

# 一种光学玻璃折射率自动测量方法

阎智春 段文琴 王世焯

**摘要:** 本文研究了一种折射率自动测量方法。可对紫外、可见、红外光谱折射率作自动精密测量。在光源稳定情况下,可见光测量精度可达 $\pm 3 \times 10^{-6}$ 。

该方法以最小偏向角方法为依据,以外反射像引导接收器,使其自动跟踪至最小偏向角的精确位置,最后给出样品的折射率。

整个测量系统采用微计算机完成自动控制、采集及处理。该方法还可进行角度自动测量。

## 一、前言

光学玻璃宽波段高精度折射率的测量,是当前高质量光学仪器设计及光学材料发展的需要。在实现其自动测量方面,国外已有报导,在我国也于近年研制成功光电V棱镜折光仪和以自准直方法为依据的自动折射计。本文则着力于研究以最小偏向角方法为依据的自动测量方法。

实验结果表明:该方法的技术方案、自动控制程序、数据处理程序及其相应的硬件电路,在实现最小偏向角法的自动测量中是成功的,是研制一种新型折射计的技术依据。

## 二、自动测量系统

折射率自动测量系统包括数字显示GSJ-A型0.5"精密测角仪、光学系统、步进电机驱动电源、APPLE-II微型计算机以及其它的辅助设备和仪器。

测量系统光路如图1所示。采用反射式光路,以满足各种光谱折射率的测量要求。待测样品磨制成棱镜放置在测角仪的载物台上,光电接收器安装在测角仪的度盘上。 $M_1$ 、 $M_2$ 和 $M_3$ 为离轴抛物镜。光源 $S$ 来的单色光经调制、由 $M_1$ 和 $M_2$ 准直,投射到样品棱镜上,再经棱镜的折射及其底边的反射,由 $M_3$ 会聚到光电接收器上转换成电信号,最后经放大、整流、滤波和模数转换电路送入微计算机。

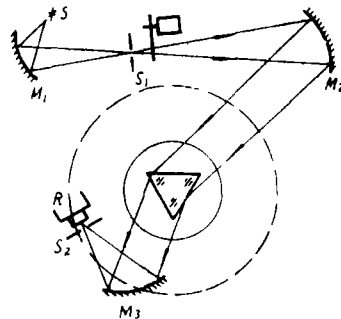


图 1

测角仪载物台和度盘的转动相互独立,分别由两台步进电机(A、B)以及相应的减速机构驱动。两组机械驱动机构的减速比分别为32400和135,以满足仪器精度和测量精度的要求。载物台和度盘也可以连为一体,由一组减速机构驱动,便于进行其它自动测量方法的研究。

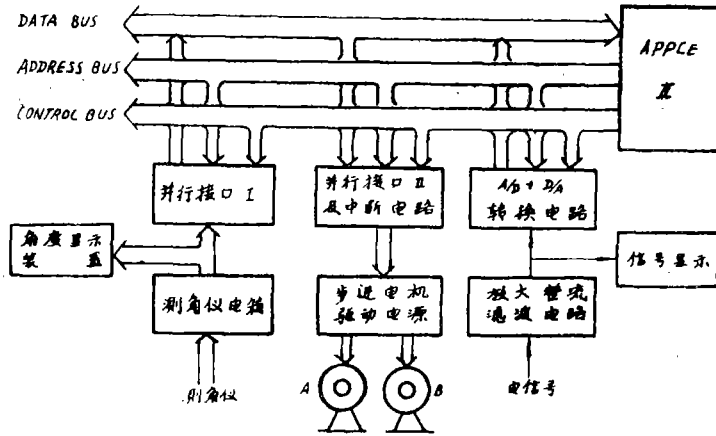


图 2

自动测量系统的框图如图 2 所示。该系统使用的微机是国家推广的系列机之一，即 APPLE-II 微机。该机作为自动测量系统的控制中心和数据处理中心。微机的外部设备有测角仪、步进电机驱动电源和模数转换电路、信号输入电路等装置。微机及时地采集测量信号和测角仪的角度值，提供给相应的显示装置，供操作人员参考；微机通过对这些数据进行比较，控制步进马达驱动测角仪的载物台和度盘，使测量系统的光路满足最小偏向角的光学条件。微机测量最小偏向角，计算、显示和打印样品的折射率，完成折射率的自动测量。

### 三、自动测量方法

#### 1. 棱镜顶角的测量

测量棱镜顶角通常采用的方法是自准法<sup>[1]</sup>。在此装置上，用这种方法进行顶角的自动测量有一定困难。本文采用下述方法实现顶角的自动测量。

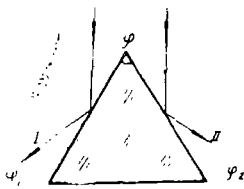


图 3

如图 3 所示。入射光束投射到棱镜的两个工作面上，形成反射光 I 和 II，分别处于  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  位置。只要精确测量  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$ ，则棱镜顶角  $\varphi$  由下式给出：

$$\varphi = \frac{|\varphi_1 - \varphi_2|}{2}$$

在测量过程中，载物台不动。微机控制步进马达 A 使载物台锁紧；控制步进马达 B 驱动度盘旋转，使接收器分别准确地瞄准反射光 I 和 II 成像位置。微机测出相应的角度值  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$ ，通过执行特定的算法程序，给出  $\varphi$  值。

这种测量顶角的方法并不要求棱镜底边与入射光垂直。因此该方法便于应用微机实现顶角测量的自动控制。

#### 2. 最小偏向角的测量

测量最小偏向角，关键问题是如何调节棱镜，使测量光路成为对称光路。有多种方法实现这种调节。通常的方法有 Wadsworth 方法<sup>[1]</sup>、三像法<sup>[2]</sup>、逐次逼近法等。均属目视手调

测量方法,即都是借助望远镜瞄准入射狭缝 $S_1$ 的像来调节棱镜的。望远镜有一定视场,可以根据狭缝像在视场中的位置决定怎样调节载物台和度盘,使折射像朝最小偏向角方向移动,最终使光路成为对称光路。

自动测量要求用光电接收器件取代望远镜。接收器不能像望远镜那样利用视场调节棱镜。另外,只有当入射光束在棱镜的第一折射面上的入射角大于某一临界角时,折射像才在像方形成。样品不同,该临界角不同。因此,如何控制载物台使光线经棱镜出射,无规律可循。

本文采用下述方法实现最小偏向角的自动测量。

如图4所示。使入射光束的一部分投射到棱镜的底边上。如果棱镜的两个底角加工得几乎相等,则当测量光路为对称光路时,经棱镜底面而反射的反射光与从棱镜出射的折射光平行,经成像系统后将会聚一点。因此,可以利用外反射像调节测量系统,使光路接近对称光路。接收器瞄准折射像以后,用折射像调节载物台,最后使系统成为对称光路。另外,对任意样品,只要棱镜底边跟入射光束成一角度,象方总成一反射像。所以,借助于反射像寻找折射像,大大地简化了最小偏向角自动测量的控制模型。

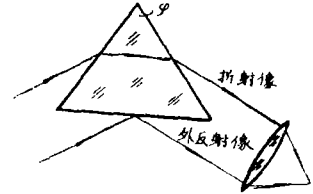


图 4

我们研究了一种“引导—响应”式的控制方案,完成最小偏向角的自动测量。在这个过程中,微机控制接收器先瞄准外反射像,然后由外反射像引导接收器。当反射像做这种引导时,使载物台旋转;接收器响应这种引导,紧紧跟踪反射像,就使度盘朝最小偏向角方向转动。这种引导、响应式的控制方案,使载物台和度盘的转动协调配合。一方面,载物台和度盘的引导—响应式旋转,使棱镜逐渐转到对称光路位置;另一方面,它们的这种协调转动,最后使接收器瞄准了折射像。这时,系统接近对称光路。测量系统再通过一系列的微小调节,做最小偏向角位置的精确定位,确定其数值,求得棱镜的折射率。

我们研究了一种“引导—响应”式的控制方案,完成最小偏向角的自动测量。在这个过程中,微机控制接收器先瞄准外反射像,然后由外反射像引导接收器。当反射像做这种引导时,使载物台旋转;接收器响应这种引导,紧紧跟踪反射像,就使度盘朝最小偏向角方向转动。这种引导、响应式的控制方案,使载物台和度盘的转动协调配合。一方面,载物台和度盘的引导—响应式旋转,使棱镜逐渐转到对称光路位置;另一方面,它们的这种协调转动,最后使接收器瞄准了折射像。这时,系统接近对称光路。测量系统再通过一系列的微小调节,做最小偏向角位置的精确定位,确定其数值,求得棱镜的折射率。

利用外反射像寻找折射像、调节测量系统,使光路成为对称光路的自动测量方法,便于测定各类样品的折射率。实践证明,这种调节和寻找最小偏向角的控制方案是成功的。

## 四、自动化手段

系统使用的关键仪器是长春光机所研制的GSI-A型0.5"精密测角仪。为了进行自动控制,使用两组啮合机构驱动该仪器,并选用步进电机作为啮合机构的动力源。

选用步进电机作为自动测量系统的动力源,基于以下几个方面的考虑:

### 1. 步进电机启停反映快

步进电机在高速情况下可以带负载自行启停。本文研究的自动测量方法在许多情况下,都要求驱动载物台或度盘的传动机构能够在较短时间内高速运转起来或者在高速情况下精确定位。这就要求电机在高速转动情况下迅速启停。步进电机可以满足这种要求。

### 2. 步进电机具有停车自锁能力

步进电机带电停车时能使传动机构自锁,这一特点在利用最小偏向角方法进行折射率自动测量的研究中很有意义。例如在进行棱镜顶角的测量以及最小偏向角的精确测量过程中,

要求载物台始终不动，就利用了步进电机的这一特性。

### 3. 步进电机的启停特性

如果电机在启动频率下能带负载不丢步地启动，它就能在该频率下带负载不丢步地停车。这对于满足自动测量中实现载物台或度盘在准确位置处立即停车的要求是十分必要的。因为如果产生丢步现象，则由于负载的惯性，将产生位置过冲，这给测量系统作准确定位造成困难。另外，丢步会导致这种事故，即本来正向旋转的电机，当再次启动时，可能产生倒转现象。这会导致过程控制的失败。

### 4. 容易实现软件控制

步进电机作为动力源，便于微机控制传动机构，使载物台和度盘按设定模式转动。另外，为了使电机在最短时间内启动到最高工作频率以及在该工作频率下不丢步地停车，通常使用的自动升降频电路也易在计算机上用软件实现。

本文研究的折射率自动测量方法给步进电机设置了两种工作模式：随机模式和规定模式。

在随机模式下，电机的旋转方向、转动频率和步数等均由程序入口参数给出。如果不给出这些参数，则电机转向、频率和步数等与它的运转历史有关。电机在该模式下工作，可进行正转、反转、连续、单步运转等。

在规定模式下，还有三种运行方式：0方式、1方式和2方式。

0方式为可中断方式。电机以该方式运转时，其它外设可以中断电机的运转。

1方式为查询方式。电机在该方式下，可以进行加速、减速和高速运转。微机通过查询某一内存单元，确定电机的运转方式。

2方式为脱离方式。当电机以该方式运转时，即脱离运转状态，不断电停机。

研究的电机各种运转方式，极大地方便了微机对测角仪的控制，有效地支持了系统的自动测量工作。

为了提高测量精度，设计了接收器作准确瞄准的控制程序。对不同情况，接收器采取不同的瞄准方式。例如，当光学系统的出射狭缝跟入射狭缝的像等宽度时，接收器作单向瞄准，即只从一个方向瞄准狭缝像。在测量最小偏向角时，就采用了这种瞄准方法；当出射狭缝比入射狭缝的像宽时，需进行双向瞄准，即接收器先从左方瞄准狭缝像，然后再从右方瞄准它。在测量棱镜顶角时，就采用了这种瞄准方法。

用最小偏向角方法作折射率自动测量，要对角度值进行数据处理。研究设计了专门的角度值采集程序和角度值的四则运算程序。在四则运算程序中，可以同时进行十进制运算和六十进制运算，大大加强了微机的数据处理能力。

所有的控制程序和数据处理程序均采用汇编语言编写，执行速度快，满足了实时测量的要求；各程序相互独立，形成功能各异的程序块。自动测量程序由这些程序块连接而成。可根据要求，重新组合这些程序块，实现不同过程的自动测量。

为了丰富软件功能，设计了专用接口电路和中断请求电路。测角仪的角度值通过相应的接口电路提供给微机；微机的指令通过接口电路控制步进马达操纵测角仪；根据需要，外设可以通过中断请求电路向微机申请中断，以中止步进马达的运转；光信号通过相应的电路转换成数字量输入微机作为过程控制信号等等。总之，这些硬件方便了某些软件的编程。它们同

软件相配合, 沟通微机和外设间的联系, 实现命令、数据的传送, 提高了过程控制的速度, 增强了过程控制的能力。

因篇幅关系, 本文对控制软件、数据处理软件以及硬件电路不作赘述。

本文在进行各类程序设计及接口电路设计时, 参考的文献和书籍是<sup>[3-7]</sup>。

## 五、实验及其分析

以ZK<sub>0</sub>玻璃进行测量为例。表1列出了一组自动测量反射像、折射像位置和最小偏向角 $\delta_{\min}$ 的数据。

表 1

| 测 量 项 目         | 第 一 组        | 第 二 组        | 第 三 组        | 第 四 组        | 平 均 值        | 误 差 值 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| 反 射 像           | 18°58'55.25" | 18°58'50.50" | 18°58'57.50" | 18°58'50.25" | 18°58'53.38" | 3.59" |
| 折 射 像           | 24°38'19.06" | 24°38'18.50" | 24°38'18.18" | 24°38'19.00" | 24°38'18.69" | 0.42" |
| $\delta_{\min}$ | 47°28'43.88" | 47°28'45.00" | 47°28'45.64" | 47°28'44.00" | 47°28'44.63" | 0.84" |

其中, 反射像和折射像两栏中的数据, 是微机控制接收器分别瞄准反射像和折射像、测量其所在位置的4组数据。最小偏向角 $\delta_{\min}$ 栏中的数据, 是微机根据相应测量值计算出的, 表中的每组数据实际是4次测量的平均值。

实验中对反射像采用双向瞄准, 对折射像采用单向瞄准。因而反射像一栏中的数据具有双向瞄准规律, 折射像的则没有。以双向瞄准的反射像数据中一、二组的中间值为 $18^{\circ}58'52.88''$ , 三、四组的中间值为 $18^{\circ}58'53.88''$ , 可得其反射像位置的测量精度为 $\pm 0.5''$ , 即可认为顶角的测量误差为 $\pm 0.5''$  (由于此实验装置中, 有时载物台被带动, 故顶角在1"测角仪上测定, 其值为 $60^{\circ}0'4.75''$ )。以此精度的顶角值及表1中所测 $\delta_{\min}$ 值计算所得折射率值列入表2。

表 2

| 测 量 项 目              | 第 一 组    | 第 二 组    | 第 三 组    | 第 四 组    | 平 均 值    | 误 差                    |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------------|
| $n_{5876\text{\AA}}$ | 1.612652 | 1.612658 | 1.612656 | 1.612655 | 1.612655 | $\pm 3 \times 10^{-6}$ |

需要说明的是此组数据是在估计顶角精度情况下得到的。现装置顶角精度未达到的原因分析如下:

1. 光源光通量的变化。实验要求光通量 $F$ , 在任一瞬间的变化量 $\Delta F$ , 所对应的电压增量 $\Delta V_{\text{CF}}$ , 必须小于模数转换电路的量化电压 $U_N$ 。自动测量系统中采用12位模数转换电路, 其量化电压 $U_N = 2.2_mV$ , 因此要求光源光通量的稳定度必须满足 $\Delta V_{\text{CF}} < 2.2_mV$ 。实验中使用的光源尚未满足此要求。在测量的自动瞄准程序中采用了相应的数字滤波技术, 使其变化有所改进。

2. 载物台有时被带动, 需改进。

3. 谐波齿轮中柔轮加工的偏心差, 致使步进有积累或超出现象。

本文旨在研究实现最小偏向角法自动测量折射率方法的研究。在研制新型仪器中若能解决以上的问题，测量精度是会满足要求的。在更换适当的光源及接收器后，可满足相应的光谱区的测量。

## 六、结 论

1. 研究的折射率自动测量方法适用于光学材料在紫外、可见和红外光谱区的折射率精密测量。在光源稳定情况下，采用封闭法测量，可见光测量精度为 $\Delta n \leq \pm 3.0 \times 10^{-6}$ 。

2. 测量方法有如下主要特点：

(1) 整个测量过程不需人为干预，依赖测量过程本身的机理完成折射率自动测量。对不同折射率的光学材料，具有良好的通用性。

(2) 研究的“引导——响应”式寻找折射像及自动调节测量系统为对称光路的方法简单可靠，容易用不同的控制方案实现；所有的控制软件及数据处理程序采用汇编语言编写，执行速度快，满足实时测量要求。

(3) 研究的自动测量程序可以进行角度测量和折射率测量。对可见光和非可见光采用相同的测量方法。对一种材料的所有谱线测量，不需更换样品，可节省材料，减少样品的加工。

(4) 测量精度高。若把研究的寻找最小偏向角的方法同封闭法相结合，可以改善测量误差。对高折射率材料或紫外光谱折射率都能进行测定。

3. 该方法使用的测量系统还可以进行自准直方法的自动测量。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] J. Fliigge, 光学基本量的测量, 国防工业出版社, 1965
- [ 2 ] Frank Mooney, J. Opt. Soc. Amer., 1951, 41, No4, 247~248
- [ 3 ] C. L. Smith, 数字计算机过程控制, 石油工业出版社, 1982
- [ 4 ] G. V. 雷奥, 微处理器和微型计算机系统, 科学出版社, 1983
- [ 5 ] 李惕碛, 实验的数学处理, 科学出版社, 1980
- [ 6 ] 胡瑞文, 微型计算机应用基础, 上海科学出版社, 1984
- [ 7 ] W. J. 威勒、A. V. 沙蔡尔等, 实用微型计算机程序设计, 电力出版社, 1982

## A Method for Measuring Refractive Index of Optical Glass Automatically

Yan Zhichun Duan Wenqin Wang Shizhuo

### Abstract

In this paper a method for measuring the refractive index of optical glass automatically is introduced. By this method the refractive index in a wide range ultraviolet, visible and infrared can be measured automatically. When the light source is stable, the accuracy of measurement in visible range can reach  $\pm 3 \times 10^{-6}$ .

This method is based on the principle of minimum deviation angle. The exact position of the minimum deviation angle is traced by a detector guided by outside refraction image. Then the refractive index of sample can be given.

In the measurement system, the automatic control, data collection and measuring process are totally completed by a microcomputer.

This method can be also used to measure angle automatically.