

基于光纤光栅的超声传感器实验研究

戚仕涛 汤黎明 刘铁兵 朱兴喜 吴敏 沈苏静

摘要 光纤光栅传感器具有许多独特优点,是近年来应用较多的一种传感器。本实验主要研究了FBG光栅传感器对超声波的响应情况。结果显示传感器输出信号强度与声功率表现了基本的线性,提示可以利用光纤光栅检测超声,此方法为体内超声场的无创测量提供了新的工具。

关键词 传感器 超声 布拉格光栅

中图分类号 R312

文献标识码 A

文章编号 1002-3208 (2006) 04-0410-02

The Experimental Study of Ultrasound Sensor Based on Fiber Gratings QI Shutao, TANG Liming, LIU Tiebing, ZHU Xingxi, WU Min, SHEN Sujing. Nanjing General Hospital of Nanjing Military Region, Nanjing 210002

[Abstract] Optic fiber gratings sensor has many unique advantages, and is one of the most applied sensors in recent years. The experiment investigated the response of FBG sensor to ultrasound. Results show the sensor output signal intensity is basically linear to the acoustic power, which prompts us to detect ultrasound with optic fiber gratings sensors. Thus it provides a new method for noninvasive detection of ultrasound in body.

[Key words] sensor ultrasound Bragg gratings

光纤光栅传感器是近年来研究较多的一种新型传感器。光纤光栅传感器集传感与传输于一体,应用非常方便。通过拉伸或压缩光纤光栅,或者改变温度,可以达到改变光纤光栅的周期和有效折射率,从而达到改变光纤光栅的反射波长的目的,反射波长和应变、温度、压力、压强等物理量成线性关系。根据这些特性可以将光纤光栅制成应变、温度、压力、加速度等多种传感器。

近年来,由于诊断超声的输出功率在不断加大,以及广泛使用高强度治疗超声(包括超声手术、超声波碎石、超声热疗等),对超声场在人体的分布情况进行精确测定更显得尤为迫切。通常,人体内部的超声场分布是用复杂的理论模型来估算,但人体内的超声场可能来自于非理想源,且超声在不同组织间传播时可能受到多种因素的影响,因此直接检测这种声场至关重要。光纤光栅传感器的特点特别适合体内的无损检测应用,因此研究光纤光栅对超声波的响应将对超声医学的发展大有裨益。

1 光纤光栅传感器原理

光纤光栅是利用掺杂(如锗、磷)光纤的光敏性,通过某种工艺方法使外界入射光子和纤芯内的掺杂粒子相互作用导致纤芯折射率沿纤轴方向发生周期性的永久性变化,在纤芯内形成空间相位光栅,如图1所示。

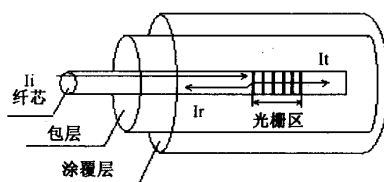


图1 光纤光栅结构示意图

Fig 1 Scheme of fiber gratings structure

Li—入射光; Ir—反射光; It—透射光

根据光纤光栅周期长短的不同,周期性光栅分为短周期光栅和长周期光栅两类。短周期光栅又称做光纤布拉格光栅(FBG)或光纤反射光栅。FBG的反射中心波长为

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$$

其中, λ_B 是被反射光的中心波长, n_{eff} 是光纤光栅的有效折射率。在外界信号如温度场、力场的作用下,光纤将产生轴向应变和折射率变化,栅距亦随

基金项目: 总后计量测试研究课题(20040606)资助

作者单位: 南京军区南京总医院医学工程器材科(南京 210002)

作者简介: 戚仕涛(1972—),男,硕士研究生,主要从事生物医学信号检测研究。

之变化 $\Delta\lambda$ 。

上式微分得

$$\Delta\lambda_B = 2n_{eff}\Delta\lambda + 2\lambda\Delta n_{eff}$$

可见光纤光栅的中心波长受到了外界信号（被测量）的调制产生波长偏移，解调出波长变化 $\Delta\lambda_B$ 即可测得被测量。

关于波长调制的解调方法很多，主要有光谱法、波长扫描法、光学滤波法、相干法等。光谱分析法的基本原理是，将传感探头的输出光经光纤送至分光光度计，由 CCD 探测器检测不同波长的光强分布，一旦光波长偏移，光强分布即发生变动，计算机经过计算分析即可计算出相应的波长偏移量或它所对应的被测量。

图 2 为光纤光栅做传感探头的光谱分析法示意图。参考光栅提供布拉格反射波长 λ_B 的参考点。其特点是利用布拉格波长光被 FBG 反射后透射光谱中将失去该波长成分而形成谱谷，用光谱分析仪测量参考 FBG 及传感 FBG 光谱谷之间距，即为外界信号引起的布拉格波长偏移 $\Delta\lambda$ 。光谱分析仪可以是单色仪，也可以是傅里叶变换光谱仪等。

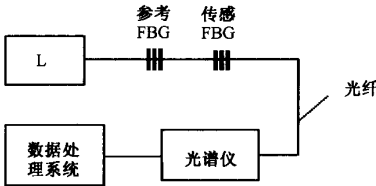


图 2 光谱法波长解调示意图

Fig 2 Diagram of wavelength demodulate using spectrum method

2 FBG 超声传感器实验设计

2.1 预实验

为研究光纤光栅对超声波的响应，首先用传统超声功率测量方法测量超声换能器的输出功率。超声换能器由一射频放大器驱动，放大器输出功率可调，将超声换能器置于超声功率计的声窗口，由小到大增加放大器的输出功率，同时记录对应的超声功率计的输出。注意放大器功率不要调节过大，防止空化效应的产生。

2.2 光纤光栅超声传感器响应实验

光纤光栅超声传感器响应实验装置如图 3 所示。其中光源由一窄带氦激光器产生，其中心波长

为 815nm，带宽为 0.1nm。FBG 反射光经定向耦合器送至光电探测器，超声换能器及射频功率放大器与预实验中相同。将 FBG 和超声换能器同置于盛有蒸馏水的矩形槽中，FBG 位于超声场焦点区并和声波传播方向垂直。光源产生的激光经衰减到 100μW 后射入光纤。反射光经一硅光电二极管后，送频谱分析仪进行分析。重复预实验中放大器的功率设置，由小到大增加放大器的功率，并对应记录光栅输出信号的强度。

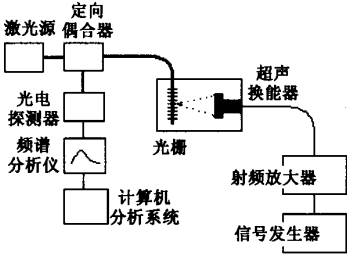


图 3 光纤光栅超声传感器实验设计

Fig 3 Experiment design for fiber gratings ultrasounds sensor

2.3 实验结果分析

在预实验中用超声功率计测量的声功率可以作为光纤光栅超声传感器响应实验中换能器的真实输出功率。光纤光栅对超声波的响应信号实际上还是

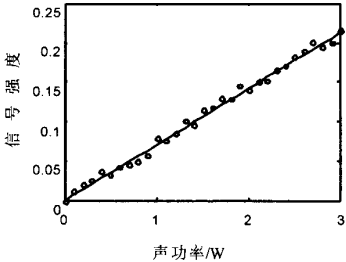


图 4 光纤光栅超声传感器的响应曲线

Fig 4 Response curve of fiber gratings ultrasound sensor

压力信号，而超声功率大小与其引起的辐射力成正比，因此，可以认为，光纤光栅的输出信号应正比于换能器输出的声功率。以预实验中超声功率计的测量值为横坐标，以对应的光纤光栅输出信号大小为纵坐标，可以得到光纤光栅超声传感器的响应曲线如图 4 所示。可以看出两组数据表现了基本的线性性，尽管有点松散。

(下转第 414 页)

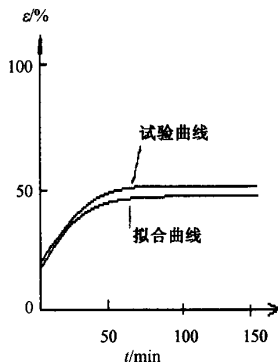


图 2 椎骨蠕变曲线

Fig 2 The creep curve of vertebrae

的构型和连接方式所形成运动体, 生理上不但有较大的承载能力, 而且有沿纵横轴矢状轴及纵轴的旋转和平移^[2]。椎间盘的应力松弛率远远大于椎体的应力松弛率(椎间盘应力松弛、蠕变率见参考文献 1)。椎体的这种低蠕变和松弛率是其组织结构所决定的, 因而可以认为脊柱的蠕变主要是由椎间盘组织的流变特性造成的。

当椎体受一常应力时, 应变随着时间的增加而增加, 曲线开始是呈指数形式变化的, 曲线中间段基本呈线性变化。

和大多数生物材料类似, 椎骨的宏观力学行为也具有粘弹性^[2]。

参考文献

- [1] 马洪顺, 等. 人体椎间盘应力松弛蠕变实验研究 [J]. 试验技术与试验机, 1989, (4): 52-55
- [2] 杨桂通, 吴文周, 编著. 骨力学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989

(2005-04-15 收稿)

3 讨论

实验结果表明蠕变在最初 600 s 内变化明显, 之后变动缓慢, 在蠕变时间达到 9235 s 时曲线基本达到平衡。

脊柱是由刚度相对较大的椎体与附件和刚度相对较小的间盘及其附属韧带做为部件, 通过其特殊

(上接第 411 页)

3 讨论

本实验研究光纤光栅对功率超声波的响应情况, 主要在于说明光纤光栅是否能检测超声, 为今后利用光纤光栅无损检测体内超声场打下基础。实验结果表明, 光纤光栅确实对超声波有一定的响应, 并基本呈现一种线性的关系。但限于实验条件和准备工作的不足, 实验尚未就光纤光栅周期大小、超声波入射方向等对实验结果的影响做深入研究。光纤光栅传感器已经在许多领域得到了很好的应用, 通过这个初步的实验研究, 有理由相信, 光纤光栅在检测超声波方面也会表现出优良的特性。

参考文献

- [1] 王惠文, 江先进, 赵长明, 等. 光纤传感技术与应用. 北京: 国防工业出版社, 2001
- [2] 袁易全, 陈思忠, 冯若, 等. 近代超声原理与应用. 南京: 南京大学出版社, 1996
- [3] Fisher NE, Webb JD, Pannell CN, et al. Ultrasonic hydrophone based on short in-fiber Bragg gratings. Appl Opt, 1998, 37: 8120-8128
- [4] Nobuaki Takahashi. Development of an optical fiber hydrophone with fiber Bragg grating. Ultrasonics, 2000, 38: 581-585

(2005-04-15 收稿)

欢迎订阅《北京生物医学工程》

《北京生物医学工程》是有关生物医学工程这一新兴边缘学科的学术刊物。设有论著、理论探讨、实验研究、讲座、研究简讯、新技术应用、译文、综述与仪器维修等栏目。适合中高级从事与生物医学工程有关的科研人员、医生、临床工程师及大专院校师生阅读。

本刊为国内外发行: 国内邮发代号 82-885 国外代号 7322

国内定价: 全年 108.00 元 每期 18.00 元

编辑部地址: 北京安外安贞医院内 邮政编码: 100029