

文章编号: 1673-3851 (2011) 06-0871-04

碳纤维纱线及其织物的电阻与温度的关系

李 选, 吴 旭, 杨 斌

(浙江理工大学先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 杭州 310018)

摘 要: 研究碳纤维纱线及其织物的电阻对温度的响应。通过实验发现碳纤维纱线的电阻随着温度的增加而线性减小,碳纤维织物的电阻也随着温度的增加而减小,且在一定的温度范围内其变化呈线性关系。制备的经编结构碳纤维织物电阻对温度响应的灵敏度有较大提高,表明织物的结构有助于增加碳纤维织物电阻对温度响应的灵敏度。织物电阻随温度变化的机理主要是由在温度变化的过程中纱线间的接触电阻变化引起的。

关键词: 碳纤维纱; 织物; 接触电阻; 温度

中图分类号: TS102.528.4 **文献标识码:** A

0 引 言

纺织复合材料是以纺织预制件为增强材料的复合材料,可以应用于宇航、造船、车辆、体育、军械等领域^[1]。然而在材料成型过程中,常常会遇到高温和大应变,这就需要一种可以在高温下进行大应变测量的传感器来监测和防止一些重大的事故。石英光纤应变传感器部分可用于高温但只限于小的应变范围内^[2-4];另一方面,聚合物光纤^[5]、压电聚合物膜或其他大应变计可以承受大应变但只能在相对低的温度范围内应用。为设计一种新的应变计以满足这两方面要求,开发各种复合材料至关重要。碳纤维纱本身具有耐高温、导电性等优点,本文通过将碳纤维纱设计一种针织结构来形成碳纤维纱织物,并对碳纤维纱线及其织物的电阻与温度的关系进行研究。

1 实 验

1.1 试样的制备

碳纤维纱线(日本东丽公司生产,型号为 T300/1K,其规格和性质如表 1 所示)及其制备的单经编织物。纱线试样:温湿度控制箱内测量的纱线总长为 100 cm,温湿度控制箱外测量的纱线总长为 200 cm,处于温湿度控制箱内外的纱线分别为 100 cm。织物试样长度为 22 cm,由钩针手工制作,如图 1 所示,处于温湿度控制箱内外的连接纱线分别为 50 cm 和 50 cm。

1.2 测量方法

用美国 Agilent 公司的 34401A 数字万用表测量电阻,美国 CSZ 公司 ZP 系列温湿度控制箱测量温度变化,两者同时进行,由此得出试样的电阻与温度的关系。

表 1 碳纤维纱规格和性质

指标	数值
每束丝所含单根数/根	1 000
线密度/(g/m)	0.066
拉伸强度/MPa	3 100
捻度	/
弹性模量/GPa	230



图 1 碳纤维纱经编结构

2 结果与讨论

2.1 碳纤维纱电阻与温度的关系

为了考察在温湿度控制箱外测量时连接纱线对测量结果的影响,分别对温湿度控制箱内和温湿度控制箱外碳纤维纱线在温度为 $-54^{\circ}\text{C}\sim 54^{\circ}\text{C}$ 时进行测试,测试结果如图2和图3所示。图2表明,碳纤维纱线随温度的升高而减小,且在一定范围内成线性关系。经曲线拟合可知,在温湿度控制箱内测量的电阻变化灵敏度为:升温 $-0.18573\ \Omega/^{\circ}\text{C}$,降温 $0.19240\ \Omega/^{\circ}\text{C}$;在温湿度控制箱外测量的电阻变化灵敏度为:升温 $-0.18328\ \Omega/^{\circ}\text{C}$,降温 $0.19119\ \Omega/^{\circ}\text{C}$ 。由图3曲线的拟合结果可知,在温湿度控制箱内测量的相对电阻变化的灵敏度为:升温 $-0.04043\ \%/^{\circ}\text{C}$,降温 $0.04189\ \%/^{\circ}\text{C}$,在温室控制箱外测量的相对电阻变化的灵敏度为:升温 $-0.03314\ \%/^{\circ}\text{C}$,降温 $0.03458\ \%/^{\circ}\text{C}$ 。

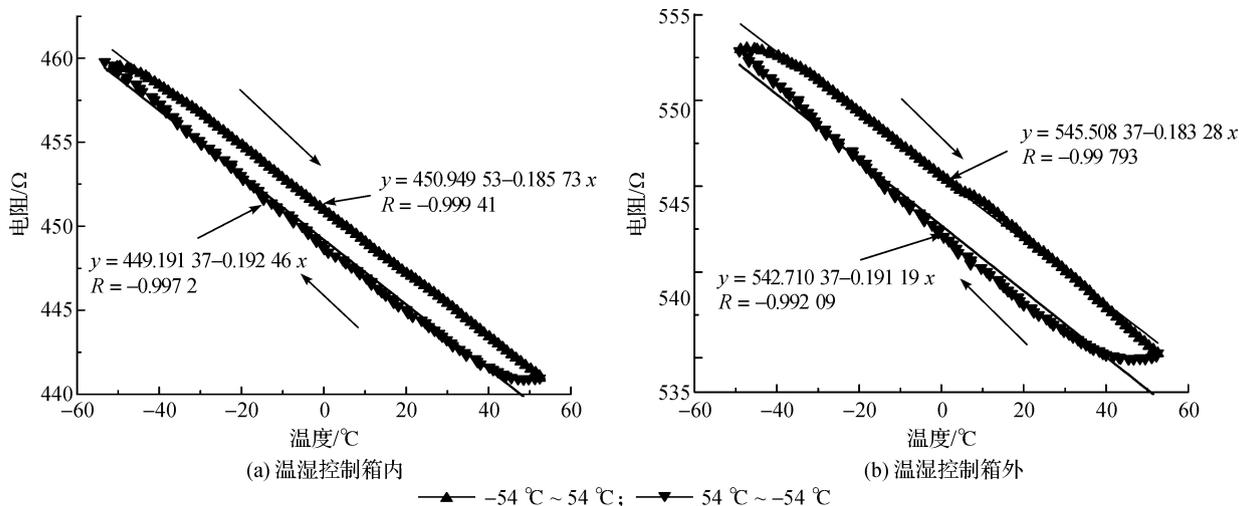


图2 温湿度控制箱内、外碳纤维纱线电阻随温度的变化

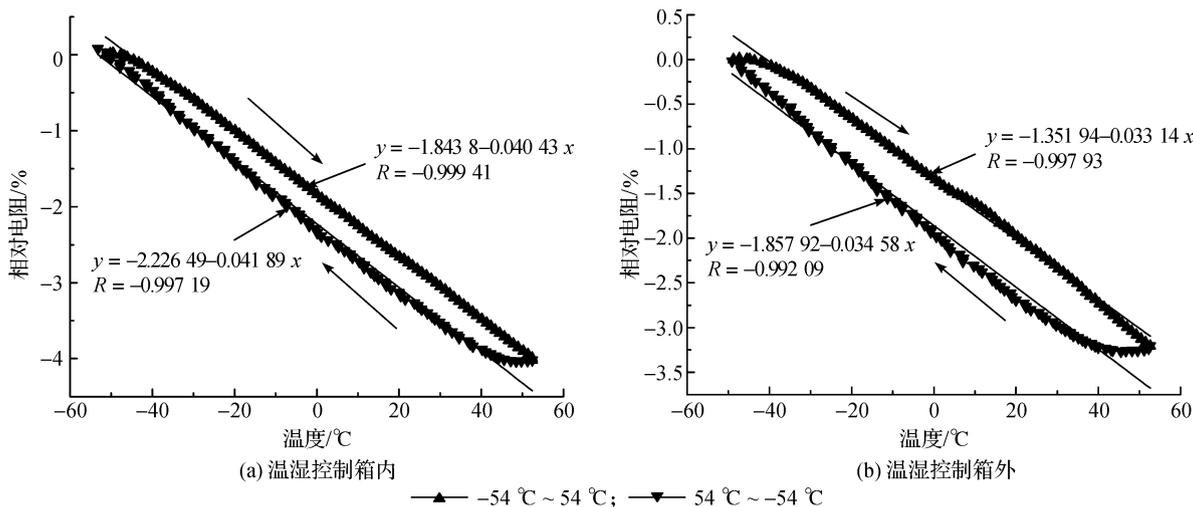


图3 温湿度控制箱内、外碳纤维纱线相对电阻随温度的变化

实验结果可以得出,温湿度控制箱外测量的电阻变化灵敏度的绝对值小于温湿度控制箱内,因此可以认为纱线在高温与低温的交接处(纱线在温湿控制箱内外交接处)会对测量产生影响。温湿度控制箱外测量的相对电阻变化的灵敏度对温湿度控制箱内测量的相对电阻变化的灵敏度的相对误差为:升温 -18.03% ,降温 -17.45% 。

2.2 碳纤维纱织物的电阻响应

图4和图5分别是碳纤维纱织物电阻和相对电阻对温度响应的关系曲线。图4、图5表明,织物的电阻随温度的增加而减小,随温度的降低而增加,且在一定范围内,电阻与温度存在线性关系。从图4可以看出,在 0°C 之前,织物电阻随温度的变化比较小,这主要是由于低温状态下碳纤维纱织物的导电性受温度的影响

较小。在 170℃ 到 100℃ 降温时,织物电阻随温度减小变化不大,这是由温湿度控制箱内用于放置试样的载体陶瓷引起的,陶瓷本身导热性能比较低,当温湿度控制箱内温度降低时,陶瓷本身存在的温度会与降低的温度抵消一部分,这就导致织物电阻随温度的变化不大。碳纤维纱织物电阻变化曲线中间线性部分的灵敏度为:升温 $-0.36676 \Omega/\text{℃}$,降温 $0.79093 \Omega/\text{℃}$,相对电阻变化的灵敏度为:升温 $-0.12189 \%/ \text{℃}$,降温 $0.20389 \%/ \text{℃}$ 。对比碳纤维纱线,升温过程中碳纤维织物相对电阻灵敏度大约为碳纤维纱线相对电阻灵敏度的 3.7 倍,降温过程中碳纤维织物相对电阻灵敏度大约为碳纤维纱线相对电阻灵敏度的 5.9 倍,因此纺织结构对于提高温度传感的灵敏度有一定的作用。

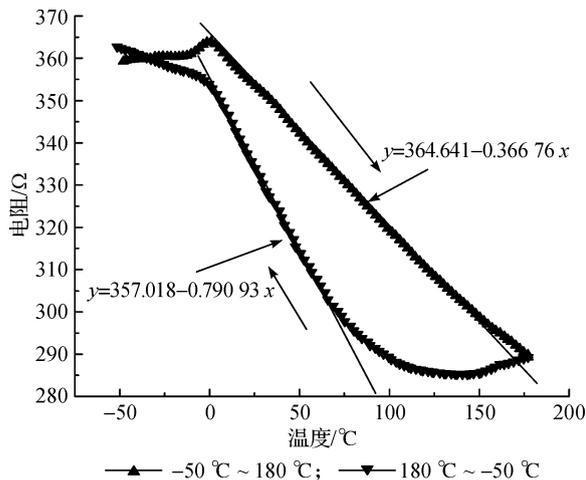


图 4 碳纤维纱织物电阻随温度的变化

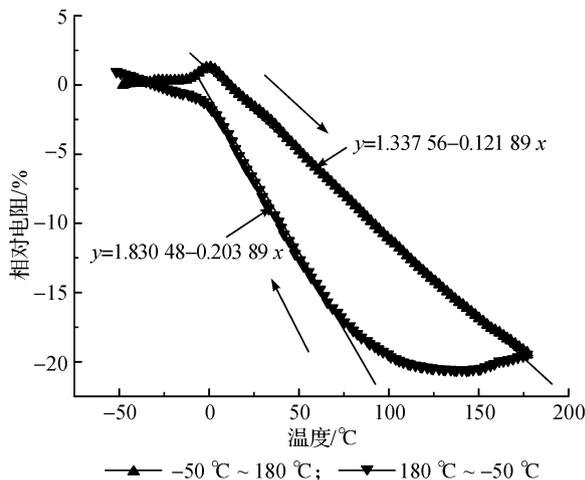


图 5 碳纤维纱织物相对电阻随温度的变化

2.3 织物温度传感机理探讨

碳纤维纱织物电阻随温度的增加而减小,通过观察可归纳为以下两个原因:一是纤维材料本身电阻随温度增加而下降,二是由于温度变化引起纱线的热膨胀,从而造成纱线间接触状态的变化,引起电阻的下降。

碳纤维的热膨胀系数分别为: $8.85 \times 10^{-6} / \text{℃}$ (径向), $-0.7 \times 10^{-6} / \text{℃}$ (轴向)^[6],即受热时碳纤维在径向上是膨胀的,在轴向上是收缩的,并且径向热膨胀系数的绝对值大于轴向上的热膨胀系数。由此可以得出碳纤维主要是径向上的膨胀,可以忽略轴向上的膨胀。对于碳纤维纱织物中的纱线来讲,纱线的电阻计算公式为:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中: ρ 是纱线的电阻率, L 是纱线的长度, S 是纱线的面积,当温度升高时, ρ 降低, L 减小, S 增大,因此纱线的电阻会减小,也就是说热膨胀引起的纱线尺寸变化会引起电阻减小。

影响碳纤维纱织物中接触电阻的变化可以用公式 $R_c = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\pi H}{nP}}$ ^[7-8] 来表示,其中 n 为接触点的数目, P 为接触压力, H 为接触材料的硬度。当温度升高时,纱线电阻率略有降低,由于碳纤维的热膨胀性导致纱线在径向上膨胀,纱线间接触点的数目 n 和接触压力 P 都增加,材料的硬度 H 降低,相对来说温度变化引起材料的电阻率 ρ 的变化较小,因此认为接触电阻 R_c 随温度的增加而减小,且影响要大于热膨胀造成尺寸变化所引起的电阻变化,由此可以推断碳纤维织物的传感机理主要是由温度变化过程中纱线间接触电阻的变化所引起。

3 结 论

a) 碳纤维纱线的电阻随温度的升高而减小,且两者在一定的范围内成线性关系。碳纤维纱线的相对电阻变化灵敏度为:升温 $-0.03314 \%/ \text{℃}$,降温 $0.03458 \%/ \text{℃}$ 。

b) 碳纤维纱织物随着温度的升高而减小,且也在一定的范围内成线性关系。碳纤维纱织物的相对电阻变化灵敏度为:升温电阻 $-0.12189 \%/ \text{℃}$,降温 $0.20389 \%/ \text{℃}$,大于碳纤维纱线相对电阻变化的灵敏度,

因此纺织结构有助于提高温度传感的灵敏度。

c)碳纤维纱织物温度传感机理主要是由温度变化过程中纱线间接触电阻的变化所引起的。

参考文献:

- [1] 钟翔屿. 纺织复合材料在航空航天工业上的应用[J]. 新纺织, 2003(12): 21-23.
- [2] Fernández-Valdivielso C, Matias I R, Arregui F J. Simultaneous measurement of strain and temperature using a fiber Bragg grating and a thermochromic material[J]. Sens Actuators: A Phys, 2002(101): 107-116.
- [3] Ho H L, Jin W, Chan C C, et al. A fiber Bragg grating sensor for static and dynamic measurands[J]. Sens Actuators: A Phys, 2002(96): 21-24.
- [4] Tao X M, Tang L Q, Du W C, et al. Internal strain measurement by fiber Bragg grating sensors in textile composites[J]. Compos Sci Technol, 2000,60(5): 657-669.
- [5] Liu H Y, Liu H B, Peng G D, et al. Observation of type I and type II gratings behavior in polymer optical fiber[J]. Opt Commun, 2003, 220: 337-343.
- [6] 贺福, 王茂章. 碳纤维及其复合材料[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 23-32.
- [7] Holm R. Electric Contact Theory and Application[M]. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1967.
- [8] Liu Xianshu. The Study and Application on Electric Contact Material[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1979: 1-13.

A Study on the Relationship between Resistance and Temperature of Carbon Fiber Yarn and Its Textile Structure

LI Xuan, WU Xu, YANG Bin

(The Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology
(Zhejiang Sci-Tech University), Ministry of Education, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In this paper, the resistance response of CF yarn and its textile structure to temperature are studied. It was found that the resistance of CF yarn has a negative linear relationship with increasing temperature, and that of CF yarn fabric has a negative linear relationship with increasing temperature. The sensitivity of the resistance of warp-knit fabric structure made by CF responding for the temperature has been improved greatly, which indicated that the textile structure is useful to increase the sensitivity and accuracy of the temperature sensing. The main mechanism of the fabric sensing has been deduced to be the change of the contact resistance between yarns during temperature changing.

Key words: CF yarn; fabric; resistance; temperature

(责任编辑: 张祖尧)