

# 用于多参数同时测量的散斑干涉仪

严 跃

(淮阴师范专科学校物理系)

## 提 要

本文描述了一种新的散斑干涉仪,它可以同时对表面应变物体的面内位移、离面位移、位移梯度和莫尔曲率进行测量;由于利用了取向滤波方法,在滤波系统输出平面同时得到了与这些参数对应的散斑条纹。还利用散斑空间运动规律较好地解释了散斑干涉与散斑剪切干涉之间的关系。

关键词:散斑干涉术,散斑剪切干涉面内位移,离面位移。

## 一、引 言

Duffy<sup>[1]</sup>和 Hung<sup>[2]</sup>曾分别利用散斑干涉方法和散斑剪切干涉方法对物体表面应变参数的测量进行了研究,得到了令人满意的结果。Sharmaty等<sup>[3]</sup>利用孔径设计将两个剪切干涉散斑图重叠而得到物体表面应变的莫尔曲率。Mohanty等<sup>[4]</sup>利用另一种双孔散斑干涉仪得到了物体离面应变位移量的等值线条纹。Mohanty等<sup>[5]</sup>利用四孔径方法将位移梯度莫尔曲率离面位移这三个参数的测量综合到一个装置中,使得这三个参数能在一次测量中得到。本文在上述研究的基础上提出一种新的五孔散斑干涉仪,它与文献[5]中的方法相比能够在有面内应变的情况下,不仅测出离面位移,位移梯度和莫尔曲率,还能从这些应变中直接分离出面内位移量,并改进了滤波系统,设计了取向滤波孔,使它能够在输出平面上一次得到与上面这些参数对应的四个散斑条纹图。

## 二、实验装置和实验结果

图1(a)为干涉仪的孔径分布;图1(b)为光路系统;图1(c)为散斑图的频谱分布,图1(d)为取向滤波孔的结构。图1(a)中孔 $A_1$ 、 $A_3$ 上装有两个小楔形棱镜; $A_2$ 、 $A_5$ 是两个裸露的孔, $A_4$ 上装有一片毛玻璃。图1(b)中准直激光束由分束器 $BS$ 反射到散射物体上,并有部分光经过 $M$ 的反射直接照射到装有毛玻璃的小孔 $A_0$ 上。物体应变前后两次曝光将散斑场记录在系统像平面的全息干板上,所得散斑干涉图在滤波系统频谱面上的衍射晕分布如图1(c)所示,其中 $A_{13}$ 是由图1(a)中 $A_1$ 、 $A_3$ 两孔调制的散斑剪切图的空间频谱; $(A_{21}, A_{23})$ 是 $A_2$ 、 $A_1$ 和 $A_2$ 、 $A_3$ 调制的散斑剪切图的空间频谱; $A_{25}$ 是由 $A_2$ 、 $A_5$ 两孔调制的散斑干涉图的空间频谱; $(A_{24}, A_{45})$ 则是由 $A_2$ 、 $A_4$ 和 $A_4$ 、 $A_5$ 调制的散斑干涉图的空间频谱。图1(d)为取向滤波孔结构,其中 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 四个孔上装有四个底边向着四个不同方向的楔形棱镜,这四个孔正好让四个衍射晕 $A_{13}$ 、 $(A_{21}, A_{23})$ 、 $(A_{24}, A_{45})$ 和 $A_{25}$ 透过,图2是滤

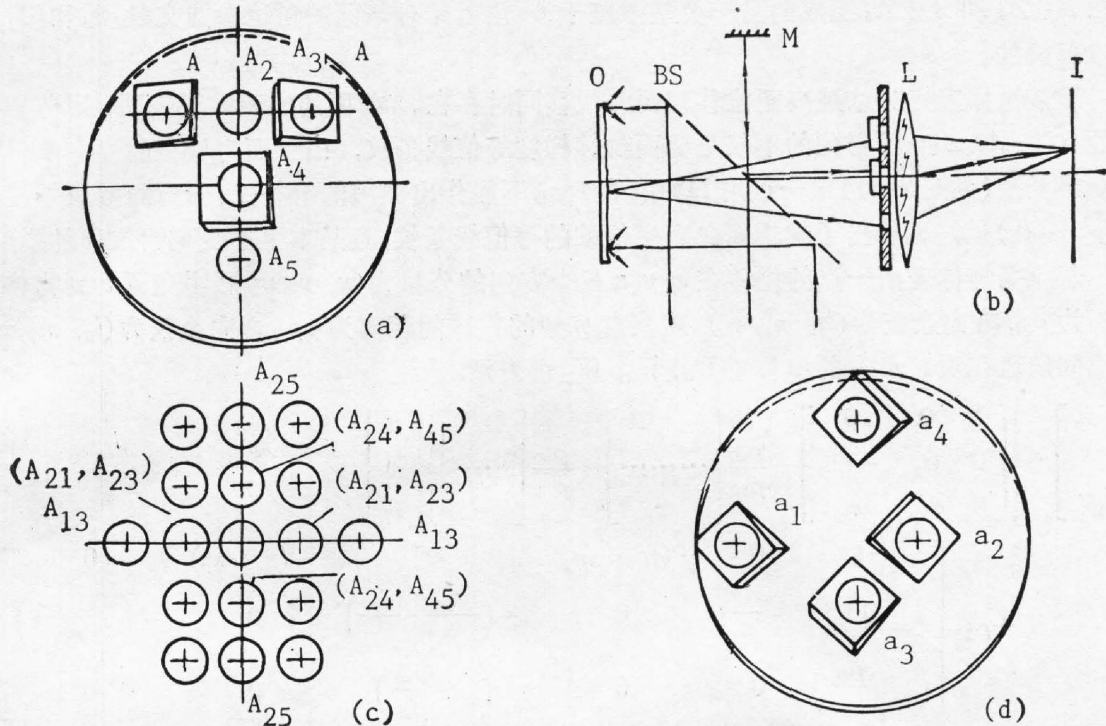


Fig. 1

(a) Schematic of the aperture arrangement; (b) Schematic of the experiment setup; (c) Schematic of the diffraction halos at the FT plane; (d) Schematic of the aperture of the directional filter

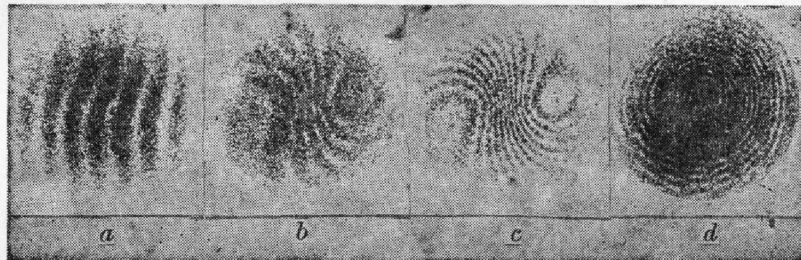


Fig. 2 Output fringe patterns

波后同时在滤波系统输出平面上四个不同位置得到散斑条纹图。物体是一四周紧固的圆形铝板,两次曝光之间物体绕圆心法线作一小角度转动,并在中心法向加载产生离面位移。图 2(b) 仅是面内位移等值线,图 2(d) 是面内位移和离面位移梯度合成的等值线,图 2(a) 是图 2(d) 的莫尔曲率条纹,图 2(c) 则是离面位移等值线条纹。

### 三、理论解释

图 1 中  $A_2$ 、 $A_5$  两孔形成的散斑干涉与文献所采用的方法相同,它能得到物体面内应变位移量  $u$ 、 $v$  的等值线条纹; $A_1$ 、 $A_3$  两孔组成的散斑剪切干涉类似于 Hung<sup>[20]</sup> 所采用的装置,它转在物体无面内应变位移时得到离面位移梯度条纹。这里主要讨论这两种干涉,最终对这两种干涉给出统一的理论解释。其它两种由  $A_1$ 、 $A_2$  和  $A_3$ 、 $A_2$  组成的莫尔剪切干涉以

及由  $A_2, A_4$  和  $A_5, A_4$  组成的另一类型散斑干涉, 读者结合下面的讨论参阅文献[3]和[4]是不难理解的。

通常物体应变时总是离面位移和面内位移同时存在。前面的实验结果表明, 用剪切干涉的方法( $A_1, A_3$  孔)得到的不仅是离面位移梯度等值线条纹, 由于面内位移的存在使得条纹变得复杂(见图 2(d))这一点用 Hung 的理论不能作出圆满的解答, 另一方面散斑干涉法( $A_2, A_5$  孔)极好地得出了物体面内应变位移的等值线条纹, 且基本上不受离面位移的影响。

若应变物体表面一点的位移在  $x, y, z$  三个方向的分量为  $(u, v, w)$  照明光源  $s$  到物体的距离为  $\rho_{s0}$ , 方向余弦为  $(l_s, m_s, n_s)$ ; 观察点  $p$  到的物体的距离为  $\rho_{p0}$ , 方向余弦为  $(l_p, m_p, n_p)$  则空间散斑在观察点  $p$  的位移量  $U_x, V_y, W_z$  可表示为<sup>[6]</sup>

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} U_x \\ V_y \\ W_z \end{bmatrix} &= \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & n_p & -m_p \\ 0 & m_p & n_p \end{bmatrix} + \frac{\rho_{p0}}{\rho_{s0}} \left[ \dots \dots \dots \right] + \frac{\rho_{p0}^2}{\rho_{s0}^2} \left[ \dots \dots \dots \right] \right\} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \\ &+ \rho_{p0} \begin{bmatrix} -l_s & 0 & -(m_s + m_p) & 0 & -(n_s + n_p) & 0 \\ 0 & -\frac{l_s}{n_p} & 0 & -\left(\frac{m_s + m_p}{n_p}\right) & 0 & -\left(\frac{n_s + n_p}{n_p}\right) \\ \left(1 + \frac{\rho_{p0}}{\rho_{s0}}\right) & 0 & 0 & \left(1 + \frac{\rho_{p0}}{\rho_{s0}}\right) & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &\times \begin{bmatrix} (\partial u / \partial x) \\ (\partial u / \partial y) \\ (\partial v / \partial x) \\ (\partial v / \partial y) \\ (\partial w / \partial x) \\ (\partial w / \partial y) \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (1)$$

对于准直正入射照明以及垂直观察

$$\rho_{s0} \rightarrow \infty, l_s = m_s = 0, n_s = 1,$$

$$l_p = 0, m_p = 0, n_p = 1,$$

并考虑成像系统放大倍数, 成像系统像平面上的散斑位移为

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} + M \rho_{p0} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\partial u / \partial x) \\ (\partial u / \partial y) \\ (\partial v / \partial x) \\ (\partial v / \partial y) \\ (\partial w / \partial x) \\ (\partial w / \partial y) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

再仔细分析散斑干涉和散斑剪切干涉, 见图 3, 实线为散斑干涉的光路, 虚线为剪切干涉的光路。散斑剪切干涉与散斑干涉相比除了多了剪切元件外其它结构完全相同。散斑干涉像平面的共轭面是物平面, 而剪切干涉由于剪切元件的存在使得像平面的共轭面不再是物平面而是距物平面一段距离的空间平面  $P'$ ,  $P'$  平面到物体间的距离即可近似为  $\rho_{p0}$ ,  $\rho_{p0}$  的大小由下式决定

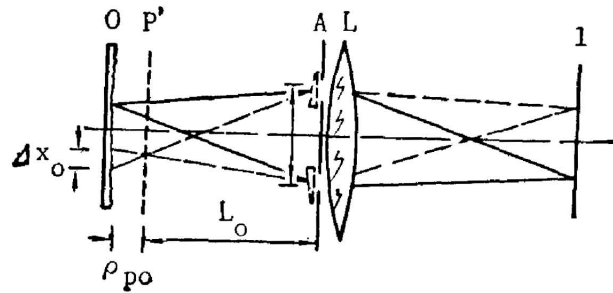


Fig. 3 Schematic of the speckle interferometry and speckle-shearing interferometry

$$\rho_{p0} = \frac{L_0}{l} \Delta x_0, \quad (3)$$

式中  $\Delta x_0$  是物平面的剪切量,  $l$  是剪切孔间距,  $L_0$  可看作物距。(2) 式即为散斑干涉和散斑剪切干涉在上述条件下的一般公式。对于散斑干涉, 因为  $\rho_{p0} = 0$ , (2) 式变为

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}, \quad (4)$$

与位移梯度无关; 对于剪切干涉在无面内位移时 ( $u = v = 0$ ) (2) 式变为

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} -2\rho_{p0}(\partial w/\partial x) \\ -2\rho_{p0}(\partial w/\partial y) \\ w \end{bmatrix}, \quad (5)$$

另一方面, 由于散斑空间形态为纵向线度比径向线度大得多, 使得上述两种干涉法对位移反应较差<sup>[7]</sup>, 粗略的认为  $W = 0$ 。在考虑这个因素以后, (4) 式与 Duffy 的结果相同, (5) 式与 Hung 的结果相同。

根据上面的讨论, 我们可以说双孔散斑干涉是散斑剪切干涉在剪切量等于零 ( $\Delta x_0 = 0$ ) 时的特例。这样, 将这两种方法综合到一起就显得很自然了。

#### 四、结 束 语

物体应变时面内位移和离面位移往往是同时存在的, 在这种情况下参数的分解显得至关重要, 本文提出的方法为解决这个问题提供了一条捷径。当然采用其它的孔径设计有可能得到更多的应变参数。文中只讨论了五个孔的四种组合产生的干涉情况, 也就是仅讨论了对四个衍射晕滤波产生的散斑条纹; 显然, 对另一些衍射晕进行滤波, 还能得到许多有用的信息, 这里不作更多的讨论。

## 参 考 文 献

- [1] E. D. Duffy; *Exper. Mech.*, 1974, **14**, No. 9 (Dem), 378~384.
- [2] Y. Y. Hung; *Exper. Mech.*, 1974, **14**, No. 7 (Jul), 281~285.
- [3] D. K. Sharma, *et al.*; *Appl. Opt.*, 1984, **23**, No. 10 (May), 1542~1545.
- [4] R. K. Mohanty, *et al.*; *Opt. Lett.*, 1984, **9**, No. 11 (Nov), 475~477.
- [5] R. K. Mohanty, *et. al.*; *Appl. Opt.*, 1985, **24**, No. 18 (Dem), 3106~3108.
- [6] 伍小平等;《物理学报》, 1983, **32**, No. 8 (Aug), 979~981。
- [7] 于美文等;《光学全息及信息处理》, (国防工业出版社, 北京, 1984年6月), 207.

## Multiple-quantity simultaneously-determining speckle interferometer

YAN YUE

(*Huaiying Teacher's College*)

(Received 16 March 1988)

### Abstract

This paper reports a new speckle interferometer. It can simultaneously determine the in-plane displacement, out-of-plane displacement, slope and moire curvature of the surface strain of object; the fringe patterns are got at the output plane of the filtering system simultaneously by use of the directional filter, the patterns corresponding to these quantity. It has been explained that the relation between the speckle interferometry and the speckle shearing interferometry by using the theory of the movement of space speckle.

**Key words:** Speckle interferometry; speckle shearing interferometry; in-plane displacement; out-of-plane displacement.