

# 织物电阻测试影响因素分析及其回潮率仪的开发

吴学进, 向 忠, 杨云涛, 吴震宇

(浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

**摘 要:** 针对印染行业生产中织物回潮率在线检测的需要和国内织物电阻测试影响因素研究的不足,设计单因素试验,分析压力、电压等因素对织物电阻测试结果的影响。试验显示:织物电阻受测量条件的影响较大,测试结果的重现性较差。通过合理选择与严格控制织物回潮率仪的测量压力、测量电压等,建立较为合适的纯棉、黄麻织物的回潮率电阻标定曲线,完成回潮率仪设计,并实现测量功能。

**关键词:** 织物电阻; 回潮率仪; 标定曲线拟合; 压力; 电压

**中图分类号:** TS131.9      **文献标志码:** A

## 0 引 言

回潮率是衡量织物干燥程度的重要技术指标,对织物的质量影响大<sup>[1]</sup>。印染行业多使用烘筒烘燥机控制织物回潮率,将高温蒸汽通入烘筒内部,烘燥缠绕在烘筒外壁的织物<sup>[2]</sup>。烘燥环节能耗大,据统计,国内染企烘燥耗能占总用热 30%~40%<sup>[3]</sup>。而目前国内对回潮率控制基本以人工控制为主,难以在线准确控制织物回潮率且造成能源浪费。因此亟待实现回潮率在线准确控制,提高产品质量与能源利用效率。常用的回潮率测控方法有红外测量法、微波法与电阻法。红外测量法测控方便,但稳定性差;微波法精度高,但原理复杂、成本偏高<sup>[4]</sup>;电阻法原理成熟,测量精度较高且开发成本适宜,较满足目前印染企业对回潮率在线控制的需求。

电阻法总结回潮率与织物纤维导电特性的规律,测量织物电阻进而推算回潮率。由织物物理特性可知,织物纤维电学性质复杂,影响因素较多<sup>[4]</sup>。目前国内很多回潮率测试仪器<sup>[5-7]</sup>没有就测量条件对织物导电性的影响进行说明。本文通过试验分析织物电阻测试结果的各种影响因素,进而合理选择

与严格控制测量参数,建立仪器的回潮率—电阻标定曲线,并且设计织物回潮率仪硬件电路与控制程序,以实现测量织物回潮率的功能。

## 1 试验方法及平台设计

试验材料选取纯棉、涤棉与黄麻三种织物;试验平台包含万泰电子天平, DHG-102A 带鼓风烘燥箱, ZC-90D 绝缘电阻测量仪, 简易自制测量平台与自制织物湿度控制密封箱。

本文试验分为两部分,首先设计单因素实验,分析测量时间、测量次数、测量电压、测量压力等对织物电阻测试结果的影响;然后根据实验结果合理选择与严格固定仪器测量条件,建立较为合适的回潮率—电阻标定曲线。

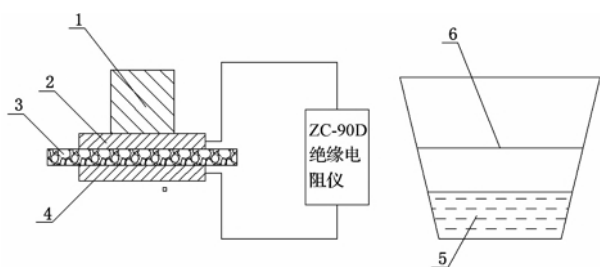
织物电阻测量试验方法如图 1 所示,带有饱和 NaCl 溶液的密封箱控制织物回潮率<sup>[8]</sup>;绝缘电阻仪测量织物电阻,共有 10、50、100、500 V 四个测量电压档<sup>[9]</sup>;法码控制待测织物受压大小;根据公式  $W = \frac{G - G_0}{G_0} \times 100\%$ , (式中:  $W$  为织物回潮率,  $G_0$  织物烘干质量,  $G$  织物总质量), 由烘燥箱烘干织物, 电子天平测量织物的总质量与烘干质量, 从而计算织物

收稿日期: 2013-04-26

基金项目: 浙江理工大学科研启动基金(11132932611002); 浙江省科技厅公益项目(2012C21011)

作者简介: 吴学进(1989—), 男, 浙江温州人, 硕士研究生, 主要从事纺织机电一体化研究。

通信作者: 向 忠, 电子邮箱: xz@zstu.edu.cn



1. 法码, 2. 测量板(正), 3. 织物, 4. 测量板(负),  
5. NaCl 溶液, 6. 带网孔托盘

图1 织物电阻测量原理

准确回潮率值。

## 2 试验结果及讨论

### 2.1 测量压力对织物电阻测试的影响

在其他测量条件固定情况下, 改变图1中法码重量, 以改变织物受压大小, 测试结果如图2—图4所示。由图2—图4可见, 纯棉、涤棉与黄麻织物随表面受压的不断增大, 所对应的电阻值相应减小。究其原因, 织物内部纤维之间存在微小间隙, 受到外界压力后, 间隙减小, 纤维之间的接触点变多, 相当于增加了织物纤维中的并联通路, 因此织物电阻下降<sup>[10]</sup>; 另外, 织物是由纤维加工而成, 其导电性能改变可从纤维高分子角度分析<sup>[11]</sup>; 织物受力后, 纤维内部高分子间的堆砌密度将增大, 这样将使得导电电子容易在分子间跳跃, 同样地, 也降低了织物的电阻。

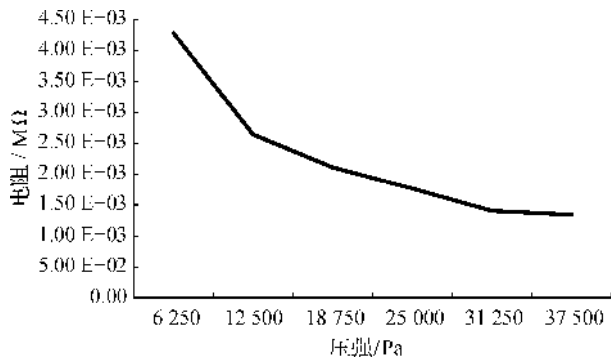


图2 纯棉织物电阻随压强的变化

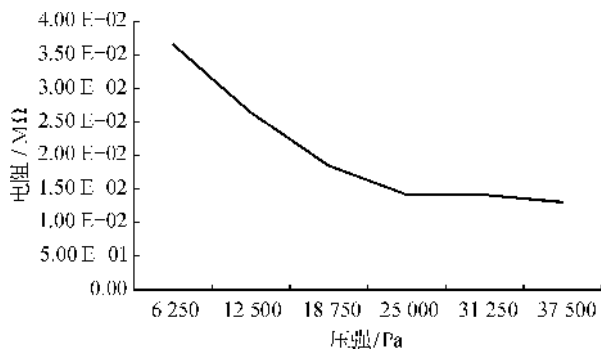


图3 涤棉织物电阻随压强的变化

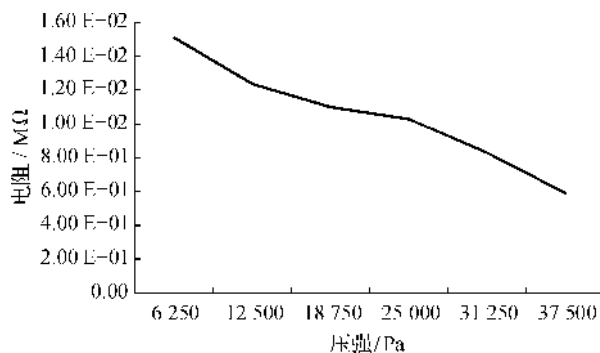


图4 黄麻织物电阻随压强的变化

### 2.2 测量时间、测量次数对织物电阻测试的影响

对织物施加电压后, 流经织物的电流是随时间而变化, 其可以分为瞬时充电电流、吸收电流和漏导电流等<sup>[12]</sup>。瞬时充电电流是由电子、原子极化而造成的位移电流及电极所构成的电容充电电流组成, 其特点是开始时很大, 会在极短时间里下降到忽略不计的地步。吸收电流则由较慢的偶极极化、空间电荷效应和界面极化等因素所造成, 随着时间的延长而减小。漏导电流是为载流子所引起的电流, 织物受到电压的时间增加, 其内部极性离子分子间移动的可能性增大, 产生内肖特基效应, 增加载流离子<sup>[12]</sup>; 再则, 测量时间增大, 织物内部纤维间的间隙将减小, 也会增大漏导电流。最终织物导电性由漏导电流占主要地位, 表现为电流随测量时间逐渐增大, 即织物电阻随测量时间而减小。若取加压后10 s时电阻  $R_{10}$  作参考, 从图5可以看到, 不同时刻的电阻  $R$  与10 s时电阻  $R_{10}$  的比值随时间而逐渐减小。

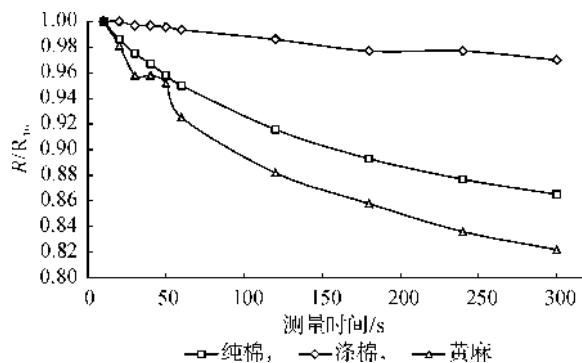


图5 纯棉、涤棉、黄麻不同时刻  $R$  与加压  
10 s 时电阻  $R_{10}$  的比值

织物多次测量得到的电阻值有所差异, 其原因是织物多次测量为变相增加测量时间, 所以引起织物电阻值变化。图6是同一织物相隔2 min的两次电阻测量结果比值。由图6所示, 第二次测量结果  $R_2$  与第一次测量结果  $R_1$  比值  $R_2/R_1$  恒小于1, 即第二次测量时, 织物电阻较第一次测量有所衰减。

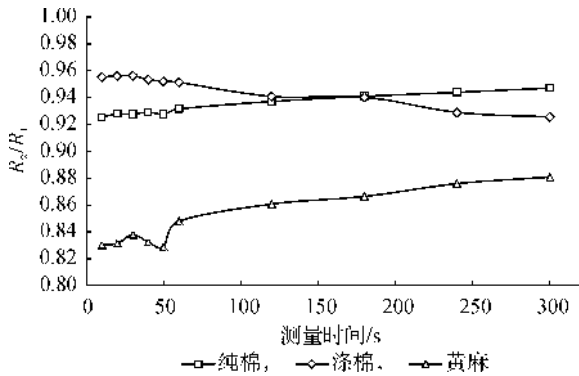


图6 纯棉、涤棉、黄麻第二次电阻测量值  $R_2$  与第一次  $R_1$  的比值

### 2.3 测量电压对织物电阻测试的影响

施加电压对织物导电性能有较大影响。取施加10 V电压时织物的电阻测试结果  $R_{10V}$  作参考,由图7—图9可以看到,对纯棉、涤棉与黄麻织物施加的电压越大,其电阻值  $R$  与10 V时电阻  $R_{10V}$  的比值越小。这主要是因为电压增大,会增加载流子的跃迁频率及传输几率,肖特基效应明显<sup>[12]</sup>;另外电压增大到一定程度时,可能会导致织物电击穿,电介质释放大自由电子,从而进一步增大导电粒子间的隧道电流,使织物电阻降低。

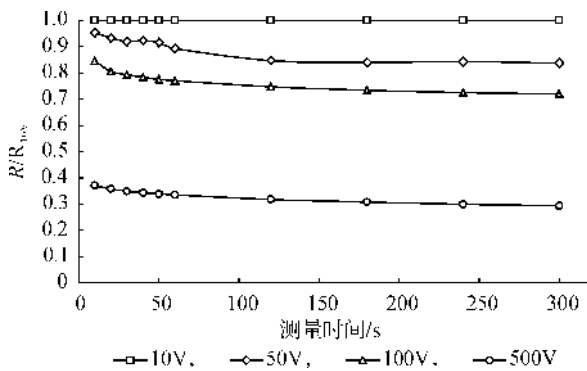


图7 纯棉织物在不同电压下的电阻  $R$  与10 V时电阻  $R_{10V}$  的比值

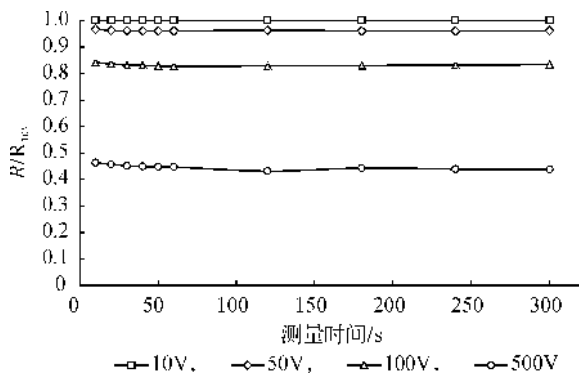


图8 涤棉织物在不同电压下的电阻  $R$  与10 V时电阻  $R_{10V}$  的比值

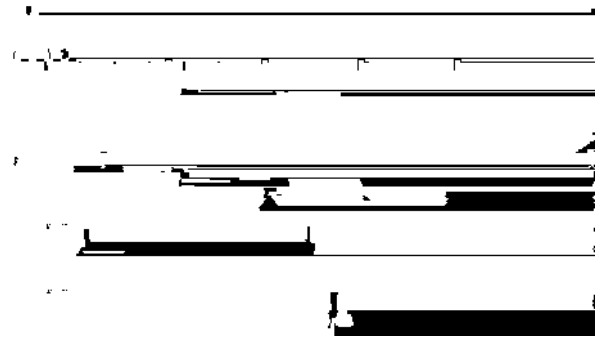


图9 黄麻织物在不同电压下的电阻  $R$  与10 V时电阻  $R_{10V}$  的比值

### 2.4 织物密度对织物电阻测试的影响

同种织物材料会有纤维粗细、经纬纱线密度的差异,而由图10、图11可以确定,同种材料织物经纬密度的改变对其电阻值测量影响不大。

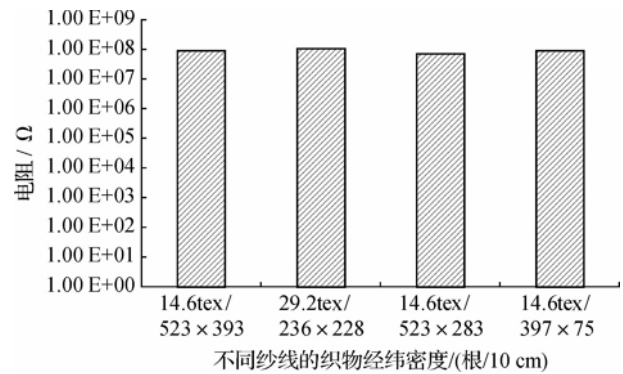


图10 不同纱线及不同经纬密度的纯棉织物电阻值

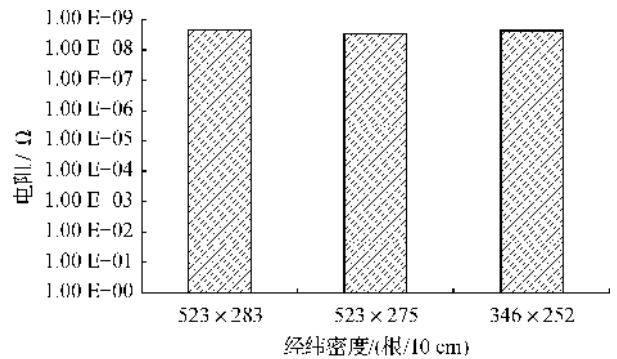


图11 不同经纬密度的13tex涤棉织物电阻值

## 3 试验结论

织物表面所受压力及电压大小对其电导率影响很大,压力越大、电压越高,织物电导率显著提高,电阻衰减幅度较大;另外,织物测量时间越长、测量次数越多,其电阻也将小幅度衰减;而同一种织物经纬密度的改变对其电阻测试结果影响不大。

对于基于电阻法的测量仪器而言,关键是要总

结织物回潮率与电导性的变化规律,而织物导电性与测量条件有关,若测量条件改变,测试结果将无可比性。所以,一方面要合理选择与严格固定某些测量条件,如测量电压与施加压力,在避免对织物造成损害前提下,适当提高电压与压力大小;另一方面,测量仪器在生产线上的测量时间与测量次数是固定的,这就要求仪器标定曲线的这两个测量条件要与实际生产线相同。

经过综合考虑,本文测量仪器标定曲线的测量条件固定为:测量电压 50 V,测量压强 25 kPa,测量时间 5 s。分别对纯棉、黄麻织物进行试验测量。由测量数据的分析可知,织物回潮率与其电阻值基本符合指数关系,于是用统计分析法建立回归方程式:

$$\text{对纯棉织物: } \log R = -0.307 W + 10.2251 \quad (1)$$

$$\text{黄麻织物: } \log R = -0.4576 W + 10.6815 \quad (2)$$

式中:  $R$  为织物的电阻值( $\Omega$ ),  $W$  为织物的回潮率值(%)。

纯棉、黄麻标定曲线分别如图 12、图 13 所示。

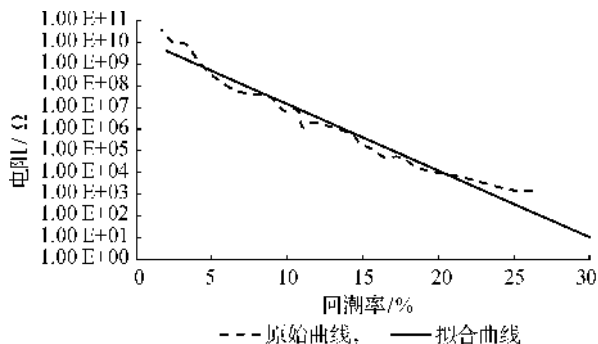


图 12 纯棉标定曲线

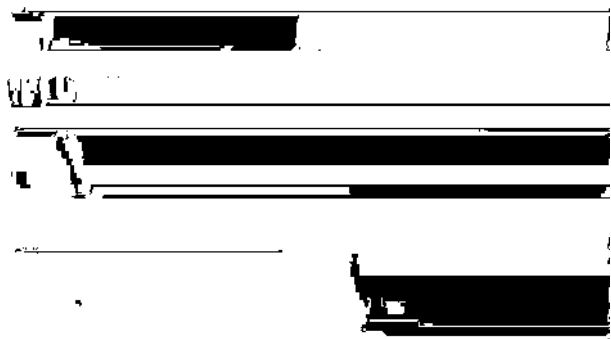


图 13 黄麻标定曲线

#### 4 织物回潮率测量仪的设计与测试试验

织物回潮率测量仪首先测量织物电阻值,再根据回潮率—电阻标定曲线( $W=A+B\log R$ ),以查表法方式将电阻换算成织物回潮率值。测量仪由 50 V 稳压电源发出电压信号,将织物回潮率形成的抽象电阻与一个可变精密电阻结构串联一起,以获取

织物分压情况<sup>[13]</sup>;然后将采样信号通过 AD8221 仪表放大器与 ADG1611 四通道单刀单掷芯片构成的增益可编程放大电路,统一放大到 0~5 V 范围;信号经过电压跟随电路后送入 STC 单片机进行 A/D 转换及数据处理;最后由 LCD 点阵式液晶屏显示织物回潮率信息,DAC0832 输出 0~5 V 控制信号。测量仪器工作框图及主程序流程图分别如图 14、图 15 所示。

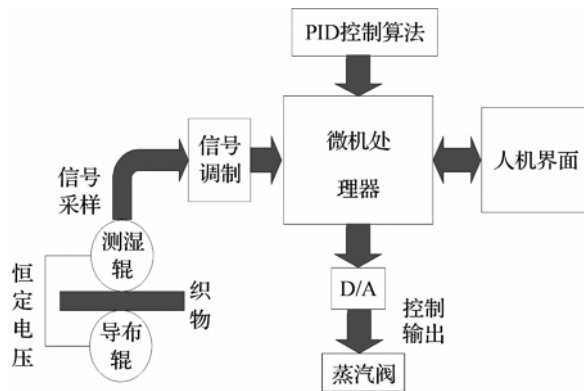


图 14 测量仪工作框图

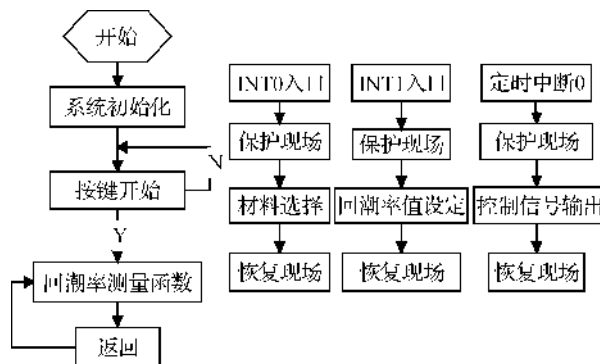


图 15 测量仪主程序流程

根据本文设计内容制作测量仪器,并选取纯棉、黄麻织物进行性能测试。织物回潮率测试结果如表 1 所示。

由表 1 测量数据可以看出,织物在不同回潮率范围内,仪器的测量精度不同;相对而言,织物处于 5.0%~7.5% 时仪器精度较高,低于 5.0% 或高于 7.5% 时,仪器精度有所下降。出现这种状况的原因可以从以下几个方面分析:

a) 织物处于低回潮率时,其电阻值很大,仪器采样信号微弱,造成仪器精度下降。

b) 本文标定曲线的测量环境下,织物平衡回潮率处于 7% 附近;此时,仪器标定曲线较真实反映织物回潮率电阻关系,且仪器采样信号较大,所以仪器精度较高。

c) 织物处于高回潮率(大于 7.5%)时,织物可能存在湿度分布不均匀的状况,仪器标定曲线与织物真

实回潮率电阻关系偏差较大,所以引起仪器精度下降。

表1 纯棉、黄麻回潮率测量数据

织物规格/(根/10 cm)	实际 回潮率/%	测量 值/%	相对 误差/%
纯棉 14. 6tex/523×283(平纹)	4. 85	4. 485	7. 52
纯棉 14. 6tex/523×283(平纹)	5. 82	5. 375	7. 64
纯棉 14. 6tex/523×283(斜纹)	6. 00	6. 35	5. 83
纯棉 14. 6tex/523×283(斜纹)	6. 66	6. 27	6. 22
纯棉 14. 6tex/523×283(平纹)	6. 80	6. 68	1. 76
纯棉 14. 6tex/523×283(平纹)	7. 45	7. 93	6. 44
纯棉 14. 6tex/523×283(平纹)	8. 39	8. 98	7. 03
纯棉 14. 6tex/523×283(斜纹)	10. 00	10. 9	9. 00
纯棉 14. 6tex/523×283(斜纹)	11. 42	12. 37	9. 50
黄麻 28tex/236×236(平纹)	2. 60	2. 34	10. 00
黄麻 28tex/236×236(平纹)	5. 22	5. 60	7. 28
黄麻 28tex/228×228(平纹)	5. 71	5. 67	0. 70
黄麻 28tex/228×228(平纹)	6. 67	6. 70	0. 45
黄麻 28tex/236×236(平纹)	7. 00	7. 30	4. 29
黄麻 28tex/228×228(平纹)	7. 62	7. 60	0. 26
黄麻 28tex/226×236(平纹)	8. 57	8. 98	4. 78

## 6 结语与展望

通过单因素实验分析压力、电压等因素对织物电阻测试结果的影响,结果表明,织物电阻受测量条件的影响较大,测试结果的重现性较差。据此应合理选择与严格控制织物回潮率仪测量条件,建立较为合适的回潮率电阻标定曲线,并设计织物回潮率在线检测仪器,以实现测量织物回潮率功能。织物导电性能及印染生产环境比较复杂,后续研究将立足于工业生产实际,将实验研究应用转换到生产实际;严格控制测量条件,建立真实反映织物回潮率电

阻规律的标定曲线,提高测量仪精度;改善微信号检测电路,提高测量仪的抗干扰能力。

## 参考文献:

- [1] 耿 琴. 纺织纤维与产品, 上: 基础理论[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2007: 140-44.
- [2] 吴 立. 染整工艺设备[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2004: 102-113.
- [3] 王佳丽, 余建化, 吴 潇, 等. 印染行业的节能与减排[J]. 清洁生产, 2009(1): 25-28.
- [4] 于伟东. 纺织材料学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006: 93-94.
- [5] 祁志刚, 赵 坚. SDY-3 型布匹回潮率仪的研制[J]. 棉纺织技术, 1985(10): 34-36.
- [6] 马仁富, 马步虎, 王春芳. 棉纺厂浆纱机回潮率(湿度)微机控制及传动系统的研究[J]. 纺织学报, 1996, 16(3): 159-162.
- [7] 顾 仁, 陈立秋. WSC-U<sub>2</sub> 型含潮率在线检测仪在纺织、印染工艺中的应用[J]. 染整技术, 2011, 33(1): 50-54.
- [8] 郝光宗, 邢丽缘, 梁强威. 饱和盐水溶液湿度固定点: 原理及制备[J]. 传感器世界, 1999(11): 1-4.
- [9] 强佳电气公司. ZC-90D 系列高绝缘电阻测量仪[EB]. (2010-11-01)[2013-05-18]. www.shqjdq.com.
- [10] 贾高鹏, 来 侃, 孙润军. 压缩和回弹及极板放置对棉纤维电阻测试的影响[J]. 纺织学报, 2010(1): 19-23.
- [11] 谢涵坤, 刘以礼. 织物电导机理的研究[J]. 华东纺织工学院学报, 1984(2): 105-111.
- [12] 雷清泉. 高聚物的结构与电性能[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 25-28.
- [13] 黄 昀. 回潮率在线监控系统[D]. 杭州: 浙江大学, 2010: 19-20.

# Analysis on Influencing Factors of Fabric Resistance Test and Development of Moisture Regain Instrument

WU Xue-jin, XIANG Zhong, YANG Yun-tao, WU Zhen-yu

(School of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In allusion to the need of online detection of moisture regain of fabric in printing and dyeing industry and inadequate domestic research on influencing factors of fabric resistance test, this study designs single-factor test and analyzes the influence of pressure and voltage etc, on the result of fabric resistance test. The test shows that fabric resistance is greatly influenced by measurement condition and the test result has a poor reproducibility. This paper establishes an appropriate calibration curve of moisture regain resistance of pure cotton and jute fabrics by reasonably selecting and strictly controlling the measuring pressure and voltage of moisture regain instrument, completes the design of moisture regain instrument and realizes the measuring function.

**Key words:** fabric resistance; moisture regain instrument; calibration curve fitting; pressure; voltage

(责任编辑: 张祖尧)