

两次散斑干涉法

赵 晔 英

(上海市激光技术研究所)

梅 家 福

(上海船舶研究所)

提要: 文章分析了散斑干涉法中法向位移对面内位移的干扰, 提出了新的实验方法——两次散斑干涉法, 分离面内位移和法向位移。

Double speckle interferometry

Zhao Yeying

(Shanghai Institute of Laser Technology)

Mei Jiafu

(Shanghai Institute of Ship Research)

Abstract: In the paper, we analyze the disturbance of out-of-plane displacement on in-plane displacement and suggest a new experimental method——“double speckle interferometry”, to separate the displacement mentioned above.

$$\frac{\Delta h}{Mh} = \frac{\Delta S}{S} \quad (1)$$

一、引 言

通常情况下, 激光散斑干涉法仅是研究物体面内位移的大小和方向, 对于物体所存在的法向位移常被忽略^[1~3]。为了使散斑干涉法能精确地获得物体三维位移量, 有必要讨论法向位移分量的检测。

图 1 所示, 当物体作均匀微小的法向位移 ΔS 时, 记录平面上所反映的变化量为 Δh (我们称它为法向位移干扰量), 即在 P_1 和 P_2 之间存在一个简单的放大效应, 它的表达式为:

式中 M 为象放大系数; h 为物体的几何尺寸; S 为透镜的物距。

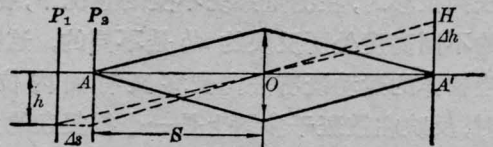
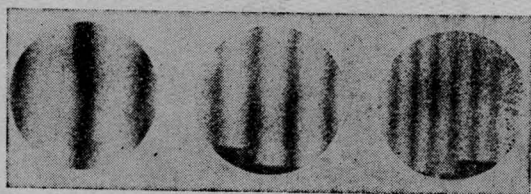


图 1

我们对一个 $\phi 74$ 毫米的毛玻璃圆盘用 He-Ne 激光照明, 当物体分别作 100 微米,

收稿日期: 1980 年 10 月 21 日。

150 微米, 300 微米的法向位移时, 在象平面上记录的散斑干涉图经傅里叶全场分析, 滤波孔位置选择在 x 方向距原点 18 毫米处进行观察, 所得到的干涉条纹图如图 2 所示。



(a) (b) (c)

图 2

(a) $\Delta S=100$ 微米; (b) $\Delta S=150$ 微米;
(c) $\Delta S=300$ 微米

图中所示, 在相同的 ΔS 法向位移情况下, 毛玻璃圆盘的不同部位其法向位移干扰量有不同的数值。其实验值与公式 (1) 的计算值可以进行比较, 结果如图 3 所示。

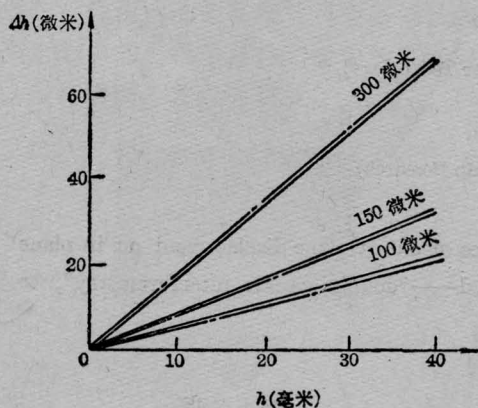


图 3

— 计算值; - - 实验值

从以上结果可以看出, 当物体作均匀的法向位移时, 在测量系统不变的情况下, 物体的不同高度处所反映的 Δh 是不同的, 这样, 当物体的运动既有法向位移又有面内位移时, 反映在散斑干涉图上是一个很复杂的量, 所以有必要在测量时, 将法向位移干扰量进行检出。

二、两次散斑干涉法原理

从公式 (1) 可知, 物体作均匀法向位移

时, 由于测量系统不同 (即改变 S), 物体上同一点反映在象平面上的 Δh 法向位移干扰量也不同。而当物体既存在法向位移, 又存在面内位移时, 象平面上的信息量将是两者的迭加。设物体某点所作的面内位移为 x_0 , 如图 4 所示, 当有法向位移 ΔS 后, 象面在两次曝光后, 面内位移信息量分别为 x 和 x' 。又

$$x = \frac{x_0}{S} S'; \quad x' = \frac{x_0}{S + \Delta S} S',$$

通常 $\Delta S \ll S$, 则 $x \approx x'$, 亦既可以认为象面上面内位移的信息量不受 ΔS 和 S 的影响。

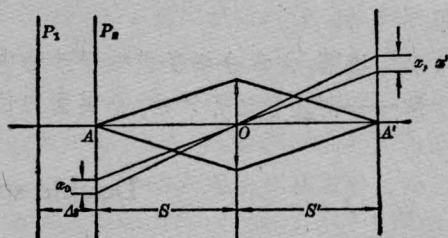


图 4

在象面上, 物体所作的面内位移量为 x ; 法向位移干扰量为 Δh , 由第一测量系统得到的散斑干涉图的综合形变量为:

$$d_1 = x + \Delta h_1 \quad (2)$$

同理, 由第二测量系统得到的综合形变量为:

$$d_2 = x + \Delta h_2 \quad (3)$$

$$\text{又} \quad \Delta h_1 = \frac{\Delta S h M_1}{S_1}; \quad \Delta h_2 = \frac{\Delta S h M_2}{S_2}$$

则

$$\frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = \frac{S_2 M_1}{S_1 M_2} \quad (4)$$

这样由式 (2)、(3)、(4) 联立成一方程组:

$$\begin{cases} d_1 = x + \Delta h_1 \\ d_2 = x + \Delta h_2 \\ \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = \frac{S_2 M_1}{S_1 M_2} \end{cases} \quad (5)$$

由方程组 (5) 不难解出 x 和 Δh_1 、 Δh_2 值, 再利用公式 (1) 换算成法向位移 ΔS 。由此可见, 两次散斑干涉法能对三维形变的物体定量地测出其面内位移和法向位移。

三、实验验证

采用准直的He-Ne激光束照明一个 $\phi 74$ 毫米的毛玻璃圆盘,当圆盘作平面转动 1.75 毫弧度和均匀法向位移 500 微米的组合运动时,分别用两个测量系统进行散斑干涉图的记录。为了便于观察使两个系统的象放大系数都为 1 ,所以采用第一测量系统的透镜为相对孔径 $1:4.5$,焦距为 240 毫米;第二测量系统的透镜为相对孔径 $1:10$,焦距为 450 毫米。然后将所摄得的两张散斑干涉图分别进行傅里叶全场分析(一般情况下,用同一透镜,而仅仅改变物距就可以作两次散斑干涉测量)。对于圆盘周边上A点的测量结果如表1。

将综合形变测量值代入方程组(5),求出法向位移干扰量和面内位移,由表2列出实

表 1

	u_x (毫米)	n	θ°	综合形变	
				x (微米)	y (微米)
第一测量系统	34	8.35	29°	65.24	36.16
第二测量系统	19	4.24	15.5°	65.32	18.11

(u_x 为变换平面上滤波孔的位置)

表 2

		Δh_1	Δh_2	法向位移	面内位移
实验结果	x	38.680	20.550	—	-2.520
	y	-1.056	-0.083	—	65.400
	z	—	—	501.800	—
实际量	x	—	—	—	—
	y	—	—	—	65.120
	z	—	—	500.000	—

单位为微米。

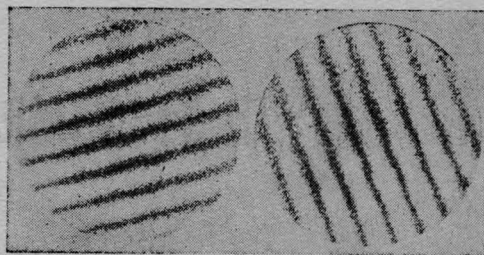


图 5

$u_x=19$ 毫米; $u_y=18$ 毫米

验结果与实际量的比较。

实验还可用 y 方向滤波孔的数据进行校验,其测量结果相同。从表2所列出的数据表明,实验结果与实际量符合程度很好。其测量精度决定于读数的精确性,所以良好的读数方法将能提供真实的实验数据。图5所示为第二测量系统分别在 x 、 y 方向滤波孔获得的综合干涉条纹图。

四、讨 论

对于法向位移干扰量的灵敏度问题,从公式(1)可以看出,它与光学系统的焦距有关,焦距越短,则灵敏度越高,并且与被测点和光学系统光轴的距离有关,离光轴越远,则灵敏度越高,反之亦然。所以当被测物体较大时,若采用“两次散斑干涉法”,可以实现正确的定量分析。

参 考 文 献

- [1] J. M. Burch, J. Tokaski; *Opt. Acta*, 1968, **15**, 101~111.
- [2] E. Archbold *et al.*; *Opt. Acta*, 1970, **17**, No. 12, 883~898.
- [3] Chiang F. P.; *Solid Mechanics Archives*, 1978, **3**, No. 1, 1.