

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.01.11

光纤环及其骨架材料膨胀系数测量方法研究与实现

高涵¹, 陈亮¹, 韩正英², 金尚忠¹

(1. 中国计量学院 光电学院, 浙江 杭州 310018; 2. 中国电子科技集团公司第41研究所, 山东 青岛 266555)

摘 要: 介绍了一种光纤环及其骨架膨胀系数的简易测量方法, 并组建了测量系统。利用铝材和不锈钢, 对系统的可行性进行了验证, 同时用该系统测量了光纤环及不同骨架的膨胀系数, 并对实验数据进行了分析研究, 实验结果表明: 该系统能够为找出与光纤环相匹配的骨架材料提供技术支撑, 具有一定的实用和推广应用价值。

关键词: 光纤环; 骨架材料; 膨胀系数; 测量

中图分类号: TB96; TN253

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)01-0045-04

Study on the Measurement of Linear Expansion Coefficient of Fiber Loop and Its Skeleton

GAO Han¹, CHEN Liang¹, HAN Zhengying², JIN Shangzhong¹

(1. College of Opto-electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China;

2. The 41st Research Institute of CETC, Qingdao 266555, China)

Abstract: An easy measurement method is proposed for the linear expansion coefficient of fiber loop and its skeleton, and a measurement system was established. Aluminium products and stainless steel were used to verify the feasibility of the system. By analysing the linear expansion coefficient of the fiber loop and different skeletons, we concluded that this system could be used in finding skeletons that match the fiber loop. This system is practical with a wide range of application.

Key words: fiber loop; skeleton material; linear expansion coefficient; measurement

0 引言

光纤陀螺是一种惯性仪表, 它是通过检测光纤环中顺、逆时针方向传输的两束光的光程差来测量载体的旋转速率。目前光纤陀螺用光纤环主要有两种: 有骨架和无骨架, 应用较多的是有骨架的光纤环, 但是由于光纤环与骨架材料的膨胀系数通常不一致, 在环境温度变化时骨架会对光纤环产生挤压或拉伸, 对光纤环的性能造成较大影响, 所以, 通常需要对光纤环及其骨架材料的膨胀系数进行测量, 以便找出与光纤环相匹配的骨架材料^[1-3]。

对固体材料线性膨胀系数的测量方法主要有顶杆式膨胀计法、干涉法、激光干涉法。顶杆式膨胀计法

常用于耐火材料, 这种测量方法采用的仪器设备多为电感式膨胀仪, 其传感器为差动变压器。虽然该方法能涵盖低温、中温和高温范围, 测量范围广, 但由于实验时顶杆和支持器尺寸较长, 高温炉难以温度均匀地对试样进行加热, 顶杆和支持器之间的膨胀量一般难以互相抵消, 所测得膨胀测量值在多数情况下需要矫正。

干涉法利用迈克尔逊干涉仪干涉原理测量试样的线变化, 主要用于固体材料线膨胀系数的测量^[4]。由于使用该方法测量时迈克尔逊干涉仪镜面的移动是通过加热固体试样来实现的, 在温度较高时有偏离原方向的可能性, 因而增加了实验的操作难度, 另外该方法对测量环境的要求也比较高。

激光干涉法具有测量准确和测量分辨力高的优点, 主要在一些国家计量机构和对测量准确度有很高要求的实验室中使用, 由于设备昂贵, 一般不适用于现场测量。同时该方法仅测量试样的长度随温度的绝对变

收稿日期: 2014-10-22; **修回日期:** 2014-11-17

作者简介: 高涵(1994-), 女, 本科在读, 从事光纤通信和光纤传感方向的研究; 陈亮, 男, 副教授, 博士(后), 从事光电探测系统、光电智能仪器及LED智能照明技术方向的研究。

化,不与其他任何物质的物性发生关系,属于绝对测量方法^[2,5]。另外,在采用激光干涉法进行测量时,需要试样表面有足够的光反射强度,以便采集、测量干涉条纹的变化,在加热过程中材料会发生形变和相变,样品表面质量会发生变化,特别是在高温环境下,有时材料表面质量难以保证能够达到实验的要求。

通过比较可以看出,上述几种方法各有优缺点,但均不适宜用于光纤环及其骨架材料膨胀系数的测量。为此我们研制了一种用于光纤环及其骨架材料膨胀系数测量实验系统。

2 实验系统

2.1 测量原理

通常固体的长度随温度变化而改变,其长度和温度之间的关系为 $L = L_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \dots)$ 。式中: L_0 为 $t = 0^\circ\text{C}$ 时固体的长度; $\alpha, \beta, \dots$ 是与被测物质相关的常数。除 α 外各系数与 α 相比很小,在常温下可以忽略,因此有 $L = L_0(1 + \alpha t)$,当固体的温度分别为 t_1 和 t_2 时,其对应长度 L_1 和 L_2 可分别表示为

$$L_1 = L_0(1 + \alpha t_1) \quad (1)$$

$$L_2 = L_0(1 + \alpha t_2) \quad (2)$$

联立(1),(2)式可得

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1 \left(t_2 - \frac{L_2}{L_1} t_1 \right)} \quad (3)$$

由于 L_1 与 L_2 非常接近,即 $\frac{L_2}{L_1} \approx 1$,故(3)式可写为

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

式中: α 称为固体的线性膨胀系数, $^\circ\text{C}^{-1}$; ΔL 为长度的变化量, mm; $\Delta t = t_2 - t_1$ 为温度差, $^\circ\text{C}$ 。由(4)式可见,只要测出 $L_1, \Delta L, t_1, t_2$ 就可以求出 α 值。在测量光纤环及其骨架基本结构膨胀系数时,径向 ΔL 记为 ΔR ,轴向 ΔL 记为 ΔD 。

2.2 系统组建

光纤环及其骨架膨胀系数测量系统如图 1 所示,测量系统由底座、光纤环及其骨架用夹持机构、测量探针、位移数显表组成,夹持机构、探针、位移数显表均需位于同一垂直线上垂直于测量底座。其中光纤环及其骨架用夹持机构及测量用探针由热惰性材料制成,以降低热传递效率,避免被测光纤环及其骨架固定时局部温度的骤变,减小位移测量的误差;另外为

加大探针与被测件的接触面积,降低接触点的压强,将探针的直径尺寸设计约为 10 mm,能有效减小被测件接触点的压变形;位移数显表为内置光栅尺式,其位移测量分辨力达 0.001 mm,能够直接测量光纤环及其骨架材料径向和轴向长度微小相对变化量。

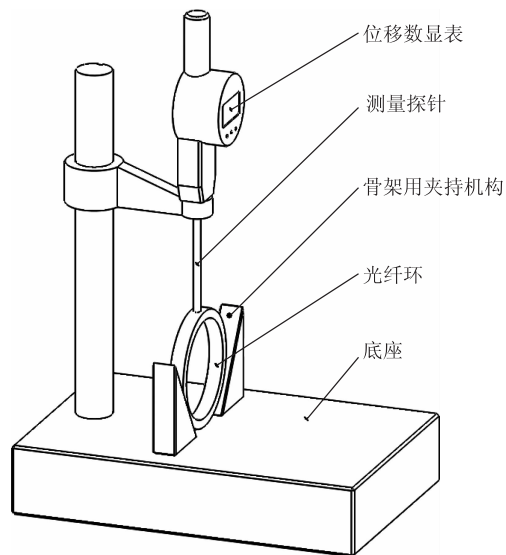


图 1 膨胀系数测量示意图

从公式(4)中可以看出,为使光纤环或骨架的膨胀系数精度保持较好水平,需要调高 $L_1, \Delta L, t_1, t_2$ 的测量精度,特别是对 ΔL 的测量,由于变化量较小,对测量仪器的要求较高,为此在测量系统的组建过程中对微位移和高精度温度进行了重点考虑。

2.2.1 微位移的测量

采用内置光栅尺的位移数显表测量光纤环及其骨架的微小膨胀量,位移数显表包含光栅尺传感器和数显表,其中光栅尺传感器利用光栅的光学原理工作的测量器件,其测量的输出信号为数字脉冲,具有测量范围大、精度高、响应速度快的特点;数显表是对光栅尺传感器输出脉冲的接收、计数、处理并显示的部件。本测量系统中采用的位移数显表的测量分辨力为 0.5 μm ,测量误差为 1 μm ,通常测量的微位移最小数值能达到 30 μm 以上,由此引起的测量偏差可控制在 3%,对光纤环及其骨架的膨胀系数的测量结果造成的影响可以忽略。

2.2.2 温度控制箱

温度控制箱主要为光纤环及其骨架膨胀系数测量提供环境条件,该设备采用半导体制冷/热源,采用高精度智能化 PID 温度控制仪表,既能显示温度又能控制温度,通过专用控制电路,实现对制冷器制冷/制热

自动转换控制，将温度控制在所设定的温度值上，同时在温度控制范围内实现八段可编程温度控制，本系统采用的半导体制冷/制热温度控制箱，其温度的控制范围达到 $-45 \sim +85^{\circ}\text{C}$ ，控温误差为 0.1°C 。

2.2.3 被测件温度测量

由于温度控制箱显示的温度与放置在腔体光纤环及其骨架的实际温度有一定差别，为得到被测件精确的温度值，采用对被测件进行直接测温的方法。为此，设计了一四路测温测量仪，将其中的三个小型温度探头直接粘贴在被测件的三个不同部位，待温度平衡时三个探头测量值在误差范围内应一致，以此温度值为被测件的实际温度计算膨胀系数。

2.2.4 温度传感器

由于温度控制箱的腔体较小，同时考虑内部温度场问题，对腔体的密封要求较高，所以，测温仪所选用的温度传感器体积要尽可能小，测温线性好，连接导线要尽可能细。温度传感器种类繁多，常见的主要有热电偶、铂电阻、模拟集成温度传感器以及热敏电阻等。

1) 热电偶。根据热电效应原理将温度变化转变成电压变化的热敏传感器，其灵敏度一般在 $-200 \sim +2000^{\circ}\text{C}$ 之间，经常应用于 500°C 以上的高温区。

2) 铂电阻。铂电阻具有温度系数高、电阻率高、性能稳定、输出特性良好等特点，接近测量范围极限时呈非线性，但在非极限测量范围内线性度好，每摄氏度可以改变几分之一欧姆，测温范围为 $-260 \sim +850^{\circ}\text{C}$ ，适合稳定性为 0.05°C 的系统。

3) 模拟集成温度传感器。可完成温度测量及模拟信号输出功能的专用集成电路，如 AD590，LM335 等。它们的特点是功能单一、灵敏度高、测温误差小、价格低、响应速度快、线性度好；其缺点是测温范围比较窄。其中，AD590/592 测温范围为 $-25 \sim +105^{\circ}\text{C}$ ，LM335 测温范围为 $-40 \sim +100^{\circ}\text{C}$ 。

4) 热敏电阻。热敏电阻具有稳定性好、尺寸小、灵敏度高和价格低廉等优点，每摄氏度可以改变几百万欧姆，适合稳定性超过 0.01°C 的系统；但热敏电阻的电阻率随温度的增加而非线性减小，测温范围也较窄 ($-80 \sim +150^{\circ}\text{C}$)。

综合考虑温度传感器性能，结合实际应用，最终选择精度较高的 AD590 作为测温仪用温度传感器，测温范围 $-55 \sim +150^{\circ}\text{C}$ ，非线性误差 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ，测温误差 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，可以满足温度测量需要。

2.3 测量方法

光纤环及其骨架膨胀系数的测量分为径向和轴向。

测量径向膨胀系数时，将被测光纤环置于高低温交变试验箱中升高温度至 60°C 并保持足够时间，当光纤环所处温度均匀后，迅速通过测量装置的固定块垂直于底座放置，同时将位移数显表置零，保持装置不动，使测针压在被测光纤环径向最高点，待被测光纤环温度冷却到室温后，读出位移数显表读数，该读数即为径向变化量 ΔR ，同时在室温下测出被测光纤环的基本尺寸 L ，采用上述公式(4)计算得径向膨胀系数。测量光纤环轴向膨胀系数时，需将光纤环固定于夹持装置平行于底座放置，将加热后温度均匀的光纤环轴向一侧垂直于测针放置，同时将位移数显表置零，待被测光纤环温度冷却到室温后读出位移数显表读数，该读数即为轴向变化量 ΔD ，同样地代入上述公式(4)计算可得轴向膨胀系数。

3 实验数据分析

为验证该系统的可靠性和实用性，我们分别测量了铝合金环、无骨架光纤环及不同材料骨架径向和轴向膨胀系数。具体测量数据如表 1 所示。

表 1 膨胀系数测量数据

被测件		轴向 变化量 /mm	径向 变化量 /mm	膨胀系数 (平均值) / $^{\circ}\text{C}^{-1}$
1#材料骨架	第一次	0.096	0.062	径向： 1.72×10^{-5} 轴向： 8.91×10^{-5}
	第二次	0.094	0.055	
	第三次	0.094	0.045	
2#材料骨架	第一次	0.066	0.034	径向： 1.32×10^{-5} 轴向： 8.6×10^{-5}
	第二次	0.064	0.036	
	第三次	0.066	0.036	
铝合金环	第一次	0.015	0.089	径向： 2.11×10^{-5} 轴向： 2.09×10^{-5}
	第二次	0.016	0.088	
不锈钢环	第一次	0.012	0.047	径向： 1.6×10^{-5} 轴向： 1.7×10^{-5}
	第二次	0.012	0.046	
	第三次	0.012	0.047	
无骨架光纤环	第一次	0.116	0.060	径向： 1.44×10^{-5} 轴向： 20.5×10^{-5}
	第二次	0.117	0.060	

由表 1 数据可以看出所测得的铝合金环和不锈钢环径向和轴向膨胀系数基本相同，且与其理论值(铝合金： $1.88 \times 10^{-5} \sim 2.36 \times 10^{-5}$ ，不锈钢： $1.44 \times 10^{-5} \sim 1.60 \times 10^{-5}$)相近，由此表明该实验系统所测得的数据是可靠的和可信的。比较 1#和 2#材料骨架的测量数据，可以看出，1#材料骨架径向变化量波动较大，可能发生了形变或膨胀系数不均匀，不适宜作光纤环的骨架；2#材料骨架轴向和径向膨胀系数变化不大，比较适合

参考文献

- [1] Farkas D, Birchenall C E. New Eutectic Alloy sand Their Heats of Transformation [J]. Metallurgical Transaction A, 1985 (16A): 323 - 328.
- [2] Hiromichi Watanabe, Yamada N, Okaji M. Development of a Laser Interferometric Dilatometer for Measurements of Thermal Expansion of Solids in the Temperature Range 300 to 1300K [J]. International Journal of Thermophysics, 2002, 23 (2): 543 - 544.
- [3] 韩书新. 光纤陀螺用保偏光纤及光纤环测试方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [4] 郑文轩, 吴胜举, 杨瑛. 用迈克尔逊干涉仪测固体线胀系数 [J]. 实验科学与技术, 2007, 5 (6): 8 - 9.
- [5] 王勇, 汤剑锋. 激光干涉法测固体的线膨胀系数 [J]. 湖南文理学院学报, 2009, 21 (3): 48 - 49.

邮发代号 24-138

网址: www.cam1992.com

《化学分析计量》2015 年第 1 期目次

液相色谱串联质谱法测定水果中复硝酚钠残留量

化学沉积 Ni-Fe-P 合金的冲蚀特性研究

湿法消解-石墨炉原子吸收标准加入法测定土壤中的镉

高效液相色谱法分析氰戊菊酯微乳剂、水乳剂

GC-MS 法测定 ABS、SAN 中残留苯乙烯和丙烯腈单体

氢化物发生-原子荧光光谱法测定煤、焦炭中的砷

氢化物发生-原子荧光法测定水中的镉

计量技术

液相色谱仪检测器新规的检定方法与特定条件汇总

液相色谱仪的 FDA 仪器认证方法探讨

实验室管理

气相色谱法测定邻苯二甲酸酯结果的影响因素

样品前处理

Diaion HP-20 大孔吸附树脂分离纯化含羞草种子中的黄酮类物质

综述

食品接触塑料材料中有害重金属迁移量测定方法综述

固体活性基底表面增强拉曼光谱研究进展

羟基铝离子柱撑蒙脱石材料的制备与结构表征