

基于柔性压力传感器的压力袜压力检测

庞欣,方园,李新阳

(浙江理工大学材料与纺织学院、丝绸学院,杭州 310018)

摘要:针对国内压力袜等成形纺织产品压力测试问题,设计和搭建了一个压力袜压力测试平台。采用 Flexiforce 柔性传感器对压力袜不同部段进行了压力测试,通过 CRIO 嵌入式硬件实时采集数据,并基于 LabVIEW 实现测试数据的分析处理和可视化。压力袜测试实验结果表明:脚踝处压力值为 2.553 kPa,小腿处压力值为 1.995 kPa,大腿处压力值为 1.083 kPa;压力袜压力梯度变化与要求相符。该实验检测方法简单易行,实用性强,有助于解决国内纺织企业压力袜生产中的技术难题。

关键词: Flexiforce; LabVIEW; 压力袜; 压力测试

中图分类号: TS184.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2017) 06-0759-06

0 引言

随着电子、现代纺织和生物技术的飞速发展,智能纺织品的设计、开发及其应用已经成为当前纺织技术研究的热点之一。智能纺织品具有对外界环境变化感知及对变化迅速做出响应的功能^[1],能保持纺织品原有柔软、易变形、舒适等特性^[2],因而带给消费者一种全新的穿着体验。国外发达国家正在致力于这一新技术领域的研究,市场前景广阔。

压力袜是智能纺织品之一,服用时可以消除由下肢静脉血液回流障碍引起的酸痛、疲劳,又可以起到美体塑形作用,深受消费者的喜爱。根据人体静脉曲张的治疗要求,压力袜必须自下而上具备一定的压力差,压力呈现由脚踝至大腿处逐渐递减的梯度变化趋势,保健用压力袜的压力在 1.066~2.666 kPa(8~20 mmHg)^[3]。为了满足压力袜不同部段压力梯度变化,在专业级压力袜中一般采用变密度编织工艺,采用专门的压力医疗保健袜编织机或电脑一体袜机来进行压力袜编织。由意大利罗纳地

(LONATI)公司最新研制的一体成形电脑袜机,具有变密度自动编织功能,适用于医疗、保健、体育等领域特殊纺织品的编织。一体成形电脑袜机通过在线实时检测功能,根据产品设计要求,随时调节各部段织物的编织密度来改变压力袜不同部段的压力分布。但是,目前国内常规的纺织检测方法还无法准确地测试柔性成形类纺织品的压力变化和压力分布状况,已成为压力袜等成形类纺织产品设计和生产中一大难题,困扰着纺织生产企业。近年来,瑞士 Salzmänn 公司推出一种 MKV 医疗压力袜压力测试仪,但高昂的价格使国内纺织企业根本无法接受,柔性成形类纺织产品的压力测试技术一直被国外公司所技术垄断^[4]。

本文根据人体工学原理和压力袜纺织行业标准(FZ/T 73031—2009)要求,制备压力袜^[5];根据柔性纺织产品的测试要求,以 Flexiforce 柔性压力传感器作为数据采集器件,采用专用数据转换芯片搭建压力测试平台,进行压力数据的采集;通过 LabVIEW 图形处理软件实现测试数据分析处理和可视化,可直观地呈现压力袜不同部段压力变化状

况。该实验测试平台结构简单、测试效果好、实用性强,可解决国内纺织企业压力袜生产的技术难题。

1 压力测试装置

1.1 压力测试系统的组成

基于 LabVIEW 压力袜压力测试平台采用 Flexiforce 柔性传感器作为数据采集器件,测试装置由硬件和软件两部分组成,硬件系统采用 National Instruments 公司生产的 CRIO 嵌入式硬件,软件系统采用 LabVIEW 图形化处理软件构成一个完整的测试平台。

在测试系统中, Flexiforce 是一种柔性传感器,当对 Flexiforce 感应区域施加压力时导致 Flexiforce 柔性传感器输出端产生电压变化,利用反相比例放大电路进行信号放大^[6],通过 CRIO 嵌入式硬件系统完成电压信号的采集、处理和保存,最终将检测到的压力变化值转化成电压信号输出。

Flexiforce 是美国 Tekscan 公司研制的一种超薄柔性电阻式压力传感器,传感器薄如纸张且柔韧性强^[7-8],在线性、滞后性、漂移和灵敏度方面具有优良特性,使用简便。传感器的有效传感区域为直径 9.53 mm 的圆,由两层衬底组成,衬底采用聚酯纤维薄膜制作。本文压力袜压力测试装置所用型号为 Sensor A201,其量程范围为 0~11 b(0~4.5 N)。

采样电路部分设计如图 1 所示,采用 Flexiforce 柔性传感器、运算放大器等组建采样电路,检测压力变化值,建立压力与电压的对应关系。

$$V_{\text{out}} = V_0 * (R_F / R_S) \quad (1)$$

式中: R_F 为反馈电阻,阻值为 20 K Ω ; R_S 为传感器的对应阻值,其阻值的变化取决于施加在柔性传感器上压力的变化。 R_F / R_S 为放大电路中的放大系数, V_0 为输入电压, V_{out} 为输出电压。通过采集 V_{out} 来计算传感器所受压力大小。图 2 为柔性传感器实物图。

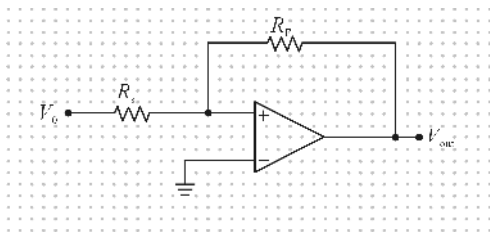


图 1 采样电路部分电路

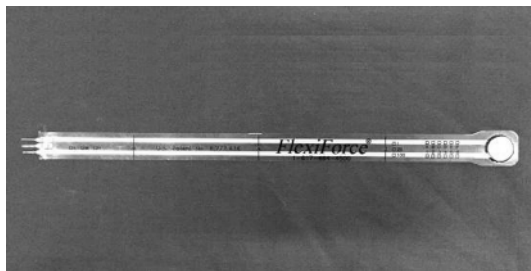


图 2 柔性传感器实物图

数据采集模块采用 CRIO 嵌入式硬件和 LabVIEW 软件平台进行数据的采集和处理^[9]。该部分硬件部分主要由上位机、CRIO 嵌入式硬件这两部分组成,采集模块框架如图 3 所示。

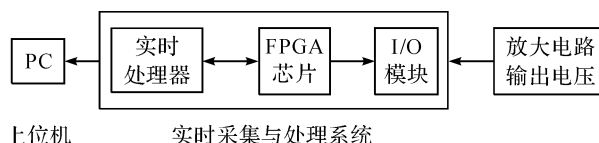


图 3 采集模块框架图

该检测系统主要由 NI CRIO-9022、CRIO-9116、NI 9215 和 NI 9401 组成。NI CRIO-9022 为嵌入式控制器,内置 FPGA 芯片^[10],并结合工业级 I/O 模块进行数据采集和实现实时的数据通信。NI 9215 为模拟电压输入模块,具有 4 个模拟输入通道、16 位的高分辨率,可以采用可编程控制。其中 I/O 模块对电压信号进行 A/D 转换,转换后的数据送到 FPGA 模块中进行数据整合,并将整合完成的数组送入实时处理器中。在实时处理器中,对采集到的数据进行判断、运算等处理,最后将测量获取的数据送入 PC 机中进行保存。图 4 为压力袜测量系统设计示意图。

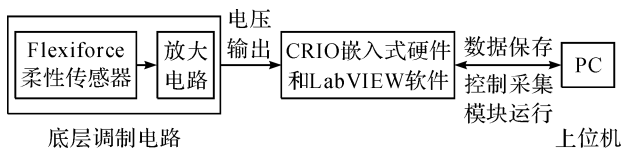


图 4 压力袜测量系统设计示意图

软件部分则基于 LabVIEW 进行开发,对 FPGA 芯片、实时处理器和 PC 机这三个部分编写控制程序。通过程序控制 CRIO 嵌入式硬件初始化和硬件的运行^[11]。图 5 是为压力袜压力测试平台所开发的系统测试界面。

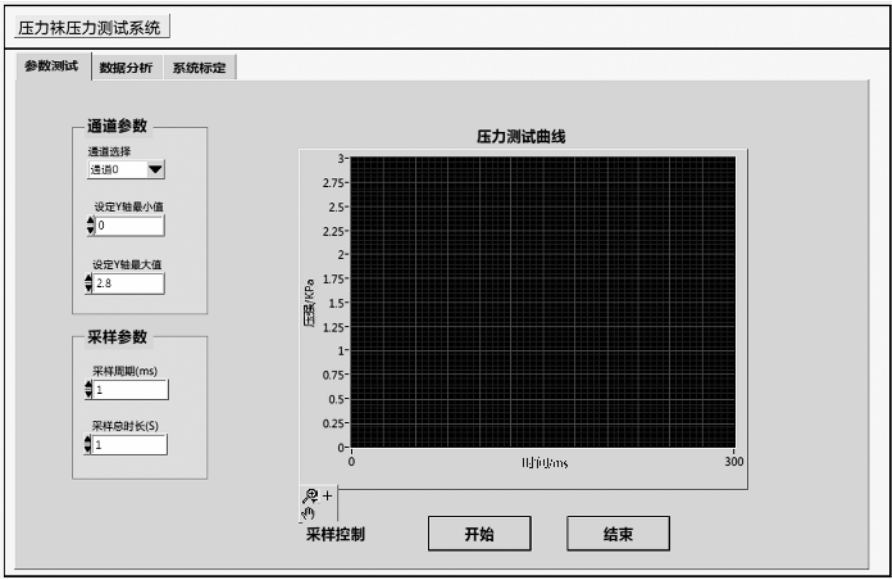


图 5 PC 机测试界面

1.2 压力测试系统的标定

压力测试系统搭建完成后,需进行相关技术参数(采样通道选择、采样时间、采样频率)的设置,并对测试系统作测试数据的量值标定^[12]。量值标定过程中,通过对作用在 Flexiforce 柔性传感器单位面积上的一个重力(施加不同质量的砝码)与传感器输出电压值之间的变化关系进行量值标定,为压力测试数据采集奠定基础。为了提高量值标定的精度和有效性,选择不同质量的砝码(5、10、15、30、60、120 g)进行实验,对单位面积上重力与输出电压值之间变化关系作量值标定。每次实验采集 300 个数据,各取实验数据平均值,柔性压力传感器测量参数标定结果如表 1 所示。

表 1 压力传感器测量参数的标定

质量/g	0	5	10	15	30	60	120
输出 电压/V	0	0.0234	0.0563	0.1238	0.1435	0.3471	0.6225

根据表 1 中压力传感器测得的参数,对作用在传感器单位面积的重力与输出电压值之间的变化关系进行曲线拟合,重力与输出电压值之间的变化关系为: $Y_{out}=0.05833+0.00481X$,变量的相关系数为 0.98535。

柔性传感器压力感应区域 0.71 cm^2 ,因此,可以将作用在传感器上重力与输出电压值之间的变化关系转换为压强与电压的变化关系。单位面积上重力与输出电压值的标定结果如图 6 所示,从图上可以看出,单位面积上重力与输出电压之间呈现近似

线性的变化关系,所构建压力测试系统符合压力测试要求,符合预期设计效果。

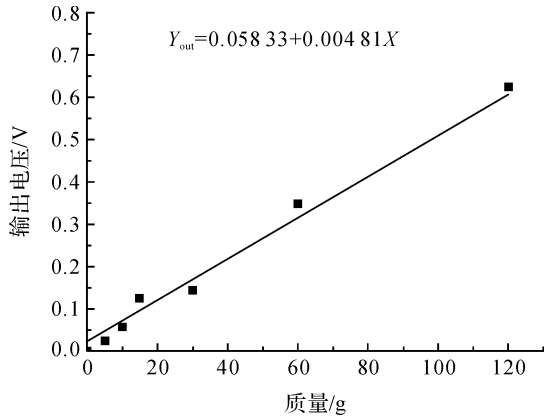


图 6 测试数据的标定

2 实验过程

2.1 压力袜的制备

按照压力袜纺织行业标准(FZ/T 73031—2009)要求,进行压力袜的原料选择、组织结构设计和上机工艺参数设定,选用涤纶/氨纶弹性包覆纱,在 GL616DF 电脑一体袜机上进行压力袜的编织,压力袜编织流程如图 7 所示,压力袜各上机工艺参数如表 2 所示。电脑一体袜机通过选针器控制织针系统运动,控制织针达到不同的编织工艺位置,成圈系统和辅助成圈机构相互作用完成电脑袜机的各种编织动作,满足压力袜的变密度编织要求。

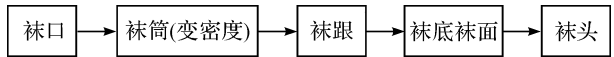
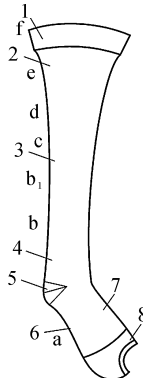


图 7 GL616DF 电脑一体袜机压力袜编织流程

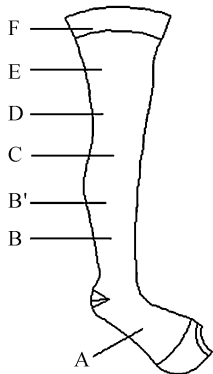
表 2 压力袜的工艺要求与上机参数设定

部位	结构横列数	组织结构	弯纱三角位置	压力袜实例
1	58×2	平针双层扎口	20.8	
e—f	54		稳定区 e(30 横列),渐变区(24 横列)	
d—e	103		稳定区 d(35 横列)渐变区(68 横列)	
c—d	102		稳定区 c(40 横列),渐变区(62 横列)	
b1—c	144		稳定区 b1(44 横列),渐变区(102 横列)	
b—b1	168	纬平针组	稳定区 b(63 横列)渐变区(105 横列)	
袜筒最细处到 b	118	织(袜筒密		
袜跟到袜筒最细处	149	度逐渐变化)		
5	收 54 横列,放 60 横列		21.5	
6/7	186		21.5	
8	收 58 横列,放 72 横列		21.5	
编织纱线成分:Lycra70D+PA40D+PA40D;双层包覆纱				

注:1—袜口,2—上筒,3—中筒,4—下筒,5—袜跟,6—袜底,7—袜面,8—袜头。

2.2 实验条件与测试方法

按照压力袜纺织行业标准(FZ/T 73021—2009)的相关要求进行检测,测试环境温度要求为(20±2)℃,相对湿度为 65%±4%。参照压力袜纺织行业标准执行,将压力袜袜筒部分划分成图 8 所示的部段,对各部段进行压力测试。



A. 脚底;B. 脚踝上部;B'. 跟腱与小腿后肌转变处;
C. 小腿周长最大处;D. 膝盖部;E. 膝盖上部;F. 大腿部

图 8 压力袜各部段的划分

检测时,将腿模放置在人台架上,将 Flexiforce 柔性传感器分别固定在腿模 B、B'、C、D、E 和 F 部位分别进行压力参数采样,为了避免测量过程中的机

械震动和热扰动引起的干扰,在测试系统静置一段时间后,启动压力采集系统进行压力值采样。压力采样值经数字化采集系统处理后,基于 LabVIEW 实现输出结果的可视化。图 9 为实验测试实景照片。



图 9 实验测试照片

3 实验数据与结果

根据压力袜袜筒不同部位的划分,选择 B、B'、C、D、E、F 为测量点进行参数检测,测量点部分测试获得的参数如图 10 所示。

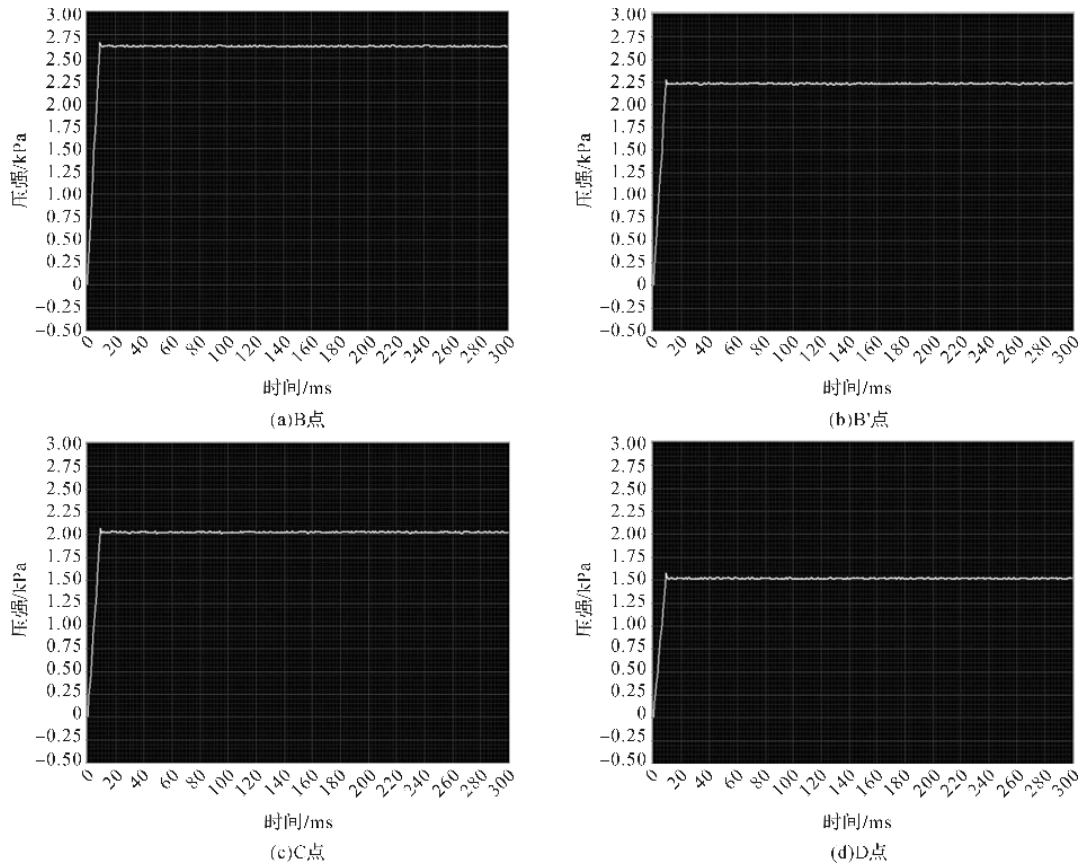


图 10 不同位置压力测试结果

分别对各个压力测试点的压力变化值进行采样,每个测试点采集 300 个数据,并取均值,各个压力点的测试数据如表 3 所示。

表 3 各压力测试点测试结果表

压力值	B(脚踝上部)	B'(跟腱与小脚后肌交接处)	C(小腿周长最大处)	D(膝盖部)	E(膝盖上部)	F(大腿部)
左腿测试值/kPa	2.613	2.248	2.016	1.507	1.453	1.093
右腿测试值/kPa	2.493	2.220	1.973	1.427	1.347	1.073
平均值/kPa	2.553	2.234	1.995	1.467	1.400	1.083
标准压力值(≥)/kPa	2.666	2.133	1.866	1.333	1.333	1.066

压力测试曲线如图 11 所示,结果表明压力袜的压力分布由脚踝向上逐渐减小。

4 结 论

a) 根据人体工学原理和纺织行业标准要求制备压力袜,按照压力袜压力测试要求,采用 Flexiforce 柔性压力传感器,设计与搭建压力袜压力测试平台,并对压力袜不同部段进行压力测试。

b) 通过 CRIO 嵌入式硬件和 LabVIEW 软件,进行压力袜压力的电压信号采集、处理和保存,实现测试数据处理分析和可视化,使测试结果变得更为清晰直观。

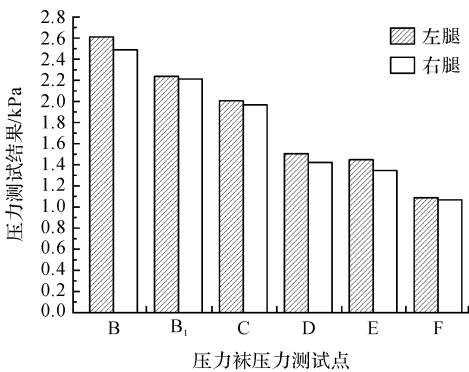
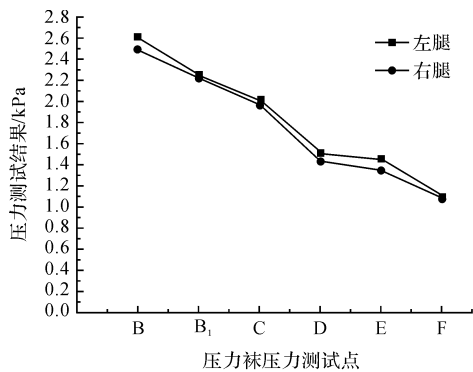


图 11 袜筒压力测试结果分析

c) 在人台穿着压力袜状态下测试脚踝、小腿、大腿等多部位围度上的压力值,脚踝处压力值为 2.553 kPa,小腿处压力值为 1.995 kPa,大腿处压力值为 1.083 kPa。各部位的压力值测试值符合压力袜的设计要求,压力变化趋势与沿脚踝向上逐渐递减变化规律相一致。

参考文献:

- [1] ZYSSET C, NASSERI N, BUTHE L, et al. Textile integrated sensors and actuators for near infrared spectroscopy[J]. *Optics Express*, 2013, 21(3): 3213-3224.
- [2] ROTHMAIER M, LUONG M P, CLEMENS F. Textile pressure sensor made of flexible plastic optical fibers[J]. *Sensors*, 2008, 43(8): 18-29.
- [3] 李红,宋广礼.循序递减压力袜研究[J]. *针织工业*, 2014(10): 19-21.
- [4] 关红涛.医用压力袜纺织结构及其力学性能研究[D].上海:东华大学,2014:1-14.
- [5] 李新阳.保健压力袜工艺与压力分布的研究[D].杭州:浙江理工大学,2015:34-57.
- [6] 罗兆荣,张建祥,朱政.基于单片机的压力传感器信号放大板 FCT 系统[J]. *自动化技术与应用*, 2015, 34(7): 108-112.
- [7] 汤倩,肖居霞,魏取福.运动服动态压力测试系统的构建与评价[J]. *纺织学报*, 2009, 30(9): 123-126.
- [8] 肖旋,李全明.服装压理论及其测试方法的研究进展[J]. *天津工业大学学报*, 2010, 29(4): 48-52.
- [9] 母亚敏,李冶,柏荷.基于 LabVIEW 和 FPGA 的 LCR 测试仪的设计[J]. *电子技术应用*, 2013, 39(11): 92-95.
- [10] 柏滢,林都,鲜浩.基于 FPGA+DSP 的数据采集与实时处理系统的设计[J]. *传感器世界*, 2014, 20(10): 27-31.
- [11] 刘慧,陈关君,于云选.基于 CRIO 技术的传感器测试仪设计[J]. *传感器与微系统*, 2012, 31(9): 99-101.
- [12] 石祥. MSP430 的便携式压力传感器标定系统设计[J]. *单片机与嵌入式系统应用*, 2016, 16(7): 72-74.

Pressure Testing of Compression Stockings Based on Flexible Pressure Sensor

PANG Xin, FANG Yuan, LI Xinyang

(College of Materials and Textiles, Silk Institute, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the pressure testing problems of domestic compression stockings and other shaped textile products, a pressure testing platform for compression stockings was designed and constructed. Flexiforce flexible sensor was used to test the pressure of different parts of compression stockings, and the data were collected in real time through CRIO embedded hardware. Besides, the analysis and visualization of test data were realized based on LabVIEW. The test results of compression stockings showed that the value of ankle pressure is 2.553 kPa, the value of calf pressure is 1.995 kPa, and the value of thigh pressure is 1.083 kPa. The pressure gradient change of the compression stockings conforms to the requirement. The test method is simple, practical and helpful to solve the technical difficulties in the production of compression stockings in domestic textile enterprises.

Key words: Flexiforce; LabVIEW; compression stockings; pressure testing

(责任编辑:廖乾生)