

# 用换孔径法改善激光散斑图质量

赵 德 信

(东北重型机械学院)

## 提 要

本文提出了用两个孔径(单环和双环孔径)装置进行激光散斑干涉照相的方法,得到了光强分布比较均匀的衍射晕和较好的杨氏条纹照片。

## 一、引 言

为了改善用激光散斑干涉照相得到的干涉条纹的质量,人们<sup>[1~3]</sup>相继提出了用不同

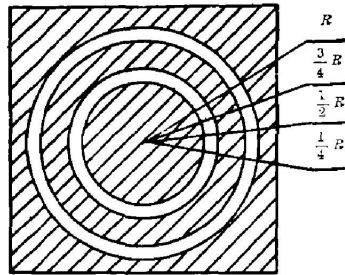


图1 双环孔径光阑( $R=22\text{mm}$ )  
Fig. 1 Diaphragm of biannular aperture ( $R=22\text{mm}$ )

孔径光阑进行照相的方法。文献[3]提出的环形(本文称为单环)孔径法,改善了单次曝光得到的散斑图的衍射晕中的光强分布。但是,在衍射晕边缘的光强提高的同时,却出现腰部(中心到边缘的中间部位)的大面积暗区[图3(a)]。为了改善衍射晕中的光强分布,作者曾采用双环孔径(图1)装置,从得到的单次曝光散斑图的衍射晕[图3(b)]中可以看出,虽然暗区消失了,但边缘附近还有暗环。为了进一步改善光强分布,本文通过联合使用单环和双环孔径,得到了较好的效果。

## 二、衍射晕中光强分布的计算

用激光散斑干涉照相,经二次曝光得到的干涉条纹是调制在单次曝光散斑图的衍射晕( $I_s$ )上,所以  $I_s$  的分布情况与干涉条纹质量密切相关。按文献[1, 3]有

$$I_s(u_1, u_2) = K |G(u_1, u_2) * G(u_1, u_2)|^2, \quad (1)$$

式中  $K$  为常数,由孔径的形状、尺寸决定;  $G$  为象场复振幅的傅里叶变换。由于  $G$  为实函数,所以双环孔径的光学传递函数就是  $G$  的自相关函数( $G * G$ )。对于不考虑象差的理想光学系统归一化的自相关函数可表示为<sup>[4]</sup>

$$G * G = \iint G(v_1, v_2) G(v_1 - u_1, v_2 - u_2) dv_1 dv_2 = S/A, \quad (2)$$

(2)式中的  $G$  已归一化,  $S$  为两个孔径错开后光瞳重叠区的面积,  $A$  为孔径的光瞳面积。利

用单环孔径装置得到的单次曝光散斑图的衍射晕和二次曝光散斑图的杨氏条纹,已由文献[3]解决。本文仅考虑如图1所示的双环孔径记录的情况。经计算,双环孔径的自相关函数,可表示为

$$G * G = f(\theta_i), \tag{3}$$

$\theta_i$ 是由两个双环孔径圆心引出的到两个双环孔径不同交点的一些半径与圆心连线的夹角,可根据几何图形的简单关系及公式(2)求得不同位置时  $G$  的自相关函数的具体表达式。对于单圆形孔径归一化自相关函数为

$$(G * G)_0 = \begin{cases} 0 & (u/2R) \geq 1, \\ (2\theta_1 - \sin 2\theta_1) / \pi & 0 \leq (u/2R) < 1, \end{cases} \tag{4}$$

式中  $R$  是圆的半径,  $u$  为两圆错开后的圆心间距离。

根据不同形状孔径的散斑图的总衍射光强相等的假定<sup>[5]</sup>来计算衍射晕中的光强分布。通过用定积分数值计算的辛浦森公式,按公式(2)和(4)求出  $(G * G)$  的平方积分,并令单圆形孔径的  $K_0 = 1$ ,用计算机算得双环孔径归一化系数  $K_1 = 5.713$ 。再按公式(1)求得各点的光强(相对值),如图2所示。

图2中的曲线①为文献[3]提供的单环孔径(半径比  $\eta = 5/6$ )时,得到的衍射晕中的光强分布曲线,从曲线①可以看出,衍射晕边缘的光强提高了,但是在腰部却存在大面积的暗区;曲线②为本文计算出的用双环孔径装置时得到的衍射晕中光强分布曲线,从曲线②中可看出,衍射晕腰部的光强提高了,暗区消失,但中心附近光强有所降低(这也是希望的),同时又保证了边缘有一定光强,然而,边缘附近仍然存在一个暗环。上述理论分析结果分别在实验所得的图3(a)、(b)的照片中得到证实。

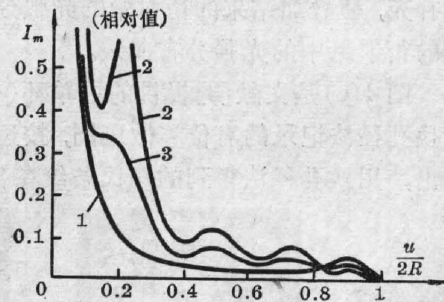


图2 无位移散斑图的衍射晕中的光强分布(局部截面图)  
Fig. 2 The intensity distribution of the diffraction halos from undisplacement speckle patterns (partial profiles figure)

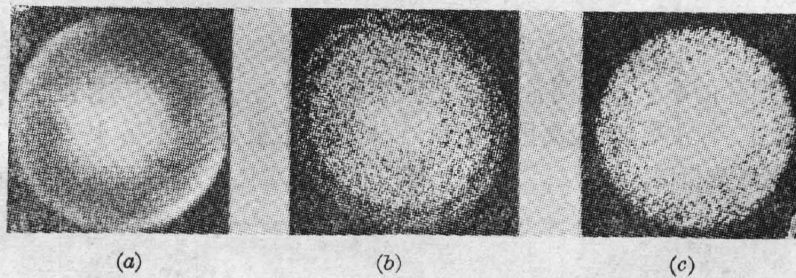


图3 无位移散斑图的衍射晕

(a) 单环孔径; (b) 双环孔径; (c) 换孔径法

Fig. 3 The diffraction halos from undisplacement speckle patterns

为了进一步改善衍射晕中的光强分布,作者提出了换孔径的方法,即用两个孔径(单环和双环)装置进行散斑照相的方法。

### 三、实验结果

用 2.1 mW 的 He-Ne 激光照射毛玻璃, 在透射光的方向上, 放置焦距  $f=210$  mm 的透镜, 将国产“天津 I 型”的干板放在成像的位置上。

图 3(a) 是文献[3]提供的用单环(半径比  $\eta=5/6$ )装置单次曝光(无位移)得到的散斑图的衍射晕; 图 3(b) 是用双环装置单次曝光得到的散斑图的衍射晕; 图 3(c) 是用换环法记录的无位移散斑图的衍射晕。从图 3(c) 照片可看出: 暗区和暗环都不存在了。这是由于我们合理地选择单、双环尺寸, 使得用单环记录得到的散斑图的衍射晕中, 其光强弱的部位, 刚好是用双环得到的衍射晕中的光强的部位, 前者光强强部位又刚好是后者光强弱部位, 互相补充, 使叠加结果的衍射晕的光强分布均匀程度更好。图 2 中的曲线③是用换孔径法得到的衍射晕中的光强分布曲线。

图 4(a) 是文献[3]提供的用单环( $\eta=5/6$ )得到的杨氏条纹; 图 4(b)、(c) 分别是用双环和换孔径法记录的有位移散斑图, 按逐点分析法得到的杨氏条纹。从照片对比可以明显地看出: 用换孔径法得到的杨氏条纹在各处对比度均匀。

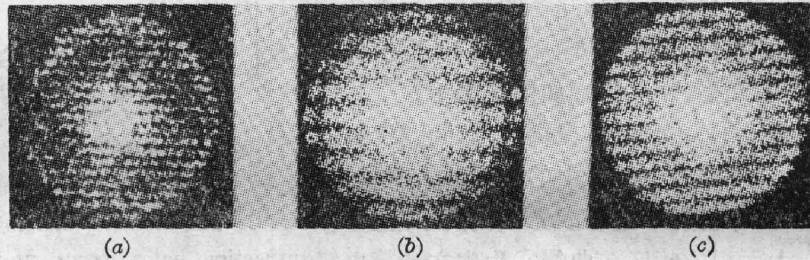


图 4 按逐点分析散斑图得到的杨氏条纹  
(a) 单环孔径; (b) 双环孔径; (c) 换孔径法

Fig. 4 Young's fringes obtained by pointwise analyzing for speckle patterns

### 四、结 论

综上所述, 用换孔径法进行激光散斑照相所得到的条纹是调制在光强分布比较均匀的衍射晕上, 改善了照片的质量。给测量带来两个优点: (1) 在全场分析时, 由于条纹在边缘附近也很清楚, 所以, 可在离轴(距离用  $y$  表示)较远的滤波孔进行观测, 从而提高了条纹的灵敏度。(2) 在逐点分析时, 由于条纹在各处都有较好的对比度, 所以, 可以逐点测出精确的结果。

### 参 考 文 献

- [1] R. P. Khetan, F. P. Chiang; *Appl. Opt.*, (1976), **15**, No. 9 (Sep), 2205.
- [2] F. P. Chiang, R. P. Khetan; *Appl. Opt.*, (1979), **18**, No. 13 (Jul), 2175.
- [3] 王策;《光学学报》, (1982), **2**, No. 6 (Nov), 523.
- [4] 庄松林, 钱振邦;《光学传递函数》, (机械工业出版社, 1981年), 146.
- [5] 同[3], 525.

## Quality improvement of laser speckle patterns by the method of changing aperture

ZHAO DEXIN

(The North-East Heavy Machinery Institute)

(Received 8 April 1983)

### Abstract

This paper puts forward a method of taking a laser speckle pattern interferential photograph recorded by two apertures (an annular and biannular aperture). It gives more homogeneous diffraction halo of distribution of light intensity and better Young's fringes image.

~~~~~  
(上接第 845 页)

V. Chebotaev 院士作了“光学时间标准”的报告, 引起与会者的兴趣。值得提及的是我国计量科学研究院赵克功等同志所作的 640 nm 波段内碘分子的超精细结构和碘稳定的 640 nm<sup>3</sup>He-<sup>22</sup>Ne 激光器的工作, 不但使代表们对碘分子有了新的了解, 而且可以利用这些谱线对 640 nm 的<sup>3</sup>He-<sup>22</sup>Ne 激光进行稳频, 从而建立 640 nm 波段的新波长标准, 供精密干涉测量、高分辨率激光光谱和复现新米定义的应用。美国国家标准局 R. E. Drullinger 等人的“可见激光的直接频率测量, 重新定义米长度”一文与赵克功等人的文章堪称异曲同工。爱尔兰三一学院的 D. J. Bradley 教授介绍了他们已设计出的新条纹成像管(Photochron III), 其空间分辨率达 200 fs 或更短, 它可用于单次运转(条纹或帧), 亦可用于同步扫描方式。

总的来说, 这次会议无论从组织的水平或论文的水平来看, 代表们一致认为符合国际水准的, 会议开得很成功。至于对我国代表们来说, 尚存在英语表达能力不够的问题。从论文来说, 还反映出我国激光领域的工作, 尚存在一些严重的缺陷, 最突出的是: 比较重要的应用工作的论文很少, 比较成功的应用工作的论文很少, 涉及激光器件、特别是新型激光器件的论文很少。

(乙 凡)