

# 用全息错位干涉计量术 判别物体变形方向

邢英杰\* 王文超 范书中  
(北京工业大学)

## 提 要

本文给出了一种在双曝光全息干涉计量术中判别变形方向的方法。该方法需在双曝光期间移动全息干板,因而可将其视为一种位错全息干涉术。文中还给出了实验验证。

## 一、引 言

用全息干涉计量术可以方便地获知物体的微小位移或变形<sup>[1]</sup>。在应用中,通常人们仅关心位移或变形的大小,而对其方向忽略不计。事实上,在工程研究中,位移或变形方向往往是一个重要的参数,在某些情况下,知道位移或变形的方向较之了解它们的大小还重要。

我们知道,用目前广泛应用的单全息图或多全息图法<sup>[2~4]</sup>,可以定量地知道物体在 $\pi/2$ 范围内变形的方向角度。但是,对于 $2\pi$ 范围的变形,甚至定性地判断方向也是极为困难的。虽然有若干判断位移或运动方向的方法<sup>[5~9]</sup>,但是都各有不足之处。例如 F. Gori 等人<sup>[5]</sup>用不同斜度的光束照明的全息双曝光法,光路布置复杂,使用不便。又如 P. C. Gupta 等人<sup>[6]</sup>改变参物光束相位的全息三次曝光法固然简单,但其位移或运动方向的确定,主要是依据再现像干涉条纹的亮暗来分析,因此往往不能得到理想的判据。当然, D. C. Holloway 等人<sup>[7]</sup>的多频全息干涉法较为便利,但由于需用多频脉冲激光器,从而限制了它的应用。此外,夹层全息术也可以进行物体前后变形方向的判别<sup>[8]</sup>,但是需要用精密的复位装置,给使用带来不便。

本文提出了一种利用双曝光全息错位记录判断物体位移或变形方向的方法。

## 二、原理与方法

记录光路如图 1 所示,为分析方便起见,我们仅分析被测物体上一点  $P$  的情形。

设参考光波复振幅  $R = B \exp i\phi_R$ , 原始物光波复振幅  $O_0 = A \exp i\phi_0$ , 变形后的物光波复振幅为  $O_1 = C \exp i\phi_1$ , 一般仅关心全息图再现虚像的贡献,若全息图满足线性记录条件,双曝光全息图再现虚像的辐照度为:

$$I = A(1 + \cos \Delta\phi), \quad (1)$$

收稿日期: 1983年9月20日; 收到修改稿日期: 1985年10月3日

\* 现在在美国学习研究。

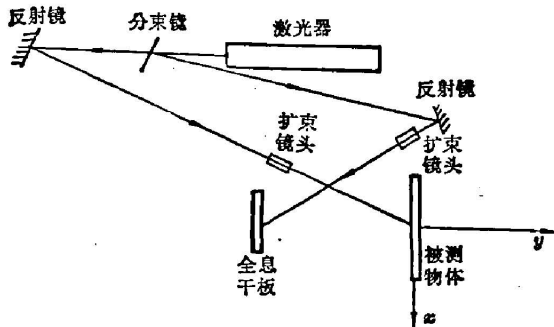


Fig. 1 Experimental arrangement

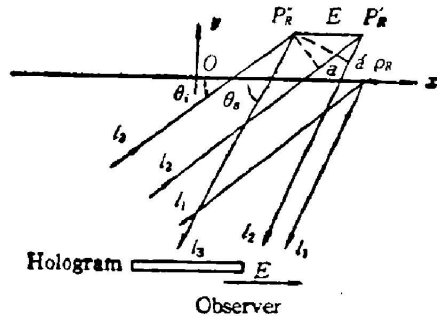


Fig. 2

式中  $A=2(BC^2)^2$ , 为物体的辐照度,  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_0$ , 为物体变形后所引起的物光波的相位差。(1)式表述了物体的辐照度受一个  $(1 + \cos \Delta\phi)$  条纹图样的调制。虽然  $\Delta\phi$  的符号随物体变形方向不同而异, 但这个条纹图样仅由  $\Delta\phi$  的绝对值决定。所以普通的双曝光全息干涉术无法用来判断物体变形的方向。但我们发现, 如果在拍摄全息图的两次曝光之间, 移动一下全息平板, 使第二次曝光所记录的物光波产生一个附加的相位  $\delta$ , 即  $O_1 = O \exp[i(\phi_1 + \delta)]$ , 则再现虚像的辐照度为

$$I = A[1 + \cos(\Delta\phi + \delta)], \tag{2}$$

(2)式说明移动干板将使再现像的干涉条纹分布发生变化。这种变化不仅与附加相位差  $\delta$  有关, 而且与物体的变形方向有关,  $\delta$  可通过计算得出, 因此通过观察两张辐照度分别为式(1)、(2)的双曝光全息图, 比较条纹的改变情况, 可判断出物体的变形方向。干板的移动方式及移动方向, 视物体形变后产生的干涉条纹的分布情形而定。下面仅以横向移动干板为例说明以双曝光全息错位记录的方法实现判别物体形变方向的原理。

为分析方便, 假定一平面物体产生离面位移, 如图2所示。图中坐标系的建立与图1所示相同, 即  $y$  坐标垂直于物体表面。参考光为平行光束。第一次曝光后, 物体受力变形, 则  $P_R$  点移到  $P'_R$  处, 然后使干板沿  $x$  轴正向作一微小位移, 位移量为  $E$ 。此时相当于  $P_R$  点移至  $P''_R$  处。  $\theta_i, \theta_s$  为光线的入射角和散射角。设移动干板所引起的附加光程差为  $\Delta$ 。

$$\Delta = l_3 - l_2 = -(\overline{aP''_R} + \overline{a'P'_R}) = -E(\cos \theta_i + \cos \theta_s), \tag{3}$$

相应的相位差为

$$\delta = -\frac{2\pi}{\lambda} E(\cos \theta_i + \cos \theta_s), \tag{4}$$

从(4)式可看出当照明光波为平面波, 干板作横向移动时,  $\theta_i, E$  为常数。对于同一观察点而言, 散射角  $\theta_s$  仅随物点  $P_R$  在物体上的位置变化而改变。如果  $\theta_i$  很小, 则当物点  $P_R$  在相对于观察点的右侧时, 均有  $\delta < 0$ 。由于物体在全息干板不作位移时的变形物光波与原始物光波的相位差为

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (l_2 - l_1), \tag{5}$$

即  $\Delta\phi > 0$ , 所以此时有

$$|\Delta\phi + \delta| < |\Delta\phi|, \tag{6}$$

即再现像中的干涉条纹减少变疏。当物点  $P_R$  向反  $y$  轴方向变形时,  $\Delta\phi < 0$ , 有

$$|\Delta\phi + \delta| > |\Delta\phi|, \quad (7)$$

即干涉条纹变密。同理当物点  $P_R$  在观察点左侧时, 由于  $\delta > 0$ , 干涉条纹的变化情况与上述相反。如果我们将观察点固定不变, 且全息干板位移量  $E$  为常量, 则可将沿  $x$  轴正向移动干板后物体改变方向与干涉条纹的变化之间的对应关系归纳如下:

如果干板沿  $-x$  方向位移, 也可得出与此类同的结果。

我们用双曝光全息错位记录方法, 对一块钢板做加载后变形方向的分析。图 3 为钢板受载后的变形情况。先用普通双曝光记录加载变形后的干涉图, 再拍摄错位双曝光全息图, 步骤是在未对试件加载前进行第一次曝光, 然后使全息干板作一沿  $x$  轴微米级的正向位移, 进行第二次曝光。

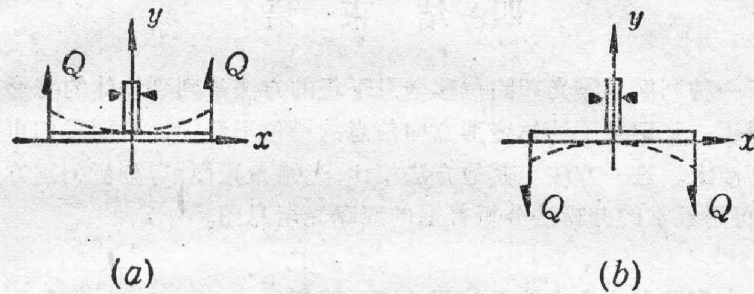


Fig. 3 Diagram of deformation under load

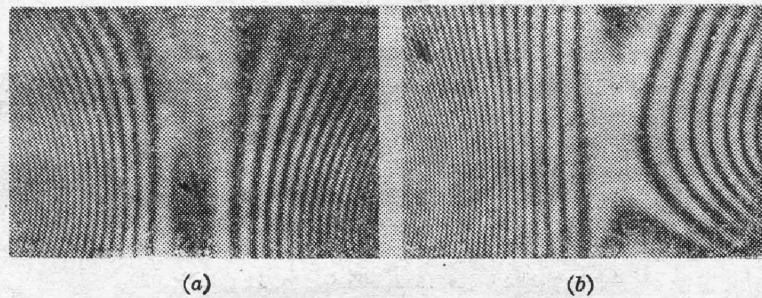


Fig. 4 Holographic interferograms formed during deformation as shown in Fig. 3(a)

- (a) Without translation of the holographic plate
- (b) Move the holographic plate along  $x$  direction

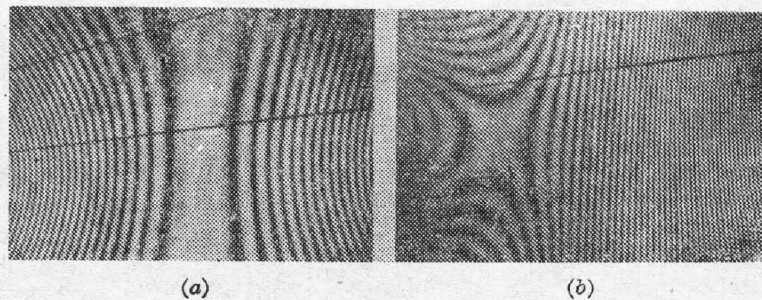


Fig. 5 Holographic interferograms formed during deformation as shown in Fig. 3(b)

- (a) Untranslating the holographic plate
- (b) Translating the holographic plate in the positive  $x$  direction

图 4(a)、4(b)和图 5(a)、5(b)分别为钢板产生如图 3(a)和图 3(b)所示的变形时拍摄的全息图再现像。图 4(a)、图 5(a)是用普通双曝光全息方法记录,图 4(b)、图 5(b)用错位双曝光全息方法记录。将图 4(a)与图 4(b)比较,可看出图 4(b)右侧的条纹较图 4(a)右侧的条纹疏,而图 4(b)左侧的条纹较图 4(a)左侧的条纹密。根据公式(4)的结论可判断出钢板两侧的变形方向都是沿  $y$  轴正向的。图 5(a)与图 4(a)的干涉条纹分布基本一样,而图 5(b)与图 4(b)的干涉条纹分布相反,这说明图 5(b)所示的钢板变形方向与图 4(b)的相反。这一结论与图 3 所示的钢板变形情况相一致。从图 3 所示的变形方向即可组合出其他种类的变形,在此不必赘述。

#### 四、结 束 语

本文提出了一种利用双曝光期间位移全息干板的方法来判别物体的变形方向。通过移动全息干板获得了一张记录了物体变形方向信息的错位干涉图,因而我们可以将此法视为一种全息错位干涉术。这一方法与其他方法相比,光路布置简单,分析判别方便。对物体变形量的大小,仍可用通常的分析法分析普通的双曝光全息图。

对陈颜同志在实验和成文中给予的帮助表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] E. R. Robertson; *The Engineering Uses of Coherent Optics*, (Cambridge University Press, London, 1976), 81.
- [2] Yu. I. Ostrovsky *et al.*; *Interferometry by Holography*, (Springer-Verlag, Germany, 1980), 252.
- [3] C. M. Vest; *Holographic Interferometry*, (John Wiley and Sons, Inc., U. S. A., 1979), 73.
- [4] 张如一, 陆耀植;《实验应力分析》, (机械工业出版社, 北京, 1981), 327~332.
- [5] F. Gori *et al.*; *Optics Commun.*, 1972, **5**, No. 5 (May), 359.
- [6] P. C. Gupta *et al.*; *App. Opt.*, 1976, **15**, No. 12 (Dec), 2961.
- [7] D. C. Holloway *et al.*; *App. Opt.*, 1978, **17**, No. 8 (Aug), 1213.
- [8] N. Abramson; *The Making and Evaluation of Hologram*, (Academic Press, U. S. A., 1981), 97.
- [9] 藤本润一郎, 米山正秀;《電子通信学会論文誌》, 1982, **J65-C**, No. 11 (Nov), 929.

## Determination of deformation direction by shearing holographic interferometry

XING YINGJIE, WANG WENCHAO AND FAN SHUZHONG

(Department of Applied Physics, Beijing Polytechnic University)

(Received 20 September 1983; revised 3 October 1985)

### Abstract

A method for determining the directions of deformation in double exposure holographic interferometry is introduced. The technique requires to move the holographic plate in the interval between exposures and thus it can be thought as a shearing holographic interferometry. Experimental demonstrations of this method are also presented.

(上接 354 页)

(8) Anthropology; (9) Environmental color design。其中 Vision 方面的论文最多, 约 24 篇, 是这次大会最活跃的领域, 论文包括眼球对色光的功能, 视觉系统的时间与空间分辨, 暗视觉与中间视觉、色调差阈值、色差匹配分辨阈, 颜色视觉模型等等。国外已有卅多年的研究, 特别是六十年代电生理学微电极技术的发展与应用, 使此领域的研究取得较大的进展。

大会除交流论文外, 还设有研究小组, 专题研究如颜色教育、颜色指令系统、保护色、伪装色、环境颜色的设计等等。

张贴论文没有分类, 水平较高者也收入论文集。

会议还设有圆桌讨论会, 内容包括: (1) 颜色和交通、通信技术; (2) 整容、化妆与颜色; (3) 流行时尚和颜色; (4) 颜色、声音、运动(在今日已可以看见带有颜色的声音了); (5) 颜色和健康。

我国的颜色光学在王大珩教授等老一辈的热情指导与支持下开展起来, 也取得一些成绩。例如彩色电视的研究, 光度与色度计量的研究, 颜色仪器的研究, 白昼光的研究, 测光的研究, 白度与黑度的研究, 中医脸部色诊的研究, 伪装色、安全色的研究等, 均达到了一定的水平。但总的来说仍未被普遍认识, 许多领域与国际的水平差距较大, 有些尚属空白, 有待急起直追。

(束越新 供稿)