

# It is suitable for the preparation and performance of outer coating of panda fiber

Shuicheng Xiong Yanhong Ding\* Xu Xiong

School of Materials and Advanced Manufacturing, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan, 412000, China

## Abstract

The self-made optical fiber wrapping adhesive synthesized by HDI and other raw materials was used to match the outer coating layer of the panda-type polarization-maintaining fiber used in the fiber optic gyroscope with a purchased ring wrapping adhesive. After the ring is wound, the full-temperature performance test is carried out, and the self-made ring winding rubber is obtained, and the output is more stable, and the zero bias and zero drift are lower. This is due to the self-made thermal expansion coefficient of the ring winding glue, the glass transition temperature is closer to the properties of the outer coating layer, with similar thermodynamic properties and mechanical properties, good matching, and can reduce the insynergistic error caused by the external environment.

## Keywords

ring winding rubber; outer coating; coefficient of thermal expansion; Glass transition temperature

# 适用于熊猫型保偏光纤外涂覆层绕环胶的制备与性能研究

熊水城 丁燕鸿\* 熊旭

湖南工业大学材料与先进制造学院, 中国·湖南 株洲 412000

## 摘要

通过对光纤外涂覆层成分进行分析,采用HDI为主要原料合成的自制光纤环绕环胶,与外购的一款绕环胶对光纤陀螺仪所用的熊猫型保偏光纤外涂敷层进行匹配研究。绕成环后进行全温性能测试,得出自制绕环胶绕成的环,输出更稳定,零偏及零漂更低。通过红外分析、热分析、热膨胀系数测量得到自制的绕环胶热膨胀系数,玻璃化温度与外涂覆层性质更接近,具有相似的热力学性质和机械性能,匹配性好,能够降低因外部环境引起的不协同性误差。

## 关键词

绕环胶; 外涂覆层; 热膨胀系数; 玻璃化温度

## 1 引言

随着北斗产业的大力兴起以及光纤陀螺仪在军民领域的广泛应用,对于高精度高可靠的陀螺仪需求也不断提高,目前很多场景要求光纤陀螺的工作环境温度保持在 $-40\sim 120^{\circ}\text{C}$ ,这对陀螺精度的保持是一个重大挑战<sup>[1,2]</sup>。研究表明,影响光纤陀螺仪的性能的要素有很多,如温度、振动、磁场、应力、光源等,对于光纤环而言,最主要的要素之一就是温度和应力<sup>[3]</sup>。温度变化在光传输的过程中会产生较大的温度梯度引起误差<sup>[4]</sup>,同时由于材料热胀冷缩的特性,温度变化时会产生膨胀或收缩的差异,导致光纤环内部产生热应力,从而影响光纤陀螺的性能<sup>[5]</sup>。如果绕环胶与光纤外涂覆层匹配性差,还会导致环体开裂破坏,造成不可估量的损失<sup>[6,7]</sup>。本文从外涂覆层与绕环胶的匹配性入手<sup>[8]</sup>,分析匹配性的好坏对陀螺输出的影响,通过实验验证,为光纤环绕环胶的选取提供

实验数据。

## 2 绕环胶制备

主要原材料有:六亚甲基二异氰酸酯(HDI)、甲基丙烯酸异冰片酯、光引发剂4265以及光引发剂184。对光纤外涂覆层进行成分研究分析,以HDI为预聚体,加入甲基丙烯酸异冰片酯稀释剂,常温搅拌均匀,再加入一定量的光引发剂184和4265,光引发剂在紫外光的照射下会迅速产生大量自由基,与基体反应,形成三维交联网状结构反应物。避光搅拌均匀后进行静置脱泡处理,得到自制UV固化聚氨酯丙烯酸酯绕环胶,制备工艺流程如下图1所示。

## 3 结果与讨论

### 3.1 FT-IR 表征

图2分别展示了外涂覆层、自制绕环胶和外购绕环胶的红外光谱图。与图2(a)和(c)相比较, $2953\text{cm}^{-1}$ 处为 $-\text{CH}_3$ 的伸缩振动峰(图2b),在 $2240\sim 2275\text{cm}^{-1}$ 处是平缓的,没有出现特征峰,说明 $-\text{NCO}$ 基团都已经与醇和羟基反应完全

【作者简介】熊水城(2001-),男,中国湖南娄底人,在读硕士,从事材料与化工研究。

形成了 NHCOO- (氨基甲酸酯),  $1713\text{cm}^{-1}$  为羰基 C=O 的伸缩峰,  $1180\text{cm}^{-1}$  处是 -C-O 的伸缩振动峰, 在  $3327\text{cm}^{-1}$  处的峰是 N-H 的伸缩振动峰,  $1535\text{cm}^{-1}$  是 N-H 的弯曲振动吸收峰, 这四个峰的出现意味着氨基甲酸酯已经形成<sup>[9]</sup>。从图 2 红外光谱来看, 自制绕环胶的成分与外涂覆层很接近, 主要官能团相同。

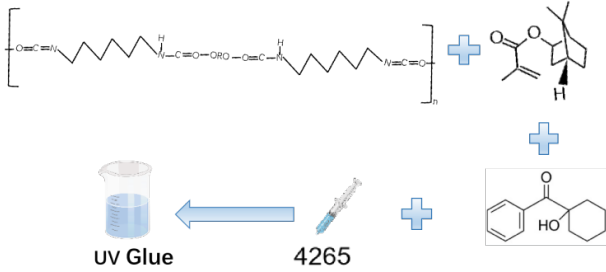


图 1 自制绕环胶制备反应流程图

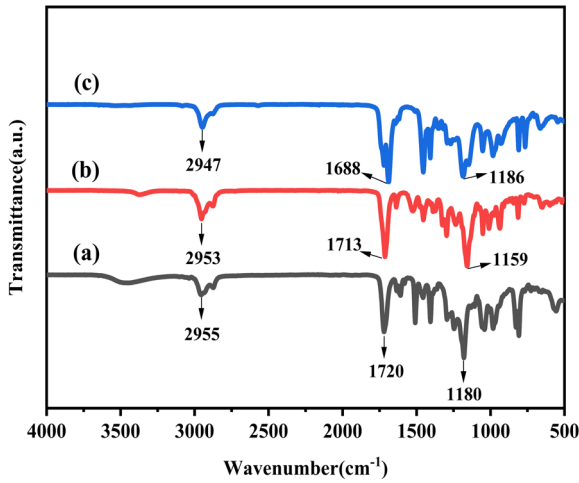


图 2 (a) 外涂覆层的红外光谱图; (b) 自制绕环胶的红外光谱图; (c) 外购绕环胶红外光谱图

### 3.2 热分析

采用热重分析仪和差示扫描量热分析仪对试样进行测试, 全程通氮气气氛, 升温速率为  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ , 升温范围为  $23^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ <sup>[10]</sup>。通过对这三组固化后的试样的 TG-DTG 曲

线、DSC 曲线进行分析, 结果如下图 3 所示。由图 3 (a) 可见, 自制绕环胶和外涂覆层胶的热分解过程都出现了两个明显的失重阶段。第一阶段的温度范围在  $190 \sim 320^\circ\text{C}$ , 主要是聚氨酯丙烯酸酯中聚丙烯酸酯热解。第二个失重阶段开始于  $320 \sim 350^\circ\text{C}$ , 此阶段主要是残余的聚氨酯有机分子链的分解。自制绕环胶和外涂覆层胶失重 5wt% 的温度分别在  $246^\circ\text{C}$  和  $283^\circ\text{C}$ 。在  $500^\circ\text{C}$  时, 自制绕环胶和外涂覆层胶的残炭量分别为 2.57wt% 和 15.31wt%。而外购绕环胶仅有一个失重阶段, 失重 5wt% 的温度在  $367^\circ\text{C}$  左右,  $500^\circ\text{C}$  时残炭量为 8.25wt%。由此可见, 自制绕环胶和外涂覆层胶的热分解过程相似, 其主要的成分也类似。对图 3 (c) DSC 曲线分析发现, 外涂覆层的玻璃化温度在  $149.9^\circ\text{C}$  左右, 自制绕环胶的玻璃化温度在  $175.2^\circ\text{C}$  左右, 外购绕环胶的玻璃化温度在  $193.5^\circ\text{C}$  左右。在光纤陀螺的工作的温度范围内, 三款胶的热稳定性都较好, 但自制胶与外涂覆层的玻璃化温度更接近。

### 3.3 热膨胀系数

将三种树脂固化后制成标准样品进行热膨胀系数测试, 实验结果如下图 4 所示。图 4 (a) 为热膨胀曲线, 主要观测物体随温度变化时长度或体积的变化情况, 图 4 (b) 为平均热膨胀曲线, 主要观测一段时间内物体的长度或体积随温度变化的情况, 图 4 (c) 为微分热膨胀曲线, 它是对热膨胀曲线进行微分处理后得到的曲线, 能够清晰地看到材料在热膨胀过程中的变化率。从热膨胀曲线图 4 (a) 可以明显观察到自制绕环胶的转折点温度为  $96^\circ\text{C}$ , 热膨胀曲线在转折点之后收缩一段时间又继续膨胀, 但始终围绕着外涂覆层胶的热膨胀曲线上下波动。从图 4 (b) 可以发现自制绕环胶的平均热膨胀曲线膨胀到转折点  $79^\circ\text{C}$  之后收缩一段时间又在  $116^\circ\text{C}$  继续膨胀, 但自制绕环胶的平均热膨胀曲线也围绕着外涂覆层胶的平均热膨胀曲线上下波动。由图 4 (c) 可知, 自制的绕环胶变化速率也更贴近外涂覆层, 在应力释放的过程同步效果更好<sup>[11]</sup>。外购绕环胶热膨胀系数与外涂覆层差距较大, 在加热过程中, 产生形变更大, 对内产生应力也越大。综上可知, 自制绕环胶的热膨胀系数与外涂覆层胶的热膨胀系数更加贴合, 在加热过程中产生局部内应力更小。

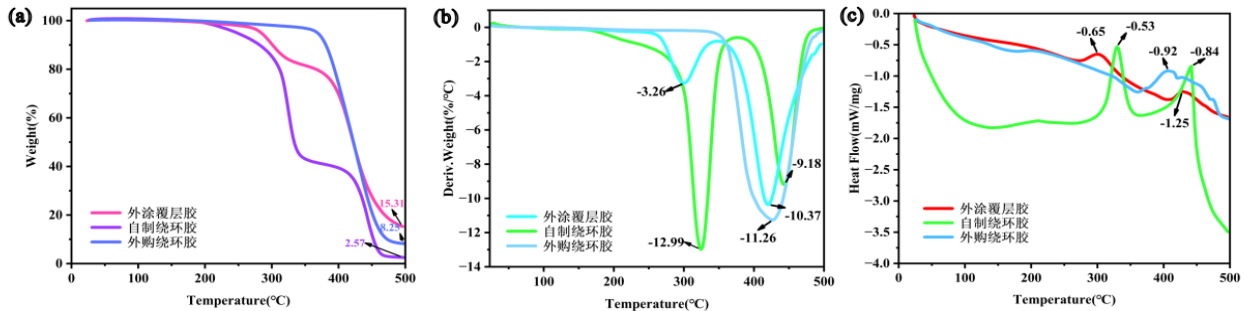


图 3 (a) 三种样品 TG 曲线; (b) 三种样品 DTG 曲线; (c) 三种样品 DSC 曲线

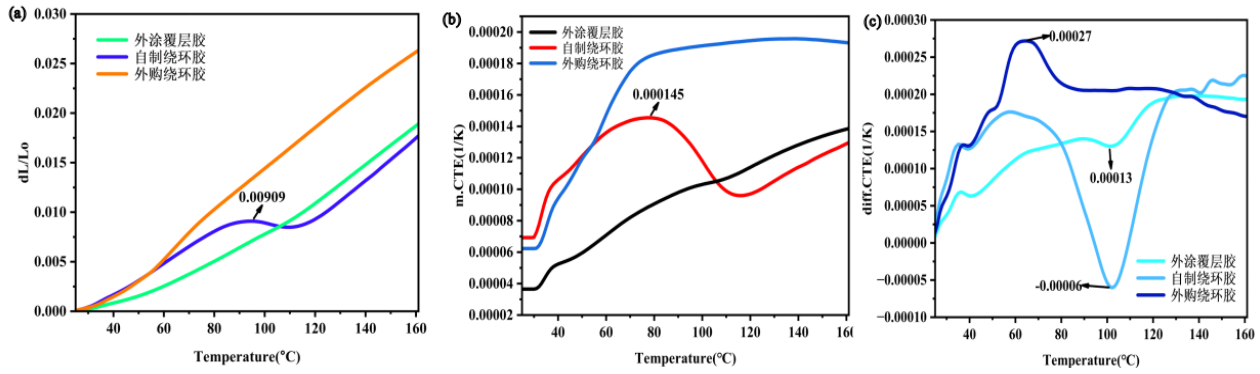


图 4 (a) 三种试样热膨胀曲线, (b) 三种试样平均热膨胀曲线, (c) 三种试样微分膨胀曲线

### 3.4 光纤环全温性能测试

将两款绕环胶分别绕环处理, 放入温箱, 与光源、探测器等搭建光纤环测试系统, 进行全温性能测试。主要检查光纤环在不同环境温度下的表现。本次实验进行的是  $-40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$  范围的测试, 升温速率为  $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。对得到的数据进行分析, 重点观察零偏、零漂, 及可补性, 具体数值如下表 1 所示。

表 1 光纤环测试结果表

编号	常温零偏	零漂	可补性
自制绕环胶绕环	0.09656	0.0167	好
外购绕环胶绕环	0.129598	0.0241	较好

从上表可以看出, 在温度变化的过程中, 自制绕环胶绕成的环零偏表现很优秀, 零偏稳定性 (零漂) 值  $0.0167^{\circ}/\text{h}$  也更低于外购胶的  $0.0241^{\circ}/\text{h}$ 。

### 4 结论

绕环胶主要用于固定光纤, 确保在环绕过程中保持稳定, 防止光纤因外力或温度变化而发生变形, 此外, 环胶的材料特性会影响光纤的机械性能和光学性能。不同材料的热膨胀系数差异会导致在温度变化时光纤的应力集中, 进而影响测量精度。本文通过实验验证, 当自制的绕环胶玻璃化温度, 热膨胀系数等性质与外涂覆层越接近时, 外界温度环境变化对光纤环的影响也越低, 因为协同性误差更好, 对陀螺的精度影响更小。通过以上研究, 可以为光纤陀螺仪的性能提升提供理论支持和实验依据。

### 参考文献

[1] 王巍. 新型惯性技术发展及在宇航领域的应用[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(03): 11-16.

[2] 胡建帮, 王贵腾. 光纤陀螺仪的原理、应用及发展[C]//国防科技大学智能科学学院, 湖南云箭集团有限公司. 2023年全国智能导航学术论文集. 湖南云箭集团有限公司, 2023: 6. DOI:10.26914/c.cnkihy. 2023.037817.

[3] 黄冬. 高精度光纤陀螺仪的研究[D]. 西安石油大学, 2019.

[4] 张天乐, 温坤华, 张翔, 等. 光纤陀螺光路热致零漂误差机理与抑制方法[J]. 弹箭与制导学报, 2024, 44(05): 14-24. DOI:10.15892/j.cnki.djzdx.2024.05.003.

[5] 田凯迪. 干涉式圆偏光纤陀螺偏振特性及温度性能研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2023. DOI: 10.27061/d.cnki.ghgdu. 2023.002472.

[6] 孟照魁, 邵洪峰, 徐宏杰, 等. 固胶对保偏光纤环的影响[J]. 北京航空航天大学学报, 2006 (08): 958-961. DOI:10.13700/j.bh.1001-5965. 2006.08.020.

[7] 杨学围, 杜新政, 林恒, 等. 封装光纤线圈的胶粘剂对光纤产生的热应力影响[J]. 中国惯性技术学报, 2003(06): 95-98.

[8] 黄星, 万欢, 崔丽云, 等. 光纤陀螺环纤胶匹配性探讨[C]//光纤材料产业技术创新战略联盟. 光纤材料产业技术创新战略联盟一届六次理事会暨技术交流会会议文集. 武汉长盈鑫科技有限公司, 2016: 7.

[9] 王玉杰, 刘浩, 孔明明, 等. 绿色环保型聚氨酯胶粘剂的制备及性能研究[J]. 中国胶粘剂, 2017, 26(06): 23-25+55. DOI:10.13416/j.ca. 2017.06.006.

[10] 肖文清, 涂伟萍. 光固化超支化聚氨酯丙烯酸酯的合成及其固化膜性能[J]. 高校化学工程学报, 2009, 23(02): 240-245.

[11] 车亚敏. 紫外固化聚氨酯丙烯酸酯复合材料的热物性研究[D]. 中国科学技术大学, 2022. DOI:10.27517/d.cnki.gzkju. 2022.001386.