

偏振多通道相机研测二维热形变场

王开福

沈永昭 姜锦虎 顾 杰*

(扬州大学工学院力学教研室, 扬州 225001)

(苏州大学物理系, 苏州 215006)

提要 研制了偏振多通道相机, 并采用该相机进行激光散斑照相, 对高温动态热形变场进行了研测, 拍摄一张散斑图可得到物体在热形变过程中各瞬态热形变场的二维信息。通过滤波技术可再现各瞬时热形变场的分布情况及其变化情况。

关键词 偏振多通道, 散斑照相, 热形变

1 引 言

F. P. Chiang 等人^[1]采用激光散斑照相技术测量了高温动态热形变场, 得到了热形变场分布的高质量全场等值条纹。但缺点是需要拍摄多张散斑图, 才能确定高温热形变场的变化情况。这给测量工作带来了极大的不便。最近陈颜^[2]发展了多通道定向散斑干涉计量方法, 使之能给出物体任意两种状态之间的相对面内位移的分布情况。但缺点是当物体的位移矢量垂直或接近垂直狭缝时, 将得不到干涉条纹, 从而无法进行测量。

本文基于上述的研究工作, 研制了偏振多通道相机。该相机除仍保留前述各种方法的优点外, 其最突出的优点是拍摄一张散斑图, 即可得到高温动态热形变场的分布情况及其变化情况, 且不论物点的位移方向怎样, 总可进行干涉条纹的计量测试。

2 实验装置和基本原理

偏振多通道相机的光路系统如图 1 所示。激光束经扩束准直后照射动态热形变物体。相机对物面聚焦成像。拍摄散斑图时在相机镜头前面放置偏振多通道屏。

图 2 是偏振多通道屏的结构示意图。在一块不透光板上开有 $2n$ (n 为自然数) 条狭缝 (图 2 仅画了 8 条狭缝, 即 $n = 4$), 且相邻狭缝之间的夹角均为

$$\theta_0 = \frac{\pi}{2n} \quad (1)$$

建立图 2 所示直角坐标系, 使 x 轴平分 θ_0 , 则 P_i 狭缝的方位表示为

* 现在地址: 美国奥克兰大学工程学院。

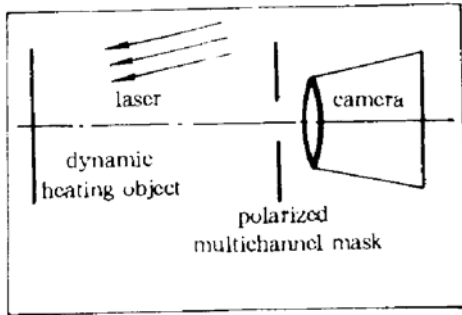


Fig. 1 Optical system

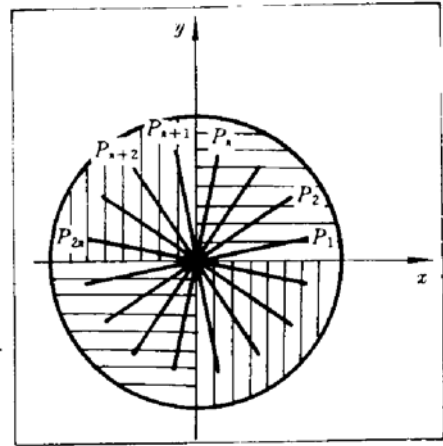


Fig. 2 Diagram of a polarized multichannel mask

$$\theta_i = \left(i - \frac{1}{2}\right)\theta_0 = \frac{(2i - 1)\pi}{4n} \quad (i = 1, 2, \dots, 2n) \quad (2)$$

据此,可证明下列关系式成立

$$\theta_{i+n} = \theta_i + \frac{\pi}{2} \quad (i = 1, 2, \dots, 2n) \quad (3)$$

即狭缝 P_{i+n} 垂直于狭缝 P_i 。

在狭缝 $P_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 上放置透光方向平行于 x 轴的偏振片;而在狭缝 $P_{i+n} (i = 1, 2, \dots, n)$ 上放置透光方向垂直于 x 轴的偏振片。则该屏的通道全部打开时的振幅透过率表示为

$$t(x, y) = \sum_{i=1}^n \left[\begin{array}{c} \text{rect}\left(\frac{x\sin\theta_i + y\cos\theta_i}{b}\right) \\ \text{rect}\left(\frac{x\sin\theta_{i+n} + y\cos\theta_{i+n}}{b}\right) \end{array} \right] \quad (4)$$

对动态热形变物体进行编码曝光。当物体处于状态 O_0 的瞬时,让 P_1 和 P_{1+n} 两相互垂直的狭缝透光;当物体处于状态 $O_i (i = 1, 2, \dots, n - 1)$ 时,让 P_i 和 P_{i+n} 两相互垂直的狭缝以及 P_{i+1} 和 P_{i+1+n} 两相互垂直的狭缝同时透光;最后当物体处于状态 O_n 的瞬时,再让 P_n 和 P_{2n} 两相互垂直的狭缝透光。

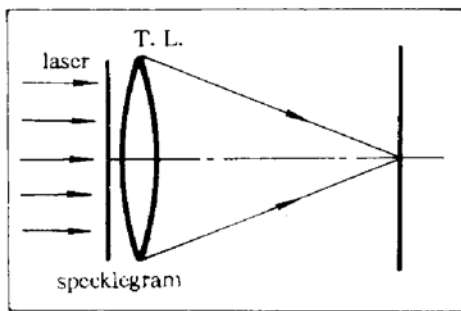


Fig. 3 Filtering system

依据上面的曝光方式,可知通过 P_i 和 $P_{i+n} (i = 1, 2, \dots, n)$ 两相互垂直的狭缝记录的是动态热形变物体在状态 O_{i-1} 和 O_i 之间的相对热形变场的二维信息。由于偏振片的存在,使通过狭缝 P_i 和狭缝 P_{i+n} 的光场不产生干涉,这就避免了频谱面上衍射晕的相互重叠。同时,因狭缝 P_i 和狭缝 P_{i+n} 相互垂直,物点的位移矢量至多垂直或接近垂直其中的一条狭缝,而不可能同时垂直或接近垂直两相互垂直的狭缝,故不会出现文献[2]中干涉条纹无法计量的现象。

把拍摄的散斑图放在图 3 所示的全场滤波系统中进行分析处理,则频谱面上光强分布为^[2]

$$\begin{aligned}
 I(x, y) \propto & \sum_{i=1}^n \left\{ \left| \left[\tilde{D} \left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f} \right) \text{rect} \left(\frac{l' x \sin \theta_i + l' y \cos \theta_i}{bf} \right) \right] \star \left[\tilde{D} \left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f} \right) \text{rect} \left(\frac{l' x \sin \theta_i + l' y \cos \theta_i}{bf} \right) \right] \right|^2 \right. \\
 & \left. + \left| \left[\tilde{D} \left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f} \right) \text{rect} \left(\frac{l' x \sin \theta_{i+n} + l' y \cos \theta_{i+n}}{bf} \right) \right] \star \left[\tilde{D} \left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f} \right) \text{rect} \left(\frac{l' x \sin \theta_{i+n} + l' y \cos \theta_{i+n}}{bf} \right) \right] \right|^2 \right\} \\
 & \cdot \cos^2 \frac{\pi M(xd_{xi} + yd_{yi})}{\lambda f}
 \end{aligned} \quad (5)$$

式中 M 为成像系统放大系数, l' 为像距, b 为狭缝宽度, f 为变换透镜焦距。

由(5)式知,在频谱面上除中心亮斑之外,将出现 $2n$ 条衍射晕,每条衍射晕的宽度为 $2bf/l'$,相邻衍射晕之间的夹角为 θ_0 [见(1)式]。在 P_i 和 P_{i+n} ($i = 1, 2, \dots, n$) 两相互垂直的狭缝所对应的衍射晕上进行全场滤波可得到动态热形变物体在状态 O_{i-1} 和 O_i 之间的相对热形变场的二维信息;依次在不同的衍射晕上滤波可得到热形变场的变化规律。

3 实验结果和结论

试件为直径 60 mm,厚度为 18 mm 的铝盘。表面用 W14(03)金相砂皮随机打毛。用 1.5 mm He-Ne 激光器作照明光源。相机焦距为 360 mm。狭缝宽度 $b = 1.5$ mm,相邻缝间夹角 $\theta_0 = 15^\circ$ 。先把试件加热到 380°C ,再让它自然冷却。当温度降到 350°C 时,铝盘的温度已趋于均匀,用天津全息 I 型干板拍摄散斑图。每次曝光时间为 1.5 s,时间间隔为 21 s。

图 4(a) 是频谱面上衍射晕的分布照片;图 4(b) 是从不同的衍射晕上进行滤波而得到的铝盘动态热形变场的等值条纹照片(因本问题具有对称性,故仅给出 6 幅照片,另 6 幅照片一样)。滤波孔中心到光轴的距离为 19 mm。

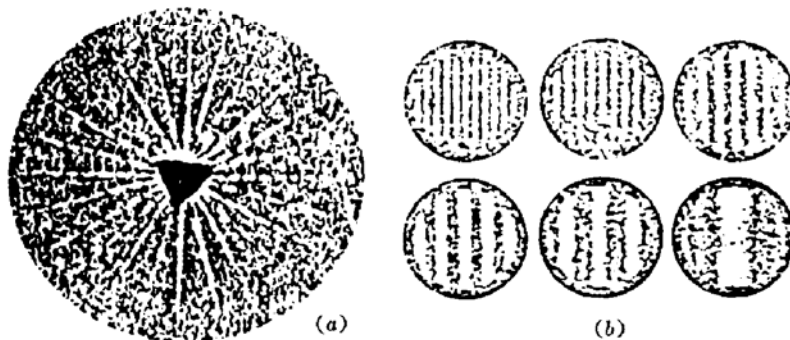


Fig. 4

(a) halo photograph; (b) experimental photographs

表 1 给出了利用本文相机,对高温动态热形变场进行测量的结果,并与热电偶的测量结果进行了比较。误差满足工程要求。

Table 1 Experimental data

$\epsilon_{\text{thermocouple}}$	931	590	420	340	270	210
$\epsilon_{\text{speckle}}$	982	614	434	352	277	215
$\eta\%$	5.5	4.1	3.4	3.7	2.8	2.6

致谢 感谢王高健勇的大力帮助。

参 考 文 献

- 1 F. P. Chiang. Thermal strain measurement by one-beam laser speckle interferometry. *Appl. Opt.*, 1980, **19**(16) : 2701
- 2 陈 颜. 多通道定向散斑干涉计量法. *光学学报*, 1988, **8**(1) : 39

Measurement of 2-D Thermal Deformation Fields with a Polarized Multipchannel Camera

Wang Kaifu

(Yangzhou University, Yangzhou 225001)

Shen Yongzhao Jiang Jinhu Gu Jie

(Shuzhou University, Suzhou 215006)

Abstract This paper describes a polarized multichannel camera designed for measuring thermal deformation fields. The whole information of thermal deformation fields can be recorded on a single specklegram and obtained by filtering via the appropriate halos.

Key words polarized multichannel, speckle photography, thermal deformation