

五孔剪切相机在测量二阶 微分场中的应用

王开福

沈永昭 顾杰

(扬州大学工学院力学系, 杨 225001) (苏州大学物理系, 苏州 215006)

摘 要 提出了在使用五孔剪切相机研制二阶微分场时, 通过采用两次全场滤波技术可消除夹在二阶微分条纹中的一阶微分条纹, 从而使二阶微分条纹具有较高的对比度。

关键词 五孔剪切相机, 全场滤波, 二阶微分条纹, 一阶微分条纹。

1 引 言

利用五孔剪切相机^[1]进行激光散斑照相, 同时研测薄板弯曲变形时的一阶和二阶微分场的二维全场信息。所得一阶微分条纹因不受其它条纹的干扰而具有很高的对比度, 但所得二阶微分条纹因分别受夹在其中的一阶微分条纹的干扰而使对比度大大降低。这严重影响了二阶微分条纹的定量分析和图像处理。

根据薄板的小挠度理论^[2], 在薄板弯曲问题中二阶微分场的测量比挠度场及其一阶微分场的测量更重要。因为薄板弯曲变形时的弯矩、扭矩、应力和应变等都同二阶微分直接相关, 所以研究二阶微分场的测量方法及研究提高二阶微分纹对比度的技术途径均具有重要意义。为此本文探讨了提高文献[1]中二阶微分条纹对比度的可行性。最后给出了实验验证。

2 理论分析

记录系统如文献[1]中图3所示。物体变形前在记录系统的像平面上放置全息平板进行第一次单曝光记录, 此时全息平板记录到的光强分布为

$$\begin{aligned} I_1 = A^2 [& 5 + 2 \cos (\varphi_{21} + \delta_x) + 2 \cos (\varphi_{13} + \delta_x) \\ & + 2 \cos (\varphi_{41} + \delta_y) + 2 \cos (\varphi_{15} + \delta_y) \\ & 2 \cos (\varphi_{43} + \delta_x + \delta_y) + 2 \cos (\varphi_{25} + \delta_x + \delta_y) \\ & 2 \cos (\varphi_{42} - \delta_x + \delta_y) + 2 \cos (\varphi_{35} - \delta_x + \delta_y) \\ & + 2 \cos (\varphi_{23} + 2\delta_x) + 2 \cos (\varphi_{45} + 2\delta_y)] \end{aligned} \quad (1)$$

物体变形后在记录系统的像平面上换放全息平板进行第二次单曝光记录, 此时全息平板

* 江苏省自然科学基金资助课题。

收稿日期, 1994年6月25日; 收到修改稿日期, 1995年9月25日

记录到的光强分布为

$$\begin{aligned}
 I_2 = A^2 [& 5 + 2 \cos (\varphi_{21} + \delta_{21} + \delta_x) + 2 \cos (\varphi_{13} + \delta_{13} + \delta_x) \\
 & + 2 \cos (\varphi_{41} + \delta_{41} + \delta_y) + 2 \cos (\varphi_{15} + \delta_{15} + \delta_y) \\
 & + 2 \cos (\varphi_{43} + \delta_{43} + \delta_x + \delta_y) + 2 \cos (\varphi_{25} + \delta_{25} + \delta_x + \delta_y) \\
 & + 2 \cos (\varphi_{42} + \delta_{42} - \delta_x + \delta_y) + 2 \cos (\varphi_{35} + \delta_{35} - \delta_x + \delta_y) \\
 & + 2 \cos (\varphi_{23} + \delta_{23} + 2\delta_x) + 2 \cos (\varphi_{45} + \delta_{45} + 2\delta_y)] \quad (2)
 \end{aligned}$$

即物体变形前后的信息分别记录在两张单曝光散斑图上。对两张单曝光散斑图依次进行全场滤波,则在频谱平面均出现如文献[1]中图4所示的衍射晕。若仅让衍射晕(A_{12}, A_{13})透过,在滤波系统的输入平面上依次放入两张单曝光散斑图,同时用全息平板在输出平面上依次双曝光记录,则双曝光底片所记录的光强分布为

$$\begin{aligned}
 I = A^4 [& 4 + 2 \cos (\varphi_{21} - \varphi_{13}) \\
 & + 2 \cos (\varphi_{21} - \varphi_{13} + \delta_{21} - \delta_{13})] \quad (3)
 \end{aligned}$$

对双曝光底片进行全场滤波,此时在频谱平面上将出现3块互不重叠的衍射晕,若仅让+1级或-1级衍射晕透过,则滤波系统像面光强分布为

$$\begin{aligned}
 I' = & |A^4 \exp [i(\varphi_{21} - \varphi_{13})] + A^4 \exp [i(\varphi_{21} - \varphi_{13} + \delta_{21} - \delta_{13})]|^2 \\
 = & A^8 [2 + 2 \cos (\delta_{21} - \delta_{13})] \quad (4)
 \end{aligned}$$

式中^[1]

$$\delta_{21} - \delta_{13} = k \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Delta^2 \sin \theta_x + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \Delta^2 (1 + \cos \theta_x) \right] \quad (5)$$

显然对双曝光底片进行全场滤波时,在像平面上将得到消除了一阶微分条纹的纯二阶微分条纹。当满足

$$\delta_{21} - \delta_{13} = \begin{cases} 2N\pi \text{ 时,} & \text{对应于亮纹} \\ (2N+1)\pi \text{ 时,} & \text{对应于暗纹} \end{cases} \quad (6)$$

式中 N 为整数条纹级数。

同理,当仅让衍射晕(A_{25}, A_{34})透过依次放入两张单曝光散斑图,同时在输出平面上作双曝光记录,则双曝光底片所录的光强分布为

$$I = A^4 [4 + 2 \cos (\varphi_{43} - \varphi_{25}) + 2 \cos (\varphi_{43} - \varphi_{25} + \delta_{43} - \delta_{25})] \quad (7)$$

再对双曝光底片进行全场滤波,并仅让+1级(或-1级)衍射晕透过,则系统像面光强分布为

$$\begin{aligned}
 I' = & |A^4 \exp [i(\varphi_{43} - \varphi_{25})] + A^4 \exp [i(\varphi_{43} - \varphi_{25} + \delta_{43} - \delta_{25})]|^2 \\
 = & A^8 [2 + 2 \cos (\delta_{43} - \delta_{25})] \quad (8)
 \end{aligned}$$

式中^[1]

$$\delta_{43} - \delta_{25} = k \left[\frac{\partial^2 w'}{\partial x' \partial y'} 2\Delta^2 \sin \theta_x + \frac{\partial^2 w'}{\partial x' \partial y'} 2\Delta^2 (1 + \cos \theta_x) \right] \quad (9)$$

此时将得到消除了一阶微分条纹干扰的纯二阶混合微分条纹。同样当满足

$$\delta_{43} - \delta_{25} = \begin{cases} 2N\pi \text{ 时} & \text{对应于亮纹} \\ (2N+1)\pi \text{ 时,} & \text{对应于暗纹} \end{cases} \quad (10)$$

式中 N 为整数条纹级数。

3 实 验

试件是直径 72 mm, 厚度 1.3 mm 的铝板, 边界固支, 中心横向集中加载, 中心最大挠度 $17 \mu\text{m}$ 。光楔顶角 $\alpha = 30'$, 各孔直径 10 mm。照明光源为 20 mW He-Ne 激光器。用焦距为 360 mm 的相机进行记录。为使两张单曝光散斑图在依次放入全场滤波系统作双曝光记录时不发生错位, 本文采取两点措施: 1) 把两张单曝光散斑图分别记录在一块长平板的两端; 2) 设计了一个单向导轨干板夹(其中水平自由度由螺旋千分头精密调节, 另五个自由度固定)。

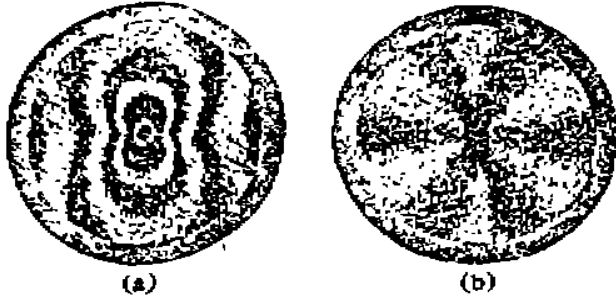


Fig. 1 Experimental results

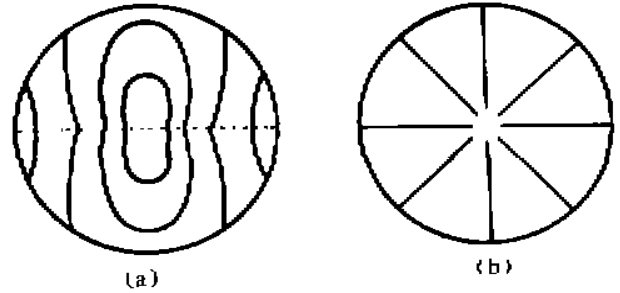


Fig. 2 Theoretical curves

图 1 是实验结果。其中图 1(a) 是二阶微分条纹 ($\partial^2/\partial x^2$) 的等值照片; 图 1(b) 是二阶混合微分条纹 ($\partial^2/\partial x' \partial y'$) 的等值照片。图 2 是理论曲线。其中图 2(a) 和图 2(b) 分别对应于图 1(a) 和图 1(b)。

结 论 理论分析和实验结果都表明, 在使用五孔剪切相机研测二阶微分场和二阶混合微分场的过程中, 通过两次全场滤波, 可得到具有较高对比度的纯二阶微分条纹和二阶混合微分条纹。

值得注意的是上述方法将使一阶微分场的信息完全丢失。不过在薄板弯曲问题中有二阶微分场和二阶混合微分场的信息也就足够解决问题了。

参 考 文 献

- [1] 王开福, 沈永昭等, 五孔剪切相机同时研测二维曲率、扭率和斜率。光学学报, 1994, 14(1): 73~77
 [2] 徐芝伦, 弹性力学(第二版)。北京: 人民教育出版社, 1982, 第十三章。

Application of a Five-Aperture Shearing Camera in Measurement of Second Order Derivatives

Wang Kaifu

(Department of Mechanics, Yangzhou Institute of Technology, Yangzhou 225001)

Shen Yongzhao Gu Jie

(Department of Physics, Suzhou University, Suzhou 215006)

(Received 25 June 1994; revised 25 September 1995)

Abstract In this paper, the five-aperture shearing camera used for measuring second order derivatives of objects is presented. The pure second order derivatives of objects can be obtained by using the double whole-field filtering technique.

Key words five-aperture shearing camera, whole-field filtering, second order derivatives, first order derivatives.