

文章编号: 0253-2239(2010)08-2295-04

# 四频激光陀螺不同工作模式下零漂的高低温性能分析

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** 四频激光陀螺光强稳定控制后两种不同模式下的零漂在高低温实验中表现出非常明显的差异,其中一种模式的零漂在温度单方向变化时存在一定的振荡,而另一种模式的零漂与温度基本上是线性关系,并且具有良好的重复性。针对这一现象,根据四频激光陀螺的基本理论,分析得出导致这种高低温下不同模式零漂随温度变化不同的主要物理根源可能是差损零漂项和恒磁偏频零漂项随温度变化关系的不同。同时指出四频激光陀螺如果采用温度补偿来提高其精度,则温补系数必须在实际使用的模式下确定才有意义。

**关键词** 四频激光陀螺;高低温;零漂;不同模式;振荡

**中图分类号** U661.1      **文献标识码** A      **doi**: 10.3788/AOS20103008.2295

## Analysis of Performance of Four-Mode Laser Gyro's Null Shift in Different Modes under High-Low Temperature Process

Wang Guochen

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

**Abstract** In high-low temperature experiments, the null shift of the four-mode laser gyro whose beam intensity is stably controlled in two different modes is very different. The null shift vibrates in one mode but changes linearly with temperature in the other one. Aiming at this phenomenon, through the analysis based on the basic theory, the physical reason that the differential lose null shift and the constant magnetism biasing null shift change differently with temperature in different modes is found. If using temperature compensation to improve the precision of the four-mode laser gyro, the coefficient must be gotten in the same mode which is selected by actual use.

**Key words** four-mode laser gyro; high-low temperature; null shift; different modes; vibration

### 1 引言

四频激光陀螺<sup>[1~6]</sup>光强稳定控制后高低温变化过程中的零漂振荡得到了有效的抑制,但还有一定程度的振荡,应该还有其物理根源在其中。四频激光陀螺在工作过程中存在两种稳定工作状态:一是左旋模式(LCP)在低频而右旋模式(RCP)在高频的状态;二是右旋模式(RCP)在低频而左旋模式(LCP)在高频的稳定状态。激光陀螺<sup>[3,7~15]</sup>电路通过改变扫模后所选稳频工作点的不同,使激光陀螺工作在不同模式。

不同模式的温度特性,不同模式下零漂的振荡

是否不同鲜有研究本文先从实验开始研究这个问题,然后再对其进行初步的理论分析与研究,为陀螺的进一步优化和应用提供参考。

### 2 高低温下不同模式的零漂温度曲线

四频激光陀螺的两种模式在实验中可以通过选取不同的工作点来区分,但哪个模式是左旋模式在低频哪个模式是左旋模式在高频却很难确定。因为要想确定这一点需要知道偏振片在陀螺安装中详细的记录,然而实际的情况是安装中没有这个记录。这并不影响实际的应用和实验分析,因为四频激光

收稿日期: 2009-10-15; 收到修改稿日期: 2009-12-07

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。

E-mail: wangguochen0912@yeah.net

陀螺只有这两个模式,非此即彼。实验中为方便说明问题,将陀螺初始零漂接近于零的作为1模式,另一个作为2模式。

文中所有高低温实验的条件为:工作在光强稳定控制下;温箱初始设定为25℃陀螺先保温1h;陀螺启动温箱继续保温3h,温箱以1℃/min升温至60℃并保温4h;温箱以1℃/min降温至-40℃并保温4h;温箱以1℃/min升温至60℃并保温4h。陀螺1的实验数据如图1、图2所示;陀螺2的实验数据如图3、图4所示。

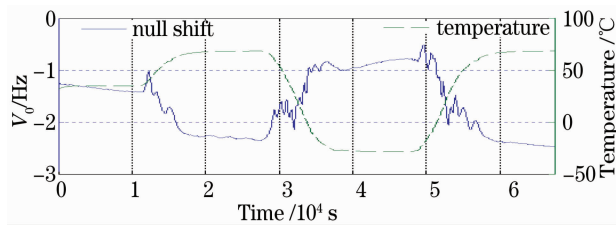


图1 高低温下,1号四频激光陀螺1模式的零漂温度关系曲线1

Fig. 1 Curves1 between null shift and temperature of No.1 four-frequency laser gyro with mode 1 under the high-low temperature condition

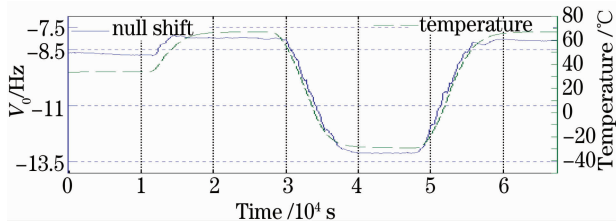


图2 高低温下,1号四频激光陀螺2模式的零漂温度关系曲线1

Fig. 2 Curves1 between null shift and temperature of No.1 four-frequency laser gyro with mode 2 under the high-low temperature condition

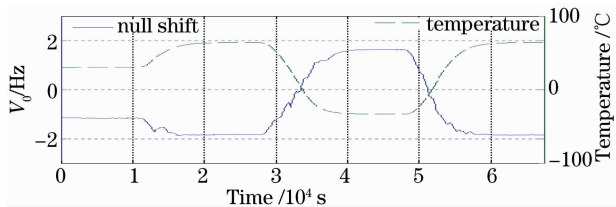


图3 高低温下,2号四频激光陀螺1模式的零漂温度关系曲线1

Fig. 3 Curves1 between null shift and temperature of No.2 four-frequency laser gyro with mode 1 under the high-low temperature condition

从实验数据可以明显看出,1)四频激光陀螺在光强稳定控制后,两种模式在高低温下的零漂与温度关系差别非常之大,零漂随温度的变化方向达到

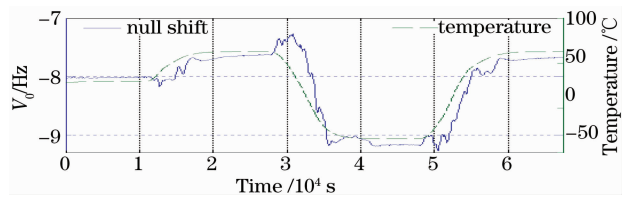


图4 高低温下,2号四频激光陀螺2模式的零漂温度关系曲线1

Fig. 4 Curves1 between null shift and temperature of No.2 four-frequency laser gyro with mode 2 under the high-low temperature condition

了相反的程度;2)一个模式零漂随温度的线性度好,而另一个模式零漂随温度的变化则有一定程度的振荡;3)零漂随温度振荡的模式高低温下零漂变化的绝对幅度要小于线性度较好的模式。假如实验能重复的话,则必定有其物理本质在其中。

### 3 高低温下的重复性实验

为验证实验结果是否具有重复性,实验条件不变,再次实验的实验数据如图5~8所示,其中图5、图6为1号陀螺;图7、图8为2号陀螺。

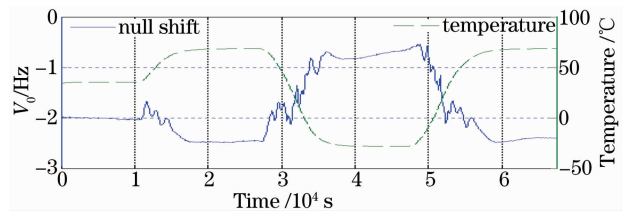


图5 高低温下,1号四频激光陀螺1模式的零漂温度关系曲线2

Fig. 5 Curves2 between null shift and temperature of No.1 four-frequency laser gyro with mode 1 under the high-low temperature condition

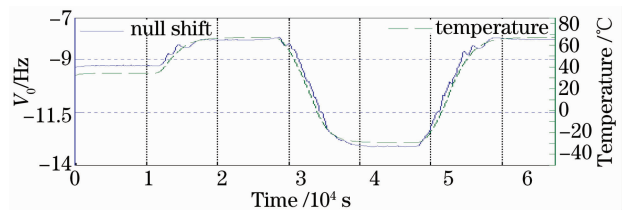


图6 高低温下,1号四频激光陀螺2模式的零漂温度关系曲线2

Fig. 6 Curves2 between null shift and temperature of No.1 four-frequency laser gyro with mode 2 under the high-low temperature condition

从实验数据可以明显看出,两个陀螺的实验结果都得到了非常好的重复。现在可以肯定在四频激光陀螺中,零漂在光强稳定的方式下随温度的这种不同模式的不同结果必有其物理本质在其中。

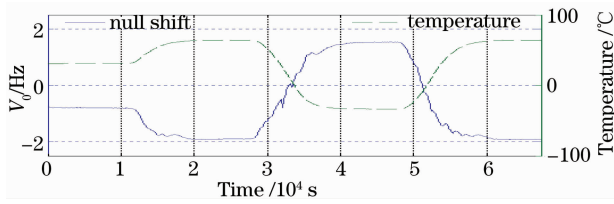


图7 高低温下,2号四频激光陀螺1模式的零漂温度关系曲线2

Fig. 7 Curves2 between null shift and temperature of No.2 four-frequency laser gyro with mode 1 under the high-low temperature condition

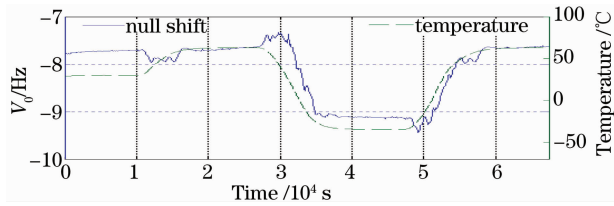


图8 高低温下,2号四频激光陀螺2模式的零漂温度关系曲线2

Fig. 8 Curves2 between null shift and temperature of No.2 four-frequency laser gyro with mode 2 under the high-low temperature condition

#### 4 不同模式温度性能差异的物理原因

根据文献[1],将输出拍频表达式中的其他项补充完整,可以从中得出导致温度性能差异的可能的物理原因。

四频激光陀螺在“左右旋单陀螺近独立”的条件下,输出拍频的基本表达式为

$$2\pi \times v_0 = \omega_0 = (\omega_2 - \omega_1) - (\omega_4 - \omega_3) = (1+S) \times (2\omega_r) + (S_{12} - S_{34}) \times \omega_H - S \times 4KV - \left[ \frac{\rho(\xi_{12}) - \tau(\xi_{12})}{\beta(\xi_{12}) - \theta(\xi_{12})} \times (\gamma_2 - \gamma_1) - \frac{\rho(\xi_{34}) - \tau(\xi_{34})}{\beta(\xi_{34}) - \theta(\xi_{34})} \times (\gamma_4 - \gamma_3) \right] \quad (1)$$

式中  $S = (S_{12} + S_{34})/2$ ,  $K = 2\pi/\lambda$ ,  $V$  为放电毛细管内朗缪尔流动的流速,同时假定差分损耗只与传播方向有关,而模1,4同向,模2,3同向,这样就有  $\gamma_4 = \gamma_1, \gamma_3 = \gamma_2$ ,上式变为

$$2\pi \times v_0 = \omega_0 = (\omega_2 - \omega_1) - (\omega_4 - \omega_3) = (1+S) \times (2\omega_r) + (S_{12} - S_{34}) \times \omega_H - S \times 4KV - \left[ \frac{\rho(\xi_{12}) - \tau(\xi_{12})}{\beta(\xi_{12}) - \theta(\xi_{12})} + \frac{\rho(\xi_{34}) - \tau(\xi_{34})}{\beta(\xi_{34}) - \theta(\xi_{34})} \right] \times (\gamma_2 - \gamma_1) \quad (2)$$

在光强稳定和电流差稳定下,比例因子修正项  $(1+S) \times (2\omega_r)$  对输出的影响已接近恒定,朗缪尔流

动效应项  $-S \times 4KV$  也很恒定,这两项在高低温下对输出的影响较小,而且在不同工作模式下,这两项是相同的,更不会造成不同模式零漂随温度变化的巨大差异。下面主要考虑剩下的两项:恒磁偏频通过反常色散效应引起的零漂项  $(S_{12} - S_{34}) \times \omega_H$  和差损零漂项

$$- \left[ \frac{\rho(\xi_{12}) - \tau(\xi_{12})}{\beta(\xi_{12}) - \theta(\xi_{12})} + \frac{\rho(\xi_{34}) - \tau(\xi_{34})}{\beta(\xi_{34}) - \theta(\xi_{34})} \right] \times (\gamma_2 - \gamma_1)。$$

忽略比例因子修正项和朗缪尔流动效应项的影响后,陀螺输出零漂表达式为

$$2\pi \times v_{\text{drift}} = \omega_{\text{drift}} = (S_{12} - S_{34}) \times \omega_H - \left[ \frac{\rho(\xi_{12}) - \tau(\xi_{12})}{\beta(\xi_{12}) - \theta(\xi_{12})} + \frac{\rho(\xi_{34}) - \tau(\xi_{34})}{\beta(\xi_{34}) - \theta(\xi_{34})} \right] \times (\gamma_2 - \gamma_1)$$

四频激光陀螺在两种不同的工作模式下,差损零漂项

$$- \left[ \frac{\rho(\xi_{12}) - \tau(\xi_{12})}{\beta(\xi_{12}) - \theta(\xi_{12})} + \frac{\rho(\xi_{34}) - \tau(\xi_{34})}{\beta(\xi_{34}) - \theta(\xi_{34})} \right] \times (\gamma_2 - \gamma_1)$$

表达式相同,而恒磁偏频通过反常色散效应引起的零漂项改变符号即  $(S_{12} - S_{34}) \times \omega_H$  变为  $-(S_{12} - S_{34}) \times \omega_H$ ,两种模式在高低温实验中,物理直观上和数学直观上必然是一个模式下差损零漂项和恒磁偏频零漂项随温度同方向变化而另一模式下两者的变化方向相反,其可能导致的结果有三种情况

1) 差损零漂项和恒磁偏频零漂项随温度同方向变化的模式高低温下零漂变化幅度大;差损零漂项和恒磁偏频零漂项随温度反方向变化的模式高低温下零漂变化幅度小;

2) 如果两个零漂项在温变过程中的变化率不是恒定的,那么反方向变化的模式就可能出现零漂振荡的情况,然而实际的物理过程中两个零漂项在温变过程中的变化率恒定几乎是不可能的;

3) 如果零漂以恒磁偏频零漂项的变化为主,则有可能零漂在两种模式下随温度的变化方向相反。

四频激光陀螺不同模式下差损零漂项和恒磁偏频零漂项随温度变化导致的这三个结果和上节的实验结论比较吻合。这对陀螺的温度补偿十分必要,因为此结论带来两个温补不可回避的问题:一是实际工作时如何根据应用场合选择工作模式;二是实际工作中如果采用温度补偿来提高性能,那么必须保证陀螺在任何环境下启动都必须工作在确定温补系数时所选用的模式,这点非常重要,否则陀螺性能将越补偿越差。另外,两个模式的磁敏感性也不同,这样在实际的应用中必须综合考虑磁性能、温度性能等因素然后再做出选择。

## 5 结 论

对四频激光陀螺光强稳定控制后两种不同模式在高低温实验中表现出的明显的差异这一实验现象,根据四频激光陀螺的基本理论,分析得出导致这种高低温下不同种模式零漂随温度变化不同的主要物理根源,可能是两种模式的差损零漂项和恒磁偏频零漂项随温度改变的不同;因此采用温度补偿来提高四频激光陀螺的精度,温补系数必须在实际使用的模式下确定。

## 参 考 文 献

- Gao Bolong. Ring Laser[M]. Changsha: National University of Defense Technology. 1976  
高伯龙著. 环形激光讲义[M]. 长沙: 国防科技大学. 1976
- 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
- Wang Guochen, Hu Shaomin, Luo Hui *et al.*. The novel ring laser gyroscope[J]. *Opto-Electronic Engineering*. 2006, **33**(10): 101~104  
王国臣, 胡绍民, 罗 晖 等. 一种新型激光陀螺的检测方法[J]. *光电工程*, 2006, **33**(10): 101~104
- Jin Shilong, Long Xingwu, Li Xiaohong *et al.*. Research on new type control mirror of light path and optical path length for ring laser gyroscope[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(4): 562~566  
金世龙, 龙兴武, 李晓红 等. 激光陀螺新型光路程长控制镜的研制[J]. *光学学报*, 2006, **26**(4): 562~566
- Gao Yukai, Lin Yurong, Deng Zhenglou. A method for improving the performance of ring laser gyro by injecting the multi-cycles step noise with white noise[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(4): 481~484  
高玉凯, 林玉荣, 邓正隆. 改善激光陀螺输出特性的随机噪声注入方法[J]. *中国激光*, 2007, **34**(3): 481~484
- 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  
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
- Zhao Xiaoning, Li Xianluo, Lei Baoquan. Temperature compensation for ring laser gyro[J]. *Journal of Chinese Inertial Technology*. 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
- Xu Guangming, Zhang Bin, Jiang Anguo *et al.*. Laser frequency stabilization for differential ring lasers [J]. *Journal of Optoelectronics. Laser*, 2000, **11**(1): 49~53  
许光明, 张 斌, 蒋安国. 四频差动激光陀螺中的激光稳频[J]. *光电子激光*, 2000, **11**(1): 49~53
- Wang Guochen. Design of the rate stability apparatus for swivel dais based on four-mode laser gyroscopes[J]. *Chinese Journal of 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
- Yuan Jie, Huang Yun, Han Shengjie *et al.*. The null shift of the differential laser gyro caused by the asymmetry of the left and right gyro's SFC[J]. *Laser Journal*. 2002, **23**(3): 22~24  
袁 杰, 黄 云, 韩生节 等. 四频差激光陀螺由于稳频精度局限等引入的零漂[J]. *激光杂志*, 2002, **23**(3): 22~24
- 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
- Wang Zhiguo, Long Xingwu, Wang Fei *et al.*. Choice of operating point for the four-mode differential laser gyros[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(2): 301~304  
汪之国, 龙兴武, 王 飞 等. 四频差动激光陀螺工作点的选择[J]. *光学学报*, 2008, **28**(2): 301~304
- Wang Xingshu, Huang Zongsheng, Zhou Pu *et al.*. Comparative study on digital filtering on the random drift of laser gyro[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(11): 1547~1551  
王省书, 黄宗升, 周 朴 等. 激光陀螺随机漂移的数字滤波方法比较[J]. *中国激光*, 2006, **33**(11): 1547~1551
- Jin Shilong, Long Xingwu, Wang Fei *et al.*. Technology research for ring laser gyro to overcome the environmental temperature variation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(3): 409~414  
金世龙, 龙兴武, 王 飞 等. 激光陀螺克服高、低温冲击的技术研究[J]. *光学学报*, 2006, **26**(3): 409~414