

基于 ANSYS Workbench 的高精度光纤陀螺结构优化设计

胡兴,张耀麒,夏真珍,梅松

(中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060)

摘要:温度性能是影响光纤陀螺性能的主要因素,该文针对光纤陀螺的不同应用环境,对光纤陀螺的结构进行优化设计,通过材料热导率的设计,控制光纤环内的温度变化,从而提高光纤陀螺的温度稳定性;通过 ANSYS Workbench 的有限元分析法,对陀螺骨架的温度进行模拟仿真,既能对结构设计进行理论指导,又能验证结构设计的效果;最终对组装的高精度光纤陀螺样机进行测试,在未进行任何温度补偿的条件下,零偏稳定性达到了 $0.001 (^{\circ})/h$ 量级。

关键词:光纤陀螺;光纤环;有限元分析法;零偏稳定性

中图分类号: V241.5; TP391.7

文献标识码: A

DOI: 10.11977/j.issn.1004-2474.2018.01.018

Structural Optimization Design of High Precision Fiber Optic Gyroscope Based on ANSYS Workbench

HU Xing, ZHANG Yaoqi, XIA Zhenzheng, MEI Song

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: The temperature performance is the main factor affecting the performance of fiber optic gyroscope. The structure of fiber optic gyroscope is optimized according to the different application environments. Through the design of thermal conductivity of materials, the temperature changes in the fiber ring are controlled, so as to improve the temperature stability of the fiber optic gyroscope. By using the finite element analysis method of ANSYS Workbench, the temperature simulation of the skeleton of the gyroscope is carried out, which can not only guide the structure design but also verify the effect of the structure design. Finally, the assembled high-precision fiber optic gyro prototype was tested and the zero bias stability reached $0.001 (^{\circ})/h$ without any temperature compensation.

Key words: fiber optic gyroscope; fiber ring; finite element analysis; zero bias stability

0 引言

温度是影响光纤陀螺性能的主要因素^[1]。对于实用化的光纤陀螺,一般要求其具有较宽的工作温度范围。而构成光纤陀螺的核心部件对温度都较敏感,尤其是对高精度光纤陀螺而言,陀螺的性能参数随环境温度有很大变化,即与时间有关的环境温度的变化会给光纤陀螺带来漂移并限制其应用^[2]。

由于温度性能的制约,目前国内光纤陀螺在精密级^[3] ($0.001 (^{\circ})/h$ 量级)的研制上,大多处于工程样机的状态,难以工程化。

从工程应用考虑,对于外界温度变化较大的环境,陀螺内部的温度无法达到一个稳定的状态,则需要减缓陀螺内部尤其是光纤环内部的温度变化率,

使陀螺内部的温度梯度尽可能地变小,从而将陀螺的零偏漂移控制在正常使用范围内;对于绝热条件好、外界温度相对恒定的环境,则应要求尽可能缩短陀螺启动后达到热平衡的过程^[4],使其迅速进入预定的工作状态。对于这两种不同的情况,光纤陀螺的结构尤其是传感单元即光纤环附近的材料选用应采用不同的设计方案。

1 高精度光纤陀螺结构设计

基于上述两种不同的工作环境,对高精度光纤陀螺进行结构设计,设计的理念主要针对光纤环附近散热材料进行优化选择:对于变温环境,采用低热导率材料对光纤环进行隔热,降低温度梯度,减小零偏漂移;对于恒温环境,采用高热导率材料,使光纤

环快速达到热平衡,使陀螺尽快稳定工作。

为达到隔热效果,结构设计中将光纤环骨架与陀螺骨架完全独立,仅通过螺钉进行连接,螺钉的热导率直接决定了光纤环的散热速度。

陀螺结构的剖面图如图1所示。

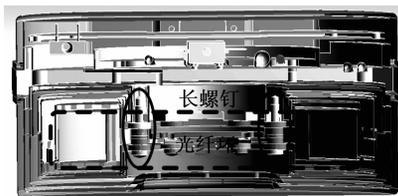


图1 陀螺结构剖面图

由图1可知,光纤环骨架(下方外侧)仅靠长螺钉(下方中间)与陀螺骨架进行连接,通过改变螺钉热导率,达到控制光纤环内温度变化率的效果。

2 基于 ANSYS Workbench 的结构热仿真分析

利用 ANSYS Workbench12.0 中的热设计模块,我们对设计的陀螺结构进行了热仿真分析。仿真主要采用有限元分析法进行建模,对结构中的长螺钉采用不同热导率的材料分别进行热分析。

对于外界温度变化大的环境,我们采用隔热方案,中间长螺钉采用低热导率材料。将陀螺外壳的温度设定为变温情况(从0升温至40℃,变温率为0.5℃/min),当陀螺骨架温度上升至40℃时(80min),光纤环中温度上升仅为6.4℃,光纤环内部温度落差仅为1℃,光纤环内的温度变化率为0.0013(°)/s,由此带来的陀螺漂移低于0.001(°)/h^[5-6],模拟结果如图2、3所示。

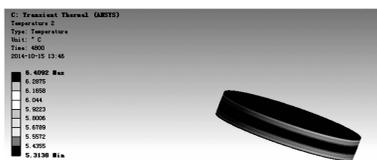


图2 光纤环内温度分布图

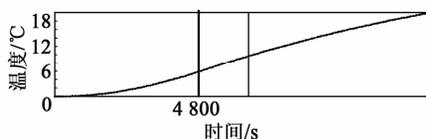


图3 光纤环内温度变化曲线图

通过图3可知,光纤环内温度变化率一直控制在很小的范围内,远低于陀螺其他部分的温度变化率。

模拟表明,采用该结构方案可以降低光纤环内的温度变化率,提高光纤陀螺的零偏稳定性。

对于外界温度相对恒定的环境(如温箱内某一定温度下保温后的环境),陀螺的温度变化仅考虑光

源及电路板的发热,在连接螺钉采用与陀螺骨架相同的高热导率金属材料时,经过模拟可知,虽然电路板及光源的发热带来了约10℃的升温,但是由于陀螺整体包括光纤环均采用高导热材料,散热性能良好,在短时间内达到热平衡状态。模拟结果如图4、5所示。

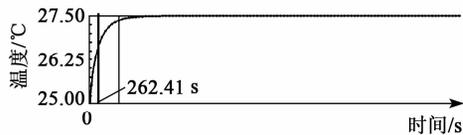


图4 光纤环内温度变化曲线

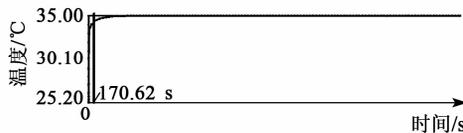


图5 发热源(光源)温度变化曲线

由图4、5可知,采用高热导率的材料,能够使光纤陀螺内部包括发热源以及传感单元光纤环均能很快地达到热平衡的状态,在达到热平衡后,陀螺能够保持较高的零偏稳定性。

3 样机试验结果

根据结构设计,我们组装了样机并对两种温度环境分别进行测试:

室外环境下,光纤环骨架安装低热导率材料螺钉,进行零偏稳定性测试;温箱保温环境下,光纤环骨架安装高热导率材料螺钉,进行零偏稳定性测试。测试曲线图如图6、7所示。

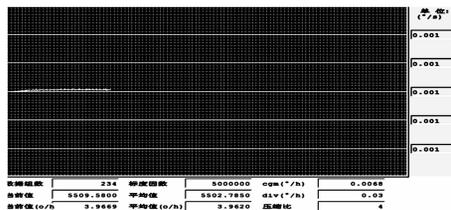


图6 室外环境陀螺零偏测试曲线

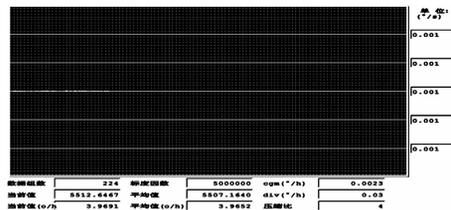


图7 保温环境陀螺零偏测试曲线

试验结果表明,样机在两种测试环境下零偏稳定性均能达到0.001(°)/h量级,其中保温环境下零偏稳定性更好,可以达到0.002(°)/h。本文采用的结构优化设计方案,能一定程度地提高光纤陀螺的温度性能。

4 结论与展望

通过适当的隔热或散热措施,降低光纤环内的温度变化率或尽快的将光纤环内温度达到热平衡,是高精度光纤陀螺结构设计方案中需要重点考虑和研究的部分;采用 ANSYS 对结构进行温度仿真,对光纤陀螺的热设计有一定的指导作用;光纤陀螺的温度性能,在结构设计尤其是针对光纤环部分的材料参数优化设计,能得到一定的提高。

在后续的研究中,我们将对高精度光纤陀螺的电路进行优化,降低电路噪声对陀螺零偏稳定性的影响,并开展光纤环温度检测与温度补偿的技术研究,研制优于 $0.001 (^{\circ})/h$ 的高精度光纤陀螺样机;同时,深入研究 ANSYS 热仿真模块,并与光纤陀螺的零偏漂移模型相结合,进一步提高光纤陀螺的热性能。

参考文献:

[1] HERVE C, LEFEVRE. 光纤陀螺仪[M]. 张桂才,王巍

译. 北京:国防工业出版社,2002.

- [2] SHUPE D M. Thermally induced nonreciprocity in the Fiber optical in-terferometer[J]. Applied Optics, 1980, 19(5):54-655.
- [3] 张桂才. 光纤陀螺原理与技术[M]. 北京:国防工业出版社,2008:4-5.
- [4] 张桂才,杨清生. 干涉式光纤陀螺温度特性研究[J]. 光电子技术与信息,2001,14(1):17-22.
- [5] 袁建国,袁艳涛,刘飞龙. MEMS 陀螺仪的一种新颖高精度标定算法研究[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版),2014,26(5):666-669.
- YUAN Jianguo, YUAN Yantao, LIU Feilong. A novel high precision calibration algorithm for MEMS gyroscopes[J]. Journal of University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2014, 26(5): 666-669.
- [6] 张桂才. 光纤陀螺技术基础理论[M]. 北京:国防工业出版社,2005:95-97.

(上接第 78 页)

参考文献:

- [1] MAYNARD J D, WILLIAMS E G, LEE Y. Nearfield acoustic holography: I. Theory of generalized holography and the development of NAH[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 1985, 78(4):1395-1413.
- [2] VERONESI W A, MAYNARD J D. Nearfield acoustic holography(NAH): II. Holographic reconstruction algorithms and computer implementation[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 1987, 81(5):1307-1322.
- [3] 王迪,苏小平. 基于近场声全息技术的发动机噪声测量与分析[J]. 机械科学与技术,2014,33(9):1382-1386.
- [4] 姬庆,程锦房,肖大为. 基于不同格林函数的噪声源定位方法研究[J]. 压电与声光,2017,39(3):378-382.
- JI Qing, CHEN Jingfang, XIAO Dawei. Research on method of the noise source localization based on different green function[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2017, 39(3):378-382.
- [5] 鲁文波,蒋伟康. 基于近场声全息的故障诊断及系统实现[J]. 振动与冲击,2013,32(5):48-51.
- [6] 陈心昭. 近场声全息技术及其应用[M]. 北京:科学出版社,2013:18-38.
- [7] WILLIAMS E G. Regularization methods for near-field acoustical holography[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2001,110(4):1976-1988.
- [8] DONOHO D L. Compressed sensing[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(4):1289-1306.
- [9] TSAIG Y, DONOHO D. Extensions of compressed

sensing[J]. Signal Processing, 2006, 86(3):549-571.

- [10] CHARDON G, DAUDET L, PEILLOT A, et al. Near-field acoustic holography using sparse regularization and compressive sampling principles[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2012, 132(3):2715-2724.
- [11] 杜宝,罗健,胡飞,等. 基于压缩感知的平面近场声全息方法及其应用[J]. 机械强度,2016,38(3):485-489.
- [12] TROPP J, GILBERT A C. Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2008, 53(12):4655-4666.
- [13] DAI W, MILENKOVIC O. Subspace pursuit for compressive sensing signal reconstruction[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2009, 55(5):2230-2249.
- [14] MOHIMANI H, BABAIE-ZADEH M, JUTTEN C. A fast approach for overcomplete sparse decomposition based on smoothed l_0 norm[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2008, 57(1):289-301.
- [15] 李颖,王泽,王军华,等. 基于 l_0 范数近似最小化的稀疏信号重构方法[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(10):200-204.
- [16] ABUSAG N M, CHAPPELL D J. On sparse reconstructions in near-field acoustic holography using the method of superposition[J]. Journal of Computational Acoustics, 2016, 30(3):472-482.
- [17] 谢晓春. 压缩感知理论在雷达成像中的应用研究[D]. 北京:中国科学院空间科学与应用研究中心,2010:78-80.