

文[1]中方法的理论识别误差和式(13)不同之处仅在于采用了 $\delta p_0 = (\partial p / \partial \tau_0) \delta \tau_0$ 即用 $\delta \tau_0$ 控制 δp_0 。本文已阐明,如要提高识别精度,这是不可取的

参 考 文 献

1 陈春澄,庄表中,沈德先 关于测试物体转动惯量方法的探

讨.力学与实践,1992(6):48

2 徐铭陶,赵邦义,唐一科 复杂形体惯性张量约束三线摆非线性等效识别法 中国工程物理研究院院外基金项目总结报告,1993

(1996年7月18日收到第1稿,

1996年8月30日收到修改稿)

白光散斑剪切干涉术的统计理论和实验研究¹⁾

王开福

(扬州大学工学院,扬州 225001)

摘要 本文从散斑统计光学的基本原理出发,以随机过程理论为工具,进一步阐述了白光散斑剪切干涉术的统计特性,指出物面粗糙度和物面相干域应满足的一般条件,并对一般条件进行了实验验证,结果表明理论与实验保持一致

关键词 白光散斑剪切干涉,统计特性,位移导数,粗糙度,相干域

采用散斑剪切技术研测物体的位移导数场具有全场显示、非接触测量、光路简单和防震要求低等优点,因而目前已广泛地应用于无损检测领域。然而散斑是随机分布的统计光学现象,散斑剪切技术的统计特性的研究具有较大的难度,因此目前有关用统计光学方法对散斑剪切技术进行统计分析的研究工作报道很少,尤其是用统计光学方法对白光散斑剪切技术进行统计分析的研究工作还未见报道

我们基于散斑统计光学的基本原理,阐述了白光散斑剪切干涉术的统计规律,指出了研测位移导数场的一般条件^[1]。所得结论在3种特殊情形(空间完全相干或时间完全相干或空间和时间均完全相干)下同已有理论完全一致。本文继续上述的研究,进一步阐述了白光散斑剪切干涉术在一般情形下的统计规律,给出了白光散斑剪切干涉术应满足的一般条件,并进行了实验验证

1 理论分析

1.1 物面粗糙度的一般要求

¹⁾江苏省教委自然科学基金资助课题

物面随机打毛,人为改变金属表面的精细结构,使物面具有随机平稳的特性。为提高散斑条纹的质量,需要选择合适的物面粗糙度。物面太光滑,条纹质量要下降,其主要原因有2个:其一是在散斑图样的任一点,干涉波无足够的位相差以产生完整的相消干涉;其二是物面的空间频域变窄,使高频成份丢失。反之,物面太粗糙,条纹质量也要下降,其主要原因是光程差,容易超过相干长度而使非相干成份增加

根据文献[1]在白光散斑剪切干涉术中物面粗糙度应满足的一般要求为

$$\sigma_r = 0.19 \mu\text{m} \quad (1)$$

1.2 物面相干域的一般要求

当物面相干域线度大于物面剪切量时,被剪切后的两物光波到达像面上同一点时才会发生相干叠加,此时散斑条纹的质量最高。否则被剪切后的两物光波仅发生部分相干,甚至不相干。在白光散斑剪切干涉术中物面相干域应满足的一般要求为^[1]

$$d_c > \Delta \quad (2)$$

式中 d_c 为物面相干域线度, Δ 为物面剪切量, d_c 由下式表示

$$d_c = 1 / (1/d_s + 1/d_i)$$

$$d_s = \lambda / \Delta \alpha_{\max}, \quad d_i = l_i / (\alpha_{\max} + Q_{\max}) \quad (3)$$

式中 λ 为白光中心波长, l_i 为相干长度, $\Delta \alpha_{\max}$ 为光源对物点的最大张角, α_{\max} 和 Q_{\max} 分别为光源中心和光瞳中

心对物点的最大偏角, d_s 和 d_t 分别为物面空间相干域线度和时间相干域线度

由(3)式可知, 要提高物面相干域线度 d_c , 必须同时提高物面空间相干域线度 d_s 和时间相干域线度 d_t , 否则将不能有效提高物面相干域线度 ($d_c < \min [d_s, d_t]$). 另外由(3)式可知, 要提高物面相干域线度 d_s , 可缩小光源线度(提高光源空间相干性)或增大光源到物面的距离; 要提高物面时间相干域线度 d_t , 可缩小光谱宽度(提高光源时间相干性)或缩小物面尺寸或增大相机焦距或对称布置光路. 显然在光源空间和时间相干性一定时, 可通过增大光源到物面距离、缩小物面尺寸、增大相机焦距以及对称布置光路等方法而使物面相干域达到最大值. 否则即使光源的空间和时间相干性都较高, 若光路设置不当, 也可能得不到较大的物面相干域, 从而不能实现白光散斑剪切干涉术

2 实验技术

本文对用不同粒度的金相砂皮随机打毛的不同材质的试件进行了试验, 结果表明以精抛光后的铝试件用颗粒尺寸 $14\mu\text{m} \sim 16\mu\text{m}$ 的 W 14(03) 金相砂皮随机处理后效果最佳. 测量物面粗糙度得 α_R 约为 $0.2\mu\text{m}$.

本文选用多种白光光源进行了试验, 发现 GCQ 200 球型汞灯最为理想, 因为它具有发光线度小、光谱宽度窄和发生功率高等优点. 尽管 GCQ 200 球型汞灯的空间和时间相干性都较其它白光光源高, 但若用它直接照射物面, 所得物面相干域线度 d_c 仍达不到大于物面剪切量 Δ 的要求, 为此必须设法提高物面相干域线度 d_c 以达到大于物面剪切量的要求. 对此本文采取了以下一些措施: 采用小孔滤波器和干涉滤光片以进一步提高光源的空间和时间相干性, 在许可情况下尽量增大光源到物面的距离、缩小物面尺寸, 采用长焦距相机和对称布置光路以提高物面相干域线度

3 实验

3.1 实验 I 光楔型白光散斑剪切干涉实验

采用图 1 所示实验装置, σ 为 GCQ 200 球型汞灯(初级光源), L_0 为会聚透镜, F 为干涉滤光片(中心波长 546.1nm , 谱宽 2.0nm), σ 为直径 0.2mm 小孔滤波器(次级光源), M 为微型反射镜(直径 10mm), O 为直径 32mm , 周边固支, 中心集中加载的铝板, 表面用 W 14(03) 金相砂皮处理, C 为剪切镜(顶角 $\alpha = 10^\circ$), A 为双孔光阑(中心间距 $D = 20\text{mm}$, 各孔线度 $d \times d = 10$

$\times 10\text{mm}$), L 为相机镜头(焦距 360mm , 相对孔径 $1:4.5$, 按 $1:1$ 照相), I 为记录平面(像平面).

按上述要求布置的光路, 可得 $\alpha_R = 0.20\mu\text{m}$, $d_c = 1.11\text{mm} > \Delta = (n-1)\alpha d_0 = 1.05\text{mm}$. 图 2(a) 是在上述条件下得到的位移导数的全场等值条纹照片.

3.2 实验 II 离焦型白光散斑剪切干涉实验

所用实验装置如下: 移去图 1 中剪切镜, 并在离焦像面上记录散斑图, 像面离焦距 $S = 12\text{mm}$, 其余参数同实验 I. 此时可得 $\alpha_R = 0.20\mu\text{m}$, $d_c = 1.11\text{mm} > \Delta_{\text{max}} = S(D+d)/M$, $d_t = 0.50\text{mm}$. 图 2(b) 是在上述条件下得到的位移导数的全场等值条纹照片.

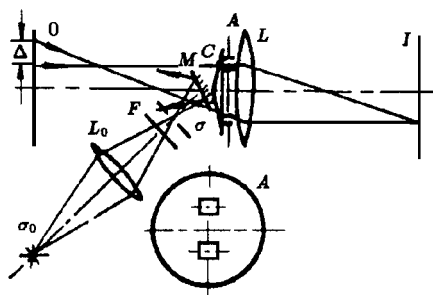


图 1 实验装置

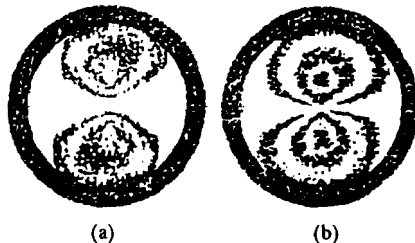


图 2 实验结果

4 结束语

本文进一步详细阐述了白光散斑剪切干涉术的统计特性, 指出了在白光散斑剪切干涉术中物面粗糙度和物面相干域必须满足的一般条件以及选择物面粗糙度和提高物面相干域的方法和途径, 并对所得结论进行了实验验证, 实验结果同理论分析一致

参 考 文 献

- 1 王开福等. 白光散斑剪切照相的统计分析. 实验力学, 1995, 10(2): 165~171

(本文于 1996 年 1 月 19 日收到)