

# 激光散斑验光仪及其应用研究

陈国鉴 汤 洪 刘家军 王海金  
(合肥工业大学) (安徽工学院)

**提要:** 给出利用激光散斑测定人眼屈光不正的理论依据和有关公式, 详细介绍了激光散斑验光仪的光路系统和主要特点以及临床应用研究的结果。

## Laser speckle refractometer and its application in ophtalmology

Chen Guojian, Tang Hong

(Hefei Polytechnical University)

Liu Jiajun, Wang Haijin

(Anhui Engineering Institute)

**Abstract:** The principle and formula for determining ametropia of eyes by laser speckles are presented. The optical system and properties of laser speckle refractometer as well as the results of clinical application for testing refraction are described in detail.

激光照射在漫射屏上, 在屏后产生随机分布的空间散斑场。人眼观察这一散斑时, 根据斑点的运动状态, 可以定量地确定观察者屈光不正的度数, 这是一种新型的验光方法<sup>[1]</sup>。

### 一、激光散斑验光的理论依据

#### 1. 衍射场中动态散斑的运动规律

设漫射屏  $P$  为随机位相屏, 用单色高斯光束照明。屏上各点的位置用坐标  $\xi = (\xi, \eta)$  表示。屏以速度  $V = (V_x, V_y)$  在屏所在的平面内平移运动, 衍射场中某观察平面的坐标用  $X = (x, y)$  表示, 如图 1 所示。

按照动态激光散斑的统计特性可以证

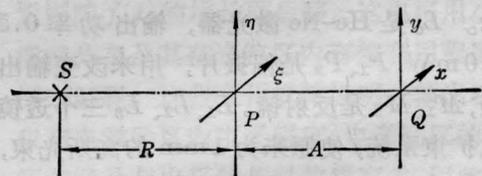


图 1 描写衍射场中散斑运动的坐标系

明, 衍射场中某观察面  $Q$  处, 散斑平移运动的速度为<sup>[2]</sup>

$$V_x = |V| \left( \frac{A}{R} + 1 \right) \quad (1)$$

式中  $A$  为观察面  $Q$  与漫射体  $P$  之间的距离,  $R$  为照明光束的曲率半径,  $V$  为漫射体的平移速度。

#### 2. 象空间激光散斑的运动规律

若在  $Q$  处放一透镜, 或者就是人眼的晶

收稿日期: 1985年4月8日。

体。设人眼的视网膜在  $H$  处, 离瞳孔的距离为  $L$ , 则在网膜上散斑的运动速度<sup>[3]</sup>为

$$V'_T = \left(1 + \frac{A}{R}\right) \frac{\varepsilon}{d} \cdot V \quad (2)$$

式中  $\varepsilon + d = L$ ,  $A$ 、 $R$ 、 $V$  符号的意义同上, 如图 2 所示。

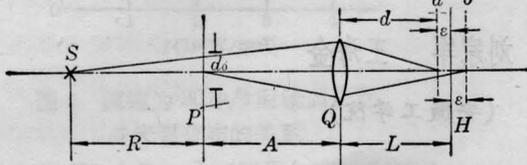


图 2 描写象空间中散斑运动的简图

若  $\varepsilon = 0$ , 即视网膜与光源共轭时, 则网膜上的散斑平移速度  $V'_T = 0$ , 这是正常人的情况。他看不到散斑的平移运动, 只看到散斑的“沸腾”状态。

当用发散光束照明漫射体时, 即  $R > 0$ , 此时, 若  $\varepsilon < 0$ , 则网膜上的斑点平移运动的速度由式(2)决定,  $V'_T$  与  $V$  反向。这相当于近视眼的情况; 若  $\varepsilon > 0$ , 则  $V'_T$  与  $V$  同向, 这相当于远视眼的情况。

## 二、激光散斑验光仪的光路系统

激光散斑验光仪的光路系统如图 3 所示。  $L_0$  是 He-Ne 激光器, 输出功率 0.5~1.0 mW;  $P_1$ 、 $P_2$  是偏振片, 用来改变输出光强,  $M_1$ 、 $M_2$  是反射镜。  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  三个透镜组成扩束系统, 使原来为 1 mm 的高斯光束, 经它扩束之后以  $92.5^\circ$  的发散角投射到漫射屏  $P$ , 在屏上的光斑大小为 30 mm, 照度均匀, 无明显渐晕。漫射屏  $P$  是直径为 180 mm、高 50 mm 的毛玻璃圆柱筒, 由马达驱动, 作慢速转动。激光照射该漫射屏后, 产生动态激光空间散斑场。  $A_P$  是限制光阑。  $L_4$ 、 $L_5$  为放大镜系统, 其中  $L_4$  是复合透镜,  $L_5$  是广角透镜, 系统的放大倍数为 2.2, 视场角为  $14^\circ$ 。  $L_6$  是纠正透镜组, 受检人眼  $E$  通过观察散斑的运动状态, 并选择合适的镜片, 以纠正自己的屈光不正。  $D_P$  是单杜威棱镜, 作为像旋转器, 为

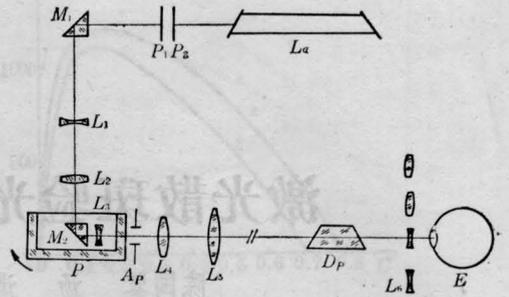


图 3 激光散斑验光仪光路系统原理图

散光眼病人验光时用。通过它可使斑点沿  $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $120^\circ$  四个不同的经线运动。

## 三、检查方法与临床研究报告

### 1. 检查方法

受验者站在 3~5 m 远处, 观察漫射屏后的激光散斑。若观察到散斑图象中的斑点向下运动, 则为近视。拨动眼前纠正透镜组, 直到斑点无明显运动(或呈沸腾状态)为止, 此时透镜组上所显示的度数, 即为受检眼的矫正度数(负球透镜); 若观察到散斑图象中的斑点向上运动, 则为远视。拨动眼前纠正镜片, 直到斑点无明显运动为止, 此时透镜组上所示的度数, 即为矫正度数(正球透镜); 若观察到的斑点不是上、下移动, 而是斜动或滚动, 则为散光眼的情况<sup>[4]</sup>。

### 2. 临床试验报告

按照上述原理和设计, 试制产品样机四台, 经由南京、合肥四个医院眼科和眼镜店试用检查 100 余例, 效果良好。

检查结果(与散瞳检影对比)是:

(a) 球镜: 设以散瞳检影为基准, 偏差的度数为:

$0 \sim \pm 0.13 D$ , 共 19 眼, 占 48.7%;

$0 \sim \pm 0.25 D$ , 共 26 眼, 占 66.7% (含  $0.13 D$ );

$0.25 D \sim 0.50 D$ , 共 12 眼, 占 30%。

此外有一例为高度近视; 其偏差为  $1 D$  (即 100 度)。

- (b) 柱镜: 散光共 21 眼  
 $0 \sim \pm 0.13 D$ , 共 9 眼, 占 42.9%;  
 $0 \sim \pm 0.25 D$  共 14 眼, 占 66.7% (含  $0.13 D$ );  
 $0.25 D \sim 0.73 D$ , 共 7 眼, 占 33.3%。

(c) 轴度:

- $0 \sim 5^\circ$ , 共 15 眼, 占 71.4%;  
 $5^\circ \sim 14^\circ$ , 共 5 眼, 占 24%;

此外有一例不甚理解, 其测量误差高达  $52^\circ$ 。

#### 四、确定散光度的方法

##### 1. 方法与公式

所谓散光眼, 就是眼球平面不同经线方向的屈光力不相同, 因此在验光中, 遇到非正轴散光的病人, 要矫正到令人满意的结果是比较麻烦的。在我们研制的激光散斑电脑验光仪中, 设计了一个像旋转器, 它使激光散斑点沿三条特定的经线运动。设它们与水平线的夹角分别是  $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $120^\circ$ , 其对应的屈光力分别为  $P_0$ 、 $P_{60}$ 、 $P_{120}$ 。检查中测出  $P_0$ 、 $P_{60}$ 、 $P_{120}$  三个数据后, 根据文献[5], 可以算出散光眼的三个参数  $P_s$ 、 $P_c$ 、 $\phi$ , 其中  $P_s$  是球透镜度,  $P_c$  是柱镜度数,  $\phi$  是散光轴与水平线的夹角, 其计算公式为

$$\cos 2\phi = 1.155 \left( \frac{P_{60} - P_0}{P_{120} - P_{60}} \right) + 0.577 \quad (3)$$

$$P_c = 1.155 \left( \frac{P_{120} - P_{60}}{\sin 2\phi} \right) \quad (4)$$

$$P_s = P_0 - \left( \frac{1 - \cos 2\phi}{2} \right) P_c \quad (5)$$

##### 2. 微处理机的设计

利用激光散斑验光时, 对散光眼要进行三个经线方向的测量, 然后利用公式(3)、(4)、(5), 求出  $\phi$ 、 $P_c$ 、 $P_s$ , 要求验光师每验光一只眼进行一次计算, 显然是不现实的。虽然 D. Malacara 曾根据公式做出列线图, 但查起来, 既不方便, 又不精确。为此, 我们试制的验光仪, 配有专用的数据处理的小型计算机,

验光师只要在检查的同时, 把所得的三个数据  $P_0$ 、 $P_{60}$ 、 $P_{120}$  随手存入电脑中, 然后按下执行键, 打印随即打出输入的  $P_0$ 、 $P_{60}$ 、 $P_{120}$  和输出的  $P_s$ 、 $P_c$ 、 $\phi$  六个参数来, 验光师根据  $P_s$ 、 $P_c$ 、 $\phi$  即可开出验光单<sup>[7]</sup>。

我们设计的专用电脑包括硬件结构和软件两个部分<sup>[7]</sup>。

##### (1) 硬件结构

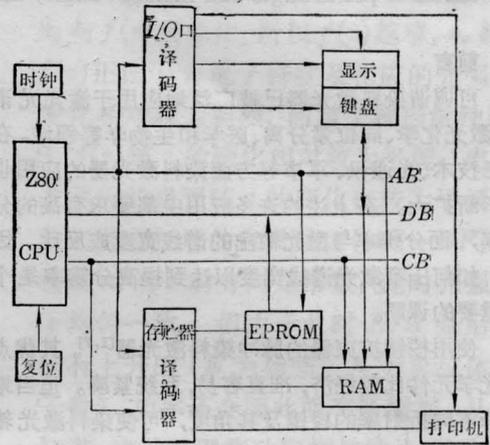


图 4 硬件结构图

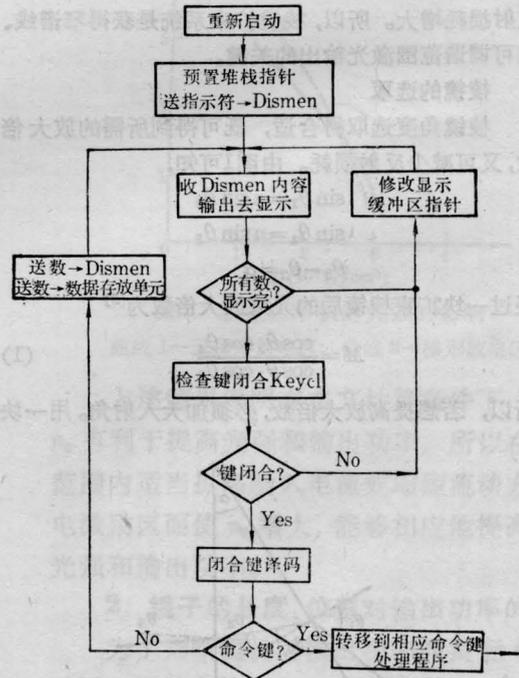


图 5 监检程序流程图

(下转第 355 页)

品压力较高的情况下尤为明显。对较弱的吸收带, 由于测量时往往要加更多的样品使得样品压力增大, 压力加宽效应显著。这时, 微分光谱的测量精度要比线性吸收光谱高。

当激光器工作良好, 光谱本身又不太密的情况下, 二阶微分光谱的谱线相对强度分布与一般吸收光谱的是一致的。在多普勒展宽情况占优势的情况下, 谱线形状是呈高斯型的, 即:

$$I(\omega) = I_0 \exp[-(\omega - \omega_0)^2/B] \quad (7)$$

$B$  是与分子质量及温度等有关的常数。当  $\omega = \omega_0, I = I_0$ 。而微分光谱的信号强度是:

$$\frac{d^2 I}{d\omega^2} = -\frac{2I_0}{B} e^{-(\omega - \omega_0)^2/B} + \frac{4I_0}{B} (\omega - \omega_0)^2 e^{-(\omega - \omega_0)^2/B}, \quad (8)$$

当  $\omega = \omega_0$  时:

$$\left. \frac{d^2 I}{d\omega^2} \right|_{\omega_0} = -\frac{2I_0}{B}。$$

因此二阶微分光谱的谱线强度是与线性光谱的一致, 但信号符号正好反向。当有两条谱线重叠时, 分开的谱线的相对强度不再遵循原来的规律。在这种情况下给归属和辨认带来了很大的困难。

此外我们在做  $\nu_4$  带光谱时是用单光路扫出的, 因此信号强度还与  $I_0(\nu)$  因子有关, 在某些情况下相对强度规律无法体现, 给归

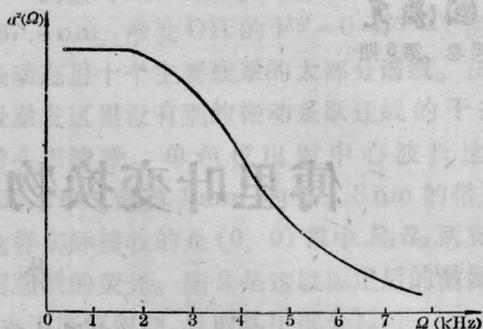


图3 调制系数平方随调制频率的变化曲线

属带来了一定的麻烦。改进此方法的最佳途径是利用双光路<sup>[3]</sup>。

我们还发现一个很有趣的现象, 当调制频率  $\Omega$  增加时(其它条件不变), 信号随  $\Omega$  增大而下降(如图3), 我们认为其原因在于: 激光频率是由于电流变化引起温度变化来调谐的, 而当调制频率  $\Omega$  很大时, 温度的变化跟不上调制电流变化的频率, 因此调谐系数  $a$  就变小。

### 参 考 文 献

- [1] Nakagawa I., Shimanouchi T.; *Spectrochim. Acta*, 1962, **18**, 513~539.
- [2] Papousek D. et al.; *J. Mol. Spectrosc.*, 1983, **101**, No. 1.
- [3] Pokrowsky D., Herrmann W.; *Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering*, 1981, **286**, Washington, D. C. pp 33.

(上接第 375 页)

本机采用 Z80 CPU, 时钟频率 1.9968 MHz, 4K 字节 EPROM, 1K 字节 RAM。还配有必要的译码器、锁存器驱动器等。

输入键盘有 10 个数字键, 2 个符号键, 6 个功能键。输出显示器为五个七段 LED 显示器。由软件实现 0~9 十个十进制数码和一些特定符号“-”、“P”等的显示。

#### (2) 软件部分

软件部分包括监检程序和计算程序, 监检程序流程图如图 5。

本方法不适用于无知幼儿和器质性病变的测定。

### 参 考 文 献

- [1] V. Mohon, A. Rodemann; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, 783.
- [2] T. Asakura, N. Takai; *Appl. Phys.*, 1981, **25**, 179.
- [3] H. Ohzu; *Opt. Acta*, 1979, **26**, No. 8, 1089.
- [4] 石锦辉等; 《安徽医学院学报》, 1984, **19**, No. 2,
- [5] D. Malacara; *Am. J. Optom. and Physiol.*, 1974, **51**, 15.
- [6] 刘家军等; 《安徽工学院学报》, 1985, No. 1.