

# 自制棱镜单色仪光谱定标研究

曹 洪 尹 坤 冉 阳 周晓峰

(重庆交通大学材料科学与工程学院 重庆 400074)

(收稿日期:2016-09-23)

**摘要:**为了获得分辨率较高的单色光,通过计算定标和实验验证的方法,设计了一款新型棱镜单色仪,通过理论计算算出步进电机在400~600 nm应走步数,拟合得到函数,然后编程控制步进电机的位置进行定标,达到了输入多少波长,便能移动到相应位置采集的效果.结果表明输入波长与采集波长的误差仅为1.176%,达到了预期效果.

**关键词:**棱镜 单色仪 光谱

## 1 引言

单色仪是一种用途非常广泛的分光仪器,人们对单色仪的要求特性主要有3点:分辨率、色散率和集光本领,使用者往往希望得到出射强度高并且单色性好的单色光<sup>[1]</sup>.目前国内运用最多的是光栅单色仪,因其分辨率高、自动控制而备受青睐,但是光栅也有不能输出高强度单色光、光谱重叠、鬼线、价格昂贵等种种不足,棱镜单色仪却能避免这些缺点.自制棱镜单色仪具有分辨率较高和受背景光影响较小等优点,可应用于激光雷达和遥感等领域<sup>[2]</sup>.

自制棱镜单色仪保证出射光精度和自动控制的前提下,实现高强度出射光.在设计中,通过调节狭缝大小和棱镜入射位置保证单色光分辨率.同时,除了三棱镜以外不再使用其他任何光学玻璃器件,大大减少光的吸收,将光传播损失降到最低.通过51单片机控制TB6560步进电机驱动器配合全自动步进平移台实现自动控制<sup>[4]</sup>.

## 2 实验仪器

普通的棱镜单色仪一般由3部分组成,即准光镜系统、色散系统、成谱系统(图1).准光镜系统由光源和双狭缝组成,光源采用接近日光的250~300 W可调高亮度光源,色温5 600 K,该光源灯的光、

电参数一致性好,工作状态受外界条件变化的影响小,是测量可见光波段的理想光源.双狭缝由两个精密可调狭缝组成的双狭缝系统,主要起得到短距离准直细光束的作用;色散系统主要由三棱镜组成,三棱镜是整套仪器的核心部分,起分光作用,也是对输出单色光影响最大的部分,本实验中三棱镜材料为ZF1重石,兼有出光均匀、干扰较小等优点.成谱系统主要由自动平移台和光纤组成,起输出单色光的作用.将光纤一端固定在自动平移台上,由控制器控制的自动平移台决定光纤在光谱带的检测位置,从而决定相应波长的输出.另一端连接光谱仪测量输出光的波长,验证其准确性.

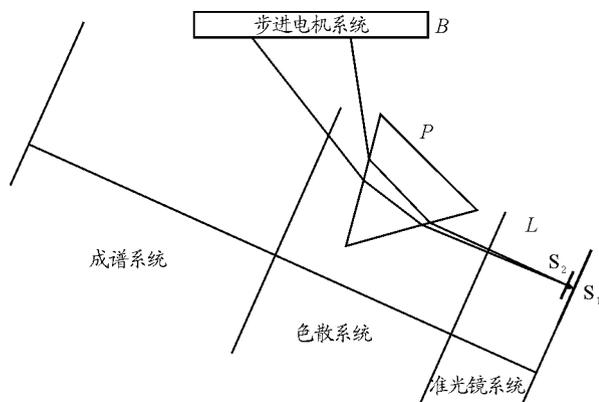


图1 棱镜单色仪结构图

### 3 结果与讨论

#### 3.1 理论分析

根据三棱镜的散射原理可画出光路图如图2所示.

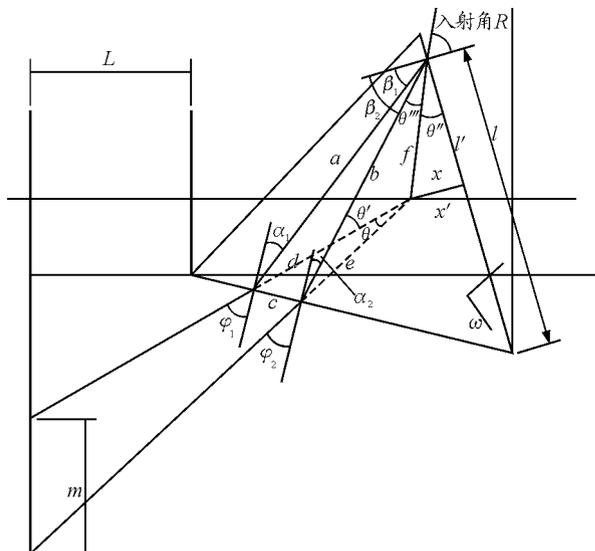


图2 色散系统光路图

两束单色入射光为例,设其在该棱镜的折射率分别为  $n_1$  (标定光所对应折射率) 和  $n_2$  (待测光对应折射率). 图中  $R$  为第一次折射的入射角,  $\beta_1$  和  $\beta_2$  分别表示标定光和待测光的折射角,  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  表示发生第二次折射时的入射角,  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  是第二次折射的折射角,  $\omega$  是棱镜相对光学平台的旋转角,  $\theta$  是标定光和待求光出射棱镜后反向延长线的夹角,  $a, b, c, d, e, f, m, l, l', x, x'$  则分别表示图中所示的线段的长度, 标定光和待测光出射棱镜后反向延长线的交点到棱镜最低点的垂直距离为  $X$ , 棱镜顶点到光纤接收器的垂直距离为  $L$ .

根据

$$n = \frac{\sin R}{\sin \beta}$$

可得

$$\beta_1 = \arcsin\left(\frac{\sin R}{n_1}\right)$$

同理

$$\beta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin R}{n_2}\right)$$

根据简单的几何关系有

$$a = \frac{l \sin 60^\circ}{\sin(30^\circ + \beta_1)}$$

同理

$$b = \frac{l \sin 60^\circ}{\sin(30^\circ + \beta_2)}$$

因此

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos(\beta_2 - \beta_1)}$$

$$e = \frac{c \sin(90^\circ - \varphi_1)}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

$$d = \frac{c \sin(90^\circ + \varphi_2)}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

$$f = \sqrt{a^2 + d^2 - 2ad \cos(\varphi_1 - \alpha_1)}$$

就有

$$x = f \sin\left[90^\circ - \beta_2 - \arccos\left(\frac{f^2 + b^2 - e^2}{2bf}\right)\right]$$

$$x' = \frac{x}{\cos \omega}$$

$$l'^2 = x'^2 + f^2 - 2x'f \cos(\omega + \theta'' + \beta_2)$$

其中

$$\theta'' = \arccos\left(\frac{f^2 + b^2 - e^2}{2bf}\right)$$

因此

$$x'' = x'_1 + x''_2$$

其中

$$x''_1 = \left[l - l' - \frac{40 \cos(60^\circ + \omega)}{\cos \omega}\right] \cdot \sin \omega$$

$$x''_2 = 40 \cos(60^\circ + \omega) \cdot \tan \omega$$

而

$$X = x' + x''$$

因此

$$m = [\tan(\theta + \theta') - \tan \theta'] \cdot$$

$$[L + 40 \sin(60^\circ + \omega) - X]$$

此时的  $m$  表示不同波长的两束光在射出三棱镜后在距离棱镜顶角垂直距离为  $L$  的滑轨上的光纤接收器水平投影的距离.

成谱系统的作用是将上述色散系统得到的  $m$  转化成步进电机转的步数以及执行这个步数以达到控制出所测光的目的. 若将上文中  $n_1$  对应的光作为标定光(即为已知光, 比如 420 nm 光,  $n=1.6772$ ), 而  $n_2$  对应的光为任意待测光. 对于任意波长在 ZF1

棱镜中的折射率<sup>[2]</sup>,如图3所示.

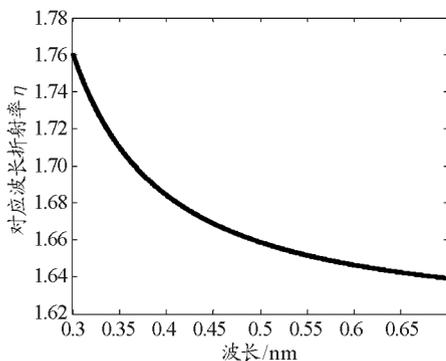


图3 任意波长在ZF1棱镜中的折射率

其拟合曲线为

$$n^2 = k_1 + k_2\lambda^2 + k_3\lambda^{-2} + k_4\lambda^{-4} + k_5\lambda^{-6} + k_6\lambda^{-8}$$

其中

$$k_1 = 2.635\ 616\ 1$$

$$k_2 = -8.839\ 642 \times 10^{-3}$$

$$k_3 = 2.564\ 478\ 1 \times 10^{-2}$$

$$k_4 = 9.652\ 237\ 4 \times 10^{-4}$$

$$k_5 = -1.830\ 479\ 8 \times 10^{-5}$$

$$k_6 = 5.556\ 351\ 7 \times 10^{-6}$$

若知道步进电机每步对应平移台走的长度 $\Delta$ ,

则步进电机走完长度为 $m$ 的步数 $K' = \frac{m}{\Delta}$ ,因为 $n_1$ 已

知,该光在滑轨的精确位置可以计算,也就是标定光的

步数 $K$ 已知,根据相对位置,就可以确定得出

$K_{\text{求}} = K \pm K'$ (若标定光为短波光 $K_{\text{求}} = K - K'$ ,

反之 $K_{\text{求}} = K + K'$ ).为了得到较宽的波普带,取入

射角为 $60^\circ$ ,用VC语言进行编程可算得 $400 \sim 600$

nm结果如表1所示.

表1 部分波长与理论步数对应表

$\lambda/\text{nm}$	理论步数(取整后)	$\lambda/\text{nm}$	理论步数(取整后)
405	19 996	510	6 872
420	17 315	525	5 726
435	14 973	540	4 691
450	12 932	555	3 753
465	11 142	570	2 897
480	9 555	585	2 108
495	8 139	600	1 388

利用MATLAB软件将得到的波长与理论步数进行拟合<sup>[3]</sup>,得到拟合函数

$$K = f(\lambda) =$$

$$C_1\lambda^7 - C_2\lambda^6 + C_3\lambda^5 -$$

$$C_4\lambda^4 + C_5\lambda^3 - C_6\lambda^2 - C_0$$

式中

$$C_1 = 4.045 \times 10^{-13}$$

$$C_2 = 1.431 \times 10^{-9}$$

$$C_3 = 2.154 \times 10^{-6}$$

$$C_4 = 0.001\ 785$$

$$C_5 = 0.873\ 4$$

$$C_6 = 251.5$$

$$C_7 = 3.882 \times 10^4$$

$$C_0 = 2.38 \times 10^6$$

将拟合结果进行编程<sup>[4]</sup>,根据单片机程序传出信号给驱动器,驱动步进电机转动,由光纤将出口单色光引入光谱仪可做实验验证.

## 2.2 实验验证

根据单片机的程序传出信号给驱动器,驱动步进电机转动,使平移台移动到滑轨相应位置,光纤收集出光信息连接到光谱仪,由光谱仪反应出光单色光的波长.将所有器件都按理论位置精确的固定在光学平台上,将步进电机设置为8细分运行,根据理论计算所得关系编写程序烧录进控制器,实现指定波长的按键输入、同步输出.实际测得输出数据同指定数据吻合,部分测试数据如表2所示.

表2 部分输入波长与实际波峰对应表

$\lambda/\text{nm}$ (输入)	$\lambda/\text{nm}$ (实际波峰)	$\lambda/\text{nm}$ (输入)	$\lambda/\text{nm}$ (实际波峰)
400	400.5	510	508.2
420	420.6	525	525.3
435	435.1	540	538
450	450.3	555	555.5
465	467.4	570	572
480	478.6	585	584.9
490	489.8	600	601

由表2可见测量所得结果偏差较小,实际测量

# 推断待测阻值范围的新方法

郎 军 董洪琼

(重庆市第十一中学校 重庆 400061)

(收稿日期:2016-11-21)

**摘 要:**提出了仅由两组试触数据推断待测阻值范围的创新方法,应用该方法分析了困惑中学师生的一个典型实例,揭示了传统试触法的适用条件.

**关键词:**试触法 内接法 外接法 示数 阻值范围 创新方法

## 1 提出问题

试触法是在不改变控制电路中滑动变阻器阻值的条件下,只将测量电路由电流表内接法换成外接法,测得两次电表的示数( $U_{内}, I_{内}$ )、( $U_{外}, I_{外}$ ),根据两次示数变化情况做出判断.具体方法是:

如果  $\frac{\Delta U}{U} \gg \frac{\Delta I}{I}$ , 则选择电流表外接法,取  $R_x =$

$$\frac{U_{外}}{I_{外}};$$

如果  $\frac{\Delta U}{U} \ll \frac{\Delta I}{I}$ , 则选择电流表内接法,取  $R_x =$

$$\frac{U_{内}}{I_{内}}.$$

然而在使用中,人们逐渐把上面方法的条件改成了  $\frac{\Delta U}{U} > \frac{\Delta I}{I}$  和  $\frac{\Delta U}{U} < \frac{\Delta I}{I}$ , 并认为它是一个严格规律,于是又进一步引发了关于  $\frac{\Delta U}{U}$  及  $\frac{\Delta I}{I}$  中分母到底该取哪一组值的争论.

当  $\frac{\Delta U}{U}$  及  $\frac{\Delta I}{I}$  非常接近时,这个方法还严格成立吗?仅根据试触法的两组测量数据,能否比传统“试触法”更加准确地推断出待测阻值的范围呢?

数据与理论数据的比较,根据公式

$$\eta = \frac{1}{201} \sum_{\lambda=400}^{600} \left[ \left| \frac{\lambda_{输入} - \lambda_{实际}}{\lambda_{输入}} \right| \right]$$

可以得到本仪器误差为 1.176%. 同时根据公

式

$$\overline{R_{实际}} = \frac{1}{201} \left[ \sum_{\lambda=400}^{600} |\lambda_{输入} - \lambda_{实际}| \right]$$

可以得到仪器分辨率为 0.414 3 nm.

## 3 结论

本文通过建立棱镜单色仪模型,理论上计算得到 400 nm ~ 600 nm 可见光范围的不同波普的位置,结合模拟软件将理论步长和波长拟合得到拟合函数,编写程序控制步进电机移动,达到手动输入,

步进电机自动移动到所需波长的单色光范围进行采集的效果,实验发现其相对误差仅为 1.176%,效果较好,值得推广.

## 参 考 文 献

- 1 陈捷光. 新型强光单色仪. 光学机械, 1984(1): 1 ~ 5
- 2 俞胜清, 王峰, 黄晓俊. 重火石玻璃 ZF1 棱镜色散关系的测定. 喀什师范学院学报, 2010
- 3 张琨, 毕靖, 丛滨. MATLAB7.6 从入门到精通. 北京: 电子工业出版社, 2009
- 4 郭天祥. 新概念 51 单片机 C 语言教程. 北京: 电子工业出版社, 2009
- 5 孙慕渊, 王久云. 棱镜光栅的色散本领和色分辨本领. 湖北科技学院学报, 1999