

$i = 1, 2, \dots, m$ (测量点序)

$$X = (x, y, z, \dots)^T$$

可以证明式(13)的解就是式(12)的解,求解式(13)就可得到问题(12)的解。下面给出二类鞍点规划的解法^[3]:

(1) 给定初值 $X^0, v^0, u^0, \dots > 0; \alpha_1 = \alpha_2 = 1, p, q \in [10^3, 10^6]$, 取 $\epsilon > 0$ 为计算精度, 令 $k = 1$ 。

(2) 以 $(X^{k-1}, u^{k-1}, v^{k-1})$ 为初始点, 运用 BFGS^[4] 法求解 $L(X, u, v, \dots)$, 设其解为 (X^k, u^k, v^k) 。

(3) 若

$$\max_{1 \leq j \leq m} \left| \frac{\exp \left[p \left(g_j(x^k) - u^k \right) \frac{\partial g_j(x^k)}{\partial x_j} \right]}{\sum_{i=1}^m \exp \left[p \left(g_i(x^k) - u^k \right) \right]} - \frac{\exp \left[p \left(-g_j(x^k) - v^k \right) \frac{\partial g_j(x^k)}{\partial x_j} \right]}{\sum_{j=1}^m \exp \left[p \left(g_j(x^k) - v^k \right) \right]} \right| < \epsilon$$

则停止运算, (X^k, u^k, v^k) 为问题(13)的近似解, 否则令 $k = k + 1$, 转步骤(2)。

根据上述算法编程求解, 即可求得理论椭球面的最优位置参数 X^* 及相应的法向误差 ϵ^* 。

五、配对面数据生成

根据求解鞍点规划得到的 X^* 及 ϵ^* , 可以写出以理论曲面的优化位置为原点的实测曲面拟合方程

$$R = [a + b/K_i] \cos \theta_i + [b + a/K_i] \sin \theta_i \quad (14)$$

实测曲面的坐标 (X, Z, C) 表达如下

$$X = [a + b/K_i] \cos \theta_i$$

$$Z = [b + a/K_i] \sin \theta_i$$

$$C = \dots$$

法线方向数为 (n_x, n_z) :

$$n_x = b \cos \theta_i / K_i$$

$$n_z = a \sin \theta_i / K_i \quad (15)$$

由 X, Z, C, n_x, n_z 组成新的点集 $[Q]$, 在配对面数据生成时 n_x 的符号视阴、阳面而定。在加工时, 刀具中心的轨迹由点集 $[Q]$ 和刀具半径决定。

六、结论

本文提出的方法经过实际应用验证, 得出以下结论:

- (1) 阴阳模配对加工中, 利用阴(阳)模的数据来加工阳(阴)模, 是保证配合精度的可行方法;
- (2) 利用理论曲面的误差曲面来表征实际曲面, 是描述实际曲面和实施配对面数字化加工的有效途径;
- (3) 用理论曲面的等距面去包容实际曲面, 并使包容域为最小的鞍点规划方法, 可使误差均化, 同时消除了测量时引入的系统误差, 提高了曲面的配合精度。

参考文献

- [1] 卢杰持, 王春, 钱名海. 航天大型蜂窝复合材料构件的配合型面加工技术. 机械工程学报, 1999, 35(1)
- [2] 王春, 胡力耘, 卢杰持. 大型配对型面数控数字化测量加工系统. 大连理工大学学报, 1998, 38(3)
- [3] 刘健, 王晓明. 鞍点规划与形位误差评定. 大连理工大学出版社, 1996
- [4] 唐焕文, 秦学志. 最优化方法. 大连理工大学出版社, 1994

保偏光纤起偏器消光比偏振敏感性的实验研究

苏立国 刘振宇

(厦门大学电子工程系, 厦门 361005)

摘要 本文采用了 180 输入测量的新方法研究了保偏光纤起偏器消光比随着输入线偏振光偏振方向变化规律。并对其进行了相应的讨论与分析。

关键词 保偏光纤起偏器 消光比 线偏振

一、引言

光纤起偏器, 又可称之为模式选择器, 是构成以偏

振为主要检测特性的光纤系统的一种重要无源器件。随着光纤起偏器技术的发展, 现在可作为一种在线器件来控制光纤中光波的偏振态。保偏光纤起偏器则是

一种利用高双折射光纤构成的光纤偏振器。近年来,在光纤陀螺、光纤传感器等应用领域保偏光纤起偏器得到了广泛的重视和研究。

保偏光纤起偏器的一般原理是:利用光纤包层中的消逝场,把高双折射光纤中两偏振分量之一泄漏出去,使另一偏振分量在光纤中以较低的损耗传输,从而在出射端获得线偏振光。根据目前已有成品大致可分为四类:第一类是利用镀金属膜的办法吸收一个偏振分量,以构成光纤起偏器(图 1A);第二类是利用双折射晶片泄漏一个偏振分量,以构成光纤起偏器(图 1B);第三类是用异形光纤构成光纤起偏器(图 1C);第四类是卷绕高双折射光纤构成光纤起偏器(图 1D)。

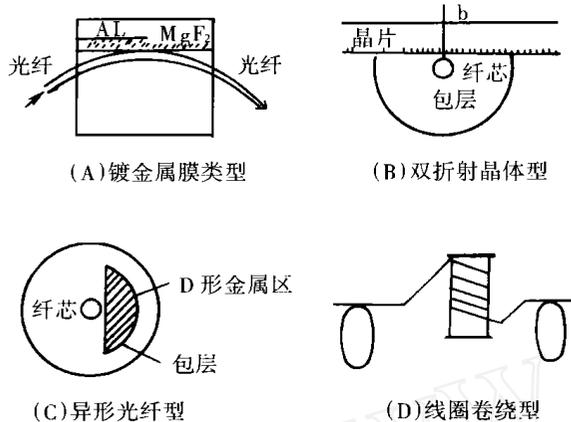


图 1

标称保偏光纤起偏器的反向传输光的衰减性能的重要参数是光纤消光比。其定义如下:

令起偏器输出端检测到沿某一特定方向的线偏振光 P_x 和与其正交的消光位置的光功率 P_y , 则消光比为:

$$= 10 \lg(P_y / P_x) \text{ dB}$$

影响消光比大小的因素比较复杂,对于不同角度输入的线偏振光,消光比有一定的起伏变化。目前尚无有关保偏光纤起偏器偏振敏感性测量的报导,本文首次从实验的角度出发,利用 180° 测量的新方法对保

偏光纤起偏器进行偏振敏感性的起伏变化规律进行测量和理论分析。其结果对于其他利用保偏光纤起偏器的应用场合进行误差分析,以及设计消光性能良好的保偏光纤起偏器具有一定的参考价值。

二、测量系统及结果

测量对象采用线圈卷绕型保偏光纤起偏器。线圈卷绕型保偏光纤起偏器原理图如图 1(D) 所示。卷绕的目的是进一步增大双折射,使其中一个模式截止。其具体工作原理见参考文献[4]。

测量系统如图 2 所示。保偏光纤起偏器工作波长为 633nm。由 633nm 激光器输出的偏振光经起偏器 P_1 之后得到消光比为 10^{-5} 的线偏振光,再经 $\lambda/4$ 波片后得到圆偏振光。圆偏振光经起偏器 P_2 后,旋转 P_2 可获得不同偏振方向的线偏振光。该实验进行全方位即 $0^\circ \sim 180^\circ$ 测量。由透镜耦合至起偏器的输入端,出射光经透镜准直后经探测器完成光电转换,从保偏光纤起偏器出射的光也可用自聚焦棒进行耦合至探测器。然后由 12 位高速数据采集卡进行数据采集,进而进行计算机数据处理。

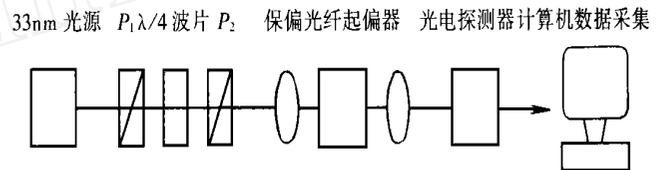


图 2

考虑到 $\lambda/4$ 波片不可能精确地产生 90° 相位差,因此起偏器 P_2 输出的线偏振光在不同方位角会略有差异,但对我们测量结果为功率比,对测量结果没有影响。起偏器 P_1 、 P_2 的消光比优于 10^{-5} , 采集卡精度为 12 位,测量结果取四位有效数字,故可认为光学元件不引入系统误差。测量精度基本满足工程应用的要求。

保偏光纤起偏器消光比偏振敏感性测量结果见表 1,取三次结果并求平均值。由表中数据可见:测量的

表 1

方位角($^\circ$)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
1	- 37.71	- 37.60	- 37.61	- 37.51	- 37.81	- 37.82	- 37.81	- 37.92	- 37.75	- 37.74	- 37.68	- 37.69	- 37.68
2	- 37.69	- 37.59	- 37.60	- 37.50	- 37.82	- 37.80	- 37.80	- 37.93	- 37.75	- 37.74	- 37.67	- 37.68	- 37.68
3	- 37.70	- 37.59	- 37.61	- 37.50	- 37.80	- 37.81	- 37.80	- 37.93	- 37.74	- 37.75	- 37.69	- 37.69	- 37.70
平均	- 37.70	- 37.59	- 37.61	- 37.50	- 37.81	- 37.81	- 37.80	- 37.93	- 37.75	- 37.74	- 37.67	- 37.69	- 37.69

重复性很好,同一方位角下各次测量结果与平均值的偏差小于 2%。

三、理论分析与讨论

由实验结果我们可以得出以下结论:对于保偏光纤起偏器,消光比因为输入线偏振光的角度变化存在微小起伏波动,最大值为 -37.93dB;最小值为 -37.50dB;平均值为 -37.71dB;波动范围大约在 ±0.6%之间,这显示了保偏光纤起偏器消光比的偏振敏感性依然存在。对于一些要求功率输出线型平稳的场合是需要予以考虑的不良因素。从国内外已投入生产的成品应用情况来看,消光比在 -36~-42dB 之间,这种起伏是可以忽略的。

另外,从实验结果我们可以绘出线偏振角度/消光比曲线,如图 3 所示。该曲线描绘出了消光比随线偏振角度的变化关系,针对我们测量的保偏光纤起偏器,可以看出在 45 附近线偏振光有微小的畸变,成为椭圆偏振光。

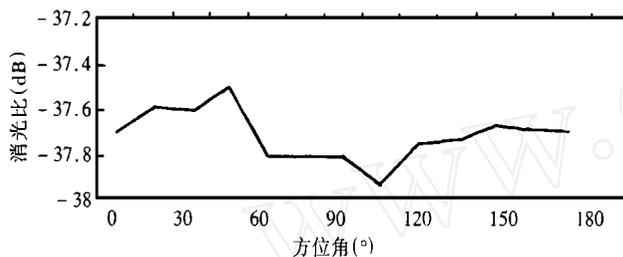


图 3

基于保偏光纤起偏器的结构特点,去除光路准直的不完善影响,可以分析出消光比偏振敏感性的成因:

对于卷绕光纤,令张力为 F 、半径为 R ,其增加的模双折射 B 由下式表示:

$$B = F + b^2 EC / R^2$$

其中, γ 为系数;

E 为杨氏模量;

C 为光弹系数;

b 为光纤包层直径。

因此影响模双折射的因素主要包括:卷绕的线圈尺寸大小;卷绕时的张力;卷绕圈数等。

根据文献[5]提供的等效电流法对线圈卷绕型光纤起偏器进行分析计算,可知在保偏光纤起偏器中:

$$P(z) = P(0) \exp(-\alpha z);$$

$$\alpha = P_{\text{rad}} / \{2 R_c P(0)\};$$

$$= \frac{1/2}{2} \cdot \left[\frac{U}{R_c} \right] \cdot \frac{U^2}{V^2 W^{3/2}} \cdot \frac{1}{K_1^2(W)} \exp\left[-\frac{4}{3} \cdot \frac{R_c}{V^2} \cdot \frac{W^3}{V^2}\right]$$

式中, α 为修正后的衰减系数;

U, V, W 为光纤的传输参数;

γ 为结构参数;

$K_1(W)$ 为第一类变形贝塞尔函数;

R_c 为卷绕半径;

z 代表轴向。

$P(z)$ 为光纤缠绕 Z 长度后的光功率, $P(0)$ 为光纤未经缠绕时的光功率。则有消光比 如前所述:

$$= 10 \lg(P_y / P_x) \text{ dB}$$

P_x, P_y 分别对应于输入相同的光功率,经偏振器后保留偏振模式(出射)和损耗偏振模式(消光)的光功率。

由上面的式子可以看出,为提高线偏振光注入时的消光比,尽量减小其偏振敏感度,使其消光比尽量呈线形变化,在实际设计时除了选择合适的弯曲半径 R_c 外,还应尽量选择不同偏振模式的合适的等效结构参数(γ)和传输参数(U, V, W)。

四、结论

采用全方位测量的方式,对保偏光纤起偏器的消光比偏振敏感性进行了有效的测量,并从保偏光纤起偏器的组成原理入手,分析了偏振敏感性变化的影响因素,虽然该实验是以光通信用 633nm 型卷绕光纤型保偏光纤起偏器作为研究对象的,然而,其结果带有类同性,对于其他保偏光纤起偏器的设计、制造以及应用具有实际的指导意义。此外,由于时间的关系,没有进行保偏光纤起偏器插入损耗偏振敏感性的测量,利用该实验方法,相信也可对其进行有益的研究。

参考文献

- [1] 范崇澄,彭吉虎. 导波光学. 北京理工大学出版社,1988
- [2] Sears Frederick M. Polarization-maintenance limits in polarization-maintaining fibers and measurements. Journal of Lightwave Technology, 1990, May, 8(5)
- [3] Chen G.S, Wang Q. Local field in single mode helical fibers. Opt Quantum Electron, 1995, 27(11)
- [4] 龚智炳,张拴民. 保偏光纤偏振器. 应用光学, 1992, 13(2)
- [5] 贾波,胡力. 线圈型全光纤偏振器的研究. 光子学报, 1998, 27(9)