

文章编号: 1006-6616 (2013) 03-0315-10

# 用于断层测量的温度补偿光纤外腔型 法布里 - 珀罗位移传感器

彭 华<sup>1,2</sup>, 马秀敏<sup>1,2</sup>, 王 震<sup>3</sup>, 崔留住<sup>3</sup>, 江 毅<sup>3</sup>

(1. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3. 北京理工大学光电学院, 北京 100081)

**摘 要:** 针对光纤 EFPI 传感器通常尺寸很小, 而断层尺寸相对较大, 导致光纤 EFPI 传感器在待测断层处安装不便的情况, 提出了一种可用于断层测量的光纤外腔型法布里 - 珀罗位移传感器。两根陶瓷插芯从陶瓷套管的两端插入构成 EFPI 结构, 通过使用金属内管和金属外管, 增大了光纤 EFPI 位移传感器的尺寸; 并且金属外管的两端采用 O 型圈密封, 因此该 EFPI 位移传感器能够防水防尘。为了消除温度对 EFPI 位移传感器的影响, 两根金属内管采用了不同热膨胀系数的材料在结构上进行温度补偿。在温度连续变化的环境下, 对腔长为 718.39 m 的 EFPI 位移传感器进行了测量。测量结果显示, 经过温度补偿设计后, 位移传感器的温度系数由  $0.14 \mu\text{m}/\text{C}$  下降到了  $-0.04 \mu\text{m}/\text{C}$ , 并呈现过补偿。

**关键词:** 光纤传感器; 外腔型法布里 - 珀罗干涉仪; 温度补偿; 断层测量

**中图分类号:** TH744.3

**文献标识码:** A

## 0 引言

随着我国各领域工程建设的不断发展, 对地壳运动规律的研究也越来越被人们所关注, 其中对断层的研究有助于桥梁、铁路、隧道、水库、厂房、核电站等建筑的选址建设勘察设计, 同时, 研究断层两侧地壳的相对运动状态对预防地震等地质灾害也有着重要的指导意义。

断层是指在岩石破裂面两侧的岩体有相对的运动。断层大小不一、规模不等, 小的断层只有数米, 大的断层可绵延数千千米。由于地壳会在断层处做水平或者垂直的相互滑动, 因此在断层处经常会发生地震。断层的种类通常根据两断层面相对移动的关系而分有正断层、逆断层及走滑断层等 3 种。

收稿日期: 2013-03-11

**基金项目:** 科技支撑计划项目“汶川地震断裂带科学钻探——井中科学探测”课题及“地震断裂带的应力环境、应变能的分布及其与地震关系”课题; 中国地质调查局地调项目 (1212010916064); 公益性行业专项基金项目 (201008009)

**作者简介:** 彭华 (1964-), 男, 研究员, 长期从事地应力、地应力测量与监测、地学仪器设备研制、岩石力学等方面的研究工作。E-mail: ph68486797@yahoo.com.cn

对于断层的测量,电子传感器通常会受到电磁场的干扰,很难长期保持稳定优良的性能;并且电子传感器体积和重量都较大,不适于进行分布式的断层测量。相比电子传感器,光纤外腔型法布里-珀罗传感器(Fibre Optic Extrinsic Fabry-Perot Interferometric sensor,简称EFPI传感器)在断层测量方面具有多种优势,包括:测量分辨率高,可靠性和稳定性高,对电磁干扰不敏感,体积小,重量轻,易于制造以及易于实现分布式测量<sup>[1-2]</sup>。通常将输入光纤和反射光纤分别从石英毛细管的两端插入,并且用环氧树脂将光纤与毛细管固定在一起,构成光纤EFPI传感器<sup>[3]</sup>。两根光纤的端面 and 端面之间的空隙构成了一个法-珀腔(F-P腔)。被测参数(如位移)的变化被转化为EFPI传感器的腔长变化。而EFPI传感器的腔长变化导致了干涉条纹形状的变化,解调仪接收干涉条纹,并通过分析干涉条纹解调出被测量。

由于构成EFPI传感器的光纤,毛细管以及环氧树脂通常具有不同的热膨胀系数(TEC),因此在很多实际应用中,EFPI传感器的测量精度会受到环境温度变化的影响<sup>[4]</sup>。为了减小温度的影响,需要对温度变化所引起F-P腔长的变化进行补偿。一种温度补偿技术是将光纤布拉格光栅传感器(Fibre Bragg Grating sensor,简称FBG传感器)与EFPI传感器联合起来使用。EFPI传感器用于测量被测参数,而FBG传感器作为参考传感器测量温度。根据FBG传感器测量的温度以及由温度变化引起的F-P腔长的变化,可以得到温度-腔长关系;根据温度-腔长关系,可以将温度引起的腔长变化从测量得到的腔长中去掉,进而得到准确的由被测参数引起的腔长变化<sup>[5-9]</sup>。通过这一方法,消除了温度对测量结果的影响。一种相似的温度补偿技术是将铈掺杂荧光光纤与EFPI传感器结合<sup>[10-11]</sup>。铈掺杂光纤如同FBG传感器一样,作为参考传感器来测量温度。另一种温度补偿方法是采用不同的材料制作EFPI传感器,因为不同的材料具有不同的热膨胀系数,通过EFPI传感器的结构和材料特性进行温度补偿<sup>[12]</sup>。

然而,虽然光纤EFPI传感器有诸多优点,但是由于光纤EFPI传感器的尺寸通常很小,而断层的尺寸相对较大,因此光纤EFPI传感器在待测断层处的安装会遇到一定困难。

本文设计了一种用于断层处位移测量的光纤EFPI位移传感器。在设计的光纤EFPI位移传感器中,两根陶瓷插芯从陶瓷套管的两端插入,构成EFPI结构。两根陶瓷插芯分别固定在两根金属内管上,而金属内管分别从金属外管的两端插入金属外管。通过使用金属内管和金属外管,增大了光纤EFPI位移传感器的尺寸,便于把传感器布置在断层处进行测量。由于设计的EFPI位移传感器中的部件使用不同的材料制成,且部件尺寸比普通光纤传感器大,致使环境温度对位移传感器的影响变得比较明显,需要对EFPI位移传感器进行温度补偿,因此EFPI位移传感器的两根金属内管分别采用了两种具有不同热膨胀系数的材料在结构上进行温度补偿,使得设计的EFPI位移传感器具有自温度补偿的能力。

## 1 EFPI位移传感器结构与温度补偿原理

### 1.1 EFPI位移传感器结构

EFPI位移传感器的结构如图1所示。两个光纤陶瓷插芯插入一个陶瓷套管中,用陶瓷插芯的端面做反射面,把两个陶瓷插芯相对放置,使其端面相互平行,形成F-P谐振腔结构。一个带尾纤的陶瓷插芯,用来传光,另外一个不带尾纤的陶瓷插芯,其端面镀反射膜,

起反射镜的作用。用高强度的环氧树脂将两个光纤陶瓷插芯分别粘接在两根金属内管上。带尾纤的陶瓷插芯固定在金属内管1上，尾纤作为入射光纤，不带尾纤但端面镀反射膜的陶瓷插芯固定在金属内管2上。金属内管、陶瓷套管以及陶瓷插芯装入一根金属外管中。

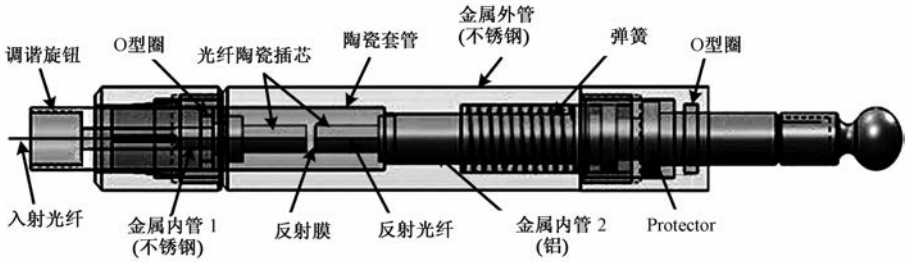


图1 EFPI位移传感器结构

Fig. 1 Structure of the EFPI displacement sensor

为了减少温度对位移测量的影响以及增加传感器的强度，传感器制作材料选择了线膨胀系数小且硬度高的不锈钢。不锈钢外管的两端使用O型圈密封，使EFPI位移传感器能够防水防尘，保证传感器在潮湿泥泞的环境中正常工作。在EFPI位移传感器中设计有一个调谐旋钮。通过这个调谐旋钮可以设置EFPI位移传感器的初始腔长。当松开调谐旋钮后，金属内管1可以在轴向做一维的移动；调谐旋钮锁紧后，金属内管1将固定在不锈钢外管中。金属内管2可以随着被测断层位移进行轴向移动，随着金属内管2的轴向移动，EFPI位移传感器的腔长发生改变。金属内管2的最大移动范围为3 mm。在EFPI位移传感器中使用了一支弹簧来重置金属内管2的初始位置。在被测位移和弹簧的共同作用下，金属内管2就可以进行轴向的双向移动。因此EFPI位移传感器便能够测量出一维的双向位移。在EFPI位移传感器中还设计有限位保护装置，用来防止金属内管2的过量程移动，防止陶瓷插芯的端面相接触甚至相挤压而损坏。在实际应用时，使用一根长度很长的不锈钢制钢管，钢管埋设于待测断层带处，并横跨2个断层面。光纤EFPI位移传感器安装并固定在这根钢管内。当断层运动产生位移时，不锈钢管会受到断层运动的作用而被拉伸或者压缩，产生轴向的形变。不锈钢管的形变带动了固定于钢管内的EFPI位移传感器的金属内管的移动，导致位移传感器的F-P腔的腔长发生改变。通过测量F-P腔长的变化，就可以感知并测量出断层位移的大小。这种方案解决了普通光纤传感器体积小，在被测断层处安装困难的问题。在EFPI位移传感器的制作组装过程中，要求机械加工精度高，特别要做到各个部件之间保持同心，同心度的好坏直接影响传感器的性能。

## 1.2 温度补偿原理

为了补偿由于外界环境温度变化所引起的位移传感器F-P腔长的变化，本文采用了2种具有不同热膨胀系数的材料在结构上进行温度补偿。温度补偿的结构原理如图2所示。2根内管分别采用不同热膨胀系数的不锈钢和铝加工。金属外管和金属内管1的材料为不锈钢，热膨胀系数为 $16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；金属内管2的材料为铝，热膨胀系数为 $23.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；而陶瓷插芯的热膨胀系数为 $11.45 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。当温度升高时，不锈钢外管受热膨胀，导致EFPI腔长增大。随后金属内管和陶瓷插芯也受热膨胀，导致EFPI腔长减小。但是，陶瓷插芯的受热膨胀小于不锈钢，而铝的受热膨胀大于不锈钢。因此采用温度补偿的EFPI位移传感器的腔长不受温度变化的影响。

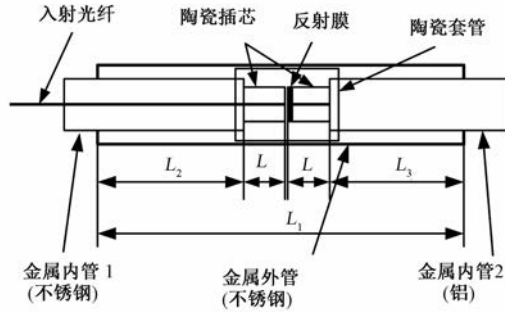


图2 温度补偿的结构原理

Fig. 2 Principle diagram of temperature compensation

基于图2结构的EFPI的腔长随温度变化可以表示为:

$$\Delta d = (\alpha_s L_1 - \alpha_s L_2 - \alpha_a L_3 - 2\alpha_c L) \Delta T \quad (1)$$

式中:  $d$ ——由温度变化引起的腔长的变化量, mm;

$T$ ——温度的变化量,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$L_1, L_2, L_3, L$ ——不锈钢外管、不锈钢制金属内管1、铝制金属内管2和陶瓷插芯长度, mm;

$\alpha_s, \alpha_a, \alpha_c$ ——不锈钢、铝和陶瓷插芯的热膨胀系数,  $1/^{\circ}\text{C}$ 。

当温度变化时, 要保证EFPI的腔长不变, 就需要令  $\Delta d = 0$ , 即:

$$(\alpha_s L_1 - \alpha_s L_2 - \alpha_a L_3 - 2\alpha_c L) = 0 \quad (2)$$

EFPI位移传感器的不锈钢外管的外形尺寸为  $\Phi 10 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$ , 有效工作长度  $L_1$  为 60 mm, 陶瓷插芯是预制器件, 有效长度  $L$  为 7 mm, 根据公式(2)可算出不锈钢金属内管1的理论有效长度  $L_2$  为 34 mm, 铝制金属内管2的理论有效长度  $L_3$  为 12 mm。

## 2 EFPI位移传感器的测试实验

将EFPI位移传感器安装固定在位移平台上, 固定过程中要使传感器在轴向保持水平, 以得到尽可能好的干涉与测量效果(见图3)。位移平台的两端有挡板, 其中一端的挡板是固定的, 另一端的挡板则可随着位移平台的滑块移动。EFPI位移传感器中安装有金属内管2和复位弹簧的一端与可移动的挡板相连, 而另一端安装在固定挡板上。通过旋转位移平台上的调谐旋钮, 可以改变位移平台上2个挡板之间的距离, EFPI位移传感器的腔长会随之改变。本文使用白光干涉解调系统解调EFPI位移传感器的腔长, 并计算可移动挡板的位移量。如图3所示, 系统中使用放大自发辐射光源(Amplified Spontaneous Emission source, 简称ASE)作为宽带光源输出宽带光(白光)。白光通过3 dB耦合器和输入光纤, 入射进入EFPI位移传感器中。EFPI传感器反射出的干涉光再次经过入射光纤和耦合器, 入射进入白光干涉解调仪(White-Light Interferometric Interrogator, 简称WLI)<sup>[13]</sup>。WLI采集到的EFPI位移传感器的白光光谱如图4所示。WLI对白光光谱进行分析与计算, 能够从光谱中解调出EFPI传感器的绝对腔长, WLI的测量分辨率可以达到  $1 \text{ nm}$ <sup>[14]</sup>。通过EFPI位移传感器的初始腔长和WLI测量得到的腔长, 能够得到可移动挡板的位移量。在实验中, 设置EFPI位移

传感器的初始腔长为 200  $\mu\text{m}$ ，并保持温度恒定。通过调节位移平台的调谐旋钮，使位移平台的 2 个挡板之间的距离增大，EFPI 位移传感器的腔长也随之相应增大。用 WLI 测量出可移动挡板的位移量，测量结果如图 5 所示。

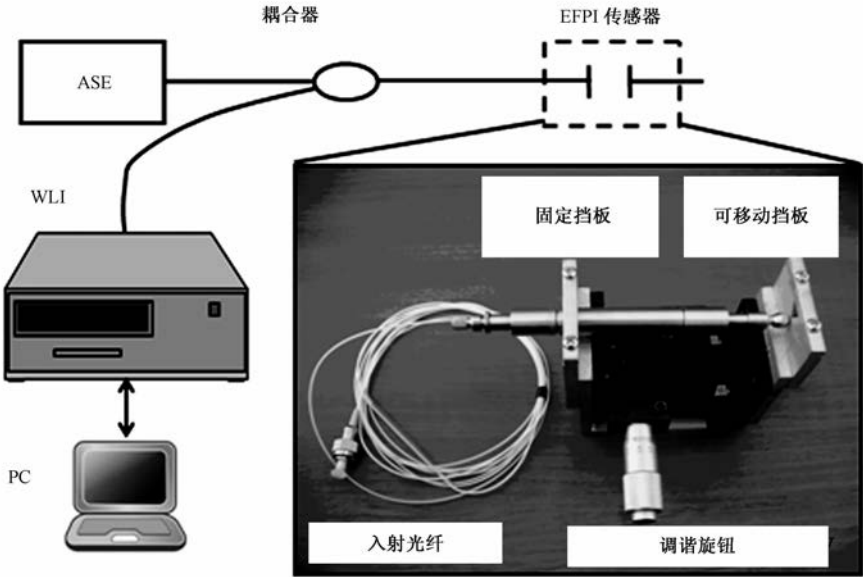


图 3 实验结构原理，EFPI 位移传感器及位移平台

Fig. 3 Experiment setup, the EFPI displacement sensor and the linear stage

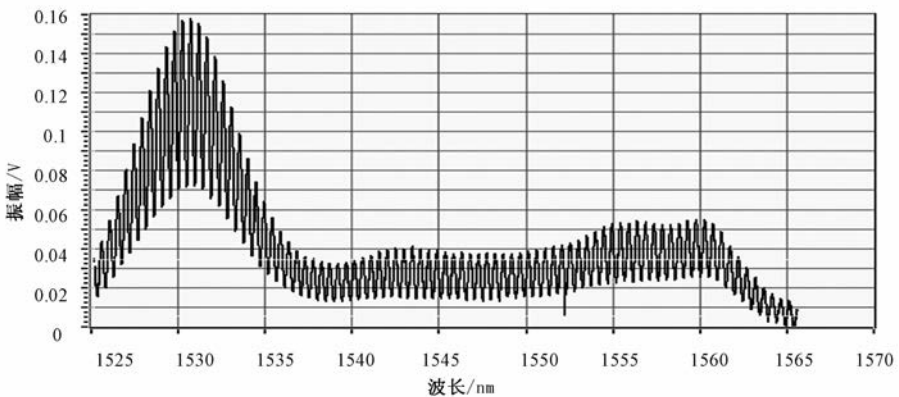


图 4 WLI 采集到的 EFPI 位移传感器的白光光谱

Fig. 4 White-light optical spectrum of the EFPI displacement sensor obtained by WLI

通过实验对 EFPI 位移传感器的温度补偿效果进行了测试。测试实验中使用了 2 个 EFPI 位移传感器，其中一个 EFPI 位移传感器使用了温度补偿，另一个则没有使用温度补偿。用白光干涉解调仪分别对这 2 个 EFPI 位移传感器进行测量。测量过程中改变温度，测量并记录因温度变化而导致的 EFPI 位移传感器的腔长变化，并对这 2 个 EFPI 位移传感器的测量结果进行比较。

首先对无温度补偿的 EFPI 位移传感器进行测量。无温度补偿的 EFPI 位移传感器的 2 个

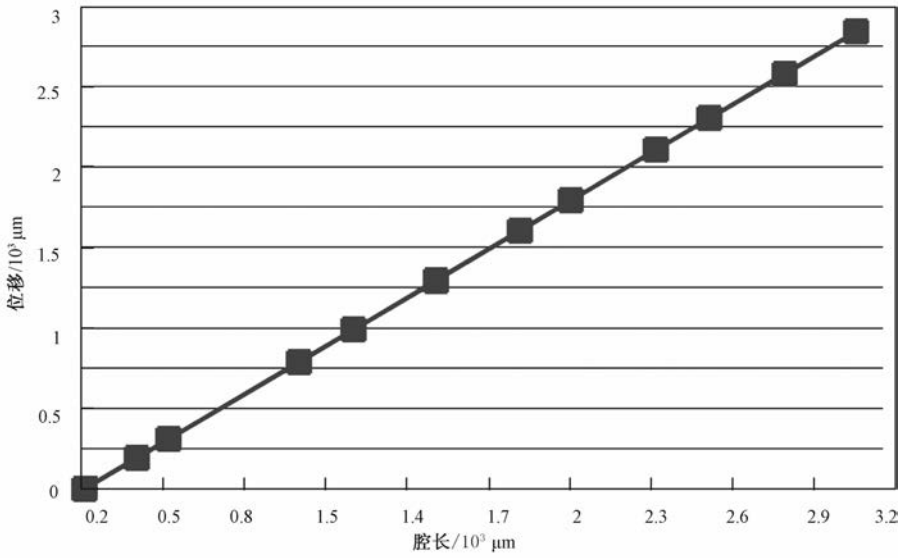


图 5 使用白光干涉解调仪得到的位移测量结果

Fig. 5 Displacement measurement results of the WLI

金属内管皆由不锈钢制成。将该 EFPI 位移传感器和温度计置于烘箱中，并对该 EFPI 位移传感器进行 2 次测量实验。在第一次测量中，EFPI 位移传感器的初始腔长设置为 490.43 m，烘箱内的初始温度为 40 °C。随后加热烘箱，使烘箱内的温度由 40 °C 上升至 65 °C。不同温度下的腔长测量结果见图 6a。对图 6a 所示的数据进行线性拟合，拟合直线的系数为 0.138 m/°C，相关系数为  $R^2$  为 0.998。在第二次测量中，EFPI 位移传感器的初始腔长设置为 1490.40 m，烘箱内的初始温度为 35 °C，随后加热至 65 °C，不同温度下腔长的测量结果见图 6b。同样对图 6b 所示的数据进行线性拟合，拟合直线的系数为 0.142 m/°C，相关系数  $R^2$  为 0.999。从图 6 中可以看出，腔长随温度的变化呈线性变化。虽然在 2 次测量实验中，EFPI 位移传感器的初始腔长相差 1000 m，但是腔长 - 温度关系系数的变化仅为 4 nm/°C。因此可以认为对于 EFPI 位移传感器，腔长 - 温度变化关系恒定，不受初始腔长的影响。但是没有温度补偿的 EFPI 位移传感器的腔长受到了温度的影响，因此需要进行温度补偿。

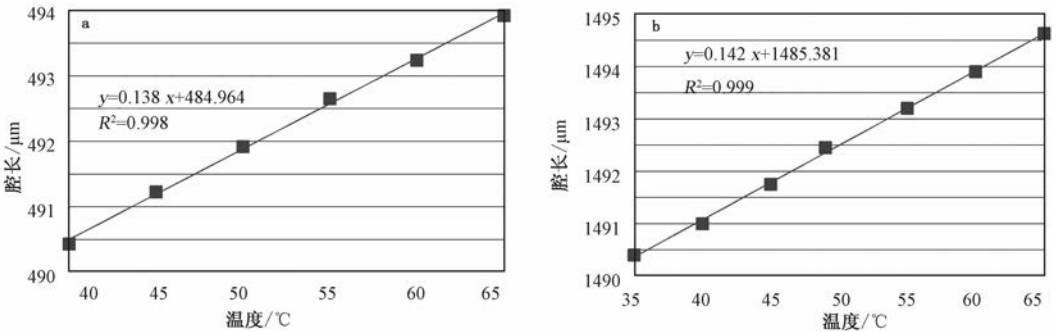


图 6 无温度补偿时腔长 - 温度的关系

Fig. 6 Cavity lengths without the temperature compensation in different temperatures

接下来对采用温度补偿的 EFPI 位移传感器进行测量。将 EFPI 位移传感器与温度计置于

烘箱中。EFPI 位移传感器的初始腔长设置为 716.23 m，烘箱内初始温度为 30 ℃，随后加热至 55 ℃。不同温度下腔长的测量结果见图 7。对图 7 所示的测量数据进行线性拟合，拟合直线的系数为  $-0.045 \text{ m}/\text{℃}$ 。与没有温度补偿之前腔长 - 温度关系的系数  $0.142 \text{ m}/\text{℃}$  相比较，可以看出温度补偿的效果明显。

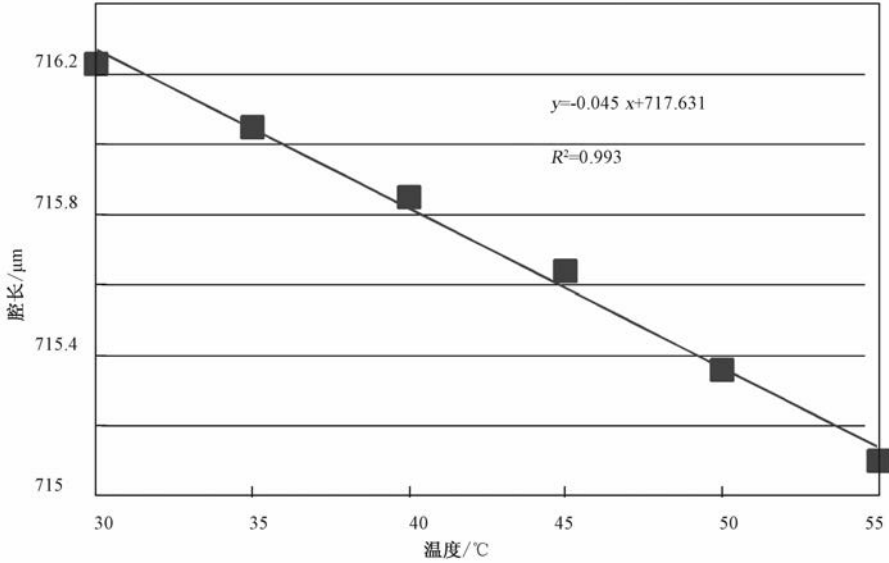


图 7 有温度补偿情况下腔长 - 温度的关系 (初始腔长 716.23 m)

Fig. 7 The cavity length with the temperature compensation in different temperatures

但是在温度补偿的作用下，随温度的升高，腔长并未保持不变而是减小，腔长 - 温度关系的系数由正值变为了负值，即出现了过补偿的现象。导致过补偿现象出现的原因有以下几点：①铝制金属内管的有效长度长了一些，一方面是由于在进行有效长度计算时，使用的理论热膨胀系数和实际材料的热膨胀系数之间存在着误差；另一方面是由于在设置初始腔长时，改变了不锈钢金属内管 1 的初始位置。若设置一个较长的初始腔长，则不锈钢金属内管 1 的有效长度将变短，从而导致金属内管 2 的有效长度相对地变长。②在制作金属外管和金属内管过程中的机械加工误差。③在温度变化过程中，EFPI 位移传感器中的弹簧的形变等不稳定因素引起的误差。

在温度连续变化的情况下，实验测量了带有温度补偿的 EFPI 位移传感器的腔长变化。将具有温度补偿的 EFPI 位移传感器与温度计置于烘箱中，并且使用白光干涉解调仪测量 EFPI 的腔长，测量结果见图 8。烘箱的初始温度为 17 ℃。实验开始时烘箱的温度不变，此时 EFPI 位移传感器的腔长没有变化（见图 8 中区域 A）。随后开始加热烘箱，烘箱内温度开始升高，EFPI 位移传感器的金属外管因为受热而膨胀，EFPI 的腔长增大（见图 8 中区域 B）。随着热量传导至金属外管的内部，金属内管和陶瓷插芯开始受热膨胀。由于铝的热膨胀系数大于不锈钢，因此铝制金属内管的热膨胀大于不锈钢外管的膨胀，导致 EFPI 位移传感器的腔长减小（见图 8 中区域 C）。当烘箱内温度达到 80 ℃时，停止对烘箱进行加热，烘箱内的温度开始下降。由于温度下降，EFPI 位移传感器的不锈钢外管首先开始收缩。金属外管的收缩使得 EFPI 的腔长继续减小（见图 8 中区域 D）。金属外管内部随着热量的散失逐渐冷却，温度下降。金属内管和陶瓷插芯因为冷却开始收缩。同样因为铝的热膨胀系数大于

不锈钢, 铝制金属内管的收缩大于不锈钢外管的收缩, 导致 EFPI 位移传感器的腔长开始增大 (见图 8 中区域 E)。当烘箱内温度回落到初始温度时, EFPI 位移传感器的腔长接近, 但是却不完全等于实验开始时的初始腔长 (见图 8 中区域 E)。导致这一现象的一个原因是由于 EFPI 位移传感器的温度, 特别是金属内管、陶瓷套管和陶瓷插芯的温度并没有完全回落到初始温度; 另一个原因是 EFPI 位移传感器中的弹簧受到温度变化的影响, 弹簧的弹性变得不稳定, 导致铝制金属内管 2 的位置发生了变化。在实验中, EFPI 位移传感器的初始腔长为 718.39  $\mu\text{m}$ , 最大腔长值为 718.93  $\mu\text{m}$ , 最小腔长值 713.98  $\mu\text{m}$ 。烘箱内温度从 17  $^{\circ}\text{C}$  变化到 80  $^{\circ}\text{C}$  的过程中, EFPI 位移传感器的腔长变化了 4.954  $\mu\text{m}$ , 测量结果的标准差为 1.196  $\mu\text{m}$ 。

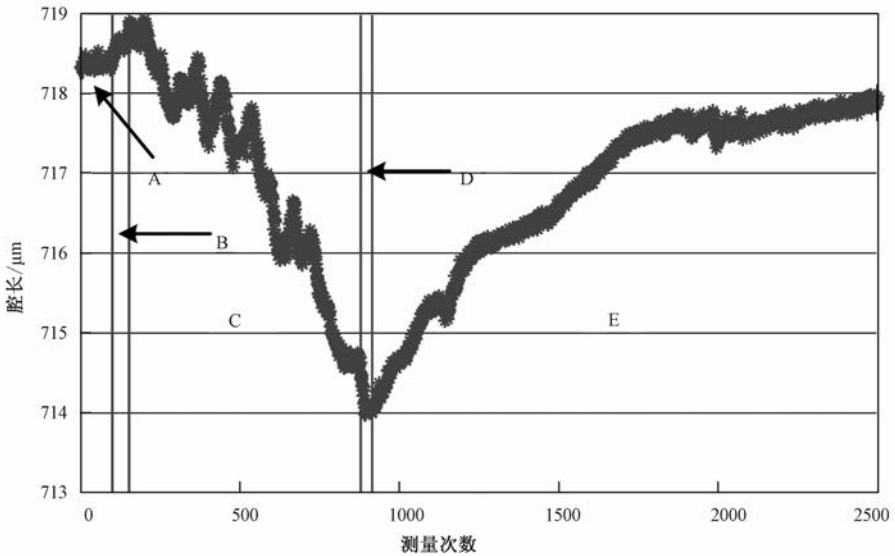


图 8 温度连续变化时有温度补偿的 EFPI 位移传感器的腔长变化

Fig. 8 Change of the cavity length with the temperature compensation, when the temperature is continuously changed

### 3 结论

本文根据断层的形式及特点, 设计了一种用于断层位移测量的光纤 EFPI 位移传感器。2 根带光纤的陶瓷插芯从一个陶瓷套管的 2 端插入, 构成了 F-P 腔结构。使用高强度环氧树脂将这 2 根陶瓷插芯粘接固定在 2 根金属内管上。EFPI 位移传感器的不锈钢外管的 2 端使用 O 型圈进行密封, 以达到防水防尘的效果。使用金属内管和金属外管, 不但提高了传感器的强度, 还适当增大了 EFPI 位移传感器的尺寸, 使 EFPI 位移传感器易于安装布置在被测断层处。EFPI 位移传感器内设计有限位保护装置, 避免由于过量程而导致陶瓷插芯损坏。通过一个可调谐旋钮, 可以设置 EFPI 位移传感器的初始腔长。EFPI 传感器中还使用了一个复位弹簧, 使得传感器能够测量一维的双向位移。EFPI 位移传感器的 2 个金属内管分别由具有不同热膨胀系数的不锈钢和铝制成, 从结构上进行温度补偿。在实验中, 通过采用温度补偿, 腔长-温度关系的系数由 0.142  $\text{m}/^{\circ}\text{C}$  降低至 -0.045  $\text{m}/^{\circ}\text{C}$ , 温度补偿的作用是有有效的。在连续测量实验中, 当温度由 17  $^{\circ}\text{C}$  连续变化至 80  $^{\circ}\text{C}$  时, 腔长变化了 4.954  $\mu\text{m}$ 。



## 参 考 文 献

- [ 1 ] Bhatia V, Murphy K A, Claus R O, et al. Recent developments in optical-fiber-based extrinsic Fabry-Perot interferometric strain sensing technology [J]. *Smart Materials and Structures*, 1995, 4 (4): 246 ~ 251.
- [ 2 ] Lee B. Review of the present status of optical fiber sensors [J]. *Optical Fiber Technology*, 2003, 9 (2): 57 ~ 79.
- [ 3 ] Murphy K A, Gunther M F, May R G, et al. EFPI sensor manufacturing and applications [C] //Crowe C R. *Smart Structures and Materials 1996: Industrial and commercial applications of smart structures technologies*. San Diego: The International Society for Optical Engineering, 1996: 476 ~ 482.
- [ 4 ] Xiao H, Deng J D, Wang Z Y, et al. Fiber optic pressure sensor with self-compensation capability for harsh environment applications [J]. *Optical Engineering*, 2005, 44 (5): 544 ~ 547.
- [ 5 ] Ferreira L A, Ribeiro A B L, Santos J L, et al. Simultaneous measurement of displacement and temperature using a low finesse cavity and a fiber Bragg grating [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1996, 8 (11): 1519 ~ 1521.
- [ 6 ] Ferreira L A, Ribeiro A B L, Santos J L, et al. Simultaneous displacement and temperature sensing using a white light interrogated low finesse cavity in line with a fiber Bragg grating [J]. *Smart Materials and Structures*, 1998, 7 (2): 189 ~ 194.
- [ 7 ] Liu T, Fernando G F, Rao Y J, et al. Simultaneous strain and temperature measurements in composites using a multiplexed fibre Bragg grating sensor and an extrinsic Fabry-Perot sensor [C] //Claus R O. *Smart structures and materials 1997: Smart Sensing, Processing, and Instrumentation*. San Diego: The International Society for Optical Engineering, 1997: 203 ~ 212.
- [ 8 ] Bremer K, Lewis E, Moss B, et al. Conception and preliminary evaluation of an optical fibre sensor for simultaneous measurement of pressure and temperature [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2009, 178 (1): 12 ~ 16.
- [ 9 ] Bremer K, Lewis E, Leen G, et al. 2011 Temperature compensated miniature all-glass fibre optic pressure sensor [C] // Institute of Electrical and Electronics Engineers. *Sensors*. Piscataway: IEEE, 2011: 105 ~ 108.
- [ 10 ] Liu T, Fernando G F, Zhang Z Y, et al. Simultaneous strain and temperature measurements in composites using extrinsic Fabry-Perot interferometric and intrinsic rare-earth doped fiber sensors [J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2000, 80 (3): 208 ~ 215.
- [ 11 ] Zhang Z Y, Grattan K T V, Palmer A W, et al. Potential for temperature sensor applications of highly neodymium-doped crystals and fiber at up to approximately 1000°C [J]. *Review of Scientific Instruments*, 1997, 68 (7): 2759 ~ 2763.
- [ 12 ] Xu J C, Wang X W, Cooper K L, et al. Miniature temperature-insensitive Fabry-Perot fiber-optic pressure sensor [J]. *Photonics Technology Letters*, 2006, 18 (10): 1134 ~ 1136.
- [ 13 ] Jiang Y. 2008 Fourier transform white-light interferometry for the measurement of fiber-optic extrinsic Fabry - Pérot Interferometric sensors [J]. *Photonics Technology Letters*, 20 (2): 75 ~ 77.
- [ 14 ] Jiang Y, Tang C J. High-finesse micro-lens fiber-optic extrinsic Fabry - Perot interferometric sensors [J]. *Smart Materials and Structures*, 2008, 17 (5): 55 ~ 67.

## A FIBRE OPTIC EXTRINSIC FABRY-PEROT INTERFEROMETER WITH TEMPERATURE COMPENSATION FOR FAULT MEASUREMENT

PENG Hua<sup>1,2</sup>, MA Xiu-min<sup>1,2</sup>, WANG Zhen<sup>3</sup>, CUI Liu-zhu<sup>3</sup>, JIANG Yi<sup>3</sup>

(1. *Key Lab of Neotectonic Movement and Geohazards, Ministry of Land and Mineral Resources, Beijing 100081, China;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

3. *School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)*

**Abstract:** Fibre optic EFPI sensor is usually very small in size while the fault size is relatively big, so it is not suitable to be installed at the fault for the fibre optic EFPI. As a result, fibre optic extrinsic Fabry-Perot interferometer for fault measurement, EFPI was present. EFPI structure is formed as two ceramic ferrule inserted into the ceramic casing from the ends. Two ceramic ferrule are respectively fixed on the two metal inner tube, which are inserted into the metal outer tube from the two ends. O-type sealing rings are put at each end of the metal outer tube, so the EFPI displacement sensor is capable of waterproof and dustproof. In order to eliminate the influence of temperature on EFPI displacement sensor, two metal tubes with different thermal expansion coefficient material are chosen for temperature compensation in the structure. In the experiment, EFPI displacement sensor with 718.39  $\mu\text{m}$  of the cavity length was measured in a continuous changing temperature situation. The results shows that temperature coefficient of displacement sensor has declined by 0.14  $\mu\text{m}/\text{C}$  to  $-0.04 \mu\text{m}/\text{C}$  after temperature compensation, and showed a compensation.

**Key words:** optical fiber sensor, the fibre optic extrinsic Fabry-Perot interferometer, temperature compensation, fault measurement