

三元复合延迟型退偏器的研制

李国华 张大伟

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜, 273165)

摘要: 三元复合延迟型退偏器是设计的一种新型退偏器, 经实验与实践检验, 该退偏器退偏效果很好。

关键词: 退偏器 延迟 偏振敏感性

Three-element compound delayed depolarizer

Li Guohua, Zhang Dawei

(Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu, 273165)

Abstract: Three-element compound delayed depolarizer is a new kind of depolarizer. Experiments show that it has good performance.

Key words: depolarizer delay polarization sensitivity

引言

自从 1808 年发现了光的偏振现象以来, 已经有各种各样的偏光器件问世, 但对退偏器件的研究却不多。研究表明, 几乎所有的光探测器件都有偏振敏感性。为了保证测量精度, 就需要在探测器窗口上加一退偏器件, 以消除因探测器件的偏振敏感性带来的测量误差。退偏要比起偏困难得多, 因此, 方法也很有限。目前, 问世的有 Lyot 型退偏器、石英旋光退偏器、直角棱镜型退偏器、楔型晶体退偏器、Lyot 改进型退偏器等^[1]。这些退偏器, 有的在使用时需要首先调整器件的晶体光轴, 使其与入射光束的偏振面成 45° 角, 而且会产生光束偏折和一定的分束, 造成使用上的诸多不便, 有的仅对多色光退偏效果好, 对单色光则效果欠佳, 有的对线偏光和椭圆偏光退偏效果好, 对圆偏光则无能为力^[2]。

作者将介绍一种新型退偏器——三元延迟退偏器, 它利用延迟片进行组合, 就能对所有偏振类型的单色光退偏。下面给出其退偏机理的理论分析与该退偏器的实验装置。

1 理论分析

一般光源因发光机理的随机性, 所发的光束多是自然光。电矢量的振动方向具有一定规则的光波称偏振光, 在垂直光传播方向的平面内, 各方向随时间的平均值显然是不相等的。

光电探测器件是把光信号转换为电信号从而进行计量的, 这种光电转换是在光电转换物质的原子或分子中进行的。光电转换物质存在的微观不均匀性, 造成了转换物质对不同偏振态转换效率的差异 (尤其是对线偏振光), 这就是我们所说的偏振光检测中的偏振敏感性。

研究证明, 光电转换器件对自然光或准自然光没有偏振敏感性, 这就是光电探测中必须退偏的原因。我们对文献 [3], [4] 中给出的旋转式补偿器进行了研究。它是 3 个波片的组合, 其中, 当中间的波片转动一定角度, 就能使入射光进行位相补偿。若入射光为偏振光, 则经过补偿器出射时, 它的偏振方向也相应改变。当中间的波片快速转动时, 则出射光的偏振方向在瞬

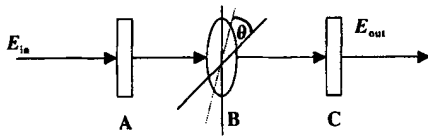
时改变,从而在垂直其传播方向的平面内,各方向随时间的平均值相等,与自然光类似,因此,达到了退偏的目的。

经过分析,上述文献中给出的补偿器不能直接用于退偏器。为此,我们改进了文献[3], [4]中给出的补偿器,以使其成为一种新型退偏器。结构如图 1。

图 1 中, A 为快方向在 0° 方位的 1/4 波片, B 为旋转的 1/2 波片, C 为快方向在 90° 方位的 1/4 波片。

用矩阵光学阐述入射光的偏振状态改变过程如下。

器件 A, B, C 的琼斯矩阵为:



$$A = \begin{bmatrix} 1 + i & 1 & 0 \\ 2 & 0 & -i \end{bmatrix}$$

$$B = i \begin{bmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{bmatrix}, \quad \theta \text{ 是快方向与 } x \text{ 轴夹角}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 + i & -i & 0 \\ 2 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Fig. 1 Structure of the three-element compound delayed depolarizer

设入射光为偏振光 $E_{in} = \begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix}$, m, n 可为任意复数。它经过退偏器后,出射光的琼斯矩阵为:

$$E_{out} = CBA E_{in} = \frac{1+i}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -i & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} i \begin{bmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{bmatrix} \frac{1+i}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i m \cos 2\theta + n \sin 2\theta \\ i n \cos 2\theta - m \sin 2\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

可见,出射光的偏振状态已发生了改变,且不同的 θ 角对应不同的偏振状态。当 1/2 波片旋转时, θ 角随着变化,从而出射光的偏振状态瞬间变化,实现了退偏的效果。

退偏器主要用于对偏振光的探测时,消除光电转换器件偏振敏感性的影响。因此,这种退偏器对所需探测的光强大小的影响,是需要探讨的。分析如下:

为简化计算,设 m, n 为实数,即入射光为线偏光 $\begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix}$ 。由(1)式知, $E_{out} = \begin{bmatrix} i m \cos 2\theta + n \sin 2\theta \\ i n \cos 2\theta - m \sin 2\theta \end{bmatrix}$, 所以,出射光强为 $I_{out} = E_{out}^* \cdot E_{out} = m^2 + n^2$, 入射光强为 $I_{in} = [m \quad n] \cdot \begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix} = m^2 + n^2$, 即:出射光强 = 入射光强。

上述推导是在没有考虑退偏器件的吸收及反射时而得出的。一般说来,退偏器的吸收系数和反射系数给定的波长是常数,用 λ 表示,这样,无论入射光处于什么偏振态,有 $I_{out} = I_{in}$, 根据光强的比对测量,测试结果将不再受偏振敏感性的影响。这一结果的恒定性进一步说明退偏效果的理想性。

2 实验装置

实验装置如图 2 所示。L 为氦氖激光光源, P 为偏光镜, E 为 1/4 波片, T 为我们设计的退偏器; G 为探测器(TC-2 型参数测数仪)。去掉退偏器 T, 转动探测器一周, 可从探测器上读出

最大最小光强度值,根据偏振敏感公式 $\epsilon = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$,可计算出未经退偏处理时探测器的偏振敏感度 ϵ_1 ;插入退偏器 T,旋转 G 做同样测量,可得探测器此时的偏振敏感度 ϵ_2 。比较 ϵ_1 和 ϵ_2 ,可得出该退偏器的退偏效果。

实验时,退偏器的组件 1/2 波片的转速控制在 300r/min 以上。上述测量是相对测量,只要保持在测量时间内入射偏振光光强的相对稳定,就不会影响测量结果。退偏度测试结果:

入射光消光比:平均 = 1.78×10^{-6} ,

经退偏器后结果:平均 = 0.992,

与自然光的偏差小于 1%,表明该退偏器是一种较理想设计。

用于系统的实验结果:

探测器的偏振敏感度测量结果:平均 = 0.5%。退偏后偏振敏感性对测量误差的影响大大减小,一般测量精度提高 3~5 倍。

在实践应用中,如我们在做消光比测量及差分反射谱测量等,在光电转换器件前采用了该退偏器退偏,均取得了良好的测量效果。用光功率计对几种偏振光进行比对测量,偏振态引起的误差都可控制在 1% 以内。

3 讨 论

光电转换器件对光的不同偏振态的敏感性,是我所对各种不同偏光器件性能测试中发现并首先提出来的。研究表明,所有光电转换器件都存在这一效应,尤其在弱信号偏振光的检测中,由偏振敏感性引起的系统误差是不能忽略的。但在一般光电检测中,它作为一个隐蔽的系统误差并没引起人们的注意。为此,我们提出了“偏振敏感度”的概念,并对其做了定量的描述。为消除偏振敏感性对偏光测量引起的误差(此误差对同一偏振光由于入射方位角的不同,甚至会出现几倍的误差!),我们提出用退偏器件使入射到光电转换器件的不同态势的偏振光转换成准自然光,自然光或准自然光在光电器件的测量中相当进入盲区,不表现偏振敏感性,从而消除了偏振敏感度带来的测量误差。我们设计的退偏器有很好的退偏效果,适合在高精度的系统中应用。但它需要一小步进电机带动,在要求测量退偏精度不高的系统中,有时感到复杂。

参 考 文 献

- 1 池 灏,高 军,徐森禄. 光学学报,1997;(8):1097~1101
- 2 吴福全,李国华,封黄代. 中国激光,1995;22(5):338~342
- 3 阎吉祥,魏光辉. 矩阵光学. 第1版,北京:兵器工业出版社,1995:170
- 4 罗曼 A W 著,虞祖良译. 光学信息处理. 北京:清华大学出版社,1987:343

* * *

作者简介:李国华,男,1937年4月出生。教授。长期从事偏光物理学、偏光技术与器件的研究开发工作。

收稿日期:2000-07-31 收到修改稿日期:2000-08-29

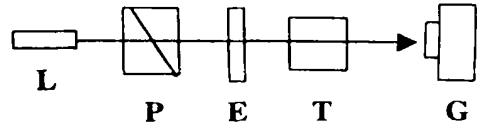


Fig. 2 Experimental system for the depolarizer