

文章编号:1004-4213(2011)06-0823-5

# 腔镜失调对激光陀螺信号输出的影响

高爱华<sup>1</sup>,何小庆<sup>1</sup>,张炜<sup>2</sup>,胡尚斌<sup>1</sup>,陆治国<sup>1</sup>

(1 西北大学 物理学系,西安 710069)

(2 西安邮电学院,西安,)

**摘 要:**研究了不同腔镜结构不同失调情况对空间谐振式激光陀螺中光束空间位置的影响.利用 Collins 积分与 Collins 程函理论以及 MATLAB 软件工具,对腔镜失调前后激光陀螺中光束传输进行了仿真计算.结果表明,相同失调量的不同反射镜所产生的拍频频差是不同的,且分别从  $M_1$  和  $M_2$  镜探测到的拍信号频不相同;对于小增益激光器,使用球面镜的腔镜结构较平面镜的腔镜结构更易形成稳定光束空间位置分布;由所计算的空间坐标  $x_n$  可以看出,双向行波光束的光斑中心发生了偏移,在一定的失调量下将会影响到激光陀螺的拍频输出.研究结果对激光陀螺的工程检测和腔镜调整有指导作用,有助于激光陀螺测量准确度的提高.

**关键词:**激光陀螺;拍频输出;失调;Collins 程函

**中图分类号:**V241.03

**文献标识码:**A

**doi:**10.3788/gzxb20114006.0823

## 0 引言

陀螺仪是惯性导航系统的关键部件,是影响系统性能和可靠性的主要因素,所以在捷联惯性导航系统的研制过程中它总是受到高度的重视.激光陀螺是科学技术不断发展的产物,它具有启动快、抗加速度冲击能力强、刻度因数线性度好、动态范围大和数字输出等优点,在航空、航海、航天及地面定位定向等技术领域有着非常广泛的应用前景<sup>[1]</sup>.

激光陀螺对惯性角速度,角位移的感测是通过陀螺的拍频输出实现的,因而稳定可靠的拍频输出是陀螺高性能的具体体现.影响陀螺拍频输出的因素有朗缪尔流效应和增益的径向分布、行波高斯光束的轴径向分布、激光光波场的相对位置变化等,在不同的情况下,它们对陀螺的拍频输出有着不同程度的影响<sup>[2]</sup>.另外,因加工工艺造成的腔镜失调也会对陀螺的拍频输出产生一定的影响,对此影响可以通过精细加工工艺或者误差补偿的方法来进行消除,其中加工工艺只能在有限的范围内消除误差,而最根本、最彻底的消除方法通常是采用误差补偿的方法.对于拍频信号要进行误差补偿的前提是要知道腔镜失调情况下所产生的附加频差规律,因此分析讨论激光陀螺腔镜在不同失调情况下的顺逆行波频差规律对进行误差补偿是必要的,对提高陀螺性

能意义重大.

本文利用 Collins 积分与 Collins 程函理论计算了空间谐振式激光陀螺腔镜失调下的顺逆行波光程差,并借助 MATLAB 软件进行模拟仿真,得到了不同陀螺结构不同失调情况下的拍频输出.该工作在激光陀螺的加工检测以及腔镜调节操作方面具有重要的借鉴价值,同时在工程生产上具有很好的指导意义.

## 1 Collins 积分与 Collins 程函

Collins 积分理论<sup>[3]</sup>是波动光学的衍射理论和几何光学的光线传输矩阵理论的有效结合,它在本文中的运用具有以下几个特点:1)它是一个具有普遍性的理论结果,适合于任何对称性或者非对称性的近轴光线光学系统<sup>[3]</sup>;2)在避免了复杂的衍射积分运算情况下,能够得到光波模式的相关信息;3)对激光陀螺谐振腔可以等效成一个薄透镜序列,对于激光陀螺反射镜与腔轴的非对称性所带来的误差可以忽略<sup>[4]</sup>;4)由于两方面的原因仅需要考虑 XOZ 面上的失调量.一是由于腔镜的对称性,其在任何方向上的失调都可以归结为一个方向上的失调<sup>[5]</sup>,二是对于激光陀螺当其绕 y 轴偏转时,才会对顺时针与逆时针行波产生不同的光程差,再者对于激光陀螺当其绕 y 轴偏转时产生的影响,在 X 方向上产生

基金项目:航空科学基金(No. 20090898001)、航空科学基金(No. 20090898002)和西北大学研究生自主创新实验项目(No. 09YZZ54)资助

第一作者:高爱华(1964—),女,副教授,主要研究方向为气体放电和低温等离子体应用. Email:gaohua@nww.edu.cn

收稿日期:2010-09-15;修回日期:2010-12-13

的失调量要比在  $Y$  方向上产生的失调量大的多<sup>[6]</sup>；  
5) 由于陀螺的高准确度加工工艺条件, 因此可以假设系统存在极微小的失调量。

Collins 积分理论的表达式<sup>[3]</sup> 见式(1)

$$E(x_n, y_n) = -\frac{i\kappa}{2\pi B} \iint E(x_1, y_1) e^{i\kappa L(x_1, y_1; x_n, y_n)} \cdot dx_1 dy_1 = -\frac{i\kappa}{2\pi B} e^{i\kappa L_0} \iint E(x_1, y_1) e^{i\kappa L_1(x_1, y_1; x_n, y_n)} \cdot dx_1 dy_1 \quad (1)$$

式中  $E(x_n, y_n)$  和  $E(x_1, y_1)$  分别表示光学系统的输出面与输入面上的光场分布函数。

$$L(x_1, y_1; x_n, y_n) = L_0 + L_1 = L_0 + (-p_1 x_1 - q_1 y_1 + p_n x_n + q_n y_n) / 2$$

为连接输入面  $(x_1, y_1)$  与输出面  $(x_n, y_n)$  上任意两点的光线路程,  $L_0$  是两个观察面的轴向光程,  $\kappa = 2\pi/\lambda$  表示波数,  $B$  为与几何光学系统传输变换矩阵有关的常量,  $p_i$  和  $q_i$  ( $i=1, n$ ) 分别表示在输入面和输出面处传播光束在  $XOZ$  面和  $YOZ$  面上与  $Z$  轴的夹角。

由式(1)可知,  $L$  的具体形式决定着输出面上光场的分布形式, 因此对于腔镜失调前后拍频频率的计算就归结为积分公式中程函  $L$  的计算<sup>[3,7]</sup>, 如何方便快捷地计算出光线路程就成了频差计算的关键。

激光陀螺谐振腔的示意图以及其等效薄透镜序列如图 1、图 2。

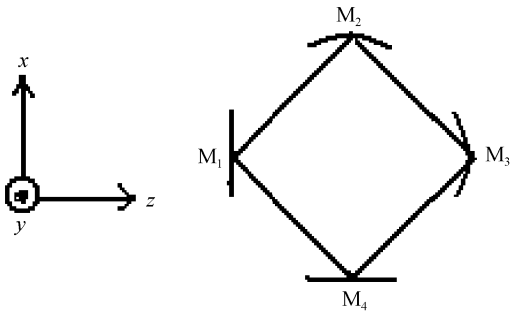


图 1 激光陀螺谐振腔

Fig. 1 The schematic illustration of the resonators

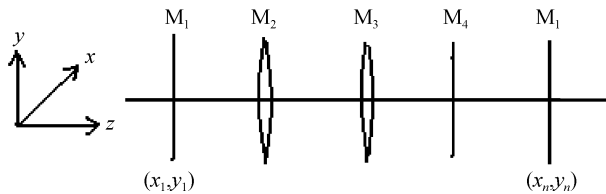


图 2 等效薄透镜序列

Fig. 2 The equivalent thin lens series

由于  $L_0$  固定不变, 因此在程函计算中主要考虑  $L_1$  的简化算法。由  $L_1$  的表达式知, 可假设两个行矩阵:  $P^T = (-p_1, p_n, -q_1, q_n)$ ,  $X^T = (x_1, x_n, y_1, y_n)$ , 则

$$L_1 = X^T P / 2 \quad (2)$$

根据

$$\begin{pmatrix} x_n \\ p_n \\ y_n \\ q_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_x & B_x & E_x & F_x \\ C_x & D_x & G_x & H_x \\ E_y & F_y & A_y & B_y \\ G_y & H_y & C_y & D_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ -p_1 \\ y_1 \\ -q_1 \end{pmatrix} = \mathbf{M}^n \begin{pmatrix} x_1 \\ -p_1 \\ y_1 \\ -q_1 \end{pmatrix}$$

令

$$A = -\begin{pmatrix} B_x & 0 & F_x & 0 \\ D_x & -1 & H_x & 0 \\ F_y & 0 & B_y & 0 \\ H_y & 0 & D_y & -1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} A_x & -1 & E_x & 0 \\ C_x & 0 & G_x & 0 \\ E_y & 0 & A_y & -1 \\ G_y & 0 & C_y & 0 \end{pmatrix}$$

则有

$$AP = BX \Rightarrow AP - BX = 0 \quad (3)$$

式中  $\mathbf{M}$  为整个光学系统的几何变换矩阵,  $n$  代表光线在谐振腔内的往返次数。通过式(3)可以分别解出  $x_1, p_1; x_n, p_n; y_1, q_1; y_n, q_n$  等的大小关系, 最后再代入  $L_1$  的表达式便可得到  $L_1$  的变化情况。式(3)为谐振腔内传播光束的矩阵表示, 它的变化主要由传播光束所对应的光学系统的变换矩阵决定。

## 2 激光陀螺的信号输出

激光陀螺中顺时针行波与逆时针行波是通过合光镜和光电探测器实现光拍输出及其探测的, 探测器得到的拍频波的频率即为两双向行波的频差。在理想的情况下即加工的陀螺腔镜无任何瑕疵与光学偏差且传播光线与腔轴平行, 当激光陀螺相对于惯性空间的角速度为零时, 双向行波绕行一周的光程相等, 因而频率相同, 两个频率之差为零。但是当激光陀螺的腔镜发生失调时, 此时由于双向行波的光程不再完全相等, 因而将会产生频差不为零的情况, 而这也会成为陀螺正常工作时的无法避免的误差来源。又由于实际的加工工艺是很难实现理想的情况, 而且这种在加工上的随机偏差对于双向行波模的影响是随机变化的, 这对陀螺的高准确度测量会产生很大的影响, 因此对因各种因素引起的  $L_1$  变化规律的研究是非常必要的。

由整个光学系统中各元件的光线传输矩阵<sup>[4]</sup> 可以分别计算出腔镜失调前后整个光学系统的几何变换矩阵  $\mathbf{M}$  和增广矩阵  $\mathbf{M}'$ , 通过矩阵变换和式(3)计算出激光陀螺腔镜失调前后  $x_1, p_1; x_n, p_n; y_1, q_1; y_n, q_n$ , 其大小关系如表 1。

表 1 中  $\Delta x, \Delta p$  分别为光线在激光陀螺腔镜失调的情况下在谐振腔内经  $n$  次往返后在输出面上产生的  $x$  线偏移量和  $p$  角偏移量。令  $K^T = (\Delta x, \Delta p, 1, 1)$ , 在已知  $\mathbf{M}'$  的情况下, 由关系式  $(\mathbf{M}')^n K - K = 0$ , 可计算出  $\Delta x$  与  $\Delta p$  的大小。

表 1 激光陀螺腔镜失调前后传播光束在输入面与输出面上的空间变化关系

Table 1 The spatial relationship of light in the input plane and output plane when the gyro exists disorder and no disorder

Ideal situation	Cavity mirrors existing disorder
$x_n = x_1$	$x_n = x_1 + \Delta x$
$p_n = -p_1$	$p_n = -p_1 + \Delta p$
$y_n = y_1$	$y_n = y_1$
$q_n = -q_1$	$q_n = -q_1$

设  $L_1, L'_1$  分别代表激光陀螺失调前后的光程  $L_1(x_1, y_1; x_n, y_n)$  的表达式, 利用表 1 中两种情况下的各关系式并代入到  $L_1(x_1, y_1; x_n, y_n)$  的原始表达式中, 化简后得

$$L_1 = (-2x_1 p_1 - 2y_1 q_1) / 2,$$

$$L'_1 = (-2x_1 p_1 + x_1 \Delta p - \Delta x p_1 + \Delta x \Delta p - 2y_1 q_1) / 2,$$

进而可得到腔镜失调前后的光程差

$$\Delta L = L_1 - L'_1 = -\frac{1}{2}(x_1 \Delta p - \Delta x p_1 + \Delta x \Delta p) \quad (4)$$

又由激光器谐振条件:  $f = (c/l)q$ , 其中  $l$  为光束在激光谐振腔内绕行一周的光学长度,  $q$  为纵模序数. 则可得激光陀螺腔镜失调后顺时针行波(或者逆时针行波)的频率变为

$$f = [c / (4L + \Delta L)]q \quad (5)$$

式中  $L$  为激光陀螺的单臂腔长.

由式(5)可得到陀螺谐振腔因失调而产生的拍频频率附加项, 即频差为

$$\Delta f = \frac{1}{2} \left( \frac{c}{4L + \Delta L_S} q - \frac{c}{4L + \Delta L_N} q \right) =$$

$$\frac{1}{2} \left( \frac{c}{4L + \Delta L_S} - \frac{c}{4L + \Delta L_N} \right) \frac{4L}{\lambda} =$$

$$\frac{2cL(\Delta L_N - \Delta L_S)}{\lambda(4L + \Delta L_S)(4L + \Delta L_N)} \quad (6)$$

式中  $\Delta L_S, \Delta L_N$  分别为顺时针行波与逆时针行波在腔镜失调前后所产生光程差, 可通过式(4)来计算. 式(6)表示探测器探测到的光拍频频差  $\Delta f$  的表达式, 可知当顺时针行波与逆时针行波的光程改变量  $\Delta L_S$  和  $\Delta L_N$  远远小于激光陀螺谐振腔腔长时, 有  $\Delta f \propto \Delta L_N - \Delta L_S$ . 对于光程差的具体矩阵变换及计算我们借助于 MATLAB 软件进行编程和仿真模拟, 因此极大地简化了运算过程.

### 3 仿真结果及其分析

为了叙述方便, 分别用结构 a、b、c 表示三种不同腔镜结构的陀螺. 结构 a 表示在图 1 所示的激光陀螺谐振腔中, 四个反射镜中  $M_2, M_3$  为球面镜, 其余为平面镜; 结构 b 表示仅  $M_3$  为球面镜, 其余为平面镜; 结构 c 表示四个反射镜均为平面镜. 其中  $M_1$ ,

$M_4$  均可出光,  $M_1$  的输出光为获得拍频信号的被探测光,  $M_4$  的输出光为校准拍频信号的校准光. 分别以  $M_1, M_4$  镜为拍频输出, 对上述三种不同腔镜结构不同反射镜(仿真仅限于 1 个反射镜有失调)在相同失调量时的光束传输进行了模拟计算. 计算时陀螺谐振腔腔长为 280 mm, 球面镜半径为 8m, 根据实际工作中 He-Ne 气体激光器形成激光输出的经验, 当光束在激光谐振腔内往返振荡 300 次左右(即为小增益激光器的情况下)就会有激光输出, 因此在仿真过程中取往返次数  $n$  为 300 进行模拟计算.

#### 3.1 以 $M_1$ 镜为拍频输出同时 $M_4$ 发生失调

假设  $M_1$  发生了绕  $y$  轴有偏角的失调, 即存在  $\epsilon'_1$  的角位移时, 利用前面两部分的推导可以计算出光束在激光陀螺谐振腔的输入面与输出面上各空间变化量以及可计算得到因  $M_1$  镜失调而产生的拍频频差  $\Delta f$ .

表 2 为当  $M_1$  镜发生了  $\epsilon'_1 = 5''$  的角位移时, 光束在激光陀螺中经过 300 次的往返振荡后, 在输入面与输出面上的空间变化量值(仅考虑  $XOZ$  面). 从表 2 的数据可以看到, 激光陀螺中的顺时针行波和逆时针行波在理想状况下均形成了中心位置在原点的基模高斯光斑, 而且在往返振荡 300 次后其中心位置未发生偏移. 当  $M_1$  镜绕  $y$  轴存在  $\epsilon'_1 = 5''$  的角位移时, 对于顺时针行波和逆时针行波, 其高斯光斑的中心位置均发生了不同程度的偏移并且在经过 300 次往返振荡后两高斯光斑发生了分离, 从表 2 中可以看到, 此时两高斯光斑的中心位置对称的位于  $y$  轴两侧且输出光束与  $z$  轴出现了大小相等的夹角. 在此失调情况下, 双向行波产生了不相等的光程差, 因而将会形成频差不再为零的拍频信号, 此拍频信号对激光陀螺的高准确度测量是不利的, 因而在工艺加工过程中或者误差补偿中应尽量消除此误差源.

表 2 当  $M_1$  存在  $\epsilon'_1 = 5''$  的失调量时光束在输入面与输出面上各空间变化量

Table 2 The spatial variations of light in the input and output planes when the misalignment of  $M_1$  is  $\epsilon'_1 = 5''$

	Clockwise traveling wave		Counterclockwise traveling wave	
	Ideal situation	$M_1$ mirror maladjustment ( $\epsilon'_1 = 5''$ )	Ideal situation	$M_1$ mirror maladjustment ( $\epsilon'_1 = 5''$ )
$\Delta x / \text{mm}$	0	-0.094 64	0	0.094 63
$\Delta p / \text{mrad}$	0	0.018 19	0	-0.030 3
$x_1 / \text{mm}$	0	0.078 69	0	-0.078 69
$p_1 / \text{mrad}$	0	-0.215 92	0	0.205 84
$x_n / \text{mm}$	0	-0.015 95	0	0.015 95
$p_n / \text{mrad}$	0	0.234 11	0	0.236 41
$\Delta L / \text{nm}$	$\Delta L_S = -10.362$		$\Delta L_N = -9.981$	
$\Delta f / \text{Hz}$				$3.225 \times 10^5$

当  $\epsilon'_1 = n \times 5''$  时, 光束在激光陀螺输入面与输出面上的各空间坐标量均将变为失调角  $\epsilon'_1 = 5''$  时各空间坐标量的  $n$  倍, 相应所产生的拍频频差也将增大到  $n$  倍, 即反射镜的失调角位移  $\epsilon'_1$  是与拍频频差  $\Delta f$  成正比的. 通过分析  $x_n \propto \epsilon'_1$ , 则对于陀螺的不同毛细管孔径, 当失调角增大到一定程度后, 光线将会射出腔体并在谐振腔内无法形成稳定振荡而输出激光.

### 3.2 不同腔镜结构不同反射镜失调的仿真结果

针对 a、b、c 三种腔镜结构, 分别在  $M_1, M_4$  镜为拍频输出的情况下, 仿真计算了各反射镜单独发生失调时光束在输入面与输出面上的各空间坐标量. 仿真时均假设只有 1 个反射镜发生了失调, 且失调角位移  $\epsilon'_{ij} = 5''$ , 其中  $i=1, 2, 3, 4$  代表图 2 中不同的反射镜,  $j=a, b, c$  代表三种不同腔镜结构. 可以得到:

1) 对于腔镜结构 c, 其失调仿真计算结果为无解, 即对于小增益激光器, 平面镜的偏斜对光束在腔体内的空间分布影响很大, 平面镜对失调相当灵敏, 则要求很高的调整准确度, 所以在实际的工艺状况下, 全为平面镜的腔镜结构是不被采用的.

对于腔镜结构 a 和 b 均可计算出光束在输入面与输出面上的空间位置坐标, 这说明使用球面镜后, 尽管各反射镜分别发生了微小的偏斜 ( $\epsilon'_{a1} = 5'', \epsilon'_{a2} = 5''$ ), 但是对光束的空间位置分布影响较小. 可见, 球面镜的使用降低了谐振腔在调节中的难度, 使激光陀螺的成活率得到提高, 有利于工程生产.

2) 针对结构 a 和 b, 由于失调角的存在, 使得中心在 origin 的高斯光斑发生了偏移, 并且在不同的失调情况下, 顺时针行波与逆时针行波的高斯光斑发生了不同程度的偏移. 对顺逆行波的空间位置参量  $x_n$  进行数学处理后得, 如表 3.

表 3 不同失调情况下结构 a 与 b 的顺逆行波高斯光斑中心位置的距离  $\Delta x_n$

Table 3 The distance  $\Delta x_n$  between the centers of the Gaussian spot of clockwise and counterclockwise wave in structure a and b

Maladjusted mirror	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
a $\Delta x_n / \text{mm}$	0.031 89	0.092 26	0.097 15	0.070 46
b $\Delta x_n / \text{mm}$	0.175 52	0.192 23	0.155 15	0.221 29

其中  $\Delta x_n$  为双向行波光斑中心位置的间距, 从  $\Delta x_n$  的相关数据看到, 双向行波的光斑因失调而发生了偏移, 又根据平凹腔的光束腰斑半径计算公式<sup>[10]</sup>, 得到其高斯光斑的光斑半径约为 0.544 3 mm, 可以看出失调并没有导致两高斯光斑光强的  $1/e$  处严重分离, 即此失调下是可以实现双向行波的拍频输出. 同时可以得到结构 b 的光斑偏移相较于结构

a 要严重. 然而, 若腔镜的失调角达到某一量值, 其高斯光斑会严重分离, 从而影响陀螺的信号输出, 甚至无法形成稳定的激光振荡.

3) 在工程应用中, 通常用  $M_1$  输出的光作为被测拍频信号光, 用  $M_4$  输出的光作为校准拍频信号的校准光. 表 4 为腔镜结构 a 在不同的失调镜下分别从  $M_1$  镜和  $M_4$  镜进行信号探测而得到的各自对应的拍频频差, 可以看出, 在失调量相同的情况下,  $M_1$  与  $M_4$  输出的拍频频差  $\Delta f$  是不相同的, 对于结构 b 和 c 仍存在此现象, 因此用  $M_4$  镜的输出光去校准  $M_1$  镜的被测光是不合适的, 在陀螺的实际设计中应考虑到此问题. 可以采用等光强的分光镜将  $M_1$  输出的光等分为被测光与校准光, 以便更加可靠地对激光陀螺拍频信号进行校准补偿.

表 4 以  $M_1$  和  $M_4$  镜分别作为拍频信号探测端时的  $\Delta f$  (单位:  $\text{Hz} \times 10^6$ )

Table 4 The  $\Delta f$  ( $\text{Hz} \times 10^6$ ) of the beat signal detected from mirror  $M_1$  and mirror  $M_4$

Maladjusted mirror	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
1 $\Delta f$	0.322 5	-0.178 6	-0.066 0	-11.936
2 $\Delta f$	1.274	-0.000 8	-0.000 8	1.819 2

## 4 结论

本文针对空间谐振式激光陀螺在不同腔镜失调情况下的光束传输以及信号输出进行了研究, 在不同反射镜失调情况下, 利用 MATLAB 软件对三种不同结构的空腔谐振式激光陀螺光束传输进行了仿真计算, 结果表明: 球面镜的使用使腔镜偏斜对光束空间位置分布的影响不大, 不仅使陀螺腔镜的调整难度降低而且成活率提高; 激光陀螺腔镜的失调使得两高斯光斑发生了不同的偏移, 在一定的失调量下将会影响陀螺的信号输出; 当用补偿的方法去校准输出信号时, 不能盲目的用  $M_4$  镜的信号输出去校准  $M_1$  镜信号.

该研究有助于高准确度陀螺的加工, 并对激光陀螺的调腔和光路检测具有很好的指导作用. 因为本工作是在已知失调角位移和谐振腔无工作物质的情况下所作的仿真, 而对失调角未知以及由温度引起的腔镜失调等复杂情况, 还需要作进一步的研究.

### 参考文献

- [1] 王大珩. 现代仪器仪表技术与设计(下卷)[M]. 北京: 科学技术出版社, 2002: 2099-2202.
- [2] LI Tian-chu. Lamb's theory of traveling-wave Gaussian beams and output expressions of ring lasers considering the radial distribution [J]. *China Laser*, 1982, **10**(7): 389-394.  
李天初. 行波高斯光束 Lamb 理论及考虑径向分布的环形激光输出表达式[J]. *中国激光*, 1982, **10**(7): 389-394.
- [3] COLLINS S A. Lens-system diffraction integral written in terms of matrix optics[J]. *J Opt Soc Amer*, 1970, **60**(9):

- 1168-1177.
- [4] 吕白达. 激光光学(第三版)[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2003 :386.
- [5] GAO Ai-hua, GU Qiao, LU Zhi-guo. The maladjustment of laser cavity and light beam quality [J]. *Acta Photonica Sinica*, 1999,**28**(8): 763-766.  
高爱华,顾樵,陆治国. 激光器腔的失调与光束质量[J]. 光子学报,1999,**28**(8): 763-766.
- [6] ZHANG Yan-shen. The laser gyro's optical control-visiting Germany [J]. *Cruise Missile*, 1996,(6):53-58.  
章燕申. 激光陀螺的光路控制—访德报告[J]. 飞航导弹, 1996,(6):53-58.
- [7] HONG Xi-chun, HUANG Wei-gang, WANG Shao-min. Diffraction integral formula for misaligned optical systems [J]. *Physics Letters*, 1982,**31**(28):1655-1663.
- 洪熙春,黄维刚,王绍民. 失调光学系统的衍射积分公式[J]. 物理学报,1982,**31**(28):1655-1663.
- [8] LIAO Fu-zhong. Langmuir flow effect in a ring cavity during the light deflection [J]. *Laser*, 1979,**6**(12):1-7.  
廖复中. 环形腔中光线偏斜时的朗缪尔效应[J]. 激光,1979,**6**(12):1-7.
- [9] GAO Bo-long, JIANG Ya-nan. Zero drift effects in the langmuir flow [J]. *Journal of Applied Sciences*, 1980,(8): 33-51.  
高伯龙,姜亚南. 朗缪尔流动的零漂效应[J]. 国防科技大学学报,1980,(8):33-51.
- [10] GU Qiao. On optimum design of a flat-concave resonator[J]. *Applied Laser*, 1987, **7**(1):36-37.  
顾樵. 关于平凹腔的最佳设计[J]. 应用激光,1987,**7**(1):36-37.

## Investigation on the Signal Output of RLG with Tilted Reflector

GAO Ai-hua<sup>1</sup>, HE Xiao-qing<sup>1</sup>, Zhang Wei<sup>2</sup>, HU Shang-bin<sup>1</sup>, LU Zhi-guo<sup>1</sup>

(1 *Department of physics, Northwest University, Xi'an 710069, China*)

(2 *Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an, China*)

**Abstract:** The spatial locations of the beam in spatial resonator gyroscope under different maladjustments were mainly studied. According to theories of Collins's Integral and Collins's EIKONAL Function and making full use of the MATLAB software, the beam transmission of RLG was simulated and calculated because of the resonator's maladjustment. From the simulation results of three different structures, it was found that different mirrors with the same maladjustment cause different results on the beat output, and the beat signals detected from mirror  $M_1$  and  $M_2$  are different; for the small-gain lasers, the structure using the spherical mirror can easily form the stable beam structure compared with the plane mirror; from the calculated spatial coordinates  $x_n$  it can be got that the centers of the Gaussian spot of clockwise and counterclockwise wave occur shift and effect the beat output of laser gyros in the certain amount of offset. This work has some instructive significance on the engineering testing and endoscopes adjustment of the laser gyro, and contributes to the improvement of measuring accuracy of laser gyro.

**Key words:** Laser gyro; Beat frequency; Maladjustment; Collins's EIKONAL Function