

基于微弯光纤敏感的服装压力传感系统设计

周国鹏

(武汉纺织大学 机械工程与自动化学院, 湖北 武汉 430073)

摘要:通过对服装压力及目前获取服装压力值方法的分析,提出利用封装后的微弯光纤设计服装压力测量系统。介绍了微弯光纤服装压力传感器的工作原理与结构设计,以及服装压力测量系统的设计。对该服装压力测量系统的可行性进行验证,结果表明,该结构具有较高的灵敏度,不仅可以应用于服装压力测量,还可以应用于其他类似的压力测量场合。

关键词:服装压力;微弯光纤;传感系统;齿形板

中图分类号:TS 941.79

文献标志码:A

文章编号:1000-4033(2015)12-0074-03

Design of Clothing Pressure Sensing System Based on Micro-bend Optic-fiber Sensor

Zhou Guopeng

(School of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430073, China)

Abstract:Based on the analysis of the clothing pressure and the method of obtaining the pressure value, the paper presents to use encapsulation micro-bend optic-fiber to design the pressure testing system. It introduces the working principle and structure design of micro-bend optic-fiber sensor, and the design of the clothing pressure testing system. The testing results of show that the structure has a high sensitivity, which can be applied to the clothing pressure testing, and also the other similar pressure measurement.

Key words:Clothing Pressure; Micro-bend Optic-fiber; Sensing System; Lamina Denticulate

随着生活水平的提高,人们不但要求衣物保暖合体,而且要求衣物穿着舒适,要满足这些需求,就要在服装设计之初引入服装压力测试,以帮助设计师设计更贴合人体的服装。

服装压力基本上可以分为两种:一是被动压,即普通衣物穿着后直接作用于人体而产生的压力,如人们感觉到的衣物松、紧等;二

是主动压,即为达到某种特殊目的而施加于衣物的针对特定人体部位的的压力,如功能性衣物,特别是智能服饰方面。前者主要影响穿着,后者主要应用于特殊场合,如医疗、航空等。

当前一般采用两种方法获取服装压力值,一种是直接测量,主要通过使用传感器来获取服装压力;一种是建模分析,主要通过人

体建模来获取服装压力。比较这两种方法,直接测量较简单直接,可以较迅速地获取结果,而且对不同测试对象的适应能力较强;建模的方法较多依赖于数学手段,可以利用数学模型获取所需的测试结果,但是理论值误差和所建模型关系较大,且不易反映运动时的压力值变化^[1-7]。

直接测量法的关键问题是服

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51275363);湖北省数字化纺织装备重点实验室项目(DTL200602)。

作者简介:周国鹏(1974—),男,讲师,硕士。主要从事服装传感器的研究工作。

装压力传感器的设计,依照服装设计要求和人体舒适性要求,传感器要能连续反映压力的变化,测试的压力范围能满足从 0 Pa 到 10 000 Pa,考虑到人体运动的特性,传感器响应频率一般不高于 100 Hz;为了减少测试装置对测量结果的影响,传感器的尺寸应尽可能轻、薄、小;传感器要具备构成准分布式测试系统的能力,以满足多点测量的要求^[8-9]。

以应变片、气压方法为主的传统测试手段难以满足上述要求,因此,本文利用微弯光纤传感器设计了一种服装压力测量系统,经测试,该系统能基本满足服装压力测试的要求。

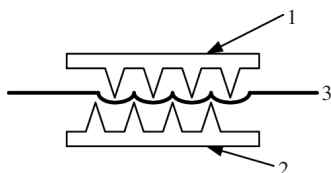
1 传感器工作原理与结构设计

自 20 世纪 90 年代首次提出微弯光纤传感器概念以来,微弯光纤传感器由于结构简单、成本低廉等优点倍受关注,在应变测量、压力测量等领域有着越来越多的应用与研究。如果光纤在传导光线时受到弯曲等扰动,会因为传导条件的变化而产生光线损耗,使传导光强发生变化,光强的变化量和弯曲的程度具有对应关系。

微弯光纤调制的基本原理是当光纤弯曲时将破坏纤芯中传输光的全反射传输方式,传输光将不再被限定在光纤纤芯中,有部分会进入光纤包层,甚至溢出光纤包层。这一过程无论是光纤中的透射光强,还是逸出光纤的辐射光强都将发生变化,当微弯光纤的主要结构固定,传感器的灵敏度将与弯曲的程度有确定关系。

基于微弯光纤的服装压力传感器结构设计如图 1 所示。传感器整体由 3 部分组成:上齿形板和下齿形板共同构成变形结构,夹持在其中的光纤随其变形而产生形变,

进而导致纤芯中的光强发生变化。根据光纤中光传导的理论,当光纤弯曲时就可以导致纤芯中光强发生变化,如果不对光纤做预弯曲,则当形变很微弱时难以得到理想的输出结果,所以使用齿形板来对光纤做预弯曲。为了能满足预弯曲的要求,上、下齿形板的齿槽通常加工成锯齿形,且上、下齿能很好地吻合,即上齿形板感受压力变化,并转换为结构形变;下齿形板相当于传感器基底,除了和上齿形板配合使光纤微弯,还和被测对象直接接触,给传感器提供安装基础;中间的光纤被上、下齿形板弯曲,并随弯曲程度改变纤芯中传输光的光强。



1.上齿形板;2.下齿形板;3.光纤。

图 1 传感器结构设计

根据光传导理论,光纤的光传导弯曲损耗可以用式(1)来表示,式中第一个括号内的内容通常视为常量,第二个括号内的内容对挑选敏感光纤有参考作用,这里的物理量大多是相对参数,没有固定的单位^[10-11]。

$$\gamma = (64\rho^2 l \eta^6 / L \alpha^4) (r^4 / d^2 \sigma^2) \quad (1)$$

式中: γ 为弯曲损耗; ρ 为光纤变形参数; l 为齿形板的有效长度; η 为光纤与齿形板相关系数; L 为齿形板齿距; α 为光纤折射率系数; r 为光纤纤芯半径; d 为光纤外径; σ 为光纤纤芯折射率与光纤包层折射率之差。

由式(1)可以看出,当光纤变形参数、齿形板的有效长度、光纤与齿形板相关系数、齿形板齿距、光纤折射率系数,也即齿形板结构、光纤,以及齿形板与光纤相对

位置等参数确定后,光纤的弯曲损耗正比于等式中的光纤纤芯半径的四次方,反比于光纤外径的两次方,因此实际应用中一般选择多模光纤作为敏感光纤。

2 服装压力测量系统设计

微弯光纤服装压力传感器的信号检测有两种方式,分别为检测纤芯光信号变化的方法与检测包层光信号变化的方法。因纤芯光信号检测相对更容易实现,故本文采用前一种方法,其检测原理如图 2 所示。



图 2 传感器工作示意图

由图 2 可知,由激光光源产生的入射光入射到多模光纤中,加载在传感器上的压力引起齿形板变形,进而引起敏感光纤产生微弯形变,光纤弯曲形变导致泄漏入包层的光强度变大或变小,从而影响到输出光信号的强度,输出光信号由光检测器检测,通过比对输出光强度的变化就能得到施加在齿形板上压力的变化结果。

这种方法较容易实现,但也存在一些问题:一是探测器所接收到的光除了包含从光纤纤芯射出的,还包含有进入包层后的泄漏光,因此,输出信号的“纯度”将受到影响,进而影响信号的有效性;二是该检测方法是一种单光路的结构,没有考虑光源波动的影响,因此使用时必须采用高度稳定的光源,以保证光源产生的波动误差控制在可接受的范围内。

为了解决上述问题,对图 2 所示的传感器进行改进,改进后的检测器工作原理如图 3 所示。

由图 3 可知,在传感器前后各增加一个模式去除器,以尽可能去

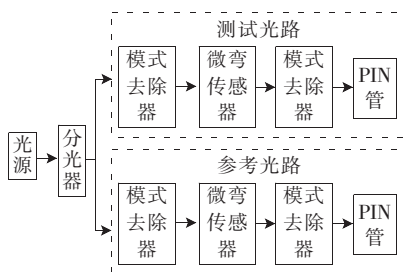


图3 改进后的检测器工作原理图

除包层中的泄漏光,保证输出光是“纯净”的;采用双光路设计,即两个完全相同的光路,其中参考光路在测试中完全不施加压力,两路光输出采集后取差,这样就可以有效减少因光源波动而带来的误差。

3 试验研究

为了验证上述服装压力测量系统的可行性,将微弯光纤压力传感器系统使用弹性构件隔水封装后置于量杯中,通过水位的高低来调节施加载荷的压力大小,如图4所示。

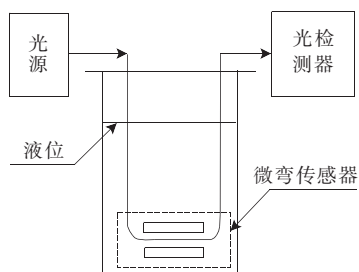


图4 试验测试图

其中光源为激光光源,为了减少泄漏,将激光光源和入射光纤封装为一体,经Y型光纤分光后进入两路光路。输出光纤接入完全相同的两组光敏器件,将变换后的电信号求差用于反映所加压力的大小。试验证实,当施加压力小于30 MPa时,输出信号电平与施加的载

荷基本满足线性关系,灵敏度大于10 Pa/mV;当施加压力大于30 MPa时,则出现了一定的非线性关系,但试验发现通过改变齿形板的材料、结构、齿距等参数可以影响到测试系统灵敏度的线性情况。

4 系统优缺点分析

4.1 优点

采用微弯光纤技术测试服装压力具有传统传感技术所不具备的3个优点。

a. 柔软

传感器能跟随待测结构做出弯曲,不限于平整区域,这有利于在不给被测结构带来额外应力的情况下测试并非平整的人体表面压力。

b. 尺寸小

光纤本身的外径仅仅几百微米,大约为人头发丝的一半直径大小,因此利用光纤制成的传感器尺寸较传统传感器如应变片等小很多,更利于传感器的布设。

c. 精度高

光纤微弯传感技术可以感受到几个帕的压力,且在一定范围内具有近似线性,有利于测试分析。

4.2 不足之处

目前,采用微弯光纤技术测试服装压力也存在一定问题,需要改进的3个方面包括:

a. 提高灵敏度以满足更高的测试要求;

b. 针对较高的光源要求,需要稳定的工作光源;

c. 面对实际测试对象时,需要考虑对传感器的封装保护,不能

应用于振动较剧烈的场合。

参考文献

- [1]李凯,苏建霞,周永凯.服装压力测量仪的研制[J].仪器仪表学报,2006,27(6):1555-1556.
- [2]崔立明,李凤阳,古长生,等.服装压力测试方法[J].吉林工程技术师范学院学报:自然科学版,2007,23(3):8-10.
- [3]崔立明,陈东生.服装压力测试技术的现状[J].国际纺织导报,2007(4):75-77.
- [4]陈红娟,李炜.服装压力测试研究[J].针织工业,2006(2):53-55.
- [5]宋晓霞,冯勋伟.服装压力与人体舒适性之关系[J].纺织学报,2006,27(3):103-105.
- [6]周彬,王慧玲,胡心怡.新型服装压力测试装置的设计[J].纺织科技进展,2007(3):70-71.
- [7]孟振华,李津.一种新型服装压力测试方法的研究[J].山东纺织科技,2006(5):38-41.
- [8]MITSUNO T, MAKABE H, MOMOTA H, et al. Studies on the clothing pressure(part 1), measurement by a hydrostatic pressure balanced method [J]. Journal of the Japan Research Association for Textile End-uses, 1991, 32(2): 369-372.
- [9]段杏元.服装压力测定方法的研究[J].针织工业,2006(11):53-55.
- [10]张兴周,李绪友,包建新.微弯型光纤传感器[J].传感器技术,1998,17(5):58-60.
- [11]乐孜纯.微弯光纤压力传感器应变膜片研究[J].光学·精密工程,1994,2(3):41-47.

收稿日期 2015年4月1日

公益广告

标准营造公平竞争环境,标准构建统一市场规则。

标准让市场更加规范,标准让消费者利益更有保障。