

实现物体多种状态同时判别的新方法

陈 颜

(北京工业大学应用物理系)

A new method for judging a multistate object simultaneously

Chen Yan

(Applied Physics Department, Beijing Polytechnic University, Beijing)

Abstract: Direction of off-plane displacement resulted from any complicated deformation can be judged by introducing additional off-plane and vector analysis into holographic interferometry. The value and direction of the relative off-plane displacement between any two changes of various states of a sequentially deformed object in different intervals can be observed simultaneously on a single holographic plate by combining this method with multiplexing holography.

1. 在普通双曝光全息干涉计量中,两次曝光之间使物体产生离面倾斜,便可实现波前纵向剪切^[1]。全息再现时,两束物光波产生的干涉场强度分布为:

$$I(x, y) = A \left[1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \alpha \sqrt{x^2 + y^2} \sin \theta \right) \right] \quad (1)$$

式中 A 为常数, λ 为再现光波长, θ 为物光波的入射角, α 为物面倾斜角。

物面倾斜可用一个矢量 α 来表示,它的大小为物面倾斜角 α 的大小,方向垂直物面倾斜的转轴,指向光路差增加的一边,如图1。图1中 O 为倾斜前的物体表面, O' 为倾斜后的物体表面, $\overline{GG'}$ 为物体倾斜产生离面转动时所绕的转轴。物体两次倾斜 α_1 和 α_2 将组成一个新物面倾斜 α_0 ,三者之间的关系满足矢量相加:

$$\alpha_0 = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (2)$$

根据(1)式可知,矢量 α 与物面倾斜所产生的干涉场分布是相对应的。 α 的方向平行于干涉条纹的分布方向, α 的大小与干涉条纹宽度 e 成反比:

$$\alpha = \frac{\lambda}{2e \sin \theta} \quad (3)$$

但 α 的指向与干涉场分布无关。因此从物体倾斜所产生的干涉场分布是无法直接判知物面上各个点处离面位移方向的。如果在全息记录时引入一个附加的已知物面倾斜量 α_2 , 设待测的物面倾斜量为 α_1 , 总的倾斜量为 α_0 , 设法记录下物面倾斜 α_1 和总的倾斜量 α_0 所产生的干涉场分布, 确定出矢量 α_1 、 α_0 的大

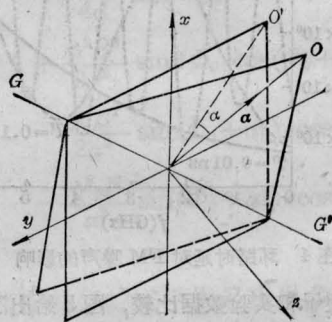


图1 物面绕 $\overline{GG'}$ 轴发生离面倾斜

小和方向。根据零级干涉条纹的方位和 α_1 的指向, 便可判知物体倾斜引起其表面上各个点处的离面位移方向。

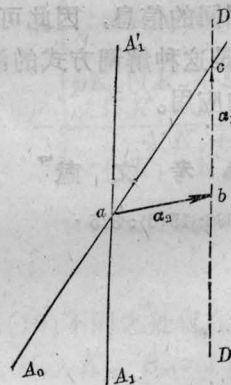


图2 用矢量作图法确定待测物面倾斜矢量 α_1 的方向

实际应用中,用矢量作图法确定待测物体倾斜矢量 α_1 的方向较为方便。其方法如图2,首先沿矢量 α_1 、 α_0 所对应的干涉条纹分布方向分别作表示 α_1 和 α_0 方向的两条直线 $\overline{A_1A_1'}$ 和 $\overline{A_0A_0'}$,过这两条直线的交点 a ,沿矢量 α_2 的方向作出表征矢量 α_2 的矢量线 \overline{ab} ,过矢量线 \overline{ab} 的矢端点 b 做一条平行于直线 $\overline{A_1A_1'}$ 的直线 $\overline{DD'}$,直线 $\overline{DD'}$ 与 $\overline{A_0A_0'}$ 的交点为 C ,沿直线 $\overline{DD'}$ 由 b 点指向 c 点的方向就是矢量 α_1 的方向。如果待测倾斜量 α_1 和附加倾斜量 α_2 方向相

$$(D_1 D_2 \dots D_{p/2}) \begin{pmatrix} O_1+O_2 & O_1+O_3 & \dots & O_1+O_{p-3} & O_1+O_{p-2} & O_1+O_{p-1} & O_1+O_p \\ O_2+O_3 & O_2+O_4 & \dots & O_2+O_{p-2} & O_2+O_{p-1} & O_2+O_p & O_3+O_4 \\ O_3+O_5 & O_3+O_6 & \dots & O_3+O_p & O_4+O_5 & O_4+O_6 & O_4+O_7 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ O_{p-1-i}+O_{p-1-j} & O_{p-1-i}+O_{p-j} & \dots & O_{p-3}+O_p & O_{p-2}+O_{p-1} & O_{p-2}+O_p & O_{p-1}+O_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ \vdots \\ R_{p-1} \end{pmatrix} \quad (4)$$

再现时便可在一张记录干版得到物体 p 种状态中任意两个状态之间相对离面位移所产生的干涉场。

如果需要同时得到物体 p 种状态中任意两个状态之间相对离面位移的大小和方向,记录时需使物

$$(D_1 D_2 \dots D_{\frac{p+1}{2}}) \begin{pmatrix} O_1+O_2 & O_1+O_3 & \dots & O_1+O_{p-2} & O_1+O_{p-1} & O_1+O_p & O_1+O'_p \\ O_2+O_3 & O_2+O_4 & \dots & O_2+O_{p-1} & O_2+O_p & O_2+O'_p & O_3+O_4 \\ O_3+O_5 & O_3+O_6 & \dots & O_3+O'_p & O_4+O_5 & O_4+O_6 & O_4+O_7 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ O_{p-i}+O_{p-j} & O_{p-i}+O_{p+1-i} & \dots & O_{p-2}+O'_p & O_{p-1}+O_p & O_{p-1}+O'_p & O_p+O'_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ \vdots \\ R_p \end{pmatrix} \quad (6)$$

再现时,利用 O_i+O_p 、 $O_i+O'_p$ 两组干涉条纹进行矢量作图,可确定出物体第 i 种状态相对于第 p 种状态的离面位移方向。在确知物体第 i 、 j 两种状态相对于第 p 种状态位移的大小和方向后,便可确定出物体第 i 、 j 两种状态之间相对离面位移的方向。这样就可以从一张记录干版上同时得到物体在不同时间间隔内各种状态两两之间相对离面位移的大小和方向。

2. 图3是采用多记录元和多光束混合编码进行多通道全息干涉计量的记录装置。 A 为He-Ne激光器(输出功率7mW), S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 为分束镜, M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 、 M_6 为平面反射镜, K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_5 为扩束镜, L 为准直透镜, O 为钢板, E 为钢板的固定端, B 为参考光编码板, G 为记录元的编码板,记录元的直径为2.5mm,孔的中心距为3.5mm(如图4), H 为记录干版。采用四个记录元和四束参考光编码记录,共16个通道。参考光之间的夹角 12° ,第一束参考光与物光的夹角为 15° 。对钢板相续加载四次,使钢板产生不同程度的弯曲变形,钢板在加载过程中共有五种状态,图3中

平行时,可通过比较 α_1 与 α_0 所对应的干涉条纹疏密来确定 α_1 的指向。如果 α_0 的干涉条纹比 α_1 的密,说明 α_1 的方向与 α_2 相同,反之则说明 α_1 与 α_2 的方向相反。

对物体 P 种状态进行两两干涉计量时,多道全息记录所需要的通道数为:

$$S = C_p^2 \quad (4)$$

设 $m=P/2$; $n=P-1$,对每个通道进行双曝光全息记录的结果为^[2]

$$(D_1 D_2 \dots D_{p/2}) \begin{pmatrix} O_1+O_2 & O_1+O_3 & \dots & O_1+O_{p-3} & O_1+O_{p-2} & O_1+O_{p-1} & O_1+O_p \\ O_2+O_3 & O_2+O_4 & \dots & O_2+O_{p-2} & O_2+O_{p-1} & O_2+O_p & O_3+O_4 \\ O_3+O_5 & O_3+O_6 & \dots & O_3+O_p & O_4+O_5 & O_4+O_6 & O_4+O_7 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ O_{p-1-i}+O_{p-1-j} & O_{p-1-i}+O_{p-j} & \dots & O_{p-3}+O_p & O_{p-2}+O_{p-1} & O_{p-2}+O_p & O_{p-1}+O_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ \vdots \\ R_{p-1} \end{pmatrix} \quad (5)$$

体产生一个附加的已知离面倾斜。记录时,这一附加倾斜量可以随时引入。为讨论方便,设在记录了物体第 p 个状态后引入附加倾斜,即引入附加倾斜后的物体状态应为物体的第 $p+1$ 个状态,并设其产生的物光波为 O'_p 。其记录的结果为

$$(D_1 D_2 \dots D_{\frac{p+1}{2}}) \begin{pmatrix} O_1+O_2 & O_1+O_3 & \dots & O_1+O_{p-2} & O_1+O_{p-1} & O_1+O_p & O_1+O'_p \\ O_2+O_3 & O_2+O_4 & \dots & O_2+O_{p-1} & O_2+O_p & O_2+O'_p & O_3+O_4 \\ O_3+O_5 & O_3+O_6 & \dots & O_3+O'_p & O_4+O_5 & O_4+O_6 & O_4+O_7 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ O_{p-i}+O_{p-j} & O_{p-i}+O_{p+1-i} & \dots & O_{p-2}+O'_p & O_{p-1}+O_p & O_{p-1}+O'_p & O_p+O'_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ \vdots \\ R_p \end{pmatrix} \quad (6)$$

F 为加载方向。首先对钢板的五种状态进行编码记

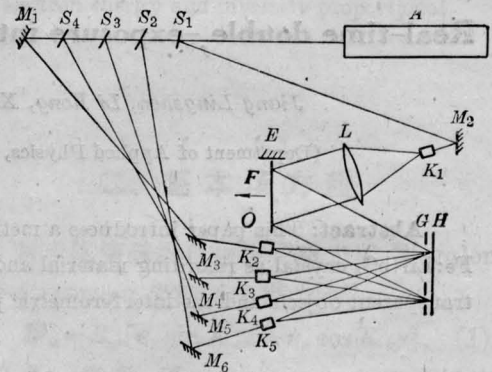


图3 进行多记录元和多参考光混合编码全息记录的装置

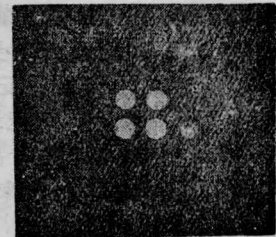


图4 记录元编码板

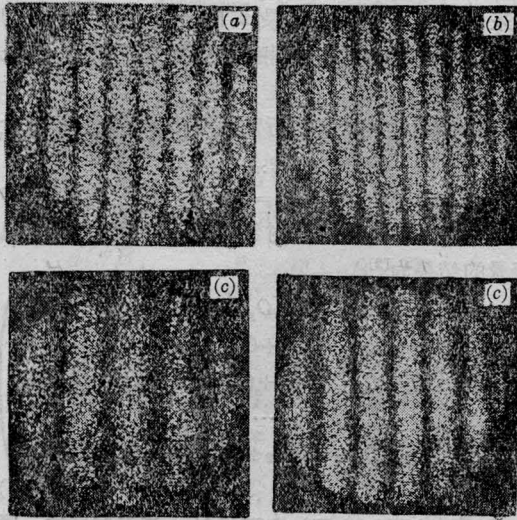


图5 采用多通道全息记录和引入附加离面倾斜的全息再现像

(a) O_2+O_5 ; (b) O_2+O_5' ; (c) O_3+O_5 ; (d) O_3+O_5'

录。然后使钢板朝远离记录干版的方向产生一个附加的倾斜, 将倾斜后的钢板进行最后一次编码记录。图5是全息记录的再现像。比较图5中 O_2+O_5' 与 O_3+O_5 两组干涉条纹的分布情况, 可判知钢板是朝远离干版方向弯曲的。

参 考 文 献

- 1 Bryngahl O. J. *Opt. Soc. Amer.*, 1969; **59**(2): 142~146
- 2 陈颜, 丁培. 北京工业大学学报, 1987; **13**(2): 85~91

(收稿日期: 1987年3月16日)

用 Fe:LiNbO₃ 晶体进行实时双曝光干涉的研究

姜铃珍 李 荣 许焕芝 许克彬 洪 晶

(哈尔滨工业大学应用物理系)

Real-time double-exposure interferometry with Fe:LiNbO₃ crystals

Jiang Lingzhen, Li Rong, Xu Huanshi, Xu Kebin, Hong Jing

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin)

Abstract: This paper introduces a method of real-time double-exposure interferences with Fe:LiNbO₃ crystal as recording material and He-Ne laser as light source. Stresses are applied to transparent objects and the interferometric patterns are shown.

1. 在激光全息无损检测中希望找到一种新的实时记录介质, 可以重复使用且衍射效率与分辨率都不低于银盐干板。除了银盐干板外, 光色材料、光导热塑料、明胶、电光晶体等都可以作记录介质。本文采用了 Fe:LiNbO₃ 晶体作为实时记录材料进行双曝光的实时干涉。由于 Fe:LiNbO₃ 晶体记录的是位相全息图, 所以有很高的衍射效率。二次曝光后得到清晰的干涉条纹。

2. Fe:LiNbO₃ 是一种典型的铁电晶体, 铁杂质

在 LiNbO₃ 中的作用是提供可用激光激发的电子陷阱, 这种陷阱在满时为 Fe²⁺, 空时为 Fe³⁺, 存储是由于电子在这些陷阱中进行重新分布而产生的^[1]。然后, 晶体在干涉图像下曝光, 光强区域的电子吸收光子被激发到导带向低光强区域移动。在那里再次被捕获, 从而形成与入射光场干涉图像相应的空间电场图像。

3. 实验光路如图1所示^[2,3]。图1中光源是
(下转第607页)