

文章编号: 1001-3806(2010)06-0823-05

## 差分损耗对四频差动激光陀螺零漂的影响

汪之国, 龙兴武\*, 王飞

(国防科学技术大学 光电科学与工程学院 光电工程系, 长沙 410073)

**摘要:** 为了减小差分损耗对四频差动激光陀螺性能的影响, 根据气体激光的半经典理论, 采用数值仿真的方法, 对差分损耗所导致的零漂进行了理论分析。四频差动激光陀螺中4个模式由于偏振态、运行方向的不同而具有不同的单程损耗。激发模的光强和频率与单程损耗有关, 差损的影响如不能在差频中抵消就导致零漂。计算了失谐频率、磁场、腔长、互易偏频、法拉第偏频、多普勒加宽和气压对3种差损系数的影响, 讨论了气压和气比对差损系数的影响。结果表明, 偏振差损的影响可以通过施加磁场消除, 而方向和磁圆二向色性差损无法通过改变磁场和失谐频率消除; 改变气压和氖同位素比例可以改变各差损系数, 除了减小差损本身外, 优化增益气体对减小差损零漂也有一定的作用。

**关键词:** 激光技术; 四频差动激光陀螺; 自治方程组; 零漂; 差分损耗

**中图分类号:** V241.5<sup>+</sup>58 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.06.028

## Influence of differential loss on zero drift in four-frequency differential laser gyros

WANG Zhi-guo, LONG Xing-wu, WANG Fei

(Department of Opto-Electronic Engineering, College of Opto-Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** In order to reduce the influence of differential loss on the performance of four-frequency differential laser gyros, zero drift resulting from differential loss was analyzed theoretically according to semi-classical theory of gas lasers. Modes in the four-frequency differential laser gyro have different round trip loss due to different polarization, propagating direction. Light intensity and frequency of the lasing mode relate to the round trip loss, so zero drift will appear if influence of differential loss is not removed in the difference frequency. With self consistent equations, effects of detuning frequency, magnetic field, cavity length, reciprocal biasing, Faraday biasing, Doppler broadening and gas pressure on three coefficients of differential loss were analyzed. The results show that zero drift caused by differential polarization loss can be eliminated by application of magnetic field. However, zero drifts caused by differential direction loss and magnetic circular dichroism loss cannot be eliminated by varying magnetic field or detuning frequency. Coefficients of differential loss can be changed by changing gas pressure and neon isotope ratio. Therefore, besides reduction of differential loss themselves, optimization of gain medium will play a certain role in reducing zero drift caused by differential loss.

**Key words:** laser technique; four-frequency differential laser gyro; self consistent equations; zero drift; differential loss

### 引言

四频差动激光陀螺(four-frequency differential laser gyro, FFDLG)采用恒定光学偏频, 不过锁区、不产生机械干扰, 因而在应用上与机械抖动激光陀螺相比具有特殊的优势<sup>[1]</sup>。但是光学偏频的代价是增加了非互易效应<sup>[2]</sup>, 对激光模式的频率产生干扰, 影响陀螺的测量精度。就光学陀螺3个主要指标: 零漂、比例因子和随机游走而言, 由于原理优势, FFDLG的比例因子和随机游走在研制中难度不大, 如国内研制的 FFDLG 刚完成工

程化时这两个指标就基本达到了惯性级要求<sup>[3]</sup>, 而零漂则是限制其应用的最大障碍。FFDLG的误差因素较多, 作者曾对 FFDLG 的工作点<sup>[4]</sup>、磁场<sup>[5]</sup>等因素导致的零漂进行了研究, 但还不够全面。本文中将讨论偏振差损(differential polarization loss, DPL)、方向差损(differential direction loss, DDL)、磁圆二向色性差损(magnetic circular dichroism loss, MCDL)这3个因素对零漂的影响, 并提出减小或消除这些影响的建议。

### 1 差分损耗数值仿真

#### 1.1 数学模型

FFDLG的基本原理与自治方程组在参考文献[1]、参考文献[6]和参考文献[7]中已有详细介绍, 这里就不再赘述。图1中给出了 FFDLG 的空腔模式和

作者简介: 汪之国(1982-), 男, 博士研究生, 主要从事激光与光电子技术的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: xwlong110@sina.com

收稿日期: 2009-12-03; 收到修改稿日期: 2010-04-20

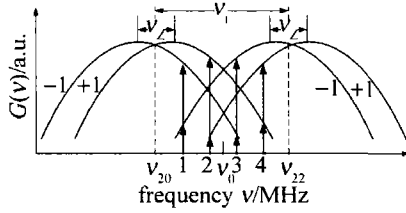


Fig.1 Gain curves and cavity modes of a FFDLG

增益曲线在频率轴上的相对位置,纵坐标  $G(\nu)$  表示频率为  $\nu$  的模式获得的增益,横坐标  $\nu$  是频率。4 个模式从低频到高频依次为左旋顺时针、左旋逆时针、右旋逆时针、右旋顺时针,分别标记为 1,2,3,4,其中 1,3 为负旋光,2,4 为正旋光,FFDLG 中正、负旋光的定义可参考文献[8]。增益介质采用  $\text{Ne}^{20}$  和  $\text{Ne}^{22}$  双同位素,它们的中心频率分别为  $\nu_{20}$  和  $\nu_{22}$ ,间隔为  $\nu_1$ ,中点为  $\nu_0$ 。施加磁场时,由于塞曼效应,增益曲线产生大小为  $\nu_2$  的分裂,正旋光的增益曲线标记为 +1,负旋光的增益曲线标记为 -1。用失谐频率  $\nu_d$  表征 FFDLG 的 4 个激发模式的平均频率相对  $\nu_0$  的偏离程度。

由于谐振腔各向异性<sup>[9]</sup>等因素的影响,FFDLG 的左、右旋模具有不同的损耗,定义偏振差损为  $\gamma_{\text{DPL}}$ <sup>[1]</sup>:

$$\gamma_{\text{DPL}} = (\gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_3 + \gamma_4)/4 \quad (1)$$

式中,  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$  分别为 1,2,3,4 模的单程损耗。

由于顺、逆时针光束的非互易性<sup>[10-11]</sup>,顺、逆时针模式具有不同的损耗,定义方向差损  $\gamma_{\text{DDL}}$  为<sup>[1]</sup>:

$$\gamma_{\text{DDL}} = (\gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3 + \gamma_4)/4 \quad (2)$$

相对于磁场来说,由于正、负旋模式的非互易性,正、负旋模式具有不同的损耗,定义磁圆二向色性差损  $\gamma_{\text{MCDL}}$  为<sup>[1]</sup>:

$$\gamma_{\text{MCDL}} = (\gamma_1 - \gamma_2 + \gamma_3 - \gamma_4)/4 \quad (3)$$

4 个模式的平均损耗包括透射损耗、衍射损耗等损耗,称为腔损,表示为:

$$\gamma_0 = (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4)/4 \quad (4)$$

根据(1)式~(4)式将 4 个模式的损耗分别为:

$$\begin{cases} \gamma_1 = \gamma_0 + \gamma_{\text{DPL}} + \gamma_{\text{DDL}} + \gamma_{\text{MCDL}} \\ \gamma_2 = \gamma_0 + \gamma_{\text{DPL}} - \gamma_{\text{DDL}} - \gamma_{\text{MCDL}} \\ \gamma_3 = \gamma_0 - \gamma_{\text{DPL}} - \gamma_{\text{DDL}} + \gamma_{\text{MCDL}} \\ \gamma_4 = \gamma_0 - \gamma_{\text{DPL}} + \gamma_{\text{DDL}} - \gamma_{\text{MCDL}} \end{cases} \quad (5)$$

考虑到差损后净增益系数矩阵可表示为<sup>[6-7]</sup>:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1 - \gamma_1 \\ G_2 - \gamma_2 \\ G_3 - \gamma_3 \\ G_4 - \gamma_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1 - \gamma_0 \\ G_2 - \gamma_0 \\ G_3 - \gamma_0 \\ G_4 - \gamma_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \gamma_{\text{DPL}} \\ \gamma_{\text{DDL}} \\ \gamma_{\text{MCDL}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中,  $\alpha_j$  为第  $j$  模的净增益系数,  $G_j$  表示第  $j$  模的增益系数,其中  $j=1,2,3,4$ 。

描述 FFDLG 的频率方程为<sup>[6-7]</sup>:

$$\begin{bmatrix} \dot{\Psi}_1 \\ \dot{\Psi}_2 \\ \dot{\Psi}_3 \\ \dot{\Psi}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Omega_1 \\ \Omega_2 \\ \Omega_3 \\ \Omega_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} & \tau_{14} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \tau_{23} & \tau_{24} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \tau_{33} & \tau_{34} \\ \tau_{41} & \tau_{42} & \tau_{43} & \tau_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} & \theta_{14} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \theta_{23} & \theta_{24} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} & \theta_{44} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} G_1 - \gamma_0 \\ G_2 - \gamma_0 \\ G_3 - \gamma_0 \\ G_4 - \gamma_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} & \tau_{14} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \tau_{23} & \tau_{24} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \tau_{33} & \tau_{34} \\ \tau_{41} & \tau_{42} & \tau_{43} & \tau_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \gamma_{\text{DPL}} \\ \gamma_{\text{DDL}} \\ \gamma_{\text{MCDL}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中,  $\Psi_j$  为第  $j$  模的相位;  $\dot{\Psi}_j$  为第  $j$  模的激发频率;  $\Omega_j$  为第  $j$  模的空腔频率;  $\sigma_j$  为第  $j$  模的频率牵引系数;  $\tau_{jk}$  为第  $j, k$  两模之间的排斥系数;  $\theta_{jk}$  为  $j, k$  两模之间的饱和系数; 上述  $j, k=1,2,3,4$ , 具体表达式见参考文献[6]和参考文献[7]。

(7)式的最后一项与偏振差损、方向差损、磁圆二向色性差损有关,因而差损对 FFDLG 4 个模式的激发频率产生影响,其贡献为:

$$\begin{bmatrix} \dot{\psi}_1 \\ \dot{\psi}_2 \\ \dot{\psi}_3 \\ \dot{\psi}_4 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} & \tau_{14} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \tau_{23} & \tau_{24} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \tau_{33} & \tau_{34} \\ \tau_{41} & \tau_{42} & \tau_{43} & \tau_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} & \theta_{14} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \theta_{23} & \theta_{24} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} & \theta_{44} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \gamma_{\text{DPL}} \\ \gamma_{\text{DDL}} \\ \gamma_{\text{MCDL}} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中,  $\dot{\psi}_j (j=1,2,3,4)$  为差损对第  $j$  模振荡频率的修正。这 3 种差损导致的零漂  $\nu_\gamma$  为:

$$\nu_\gamma = \frac{(\dot{\psi}_2 + \dot{\psi}_3 - \dot{\psi}_1 - \dot{\psi}_4)}{2\pi} = \frac{K_{\text{DPL}}\gamma_{\text{DPL}} + K_{\text{DDL}}\gamma_{\text{DDL}} + K_{\text{MCDL}}\gamma_{\text{MCDL}}}{2\pi} \quad (9)$$

式中,  $K_{\text{DPL}}, K_{\text{DDL}}, K_{\text{MCDL}}$  分别表示单位偏振差损、方向差损、磁圆二向色性差损导致的零漂,其意义是对差损变化的灵敏度,不妨称为差损灵敏度系数。

在(9)式中,令  $\gamma_{DPL} = 1, \gamma_{DDL} = 0, \gamma_{MCDL} = 0$ , 则  $\nu_y = K_{DPL}$ , 类似可以计算  $K_{DDL}$  和  $K_{MCDL}$ 。差损本身的变化或差损系数的变化都会导致零漂, 由于差损的变化难以预测和控制, 因此下面重点研究  $K_{DPL}, K_{DDL}, K_{MCDL}$  随增益气体和谐振腔参量的变化规律。FMDLG 在充气时可选择增益气体的气压和 Ne 同位素比例, 通过电子装置可改变其失谐频率和磁场, 因此, 希望能够通过电子控制装置或者谐振腔、增益气体的优化减小差损对零漂的影响。

由于各兰姆系数较为复杂, (9)式的解析解非常复杂, 采用数值仿真进行研究, 所用参量数值如表 1 所示。表中每行为一组参量,  $n$  表示序号,  $L$  为腔长,

Table 1 Simulation parameters

$n$	$L/cm$	$\nu_r/MHz$	$\nu_f/MHz$	$\gamma_0$	$G_m$	$\nu_D/GHz$	$p/Pa$	$f_{20}$
0	20.4	735	0.8	0.0008	0.001	0.8	665	0.53
1	28.0	535	0.8	0.0008	0.001	0.8	665	0.53
2	20.4	588	0.8	0.0008	0.001	0.8	665	0.53
3	20.4	735	1.0	0.0008	0.001	0.8	665	0.53
4	20.4	735	0.8	0.0008	0.001	0.9	665	0.53
5	20.4	735	0.8	0.0008	0.001	0.8	400	0.53
6	20.4	735	0.8	0.0008	0.001	0.8	665	0.55

$\nu_r$  为互易偏频,  $\nu_f$  为法拉第偏频,  $\gamma_0$  为腔损,  $G_m$  为峰值增益,  $\nu_D$  为多普勒加宽,  $p$  为气压,  $f_{20}$  为 Ne<sup>20</sup> 的摩尔分数。根据国内外激光陀螺相关文献<sup>[8,12-13]</sup>, 上述参量的取值范围如下: 激光陀螺的腔长取中等尺寸 20.4cm 和 28cm;  $\nu_r$  一般为 735MHz, 但也仿真了 588MHz 的情况;  $\nu_f$  取值范围一般为 0.3MHz ~ 2MHz, 作者取为 0.8MHz 和 1.0MHz;  $\gamma_0$  在 0.00036 ~ 0.01 之间, 取为 0.0008,  $G_m$  取比腔损稍大的数值 0.001;  $p$  在  $(2 \sim 6) \times 133Pa$  之间, 取为 400Pa 和 665Pa;  $f_{20}$  在 0.5 ~ 0.53 之间, 取为 0.53;  $\nu_D = \sqrt{2k_B T/m} \lambda$ , 这里,  $k_B$  为玻尔兹曼常量,  $T$  为增益气体绝对温度,  $m$  为 Ne<sup>20</sup> 原子质量,  $\lambda$  为激光波长。计算得,  $T = 300K$  时,  $\nu_D = 0.78GHz$ ;  $T = 400K$  时,  $\nu_D = 0.91GHz$ 。  $T$  与放电电流有关, 根据参考文献[14], 电流小于 1mA 时,  $T$  与环境温度相差不大。早期文献中的  $\nu_D$  多用 1GHz, 可能是当时的工艺水平较差, 需要较大的放电电流。本文中在仿真中取 0.8GHz, 而且也取了 0.9GHz, 以证明  $\nu_D$  不会影响整体规律。

由于辐射捕获修正对零漂的影响较小, 为了抓主要矛盾, 不考虑其影响, 因而(9)式不含峰值增益和腔损, 即增益和腔损的变化对差损零漂没有影响。仿真过程是: (1) 首先采用第 0 组参量, 计算  $K_{DPL}, K_{DDL}, K_{MCDL}$  随失谐频率和磁场的变化曲线, 失谐频率从 -100MHz 变化到 100MHz, 步长为 40MHz, 磁场从 -0.04mT 变化到 0.04mT, 步长为 0.01mT; (2) 根据第(1)步的计算结果, 有选择地讨论在第 1 组到第 6

组的参量下,  $K_{DPL}, K_{DDL}, K_{MCDL}$  随失谐频率和/或磁场的变化规律。

### 1.2 偏振差损数值仿真

根据第 0 组参量计算的偏振差损系数  $K_{DPL}$  随磁场和失谐频率的变化如图 2 所示。  $K_{DPL}$  随失谐频率变化

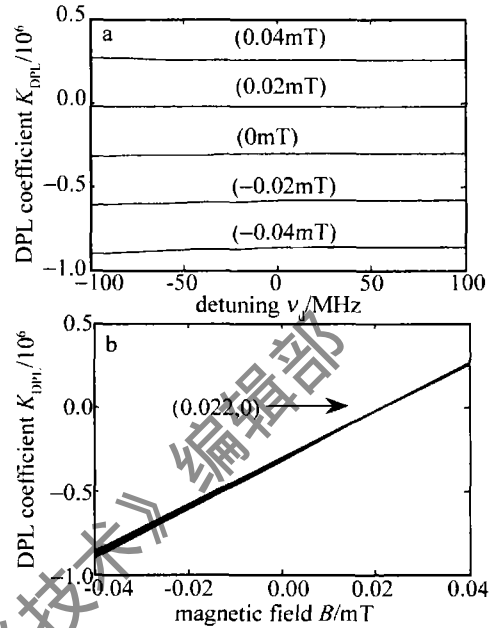


Fig. 2 Relation between DPL coefficient  $K_{DPL}$  and magnetic field, detuning frequencies

a— $K_{DPL}$  versus detuning frequency in different magnetic field b— $K_{DPL}$  versus magnetic field at different detuning frequencies

很小, 磁感应强度为 0.022mT 时,  $K_{DPL} = 0$ , 但随磁场变化较大, 因此偏振差损零漂对磁场敏感。

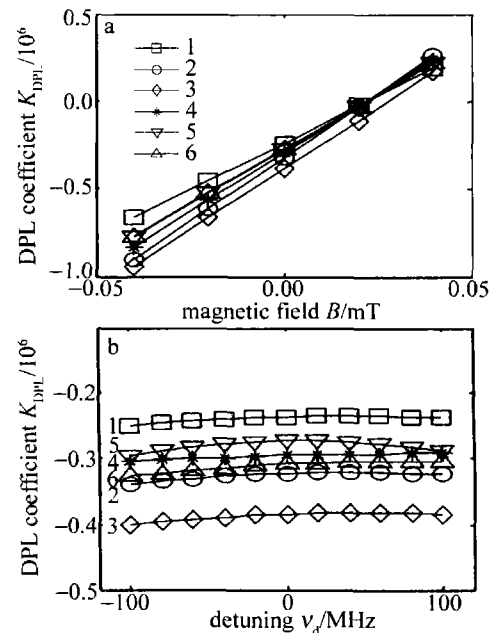


Fig. 3 Relation between DPL coefficient  $K_{DPL}$  and magnetic field, detuning frequencies

a— $K_{DPL}$  versus magnetic field for parameters from No. 1 to No. 6 in Table 1 b— $K_{DPL}$  versus detuning frequency for parameters from No. 1 to No. 6 in Table 1

令失谐频率为 0, 采用第 1 组 ~ 第 6 组参量计算  $K_{DPL}$  随磁场的变化曲线, 结果如图 3a 所示, 除了第 3 组参量下当磁场为 0.027mT 时,  $K_{DPL} = 0$ , 其它 5 组参量下的曲线相交于点 (0.022mT, 0), 说明只要塞曼分裂等于法拉第偏频就有  $K_{DPL} = 0$ 。令磁场为 0, 采用第 1 组 ~ 第 6 组参量计算  $K_{DPL}$  随失谐频率的变化曲线, 结果如图 3b 所示, 在失谐频率为 0 附近  $K_{DPL}$  随失谐频率的变化都较小。

根据图 2 和图 3 的结果, 偏振差损导致的零漂可以近似表示为:  $\nu_{DPL} = \kappa_{DPL}(\nu_F - \nu_Z)\gamma_{DPL}$  (10) 式中,  $\kappa_{DPL}$  是与磁场和失谐频率无关的拟合参量。

1.3 方向差损数值仿真

根据第 0 组参量计算的不同磁场下方向差损系数  $K_{DDL}$  随失谐频率的变化曲线如图 4a 所示, 所有的 5 条

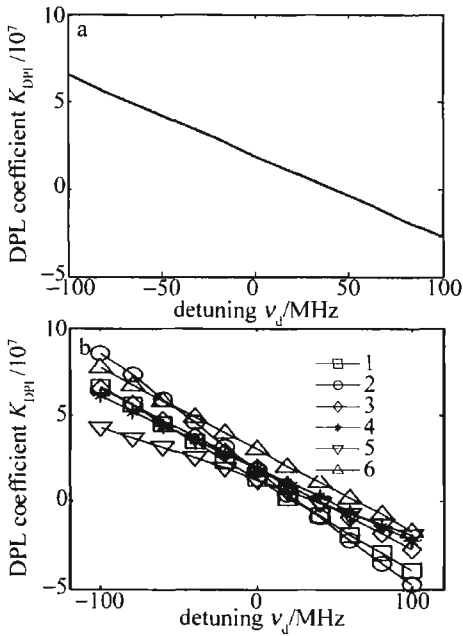


Fig. 4 Relation between DDL coefficient  $K_{DDL}$  and magnetic field, detuning frequencies  
a— $K_{DDL}$  versus detuning frequency in different magnetic field b— $K_{DDL}$  versus detuning frequency in zero magnetic field for different parameters

曲线重合在一起, 因此  $K_{DDL}$  与磁场基本无关。令磁场为 0, 采用第 1 组 ~ 第 6 组参量计算  $K_{DDL}$  随失谐频率的变化曲线, 如图 4b 所示。对每条曲线, 总存在某失谐频率使  $K_{DDL} = 0$ 。因此, 方向差损导致的零漂可以表示为:

$$\nu_{DDL} = \kappa_{DDL}(\nu_d - \nu_{d1})\gamma_{DDL} \quad (11)$$

式中,  $\kappa_{DDL}$  和  $\nu_{d1}$  为拟合参量, 与磁场和失谐频率无关。

1.4 磁圆二向色性差损数值仿真

采用第 0 组参量计算的不同磁场下磁圆二向色性差损系数  $K_{MCDL}$  随失谐频率的变化曲线如图 5a 所示,

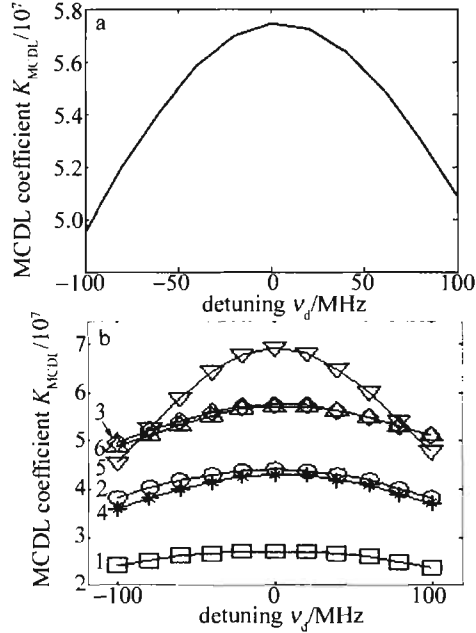


Fig. 5 Relation between MCDL coefficient  $K_{MCDL}$  and magnetic field, detuning frequencies  
a— $K_{MCDL}$  versus detuning frequency in different magnetic field  
b— $K_{MCDL}$  versus detuning frequency in zero magnetic field for different parameters

所有的 5 条曲线基本重合, 表明  $K_{MCDL}$  与磁场基本无关。令磁场为 0, 采用第 1 组 ~ 第 6 组参量计算  $K_{MCDL}$  随失谐频率的变化曲线, 如图 5b 所示。发现对  $K_{MCDL}$  有较大影响的物理量是谐振腔周长、互易偏频和气压。磁圆二向色性差损较小时导致的零漂可以表示为:

$$\nu_{MCDL} = \kappa_{MCDL}[1 + \beta(\nu_d - \nu_{d2})^2]\gamma_{MCDL} \quad (12)$$

式中,  $\kappa_{MCDL}$ ,  $\beta$  和  $\nu_{d2}$  为拟合参量, 与磁场和失谐频率无关。

2 优 化

第 1 节中对各种谐振腔参量下差损系数的变化规律进行了仿真, 根据 (10) 式 ~ (12) 式, 在峰值频率附近, 3 个差损系数分别为:

$$\begin{cases} K_{DPL} = \kappa_{DPL}(\nu_F - \nu_Z) \\ K_{DDL} = \kappa_{DDL}(\nu_d - \nu_{d1}) \\ K_{MCDL} = \kappa_{MCDL}[1 + \beta(\nu_d - \nu_{d2})^2] \end{cases} \quad (13)$$

式中,  $\kappa_{DPL}$ ,  $\kappa_{DDL}$ ,  $\kappa_{MCDL}$ ,  $\nu_{d1}$  与谐振腔周长、互易偏频、法拉第偏频、多普勒加宽、气压和  $\text{Ne}^{20}$  摩尔分数有关。设陀螺腔长 20.4cm, 互易偏频为 0.5 个纵模间隔, 法拉第偏频为 0.8MHz, 多普勒加宽为 0.8GHz。下面讨论气压和  $\text{Ne}^{20}$  摩尔分数对这些拟合参量的影响, 气压的范围取 (3 ~ 6) × 133Pa,  $f_{20}$  的范围取 0.50 ~ 0.55。在下面的讨论中失谐频率和磁场为 0。

偏振差损系数的优化目的是  $\kappa_{DPL}$  尽量小, 磁场为 0 时,  $\kappa_{DPL} = K_{DPL}/\nu_F$ 。数值计算结果如图 6 所示, 发现

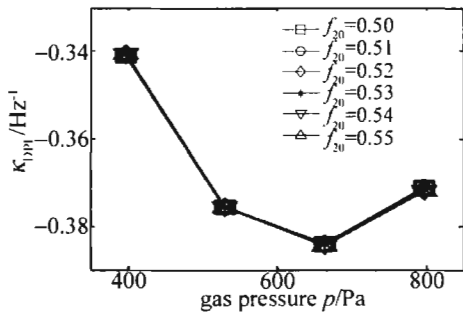


Fig. 6  $\kappa_{DPL}$  versus gas pressure for different  $f_{20}$

$\kappa_{DPL}$  与  $Ne^{20}$  摩尔分数基本无关, 在气压为 665 Pa 时绝对值较大。

方向差损系数的优化目的是  $\kappa_{DDL}$  尽量小, 且  $\nu_{dl}$  尽量靠近中心频率。计算结果如图 7 所示,  $\nu_{dl}$  随  $Ne^{20}$  摩

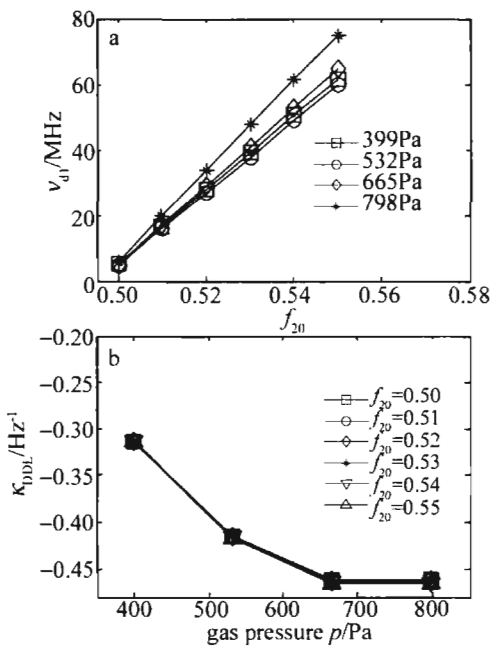


Fig. 7 a— $\nu_{dl}$  versus gas pressure for different  $f_{20}$  b— $\kappa_{DDL}$  versus  $f_{20}$  at different gas pressure

尔分数变化较大, 而与气压关系较小;  $\kappa_{DDL}$  与  $Ne^{20}$  摩尔分数基本无关, 气压越小,  $\kappa_{DDL}$  绝对值越小。

磁圆二向色性差损系数的优化目的是  $\kappa_{MCDL}$  尽量小。计算结果如图 8 所示,  $\kappa_{MCDL}$  与  $Ne^{20}$  摩尔分数基本无关, 气压越大其值越小。

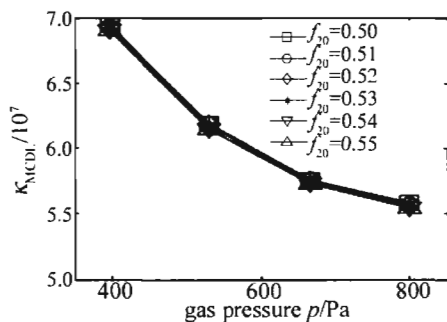


Fig. 8  $\kappa_{MCDL}$  versus gas pressure for different  $f_{20}$

### 3 结 论

通过数值仿真, 首先研究了差损对零漂的影响, 然后提出优化增益气体减小差损, 得到如下结论: (1) 施加磁场使增益曲线的塞曼分裂等于法拉第偏频可以消除偏振差损的影响, 但方向差损和磁圆二向色性差损的影响不可消除, 因此应将优化重点放在后两者上; (2) 磁场对方向差损系数和磁圆二向色性差损系数没有影响, 这两种差损系数与气压、多普勒加宽等参量有关, 当增益参量或者差损本身二者之一发生变化时就会导致零漂, 由于增益参量如增益、多普勒加宽随温度而变, 因而导致温漂; (3) 在方向差损和磁圆二向色性差损不变的条件下, 通过优化气体参量能够减小它们的影响, 但由于 FFDLG 的零漂来源不仅有差损, 而且  $\kappa_{DDL}$  和  $\kappa_{MCDL}$  的绝对值随气压的变化趋势不同, 因此尚需通过大量实验寻找规律。

### 参 考 文 献

- [1] VOLK C H, GILLESPIE S C, MARK J G, et al. Multioscillator ring laser gyroscopes and their applications[C]//Optical Gyros and Their Application. Québec: Canada Communication Group Inc., 1999: 4. 1-4. 26.
- [2] KRAVTSOV N V, KRAVTSOV N N. Nonreciprocal effects in ring lasers[J]. Quantum Electronics, 1999, 29(5): 378-399.
- [3] National University of Defense Technology. Four frequency differential laser gyro (advertisement) [J]. Chinese Journal of Inertial Technology, 1997, 5(2): 51 (in Chinese).
- [4] WANG Zh G, LONG X W, WANG F, et al. Choice of operating point for the four-mode differential laser gyros[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(2): 301-304 (in Chinese).
- [5] WANG Zh G, LONG X W, WANG F, et al. Magnetic sensitivity and optimal operating point of four-frequency differential laser gyroscope [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(11): 3202-3206 (in Chinese).
- [6] CHOW W W, HAMBENNE J B, HUTCHINGS T J, et al. Multioscillator laser gyros[J]. IEEE J Q E, 1980, QE16(9): 918-936.
- [7] GAO B L. The locking phenomenon of second kind in differential laser gyro [J]. Journal of Nation University of Defense Technology, 1982, 4(1): 37-57 (in Chinese).
- [8] JIANG Y N. Ring laser gyro [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1985: 187-188 (in Chinese).
- [9] YANG Z F, YUAN X D, ZHANG B, et al. The loss difference in differential laser gyros[J]. Laser Technology, 1999, 23(3): 138-141 (in Chinese).
- [10] PELYUKHOVA E B, FRADKIN É E. The mechanism of the diffractive nonreciprocity of counter propagating waves in a ring gas laser [J]. Quantum Electronics, 2000, 30(2): 135-140.
- [11] BRETENAKER F, FLOCH A L. Specific lenslike effects and resonant diffraction losses in two-isotope gas lasers[J]. Phys Rev, 1990, A42(9): 5561-5572.
- [12] ARONOWITZ F, KILLPATRICK J E, CALLAGHAN S P. Power dependent correction to the scale factor in the laser gyro[J]. IEEE J Q E, 1974, QE10(2): 201-208.
- [13] ARONOWITZ F. Fundamentals of the ring laser gyro[C]//Optical Gyros and Their Application. Québec: Canada Communication Group Inc., 1999: 3. 1-3. 44.
- [14] ZHANG Sh L, FENG T X, JIANG Y N. Measurement of gas temperature in the positive column region of He-Ne gain laser tubes by thermal expansion method[J]. Chinese Journal of Lasers, 1982, 9(4): 247-249 (in Chinese).