# 固胶对保偏光纤环的影响

孟照魁 邵洪峰 徐宏杰 张春熹

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100083)

**摘 要**: 阐述了固胶对光纤环及光纤陀螺两个重要性能参数——温度性能和振动性能的作用和影响,针对某项目对光纤陀螺实际要求的条件进行了陀螺的全方面试验,并分析试验结果. 试验和分析结果表明,固胶对光纤环和光纤陀螺的影响是由涂胶工艺不当带来的,涂胶量及涂胶的均匀度是产生影响的两个主要因素,胶的温度性能及自身固化后状态对光纤环性能也会产生影响. 得出结论:固胶工艺或固胶方式、方法对光纤环的性能有极大的影响,特别是对光纤环在温度变化时的影响表现更为明显,另外,固胶对光纤环的影响,还表现在胶固化后的状态.

**关 键 词**: 光纤陀螺;保偏光纤环;固胶;消光比

**中图分类号**: TN 06

**文献标识码**: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)08-0958-04

# Effect caused by coating adhesive on polarization-maintaining fiber coil

Meng Zhaokui Shao Hongfeng Xu Hongjie Zhang Chunxi

(School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract**: The action and effect on the two important performance parameters such as temperature and vibration of the fiber ring and fiber optical gyroscope(FOG) were expatiated. In allusion to the factual conditions of the FOG of some item, all aspects of experiments were done and the experiment results were analyzed. The experiment and analysis results show that the effect caused by coating adhesive to the fiber ring and FOG is brought due to the unsuitable coating adhesive. The amount and uniformity of coating adhesive are the two main facts of the effect. The temperature performance and the state after solidification of the adhesive can bring effect. Conclusions are gained: it is effected greatly by coating adhesive technics and methods or mode; it becomes more clearer with the temperature changing especially; in addition, it is existing after the adhesive curdles.

**Key words**: fiber-optic gyroscope; polarization-maintaining fiber coil; coating adhesive; extinction ratio

光纤环是光纤陀螺光路部分核心器件. 光纤环的温度稳定性和抗干扰能力直接影响光纤陀螺的性能,因此在光纤陀螺的研制过程中,光纤环的性能研究是一个重要环节. 早在 1980 年,D. M. Shupe 就揭示了温度通过光纤环对陀螺的影响,并提出了解决思路,在 1983 年,Nicholas J. Frigo 提出了四极对称(quadrupolar)的绕环方法. 这种绕环技术很好地保证了光纤环关于光纤中点的对称性,在很大程度上改善了光纤环的抗干扰能力及其温度性能.

光纤陀螺的一个重要优势是振动性能优越,耐冲击是光纤陀螺优于其他类型陀螺的一个很重要的方面,光纤环是影响光纤陀螺振动性能的主要器件,因此,提高光纤环的振动性能是保证光纤陀螺振动性能的关键. 而要提高光纤环的抗振性能,目前的做法是在绕制光纤环时涂胶[1-2]. 固胶虽然改善了光纤环的抗振性能,但又带来了其它的问题. 本文就是探讨固胶对光纤环的综合影响,

**收稿日期**: 2005-10-20

**作者简介**: 孟照魁(1973-),男,山东单县人,讲师, mybuaa@buaa.edu.cn.

以期寻求一种两全方案,希望对提高当前国内光纤陀螺综合性能有益.

## 1　固胶对振动性能的改善

涂胶量及涂胶均匀与否对光纤陀螺的振动性能影响很大. 图 1、图 2 和图 3 分别为均匀涂胶陀螺和非均匀涂胶陀螺的 3 个方向(***x*** 轴、***y*** 轴、***z*** 轴)的随机振动曲线. 从图中可以看出,无论 ***x*** 轴 ***y*** 轴 ***z*** 轴,均匀涂胶陀螺的振动曲线非常稳定,零漂很小,几乎成一条直线;而在相同条件下,非均匀涂胶陀螺的振动曲线就差很多,不但有大量奇点出现,而且整条曲线都存在扭曲,测试得到的零漂也很大.

不仅如此,两者的扫频振动存在差异,主要表现在对称性和噪声大小,如图 4 所示. 从图中可以

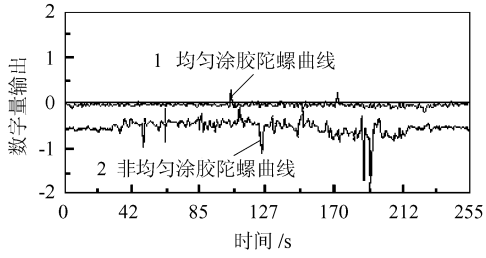



图 1　***x*** 轴对比

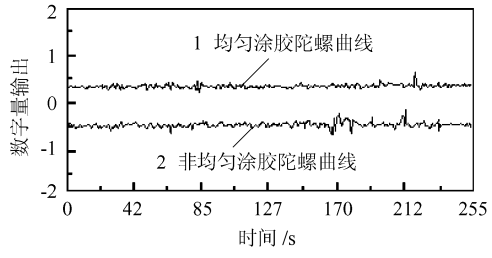



图 2　***y*** 轴对比

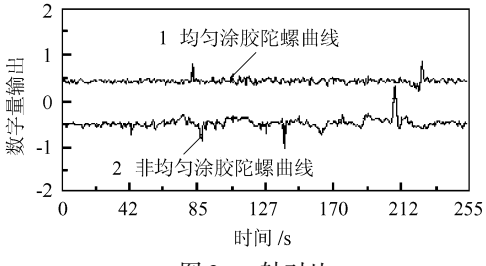



图 3　***z*** 轴对比

看出,曲线 1 的对称性好于曲线 2,曲线 1 的噪声

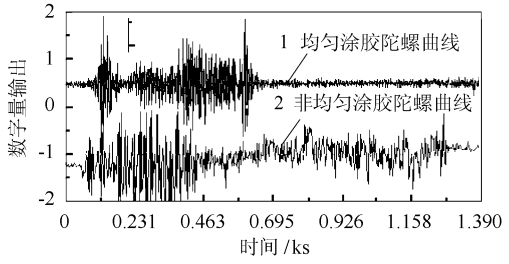



图 4　扫频振动对比

较曲线 2 也小.

## 2　固胶带来的影响

### 2.1　对消光比的影响

为了满足光纤陀螺的振动性能要求,绕制光纤环时需要涂光纤环胶加以固定. 无论哪种胶,固化后都会影响光纤环的消光比,常常是在固化收缩的应力作用下使光纤环消光比降低. 从实际的绕环结果也可以看到这一点,固胶虽可改善光纤环的抗振性能,若涂胶方法(方式)或工艺不当,不但抗振效果不理想,还会影响光纤环消光比[3-4],如图 5 所示,可以很明显地看出来. 光纤环固胶对光纤环的影响主要表现在如下方面:①涂胶量的影响. 涂胶量较小,光纤环的抗振能力明显较低;当涂胶量较大时,振动性能好,但光纤环的消光比下降很多,指标甚至不合格. ②固胶均匀度的影响. 对振动性能和消光比都有直接影响,严重时两者都不合格. ③固化后胶的硬度的影响. 涂胶不固化或固化不完全,振动不过关;但固化后硬度较大时,又影响光纤环的消光比.

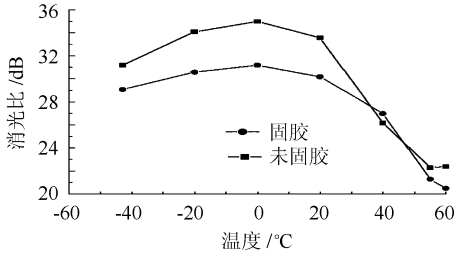



图 5　消光比与温度曲线

### 2.2　对光纤陀螺温度[5]性能的影响

涂胶质量的高低,对光纤环的影响直接表现在光纤环消光比的高低及光纤环温循过程中高低温之间消光比的变化阈过大,并进而对装配完成的光纤陀螺的温度性能产生影响,最直观的表现是光纤陀螺的温度曲线噪声增大,平坦的曲线上出现“长草”现象,如图 6 所示,影响光纤陀螺的精度情况严重时,陀螺的精度不能保证.

基于上述原因,在光线环的绕制过程中,必须控制用胶的涂敷量及涂敷质量.

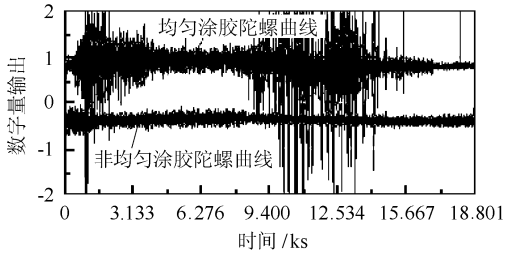



图 6　装配陀螺温度对比

## 3 实验分析

涂胶会改变光纤的应力及其分布. 保偏光纤的偏振保持是通过在光纤中产生一种强应力双折射而得到. 产生应力的方式是光纤包层和纤芯的应力差,因此应力的大小与环境有直接关系,应力随环境变化自然会引起应力双折射的变化,即造成保偏性能参数的波动. 据有关文献报道,这种应力的变化甚至能达到 15% 的量. 此外光纤的内外涂胶属于高分子聚合物,在一定温度下会产生玻璃态和橡胶态的转变,材料的力学性能产生很大变化. 为了改善光纤陀螺的振动性能,在绕环时又涂敷了一层胶,改变了光纤自身的环境条件,当涂胶固化后必然产生残余应力,从而使得光纤上的应力发生了再分布.

用于封装光纤环的光纤环用胶对光纤产生的应力有很大的影响,尤其是在温度变化条件下,这种影响更为明显. 为了研究固胶对光纤环中的应力变化,建立了简化的力学模型和采用弹性力学原理进行应力分析.

在此对 3×3 结构的光纤环建立力学模型,截面如图 7. 这种结构能够基本反映光纤环固胶对光纤环产生的影响,也可以说明问题. 在进行应力分析前,首先对其进行一些基本假设:①光纤纤芯及其涂敷层厚度是均匀的,这样光纤自身的影响可以忽略;②加载温度后胶体与光纤外涂层、光纤外涂层与内涂层以及内涂层与石英光纤之间的界面是连续的,没有出现剥离.

对于应力分析,借用了有限元的方法. 根据弹性力学原理,由于光纤环是轴对称的结构,在分析时可以只取横截面二维结构进行分析,图 8 是封装后光纤环的有限元模型.

图 8 是理想的有限元模型, 以每个光纤点为中心的温度分布都是均匀的,但由于材料不同,各种材料的膨胀系数不同,受热作用,以光纤点为中心热膨胀应力分布不均匀,由假设②,受热时,4 种材料(玻璃纤芯、内涂胶、外涂胶、光纤环固胶)

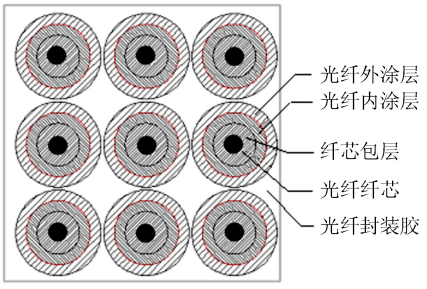



图 7 光纤环局部截面图

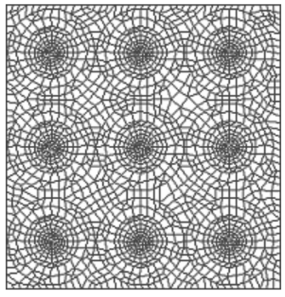


图 8 光纤环局部有限元模型

并不剥离,因此,彼此间存在相互作用(拉应力或压应力),最终反应在光纤环的性能变化.

### 3.1 光纤环用胶筛选

为减小固胶对光纤环和光纤陀螺的影响,对光纤环用胶的要求是:弹性模量大;绝缘性能好;粘结力强、固化内应力小;耐老化;对湿度、温度等环境稳定性好;长期使用耐疲劳好,蠕变、滞后小;使用简便、无毒等. 可操作时间也应作为选取光纤环胶的条件之一,因为绕环过程需要大约 6 h 的时间,因此,需要光纤环胶的可操作时间应在 3 h 左右.

### 3.2 光纤环应力分布测试

1) 静态条件下应力分布测试

光纤应力分析仪[6]结合了布里渊散射技术和光时域反射(OTDR, Optical Time Domain Reflectometer)技术,实现了光纤的分布应力测量. 分布反馈激光器发出的光经调制和放大后形成大功率脉冲光源,注入被测光纤中,产生后向布里渊散射光,散射光的频移由光纤中各点的应变确定,经过分光镜的作用,输入光与散射光相拍,再经探测器、频率转换器变成可处理的电信号,经处理得到光纤中的应力分布. 当频移是由温度引起时,得到的是沿光纤的温度分布.

利用光纤应力分析仪,对固胶光纤环和未固胶光纤环进行了测试实验,并利用它的应力分析功能,对两保偏光纤环进行了分析,测出的应力分布曲线如图 9 和图 10 所示. 图 9 为未固胶光纤环测试曲线,相对于零点基本对称且零偏较小,这表明光纤环所受应力较小且分布比较均匀. 图 10 为

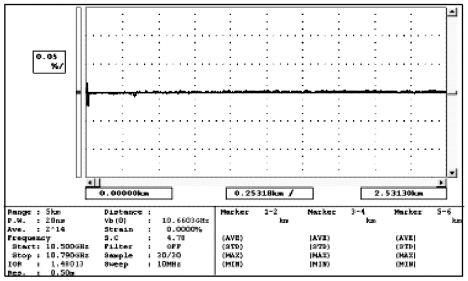



图 9 未固胶光纤环应力分布

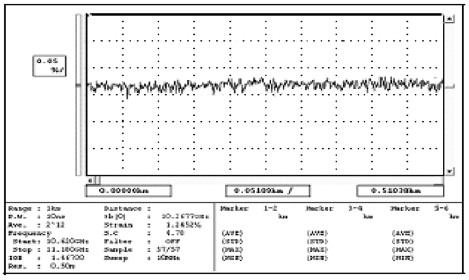


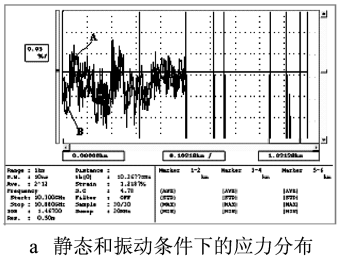
图 10　固胶光纤环应力分布

固胶光纤环测试曲线,其应力零偏较大,且波动也较大,说明固胶产生的应力在光纤环中呈不均匀分布.

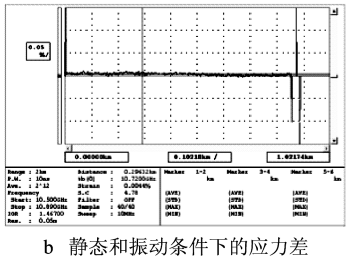
光纤环固胶和不固胶的特性变化是非常重要的,它直接反映了固胶是否导致光纤的性能下降,并可以依此作为筛选光纤环的条件之一. 固胶光纤环的应力分布[7],说明光纤环的性能有了较大的影响,随后的损耗和消光比测试都表明光纤环的性能有较明显的下降. 另外, 随着时间的推移,固胶光纤环的性能不断改善,这是因为固化后胶的性能逐渐趋于稳定,由胶产生的应力也随之得到释放并趋于稳定.

2) 振动条件下光纤环测试

作用在光纤环上的振动会给光纤施加额外的应力[8]. 为研究振动对光纤环的影响,用 AQ8603 测量了静态和随机振动条件下光纤环的应力分布. 其结果如图 11 所示,图 11a 中曲线 *A* 和曲线 *B* 分别为静态和振动条件下的应力分布,图 11b 为它们的差,约为 0.005%,其量级已与该仪器的测量精度和重复性相近. 这个结果说明振动虽然给光纤环带来额外的应力,但对应力再分布影响较小. 从而说明,只要光纤环涂胶质量高,振动对陀螺的精度应该不会影响太大,或者说振动条件下和静态条件下精度应该一致,目前国内光纤陀螺之所以在振动环境下性能不理想,归根到底还是因为涂胶带来的问题没有解决.



a　静态和振动条件下的应力分布



b　静态和振动条件下的应力差

图 11　振动条件下光纤环应力分布

## 4　结　论

研究和实验表明:①固胶对光纤环的性能有极大的影响,固胶工艺或固胶方式方法不对,会给光纤陀螺带来意想不到的"灾难性"后果. ②固胶对光纤环的影响在温度变化时表现更为明显,因此,选择光纤环封装用胶必须考虑胶的温度性能,这对胶的选择具有指导意义. ③涂胶对光纤环的影响,还表现在胶固化后的状态. 固化后胶产生的应力释放较好,即残余应力小,则其对光纤环的影响会减小;相反,如果应力释放不完全,长期存在残余应力,就会使装配后陀螺的性能不稳定.

### 参考文献 (References)


[1] Amado Cordova, Gleann M Surabian. Potted fiber optic gyro sensor coll for stringent vibration and thermal environments: USA,5546482 [P]. 1996-08-13

[2] 拉恩·约翰·P. 填料的光纤陀螺传感器线圈: 中国, CN1215832A [P]. 1999-05-05

Runn John P. GYRO sensor coil with coating: China, CN1215832A[P]. 1999-05-05 (in Chinese)

[3] 张桂才, 王巍. 环圈温度特性对光纤陀螺输出漂移的影响[J]. 光子学报, 1999,28(Z1):317-324

Zhang Guicai, Wang Wei. Effect on GYRO out shift caused by fiber coil temperature performance[J]. Photons Journal,1999, 28 (Z1): 317-324(in Chinese)

[4] 王巍. 光纤陀螺敏感线圈的温度漂移特性与线圈技术研究[J]. 中国惯性技术学报, 1998,6(1):41-45

Wang Wei. Research about emperature shift performance and fiber coil technology of GYRO sensing coil[J]. Journal of China Initial Technology,1998,6(1): 41-45(in Chinese)

[5] Lees Gareth P, Wait Peter C. Advances in optical fiber distributed temperature sensing using the landau-placzek ratio [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1998,10(1):126-128

[6] 杨远洪. 光纤陀螺用保偏光纤环应力分布及研究[J]. 压电与声光, 2005,27(2):12-15

Yang Yuanhong. Experiment study on strain distribution in fiber coil used fiber optic gyroscope[J]. Piezoelectronics & Acousdtooptic,2005,27(2): 12-15(in Chinese)

[7] 阿马多·科尔多瓦. 具有绕匝间应力释放的封装陀螺传感器线圈: 中国,CN 1187617A [P]. 1998-07-15

Amado Kerdowo. Encapsulated GYRO sensor coil with strain resleasing among circles: China, CN1187617A [P]. 1998-07-15(in Chinese)

[8] Bock W J. Coherence-multiplexed fiber-optic sensor systems for messurements of dynamic pressure and temperature changes [C]// IEEEE Instrumentation and measurement technology conference. Budapest, Hungary:[s. n. ], 2001: 21-23


(责任编辑:娄　嘉)