

偏振多通道相机研测二维瞬态振型

王开福

(扬州大学工学院力学室, 扬州 225001)

摘要 利用偏振多通道相机进行激光散斑照相, 研测振动物体的二维瞬态振型。拍摄一张散斑底片可同时对记录振动物体在各不同位相下的一连串二维瞬态振型的全场分布信息。

关键词 偏振多通道相机, 激光散斑, 二维瞬态振型

1 引 言

文献[1]研制了偏振多通道相机, 并利用它完成了对高温动态热形变场的研测。只要拍一张散斑底片就可确定热形变场的瞬态分布情况及其随时间的变化情况。

本文用文献[1]中提出的偏振多通道相机对稳态等幅振动物体在不同位相下的一连串振型同时进行了测量, 并给出了实验结果。

2 理论分析

图 1 是偏振多通道相机研测二维瞬态振型的光路系统示意图。激光经扩束准直后照射稳态等幅振动物体, 相机对物面离焦拍摄散斑底片, 其中偏振多通道屏的结构如图 2 所示。在不

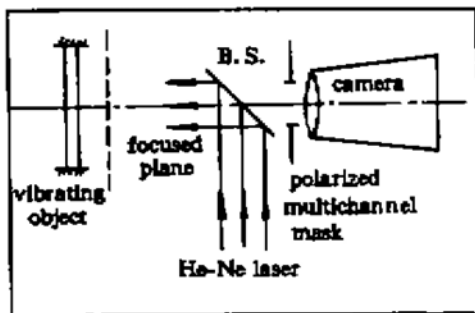


图 1 光路系统

Fig. 1 Optical system

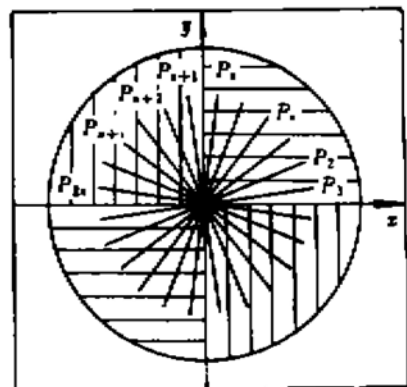


图 2 偏振多通道屏

Fig. 2 Polarized multichannel mask

透光板上开 $2n$ 条等间隔狭缝, 显然 P_{i+} 通道与 P_i 通道相垂直, 在 P_i 与 P_{i+} ($i = 1, 2, \dots, n$) 通道上分别放置透光方向平行和垂直 z 轴的偏振片。根据文献[1], 此时通道全打开时的多通道屏

的振幅透过率为

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

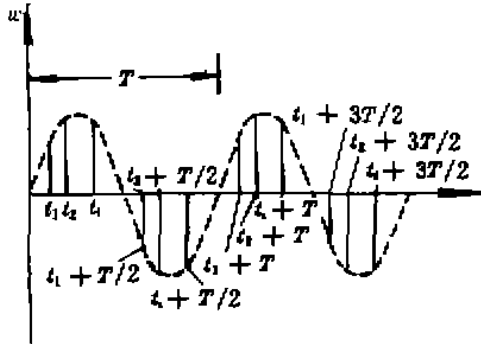


图 3 振动模

Fig. 3 Vibration mode

式中 θ_i 为 P_i 通道的方位角, b 为通道宽度, $[\dots]$ 为矩阵符号。偏振多通道屏的开关由专门设计的机械装置控制, 各通道在激励信号的任何位相上都可打开, 且各通道打开的频率为激励信号频率的两倍。

按图 3 所示方式对振动物体进行编码曝光, 当振动物体处于

$$t = t_i + m \frac{T}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

时, 同时打开 P_i 和 P_{i+1} 两相互垂直的通道, 而关闭其他通道, 此时偏振多通道屏的振幅透过率为

$$t_i(x, y) = \left[\begin{array}{c} \text{rect}\left(\frac{x \sin \theta_i + y \cos \theta_i}{b}\right) \\ \text{rect}\left(\frac{x \sin \theta_{i+1} + y \cos \theta_{i+1}}{b}\right) \end{array} \right] \quad (3)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。

由上面的曝光方式可知, 通过 P_i 和 P_{i+1} 两相互垂直的通道所记录的是振动物体在时间差为 $T/2$ 的两瞬时 t_i 和 t_{i+1} 的相对振型沿通道方向的二维瞬态信息。对所拍散斑底片进行全场滤波, 则在频谱面上的光强分布为^[1,2]

$$\begin{aligned} I(x, y) \propto & \sum_{i=1}^n \left\{ \left| \left[\tilde{D}\left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f}\right) \text{rect}\left(\frac{l' x \sin \theta_i + l' y \cos \theta_i}{bf}\right) \right] \right. \right. \\ & \star \left[\tilde{D}\left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f}\right) \text{rect}\left(\frac{l' x \sin \theta_i + l' y \cos \theta_i}{bf}\right) \right] \left. \right|^2 \\ & + \left| \left[\tilde{D}\left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f}\right) \text{rect}\left(\frac{l' x \sin \theta_{i+1} + l' y \cos \theta_{i+1}}{bf}\right) \right] \right. \\ & \star \left[\tilde{D}\left(\frac{Mx}{\lambda f}, \frac{My}{\lambda f}\right) \text{rect}\left(\frac{l' x \sin \theta_{i+1} + l' y \cos \theta_{i+1}}{bf}\right) \right] \left. \right|^2 \Big\} \\ & \times \cos^2 \left\{ 4\pi MS \left[x \frac{\partial W(x, y, t)}{\partial x} + y \frac{\partial W(x, y, t)}{\partial y} \right]_{t=t_i} / \lambda f \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

式中 M 为放大倍数, l' 为成像系统的像距, f 为变换透镜的焦距, S 为物面离焦量, λ 为激光波长。

显然在频谱面上将出现 $2n$ 条衍射晕, 每条衍射晕的宽度为 $2bf/l'$, 相邻衍射晕间的夹角为 $\pi/2n$ 。在与 P_i 、 P_{i+1} ($i = 1, 2, \dots, n$) 两相互垂直的通道所对应的衍射晕上进行高通滤波, 即可获得振动物体在相应时刻的二维瞬态振型的全场分布信息。

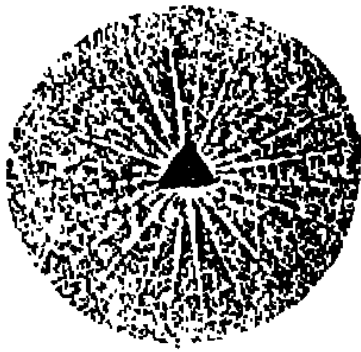


图 4 衍射晕照片

Fig. 4 Halo photograph

3 实验结果

试件为直径 64 mm 的铝质圆板,边界固定,作轴对称受迫振动。铝板背面中心用扬声器作非接触激振,改变激振频率,使铝板在最低自然频率上发生稳态等幅振动,用 1.5 m 长 He-Ne 激光器作照明光源,通道宽度 $b = 1.5$ mm,相邻通道间夹角为 $\pi/12$ 。采用焦距为 360 mm 的相机记录散斑图。记录介质为天津 I 型全息干板。

图 4 是频谱面上衍射晕分布照片。图 5 是实验结果照片。这些照片分别是在与 P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 和 P_6 通道相对应的衍射晕上进行全场滤波而得到的对应于 6 个不同位相的瞬态振型的全场分布图,6 幅照片分别对应于位相 $\pi/36, \pi/18, \pi/12, \pi/2, 10\pi/36$ 和 $11\pi/36$ 。图 6 是为比较而拍的时间平均振型图。

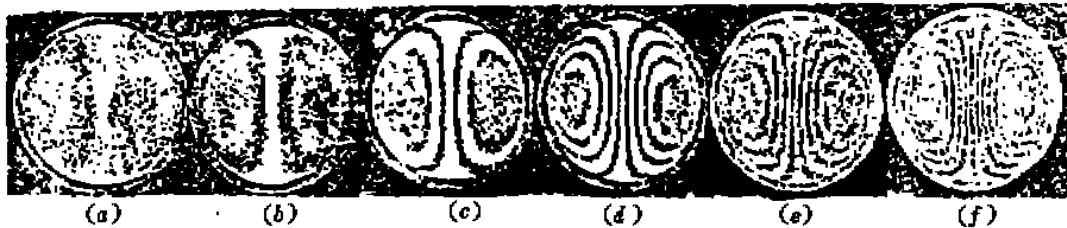


图 5 实验结果

Fig. 5 Experimental results

4 结束语

理论分析和实验结果表明利用偏振多通道相机研测稳态等幅振动物体在各位相下的一连串二维瞬态振型是可行的,所得条纹的对比度较好,这便于进行定量计算和图像处理。

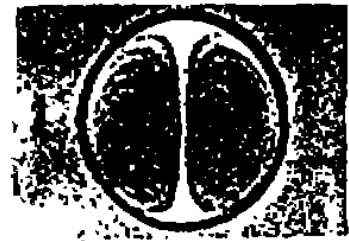


图 6 时间平均条纹图形

Fig. 6 Time-averaged fringe pattern

参 考 文 献

- 1 王开福,沈永昭. 偏振多通道相机研测二维热形变场. 中国激光, 1995, A22(2), 151
- 2 戴福隆,方萃长,刘先龙等. 现代光测力学. 北京: 科学出版社, 1990. 273

Measurement of 2-D Instantaneous Vibration Mode Shapes with a Polarized Multichannel

Wang Kaifu

(Yangzhou University, Yangzhou 225001)

Abstract A polarized multichannel camera used for measuring 2-D instantaneous vibration mode shapes is presented. The whole-field information of 2-D instantaneous vibration mode shapes at all phases of a vibration object can be recorded simultaneously on one specklegram in one step.

Key words polarized multichannel camera, laser speckle, 2-D instantaneous vibration mode shapes