

一种棱镜式激光陀螺跳模特性研究

陶渊博¹, 李四海¹, 鲁政²

(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710129; 2.西安北方捷瑞光电科技有限公司, 陕西 西安 710111)

摘要:针对棱镜式激光陀螺跳模过程性能较差的现象,系统研究了棱镜式激光陀螺的跳模特性。建立了稳频执行机构的数学模型,理论分析了整个跳模过程,给出了跳模电压增量与温度及跳模起始电压的函数关系,消除了跳模过程脉冲数波动大的现象。进一步研究了棱镜式激光陀螺的开闭环扫模特性,实验结果表明,合光限模较浅会引起双纵模竞争从而导致陀螺跳模跳数。在不改变谐振腔合光限模参数的前提下,调整光强参考电压或反馈回路前置放大增益的方法可以使开闭环扫模特性合适,避免陀螺跳模跳数。此分析结果可以改善陀螺精度,减少谐振腔返修率,提高陀螺生产效率。

关键词:激光光学;棱镜式激光陀螺;跳模;扫模

中图分类号: TN248

文献标志码: A

文章编号: 1000-2758(2019)01-0122-07

棱镜式激光陀螺是一种以全反射棱镜式环形激光器为核心器件的高精度角速率传感器,完全免镀膜,具有锁区小、可靠性高、寿命长等优点,在航空航天领域具有广泛的应用^[1-3]。与反射镜式激光陀螺相比^[4-7],跳模频繁是棱镜式激光陀螺的特性,跳模过程中容易出现脉冲数波动或跳数等问题,影响陀螺性能^[8-9]。因此跳模特性研究是棱镜式激光陀螺的重要课题之一。许光明等研究了反射镜式激光陀螺的跳模规律,提出了合理的跳模控制建议^[4]。而棱镜式激光陀螺与反射镜式激光陀螺的跳模特性不同,马家君从理论上给出了棱镜式激光陀螺最佳跳模门限的计算公式,开启了跳模特性的研究^[10-12]。

在棱镜式激光陀螺调试测试中,发现跳模过程陀螺性能较差,主要表现为脉冲数波动大和跳模跳数2大类。跳模过程脉冲数波动大主要是因为跳模未跳到位造成过渡过程时间长,引起脉冲数波动。针对这一问题,理论分析了跳模过程,给出了跳模电压增量与温度及跳模起始电压的函数关系,实现了精准跳模。针对跳模跳数的问题,对棱镜式激光陀螺进行了开闭环扫模研究,找到了引起跳模跳数的根本原因,在不改变谐振腔合光限模参数的前提下,提出了一种有效的工程化解决方法,减少了谐振腔返修率,提高了陀螺生产效率。

1 棱镜式激光陀螺的跳模特性

棱镜式激光陀螺与反射镜式激光陀螺不同,用全反射棱镜取代传统镀膜反射镜,棱镜的全反射效应大大提高了激光器的品质因数,同时降低了陀螺的闭锁阈值。工作气体采用低压 150 MHz 高频激励,不用内电极,有利于提高激光器寿命。稳频回路采用加热器作为执行机构,通过调节稳频通道气体折射率进行稳频,光强回路主要控制 sin/cos 信号幅值的稳定。棱镜式激光陀螺稳频稳光强控制系统如图 1 所示。

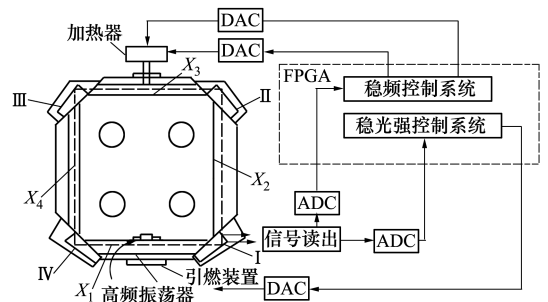


图 1 棱镜式激光陀螺稳频稳光强控制系统示意图

收稿日期:2018-03-03

作者简介:陶渊博(1990—),西北工业大学博士研究生,主要从事激光陀螺研究。

X_1 通道充有按一定比例混合的 He-Ne 气体,工作波长为 $0.6328 \mu\text{m}$,在引燃变压器和高频振荡器的作用下产生激光。 X_2 和 X_4 是真空通道, X_3 通道中充有干燥的空气,通过相连的加热器改变空气的折射率,实现谐振腔谐振频率的稳定。I, II, III, IV 为棱镜,由保护罩将其密封,以保持表面清洁。光线在棱镜大斜面处发生全反射,从而保证了光束损耗最小。

棱镜式激光陀螺的全反射棱镜为熔融石英玻璃,其折射率和温度的关系为

$$n_{\text{prism}} = n_0 + K(\lambda)T \quad (1)$$

式中, n_{prism} 为棱镜的折射率; n_0 是与熔融石英玻璃有关的常量,为 1.454 37; T 是绝对温度,单位为 K; $K(\lambda)$ 是系数,单位为 $^\circ\text{C}^{-1}$,对于波长为 $0.6328 \mu\text{m}$ 的激光,熔融石英的 $K(\lambda)$ 为 $1.01 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 。光在棱镜里面的几何程长 $L_{\text{prism}} = 11.8 \text{ mm}$,在 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 到 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 的温度范围内估算的跳模次数 $N = \Delta L/\lambda = 4L_{\text{prism}}K(\lambda)\Delta T/\lambda = 83$,跳模频繁,影响陀螺精度。

依据光强调谐曲线的特性,由 FPGA 产生频率为 266.67 Hz 的小抖动正弦调制信号,经 DAC 作用于加热器内部的压电陶瓷膜片上,使激光振荡频率左右微小变化,从而频率参量 ξ 左右微小变化,最终引起光强发生变化,根据光强变化率的正负可以知道 ξ 的具体位置,最终目的是控制 $\xi = 0.44$,从而光强达到最大,光强变化率为 0。合光输出的拍频信号经光电探测及放大后,直流光强通过 ADC 后进入稳光强系统,与参考值比较后经积分控制器产生高频振荡器的控制电压,交流光强通过 ADC 后进入稳频系统,先相敏解调后经比例积分控制器产生加热器电压,经 DAC 作用于加热器内部加热丝两端,调整 X_3 通道的空气折射率,从而改变光程长,达到稳频的目的。由于加热器电压的实际范围为 24 V,当温度升高、加热器电压减小到下门限时,就会向上复位,从一个纵模跳变到下一个相邻纵模。当温度降低、加热器电压增大到上门限时,就会向下复位,从一个纵模跳到上一个相邻纵模。常温下棱镜式激光陀螺的工作曲线如图 2 所示。可以看出温度上升 $2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 后达到平衡,此时的高频振荡器电压及加热器电压同时达到稳态。温度上升引起纵模频率漂移,从而加热器电压减小,维持纵模频率不变,减小到下门限时向上复位,跳到下一个相邻纵模。由于加热器电压越大,谐振腔损耗越大,为了维持 \sin/\cos 信号幅值不变,所需的高频振荡器电压就越大,故高频振

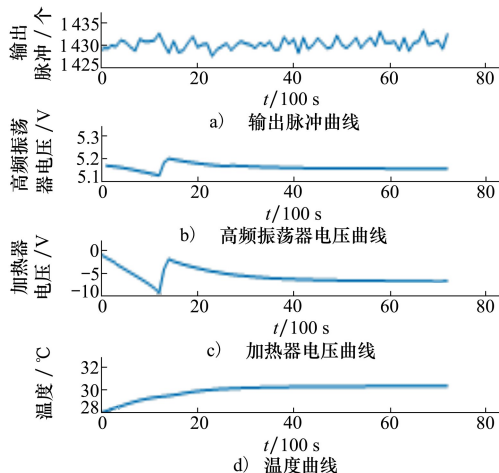


图 2 棱镜式激光陀螺工作曲线

荡器电压呈现出和加热器电压一样的趋势。

2 跳模过程理论分析

棱镜式激光陀螺采用加热器作为稳频控制系统的执行机构,在加热器内部的压电陶瓷膜片上加小抖动正弦调制信号,对激光振荡频率产生小抖动调制,从光强信号中解调出小抖动所引起的光强幅度和相位的变化,从而对加热器内部加热丝两端的电压进行控制。加热器结构图如图 3 所示。

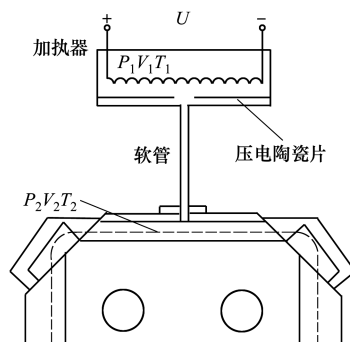


图 3 加热器结构图

为了得到稳频通道光程长变化量与加热器电压变化量之间的传递函数,设加热丝质量为 M ,比热容为 C ,传热系数为 H ,传热面积为 A ,加热器内部气体温度为 T ,加热丝两端的电压为 U ,加热丝电阻为 R ,单位时间内加热丝产生的热量为 Q ,则根据热力学定律有

$$CM \frac{d(\Delta T)}{dt} + HA\Delta T = \Delta Q \quad (2)$$

由于 $Q = U^2/R$, Q 与 U 呈非线性关系, 可在平衡点 (Q_0, U_0) 附近进行线性化, 即 $\Delta Q = 2U\Delta U/R$, 故

$$\frac{CM}{HA} \frac{d(\Delta T)}{dt} + \Delta T = \frac{2U}{RHA} \Delta U \quad (3)$$

令 $T_h = CM/(HA)$, 为加热器时间常数, 则

$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta U(s)} = \frac{K_1 U}{T_h s + 1} \quad (4)$$

式中, $K_1 = \frac{2}{RHA}$ 。

设加热器内部压强为 P_1 , 气体体积为 V_1 , 分子数为 N_1 , 温度为 T_1 。稳频通道内部压强为 P_2 , 气体体积为 V_2 , 分子数为 N_2 , 温度为 T_2 。根据克拉伯龙方程得 $P_1 V_1 = N_1 R T_1 / N_A$, $P_2 V_2 = N_2 R T_2 / N_A$, 其中, N_A 为阿伏加德罗常数, R 为摩尔气体常量, 式中 $P = P_1 = P_2$, 则 $V_1/V_2 = N_1 T / (N_2 T_2)$, 加热器温度变化量与稳频通道气体分子数密度变化量关系为

$$\Delta n_2 = \frac{\Delta N_2}{V_2} = \frac{N_1}{V_1 T_2} \Delta T_1 \quad (5)$$

又空气折射率与稳频通道分子数密度的关系为 $n_a = 1 + (\alpha n_2)/(2\epsilon_0)$, 两边同时微分可以得到 $\Delta n_a = (\alpha \Delta n_2)/(2\epsilon_0)$, 结合 (5) 式可以得到 $\Delta n_a = \alpha/2\epsilon_0 N_1/V_1 T_2 \Delta T_1$, 又稳频通道光程长的变化量为 $\Delta L = \Delta n_a L_2$, 其中 L_2 为稳频通道的几何长度, 故可得

$$\frac{\Delta \langle L \rangle (s)}{\Delta T_1 (s)} = K_2 \quad (6)$$

式中, $K_2 = \frac{\alpha L_2}{2\epsilon_0} \frac{N_1}{V_1 T_2}$ 。故稳频通道光程长与加热器电压之间的传递函数为

$$\frac{\langle L \rangle (s)}{U(s)} = \frac{KU}{T_h s + 1} \quad (7)$$

式中, $K = K_1 K_2 = \frac{\alpha L_2 N_1}{RHA\epsilon_0 V_1 T_2}$ 。将 (7) 式写成一阶线

性非齐次微分方程的形式

$$\frac{d\langle L \rangle (t)}{dt} + \frac{1}{T_h} \langle L \rangle (t) = \frac{KU^2}{T_h} \quad (8)$$

式中, $U = U_0 + \Delta U$, U_0 为跳模起始电压, ΔU 为跳模电压增量。在初始条件 $\langle L \rangle (0) = KU_0^2$ 下

$$\langle L \rangle (t) = K \left\{ \begin{array}{l} - [2U_0 \Delta U + (\Delta U)^2] e^{-\frac{t}{T_h}} \\ + (U_0 + \Delta U)^2 \end{array} \right\} \quad (9)$$

跳模过程要求激光振荡模式精确地从一个纵模跳到相邻纵模, 最佳跳模时间为 $5T_h$, 即

$$\langle L \rangle (5T_h) - \langle L \rangle (0) \approx$$

$$K[2U_0 \Delta U + (\Delta U)^2] = 0.993\lambda \quad (10)$$

因此跳模电压增量的理论计算公式为

$$\Delta U = -U_0 + \sqrt{U_0^2 \pm \frac{0.993\lambda}{K}} = -U_0 + \sqrt{U_0^2 \pm \frac{0.993\lambda RHA\epsilon_0 V_1 T_2}{\alpha L_2 N_1}} \quad (11)$$

式中, “+” 代表加热器电压向上复位, “-” 代表加热器电压向下复位。从 (11) 式可以看出, 跳模电压增量与环境温度及 U_0 有关, 随着温度的升高而增加, 随着 U_0 的升高而减小。

设置常用的几种跳模起始电压, 在 $-40 \sim 70$ °C 升温 and 降温过程中将跳模电压增量调试到位, 统计数据如表 1 所示。其中, 跳模起始电压为 1, 2, 3 V 时, 代表升温过程数据, 跳模起始电压为 16, 17, 18 V 时, 代表降温过程数据。根据表 1 中的数据, 通过非线性拟合, 可以得到跳模电压增量与温度及 U_0 的函数关系为

$$\Delta U = f(U_0, T_2) = -U_0 + \sqrt{U_0^2 \pm 0.521T_2} \quad (12)$$

式中, U_0 为相对于 -12 V 参考电压的增量, T_2 用绝对温度表示。

表 1 跳模电压增量与跳模起始电压及温度的数据统计

U_0/V	不同绝对温度下的跳模电压增量/V											
	233 K	243 K	253 K	263 K	273 K	283 K	293 K	303 K	313 K	323 K	333 K	343 K
1	10.07	10.29	10.53	10.74	10.98	11.17	11.41	11.59	11.82	12.00	12.22	12.40
2	9.21	9.42	9.66	9.87	10.10	10.30	10.53	10.71	10.94	11.12	11.33	11.51
3	8.43	8.64	8.88	9.07	9.31	9.50	9.72	9.91	10.13	10.30	10.52	10.69
16	-4.41	-4.62	-4.86	-5.08	-5.34	-5.57	-5.84	-6.09	-6.37	-6.63	-6.93	-7.20
17	-4.06	-4.25	-4.47	-4.66	-4.89	-5.09	-5.33	-5.54	-5.79	-5.99	-6.26	-6.49
18	-3.78	-3.94	-4.15	-4.32	-4.53	-4.70	-4.92	-5.10	-5.32	-5.51	-5.74	-5.94

为了进一步验证(12)式函数关系的正确性,升温过程中设置 $U_0 = 2\text{ V}$,降温过程中设置 $U_0 = 17\text{ V}$,温变速率为 $1\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$,根据(12)式实时调整 ΔU 。测试结果如图 4 所示。可以看出整个连续跳模过程中脉冲数都很平稳,主要是由于 ΔU 合适,跳模的过渡过程平稳且快速性好,从而消除了脉冲数异常波动。

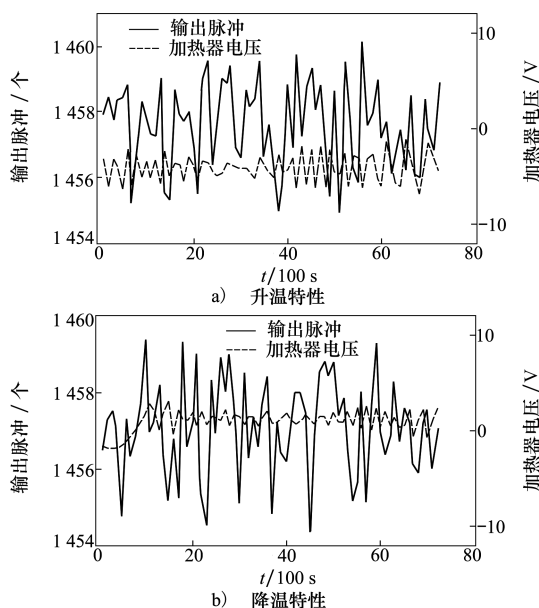


图 4 陀螺输出脉冲数及加热器电压

3 跳模跳数分析及讨论

棱镜式激光陀螺工作过程中跳模较频繁,在 2 个纵模之间跳变时容易出现双纵模竞争现象,从而引起跳模跳数,影响陀螺精度。因此有必要对其进行扫模研究,分别对跳模跳数的陀螺和正常的陀螺进行开闭环扫模。

3.1 开环扫模

将稳光强回路中高频振荡器的电压开环,开环值设置为闭环稳定工作时的电压。稳频回路中的加热器电压从 -12 V 以一定斜率变化到 12 V ,周期为 128 s ,使光学程长不断增加。记录光强曲线,分别如图 5、图 6 所示。

从图中可以看出, A_1 点代表当前纵模的最佳工作点,即光强增益曲线中心处,数值上等于稳光强回路闭环工作时的光强参考电压。 A_2 点代表当前纵模向下一个纵模跳变时的最小光强电压,能够体现棱镜式激光陀螺合光限模的深浅程度, A_2 点高说明合光限模较浅, A_2 点低说明合光限模较深。 A_3 点代

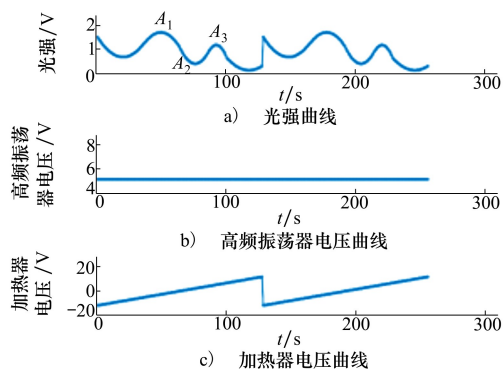


图 5 跳数陀螺开环扫模曲线

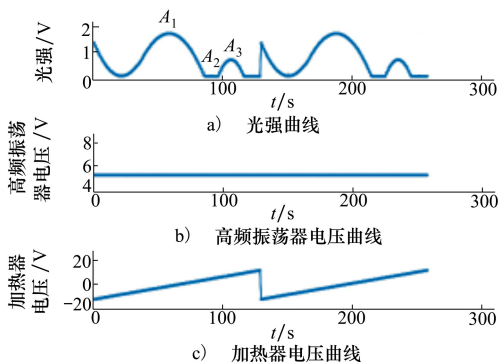


图 6 正常陀螺开环扫模曲线

表下一个纵模的最佳工作点,由于 A_3 点对应的加热器电压高于 A_1 点对应的加热器电压,故 A_3 点所对应谐振腔的损耗大,相同高频振荡器电压的情况下 A_3 点的光强小。

对比图 5 和图 6 可以发现,跳数陀螺的 A_2 点较高,即合光限模较浅,在跳模过程中会出现双纵模竞争现象,引起跳数。正常陀螺的 A_2 点为 0,即合光限模较深,在跳模过程中不会出现双纵模竞争的现象,不会引起跳数。由于理论上难以给出跳模不跳数时 A_2 点的范围,因此以西安北方捷瑞光电科技有限公司生产的 10 个 70 型棱镜式激光陀螺作为实验对象,分别在 $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 下进行开环扫模,获取 A_2 点电压。并对已有陀螺测试数据进行汇总,如表 2 所示。可以看出,当 $0 \leq A_2 < 0.2$ 时,陀螺跳模不跳数。

表2 陀螺定温跳模跳数与 A_2 点电压的关系

陀螺编号	A_2 点电压/V			是否跳模跳数		
	-40 °C	25 °C	70 °C	-40 °C	25 °C	70 °C
G1	0	0	0.03	N	N	N
G2	0.08	0.05	0.07	N	N	N
G3	0.15	0.10	0.18	N	N	N
G4	0.16	0.12	0.17	N	N	N
G5	0.19	0.15	0.21	N	N	Y
G6	0.23	0.18	0.22	Y	N	Y
G7	0.23	0.19	0.25	Y	N	Y
G8	0.25	0.22	0.28	Y	Y	Y
G9	0.26	0.24	0.31	Y	Y	Y
G10	0.28	0.26	0.31	Y	Y	Y

3.2 闭环扫模

稳光强回路闭环工作,稳频回路中的加热器电压从-12 V以一定斜率变化到12 V,周期为128 s,使光光学程长不断增加。记录陀螺高频振荡器电压曲线,分别如图7、图8所示。

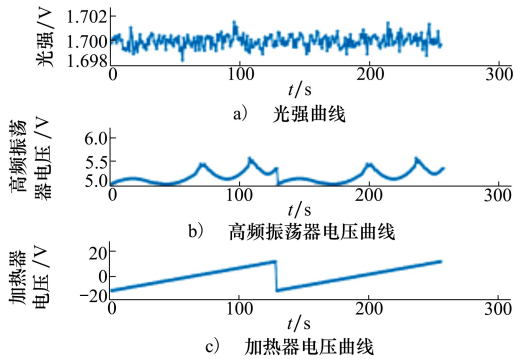


图7 跳数陀螺闭环扫模曲线

从图中可以看出,随着加热器电压的增加,谐振腔损耗增大,在光强保持不变的前提下,下一个相邻

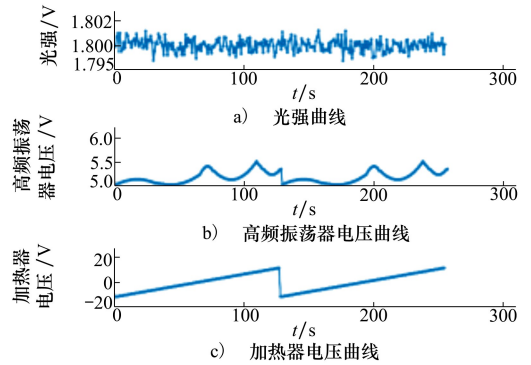


图8 正常陀螺闭环扫模曲线

纵模上的工作电压整体升高。

对比图7和图8可以发现,跳数陀螺在跳模过程中高频振荡电压出现双峰现象,正常陀螺在跳模过程中高频振荡器电压无毛刺,这与合光限模深浅相对应。当合光限模较浅时,跳模过程会出现双纵模竞争现象,从而光强变化复杂,为了稳定光强,那么高频振荡器电压会按一定控制率进行调整,最终呈现出双峰现象。当合光限模较深时,跳模过程不会出现双纵模竞争现象,高频振荡器电压无毛刺。

3.3 跳模跳数解决方法

棱镜式激光陀螺合光限模的深浅可以用 A_2 点表示,随着 A_2 点电压的升高,陀螺限模逐渐变浅,会发生不同程度的跳模跳数。因此对表2中10个陀螺的变温测试数据进行统计分析,其中变温速率为 $1\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$,测试时间为2 h。跳模跳数的次数与 A_2 点电压的关系如表3所示。可以看出,当3个固定温度段均 $A_2 < 0.2$ 时,陀螺变温不发生跳模跳数。当3个固定温度段均 $A_2 > 0.2$ 时,陀螺变温均发生跳模跳数。随着 A_2 点电压的升高,即限模逐渐变浅,陀螺变温跳模跳数次数逐渐增加。

表3 陀螺变温跳模跳数与 A_2 点电压的关系

陀螺编号	A_2 点电压/V			跳模跳数的次数			
	-40 °C	25 °C	70 °C	(25~-40) °C	(-40~25) °C	(25~70) °C	(70~25) °C
G1	0	0	0.03	0	0	0	0
G2	0.08	0.05	0.07	0	0	0	0
G3	0.15	0.10	0.18	0	0	0	0
G4	0.16	0.12	0.17	0	0	0	0
G5	0.19	0.15	0.21	0	0	4	1
G6	0.23	0.18	0.22	6	10	8	5
G7	0.23	0.19	0.25	10	20	12	9
G8	0.25	0.22	0.28	15	24	16	14
G9	0.26	0.24	0.31	18	27	22	17
G10	0.28	0.26	0.31	20	30	25	19

棱镜式激光陀螺合光限模较浅是影响跳模跳数的根本原因。因此要解决跳模跳数问题,必须从合光限模深浅出发。棱镜式激光陀螺稳光强回路结构如图 9 所示。

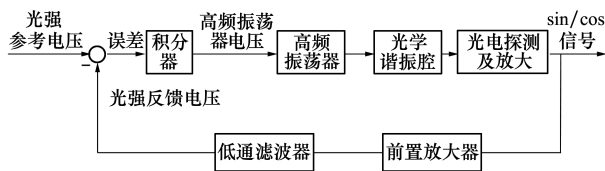


图 9 棱镜式激光陀螺稳光强回路结构图

稳光强回路通过闭环控制系统实现输出光强的稳定,控制器采用积分控制器,输出的高频振荡器电压驱动高频振荡器产生持续高频激励作用于谐振腔,合光棱镜输出的拍频信号经光电探测及放大后输出,并经前置放大及低通滤波后用作光强反馈。

从开闭环扫模特性及稳光强控制原理知,在光学谐振腔合光限模参数不变的前提下,高频振荡器电压越高,开环扫模的 A_2 点越高,高频振荡器电压越低,开环扫模的 A_2 点越低。因此可以通过改变棱镜式激光陀螺闭环工作的高频振荡器电压来调整 A_2 点的高低。依据控制理论及稳光强回路特性,可知增大光强参考电压或减小反馈回路的前置放大增

益可以提高高频振荡器电压,从而提高 A_2 点,减小光强参考电压或增大反馈回路的前置放大增益可以降低高频振荡器电压,从而降低 A_2 点。 A_2 点的大小与限模参数、光强参考电压及前置放大电阻有关。而陀螺调试中的 A_2 点测试均是在默认参数(光强参考电压 2 V、前置放大电阻 36 K)下所得。对于不同限模参数的陀螺而言,在默认参数下 A_2 点大小不一。因此,在不需要返修谐振腔限模参数的前提下,我们可以通过改变光强参考电压(1.5~2.5 V)或反馈回路的前置放大电阻(17~40 K)从而保证 $0 \leq A_2 < 0.2$,解决跳模跳数问题。

4 结 论

棱镜式激光陀螺由全反射棱镜构成闭合回路,具有跳模频繁的特点。理论分析了跳模过程,给出了跳模电压增量与环境温度及跳模起始电压的函数关系,解决了在跳模过程中由于跳模未跳到位造成的脉冲数波动大的问题。通过开闭环扫模特性分析,找到了引起棱镜式激光陀螺跳模跳数的根本原因是合光限模太浅造成的双纵模竞争。在不改变光学限模参数的前提下,提出了一种工程化的解决方法,可以保证开环扫模中 $0 \leq A_2 < 0.2$,从而解决跳模跳数问题,减少了谐振腔返修率,提高了生产效率。

参考文献:

- [1] BAKIN Y V, ZIOUZEV G N, LIUDOMIRSKI M B. Laser Gyros with Total Reflection Prisms[M]. Moscow, Russia; Moscow Bauman State Technical University Press, 2003: 1-34
- [2] 姚呈康,曾晓东,曹长庆. 机械抖动棱镜式激光陀螺出射光强度特性[J]. 物理学报,2012,61(9):094216-1-094216-8
YAO Chengkang, ZENG Xiaodong, CAO Changqing. Intensity Properties of Output Light in Prism Laser Gyro with Mechanical Dither Bias[J]. Acta Phys Sin,2012,61(9): 094216-1-094216-8 (in Chinese)
- [3] 刘健宁,蒋军彪,石顺祥,等. 全反射棱镜式激光器合光输出及陀螺精度特性分析[J]. 中国激光,2013,40(1):0102002-1-0102002-6
LIU Jianning, JIANG Junbiao, SHI Shunxiang, et al. Analysis of Total Reflection Prism Ring Laser's Output Characteristics and Gyroscope's Accuracy[J]. Chinese J Lasers,2013, 40(1):0102002-1-0102002-6 (in Chinese)
- [4] 许光明,王飞,谢元平. 激光陀螺跳模规律研究[J]. 红外与激光工程,2014,43(2): 502-505
XU Guangming, WANG Fei, XIE Yuanping. Study on Mode Hopping in Ring Laser Gyro[J]. Infrared and Laser Engineering, 2014,43(2): 502-505 (in Chinese)
- [5] CHOW W W. The Ring Laser Gyro[J]. Rev Mod Phys, 1985, 57(1): 61-104
- [6] LEONEL N M, WILLIS E L. Theory of a Ring Laser[J]. Phys Rev, 1973,8(4): 2103-2125
- [7] 姜亚南. 环形激光陀螺[M]. 北京:清华大学出版社,1985: 214-216
JIANG Yanan. Ring Laser Gyro[M]. Beijing, Tsinghua University Press, 1985: 214-216 (in Chinese)
- [8] 赵东洋,石顺祥,李家立. 全反射棱镜式环形激光器的温度效应[J]. 光子学报,2006,35(11): 1627-1631

- ZHAO Dongyang, SHI Shunxiang, LI Jiali. Temperature Effect of Ring Laser with Total Reflection Prisms[J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(11): 1627-1631 (in Chinese)
- [9] 贾惠霞,张英敏,张琼,等. 一种棱镜式激光陀螺光强控制系统研究[J]. 光学学报,2014,34(8):0814001-1-0814001-6
JIA Huixia, ZHANG Yingmin, ZHANG Qiong, et al. Study on a Light-Intensity Control System of Total Reflection Prism Laser Gyros[J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(8): 0814001-1-0814001-6 (in Chinese)
- [10] 马家君,蒋军彪. 全反射棱镜式激光陀螺稳频特性研究[J]. 中国激光,2015,42(1): 0102002-1-0102002-8
MA Jiajun, JIANG Junbiao. Research on the Frequency Stabilization Properties of Total Reflection Prism Laser Gyros[J]. Chinese J Lasers, 2015, 42(1): 0102002-1-0102002-8 (in Chinese)
- [11] 马家君,蒋军彪,刘健宁. 全反射棱镜式激光陀螺双纵模稳频技术[J]. 中国激光,2014, 41(9): 0902011-1-0902011-6
MA Jiajun, JIANG Junbiao, LIU Jianning. Frequency Stabilization Technique of Total Reflection Prism Laser Gyros with Double Longitudinal Modes[J]. Chinese J Lasers,2014,41(9): 0902011-1-0902011-6 (in Chinese)
- [12] 马家君,蒋军彪,刘健宁. 全反射棱镜式激光陀螺自适应稳频技术[J]. 光学学报,2015,35(3):0314002-1-0314002-7
MA Jiajun, JIANG Junbiao, LIU Jianning. Adaptive Frequency Stabilization Technique for Total Reflection Prism Laser Gyros [J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(3): 0314002-1-0314002-7 (in Chinese)

Exploring Mode Hopping Performance of a Prism Laser Gyro

TAO Yuanbo¹, LI Sihai¹, LU Zheng²

(1.School of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China;
2.Xi'an North Jierui Opto-Electronics Technology Ltd., Xi'an 710111, China)

Abstract: In view of the poor mode hopping performance of prism laser gyros, the mode hopping performance of a prism laser gyro is systematically studied. A mathematical model of frequency stabilization actuating mechanism is established, and the mode hopping is analyzed theoretically. The functional relation between the incremental voltage of the mode hopping and its temperature and starting voltage is given, and the phenomenon that the gyro's pulses fluctuate greatly in the process of mode hopping is eliminated. The open closed-loop scanning mode of the prism laser gyro is further studied. The experimental results show that the shallow light limiting mode causes the competition between two longitudinal modes, resulting in the gyro's pulse hopping. Without changing the optical limiting parameters of the resonator, adjusting the light intensity reference voltage or feedback loop pre-amplification gain can make the open closed-loop scanning mode performance appropriate and avoid the gyro's pulse hopping. The analysis result improves the precision of the gyro, reduces the rework rate of the resonator and improves the production efficiency of the gyro.

Keywords: laser optics; prism laser gyro; mode hopping; scanning mode