

文章编号 : 0258-7025(2001)04-0382-03

激光散斑视觉速度规律的研究

苏永道 宋世学

(济南大学物理系 济南 250002)

提要 定量给出了激光散斑在人眼视网膜上移动的速度和视觉速度的规律,找到了用激光散斑既方便快捷,又精确检验非正视眼光焦度的方法。

关键词 激光散斑,非正视眼,视觉速度,验光

中图分类号 TN 247, TN 249 文献标识码 A

Study on the Visual Velocity of Laser Speckle on Retina

SU Yong-dao SONG Shi-xue

(Department of Physics, Jinan University, Jinan 250002)

Abstract The quantitative relation between visual velocity and the moving velocity of laser speckle on retina is studied. By using laser speckle a prompt and precise method to examine the focal powers of abnormal eyes is given.

Key words laser speckle, abnormal eye, visual velocity, optometry

1 引 言

正视眼的远点在无穷远,无穷远的物点成像于视网膜上,在调节时,小于明视距离的物点也能成像于视网膜上。不符合上述条件的眼睛统称为非正视眼。近视眼因眼球过长或角膜曲率半径过小,远点在眼前有限距离处。远视眼因眼球过短或角膜曲率半径过大,近点大于明视距离。角膜和水晶体沿垂直于眼睛光轴各个方向上的光焦度不一致,则为散光眼。利用激光散斑在人眼视网膜上移动的速度和视觉速度的规律,配备摄像机或变焦光学系统^[1],可方便快捷、精确地检验非正视眼的光焦度。相干光照射到漫射体(如毛玻璃片)时,由散斑的统计特性知,其表面附近好象覆盖着一层精细的颗粒状结构,称为激光散斑。激光散斑对正视眼和非正视眼在睫状肌松弛状态下,都能清楚地看到,只是所看到散斑颗粒线度不同。当漫射体移动时,正视眼和非正视眼的近视、远视、散光眼所看到漫射体表面附近散斑的移动方向不尽相同,且非正视眼偏离正视眼光焦度越大,散斑移动速度也越大。本文给出了 Fresnel 散斑和 Fraunhofer 散斑在人眼视网膜上移动的速度

和视觉速度的规律,并简要介绍了主观和客观验光的方法。

2 散斑在人眼视网膜上移动速度表达式的推导

为简单起见,用薄透镜 L 替代眼睛的折光系统来推导散斑在人眼视网膜上移动速度的表达式。设扩束 He-Ne 激光的球面波曲率半径为 R ,漫射体毛玻璃片 A 以匀速度 v 沿 y 轴正向运动,毛玻璃片附近某一散斑 ξ 至眼睛折光系统 L 的距离为 S ,散斑像 ξ' 至眼睛折光系统 L 的距离为 S' ,至视网膜距离为 δ ($\delta = 0$ 为正视眼, $\delta < 0$ 为近视眼, $\delta > 0$ 为远视眼), ξ 在视网膜上所成的像为 ξ'' ;在视网膜和毛玻璃片处建立如图 1 所示的直角坐标, ξ 至坐标原点 o

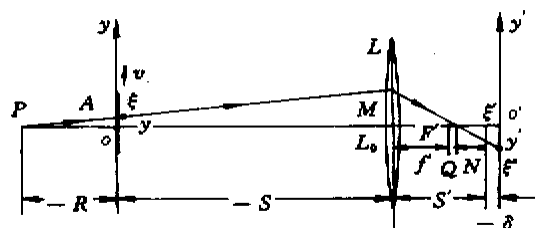


图 1 激光散斑和散斑的光路图

Fig. 1 Formation of laser speckle's image

的距离为 y ; z' 至坐标原点 o' 的距离为 y' ,图中各物理量都用绝对值表示 ,如 $S > 0$,在 S 前冠一负号。由图 1 中三角形的相似性得

$$\frac{-R}{-R-S} = \frac{y}{M}, \quad \frac{-\delta + N}{f' + Q} = \frac{-y'}{M}$$

两式相比得

$$-\frac{y'}{y} = \frac{(N - \delta)(R + S)}{(f' + Q)R} = \frac{\left(-\frac{S'^2}{S - S'} - Q - \delta\right)(R + S)}{\left(\frac{SS'}{S - S'} + Q\right)R}$$

因为 $Q \ll f'$,所以 Q 可略去不计 ,则

$$-\frac{y'}{y} = \frac{\left(-\frac{S'^2}{S - S'} - \delta\right)(R + S)}{\frac{SS'}{S - S'}R} = \frac{[-S'^2 - \delta(S - S')](R + S)}{SS'R} = \frac{S' - \delta}{S} \left[\frac{-(S - S')S\delta}{(S' - \delta)S'} - \frac{SS'}{S' - \delta} \right] \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{S} \right)$$

因为 $S' \gg \delta$, $S \gg S'$
所以 $S' - \delta \approx S'$, $S - S' \approx S$
因此

$$-\frac{y'}{y} = \frac{S' - \delta}{S} \left[-\left(\frac{S}{R} + 1\right) - \frac{S^2}{S'^2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{S}\right) \delta \right]$$

$$y' = \frac{S' - \delta}{S} \left[\left(\frac{S}{R} + 1\right) + \frac{S^2}{S'^2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{S}\right) \delta \right] y$$

变量 y 和 y' 对时间 t 微分得

$$\frac{dy'}{dt} = \frac{S' - \delta}{S} \left[\left(1 + \frac{S}{R}\right) + \frac{S^2}{S'^2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{S}\right) \delta \right] \frac{dy}{dt}$$

$$v_{Fh}' = \frac{S' - \delta}{S} \left[\left(1 + \frac{S}{R}\right) + \frac{S^2}{S'^2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{S}\right) \delta \right] v \quad (1)$$

(1) 式为 Fresnel 散斑在人眼视网膜上移动速度的表达式。当 $R = -\infty$ 时 (1) 式则可写成

$$v_{Fh}' = \frac{S' - \delta}{S} \left(1 + \frac{S}{S'^2} \delta \right) v \quad (2)$$

(2) 式为 Fraunhofer 散斑在人眼视网膜上移动的速度表达式。当把上述两种散斑在人眼视网膜上移动的速度折合到毛玻璃片上时 ,则散斑在人眼视网膜上移动的视觉速度分别为

$$v_{Fh}'' = \left[\left(1 + \frac{S}{R}\right) + \frac{S^2}{S'^2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{S}\right) \delta \right] v \quad (3)$$

$$v_{Fh}'' = \left(1 + \frac{S}{S'^2} \delta \right) v \quad (4)$$

下面以激光散斑在人眼视网膜上移动的视觉速度为

例 ,找出散斑对正视眼和非正视眼的规律 ,散斑在人眼视网膜上移动的速度规律与移动的视觉速度规律相似 ,只差一标定因子 $S' - \delta/S$ 。

3 激光散斑在人眼视网膜上移动的视觉速度规律

3.1 Fresnel 散斑在人眼视网膜上移动的视觉速度规律

在产生散斑的验光装置和受检者的位置确定以后 (3) 式中的 R, S, S', v 皆为常数 , v_{Fh}'' 是 δ 线性函数。以 δ 为横坐标 ,以 v_{Fh}'' 为纵坐标 ,绘出 v_{Fh}'' 与 δ 的关系曲线 ,如图 2 所示。图 2 说明 $\delta = 0$ 的正视眼所看到的散斑移动速度 $v_{Fh}'' = (1 + S/R)v$,方向与毛玻璃片运动方向一致 ,则称顺动 ,速度大小是毛玻璃片运动速度 v 的 $(1 + S/R)$ 倍。在 $0 < \delta < -S'^2/S$ 的远视眼受检时 ,所看到的散斑移动方向仍为顺动 ,散斑速度随远视程度的增大而减小。只有在 $\delta = -S'^2/S$ 的远视眼受检时 ,散斑才相对于图 1 的坐标原点 o 静止不动 ,相对毛玻璃片以速度 $(1 + S/R)v$ 移动。在 $\delta > -S'^2/S$ 的远视眼受检时 ,所看到的散斑移动方向与毛玻璃片运动方向相反 ,则称逆动 ,散斑逆动的速度随远视程度的增大而增大。 $\delta < 0$ 的近视眼皆为顺动 ,顺动的速度随近视程度的增大而增大。这就是 Fresnel 散斑在人眼视网膜上移动的视觉速度规律。当用会聚激光束 ($R > 0$) 照射毛玻璃片 ,在 $R < |S|$ 时 ,Fresnel 散斑在人眼视网膜上移动的视觉速度规律与上述规律相反。

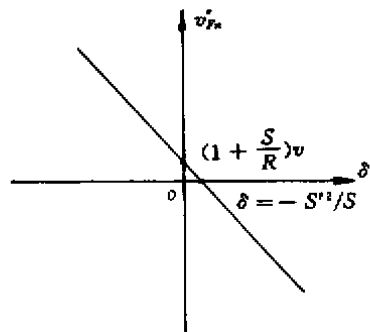


图 2 Fresnel 散斑 v_{Fh}'' 与 δ 的关系曲线

Fig.2 Curve of the Fresnel speckle vs v_{Fh}''

3.2 Fraunhofer 散斑在人眼视网膜上移动的视觉速度规律

Fraunhofer 散斑与 Fresnel 散斑相似 , v_{Fh}'' 是 δ 的

线性函数。顺动与逆动的规律也与 Fresnel 散斑相同,只是 $\delta = 0$ 的正视眼所看到的散斑移动速度与毛玻璃片的运动速度相同, $v_{\text{Fh}}'' = v$, 即散斑相对毛玻璃片静止不动。在 $\delta = -S'^2/S$ 的远视眼受检时,散斑相对图 1 坐标原点 o 静止不动,相对毛玻璃片以 $-v$ 运动。

4 结 论

通过对 Fresnel 散斑和 Fraunhofer 散斑在人眼视网膜上移动的视觉速度规律的分析,使我们找到了主观和客观验光的方法。主观验光时,在受检者眼前置一定主点变焦光学系统,该变焦光学系统的变焦范围对所有人眼都适用。“正视眼”通过变焦光学系统观察毛玻璃片附近的散斑时,调节变焦光学系统,使正视眼看到的散斑相对图 1 坐标原点 o 不动,再以(3)式或(4)式定标变焦光学系统的光焦度零点,定标后,纯近视和纯远视眼验光时,只要调节变焦光学系统使受检者与正视眼看到的散斑一样不动,则变焦光学系统显示的光焦度即为受检者的光焦度。散光眼受检时,可在垂直于眼睛光轴互成 120° 角的三个方向上测出光焦度的大小,再用散光椭圆模型,通过单片机计算出散光轴向和近视(或远视)及散光的光焦度。主观验光虽然消除了眼睛调节引起的验光误差,但存在受检者主观因素引起的

误差较大。客观验光时,不需要定主点变焦光学系统,而是用高分辨率微型摄像机通过分光板调焦于人眼视网膜上,将摄像机摄取的图像信息每隔 Δt 时间进行 A/D 转换,根据散斑的统计相关性^[2],由微处理器求出散斑在视网膜上移动的速度,然后再由(1)(2)式换算成非正视眼的光焦度。这种客观验光方法,除观察散斑能消除眼睛的调节外,也不存在受检者主观因素引起的误差,因此,用激光散斑检验眼睛的视力既快捷又精确。主观验光误差一般小于眼镜光焦度的一个间隔 0.25D ,客观验光误差均小于或等于 $\pm 0.10\text{D}$,通过与传统验光方法对比可知,用激光散斑验光其精度仅次于屈光计法,而优于其他方法。当用功率 $2 \sim 3 \text{ mW}$ He-Ne 激光器作为光源时,散斑在人眼视网膜上的辐射率与灼伤加权函数的乘积在 24 h 内连续观察,比国际照明委员会(CIE)规定的可见光波段热损伤阈值小两个数量级^[3],所以用激光散斑检验人眼视力是绝对安全的。

参 考 文 献

- 1 Su Yong-dao. Measure of laser speckle. *China Patent*, No. 87101395.5, 1992-10-23 (in Chinese)
- 2 M. Francon. *Laser Speckle and Applications*. New York: Optics, 1979. 33
- 3 Li Jing-zhen. *Optics Guidebook*. Shanxi: Shanxi Science and Technology Publishing House, 1986. 825 ~ 828 (in Chinese)