

一种全方位激光束检测仪*

徐德行

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 基于单平板的两种旋转特性(绕表面中心法线及绕入射光束光轴旋转), 作者提出了一种任意剪切方向的全方位剪切干涉仪, 这不仅对于旋转对称光束、尤其对于非旋转对称激光束的定量检测具有十分重要的应用价值。文中描述了该仪器原理、参数及应用实例。

关键词 全方位, 准直性, 发散性, 非旋转对称。

1 引 言

针对以往准直检验若干技术^[1~5]的不足, 最近, 作者提出的旋转单平板剪切干涉仪, 它通过一块单平板绕其前表面中心法线的二次旋转^[6~8], 使得旋转对称波面给出高灵敏度的定量结果。然而, 对于某些未知的非旋转对称波面, 重要的是必须检测不同方位(至少二维)的波面形状变化。为此, 曾有人寻求正交二维剪切干涉术^[9~11], 但由于其明显的缺欠而未被推广沿用。

本文在先前工作基础上, 基于单平板存在两种有意义的旋转方式, 提出一种新型全方位(任意方向)剪切干涉仪, 它可以得到连续的或任选方位的干涉图形。这种全方位剪切干涉仪可以应用于: 1) 激光束旋转对称性的检测; 2) 像散光束、彗差光束的检验; 3) 球差及离焦系统的检测; 4) 激光束发散性及波面特性及曲率半径的检测; 5) 光学系统装校质量的检验等。

2 全方位剪切干涉原理

将一单平板旋转方式分解为图 1 中的(a), (b), (c) (d)四个图可以方便地理解其全方位剪切干涉原理。

2.1 X 方向上的剪切干涉

如图 1(a)所示, 被检测光束与一块具有小楔角 β 的平板 P 的法线 B_0B_1 约成 45° 角入射, 经平板 P 前、后两表面反射形成的干涉条纹方向及宽度与平板 P 的楔角方向及被检测光束特性有关。当平板绕其前表面中心法线 B_0B_1 为轴转动时, 条纹方向及宽度亦随之改变, 由此可定量测出波面半径、准直性及光学系统的离焦量。不过, 在这种情况下, 无论平板旋转怎样的角度, 被检测光束仅仅是在图中 X 方向上的一维横向剪切。

* 中国发明专利号: ZL92108417. X。

收稿日期: 1994 年 10 月 31 日

2.2 Y 方向上的剪切干涉

当平板 P 绕入射光束光轴 A_0A_1 旋转 ω 角时, 被检验光束同样经平板 P 前、后表面反射后将在相应方位上获得横向剪切。图 1(b) 表示在图 1(a) 的位置之后平板 P 绕 A_0A_1 轴旋转 $\omega = 90^\circ$ 后光束 Y 方向的剪切。实际上, 这一旋转过程已包括了在 X-Y 坐标系中的第一和第三象限内的光束任一方位剪切。

2.3 全方位剪切干涉的完成

图 1(c) 表示在图 1(a) 的位置后平板 P 绕 A_0A_1 轴旋转了 $\omega = 180^\circ$, 即与图 1(a) 类似, 在 X 反方向上的剪切。事实上, 平板 P 转到此位置时, 已完成了 X-Y 坐标系中第二和第四象限内的任一方位的剪切。即完成了全方位剪切。图 1(d) 示出了相对于图 1(a) 平板 P 旋转了 $\omega = 270^\circ$ 的示意图。由图 1 分析很容易看出:

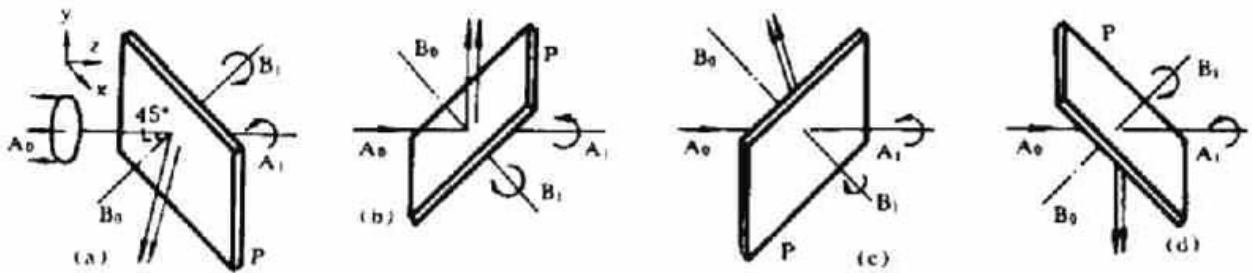


Fig. 1 Schematic diagram of all-azimuth shearing interferometer.

1) 绕入射光束光轴旋转平板 P 180° , 即能完成被检测光束任意方位的横向剪切干涉;

2) 通过求出任意两正交方位上(例如子午与弧矢方向上)波面曲率半径, 即可很容易求得波面的象散量。

3) 在任一需要测量的方位上, 再通过平板 P 绕其前表面中心法线的旋转, 按文献[8]便可很容易地定量求出光束的某些参量。

3 仪器简介

仪器外型如图 2 所示。它是由入射光管的固定部分及其连接的转动两部分组成。固定部分安装在一可垂直升降 $\pm 40\text{mm}$ 的支座上。转动部分包括: 绕入射光轴转动的机构、并由精

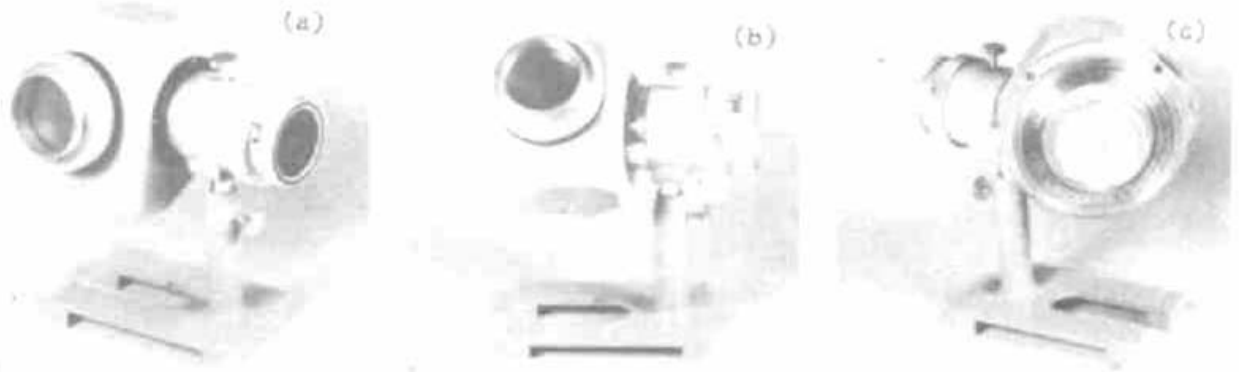


Fig. 2 Photos of the instrument: (a) observing screen in horizontal direction; (b) the screen in other direction; (c) back circular scale

度为“ $^\circ$ ”的度盘示出剪切的方位角, 以及绕平板 P 前表面中心法线转动的机构、并同时由另一度盘示出转动角度, 其直读精度为 $6'$ 。另外, 转动部分中的干涉图形观测屏由固定分划板和可转动分划板组成, 其中转动分划板由外环角度度盘随时示出一定剪切方位角的条纹倾角。

该仪器可测两种光束口径 50 mm 及 85 mm(特殊要求可专门设计)、光学系统最小离焦量 1 μm 和光束最小发散角 0.02 mrad 以下,以及可定量、定性地给出若干光束特性及参数。

4 应用概述

4.1 光束旋转对称性的检验

一束良好的旋转对称性的激光光束,不同方位上剪切干涉条纹宽度及方向应基本一致,如图 3(a)所示。当光束的旋转对称性受到干扰或破坏时,不同方位上剪切干涉图形亦表现出明显不对称性,图 3(b)表示光束传输时受火焰影响,其在各方位上的剪切干涉图。可见,本仪器将为流场的全方位检测提供了一种方便的工具。

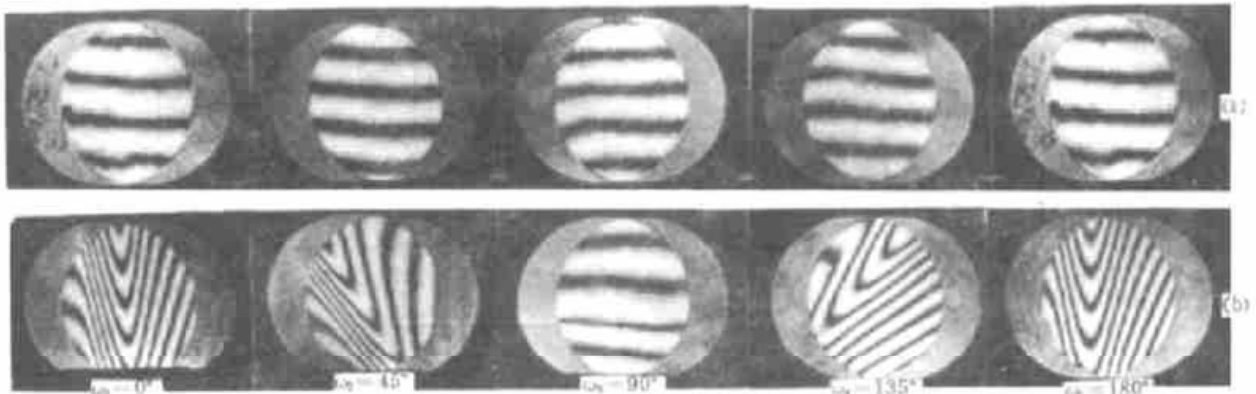


Fig. 3 Shearing interferograms obtained in varying azimuth (a) laser wavefront with rotatable symmetry (b) laser wavefront with rotatable asymmetry

4.2 离焦、准直性及球差的检测

根据要求,可分别给出被测系统的离焦量 Δf , 光束的发散性 $\theta^{[8]}$,

$$\Delta f = (1/S)n\beta f^2 \tan \alpha, \quad \theta = (D/S)n\beta \tan \alpha \quad (1)$$

式中 n , β 分别为平板 P 材料的折射率及楔角; S 为剪切量; α 为干涉条纹与水平轴的倾角; D 为被测光束口径。

仅有球差的波面或球差又含有其它象差的波面将从不同方位的剪切中辨认出来。图 4 表示一广角平行光管物镜存在球差的波面剪切干涉图形。



Fig. 4 Typical interferogram of a lens with spherical aberration

4.3 波面曲率及其特性的判定

当得出 Δf 或 θ 后,便可算出被测光束波面的曲率半径。

$$R = f^2/\Delta f = D/\theta \quad (2)$$

不同方位上求得 R 值的平均值即是波面的“平均曲率半径”。

准直、发散或会聚光束的判定或说判定光学系统是焦前离焦还是焦后离焦如图 5 的规定。

4.4 象散检测

能定量检测象散是对激光束准直检测仪^[4]的明显改进。不同方位剪切时,若条纹数目改变,则说明光束存在象散。象散并不一定在垂直或水平方向上最大,可通过几个典型的方位、选定两相互垂直的波面半径 R 差值最大,以计算其象散量 st , 其值可表示为

$$st = f_0^2(R_v - R_{v+90})/R_m^2 \quad (3)$$

式中 R_v 及 R_{v+90} 分别为彼此垂直方位上的波面半径值; R_m 为平均波面半径; f_0 为无象差的透

镜焦距。若设在 45° 方位上测得 $R_{45} = 50$ m, 在 135° 方位上测量得 $R_{135} = 40$ m, 而各方位上半径平均值 $R_s = 46$ m, 用一焦距 $f_0 = 1$ m 透镜, 则象散量 $st = 4.7$ mm。

4.5 彗差检测

作者在文献[13]中早已指明, 剪切方向与彗差方向相同时, 干涉条纹为椭圆或近于椭圆, 两者垂直时为双曲线簇。图 6 中的彗差方向在水平方向上, 故 ω_1 与 ω_2 相同为椭圆形, ω_3 图的彗差方向与剪切方向垂直故为双曲线, ω_4 与 ω_5 在两者之间。

| fringe orientation | indicative of graduator | | wavefront form | defocusing feature |
|--------------------|---------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|
| | about 0° (360°) | about 180° | | |
| | | | | at the back of focus |
| | | | | at focus |
| | | | | at the front of focus |

Fig. 5 Discrimination of converging, collimated or diverging beam on the screen

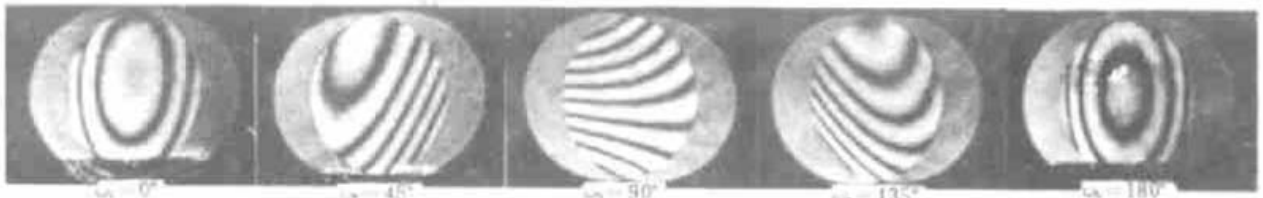


Fig. 6 Shearing interferogram of coma in varying shearing azimuth (coma direction parallel x-axis)

4.6 光学系统装校的检测

一个典型例子, 在高功率激光系统研究与监测中, 常常使用大口径缩束或扩束系统, 应用本仪器是检测这类系统最方便的工具。一种检测方案如图 7 所示, 简述如下: 已用本仪器 1 检测过, 精度优于 0.02 mrad 的平行光管 2 出射口径 $\varnothing 60$ mm 的平行光, 经半反半透分光板 3 反射后, 入

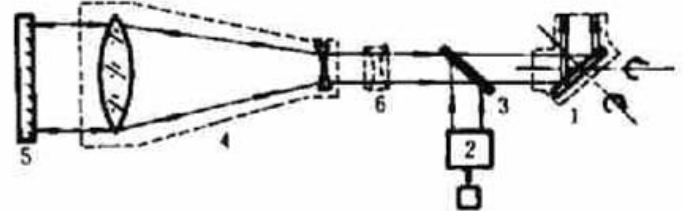


Fig. 7 Schematic diagram of testing and measuring beam expander with large aperture

射至被检测的扩束系统 4、扩束到 $\varnothing 250$ mm 出射后, 由全反射标准平面反射镜 5 反射后沿原路返回, 再经过分光板 3 透过后进入本仪器 1。当扩束系统质量良好时, 将得到与平行光管 2 出射的平行光基本一样的结果, 不一致性反映了扩束系统的质量或精度。图 8 表示用该方案所得的检验图形, 其中(a)表示由平行光管出射的良好的准直光束的图形; (b)表示经扩束仪后的最终检验结果图形。据测试及(2)式计算发散角 $\theta = 0.039$ mrad。由于该系统对波长 1.06 μm 进行象差校正, 检验时又未加补偿系统, 再之加工质量等因素, 图形有微量球差存在。

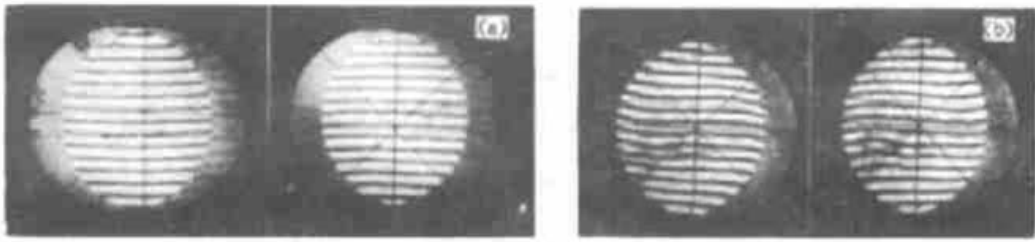


Fig. 8 Typical shearing interferogram obtained with the arrangement of Fig. 7 (a) from collimator 2 and (b) testing a beam expander (noticing difference between left and right fringe pattern)

结 论 一种定量、多用、新型的全方位激光束检测仪已经研制成功。其精度分析和精度比较与文献[8]类似。它的多种特点必将在激光与光学实验与生产教学中获得日益广泛的应用。

在本仪器的设计、装调与实验过程中,曾得到陈淑琴、陈扬霖、沈良、郑朝恩、蒋玉柱、钱玉兰、戴美兰等同事的帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] M. V. R. K. Murty, The use of a single plane parallel plate as a lateral shearing interferometer with a visible gas laser source. *Appl. Opt.*, 1964, 3(4): 531~534
- [2] P. Langenbeck, Improved collimation test. *Appl. Opt.*, 1970, 9(9): 2590~2593
- [3] D. Malacara (ed); 白国强等译, 光学车间检验, 北京机械工业出版社, 1983: 120~122
- [4] M. P. Kothiyal, R. S. Sirohi, K. J. Rosenbruch, Improved techniques of collimation testing. *Opt. & Laser Technol.*, 1988, 20(3): 139~144
- [5] R. P. Shukla *et al.*, Laser beam collimation using a phase conjugate Twyman-Green interferometer. *Opt. Engng.*, 1991, 30(4): 388~390
- [6] Deyan Xu, K. J. Rosenbruch, Rotatable single wedge plate shearing interference technique for collimation testing. *Opt. Engng.*, 1991, 30(4): 391~396
- [7] 徐德衍, 沃敏政, 检测光束准直的剪切干涉仪。中国发明专利, 专利号, ZL90101910.0.
- [8] 徐德衍等, 激光束准直检测仪: 原理、功能与精度。《光学学报》, 1993, 13(2): 156~160
- [9] J. B. Saunders, A simple interferometric method for workshop testing of optics. *Appl. Opt.*, 1970, 9(7): 1623~1629
- [10] J. C. Wyant, Double frequency grating lateral shear interferometer. *Appl. Opt.*, 1993, 12(9): 2057~2060
- [11] 王润文等, 气动流场的光学测量。《中国激光》, 1979, 8(2): 40~43
- [12] 徐德衍 编著, 剪切干涉仪及其应用。北京, 机械工业出版社, 1987, 80~81: 223~228

All-Azimuth Shearing Interferometer for Testing Laser Beams

Xu Deyan

(Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 31 October 1994)

Abstract A novel all-azimuth shearing interferometer has been developed to evaluate and measure collimation, divergence and other parameters of laser beams and the amount of defocusing in systems of collimator and beam expander. It also can be used to test wavefront aberrations and to adjust optical systems. In this paper, the basic principles of all-azimuth shearing, characterization of the tester and its applications are described.

Key words All-azimuth, collimation, divergence, rotatable asymmetry.