

用环形横向剪切干涉法精密测定 透镜的折射率和色散

向才新 侯 澍

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

提 要

本文采用环形横向剪切干涉法和折射计相结合来测定透镜或胶合透镜的折射率和色散。讨论了该方法的测量精度及提高灵敏度等有关问题。

关键词: 横向剪切, 干涉条纹花样, 色散。

一、前 言

为剖析镜头的结构特点,除了测定镜头中各透镜的厚度、曲率半径和透镜间的间距外,确定透镜的玻璃牌号、即非破坏测定透镜的折射率和色散,则是非常重要的一环。这种技术愈来愈受到重视,出现了多种测量方法。如:Обреимов的衍射条纹法^[1],Захарьеский的比较法^[2],Smith的焦度计测量法^[3],Kasana和Rosenbruch的平板横向剪切干涉法^[4]和光栅法^[5],陈开显^[6]、舒朝濂^[7]等人的光学常数法。但是,这些方法都有这样或那样的局限性或不足之处。如:(1)除精密测定液体的折射率外,还须精密测定其他光学常数,如焦距、谱线间距、曲率半径、厚度等值,因而较难实现精密测定,而且被测透镜只限于薄的或平凸的,如文献[3]、[4]、[5]、[6]、[7]等方法那样;(2)如文献[4],根据所测某一特殊激光波长的折射率,不便于来判断被测透镜玻璃是何种牌号;(3)如Обреимов方法^[1],必须有一套折射率和厚度均为已知的标准块,且观测不甚方便。为克服以往诸方法的缺点,本文提出环形横向剪切干涉法,如下述。

二、测试原理与方法

如图1所示,单色仪的出口针孔光阑,位于照明准直物镜的焦点处,来自单色仪的单色光经照明准直物镜后成为平行光,通过放有被测透镜的液槽,变形后的波面入射到环形横向剪切干涉仪中,经分束板后的两光波,如图1中所示的等光程环行^[8],再次经分束板,相互错开一间距,即剪切量 S 。通过准直物镜、观察被测透镜区域内外的干涉条纹。在某一单色光照明下,当被测透镜玻璃的折射率与浸液的折射率相同时,则位于被测透镜区域内外的干涉条纹花样与没有放置被测透镜时的花样一样,如图2(a)所示;反之,则位于被测透镜区域内外的干涉条纹花样就有明显的差别,如图2(b)所示。

收稿日期: 1988年3月7日; 收到修改稿日期: 1989年1月16日

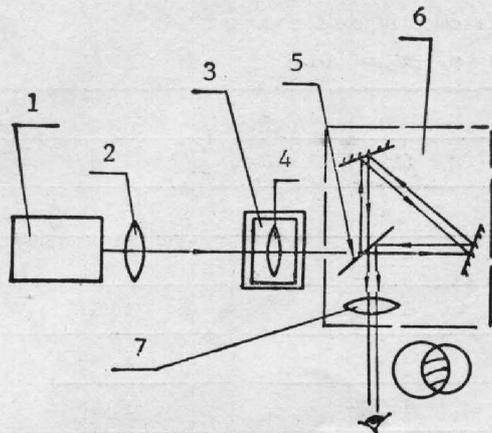


Fig. 1 Optical schematic of refraction index measurement of lens

1—monochromator; 2—collimator lens; 3—liquid trough; 4—lens under test; 5—beam splitter; 6—encircling lateral shearing interferometer; 7—collimator lens

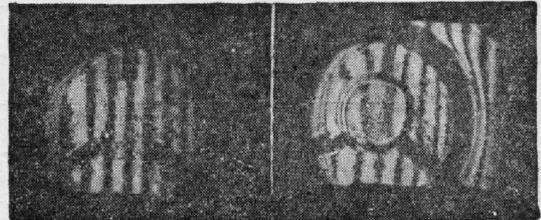


Fig. 2

(a) The interference pattern appeared when the refraction index of liquid became the same as that of the lens. (b) The interference pattern appeared when the refraction index of liquid is not the same as that of the lens. The inner circle is the periphery of the lens tested

液槽中的浸液是溴代萘和煤油(或其他液体)的混合液^[9]。一般情况下,被测透镜玻璃的色散曲线不同于浸液的,两者的色散曲线必有交点。在交点处,两者的折射率相同。多次改变浸液成分的比例,可以得到很多个这样的交点,如图3中 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_n 处所示。

对某一定成分比例的浸液,旋转单色仪鼓轮,通过观测干涉条纹的花样来确定,在某一波长时,被测透镜玻璃的折射率与浸液的折射率相同。这时用棱镜折光仪测得该波长时的液体折射率,也就测得了同一波长时的被测透镜玻璃的折射率。适当改变浸液的成分比例,按同一方法,可以测得被测透镜玻璃多种波长时的折射率。最后,用内插法求解所需特定波长的折射率和色散。

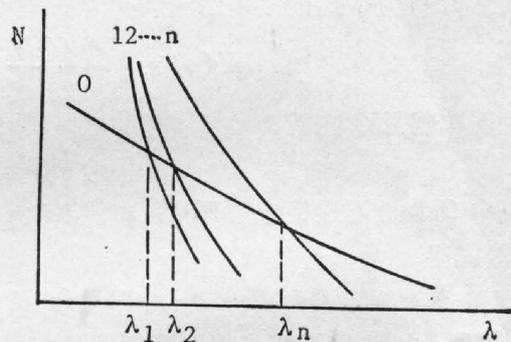


Fig. 3 The intersecting points of dispersion curves of various liquides with that of lens tested

0—dispersion curve of probe tested
1—
2—
⋮—
n—
—dispersion curve of various liquides

三、测试结果和测量误差分析

在恒温(20°C)控制下,按上述原则,测量某显微物镜的几片透镜,其结果如表1所示。由所测结果,可以判断该镜片玻璃牌号为TF₃。

整个测量过程包括两个主要步骤:

1. 由于干涉条纹的花样判断浸液折射率 N_L 与被测透镜的玻璃折射率 N_G 是否相同
 设 $d(\rho)$ 为被测透镜某一点处的厚度,它是径向位置坐标的函数。当 $N_L \neq N_G$ 时、平

Table 1 The measured value of refraction index for various wavelength Mean dispersion = $n_F - n_G = 0.01341$

order	λ		
	6563 (C)	5893 (D)	4861 (F)
	n		
1	1.60462	1.60876	1.61870
2	1.60450	1.60861	1.61754
3	1.60488	1.60844	1.61754
4	1.60454	1.60848	1.61843
Average value	1.60464	1.60857	1.61805
Precision	$< 3 \times 10^{-4}$	$< 3 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-3}$

面光波通过被测透镜后的光程差近似为:

$$W'(\rho) = (N_G - N_L)d(\rho), \quad (1)$$

波面差为 $W'(\rho)$ 的波面通过剪切量为 S 的环形横向剪切干涉仪后, 其干涉条纹的花样(移动、弯曲)为下式近似表示^[10]:

$$W(\rho) \doteq S \frac{\partial W(\rho)}{\partial \rho} \doteq S(N_G - N_L) \frac{\partial}{\partial \rho} [d(\rho)], \quad (2)$$

为简单起见令

$$d(\rho) = C \pm A\rho^n, \quad (n \geq 2, A > 0) \quad (3)$$

式中 C 为被测透镜中心厚度; A 值取决于被测透镜的曲率半径; 为正整数。将 (3) 式代入 (2) 式得

$$W(\rho) \doteq SAn(N_G - N_L)\rho^{n-1}, \quad (4)$$

2. 由 V 棱镜折光仪测得浸液的折射率 N_L , 以此来确定被测透镜玻璃的折射率 N_G

根据 (4) 式

$$N_G \doteq N_L + [W(\rho)/SAn\rho^{n-1}], \quad (5)$$

微分 (5) 式, 得到 N_G 的测量误差 ΔN_G 为

$$\Delta N_G = \Delta N_L + [\Delta W(\rho)/SAn\rho^{n-1}],$$

式中, $\Delta W(\rho)$ 为横向剪切干涉法的目视灵敏度; ΔN_L 为浸液折射率 n_L 的测量误差, 它取决于环境温度的改变量 $\Delta N_T = K_1 \Delta t$ ^[11]、单色仪波长值标定误差 $K_2 \cdot \Delta N_0$ 和 V 棱镜折光仪的读数精度 ΔN_V 等因素。于是 (6) 式可改写为

$$\Delta N_G = K_1 \Delta t + K_2 \Delta N_0 + \Delta N_V + \frac{\Delta W(\rho)}{SAn\rho^{n-1}}, \quad (7)$$

(7) 式表明: (1) 测量精度随被测透镜面的曲率增加而增加; (2) 为了提高测量精度, 必须考虑恒温控制、精密标定单色仪的波长值、采用精密的折射计、增加剪切量 S 和提高干涉仪的灵敏度等等。

表 2 为根据 (7) 式计算在不同测试条件下所得的测量精度 ΔN_G 。计算结果表明, 本方法在通常情况下就可以达到 $\Delta N_G \doteq 4 \times 10^{-4}$, 能较准确地判断被测透镜的玻璃牌号, 也有可能

Table 2 The measurement precision ΔN_G for various test conditions

	Normal condition	Better condition	Best condition
Δt	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	$\pm 0.1^\circ\text{C}$	$\pm 0.01^\circ\text{C}$
k_1	$6 \times 10^{-4}/1^\circ\text{C}$	$3 \times 10^{-4}/1^\circ\text{C}$	$2 \times 10^{-4}/1^\circ\text{C}$
ΔN_G	10 \AA	5 \AA	2 \AA
k_2	$6 \times 10^{-6}/10 \text{ \AA}$	$6 \times 10^{-6}/10 \text{ \AA}$	$6 \times 10^{-6}/10 \text{ \AA}$
$\Delta W(\rho)/S \cdot A \cdot n \cdot \rho^{n-1}$	$< 5 \times 10^{-5}$	$< 2 \times 10^{-5}$	$< 4 \times 10^{-6}$
ΔN_V	5×10^{-5}	2×10^{-5}	1×10^{-6}
ΔN_G	4×10^{-4}	7×10^{-5}	8×10^{-6}

用于较高精度的折射率测定。

四、胶合透镜的检测方法

检测胶合透镜的折射率和色散,只需把胶合透镜的光轴、垂直于准直光的方向,如图4所示。图5(a)、(b)是检测一通光口径为 $\phi 7 \text{ mm}$ 、中心厚度为 3 mm 的胶合透镜的干涉条纹照片。两块透镜的玻璃折射率都与浸液折射率不相同时,呈现两组弯曲条纹。折射率相差较大,其对比较差,如图5(a)所示。折射率较接近时,干涉条纹逐渐与透镜外的条纹连接成一直条纹,如图5(b)所示。

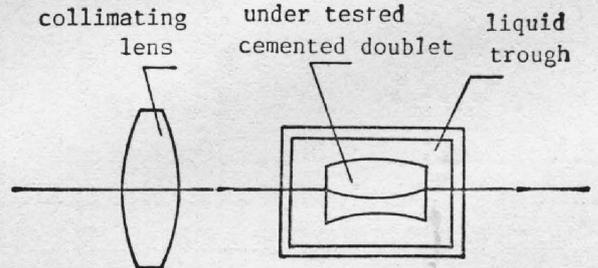


Fig. 4 Schematic of testing method for cemented doublet

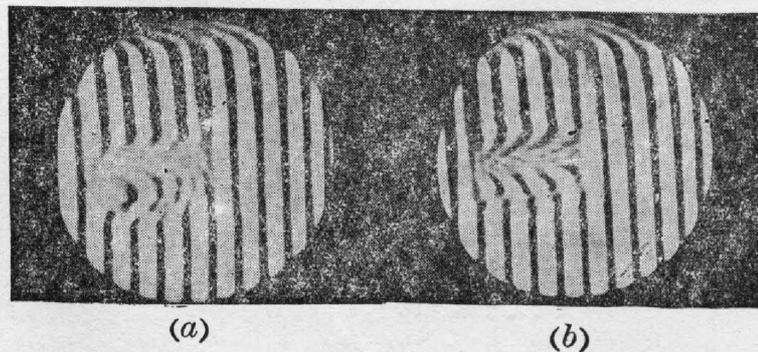


Fig. 5

(a) Interference pattern appeared when the refraction indexes of the two components of the cemented doublet are not the same as that of the liquid. (b) Interference pattern appeared when the refraction index of the lower component of the cemented doublet is approaching to that of liquid

五、提高仪器灵敏度

如图 6 中液槽的一面为全反射镜、准直光往返两次通过被测件和液槽。与图 1 相比,该光路的灵敏度因其光程差增加一倍而提高一倍。实现这种方案,须有强光源单色仪。

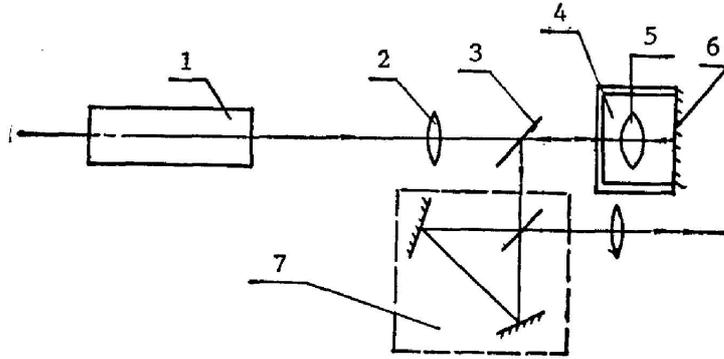


Fig. 6 Optical schematic of increasing the instrument sensitivity
 1—monochromator with powerful light source; 2—collimator lens; 3—beam splitter; 4—liquid trough; 5—lens under test; 6—inner-reflection mirror;
 7—encircling lateral shearing interferometer

六、结 论

本方法有较多的优点: (1) 仪器结构简单、灵敏度较高、元部件精度要求不苛刻,且只须精测浸液的折射率,因而较易实现精密测定; (2) 操作方便; (3) 不受被测透镜厚度和形状的限制; (4) 可以检测胶合透镜的折射效和色散,更是其他方法所不可能的。

受浸液折射率数值的限制^[9], 本法对高折射率($n > 1.80$ 的 ZF_7 和 ZF_{11}) 玻璃尚不能检测。另一待改进之处是与其他非破坏浸液测定法相同对恒温控制要求比较严格,为此采用小温度系数的浸液,或把环形横向剪切干涉仪活动式地插入 V 棱镜折射计的观测系统与 V 棱镜之间,使之既可判断被测件与浸液的折射率是否相同,又可测定液体的折射率,以避免由于浸液从一个容器转入到另一个容器所产生的温度变化的影响。

参 考 文 献

- [1] И. В. Обреимов; *Труды ГОИ*, 1919, 1, № 1, 1.
- [2] А. Н. Захарьевский; *Труды ГСН*, 1929, 5, № 47, 1.
- [3] G. Smith; *App. Opt.*, 1982, 21, No. 5 (Mar), 755.
- [4] R. S. Kasana & K. J. Rosenbruch; *Opt. Commun.*, 1983, 46, No. 2 (Jan), 69.
- [5] R. S. Kasana, S. Boseck & K. J. Rosenbruch; *App. Opt.*, 1984, 23, No. 5 (Mar), 757.
- [6] 陈开显;《中国光学学会 1985 年年会论文摘要汇编》, p. 44.
- [7] 舒朝谦;《中国光学学会 1985 年年会论文摘要汇编》, p. 46.
- [8] 王之江;《光学学报》; 1983, 3, No. 1 (Jan), 52.
- [9] M. V. R. K. Murty; *Optical Shop Testing*, (D. Malacara, John Wiley and Sons, New York, 1978), 105~122.
- [10] Н. М. Павлуский, Г. Г. Святюрин; *Практикий по Технологии стекла*, (Промстройиздан, Москва, 1957), 276.

Precise measurement of refraction index and dispersion of lens by encircling lateral shearing interferometer

XIANG CAIXIN AND HOU SHU

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 7 March 1988; revised 16 January 1989)

Abstract

This article summarizes the measuring methodes of lens refraction index and the drawback of them. We measure both the refraction index and dispersion of lens by encircling lateral shearing interferometer incorporated with a refractometer. The attainable measurement accuracy, the measuring method of cemented doublet and the method of improving the sensitivity are discussed.

Key words: lateral shearing; interferometric pattern; dispersion.