

球面补偿法测量透镜焦距研究

赵明山 荆亚玲* 李艺* 李国华

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜, 273165)

摘要: 基于球面补偿原理和自参考单板剪切干涉技术, 提出了一种测量焦距的新方法。该方法装置简单, 测量方便, 精度高, 信息丰富, 不仅可用于焦距测量, 而且还可给出光学球面的曲率半径等参数。文中详细分析了测量原理, 并给出了不同透镜的测量结果。

关键词: 光学球面 透镜 焦距 测量

Focal length measurement using the method of compensation of spherical mirror

Zhao Mingshan, Jing Yaling, Li Yi, Li Guohua

(Laser Institute, Qufu Normal University)

Abstract: A new method for focal length measurement is presented based on the self-reference single plate shearing interferometric technique and compensation of spherical mirror. The method has the advantages of simple, high accuracy and plentiful information. It can also be used for the determination of the radius of curvature of a spherical surface. Principle of the method and experimental results for different lens are given in detail.

Key words: shearing interferometry lens focal length measurement

31 引言

光学透镜焦距测量是光学测试领域的重要课题之一。根据不同的原理和要求, 人们已相继提出了许多测量方法和技术, 如平行光管法、自准直显微镜法, 莫尔衍射法^[1]和 Talbot 干涉法^[2]等。本文基于笔者新近提出的自参考单板剪切干涉技术, 利用球面补偿原理, 提出一种新的焦距测量方法。该测量方法, 装置简单, 精度高, 在获得透镜焦距的同时, 还可给出有关光学球面参数的丰富信息(如曲率, 面形质量等)。因此, 不仅在高精度焦距测量中可获得广泛应用, 而且可为透镜和光学球面参数综合分析提供一种有效手段。

* 曲阜师范大学物理系。

二、测试理论和方法

该测量的基本思想是,根据自参考单板剪切干涉技术准直性检验精度高的特点,利用光学球面反射补偿处于离焦状态下,待测透镜所产生的光束发散性,使探测光束返回后保持准直,通过测量此状态的离焦量确定待测焦距。具体原理光路如图 1 所示。

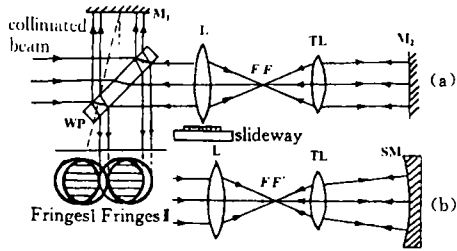


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

平行表明入射光束为准直光束(详细原理介绍见参考文献[3])。L 和 TL 分别为准直透镜和待测透镜。入射准直光束经平板 WP,分成反射和透射两部分。反射部分包括前后表面反射光束并形成剪切干涉条纹 I,透射光束此时作为探测光束保持准直并经透镜 L 汇聚在 F' 点。如果待测透镜的焦点 F 恰好与 F' 点重合,即待测透镜处于定焦位置,光束经 TL 后为准直光束,此光束由平面镜 M₂ 反射而原路返回到平板后,仍保持原准直状态(如图 1a 所示),其在平板 WP 上反射形成的剪切干涉条纹 II 将与条纹 I 平行。如果待测透镜 L 偏离定焦位置,则光束经 TL 后变为非准直光,经 M₂ 反射到 WP 亦为非准直光束。这种非准直性可采用球面反射系统进行补偿,即由一球面反射镜 SM 替代平面反射镜 M₂,L,TL 和 SM 三者可构成一自准直系统。经 TL 发散光束的波阵面与 SM 的反射球面重合时,光束将原路返回,保持到达 WP 仍为准直光束(如图 1b 所示)。设此时待测透镜的离焦量为 x,球面镜曲率半径为 R,球面镜顶点与待测透镜的焦点距离为 D(如图 2 所示)。

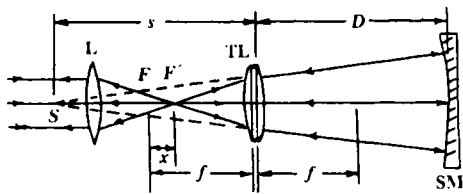


Fig. 2 Schematic drawing showing the related optical parameters for focal length measurement

根据牛顿公式,上述各参数满足关系:

$$R = s + D \tag{1}$$

式中, s 满足关系

$$x(s + f) = f^2 \tag{2}$$

(1), (2)两式合并:

$$R = f^2/x - f + D \tag{3}$$

上式即为焦距测量的基本关系式。

很明显,已知 R, 测得 x 及 D, 由(3)式即可求得待测焦距 f。然而,实验中, D 的测量需要精确确定待测透镜后焦点的位置及球面反射镜中心点位置,过程复杂。另外,测量中需要已知曲率半径的球面镜,也给实验带来很大的不便。为此,我们采用二次测量法,以避免 D 和 R 的直接测量。轴向移动球面镜到 D₁, 相应的离焦量则调整为 x₁, 此时与(3)式同理有:

$$R = f^2/x_1 - f + D_1 \tag{4}$$

(4)式减(3)式得:

$$0 = f^2/x_1 - f^2/x + D_1 - D \tag{5}$$

即

$$f = [x_1 x / (x_1 - x) d]^{1/2} \tag{6}$$

式中, $d = D_1 - D$ 为球面镜轴向位移量。(6)式中不含 R 和 D , 只与离焦量 x, x_1 和 d 有关。显然, 此时只需测知两离焦量 x, x_1 及球面镜移动距离 d , 即可由(6)式定出待测焦距 f 。由于 x, x_1 可由自参考剪切干涉仪精确读出, d 通过简单的游标尺即可获得具有足够精度的数据, 因此测量简便, 并具高精度。

三、实验测量及误差分析

根据上述测量理论和方法, 实验测量了两不同焦距的透镜, 结果由附表给出。

Table Values of f for various values of d

test lens	d (mm)	D_1 (mm)	D (mm)	x_1 (mm)	x (mm)	f (mm)
1 [#]	200	1000	800	21.015	18.312	168.74
	400	1200	800	24.753	18.312	167.78
	600	1000	400	21.015	14.572	168.87
	800	1200	400	24.753	14.572	168.35
2 [#]	200	1000	800	6.297	5.405	87.36
	400	1200	800	7.535	5.405	87.45
	600	1000	400	6.297	4.226	87.79
	800	1200	400	7.535	4.226	87.74

实验中选择不同的球面镜位置 D (变化范围 400~1200mm), 以实现不同 d 值条件下的测量, 结果显示出良好的一致性, 并且与透镜原给定标准值 $f_1 = 168.3\text{mm}$ 和 $f_2 = 87.2\text{mm}$ 符合很好, 表明了该测量结果是可靠的。

根据(6)式和误差理论知, f 的测量误差主要决定于离焦量 x 和 x_1 的测量误差 δx 和 δx_1 及 d 的测量误差 δd 。具体形式为:

$$\Delta f/f = (1/2) \{ [1 - x_1/(x_1 - x)] \delta x_1/x_1 + [1 + x/(x_1 - x)] \delta x/x + \delta d/d \} \quad (7)$$

考虑到 $\delta x_1 \approx \delta x$, 上式则可写为:

$$\Delta f/f = [(1/x_1 + 1/x) \delta x + \delta d/d] / 2 \quad (8)$$

离焦量测量误差由自参考剪切干涉仪的定焦精度决定。在我们的实验中, 所采用的准直透镜 L 的焦距约为 150mm, 相应的干涉仪的定焦精度为 $0.03\text{mm}^{[3]}$, 所以, $\delta x = 0.03\text{mm}$ 。 d 的测量采用游标尺, $\delta d = 0.1\text{mm}$ 。因此, 测量 f 的相对误差为:

$$\Delta f/f = 0.3\% (f = 168.3\text{mm})$$

$$\Delta f/f = 0.5\% (f = 87.2\text{mm})$$

如果采用更大的 D 值, 离焦量 x 及 d 相应增大, 由(8)式知, f 的测量误差可进一步降低。

四、讨论

综上所述, 基于自参考剪切干涉技术, 采用上述球面的反射补偿方法, 可方便地测量透镜焦距。实际上, 上述方法还可同时确定出所用球面镜的曲率半径 R 。根据基本关系式(3)可

版权所有 © 《激光技术》编辑部