文章编号: 1008-1542(2006)02-0155-03

光纤光栅温度补偿实验研究

宁辰校, 张戍社

(河北科技大学机械电子工程学院, 河北石家庄 050054)

摘 要: 分析了光纤布拉格光栅对温度和应变传感的响应机制, 对光纤布拉格光栅传感中的应变和温度交叉敏感问题进行了讨论, 在此基础上提出了采用参考光栅实现光纤布拉格光栅应变传感时的温度补偿的基本原理和方法, 并通过实验进行了验证。理论和实验均证明, 与其他温度补偿方法相比, 笔者提出的参考光栅温度补偿法原理简单, 补偿效果好。

关键词: 光纤光栅; 温度传感; 应变传感; 交叉敏感

中图分类号: TN 929. 1 文献标识码: A

Study on temperature compensation for FBGs

NING Chen-xiao, ZHANG Xu-she

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050054, China)

Abstract: The response mechanism of fiber grating to temperature and strain is analyzed. The principle of cross-sensitivity of temperature and strain of fiber Bragg grating sensors is described. The temperature compensation of FBGs sensors for strain measurement is realized using reference fiber Bragg grating, which is studied experimentally in this paper. The experiment results and theory indicate that the method of reference fiber Bragg grating is very simple in principle, and has more accurate sensitivity.

Key words: fiber grating; temperature sensing; strain sensing; cross-sensitivity

光纤光栅已在世界范围内引起了人们广泛的关注, 由于它具有灵敏度高和易于实现多种形式的复用等许多优点, 因而在光纤通信、光纤传感等领域具有广阔的应用前景[1,2]。

与传统的通过光纤本身形变传感的光纤传感器相比, 光纤布拉格光栅(Fiber Bragg Grating)传感器的传感精度有了很大的提高, 具有许多其他传感元件无法比拟的优点。但是, 由于光纤光栅对温度与应变同时敏感, 使得通过测量光纤光栅耦合波长漂移较难对温度与应变加以区分, 这种交叉敏感效应严重影响着光纤光栅在传感领域的应用。近年来, 国内外学者提出了很多解决温度和应力交叉敏感的方案, 并取得了一定的成果[3~6]。本文采用一种简单易行、成本低廉的温度补偿方法, 即利用参考光纤光栅对传感光栅进行补偿, 使光纤光栅应变传感器向实用化迈进了一步。

1 补偿原理

根据光纤耦合模理论[1~3], 当宽带光在 FBG 中传输时, 将产生模式耦合, 满足 Bragg条件的一个窄带光谱将被反射回来:

收稿日期: 2005-01-12; 修回日期: 2005-12-13; 责任编辑: 陈书欣
基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(E2004000417)
作者简介: 宁辰校(1963-), 男, 河北邢台人, 副教授, 主要从事测试技术方面的研究。

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda, \quad (1)$$

式中: λ_B 为 Bragg波长; n_{eff}为导模的有效折射率; Λ 为光栅周期。

由光纤光栅传感原理可知, Bragg波长受温度和应变的双重影响, 当外界参量发生变化时, 应变通过影响光纤光栅的光栅周期 (Λ)和弹光效应引起波长漂移, 而温度则由于热膨胀和热光效应使得 Bragg波长发生变化, 忽略温度和应力的交叉敏感现象, 两者对光纤光栅波长相对漂移的总贡献为[1, 4]

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1 - p_e)\varepsilon_z + (\alpha + \xi)\Delta T, \quad (2)$$

式中: $p_e = n_{eff}^2[p_{12} - v(p_{11} + p_{12})]/2$为有效弹光系数; p_{11}和 p_{12}为弹光系数; v为纤芯材料的泊松比; $\Delta\lambda_B$ 为外界应力和温度作用下光栅 Bragg波长的移动量; α和 ξ分别为光纤的热膨胀系数和热光系数; ΔT 为温差; ε_z 为光纤的轴向应变。

单个光栅无法确定波长的移动是由什么参量的改变所引起, 即波长本身并不能区分温度与应变各自引起的波长变化。这就是温度与应变的交叉敏感问题, 它直接关系到测试结果的准确性, 是光纤光栅传感中必须要解决的问题。

近年来, 国内外学者提出了很多解决温度和应变交叉敏感的方案, 但在实际应用中都有一定的局限性。受应用电阻应变片测量应变时设置补偿片的温度补偿方法的启发[7], 本文采用参考光栅来消除温度对应变测量的影响, 即将温度补偿参考光栅与应变测量光栅串联在一路光纤上, 测量光栅根据需要粘贴在被测结构的表面或植入被测结构的内部, 参考光栅处于自由状态且与测量光栅处于相同的温度场中, 所用 2个光纤光栅的温度灵敏度系数应相同。

如果测量光栅 FBG_1 和参考光栅 FBG_2 的 Bragg反射波长分别为 λ_{B1}和 λ_{B2}, 当温度发生变化时, 假设测量光栅的 Bragg波长漂移为 $\Delta\lambda'_{B1}$, 参考光栅的 Bragg波长漂移为 $\Delta\lambda'_{B2}$, 则两者之间存在如下的关系:

$$\Delta\lambda'_{B1} = \frac{\lambda_{B1}}{\lambda_{B2}}\Delta\lambda'_{B2}, \quad (3)$$

此时可以得到应变表达式:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\lambda_{B1} - \Delta\lambda'_{B1}}{K_\varepsilon}, \quad (4)$$

式中: $\Delta\lambda_{B1}$为由应变和温度共同引起的测量光纤光栅的波长漂移; K_ε 为光纤光栅应变传感器应变灵敏系数。

这样即可达到温度补偿的目的。

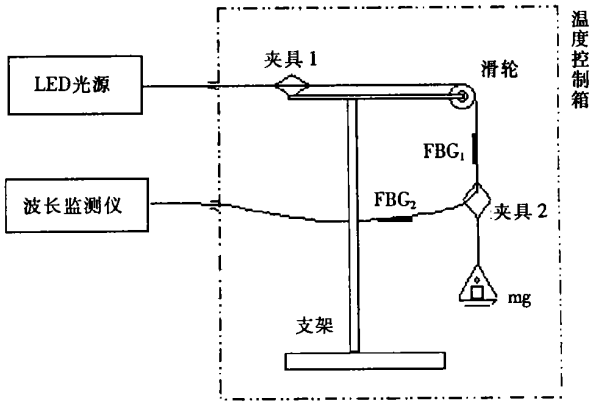

图 1 实验装置示意图

Fig 1 Diagram of the test system

2 实 验

温度补偿实验装置见图 1。图中双点划线表示所用的温度自动控制箱, 其温度控制范围为 20~200 ℃, 精度为 1 ℃。夹具 1和滑轮均固定于支架横梁上, 光纤的前端由夹具 1固定。实验中采用在光纤另一端加砝码的方式给测量光栅 FBG_1 施加轴向拉力, FBG_2 为温度补偿参考光栅。实验所用光栅的自由波长为 λ_1 = 1 545.00 nm, λ_2 = 1 550.54 nm, 为了验证温度补偿结果的可靠性, 首先分别进行光纤光栅温度和应变的传感特性实验。图 2是光纤光栅 FBG_2 的透射谱图。

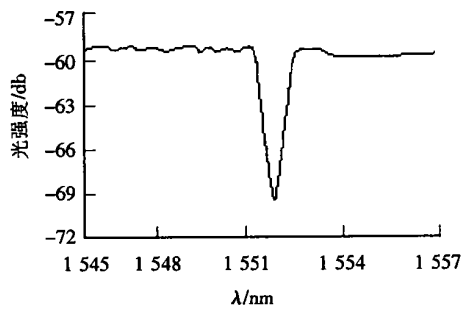

图 2 光纤光栅 FBG_2 透射谱图

Fig. 2 Transmission of the FBG_2

为了避免将 FBG拉断, 笔者在 0~50 g的范围内测量了 FBG_1 中心波长随轴向应力的变化关系。图 3为根据实验结果绘出的 FBG_1 中心透射波长同轴向应力的关系曲线。

测试温度为 25~70 ℃, 每隔 5 ℃测量 1次, 图 4为根据实验结果绘出的 FBG中心透射波长同温度的关系曲线。

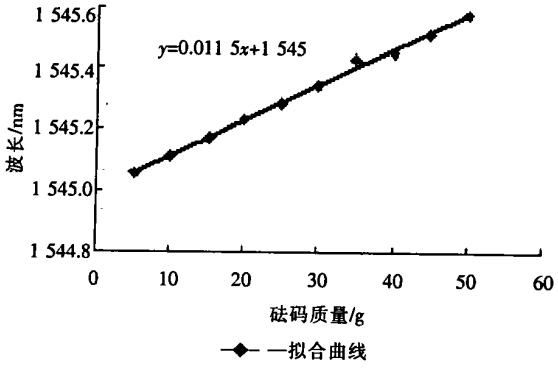

图 3　光纤光栅 FBG_1 应力响应曲线

Fig. 3　Response of FBG_1 to strain

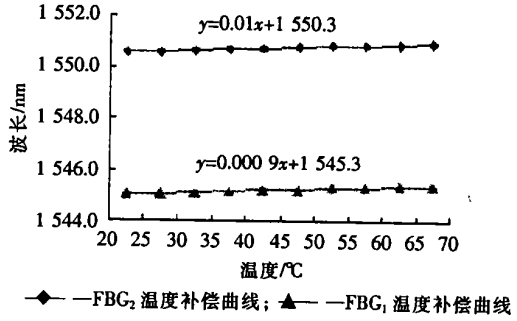

图 4　光纤光栅温度响应曲线

Fig. 4　Response of FBG_1 and FBG_2 to temperature

实验所用 2 个光栅的材料和制作方法完全相同，从温度特性曲线上也可以看出这一点，2 条直线的斜率几乎相同，表示 2 个光栅的温度灵敏度系数相同。利用这个特性，根据式(3)和式(4)，可以用 FBG_2 对 FBG_1 进行温度补偿。

当温度和应力同时变化时，测量 FBG_1 和 FBG_2 的透射光谱，绘出曲线，见图 5。

比较得知，补偿后的曲线与仅受拉力时的曲线表示的应力灵敏度系数几乎相同。可见，采用以上温度补偿法，较好地解决了光纤光栅应力测量时的温度补偿问题。

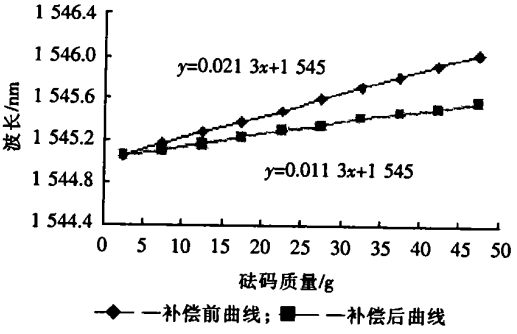

图 5　光纤光栅温度补偿曲线

Fig. 5　Diagrams of the temperature compensation of FBG

3 结　论

本文提出了采用参考光栅实现光纤光栅应变传感时的温度补偿的基本原理和方法，并通过实验进行了验证。比较得知，补偿后的曲线与仅受应力时的曲线几乎相同。可见，采用本文的温度补偿法较好地解决了温度对应变传感的测试精度影响，为光纤光栅实用化打下了基础。

参考文献：

[1] 廖延彪. 光纤光学 [M]. 北京：清华大学出版社，2000.

[2] BUTTER C D, HOCKER G B. Fiber optics strain gauge[J]. Appl Opt, 1978, 17(18): 2 867-2 869.

[3] 张戍社，宁辰校，周荣芳. 基于光纤光栅的振动参数监测及信号处理系统 [J]. 河北科技大学学报，2005, 26(2): 142-145.

[4] 王目光，李唐军，卓　锋，等. 光纤光栅传感器应变和温度交叉敏感问题分析 [J]. 光通信研究，2001, 108(6): 50-53.

[5] KERSEY A D, DAVIS M A, PATRICK H J, et al. Fiber grating sensors[J]. Lightwave Technol, 1997, 15(8): 1 442-1 462.

[6] 张戍社. 基于光纤光栅的缆索智能结构研究及应用 [D]. 北京：北京交通大学，2005.

[7] 万里冰. 埋光纤布拉格光栅传感器智能材料与结构研究 [D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2003.

简讯

我校两科技期刊被英国 INSPEC 数据库 (SA) 收录论文已达 230篇

根据中国科学技术期刊编辑学会国际交流工作委员会、中国高等学校自然科学学报研究会对外联络委员会朱诚先生提供的统计数据，截止到 2005-10-10我校主办的两科技期刊——《河北科技大学学报》已被英国 INSPEC 数据库 (SA)收录论文 106篇，《河北工业科技》已被英国 INSPEC数据库 (SA)收录论文 124篇，两刊共计被收录论文已达 230篇。

(本刊编辑部)