

文章编号: 1001-5078 (2006) 08-0699-04

# 一种确定波片快慢轴方位的新方法

汪桂霞, 徐昌杰, 王青松

(西安工业学院光电工程学院, 陕西 西安 710032)

**摘要:**提出了一种新的波片快慢轴的确定方法,此方法是将待测波片置于起偏器和检偏器之间,通过旋转待测波片,对出射光的光强进行两组数据测量,就可以确定待测波片的某一光学主轴,再通过判断出射光的偏振态来确定该光学主轴是快轴还是慢轴。本方法对测量用的光源波长、光电探测器的线性、暗流及各向同性均没有要求,可以确定出任何相延角波片的快慢轴,定轴精度可达  $\pm 0.1^\circ$ 。

**关键词:**波片;快慢轴;椭圆偏振光;旋向

**中图分类号:** O432 **文献标识码:** A

## A New Method of Confirming the Fast or Slow Axis Azimuth of Wave Plate

WANG Gui-xia, XU Chang-jie, WANG Qing-song

(Department of photoelectric engineering, Xi'an Institute of technology, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** In The paper a new method which can mark the placement of the fast or slow axis of wave plate is suggested. The measured wave plate is placed between polarizer and analyzer, and measures the intensity of the emergent light for two group data through revolving it, with that can mark one of the optics principal axes of the measured wave plate. Then, measuring the optics principal axis is the fast or slow axis through judging the state of polarization of the emergent light. The method have not any require to the wavelength of the lamp-house, and to the linearity, undercurrent, isotropy of the photoelectric detector. It can mark the placement of the fast or slow axis of the wave plate having any phase delay, the precision of marking the placement of the fast or slow axis is to be 0.1 degree.

**Key words:** wave plate; fast or slow axis; elliptical polarized light; revolving direction

### 1 引言

波片在现代偏光技术和激光应用技术领域中被广泛的应用,在许多需要用到波片的测量方法中,不仅波片自身的精度直接影响其结果,而且还经常需要事先精确地测定出波片的快慢轴方向。通常用于判定快慢轴的方法有:菲涅耳菱体法<sup>[1]</sup>、筒式半影偏光仪法<sup>[2]</sup>、直角棱镜法<sup>[3]</sup>等。本文提出的新的确

定方法简单而且具有较高的精度。

### 2 测量原理及装置

如图 1 所示,光源 S 置于准直镜  $L_1$  的物方焦点上,平行光垂直于起偏器  $P_1$ 、待测波片 Q 和检偏器

作者简介:汪桂霞(1982-),女,在读工学硕士,主要从事光电测量技术研究工作。

收稿日期:2006-02-18;修订日期:2006-04-04

$P_2$  工作面入射,出射平行光经会聚镜  $L_2$  会聚后被光电探测器 G接收,光电流经放大后由电流显示器 R显示。

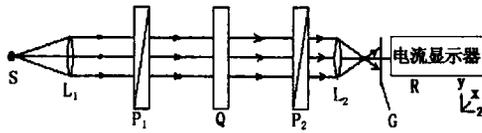


图 1 测量装置图

Fig 1 device of measuring

如图 2所示,  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  分别为起偏器  $P_1$  的透光轴方向  $N_1$  和检偏器  $P_2$  的透光轴方向  $N_2$  与  $x$ 轴的夹角,  $\theta$  为  $N_1$  与  $N_2$  的夹角,  $\phi$  为待测波片 Q的某一光学主轴方向  $D$  与  $x$ 轴的夹角。

若入射到  $P_1$  的光矢为  $E_0$ ,  $P_2$ 、 $P_1$  和波片 Q的琼斯矩阵分别为  $P(\alpha_2)$ 、 $P(\alpha_1)$ 、 $W(\theta)$ ,  $\delta$  为 Q的相位延迟角。

$$E_0 = \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$P(\alpha_2) = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha_2 & \frac{1}{2} \sin 2\alpha_2 \\ \frac{1}{2} \sin 2\alpha_2 & \sin^2 \alpha_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$P(\alpha_1) = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha_1 & \frac{1}{2} \sin 2\alpha_1 \\ \frac{1}{2} \sin 2\alpha_1 & \sin^2 \alpha_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$W(\theta) = \cos \frac{\delta}{2} \begin{bmatrix} 1 \mp i \tan \frac{\delta}{2} \cos 2\phi & \mp i \tan \frac{\delta}{2} \sin 2\phi \\ \mp i \tan \frac{\delta}{2} \sin 2\phi & 1 \pm i \tan \frac{\delta}{2} \cos 2\phi \end{bmatrix} \quad (4)$$

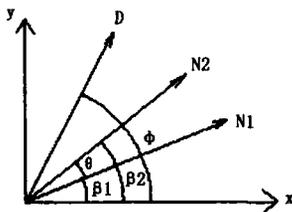


图 2 确定出射光强极值原理图 (1)

Fig 2 schematic diagram (1) of theory of confirming the extremum of the emergent light

则从  $P_2$  出来的光矢量为:

$$E = P(\alpha_2)W(\theta)P(\alpha_1)E_0$$

$$= \begin{bmatrix} \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \mp i \tan \frac{\delta}{2} \cos(2\phi - \alpha_1 - \alpha_2) \\ \cos \frac{\delta}{2} \begin{bmatrix} \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 & \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \\ \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 & \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (5)$$

(5)式中,当  $D$  为快轴时取“-”;当  $D$  为慢轴时取“+”。

如图 3所示,当  $N_1$  与  $N_2$  重合,且都沿  $x$ 轴方向时,则  $\theta = 0$ ,且  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ ,由公式 (5)得:

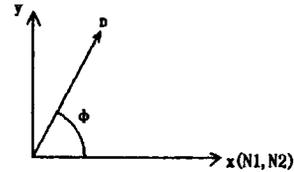


图 3 确定出射光强极值原理图 (2)

Fig 3 schematic diagram (2) of theory of confirming the extremum of the emergent light

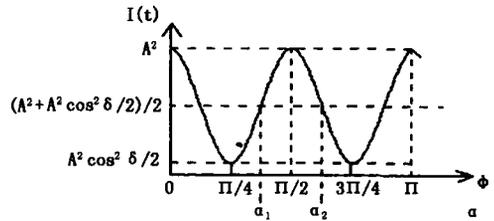


图 4  $I(t) - \phi$  关系曲线图

Fig 4 graph of relation between  $I(t)$  and  $\phi$

$$E = (1 \mp i \tan \frac{\delta}{2} \cos 2\phi) \cos \frac{\delta}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\cos \frac{\delta}{2} \mp i \sin \frac{\delta}{2} \cos 2\phi) A \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

则 G接收到的光强为:

$$I = EE^* = A^2 (\cos^2 \frac{\delta}{2} + \sin^2 \frac{\delta}{2} \cos^2 2\phi) \quad (7)$$

(7)式表明,对于相延角为  $\delta$  的波片,当保持  $P_1$  和  $P_2$  的透光轴互相平行,出射光强  $I$  仅随  $\phi$  而变,而转动波片时,出射光强变化见图 4。图 4中  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  为安置波片 Q的垂直度盘的角度示值。当:

$$\phi = \frac{k}{4} \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (8)$$

时,  $I$  有极值:

$$I_{\max} = A^2, I_{\min} = A^2 \cos^2 \frac{\delta}{2} \quad (9)$$

当转动波片 Q,使  $\phi$  角满足 (9)式的  $I_{\max}$  和  $I_{\min}$  值时,波片 Q的两正交主轴与  $x$ 轴和  $y$ 轴重合。因此,只

要确定出射光强 I 的极值方位,就可以确定波片 Q 的主轴(快或慢轴)方位。

### 3 调整测试及快慢轴的判定

#### 3.1 调整测试

对(7)式求二阶导数并令其为零,有:

$$\frac{d^2 I}{d\phi^2} = -8A^2 \sin^2 \frac{\phi}{2} \cos 4\phi = 0 \tag{10}$$

则  $\phi = \frac{k}{4} + \frac{\pi}{8}$  ( $k=0, 1, 2, \dots$ ), 这些值是图 4 曲线的

拐点处,即  $\phi$  值的较小值的变化将引起 I 值的足够

大的变化,此时  $I = \frac{(A^2 + A^2 \cos^2 \phi/2)}{2}$ , 如图 4 所

示。因此确定 I 最大值时不直接寻找图 4 中的  $I_{max}$

值,而是在图 4 曲线的拐点附近(不要求精确对准拐点)记下安置波片 Q 的垂直度盘的读数  $\alpha_1$  和出

射光电流示值  $i_1$ , 转动 Q 波片度盘,使电流显示器 R 示值逐渐增大越过最大值  $i_{max}$ ,再减小到  $i_1$  值时读取

安置波片 Q 的垂直度盘读数  $\alpha_2$ 。

$$\phi = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 \tag{11}$$

(11)式中的  $\phi$  值即为图 4 中出射光强为  $I_{max}$  时的 Q 波片度盘的示值,将 Q 波片度盘示值调整到  $\phi$  值时,待测波片 Q 的两正交主轴与 x 轴和 y 轴重合。

用上述方法可以大大提高测量精度。

#### 3.2 快、慢轴的判定

如图 5 所示,在波片 Q 与  $P_2$  之间安置已知快慢轴的  $\lambda/4$  波片  $B_1$ , 并让  $B_1$  的快轴方向  $M_1$  沿 x 轴方向。此时,  $M_1$  与待测波片 Q 的某一光学主轴 D 重合,可以把  $B_1$  和波片 Q 看成复合式波片,设此复合式波片的相延角为  $\delta_{总}$ 。转动  $P_1$ , 使  $P_1$  透光轴方向  $N_1$  与 x 轴成一略小于 45 夹角。

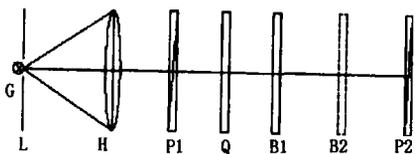


图 5 快轴的判定装置图

Fig 5 schematic diagram of marking the fast axis

则从  $B_1$  出射的光矢为:

$$E_{B1} = W(\delta_{总}) \times E_{P1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\delta_{总}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi e^{i\delta_{总}} \end{bmatrix} \tag{12}$$

上式中,  $W(\delta_{总})$  为复合波片的琼斯矩阵,  $E_{P1}$  为从  $P_1$  出射的光的归一化琼斯矢量<sup>[4]</sup>。

由(12)式可知,从  $B_1$  出射的光为线偏振光或者椭圆偏振光。

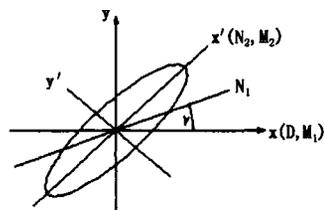


图 6 快轴的判定原理图

Fig 6 theory of marking the fast axis

如图 6 所示,转动  $P_2$ , 使从  $P_2$  出射的光强为最大(即  $P_2$  透光轴  $N_2$  与椭圆偏振光的长轴或线偏振光重合), 然后在  $B_1$  与  $P_2$  之间再安置已知快慢轴的  $\lambda/4$  波片  $B_2$  (如图 5 所示), 使  $B_2$  的任一光学主轴  $M_2$  与  $P_2$  透光轴  $N_2$  重合。则从  $B_2$  出射的光均为线偏振光。

此时,以 x - y 为直角坐标系, 如果从  $B_1$  出射的光为线偏振光, 那么从  $B_2$  出射的光也为线偏振光, 且其振动方向不改变; 如果从  $B_1$  出射的光为椭圆偏振光, 那么其为左旋 ( $\sin \delta_{总} > 0$ ) 时, 从  $B_2$  出射的光为一、三象限的线偏振光, 其为右旋 ( $\sin \delta_{总} < 0$ ) 时, 从  $B_2$  出射的光为二、四象限的线偏振光。

转动  $P_2$ , 若  $P_2$  转到二、四象限时出现消光, 则从  $B_2$  出射的光为一、三象限的线偏振光; 若  $P_2$  转到一、三象限时出现消光, 则从  $B_2$  出射的光为二、四象限的线偏振光。因此, 可以通过观察消光现象出现时  $P_2$  所在的象限来判定波片 Q 的快、慢轴方位。

若  $P_2$  转到二、四象限时出现消光, 当被测波片 Q 的相延角  $\frac{\delta_{总}}{2} < \frac{3}{2}$  时,  $0 < \delta_{总} = -\delta_{总} / 2 < \pi$ , 则波片 Q 的快轴与 y 轴重合; 当被测波片 Q 的相延角  $0 < \frac{\delta_{总}}{2} < \frac{3}{2}$  或  $\frac{3}{2} < \frac{\delta_{总}}{2} < \pi$  时,  $0 < \delta_{总} = +\delta_{总} / 2 < \pi$ , 则波片 Q 的快轴与 x 轴重合。

若  $P_2$  转到一、三象限时出现消光, 当被测波片 Q 的相延角  $\frac{\delta_{总}}{2} < \frac{3}{2}$  时,  $0 < \delta_{总} = +\delta_{总} / 2 < \pi$ , 则波片 Q 的快轴与 x 轴重合; 当被测波片 Q 的相延角  $0 < \frac{\delta_{总}}{2} < \frac{3}{2}$  或  $\frac{3}{2} < \frac{\delta_{总}}{2} < \pi$  时,  $0 < \delta_{总} = -\delta_{总} / 2 < \pi$ , 则波片 Q 的快轴与 y 轴重合。

测量结果见表 1。

表 1 测量结果

Table 1 results of measuring

P <sub>2</sub> 转到二、四像限时消光		P <sub>2</sub> 转到一、三像限时消光	
被测波片 Q 相 延角 范围	结论	被测波片 Q 相 延角 范围	结论
$\frac{\pi}{2} < \frac{3}{2}$	快轴 沿 y 轴	$\frac{\pi}{2} < \frac{3}{2}$	快轴 沿 x 轴
$0 < \frac{\pi}{2}$ 或 $\frac{3}{2}$	快轴 沿 x 轴	$0 < \frac{\pi}{2}$ 或 $\frac{3}{2}$	快轴 沿 y 轴

#### 4 定轴误差分析

4.1 P<sub>1</sub> 和 P<sub>2</sub> 的透光轴不平行 ( 0) 时产生的测量误差  $\phi$

如果 0, 不妨设  $\phi_1 = 0, \phi_2 = \phi$ , 由 (5) 式可得, 从 P<sub>2</sub> 出射的光矢为:

$$E = A \cos \frac{\pi}{2} \begin{bmatrix} \cos \left[ \cos \mp itg \frac{\pi}{2} \cos(2\phi - \phi) \right] \\ \sin \left[ \cos \mp itg \frac{\pi}{2} \cos(2\phi - \phi) \right] \end{bmatrix} \quad (14)$$

则此时 G 接收到的光强:

$$I = E E^* = A^2 \cos^2 \frac{\pi}{2} \left[ \cos^2 + tg^2 \frac{\pi}{2} \cos^2(2\phi - \phi) \right] \quad (15)$$

令  $\frac{dI}{d\phi} = 0$ , 有:

$$\frac{dI}{d\phi} = -A^2 \sin^2 \frac{\pi}{2} \sin(4\phi + 2\phi) = 0 \quad (16)$$

则  $\phi = \frac{k}{4} - \frac{\pi}{2}$  ( $k=0, 1, 2, \dots$ ) 与公式 (8) 的理论值误差  $\phi = \frac{\pi}{2}$ 。

当安置 P<sub>1</sub> 和 P<sub>2</sub> 的垂直度盘示值误差 0.05 时, 确定 P<sub>1</sub> 透光轴和 P<sub>2</sub> 透光轴的误差均为 0.074<sup>[5]</sup>, 即  $\phi = 0.074^\circ$ ; 则有:

$$\phi = \frac{\pi}{2} = \frac{0.074^\circ}{2} = 0.037^\circ \quad (17)$$

4.2 安置波片 Q 的垂直度盘的示值误差  $\phi_z$

垂直度盘的示值误差  $\phi_{z1} = 0.05^\circ$ ; 实际测量中判读两次:

$$\phi_z = \sqrt{2} \phi_{z1} = 0.071^\circ \quad (18)$$

4.3 确定光强极值时,  $\phi_1, \phi_2$  等强度的判读误差  $\phi_s$

$\phi_1, \phi_2$  等强度判读一次的误差  $\phi_{s1} = 1.26^{[5]}$ ,

测量中判读两次:

$$\phi_s = \sqrt{2} \times 1.26 = 0.030^\circ \quad (19)$$

4.4 P<sub>1</sub> 透光轴的定轴误差引起的  $\phi$  的测量误差  $\phi_p$

P<sub>1</sub> 透光轴的定轴误差也会直接影响波片 Q 的定轴。由上可知, 确定 P<sub>1</sub> 透光轴的误差是 0.074 $^\circ$ ; 故有:

$$\phi_p = 0.074^\circ \quad (20)$$

综合 (17), (18), (19), (20) 式, 得出总的定轴误差为:

$$\begin{aligned} \phi &= \pm \sqrt{\phi^2 + \phi_z^2 + \phi_s^2 + \phi_p^2} \\ &= \pm \sqrt{(0.037^\circ)^2 + (0.071^\circ)^2 + (0.030^\circ)^2 + (0.074^\circ)^2} \\ &= \pm 0.11^\circ \end{aligned} \quad (21)$$

#### 5 结论

1) 由上述分析可知, 本文提出的定轴方法简单, 且精度可达 0.1 $^\circ$ ;

2) 本方法对确定任何相延角 波片的快、慢轴都适用;

3) 由于本方法与被测波片的相延角无关, 因此, 在测量过程中所用的光源波长与波片实际使用时所用的波长无关。如在激光波长中使用的波片可以用钠光光源来定轴;

4) 本方法对光电探测器的线性和暗流没有要求, 并且由于主轴确定时 P<sub>2</sub> 与光电探测器相对位置是不变的, 因此对光电探测器的各向同性也无要求。

#### 参考文献:

- [1] 王吉明, 李国华. 菲涅尔菱体在确定 1/4 波片快慢轴中的应用 [J]. 光学技术, 2002, 28(3): 245 - 246, 249.
- [2] 李建华. 用筒式半影偏光仪精确测定 1/4 波片的快轴方向和慢轴方向 [J]. 唐山师范学院学报, 2002, 24(5): 65 - 66.
- [3] 王政平, 李庆波, 谭巧, 等. 测量 1/4 波片实际相移量并判定快慢轴的方法 [J]. 中国激光, 2005, 32(4): 524 - 526.
- [4] 梁钰廷. 物理光学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1979. 217.
- [5] 徐昌杰. 根据布儒斯特定律确定偏振元件的透光轴方位 [J]. 光学技术, 1992, (2): 35 - 37.