

# 提高V棱镜折光仪测量精度的一种方法

马伯韬 林江海

(成都光明器材厂)

**摘要:** 本文提出了用高精度标准块, 在V棱镜折光仪与被测样品作相对测量, 从而提高V棱镜折光仪测量精度的一种方法。同时对误差进行了分析, 并给出实测数据。用这种方法, 在非标准环境下测试, 不用修正, 就能给出折射率, 其精度可达  $\pm 1 \times 10^{-5}$ 。

## 一、前 言

V棱镜折光仪作为一种折射率测量的专门仪器, 在光学材料的生产与检验中起到了相当重要的作用, 它以测量速度快, 精度高( $\pm 5 \times 10^{-5}$ ), 测量范围广, 样品制备简单等, 为人们所广泛采用。

随着科学技术的不断发展, 在诸如天文学、航天航空等若干领域中, 无一不和高精度光学仪器息息相关。近年来, 在高精度光学仪器的光学设计中, 应用电子计算机平衡像差, 对光学材料的折射率和色散的测量精度要求越来越高。然而, 高精度折射率的测量, 往往在高精度测角仪上进行, 而且对环境条件要求严格, 设备昂贵, 样品制作困难, 测试周期长, 不易普及推广。本文所介绍的方法, 可在一般环境下, 用普通V棱镜折光仪就能测出精度较高的折射率和色散。

## 二、基 本 原 理

在V棱镜折光仪测试中, V块本身的折射率  $n_0$  是作为已知数的。它是用高精度测角仪测出与其同坩均匀性很好的玻璃的折射率, 作为  $n_0$  的标准值。在一坩内一般要求  $\angle n_0 \leq \pm 5 \times 10^{-6}$ 。虽然  $n_0$  本身的精度较高, 但根据我们用  $\pm 3 \times 10^{-6}$  的标准块实测, 由于V块在加工时会有一定的误差, 装配时, 很难使之入射面和平行光管的光轴垂直, 实际精度只有  $\pm 2 \times 10^{-6}$  左右, 何况V块在使用一段时间后, 表面会变得粗糙, 重新更换V块, 要使  $\angle n_0 \leq \pm 2 \times 10^{-6}$  就更困难了。再加上仪器度盘的刻划、对准、视差、样品加工角度及折射液等的各项误差的影响, V棱镜折光仪的实际精度只有  $\pm 5 \times 10^{-6}$  的量级。如果我们用已知  $n$  的标准块 ( $\pm 5 \times 10^{-6}$ ) 与被测样品同时在V棱镜上作相对测量, 若  $n = n_{标}$ , 则可以消除V块的加工、装调及度盘的刻划等误差。而且可以近似地认为被测样品的温度系数与标准块的温度系数相近。所以在非标准环境下测出的折射率就是与标准块给出时的环境相同, 即代表标准环境下的折射率。

如图1, 根据V棱镜的原理有:

$$n_{\text{标}} = (n_0^2 + \sin\alpha \sqrt{n_0^2 - \sin^2\alpha})^{1/2} \quad (1)$$

$$n = (n_0^2 + \sin\beta \sqrt{n_0^2 - \sin^2\beta})^{1/2} \quad (2)$$

这里我们规定 $\alpha$ 、 $\beta$ 的符号为：出射光线偏向法线上方为“+”，反之为“-”。

由(1)式得：

$$n_0 = \left( n_{\text{标}}^2 + \frac{\sin^2\alpha}{2} - \frac{\sin\alpha}{2} \cdot \sqrt{4n_{\text{标}}^2 - 3\sin^2\alpha} \right)^{1/2}$$

将其代入(2)式并整理可得被测样品折

率

$$n = \left( n_{\text{标}}^2 + \frac{\sin^2\alpha}{2} - \frac{\sin\alpha}{2} \cdot A + \sin\beta \cdot B \right)^{1/2} \quad (3)$$

其中： $A = (4n_{\text{标}}^2 - 3\sin^2\alpha)^{1/2}$

$$B = \left( n_{\text{标}}^2 + \frac{\sin^2\alpha}{2} - \frac{\sin\alpha}{2} \cdot A - \sin^2\beta \right)^{-1/2}$$

$\alpha$ —— $n_{\text{标}}$ 读数       $\beta$ ——被测样品读数

(3)式即为折射率计算公式。

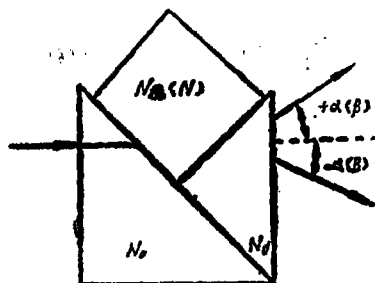


图1

### 三、误差分析与计算

根据误差的传递， $n$ 的标准偏差为：

$$\sigma_N = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial n_{\text{标}}}\right)^2 \cdot \sigma_{N_{\text{标}}}^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \alpha}\right)^2 \cdot \sigma_{\alpha}^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \beta}\right)^2 \cdot \sigma_{\beta}^2}$$

显然， $\sigma_{\alpha} = \sigma_{\beta}$

$$\therefore \sigma_N = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial n_{\text{标}}}\right)^2 \cdot \sigma_{N_{\text{标}}}^2 + \left[\left(\frac{\partial n}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \beta}\right)^2\right] \sigma_{\alpha}^2}$$

将(3)式分别对 $n_{\text{标}}$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 求偏微分得：

$$\frac{\partial n}{\partial n_{\text{标}}} = \frac{2n_{\text{标}} - \frac{2n_{\text{标}}\sin\alpha}{A} + \frac{2n_{\text{标}} - \frac{2n_{\text{标}}\sin\alpha}{A}}{2B} \cdot \sin\beta}{2n}$$

$$\frac{\partial n}{\partial \alpha} = \frac{\sin\alpha\cos\alpha - \frac{A\cos\alpha}{2} + \frac{3\sin^2\alpha\cos\alpha}{2A} + \frac{\sin\alpha\cos\alpha - \frac{A\cos\alpha}{2} + \frac{3\sin^2\alpha\cos\alpha}{2A}}{2B} \cdot \sin\beta}{2n}$$

$$\frac{\partial n}{\partial \beta} = \frac{B\cos\beta - \frac{\sin^2\beta\cos\beta}{B}}{2n}$$

$\sigma_a$  取决于V棱镜的结构参数:

$$\sigma_a = \sqrt{2\sigma_1^2 + 2\sigma_2^2}$$

$\sigma_1$ ——望远镜的对准误差,  $\sigma_1 = \frac{\sigma_T}{\Gamma}$

$\sigma_2$ ——读数系统读数中误差:  $\sigma_2 = \frac{500\sigma_m}{\Gamma_m \phi_T}$

其中  $\sigma_T, \sigma_m$  为人眼对准误差, 取  $6''$

$\Gamma$  为望远镜的放大率

$\Gamma_m$  为显微镜的放大率

$\phi_T$  为度盘刻划直径

在V棱镜中:  $\Gamma = 6\times$   $\Gamma_m = 58\times$   $\phi_T = 114.6\text{mm}$

$$\therefore \sigma_1 = \frac{\sigma_T}{\Gamma} = 1'' = 4.8 \times 10^{-6} \quad \sigma_2 = \frac{500 \times 6''}{58 \times 114.6} = 0.45'' = 2.19 \times 10^{-6}$$

$$\sigma_a = \pm \sqrt{2\sigma_1^2 + 2\sigma_2^2} = 7.46 \times 10^{-6}$$

如果  $n_{\text{标}} = 1.647075$   $\sigma_{N_{\text{标}}} = \pm 5 \times 10^{-6}$

$\alpha = 359^\circ 56.57'$   $\beta = 1^\circ 50'$  时

$n = 1.663940$   $\sigma_N = \pm 5.4 \times 10^{-6}$

由以上计算可知, 测试精度远高于V棱镜原来的精度。用这种方法, 能有效地消除度盘的刻划, V块的加工和调校以及环境因素等带来的误差。如果考虑到样品的加工误差和折射液等带来的误差, 总的测量精度仍优于  $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。因此, 在设有高精度仪器的情况下, 用这种方法在V棱镜仪上对样品进行测试, 也能得到令人满意的数据。

#### 四、实验结果

表1是我们的实测结果。它是用西德联邦技术物理所 (PTB) 为我们测试的  $F_2$  样品作为标准块, 对  $K_9, BaK_7, F_2$  三种样品作相对精密测量的结果。

其中V棱镜折光仪上所用的标准样品只是与标准块样品同坩一级均匀性的玻璃制成的。被测样品与用来作高精度测量的等边三棱镜样品也是同一坩均匀性为一级的玻璃制成的。

表中的  $n_{\text{标}}$  及  $n_{\text{精}}$  均是在长春光机所研制的高精度自动折射仪上测试的标准环境下的结果,  $n_{\text{标}}$  与西德 (PTB) 所测结果在  $\pm 5 \times 10^{-6}$  误差范围内。  $n$  则为用本方法测试的结果。它具有优于  $1 \times 10^{-6}$  的精度。

#### 五、结束语

从分析计算和实测结果可以看出, 用这种方法测出的折射率精度优于  $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。它操作方便, 设备简单, 且V棱镜不需精调, 在一般环境条件下, 能够测出与标准块相同状态下的折射率, 在一般单位容易实现。此方法为我厂近年来提供了大量可以信赖的测试数据。也希望它能为兄弟单位的折射率测量工作有所帮助。这种方法, 因为对V块要求低, 如果被测

表 1

样 品		谱 线		D	C	F	d
		数 据	线				
标 准 块	F <sub>2</sub>	n <sub>标</sub>		1.6114013	1.6067063	1.6231798	1.6115470
		α (度)		-4.1070	-4.0288	-4.3202	-4.1101
				-4.1078	-4.0295	-4.3220	-4.1112
				-4.1083	-4.0277	-4.3210	-4.1095
α <sub>平均</sub>		-4.1077	-4.0287	-4.3211	-4.1103		
被 测 样 品	K <sub>α</sub>	β (度)		-14.7662	-14.4260	-15.6764	-14.7766
				-14.7668	-14.4255	-15.6777	-14.7775
				-14.7662	-14.4257	-15.6773	-14.7768
		β <sub>平均</sub>		-14.7664	-14.4257	-15.6771	-14.7770
	n		1.516457	1.514067	1.522115	1.516532	
	n <sub>精</sub>		1.516456	1.514065	1.522106	1.516530	
	n-n <sub>精</sub>		+0.000001	+0.000002	+0.000009	+0.000002	
	BaK <sub>γ</sub>	β (度)		-8.7428	-8.4721	-9.4685	-8.7518
			-8.7421	-8.4732	-9.4693	-8.7515	
			-8.7430	-8.4732	-9.4695	-8.7515	
β <sub>平均</sub>			-8.7426	-8.4728	-9.4694	-8.7516	
n			1.570084	1.567095	1.577271	1.570172	
n <sub>精</sub>			1.570098	1.567108	1.577283	1.570181	
n-n <sub>精</sub>			-0.000014	-0.000013	-0.000012	-0.000009	
F <sub>2</sub>		β (度)		-4.0987	-4.0204	-4.3178	-4.1050
			-4.1018	-4.0210	-4.3183	-4.1046	
			-4.1018	-4.0217	-4.3179	-4.1049	
	β <sub>平均</sub>		-4.1013	-4.0210	-4.3180	-4.1048	
	n		1.611458	1.606774	1.623207	1.611595	
	n <sub>精</sub>		1.611461	1.606766	1.623195	1.611605	
	n-n <sub>精</sub>		-0.000003	+0.000008	+0.000012	+0.000010	

样品的加工角度或折射液误差很小时，V棱镜折光仪就没有必要配高、中、低三块V座，配一个中等折射率的V块或二个V块就能满足一般的测试要求。

长春光机所段文琴，米宝永两位同志对本文提出宝贵的修改意见，在此表示感谢。

## A Method of Improving the Measurement Accuracy of the V-prism Refractometer

Ma Baitao Lin Jianghai

### Abstract

In this paper a method of improving the measurement accuracy of the V-prism refractometer was presented and the error sources were analyzed with the measured data. With this method the refractive index under the standard conditions will be obtained by the measurement under the no-standard conditions, with accuracy  $1 \times 10^{-6}$ , without revision.