

文章编号: 0253-2239(2010)07-2037-04

四频激光陀螺高低温过程中零漂振荡的分析

王国臣

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 四频激光陀螺在高低温实验中的零漂变化非常复杂,温度单方向变化时零漂会呈振荡形式,这是四频激光陀螺温度效应中一个难以解释和解决的难题。在常温下改变四频激光陀螺的放电电流来模拟变温过程中光强的变化,发现零漂随光强的变化也呈现出振荡形式。从而得知,导致四频激光陀螺变温过程中零漂振荡的一个主要因素是温度单方向变化导致光强的变化,而光强的变化导致零漂的改变。如果四频激光陀螺的光强能够在高低温实验中保持不变,则零漂在高低温变化中的剧烈振荡会得到有效的抑制。通过光强稳定控制下的高低温实验,证明以上结论是正确的。

关键词 四频激光陀螺;高低温;零漂;光强;振荡

中图分类号 U661.1 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20103007.2037

Analysis of Four-Mode Laser Gyro's Null Shift Vibration Under High-Low Temperature Process

Wang Guochen

(College of Photoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract The four-mode laser gyro's null shift is very complex under the high-low temperature process. It often vibrates when temperature changes linearly, which is a very difficult problem that cannot be explained and solved. Beam intensity changing along with temperature is simulated by changing the discharge current at room temperature, and the null shift also vibrates. So it can be concluded that temperature change induces beam intensity change, and then the null shift vibrates. If beam intensity of four-mode laser gyro can be kept constant in the high-low temperature, the null shift vibration will be effectually controlled. The conclusion is proved by the high-low temperature experiment with intensity stability.

Key words four-mode laser gyro; high-low temperature; null shift; beam intensity; vibration

1 引言

激光陀螺^[1~15]具有耐冲击振动能力强、动态范围大、比例因子的线性度和稳定度好、安装轴的方向稳定度好等优点,是中等精度惯性导航的理想器件。国防科学技术大学研制的四频激光陀螺^[2,6,7,9,12,16,17]采用光学方案进行偏频,其中没有活动的机械部件,原理先进且动态性能良好,已被广泛应用。

四频激光陀螺零偏受温度的影响较大^[2,6,7],温度补偿的实际效果不是很理想,在高低温实验中,零漂在温度变化过程中经常呈现振荡的形式,这在一定

程度上制约了激光陀螺精度的进一步提高。如果能找出零漂在变温过程中振荡的原因或部分原因,那么不仅温补的问题可能得到有效解决,也会为激光陀螺的改进提供有意义的的数据。

2 四频激光陀螺高低温实验数据

实验中设定温箱温变速率为1℃/min。具体数据如图1所示,(a)~(c)依次为零漂与温度关系曲线、零漂与光强关系曲线和光强与温度关系曲线。通过四频激光陀螺的高低温实验发现,在温度线性上升或线性

收稿日期: 2009-10-15; 收到修改稿日期: 2010-01-02

基金项目: 总装重点项目(9140A09010807KG0191)资助课题。

作者简介: 王国臣(1980—),男,博士研究生,主要从事激光陀螺及其导航应用等方面的研究工作。

E-mail: wangguochen0912@yeah.net

下降的过程中,零漂剧烈振荡,光强随温度的变化而改变但没有振荡。图 1 中温度为温箱内温度,四频激光

陀螺的表面温度与其有一个滞后的过程,因此零漂、光强的变化与温度的变化之间有一个时间差。

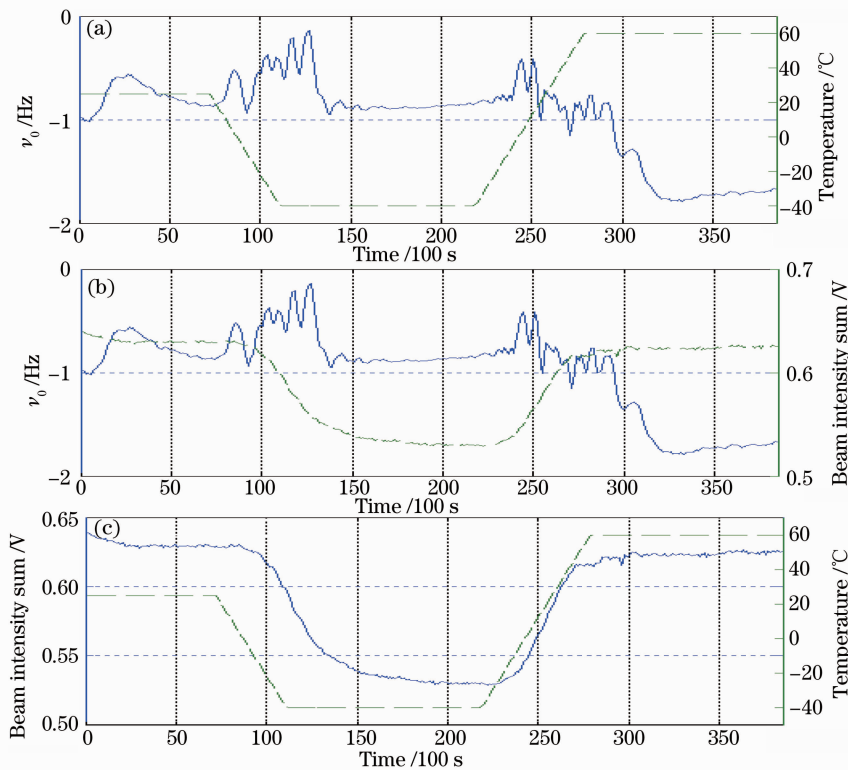


图 1 四频激光陀螺高低温零漂、光强、温度之间的关系曲线

Fig. 1 Relation among null shift, beam intensity, and temperature of four-mode laser gyro under the high-low temperature condition

3 对零漂振荡的理论分析

3.1 温度对陀螺零漂的影响

零漂是激光陀螺精度最直接、最难以控制的问题,主要有朗缪尔流动零漂、磁场引起的零漂、电泳引起的零漂和逆顺不相等带来的零漂等。大部分零漂都是通过激活介质的反常色散效应而引起的^[1]。

温度的变化会导致法拉第旋光材料韦尔代常数

的改变、磁环自身磁饱和度的改变、陀螺环路的热变形等,陀螺的性能也会随之变化。在快速温度变化过程中,现有电路系统所控制的陀螺工作参量基本不变,因此快速温度变化过程中零漂的振荡还有其他原因。

3.2 光强对陀螺零漂的影响

四频激光陀螺零漂的基本表达式^[1]为

$$\nu_o = \nu_{\text{left},o} - \nu_{\text{right},o} = 2 \left[1 + \frac{S_{\text{left}} + S_{\text{right}}}{2} \right] \left[\frac{4A\Omega}{\langle L \rangle \lambda} \right] + (S_{\text{left}} - S_{\text{right}}) \nu_H + \text{others}, \quad (1)$$

其中 $S = S_o + S_R + S_p + S_r + S_i$, $S_o = [\sigma'(\nu_{12})]/(2\pi) < 0$, $S_p = [\rho'(\nu_{12})I]/(2\pi) > 0$, $S_r = [\tau'(\nu_{12})I]/(2\pi) > 0$, $S_R \propto I$ 来自“辐获”效应,且 $S_R > 0$, S_i 来自 $[(\rho - \tau)i]/(2\pi)$ 的一项, $S_i \leq 0$, 式中 $i = I_2 - I_1$, $I = (I_2 + I_1)/2$, I_1, I_2 为四频激光陀螺任意一个对模中两束光的光强。 S 为陀螺的比例因子, A 为环形光路所包围的面积, L 为环形光路的几何长度, λ 为波长, ν 为光频率, ν_o 为左右旋单陀螺的输出频率之差, $\nu_{\text{left},o}$ 为左旋单陀螺

的输出频率, $\nu_{\text{right},o}$ 为右旋单陀螺的输出频率, $\nu_{12} = (\nu_1 + \nu_2)/2$ 即单陀螺两个谐振频率的均值, Ω 输入角速度, σ, ρ, τ 分别为频率修正项、模自排斥系数、模互排斥系数, σ', ρ', τ' 为各自对频率 ν 的导数, R 为辐射捕获系数, others 主要指朗缪尔流动误差和差分损耗误差。

差分模牵引项 S_o 与增益 G 有关, G 的改变引起折射率 n 的改变,从而导致谐振频率的改变,因此 S_o 与光强有关,并且 $S_o < 0$; 其余 4 项是光强 I 的显函

数,并且 $S_p > 0, S_r > 0, S_R > 0, S_i \leq 0$ 。光强差稳频稳的是 $I_{\text{left}} = I_{\text{right}}, I_{\text{left}}, I_{\text{right}}$ 是不受控制的,因此当光强改变时,修正系数 S_{left} 和 S_{right} 会改变, $(S_{\text{left}} + S_{\text{right}})/2, S_{\text{left}} - S_{\text{right}}$ 就可能改变。虽然理论上左右旋单陀螺完全对称,变化相消,但实际上左右旋单陀螺无法完全相同相消,从而导致四频激光陀螺零漂 ν_0 的改变。因此,温变过程中零漂的振荡与光强有关。

4 光强改变实验

(1)式中的光强指激光陀螺谐振腔内部运行的光束强度,实际中通常用振腔内的光束经过输出镜、

合光棱镜和光电转换后的电压幅度来表示陀螺内部的光强,二者之间存在一个固定的比例转换系数。

4.1 常温下的光强改变实验

为验证 3.2 节对快速温度变化过程中零漂振荡的分析,在常温下,通过改变激光陀螺放电电流的大小,从而使光强周期变化,得到光强与零漂的关系曲线,如图 2 所示。实验中,控制两臂放电电流差值始终为恒定值以避免朗缪尔引起的零漂影响实验数据,同时控制两对模式的光强差,以避免稳频引起的零漂影响实验数据。

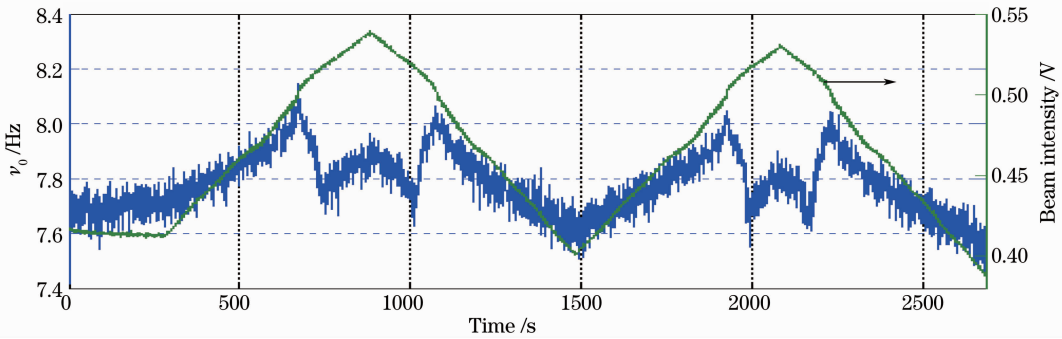


图 2 四频激光陀螺常温下零漂与光强之间的关系曲线

Fig. 2 Relation between null shift and beam intensity of four-mode laser gyro under the room temperature condition

4.2 实验分析

从四频激光陀螺光强改变实验数据曲线中可以明显看出,四频激光陀螺的零漂在光强变化时呈现振荡形式。实验说明,光强的变化会导致零漂的振荡。

5 光强稳定下的高低温实验

为验证所得结论的正确性,本文通过改变高压电源的输出电流实现了光强稳定控制电路系统,进

行了光强稳定下的高低温实验。

5.1 实验

高低温实验步骤为:工作在光强稳定控制下;温箱初始设定为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 陀螺先保温 1 h ;陀螺启动温箱继续保温 3 h ,温箱以 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并保温 4 h ;温箱以 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 降温至 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并保温 4 h ;温箱以 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并保温 4 h 。如图 3 所示(图中温度为陀螺表面的温度)。

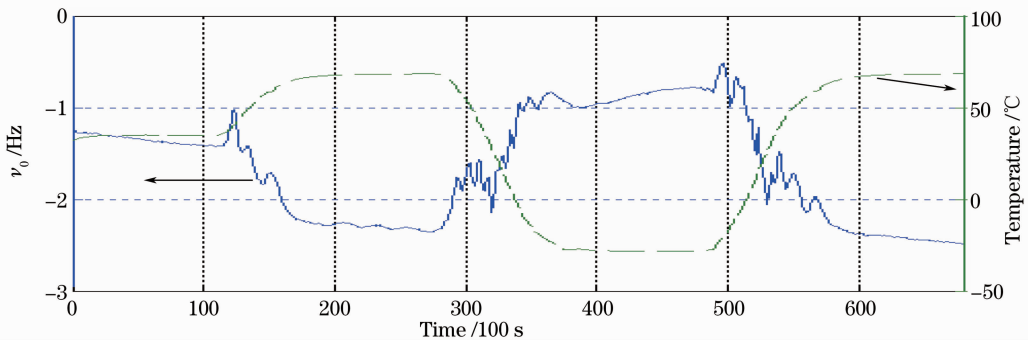


图 3 四频激光陀螺光强保持不变下,陀螺零漂与温度的关系曲线

Fig. 3 Relation between null shift and temperature of four-mode laser gyro under the beam intensity unchanged condition

5.2 实验分析

与图 2 的对比可以明显看出,光强稳定后零漂随温度的振荡得到了有效抑制。综合高低温实验、

光强改变实验以及分析,可以得出结论:1)温度单方向变化导致光强的变化,而光强的变化导致了零漂的改变;2)四频激光陀螺的光强在高低温实验中保

持不变,则零漂在温变过程中的剧烈振荡将得到有效抑制。

6 结 论

本文通过理论分析和实验验证,得出温度单方向变化导致光强的变化,而光强的变化导致了零漂的改变的结论,并指出如果四频激光陀螺的光强能够在高低温实验中保持不变,则零漂在快速温度变化过程中的剧烈振荡将得到有效的抑制。最后,通过改变高压电源的输出电流,实现了光强稳定控制系统,并进行了实际的高低温实验,证明了以上结论的正确性,同时也说明本文所采用的控制方式是抑制零漂振荡的有效途径之一。

参 考 文 献

- Gao Bolong, Li Shutang. Ring Laser Gyroscopes [M]. Changsha: National University of Defense Technology, 1984
高伯龙, 李树棠. 激光陀螺[M]. 长沙:国防科技大学, 1984
- Wang Guochen, Yang Jianqiang. Research on the correlation of the differential laser gyro's performance and the room temperature[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(4): 1058~1061
王国臣, 杨建强. 四频激光陀螺性能与室温的相关性研究[J]. *光学学报*, 2009, **29**(4): 1058~1061
- C. V. Heer. History of the laser gyro [C]. *SPIE*, 1984, **487**: 2~12
- Leonel N. Menegozzi, Willis E. Lamb Jr. Theory of a ring laser [J]. *Phys. Rev. A*, 1973, **8**(4): 2103~2125
- W. W. Chow, J. B. Hanmbenne, T. J. Hutchings *et al.*. Multioscillator laser gyros[J]. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1980, **16**(9): 918~936
- Wu Guoyong, Gu Qitai. Research on the relation of frequency sum to temperature in the four frequency RLG [J]. *Optical Technique*, 2002, **28**(6): 508~509,512
吴国勇, 顾启泰. 四频激光陀螺和频与温度关系研究[J]. *光学技术*, 2002, **28**(6): 508~509,512
- Zhao Xiaoning, Li Xianluo, Lei Baoquan. Temperature compensation for ring laser gyro [J]. *J. Chinese Inertial Technol.*, 2004, **12**(3): 55~57
赵小宁, 李县洛, 雷宝权. 激光陀螺零偏温度补偿研究[J]. *中国惯性技术学报*, 2004, **12**(3): 55~57
- F. Aronowitz. The laser gyro [C]. *Laser Application*. New York, 1971. 113~200
- Wang Guochen. Design and realization of the rate stability apparatus based on the laser gyroscopes[J]. *Chinese J. Sensors and Actuators*, 2008, **21**(9): 1524~1527
王国臣. 激光陀螺速率稳定性测试仪的设计与实现[J]. *传感技术学报*, 2008, **21**(9): 1524~1527
- Zhang Pengfei, Long Xingwu. Primary research on temperature compensation of mechanically RLG's bias [J]. *Laser Journal*, 2005, **26**(5): 83~84
张鹏飞, 龙兴武. 二频机抖激光陀螺温度漂移补偿的初步研究[J]. *激光杂志*, 2005, **26**(5): 83~84
- M. Faucheux, D. Fayoux, J. J. Roland. The ring laser gyro [J]. *J. Opt. (Paris)*, 1988, **19**(3): 101~115
- Wang Guochen, Yu Jie. Analysis of the circuit infection to laser gyro[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(11): 2873~2877
王国臣, 俞洁. 激光陀螺电路系统对其精度影响的实验分析[J]. *中国激光*, 2009, **36**(11): 2873~2877
- J. R. Wilkinson. Ring lasers[J]. *Progress in Quant. Electron.*, 1987, **11**(1): 1~103
- W. W. Chow, J. Gea-Banacloche, L. M. Pedrotti *et al.*. The ring laser gyro[J]. *Rev. Modern Phys.*, 1985, **57**(1): 61~104
- Zhan Dejun, Qin Shiqiao, Wang Xingshu *et al.*. Harmonic measurement for laser gyro lock-in [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(4): 960~964
战德军, 秦石乔, 王省书等. 激光陀螺锁区的谐波测量方法[J]. *光学学报*, 2009, **29**(4): 960~964
- Wang Zhiguo, Long Xingwu, Wang Fei. Dispersion equalization of four-frequency differential laser gyroscope with non-planar resonator[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(10): 2892~2897
汪之国, 龙兴武, 王飞. 异面腔四频差动激光陀螺的色散平衡[J]. *光学学报*, 2009, **29**(10): 2892~2897
- Yang Jianqiang, Liao Dan. Preliminary study of dithering frequency stabilization for four-frequency differential laser gyro [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(8): 2256~2260
杨建强, 廖丹. 四频差动激光陀螺小抖动稳频初步研究[J]. *光学学报*, 2009, **29**(8): 2256~2260