

文章编号: 1001-3806(2015)02-0220-04

温度对光纤 Lyot 消偏器输出偏振度的影响

刁利, 王文龙, 孔勇*, 韩华

(上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201620)

摘要: 为了更准确地研究温度对光纤 Lyot 型消偏器消偏性能的影响, 根据参考文献中光纤消偏器的结构参量, 使用保偏光纤熔接机等制作完成了光纤 Lyot 消偏器, 在全温条件($-40^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$)下, 其偏振度 $P \leq 0.5\%$; 同时搭建了恒温 and 变温条件下消偏器输出偏振度测试系统, 并分析了偏振度改变产生的原因。结果表明, 温度恒定在不同值时(-40°C 和 80°C), 消偏器的输出偏振度基本保持不变; 当温度按一定梯度升高或者降低时, 消偏器的输出偏振度会随之改变。这对于光纤传感应用的研究具有一定的参考价值。

关键词: 光纤光学; 光纤 Lyot 消偏器; 偏振度; 温度; 温度梯度

中图分类号: TN253 **文献标志码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.02.016

Influence of temperature on output polarization degree of fiber Lyot depolarizers

DIAO Li, WANG Wenlong, KONG Yong, HAN Hua

(College of Electrical and Electronic Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In order to study the influence of temperature on the depolarization performance of optical fiber Lyot depolarizers accurately, based on the structural parameters of fiber depolarizers provided in previous references, an optical fiber Lyot depolarizer was made with a polarization maintaining fiber welding machine and its degree of polarization (DOP) $P \leq 0.5\%$ under the total temperature conditions($-40^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$). The test system of the output DOP of the depolarizer under constant and variable temperature conditions was built. The causes of the change of DOP were analyzed. The measurement results show that the output DOP of the depolarizer remains unchanged basically when the temperature is constant at -40°C and 80°C . The output DOP will change when the temperature changes at a certain gradient. The study has a certain reference value for the research in optical fiber sensing application.

Key words: fiber optics; fiber Lyot depolarizer; degree of polarization; temperature; temperature gradient

引言

消偏器是将偏振光变成非偏振光的一种无源偏振器件, 它在光纤陀螺仪^[1-2]、光纤传感器^[3]、高精度分光光度计^[4]、光电检测技术及喇曼放大器^[5]等方面得到了广泛应用。最典型的光纤无源消偏器是光纤 Lyot 消偏器, 它使输入偏振光不同的光谱分量以不同的偏振态输出, 以至于在整个平均光谱上, 输

出光呈现消偏特性^[6]。

目前已有很多文献中对光纤 Lyot 消偏器的消偏原理进行了分析^[7-9], 通常 Lyot 消偏器由两段高双折射保偏光纤组成, 其长度比为 1:2, 两双折射主轴之间夹角为 45° 。另有一些文献中研究了光源光谱特性^[10]、入射线偏振光振动方向^[11]及偏振模色散^[12]等因素对 Lyot 消偏器输出偏振度(degree of polarization, DOP)的影响。

鉴于消偏器输出偏振度的稳定性对其实际应用有很大影响, 例如, 在光纤陀螺仪的应用中, 利用光纤消偏器来减小光源出射光的偏振度将有助于降低光纤陀螺偏振噪声、提高光纤陀螺的测量精度等。本文中分析了温度(包括恒温 and 变温)对光纤 Lyot 型消偏器输出偏振度影, 通过实验说明了温度变化会对其参量产生影响, 进而影响消偏器的消偏性能。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(61305014); 上海市自然科学基金资助项目(13ZR1455200)

作者简介: 刁利(1990-), 女, 硕士研究生, 现主要从事光纤传感方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: kky7757@aliyun.com

收稿日期: 2014-02-20; 收到修改稿日期: 2014-02-27

1 Lyot 消偏器参量模型与温度对偏振度影响的理论分析

光纤 Lyot 消偏器利用沿两保偏光纤两主轴传输的光的时延特性,将偏振光的两种偏振本征态从时间上拉开,从而使出射光的相干度为 0。并且利用两段高双折射保偏光纤主轴之间的 45° 夹角,使光能在两个正交的偏振方向上等量分布,最终可实现对输入任意偏振光的消偏作用^[1]。Lyot 消偏器的原理如图 1 所示。

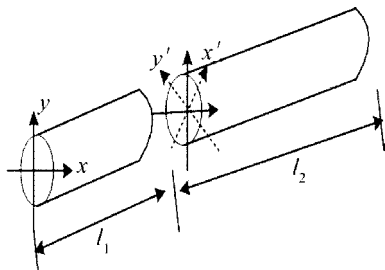


Fig. 1 Structural schematic diagram of optical fiber Lyot depolarizers

1.1 Lyot 消偏器结构参量模型

Lyot 光纤消偏器是由两段高双折射保偏光纤以一定的旋转角度熔接而成。两段长度分别为 l_1 和 l_2 的保偏光纤的琼斯矩阵为:

$$J(l_1) = \begin{bmatrix} e^{j\beta_x l_1} & 0 \\ 0 & e^{j\beta_y l_1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$J(l_2) = \begin{bmatrix} e^{j\beta_x l_2} & 0 \\ 0 & e^{j\beta_y l_2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, x 和 y 分别为保偏光纤的两偏振主轴方向; β_x 和 β_y 分别为沿 x 和 y 主轴方向的传播常数,与光源频率有关。

由主轴夹角为 α 的两保偏光纤构成的变换矩阵 $S(\alpha)$ 为:

$$S(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad (3)$$

由此构成的消偏器的传输矩阵为:

$$D = J(l_2) \cdot S(\alpha) \cdot J(l_1) = \begin{bmatrix} e^{j\beta_x(l_1+l_2)} \cos\alpha & e^{j(\beta_x l_2 + \beta_y l_1)} \sin\alpha \\ -e^{j(\beta_x l_1 + \beta_y l_2)} \sin\alpha & e^{j\beta_y(l_1+l_2)} \cos\alpha \end{bmatrix} \quad (4)$$

假设入射光为线性偏振光 $E_0(t)$, 其偏振方向与消偏器第 1 段保偏光纤中 x 轴之间夹角为 θ , 则:

$$E_0(t) = a(t) \cdot e^{j\omega_0 t} \quad (5)$$

其中,

$$a(t) = 2 \int_0^\infty \nu(\omega) e^{j(\omega - \omega_0)t} d\omega \quad (6)$$

式中, ω 是光源频率, ω_0 是光源中心频率, $\nu(\omega)$ 为光源幅度谱, 则输入到消偏器的偏振光为:

$$E(t) = \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{bmatrix} \cdot E_0(t) = \begin{bmatrix} a(t) \cos\theta e^{j\omega_0 t} \\ a(t) \sin\theta e^{j\omega_0 t} \end{bmatrix} \quad (7)$$

经过 Lyot 消偏器传输以后, 整个消偏器的输出光为:

$$E_1(t) = \begin{bmatrix} E_{1x}(t) \\ E_{1y}(t) \end{bmatrix} = DE(t) \quad (8)$$

输出光的相干矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle E_{1x} \cdot E_{1x}^* \rangle & \langle E_{1x} \cdot E_{1y}^* \rangle \\ \langle E_{1x}^* \cdot E_{1y} \rangle & \langle E_{1y} \cdot E_{1y}^* \rangle \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中, * 表示共轭转置, $\langle \rangle$ 表示时间平均。通过相干矩阵 J 中的 4 个元素值^[13], 根据偏振度的定义^[14], 得到经过光纤 Lyot 消偏器后输出光的偏振度 P 为^[9]:

$$P = \left\{ 1 - \sin^2(2\alpha) (\sin^4\theta + \cos^4\theta) - \sin^2(2\theta) (\sin^4\alpha + \cos^4\alpha) + \frac{1}{2} \sin(4\alpha) \sin^4\theta \cos(\Delta\beta_0 l_1) r(l_1) + \sin^2(2\alpha) \sin^2(2\theta) \cos^2(\Delta\beta_0 l_1) r^2(l_1) + \sin^2(2\alpha) \cos^2(2\theta) r^2(l_2) + \cos^4\alpha \sin^2(2\theta) r^2(l_2 + l_1) + \sin^4\alpha \sin^2(2\theta) r^2(l_2 - l_1) - \sin(2\alpha) \cos^2\alpha \sin(4\theta) \cos(\Delta\beta_0 l_1) r(l_2) r(l_2 + l_1) - \frac{1}{2} \sin^2(2\alpha) \sin^2(2\theta) \cos(2\Delta\beta_0 l_1) \times r(l_2 + l_1) r(l_2 - l_1) + \sin(2\alpha) \sin^2\alpha \sin(4\theta) \cos(\Delta\beta_0 l_1) r(l_2) r(l_2 + l_1) + \sin(2\alpha) \sin^2\alpha \sin(4\theta) \cos(\Delta\beta_0 l_1) r(l_2) r(l_2 - l_1) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

式中, $\Delta\beta_0 = \beta_y(\omega_0) - \beta_x(\omega_0)$, 是以光波中心频率 ω_0 传播时光纤两主轴上的传播常数差; l 是光纤长度; $r(l)$ 为光源的相干度^[14]。对于实验中给定的光源谱和光纤, 可以通过合理选择消偏器两保偏光纤的长度 l_1 和 l_2 , 即只要满足 $r(l_1) = 0, l_2 \geq 2l_1$, 则 (10) 式可化简为:

$$P = [1 - \sin^2(2\alpha) (\sin^4\theta + \cos^4\theta) - \sin^2(2\theta) (\sin^4\alpha + \cos^4\alpha)]^{\frac{1}{2}} = |\cos(2\alpha)| |\cos(2\theta)| \quad (11)$$

从(11)式可以看出, θ 和 α 对消偏器的偏振度产生同样的效果, 若要达到理想的消偏效果使 $P = 0$, 必须 $\theta = 45^\circ$ 或者 $\alpha = 45^\circ$ 。而 θ 是入射光偏振方向与消偏器中第 1 段保偏光纤 x 轴之间的夹角, 是随机变化的; 如果希望对于任意角度入射的偏振光都能达到很好的消偏效果, 实际上要求消偏器的制作过程中使两保偏光纤两主轴夹角 $\alpha = 45^\circ$ 。由(11)式可以得到偏振度 P 与消偏器两主轴夹角的关系图, 如图 2 所示。表 1 中列出了 α 角在 45° 附近变化时 P 的变化情况。

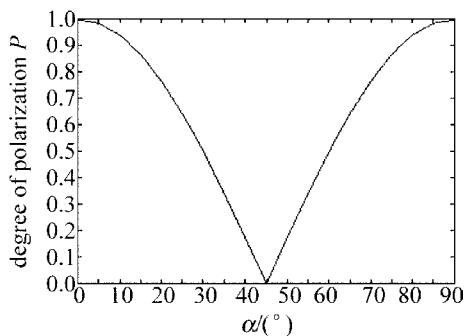


Fig. 2 Relationship diagram between the degree of polarization P of a depolarizer and the angle between two principal axes

Table 1 Change of P with different α

$\alpha/(\circ)$	44	45	45.1	45.3	45.5	46
P	0.0349	0	0.0035	0.0105	0.0175	0.0349

1.2 温度对偏振度影响的理论分析

通过前面对 Lyot 消偏器参量设计的分析知道, 为了使消偏器达到理想的消偏效果, 从而使其输出光的偏振度 $P = 0$, 设计中需要使两段保偏光纤的长度满足: $r(l_1) = 0, l_2 \geq 2l_1$, 以及两保偏光纤主轴夹角为 45° 。当外界环境中温度恒定或者温度变化时, 会使两保偏光纤的长度和两主轴夹角产生相应变化, 进而影响消偏器的消偏效果, 具体影响情况通过下面实验来说明。

2 温度对 Lyot 消偏器性能影响的实验结果及分析

实验中所用消偏器的制作结构图及温度对消偏器 DOP 影响的实验装置图如图 3 和图 4 所示。

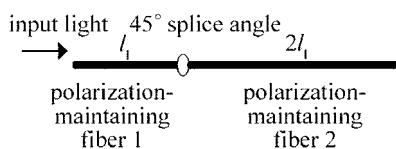


Fig. 3 Production structure of fiber Lyot depolarizers

根据前面对消偏器结构参量的理论分析, 实验

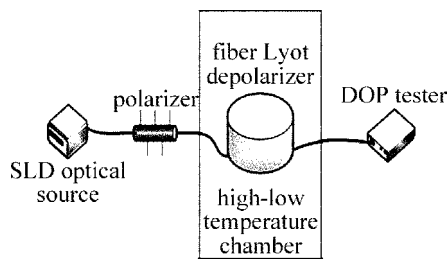


Fig. 4 DOP test at different temperatures

中消偏器采用长度分别为 5m 和 10m 的保偏光纤熔接而成, 两段保偏光纤主轴熔接夹角为 45° , 其夹角由高分辨率的光纤旋转机构控制, 所用保偏光纤双折射 $\Delta n = 6 \times 10^{-4}$ 。经过测试, 该消偏器在全温条件 ($-40^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$) 下, $P \leq 0.5\%$ 。实验中采用宽谱超辐射发光二极管 (super luminescent diode, SLD) 光源的中心波长为 1550nm , 光谱宽度为 36nm 。利用苏州光环科技有限公司生产的偏振度测试仪 (DOP-201) 对输出偏振度进行检测。SLD 输出的宽谱光经过起偏器变成线偏振光输入到消偏器, 通过 DOP 测试仪测试不同温度下的 DOP 值。其中, 消偏器放在高低温箱中, 以降低其受到外界扰动、应力及其它人为因素的影响。本实验中分别在恒温 -40°C 、恒温 80°C 时, 对消偏器的输出偏振度进行测量; 在温度从 -40°C 按一定梯度上升到 80°C 及从 80°C 按一定梯度下降到 20°C 过程中, 测量消偏器的输出偏振度。为了保证消偏器受温均匀, 在每段温度下的测量至少保持 1h, 实验结果如图 5 所示。

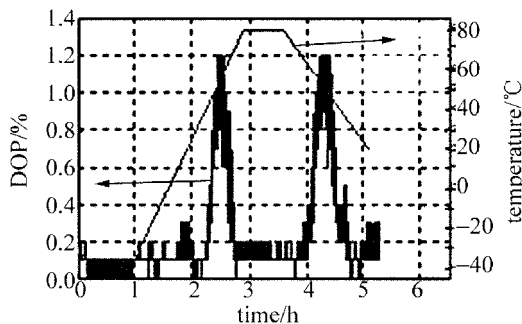


Fig. 5 DOP test results at different temperatures

从图中可以看出, 温度恒定在不同值时, 消偏器的输出 DOP 基本上保持不变, 而温度按一定梯度变化时, DOP 变化很大。这是因为在恒温或者变温条件下, 光纤消偏器的两段保偏光纤随温度变化会产生热胀冷缩效应使其长度比发生变化, 然而由实验结果可以看出, 消偏器的输出偏振度只是产生微小波动其值几乎不变, 所以环境温度的改变而导致的两保偏光纤的长度比值的变化并不是导致 DOP 变化的主要原因, 可排除长度变化对消偏器消偏效果

的微小影响。而在恒温的条件下,当外界温度从恒温 -40°C 和恒温 80°C 之间转变时,温度变化的瞬间会对两主轴夹角产生冲击力,使其相应变化,但当温度恒定在 -40°C 或 80°C 后,这种变化会恢复到之前的状态,最终使夹角保持在 45° 不变化,因此不会对偏振度的大小造成影响。即当外界环境温度恒定时,不影响消偏器的消偏效果,消偏器输出偏振度大小不变。当外界环境温度以一定的梯度变化(上升或者下降)时,两保偏光纤角度会因冲击力而随机变化,将导致两主轴之间夹角偏离 45° 。由图 2 和表 1 都可以看出,消偏器输出偏振度对于角度的变化是非常敏感的,夹角 α 在 45° 附近微小变化时也会引起偏振度的变化,因此,当外界环境温度变化时,会导致消偏器输出偏振度的变化。

3 结论

光纤消偏器以其突出的优点能够代替价格昂贵的保偏光纤应用在低、中级精度的光纤陀螺、光纤传感器、高精度分光光度计等中,所以其性能的稳定性研究显得很重要。作者根据前人对 Lyot 消偏器结构参量的分析,采用消偏器中两保偏光纤主轴夹角为 45° 、两保偏光纤长度比为 1:2,制作了实验中使用的 Lyot 消偏器,搭建了恒温和变温条件下消偏器输出偏振度测试系统,通过实验验证了温度的变化对两保偏光纤长度比及两主轴夹角的影响,进而对 Lyot 消偏器消偏输出偏振度的影响。这对消偏器的消偏性能稳定性的提高及其在光纤陀螺等中更好的应用有一定的意义。

参 考 文 献

[1] SZAFRANIEC B, SANDERS G A. Theory of polarization evolution in interferometric fiber-optic depolarized gyros [J]. Journal of Lightwave Technology, 1999, 17(4): 579-590.

[2] BURNS W K, KERSEV A D. Fiber-optic gyroscopes with depolarized light [J]. Journal of Lightwave Technology, 1992, 10(7): 992-999.

[3] HE Ch F, ZHENG X Q, LUO J W. Research on a pipeline leakage detection system and its stability based on depolarized sagnac fiber interferometer [J]. Chinese Journal of Lasers, 2012, 39(2): 0208002 (in Chinese).

[4] ELSHERIF M, KHALIL M S, KHODEIR S, et al. Simple depolarizers for spectrophotometric measurements of anisotropic samples [J]. Optics & Laser Technology, 1996, 28(8): 561-563.

[5] TOKURA T, KOGURE T, SUGIHARA T. Efficient pump depolarizer analysis for distributed Raman amplifier with low polarization dependence of gain [J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(11): 3889-3895.

[6] BOHM K, PETERMANN K, WEIDEL E. Performance of lyot depolarizers with birefringent single-mode fibers [J]. Journal of Lightwave Technology, 1983, 1(1): 71-74.

[7] WANG L H, SUN F, YU Q. Study on polarization state in depolarized fiber optic gyroscope [C]//Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves, and Device Applications. New York, USA: IEEE, 2008: 28-32.

[8] SU G W, MA H J, WANG G M. The theory and performance analysis of Lyot optic fiber depolarizer [J]. Acta Photonica Sinica, 1997, 26(10): 924-927 (in Chinese).

[9] YAN F P, YAO Y, JIAN Sh Sh. Based on the research of the Lyot optic fiber depolarizer characteristic [J]. Acta Optica Sinica, 1996, 16(6): 848-852 (in Chinese).

[10] YIN Y F, FANG Q, LIU J H, et al. Performance analysis of Lyot depolarizer on different optical sources [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2004, 25(6): 448-453 (in Chinese).

[11] LIU J H, FANG Q, YIN Y F, et al. Low-DOP depolarizer for linearly polarized light independent of direction of vibration [J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(3): 536-539 (in Chinese).

[12] ZHAO Zh G, FENG L Sh, ZHANG Ch X, et al. Contribution of polarization mode dispersion to the performance of fiber Lyot depolarizer [J]. Optoelectronic Technology, 2005, 25(1): 39-43 (in Chinese).

[13] BURNS W K. Degree of polarization in the Lyot depolarizer [J]. Journal of Lightwave Technology, 1983, 1(3): 475-479.

[14] BORN M, WOLF E. Principles of optics [M]. New York, USA: Pergamon, 1965: 544-553.