

文章编号: 1001-4888(2021)01-0062-07

分布式光纤传感器测量数据可靠性分析方法^{*}

王亿桦¹, 周震寰¹, 李建乐¹, 单一男¹, 赵士元², 武湛君¹

(1. 大连理工大学 运载工程与力学学部, 辽宁大连 116024; 2. 哈尔滨工业大学 超精密光电仪器工程研究所, 黑龙江哈尔滨 150000)

摘要: 分析了分布式光纤传感器测量结果的可靠性, 提出从应变系数和温度系数标定到分布式光纤传感器物理量测量以及结果评价的方法, 设计了分布式光纤传感器的应变系数和温度系数标定装置, 同时分析了应变标定装置的不确定度来源, 采用基于光频域反射技术的分布式光纤解调仪进行了实验验证。应变标定范围为 $-5000\mu\epsilon \sim 5000\mu\epsilon$, 温度标定范围为 $20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$, 第一次测量得到应变系数和温度系数分别为: $-6.6775\mu\epsilon/\text{GHz}$ 和 $-0.5921^{\circ}\text{C}/\text{GHz}$ 。使用获得的应变系数和温度系数再次测量, 得到在测量范围内, 应变测量相对误差为 1%, 温度测量相对误差为 2%, 满足工程应用要求。上述结果表明, 设计、发展的数据标定及分析方法可用于分布式光纤传感器应变系数和温度系数的标定。

关键词: 分布式光纤传感器; 标定; 应变; 温度

中图分类号: TN253; TP391

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-20-006

0 引言

近 10 年来, 分布式光纤传感器由于其测点连续、测点数量多、实时性好、抗电磁干扰、耐腐蚀、寿命长、柔软性好以及尺寸小等优点, 被大量应用于结构健康监测^[1-6]。在结构的制作过程及其服役期间, 光纤传感器可以对结构进行实时状态监测及寿命评估等, 因此适用于复杂形状结构的应变测量和温度测量, 特别是复合材料结构, 通过将光纤传感器埋入碳纤维, 可实现对复合材料结构生产及使用过程中实时的状态监测^[7,8]。光纤传感器主要利用光传输中的三种散射(瑞利散射、拉曼散射以及布里渊散射)进行应变测量和温度测量^[9]。

基于瑞利散射的分布式光纤传感技术在 21 世纪初开始迅速发展, 其空间分辨率目前已经达到毫米级, 瑞利散射光可识别光纤上的突变和非均匀性^[10]。瑞利散射是由光纤长度方向上折射率的波动导致的, 若光纤状态不变, 便总是产生同样波长的反射光; 反之, 反射光发生变化^[11]。瑞利散射局部周期的变化会造成局部反射光谱中的时间和光谱发生位移, 因此基于波长扫频干涉法(SWI)解调技术的解调仪能够实现分布式光纤传感器稳定的温度测量和应变测量。

光纤的物理长度和折射率对环境非常敏感, 在光纤测试中发现, 其主要受温度和应变的影响, 因此光纤传感器应变系数和温度系数是影响测量结果的主要因素^[12,13]。由于不同类型的分布式光纤传感器的制造工艺不同, 造成光纤传感器的应变系数和温度系数不同, 且厂家采用的应变系数和温度系数是对大量光纤传感器进行实验得到的均值, 因此, 对于需要精确测量的工程实验, 实验之前对同一批次生产的光纤传感器进行应变系数和温度系数的校准是十分必要的。贾喜鸽等利用温控箱和位移台对基于

^{*} 收稿日期: 2020-01-09; 修回日期: 2020-06-09

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFA0702800); 国家自然科学基金资助项目(11602048)

通信作者: 武湛君(1972-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事耐极端环境特种复合材料与结构健康监测的研究。Email: wuzhj@dlut.edu.cn

布里渊散射的光纤传感器测量系统的性能参数进行标定,测量了光纤传感器的应变系数和温度系数^[9]。王蕾在不改变光纤传感器测量系统应变系数和温度系数的情况下,利用恒温水浴槽对基于拉曼散射的光纤传感器测量系统的性能参数进行了标定^[14]。

本文利用基于瑞利散射的光纤传感器测量系统进行实验,利用位移台与恒温装置对单模聚酰亚胺分布式光纤传感器的应变系数和温度系数进行标定。在实验过程中,本文排除了固定剂和光纤传感器盘绕对传感器测量结果的影响,并且没有对光纤传感器的结构和性能造成损坏。

1 应变测量标定

1.1 标定装置与方法

利用位移平台对分布式光纤传感器进行单向拉伸,将位移台的应变示值作为真值,与 ODiSI-A50 解调仪测量结果进行对比。假设在应变测量范围内,光纤传感器均匀拉伸且未发生滑移。装置采用 316 不锈钢,光纤传感器两端用压紧小块固定,位移台一侧装有螺旋测微计,装置如图 1 所示。假设光纤传感器拉伸长度为 L ,拉伸伸长量为 ΔL ,则光纤传感器应变 ϵ 的计算公式为

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

1.2 装置应变测量不确定度分析

根据合成标准不确定度计算方法,被测量(输出量) Y 由 N 个输入量 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 通过函数 f 确定,假设输入量 X_i 的估计值为 x_i ,被测量 Y 的估计值为 y ,则函数关系为

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (2)$$

若各输入量之间均不相关,被测量估计值 y 的合成标准不确定度 $u_c(y)$ 的计算方法为

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)} \quad (3)$$

式中: $\partial f / \partial x_i$ 是被测量 Y 与输入量 X_i 之间的函数 f 对于输入量估计值 x_i 的偏导数; $u(x_i)$ 是输入量估计值 x_i 的标准不确定度; $u_c(y)$ 是被测量估计值 y 的合成标准不确定度。

实验中,应变是被测量(输出量),光纤传感器拉伸长度 L 和拉伸伸长量 ΔL 为输入量,其函数关系如公式(1)所示,依据公式(3)合成标准不确定度的计算方法,应变 ϵ 的不确定度 u_ϵ 计算公式为

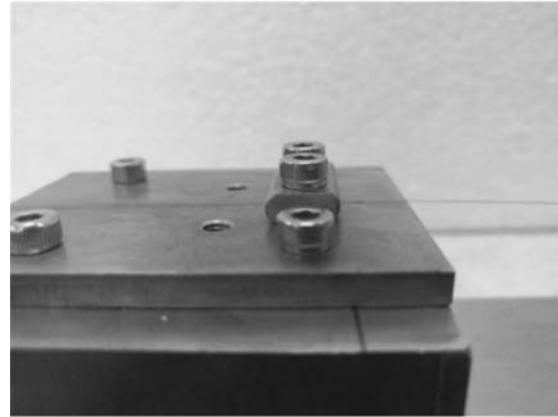
$$u_\epsilon = \sqrt{\left[\frac{1}{L} \right]^2 (u_{\Delta L})^2 + \left[-\frac{\Delta L}{L^2} \right]^2 (u_L)^2} \quad (4)$$

式中: u_L 是拉伸长度 L 的不确定度; $u_{\Delta L}$ 是拉伸伸长量 ΔL 的不确定度; $1/L$ 是公式(1)对测量段长度 L 的偏导数值; $-\Delta L/L^2$ 是公式(1)对拉伸伸长量 ΔL 的偏导数值。

实验中,拉伸伸长量 ΔL 的不确定度来源主要是:千分尺的精度,光纤传感器的水平精度,空气扰动、运动平行度和钢轨的变化。实验采用 HGTM-03225 手动位移平移台,测微头行程为 25mm,精度为 0.003mm。光纤传感器的水平位置精度取为 ± 0.1 mm,光纤传感器伸长量的水平位置精度取 ± 0.0002 mm。由于空气扰动对测量结果的影响极小,故忽略不计。位移台理想的移动路径为直线,沿运动直线在垂直水平面的偏移量称为运动平行度,运动平行度只能通过机械加工和装调来保证精度,移动台的运动平行度取为 $15\mu\epsilon$ 。由于运动平行度带来的误差分量小于 $0.1\mu\text{m}$,故在合成时候忽略不计。



(a) 装置



(b) 分布式光纤固定端

图 1 应变标定装置

Fig. 1 Strain calibration device

316 不锈钢的热膨胀系数为 $17.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, 实验过程温度变化为 0.1°C , 316 不锈钢受温度影响, 长度的精度为 0.00173mm , 温度变化量小, 因此忽略温度对伸长量不确定度的影响。估计光纤伸长量长度 ΔL 的测量不确定度为

$$u_{\Delta L} = 0.003\text{mm} \quad (5)$$

拉伸长度 L 的不确定度来源: 光纤传感器夹紧器位置的不确定度(光纤的直线度), 钢轨超过 1m 的长度精度。光纤传感器夹紧器的位置精度取为 $\pm 1\text{mm}$, 钢轨超过 1m 的长度精度取为 $3.2\mu\text{m}$ 。假设两个误差源均适用于每个光纤传感器固定装置的位置测量, 光纤传感器测量长度 L 的测量不确定度为

$$u_L = 1.414\text{mm} \quad (6)$$

实验时, 光纤传感器拉伸长度 L 为 0.5m , 将公式(5)和公式(6)代入公式(4), 得到应变 ϵ 的合成标准不确定度计算公式为

$$u_\epsilon = 10^{-3} \sqrt{36 \times 10^{-6} + (\Delta L)^2 \times 31.99} \quad (7)$$

由公式(7)发现应变 ϵ 的不确定度与位移量 ΔL 有关。

1.3 实验方法

应变标定装置静放于光滑水平面, 分布式光纤传感器拉伸长度 L 为 0.5m , 测量范围为 $-5000\mu\epsilon \sim 5000\mu\epsilon$ 。 $0\mu\epsilon$ 时采集起始数据, 作为基准, 测量 $0\mu\epsilon \sim 5000\mu\epsilon$ 的实验数据; 将 $5000\mu\epsilon$ 时光纤传感器的状态作为起始状态, 采集起始数据, 测量 $0\mu\epsilon \sim -5000\mu\epsilon$ 的实验数据。 光纤测量段为 $0.25\text{m} \sim 0.75\text{m}$ 。 实验步骤如下:

(1) 实验前对光纤传感器施加 $200\mu\epsilon$ 预紧力固定, 测量光纤瑞利频移, 作为基准。 每隔 $1000\mu\epsilon$ 测量一次光纤瑞利频移, 保载 2min , 记录测微计示数和光纤瑞利频移, 利用公式(1)计算位移台的应变值。

(2) 用最小二乘法对瑞利频移值和应变值进行线性拟合, 得到光纤瑞利频移的应变系数 K_ϵ 。

(3) 在 ODiSI-A50 解调仪参数设置中设置拟合得到的应变系数, 按照第一次实验, 在 $-5000\mu\epsilon \sim 5000\mu\epsilon$ 范围内, 每隔 $1000\mu\epsilon$ 记录测微计示值与解调仪应变测量值, 随机选取测量段不同位置的测点数据, 与位移台的应变值进行对比, 计算解调仪应变测量误差。

1.4 实验结果与讨论

在没有温度变化的情况下, 应变变化与光谱频移量线性相关, 即 $\epsilon = K_\epsilon \times \Delta\nu$, $\Delta\nu$ 是光谱的频移, 单位为 GHz ; ϵ 是测得的应变, 单位 $\mu\epsilon$; K_ϵ 是应变系数, 单位 $\mu\epsilon/\text{GHz}$, 在实验过程中, 由于温度变化小, 故忽略温度对测量结果的影响, 认为实验过程中的温度没有改变。 对每个应变下测量段的瑞利频移求平均值, 求得应变对瑞利频移值的拟合结果, 拟合曲线如图 2 所示, 图 2 中拟合的应变系数为 $-6.6775\mu\epsilon/\text{GHz}$ 。 将拟合得到的应变系数在解调仪参数设置中进行设置, 进行第二次应变实验。 在光

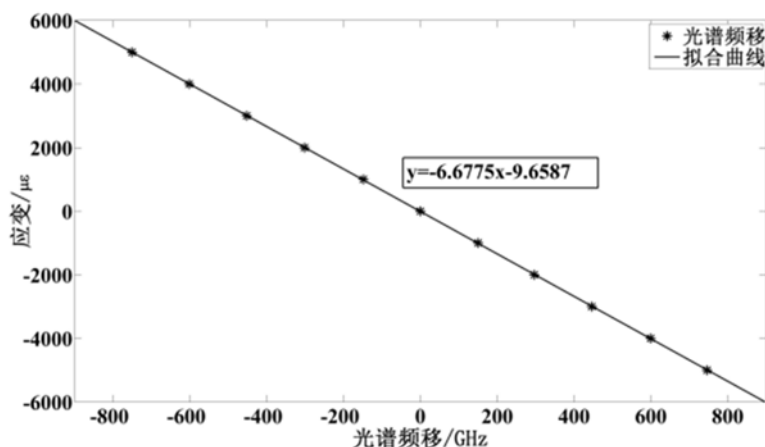


图 2 瑞利频移的应变系数拟合

Fig. 2 Strain coefficient fitting of Rayleigh frequency shift

纤传感器测量段头部、中部、尾部随机选取 6 个测量点进行数据分析, 测点位置分别是 0.3400m 、

0.4600m、0.5000m、0.555m、0.6340m、0.688m。测量结果如表 1 所示。

从表 1 中可以看到, $-5000\mu\epsilon\sim 0\mu\epsilon$ 测量范围内,测点测量值与位移台示值的最大测量绝对误差为 $8\mu\epsilon$,最大测量相对误差小于 0.5% ; $0\mu\epsilon\sim 5000\mu\epsilon$ 测量范围内,测点测量值与位移台示值的最大测量绝对误差为 $11\mu\epsilon$,最大测量相对误差为 0.7% 。因此在 $-5000\mu\epsilon\sim 5000\mu\epsilon$ 测量范围内,测点测量值与位移台示值的最大测量绝对误差为 $11\mu\epsilon$,最大测量相对误差为 0.7% 。由表中 $0\mu\epsilon\sim -4000\mu\epsilon$ 应变测量实验数据的测量绝对误差可发现,随着应变测量范围增大,测量绝对误差呈现增大的趋势;同样,从 $1000\mu\epsilon$ 、 $3000\mu\epsilon$ 和 $5000\mu\epsilon$ 应变测量实验数据的测量绝对误差中可以看到,随着应变测量范围增大,测量绝对误差逐渐增大。经分析,其原因是当应变测量范围增大时,光纤传感器发生了滑移,导致光纤传感器受到的拉力减少,应变测量结果变小,测量绝对误差增大。依据合成标准不确定度计算公式,当测量应变为 $5000\mu\epsilon$ 时,装置应变测量的合成标准不确定度为 $15.36\mu\epsilon$ 。考虑合成标准不确定度,解调仪应变测量的最大测量相对误差为 1% ,达到了工程应变监测的应用要求。

表 1 应变测量实验数据
Tab. 1 Strain measurement experimental data

位移台 示值/ $\mu\epsilon$	测点 1 / $\mu\epsilon$	测点 2 / $\mu\epsilon$	测点 3 / $\mu\epsilon$	测点 4 / $\mu\epsilon$	测点 5 $\mu\epsilon$	测点 6 / $\mu\epsilon$	绝对误差 / $\mu\epsilon$	相对误差 /%
-5000	-4995	-4997	-4993	-5000	-5005	-5003	7.0	0.14
-4000	-3994	-3996	-3992	-3994	-4002	-3993	8.0	0.20
-3000	-3001	-3002	-2998	-2999	-3008	-3002	8.0	0.27
-2000	-2004	-2005	-2002	-1999	-2006	-2002	6.0	0.30
-1000	-999	-999	-999	-999	-1001	-998	3.0	0.30
0	-0.3	0.0	-0.1	-0.5	-0.6	-0.2	0.6	—
1000	994	994	993	994	994	995	7.0	0.70
2000	1997	1997	1997	1997	2000	1998	3.0	0.15
3000	3009	3007	3005	3009	3009	3006	9.0	0.30
4000	3994	3998	3992	3997	4001	3995	8.0	0.20
5000	5010	5002	5002	5003	5011	5011	11.0	0.22

2 温度测量标定

2.1 标定装置与方法

利用恒温水浴锅对分布式光纤传感器进行加热。由于水浴锅测量精度为 1°C ,为了提高温度测量精度,采用铂电阻温度计进行测量。由于光纤传感器会在水中漂浮移动,因此将温度计与光纤传感器一起放入直径为 10mm 的玻璃套管中,并且固定在支架上,一起放入水中。玻璃管离液面约 80mm,玻璃管内的光纤传感器作为测量段,温度计示值作为真值,与测量段的测量值进行对比。温度标定装置如图 3 所示。

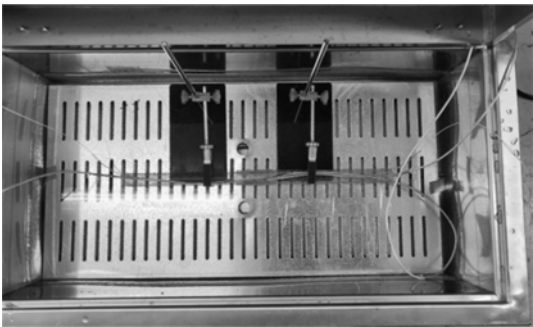


图 3 温度标定装置
Fig. 3 Temperature calibration device

2.2 实验方法

实验时,认为水浴锅内温度场均匀,分布式光纤传感器温度测量范围设置为 $20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。采用电热恒温数显水浴锅作为加热装置,使用 ODiSI-A50 解调仪与 WZP-Pt100 温度计作为温度测量装置,温度计测量精度为 0.3°C 。光纤传感器测量段为 1.70m~2.10m。为保持测量段在玻璃管内保持同一水

平线上,将光纤传感器拉直固定在水浴锅上。实验步骤如下:

(1) 每隔约 5°C 测量并记录温度计示数,记录每个测量温度下的光纤瑞利频移,控制水浴锅加热,使其在测量温度下稳定工作。

(2) 用最小二乘法对瑞利频移值和温度进行线性拟合,得到光纤瑞利频移的温度系数 K_T 。

(3) 在 ODiSI-A50 解调仪参数设置中设置温度系数,按照第一次温度测量实验,每隔约 5°C 记录温度计示值与解调仪测量温度值,随机选取测量段不同位置的测点数据与温度计示值进行对比,计算解调仪温度测量误差。

2.3 实验结果与讨论

在没有应变变化的情况下,温度变化与光谱频移量线性相关,即 $T = K_T \times \Delta\nu$, $\Delta\nu$ 是光谱频移,单位 GHz; T 是测得温度,单位 $^{\circ}\text{C}$; K_T 是温度系数,单位 $^{\circ}\text{C}/\text{GHz}$,在实验中,光纤测量段没有受力,没有产生应变的变化。对每个温度下测量段的瑞利频移求平均值,得到温度对瑞利频移值的拟合结果,拟合曲线如图 4 所示。图 4 中拟合的温度系数为 $-0.5921^{\circ}\text{C}/\text{GHz}$ 。将拟合得到的温度系数在解调仪参数设置中进行设置,进行第二次温度实验。在光纤传感器测量段头部、中部、尾部随机选取测量 6 个测点进行数据分析,其位置分别为:1.7950m、1.812m、1.878m、1.904m、1.936m、2.022m。测量结果如表 2 所示。

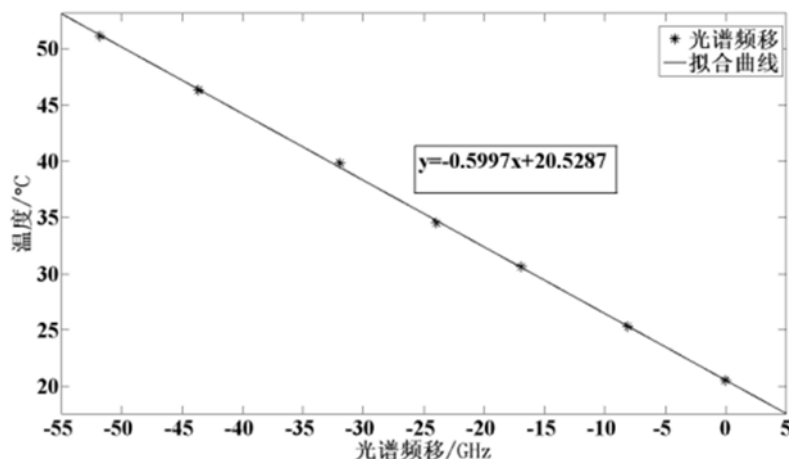


图 4 瑞利频移的温度系数拟合

Fig. 4 Temperature coefficient fitting of Rayleigh frequency shift

表 2 温度测量实验数据

Tab. 2 Temperature measurement experimental data

温度计 示值/ $^{\circ}\text{C}$	测点 1 / $^{\circ}\text{C}$	测点 2 / $^{\circ}\text{C}$	测点 3 / $^{\circ}\text{C}$	测点 4 / $^{\circ}\text{C}$	测点 5 / $^{\circ}\text{C}$	测点 6 / $^{\circ}\text{C}$	绝对误差 / $^{\circ}\text{C}$	相对误差 /%
20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.4	0.1	0.49
25.3	25.4	25.2	25.4	25.2	25.1	25.1	0.2	0.79
30.6	30.5	30.4	30.4	30.5	30.5	30.8	0.2	0.65
34.5	34.6	34.4	34.4	34.5	34.5	34.8	0.3	0.87
39.8	39.4	39.4	39.5	39.4	39.4	39.8	0.4	1.01
46.3	46.4	46.2	46.5	46.5	46.6	46.6	0.3	0.65
51.1	50.9	50.9	51.3	51.4	51.3	51.5	0.4	0.78

从表 2 中可以看到,在温度测量范围内,测量结果与温度计示值的最大测量绝对误差为 0.4°C ,最大测量相对误差为 1.01% 。从测量绝对误差中,发现除了 46.3°C 之外,随着测量温度的升高,测量绝对误差呈现增大的趋势。其原因是,实验时,光纤传感器与铂电阻温度计未紧贴,光纤传感器的测量温度

值与温度计示值存在较小的温度梯度,而随着测量温度的升高,需要更长的保温时间使水浴锅内的水温达到均匀状态,故随着温度的升高,在相同保温时间的情况下,温度梯度造成的温度绝对误差增大。经测量,51.1℃时,温度梯度造成的温度计与光纤传感器之间的温度绝对误差约0.1℃。考虑温度梯度造成的误差,解调仪温度测量相对误差为2%,达到工程温度监测的应用要求。

3 结论

本文提出了分别适用于分布式光纤传感器应变系数和温度系数的新的标定方法,设计了标定方案和标定装置,计算了应变标定装置的合成标准不确定度,利用单模聚酰亚胺分布式光纤传感器进行实验,证明了标定方法和装置的可行性和准确性。主要结论如下:

(1) 通过第一次应变实验和温度实验,得到基于瑞利散射的分布式光纤传感器的应变系数和温度系数分别为 $-6.6775\mu\epsilon/\text{GHz}$ 和 $-0.5921^\circ\text{C}/\text{GHz}$ 。

(2) 利用得到的应变系数和温度系数再次进行应变实验和温度实验,得到在 $-5000\mu\epsilon\sim 5000\mu\epsilon$ 应变范围内,测量相对误差为1%; $20^\circ\text{C}\sim 50^\circ\text{C}$ 温度范围内,测量相对误差为2%,应变测量相对误差和温度测量相对误差达到工程应变监测和温度监测要求。

(3) 本文提出的应变系数和温度系数的标定方案和装置可以实现分布式光纤传感器应变系数和温度变系数的标定。

参考文献:

- [1] 姜宏钰. 基于整体柔度系数既有梁桥监测技术[D]. 天津: 河北工业大学, 2011: 1—53 (JIANG Hongyu. Monitoring of existed bridges based on global flexibility index[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2011: 1—53 (in Chinese))
- [2] 李强, 王艳松, 刘学民. 光纤温度传感器在电力系统中的应用现状综述[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 135—140 (LI Qiang, WANG Yansong, LIU Xuemin. Application situation of temperature monitoring of optic fiber sensor in power system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 135—140 (in Chinese))
- [3] 高肇凌, 郭雪, 陈艳东, 等. 无线传感器网络在水下防喷器控制系统中的应用[J]. 石油化工自动化, 2016, 52(2): 25—28 (GAO Zhaoling, GUO Xue, CHEN Yandong, et al. Application of wireless sensor network in subsea bop control system[J]. Automation in Petro-Chemical Industry, 2016, 52(2): 25—28 (in Chinese))
- [4] 郑元辽, 刘月明. 光纤传感监测压力管道泄漏技术进展综述[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(9): 15—17, 21 (ZHENG Yuanliao, LIU Yueming. Summary of progress in optical fiber sensing technology for pressure pipeline leakage monitoring[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2014, 33(9): 15—17, 21 (in Chinese))
- [5] 邓虎, 刘俊锋, 吴雷, 等. 基于光纤传感器的固体杨氏模量与泊松比测量方法研究[J]. 实验力学, 2009, 24(6): 499—504 (DENG Hu, LIU Junfeng, WU Lei, et al. On the measurement of young's modulus and poisson's ratio for solids based on optical fiber sensors[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2009, 24(6): 499—504 (in Chinese))
- [6] 郝英奇, 丁勇, 何宁. 分布式光纤传感测试系统(BOTDA)用于H型钢梁变形监测的实验研究[J]. 实验力学, 2011, 26(4): 447—456 (HAO Yingqi, DING Yong, HE Ning. Experimental study of H steel beam deformation monitoring based on BOTDA[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2011, 26(4): 447—456 (in Chinese))
- [7] 孙良新, 徐宁光, 任吉, 等. 复合材料结构内埋光纤网络测试其内部损伤试验研究[J]. 实验力学, 1996, 11(3): 321—326 (SUN Liangxin, XU Ningguang, REN Ji, et al. Detection of structural damage by using a network of optical fiber embedded in composite material structures[J]. Journal of Experimental Mechanics, 1996, 11(3): 321—326 (in Chinese))
- [8] 刘荣梅, 梁大开, 王妮, 等. 光纤力学性能的试验研究[J]. 实验力学, 2007, 22(1): 79—84 (LIU Rongmei, LIANG Dakai, WANG Ni, et al. Mechanical properties study for optical fibers[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2007, 22(1): 79—84 (in Chinese))
- [9] 贾喜鸽, 李素贞, 赵鸣. 受激布里渊光时域测试系统性能标定实验研究[J]. 电子测量技术, 2011, 34(3): 79—84 (JIA Xige, LI Suzhen, ZHAO Ming. Experimental characterization of a stimulated Brillouin optical-time domain

- analyzer system[J]. Electronic Measurement Technology, 2011, 34(3):79—84 (in Chinese))
- [10] Silva Muñoz R A, Lopez Anido R A. Structural health monitoring of marine composite structural joints using embedded fiber Bragg grating strain sensors[J]. Composite Structures, 2009, 89(2):224—234.
- [11] Huang J, Zhou Z, Wen X, et al. A diaphragm-type fiber Bragg grating pressure sensor with temperature compensation[J]. Measurement, 2013, 46(3):1041—1046.
- [12] 冯健, 邵立国, 王立津, 等. 压力场中光纤应变测量方法研究[J]. 实验力学, 1998, 13(2):81—86 (FENG Jian, SHAO Ligu, WANG Lijin, et al. A study of strain measurement with fiber-optical strain gauge in varying pressure environment[J]. Journal of Experimental Mechanics, 1998, 13(2):81—86 (in Chinese))
- [13] Froggatt M E, Gifford D K. Rayleigh backscattering signatures of optical fibers-their properties and applications [C]. Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC), IEEE, 2013.
- [14] 王蕾. 分布式光纤传感温度测试系统性能标定方法[J]. 中国计量, 2016(2):107—110 (WANG Lei. Performance calibration method of distributed fiber optic sensor temperature measurement system[J]. China Metrology, 2016(2):107—110 (in Chinese))

Reliability analysis method of measurement data for distributed optical fiber sensors

WANG Yihua¹, ZHOU Zhenhuan¹, LI Jianle¹, SHAN Yinan¹, ZHAO Shiyuan², WU Zhanjun¹

(1. Faculty of Vehicle Engineering and Mechanics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China;

2. Center of Ultra-precision Optoelectronic Instrument, Harbin Institute of Technology, Harbin 150000, Heilongjiang, China)

Abstract: The reliability of the measurement results of distributed optical fiber sensors is analyzed. The methods from strain coefficient and temperature coefficient calibration to physical quantity measurement and result evaluation for distributed optical fiber sensors are proposed. The strain coefficient and temperature coefficient calibration devices of distributed optical fiber sensors are designed, and the sources of uncertainty of the strain calibration device are analyzed. Experimental validation is performed using a distributed fiber demodulator based on optical frequency domain reflection technology. The strain calibration range is $-5000\mu\epsilon \sim 5000\mu\epsilon$, and the temperature calibration range is $20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$. The strain coefficient and temperature coefficient are $-6.6775\mu\epsilon/\text{GHz}$ and $-0.5921^{\circ}\text{C}/\text{GHz}$, respectively. Furthermore, the measurements are carried out again using the obtained strain coefficient and temperature coefficient. It is found that within the measurement range, the relative error of strain measurement is 1%, and the relative error of temperature measurement is 2%, which can meet the engineering application requirements. The results show that the data calibration and analysis methods designed and developed can be used to calibrate the strain coefficient and temperature coefficient of distributed fiber optic sensors.

Keywords: distributed optical fiber sensors; calibration; strain; temperature