

# 一种新型液芯光纤及其性能研究

沈令斌, 张璇宁

(金陵科技学院网络与通信工程学院, 江苏 南京 211169)

**摘要:**目前绝大部分复合材料仿生自修复方法中,使用的承载修复剂的修复媒介只能实现自修复而无法感知损伤。针对这一问题,设计出一种新型液芯光纤,并对该种液芯光纤的传输损耗进行了理论分析和实验验证,测定了液芯光纤的衰减系数,同时对液芯光纤的承载性能进行了研究,为该新型液芯光纤作为传感元件在复合材料智能结构中的应用提供实验依据。

**关键词:**液芯光纤;损耗;承载性能

中图分类号:O644.1;TN247

文献标识码:A

文章编号:1672-755X(2018)04-0025-04

## A Study on Novel Liquid-core Fiber and its Properties

SHEN Ling-bin, ZHANG Xuan-ning

(Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that most of the bionic self-healing composite method used in the repair of bearing repair agent medium can only achieve self-healing and imperceptibility injury problems, this paper designed a new type of liquid core optical fiber, and the transmission loss of this kind of liquid core optical fiber has been studied theoretically and experimentally. The determination of the liquid core optical fiber attenuation coefficient, as well as the bearing capacity of liquid core optical fiber were studied. The study can serve as experimental basis for this type of new liquid core optical fiber as the sensing element in the application of intelligent composite material structure.

**Key words:** liquid-core fiber; loss; the bearing performance

复合材料结构的损伤修复一直是各国专家的重点研究对象,传统的修复方法包括树脂注射、机械连接贴补、塑料焊接、胶接贴补等<sup>[1]</sup>,但是一般情况下,传统的修复方法只能对可见损伤裂纹进行修复,对于材料内部微损伤的监测与修复,传统方法并不适用。随着智能思想的引入和发展,各种仿生自修复方法相继被提出来,自 20 世纪 80 年代开始,智能仿生自修复复合材料开始成为各国尤其是发达国家研究的热点<sup>[2]</sup>。复合材料结构仿生自修复机理来源于生物体所具有的自我感知、自动响应和自修复的特性。各国科学家将生物自愈机制引入到复合材料结构中来,为复合材料结构的损伤自修复提供了一种新颖的有效途径和新的研究思路。

由于液芯光纤具有不同于传统光纤的特殊光纤结构,使其具有很多普通石英光纤所不具有的优势。首先,传输光的波长范围广,可以从紫外区的 200 nm 到近红外区的 3  $\mu\text{m}$ ;其次,具有较大的数值孔径;第三,液体作为纤芯的可选择性较强,通过选择不同的液体可以让液芯光纤拥有特殊的功能;第四,由于纤芯

收稿日期:2018-12-19

基金项目:金陵科技学院博士科研启动基金(jit-b-201814);金陵科技学院大学生创业训练计划项目(201813573072T)

作者简介:沈令斌(1988—),男,江西九江人,讲师,博士,主要从事光电技术与信息处理研究。

的可流动性使液芯光纤具有较大的弯曲半径;最后,与制作普通石英光纤相比较,液芯光纤的制作工艺相对较为简单,比较适合于大批量生产,是一种性价比较高的产品。由于液芯光纤纤芯具有较大的选择范围,因此带来了液芯光纤在不同领域的应用,根据不同的用途和要求,选用的纤芯材料标准也不同。早期的液芯光纤纤芯采用盐类水、醇类、氯苯等溶液,其研究和应用也较简单,后来人们对纤芯的选择进一步扩大,应用层次也在不断地提高。目前,液芯光纤已经成功应用到的领域包括紫外光固化、紫外光降解、紫外光刻、刑侦取证、荧光检测、紫外医疗、光谱诊断和治疗等<sup>[3-5]</sup>,为了将液芯光纤应用到复合材料智能结构损伤自修复中,本文提出一种以光固化材料作纤芯,以石英作为包层的新型液芯光纤,研究具有创新性。

## 1 液芯光纤结构设计

液芯光纤结构的设计和制作方法是实现液芯光纤在复合材料结构仿生自修复中应用的关键。通常,石英和聚合物都可以被用作液芯光纤的包层材料,考虑到聚合物包层材料的柔软性,且不耐高温,也无法制作得特别纤细,且聚合物材料的折射率相对较大,找到折射率更大的纤芯与之匹配相对较难。研究选择石英作为包层材料能够满足构成液芯光纤的折射率条件。液芯光纤结构设计如图1所示,以光固化材料为纤芯,石英材料为包层,聚合物光纤作为光窗封闭液芯光纤的端口,聚合物光纤与石英包层采用胶黏剂连结。在此,聚合物光纤不仅起到封闭液芯光纤窗口的作用,而且能够将光束很好地耦合进液芯光纤中。

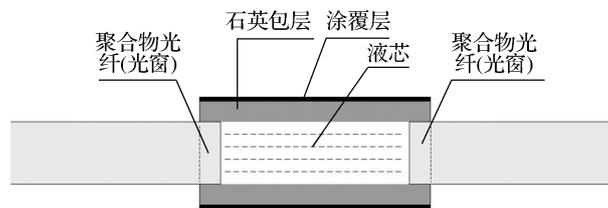


图1 液芯光纤结构设计图

## 2 传输损耗实验研究

### 2.1 光纤损耗系数计算方法

目前,最常用的测量光纤传输功率损耗的方法主要包括截断法、插入法和背向散射法<sup>[6]</sup>。其中截断法是多模光纤损耗特性测量使用最多的方法,本文采用截断法对液芯光纤的传光损耗性能进行测定。截断法测量液芯光纤损耗系数的具体的数学计算方法如下<sup>[7]</sup>:

$$A = 4.34\gamma = -10\log(P_o/P_i)/L \quad (1)$$

其中,“-”表示衰减, $A$ 、 $\gamma$ 均表示损耗系数,且 $A = 4.34\gamma$ , $4.34 = 10 \times \lg(e)$ ,光纤损耗的对数分贝标度单位为 $\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$ 。

由式(1)可计算得到液芯光纤的损耗系数 $\gamma$ ,其表达式为:

$$\gamma = \frac{\ln[P(Z)/P(L)]}{L-Z} \quad (2)$$

式(2)中, $Z$ 表示截断后光纤的长度。 $P(L)$ 和 $P(Z)$ 分别表示长度为 $L$ 和 $Z$ 的液芯光纤的输出光功率。

### 2.2 实验过程与结果分析

取长度为16 cm 纤芯折射率为1.525 作为实验光纤,接入系统并固定好,打开光源,使激光束平稳地进入到光纤中,记录光功率值;每隔2 cm 截断一次光纤,重新固定,并记录此时光纤的输出光功率值以及光纤长度;采用同样的方法对纤芯折射率为1.561 的液芯光纤进行测量。测量时对光纤进行光屏蔽处理,记录实验数据,由于液芯光纤的特殊性,截断后的端口需要进一步封窗处理,会产生一定的测量误差,因此采用多次测量的方式,最后取平均值来减小误差。测量结果如表1所示。

表 1 液芯光纤衰减特性的测试数据

截断次数	液芯 1( $n_1=1.525$ )		液芯 2( $n_2=1.561$ )	
	长度/m	$P_o$ /mW	长度/m	$P_o$ /mW
0	0.16	0.389	0.16	0.064
1	0.14	0.418	0.14	0.071
2	0.12	0.448	0.12	0.079
3	0.10	0.481	0.10	0.088
4	0.08	0.516	0.08	0.098
5	0.06	0.554	0.06	0.109

表 1 中的数据表明,不同折射率的纤芯的光传输性能不尽相同。当选择折射率为 1.525 的液芯光固化剂作为纤芯时,由于折射率较小,黏度小,液芯光纤的光功率的衰减相对较小;当选择纤芯的折射率为 1.561 时,液芯光纤传光衰减较大。因此,不同折射率的液体对光传播的影响不同,光纤的衰减是不同的。

利用公式(2)计算得到不同折射率的液芯光纤的损耗系数的结果如表 2 所示。从表 2 中的结果可以看出,两种包含不同折射率纤芯的多功能液芯光纤的传输损耗比普通光纤大,而且纤芯折射率较大的液芯光纤,其光功率的损耗更大。损耗系数的测定不仅对研究液芯光纤本身具有非常重要的价值,而且在研制纤芯材料及其在复合材料结构损伤自修复应用中,也都具有重要的参考价值。

表 2 光纤损耗系数

截断次数	损耗系数 $\gamma$ /(dB · km <sup>-1</sup> )	
	液芯 1( $n_1=1.525$ )	液芯 2( $n_2=1.561$ )
1	3.595	5.190
2	3.466	5.338
3	3.554	5.394
4	3.511	5.382
5	3.553	5.319
均值	3.536	5.325

### 3 承载性能研究

#### 3.1 加载测试实验装置

下面对液芯光纤的承载性能进行研究。液芯光纤承载性能测试装置如图 2 所示,包括激光光源、光耦合器、液芯光纤其外径( $D=0.3\text{ mm}$ )、长度( $L=10\text{ cm}$ )、微位移加载器、光功率计、实验平台等。

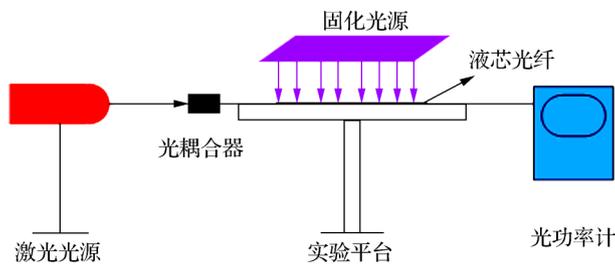


图 2 液芯光纤承载性能测试装置

#### 3.2 结果分析与讨论

按照如图 2 所示的测试装置接通整个系统,打开激光光源,每隔  $5\ \mu\text{m}$  调节一次微位移加载器,对液芯光纤进行实验加载,并且记录光功率计中显示的数值,测量时对光纤进行光屏蔽处理,最后得到的实验数据如图 3 所示。

由图 3 可以看出,当液芯光纤在径向加载而发生微形变时,其输出端功率随着加载位移的增大呈减小趋势。当加载的位移很小时,即液芯光纤产生微小变形,其光强的输出变化不大;当位移逐渐增加至

15  $\mu\text{m}$  时, 光纤输出光功率开始减小, 并且微位移在 20~40  $\mu\text{m}$  时, 液芯光纤输出端的功率和微位移之间成近似的线性关系; 随着微位移加载到 45  $\mu\text{m}$  时, 光纤输出端的功率骤减为 0, 分析原因是由于石英包层材料的脆性, 当加载到一定程度时, 液芯光纤会发生碎裂。测量结果表明, 随着微位移的增大, 输出功率逐渐减小, 但是减小幅度较小, 而且减小速度较缓, 光功率的损耗变大。在包层允许形变的范围内, 结果与理论分析是匹配的, 在理论分析的过程中, 并没有考虑液芯光纤在加载过程中会发生一定程度的弯曲, 而在实验过程中, 加载会导致液芯光纤发生微弯, 而弯曲也会导致传输光一定的损耗, 因此实验研究结果会与理论分析有一定的误差。

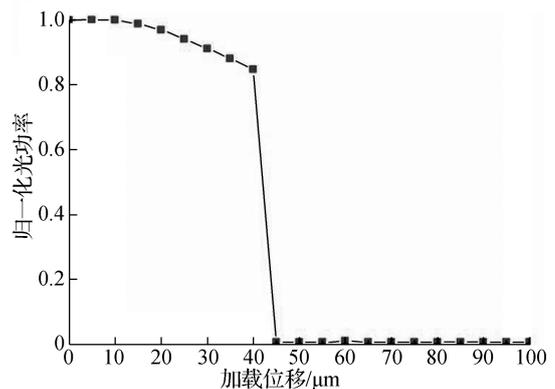


图3 液芯光纤承载性能曲线

#### 4 结 语

本文设计了一种特殊结构的新型液芯光纤, 该种液芯光纤以光固化材料作纤芯, 以石英作为包层, 采用聚合物光纤作为光窗封闭光纤的端口, 光窗与包层连接处用胶黏剂连结。利用截断法测定了该液芯光纤的传输损耗系数, 并对该新型液芯光纤进行承载测试实验, 研究结果表明, 当加载位移在 20~40  $\mu\text{m}$  时, 其输出的功率和微位移之间近似线性相关, 该结果为该新型液芯光纤作为传感元件在复合材料智能结构中的应用提供实验依据。

#### 参考文献:

- [1] Jiang M, Wang Z M, Zhao Z Z, et al. Long-period fiber grating cascaded to thin-core fiber for simultaneous measurement of liquid refractive-index and temperature[J]. *Sensor Review*, 2018, 38(1): 79-83
- [2] Sharma A, Kumar A, Susheel C K, et al. Smart damping of functionally graded nanotube reinforced composite rectangular plates [J]. *Composite Structures*, 2016, 155: 29-44
- [3] Ramza H, Arsad N, Abdurrahman F, et al. Optical fiber pressure sensor using extrinsic Fabry-perot interferometry (EFPI); a theoretical study [J]. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 2015, 17(5/6): 545-551
- [4] Bethoux O, Godoy E, Roche I, et al. A new state-observer of inner PEM fuel cell pressures for enhanced system monitoring [J]. *European Physical Journal-Applied Physics*, 2014, 66(3): 30901
- [5] Arunbabu D, Noh S M, Nam J H, et al. Thermoreversible self-healing networks based on a tunable polymethacrylate crosslinker having pendant maleimide groups [J]. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 2016, 217(19): 2191-2198
- [6] Fu C, Zhong X. Thin-core-fiber-based long period fiber grating for high-sensitivity refractive index measurement [J]. *IEEE Photonics Journal*, 2015(6): 23-25
- [7] 郑莹. 电力光载无线通信技术在电力接入网中的应用[J]. *金陵科技学院学报*, 2014, 30(2): 29-34

(责任编辑: 谭彩霞)