

# 用一张散斑图测量三维位移的方法

赵德信 宋伟

(燕山大学, 秦皇岛 066004)

**提要** 本文用一张散斑图测量了物体的两面交线上的位移。

**关键词** 激光散斑照相, 散斑图, 三维位移

## Method of measuring three dimensional displacement by a speckle picture

ZHAO Dexin, SONG Wei

(Yanshan University, Qinghuangdao 066004)

**Abstract** The displacement of joint line on both sides of an objects is measured by a speckle picture.

**Key words** laser speckle photography, speckle picture, three dimensional displacement

## 1 引言

近十年来,国内外科技工作者对物体三维位移的测量做了大量的工作。从各类方法的代表文章<sup>[1~5]</sup>看出,每种方法都有一定的特点,但光路都比较复杂,且对现场要求较高。本文从实用角度出发,提出一个简单的方法,只需进行一次散斑照相就能在一张散斑图上获得物体的两面交线上各点的三维位移。特别适用于对空间桁架(或刚架)的棱线上和节点的三维位移的测量。

## 2 原理

图1是测量实验布置图。一束 He-Ne 激光经分束镜分为二束,每束光各经二次反射和一次扩束后(图中未画出这部分光路),从二个方向照射在被测物体的 A, B 两个面的交线  $\overline{ab}$  上。按图1光路进行两次曝光,在同一像面(全息干版)上产生4个散斑图。用随机函数  $\phi_A(\mathbf{r}_A)$  表示经第一次曝光后,在像面上由  $\overline{ab}$  线上在 A 面一侧的散射光形成的散斑强度分布;  $\phi'_A(\mathbf{r}_A - M_A \mathbf{r}_{AP})$  表示位移后经第二次曝光,在同一像面上由  $\overline{ab}$  线上在 A 面一侧的散射光形成的散斑强度分布;类似地,  $\phi_B(\mathbf{r}_B)$  和  $\phi'_B(\mathbf{r}_B - M_B \mathbf{r}_{BP})$  分别表示位移前后,在同一像面上由  $\overline{ab}$  线在 B 面一侧的散射光形成的散斑强度分布。 $\mathbf{r}_{AP}$ ,  $\mathbf{r}_{BP}$  和  $M_A$ ,  $M_B$  分别是棱线  $\overline{ab}$  上某点 P 在 A, B 两面上的微小位移和

两条光路的放大倍数

由于散射面上起伏的随机性,不同散射面产生的散斑图中强度分布是不同的。所以在上述四个随机函数中,只有  $\phi_A(r_A)$  和  $\phi'_A(r_A - M_A r_{AP})$  及  $\phi_B(r_B)$  和  $\phi'_B(r_B - M_B r_{BP})$  是分别相关的,所以,若两次曝光时间( $t$ )相同,则在一张全息干版上,  $\phi_A(r_A)$  和  $\phi'_A(r_A - M_A r_{AP})$  迭加后的曝光量分布规律,用二维卷积形式可分别写成

$$H_A = t\{\phi_A(r_A) * * [\delta(r_A) + \delta(r_A - M_A r_{AP})]\} \tag{1}$$

$$H_B = t\{\phi_B(r_B) * * [\delta(r_B) + \delta(r_B - M_B r_{BP})]\} \tag{2}$$

(1) 和 (2) 式分别含有位移  $r_{AP}$  和  $r_{BP}$  的信息,用逐点分析公式

$$r_{AP} = \frac{L\lambda}{M_A d_A} \tag{3}$$

$$r_{BP} = \frac{L\lambda}{M_B d_B} \tag{4}$$

在一张散斑图上可分别求出其大小、方向与条纹垂直度。

图 2 是逐点分析光路图,  $L$  是散斑图和条纹图的间距,  $\lambda$  是 He-Ne 激光波长,  $d_A, d_B$  是与位移  $r_{AP}, r_{BP}$  对应的干涉条纹间距。

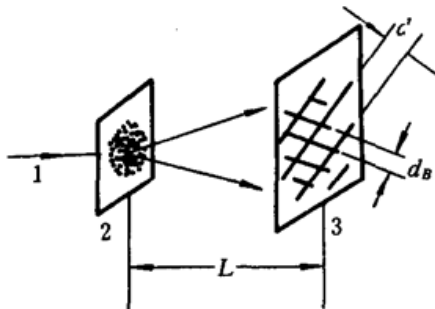


Fig. 2 Analysing the light path point by point  
1 - Narrow and thin laser beam; 2 - Speckle picture; 3 - Interference fringes

因为  $\overline{ab}$  线上的  $P$  点是  $A, B$  两面公有的,按图 1 光路,在位移前后进行两次曝光散斑照相,同时得到了  $P$  点在  $A$  面和  $B$  面上的面内位移  $r_{AP}$  和  $r_{BP}$ ,显然这两个位移在  $z$  方向的分量是共同的,因此,由图 3 所示的几何关系按矢量合成方法,可由公式

$$r_P = \sqrt{(r_{AP} \cos \alpha)^2 + r_{BP}^2} \tag{5}$$

直接求出  $P$  点的三维位移的大小。 $\alpha$  为  $r_{AP}$  和  $x$  轴的夹角(见图 3)。

3 测量与分析

我们用二台不同型号的读数显微镜的微动装置,改装成一台可进行三维微动的机构。实验时,用它使被测件  $\overline{ab}$  棱线产生三维位移:  $\Delta x = \Delta z = 10 \mu\text{m}$ ,  $\Delta y = 40 \mu\text{m}$ 。  $\Delta x$  相当于(5)式

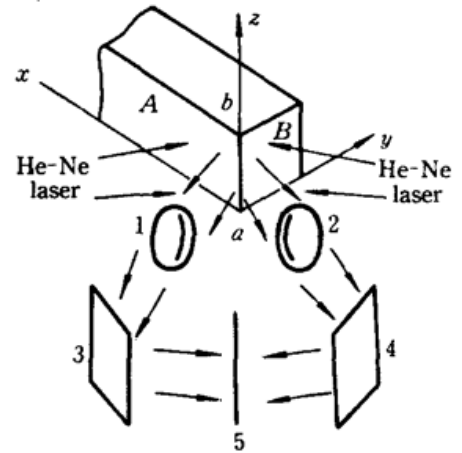


Fig. 1 Experimental arrangement for measuring three dimensional displacement by a speckle picture  
1, 2 - Imaging lens; 3, 4 - Totally reflecting mirror; 5 - Holographic plate

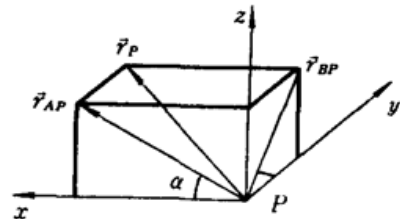


Fig. 3 sketch of displacement composition

中  $r_{AP}$  在  $x$  轴上的分量,  $\Delta y$  相当于  $r_{BP}$  在  $y$  轴上的分量,  $\Delta z$  相当于  $r_{AP}$  (或  $r_{BP}$ ) 在  $z$  轴上的分量。由上述数据得出  $\overline{ab}$  线上  $P$  点的位移  $r_{P'} = 42 \mu\text{m}$ 。

按图 1 光路, 经两次曝光散斑照相, 在一张散斑图上, 用逐点分析法同时得到了二组干涉条纹(图 4), 其宽度分别为:  $d_A = 6.5 \text{ mm}$ ,  $d_B = 2.4 \text{ mm}$ ,  $\alpha = 14^\circ$ 。再由公式(3), (4)和(5)求出  $P$  点位移为  $r_P = 45 \mu\text{m}$ 。(  $L = 160 \text{ mm}$ ,  $M_A = M_B = 1$ )。比较  $r_{P'}$  与  $r_P$  值看出, 用一张散斑图测量并计算得到的位移与千分尺(三维微动机构每个方向都是一个千分尺)测量值为同一数量级。

如果位移的大致方向无法判断, 可在靠近被测点两边互相垂直方向各放置一个千分表, 使千分表的测杆有一定的预压力, 以保证在二个方向位移都有指示。这样, 根据二个表指针变化可判断出位移的大致方向。

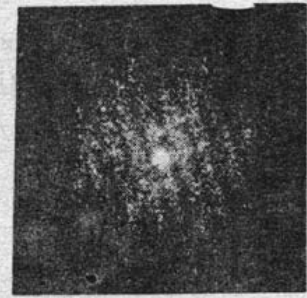


Fig. 4 Interference fringes

### 参 考 文 献

- 1 刘宝琛 *et al.*, 清华大学学报, 21(1), 21(1981)
- 2 Z. Fuzessy, N. Abramson, *Appl. Opt.*, 21(2), 260(1982)
- 3 D. Paoletti *et al.*, *Opt. Commun.*, 47(6), 375(1983)
- 4 吴克成, 薛旭明, 固体力学学报, 2, 247(1985)
- 5 曹鸿生, 孙列成, 实验力学, 4(3), 266(1989)