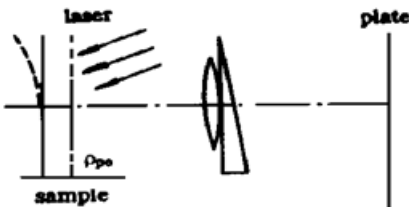


Fig. 4 The experimental layout

4 讨 论

实验结果表明，旋转光楔散斑照相术不仅可用于多通道散斑照相，也可用于多通道离焦散斑照相。这种技术还可用于散斑照相放大技术。若在透镜之前加一错位镜就可用于多通道错位散斑照相。

根据(6)式，这种相机所能记录的通道数取决于光楔顶角、被测物体的大小和成像透镜

焦距。光楔顶角很小,以增大光楔顶角增加通道数是很有限制的。对同一被测物只能选用长焦距成像透镜来增加通道数。

由于转动机构的偏差,这种技术不可能使原始状态精确复位,因而只能用于时间序列的动态过程中的状态变化作直接检测,而动态状态变化与初始状态比较检测是可以间接测得的。

参 考 文 献

- [1] Erf R. K. (编),余正官(译), 散斑计量学. 北京:中国计量出版社,1990:302~304
- [2] Kaufman G H, Double-pulsed white-light speckle photograph. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(2):194~196
- [3] Joenathan C, Mohanty R K, Sirohi R S, Multiplexing in speckle shear interferometry. *Optica Acta*, 1984, **31**(6):681~692
- [4] 赵志敏, 旋转光楔散斑照相术研究.[硕士学位论文],南京:南京航空航天大学,1992
- [5] 王之江,陈杏蒲,陆汉民等, 光学技术手册. 北京:机械工业出版社,1994:339~340
- [6] 戴福隆,方萃长,刘先龙等, 现代光测力学. 北京:科学出版社,1990:264

A New Multiplex Speckle Photography and Its Application

Zhao Zhimin Lin Youyi

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

Yu Hongmin

(Departement of Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016)

(Received 29 December 1995; revised 21 May 1996)

Abstract A new mutiplex speckle photography is given which uses a rotating prism to record multiple specklegram. The advantage of this method is that the multiple specklegram of some dynamic process of an object can be recorded on a single holofilm. In the whole field filtration, the information of deformation in all channels can be easily obtained and the images obained are quite clear. Test results and analysis of the recorded dynamic deformation of a moving object and plate bended deformation are presented. It is shown that the theoretical analysis agree with results from test.

Key words speckle method, multiple speckle photography, rotating prism.