

DOI: 10.19333/j.mfkj.2017040070206

# 新型便携式织物透气仪控制系统设计

吴飞青<sup>1</sup>, 俞恩军<sup>1</sup>, 喻平<sup>1</sup>, 吴成玉<sup>1</sup>, 周自强<sup>2</sup>

(1. 浙江大学宁波理工学院 浙江 宁波 315100; 2. 常熟理工学院 机械工程学院 江苏 常熟 215500)

**摘要:** 设计了基于嵌入式的便携式在线测量的织物透气仪的控制系统, 根据流体流动的压差原理, 融合2路压力检测传感器的实时信号, 协同控制风机与喷嘴以满足织物测试条件, 从而实现织物透气量的测量, 并通过人机交互系统显示。根据 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》对13个标准样品(目标差压为100 Pa)进行测试, 并与固定式 YG461 透气仪进行比较, 测试结果表明: 所有数据误差均在  $\pm 5\%$  的范围内, 说明控制系统具有较好的精度和稳定性。

**关键词:** 在线测量; 织物检测; 透气仪; 控制系统; 检测仪器

中图分类号: TS 107.5 文献标志码: A

## Research and development of the control system of new portable woven permeability tester

WU Feiqing<sup>1</sup>, YU Enjun<sup>1</sup>, YU Ping<sup>1</sup>, WU Chengyu<sup>1</sup>, ZHOU Ziqiang<sup>2</sup>

(1. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo, Zhejiang 315100, China;

2. Changshu Institute of Technology, Changshu, Jiangsu 215500, China)

**Abstract:** In this paper, the first domestic embedded on-line portable woven permeability tester was designed by pressure differential method. In the control system, two real-time pressure input signals were fused, the fan and different nozzles were used to meet the test condition and test the permeability volume, then the wanted data would be displayed on LCD. Finally, 13 standard samples based on GB/T 5453—1997 (Goal differential pressure: 100 Pa) were tested, and compared with fixed YG461 instrument, the results showed that all the errors were in the range of  $\pm 5\%$ , which had good accuracy and stability.

**Keywords:** on-line measurement; woven test; air permeability tester; control system; test instrument

纺织产业是我国国民经济的重要产业。随着生活水平的提高, 人们对织物的质量越来越重视, 尤其是织物的舒适性。纺织品的品质包含很多方面, 如机械强度、防紫外线和透气性等, 其中透气性是评价织物舒适性的一项重要指标, 直接影响到织物的品质。织物的透气性反映织物的热、湿传递特性, 与保

暖性能密切相关, 直接影响人们穿着的服用舒适性。对用于过滤的织物而言, 透气性与效率均有密切关系<sup>[1]</sup>, 透气性测量对织物具有重要的意义。

织物的透气量主要由织物结构类型、织物组织、织物密度、纱线捻度、经纬线的大小和经纬纱结构等决定<sup>[2]</sup>, 也是影响服用舒适性的一个重要因素。多年的研究, 已开发出多种透气性实验室检测仪器, 其检测方法主要有压力法(压差法和等压法)、浓度法、体积法、气相色谱法和热传导法<sup>[3]</sup>。根据不同的检测原理, 研制出不同类型的透气性测试装置, 其中压差法是透气性测试中的首选方法。国外对于纺织品的透气性研究较早, 基于压差法各国建立的透气性测试标准也不相同, 包括 ISO 9237、ASTM

收稿日期: 2017-04-10

基金项目: 宁波市科技计划项目(2014B82015); 浙江省科技厅公益技术研究工业项目(2013C31135); 全国教育信息技术研究“十二五”规划2014年度青年课题(146241691); 江苏省高校自然科学研究重大项目(15KJA460001)

第一作者简介: 吴飞青, 副教授, 主要研究方向为智能控制及装置。E-mail: wfq2006@yeah.net。

D737、DIN 53387 和 JIS L 1096 等<sup>[1-4]</sup>。根据不同标准,德国研制了 GDP-C 气体透过率测试仪,丹麦研制了 LYSSYL100-5000 全自动气体渗透分析仪,日本研制了 KES-F8 透气度测试仪,瑞士研制了 FX3360 透气性测试仪<sup>[4-5]</sup>。我国的纺织检测仪器的研究虽起步较晚,也制订了纺织行业透气性检测的国家标准 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》,根据该标准,国内有些厂家也开发了相应的透气仪,如宁波纺织仪器厂研制 YG461E 等仪器<sup>[6]</sup>。

纺织品透气性检测目前主要是采用实验室固定的检测仪器,检测过程一般需要取样、检测、调整试剂、再取样、再检测,一直到合格为止。仪器大且重,测试时间长,造成周期长、成本高、不宜在线和移动检测。为满足企业的生产需要和移动检测需求,需要研发一种能满足在线检测、携带方便、对生产过程中的信息及时准确检测处理的透气性检测仪器,从而实现实时监控、实时调整生产方案,提高产品质量。开发携带方便且能在线检测的织物透气仪具有广泛的应用领域和市场,同时有利于提高纺织工业的自动化水平,实现对产品质量有效监督、管理,可极大地提高产品质量管理的有效性、实时性,缩短试生产周期,提高生产效益,打破国外垄断。

## 1 工作原理及理论分析

### 1.1 工作原理

根据 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》,透气性是指空气透过织物的性能,用在规定的试验面积、压差和和时间条件下,气流垂直通过试样的速率表示。在规定的压差条件下,测定一定时间内垂直通过试样给定面积的气流流量,计算出透气率。气流速率可直接测出,也可通过测定流量孔径两面的压差换算而得。透气性测试方法一般为压差法和等压法,虽然测试原理和条件不同,但是2种方法在透气性测试领域都占有重要地位<sup>[7]</sup>。透气仪结构见图1。

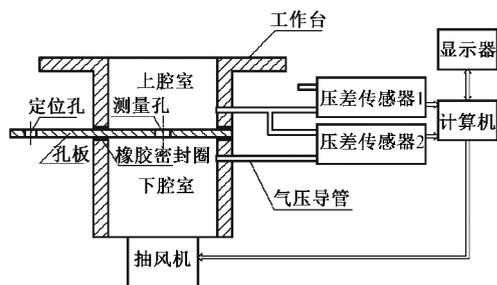


图1 透气仪结构

根据国标要求,本文研究采用压差法原理设计

样机,由机械部分和控制部分构成。机械部分由工作台、上下腔室、孔板、抽风机等构成,控制部分由压差传感器、控制板、LCD 显示器及相应的软件构成。机械部分的腔室是个截面积是 20 cm<sup>2</sup> 圆形筒体,筒体被一个金属孔板分为上下 2 个腔室,孔板中间的 1 个测量孔连接上下腔室。上腔室的上端与工作台相通,用来放置测试织物材料,工作台为略外凸的光滑圆弧面,以便于与被测的样本紧密接触减少侧漏。下腔室与抽风机直接相连,抽风机由控制部分控制,工作时把腔室内的空气抽出,在下腔室内形成负压。上腔室内的气体,通过测量孔被吸入下腔室,也形成负压,在这个压差的作用下,空气透过被测样品进入上腔室,再通过孔板中的测量孔进入下腔室。在额定的压差下(100 Pa 或 200 Pa)、在确定孔板测量孔径大小的条件下,单位时间内透过孔板中测量孔的的空气量,就是该织物的透气量。

### 1.2 理论分析

压差法实际上就是利用气体流经管道中的节流装置(孔板),在节流装置前后产生压差,根据压差的大小、已知的流体条件、检测件及管道的几何尺寸来测量流量的一种方法<sup>[3]</sup>。差压式流量计原理结构见图2。

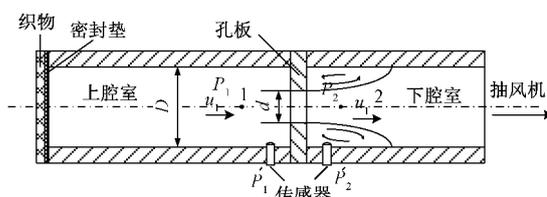


图2 压差式流量计原理结构

根据流动质量守恒定律和能量守恒定律<sup>[9]</sup>,可得管道里单位质量空气的能量公式:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + h_2 \quad (1)$$

式中:  $P_1$  和  $P_2$  为系统中 1 点和 2 点的压力, Pa;  $u_1$  和  $u_2$  为系统中压力对应点的速度, m/s;  $h_1$  和  $h_2$  为系统对应点的相对高度, m;  $\rho$  为流体密度, kg/m<sup>3</sup>;  $g$  为重力加速度, 9.81 m/s<sup>2</sup>。

由于空气密度较小且空气流动距离较短,腔室内的直径较小,可以忽略摩擦力的作用以及腔室内同一截面的压差。根据流动连续性原理和伯努利简化方程,可得流量与喷嘴两端压差之间的关系公式<sup>[8]</sup>:

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho} = CA \sqrt{2g\Delta p} \quad (2)$$

式中:  $q_m$  为空气的体积流量, m<sup>3</sup>/s;  $C$  为流出因数,为实际流量与理论流量之比,受气流速度和断面收缩的影响;  $\beta$  为孔板开孔直径与管道内径之比;  $\varepsilon$  为

流束膨胀因数,对流体通过节流件对密度发生变化所引起系数变化的修正; $d$ 为孔板开孔直径,mm; $\Delta p$ 为孔板两端传感器的差压,Pa; $\rho$ 为空气密度, $\text{kg}/\text{m}^3$ ; $A$ 为小孔面积 $1/4\pi d^2$ , $\text{m}^2$ ; $g$ 为重力加速度, $9.81\text{ m}/\text{s}^2$ 。

从式(2)可以看出,气体体积流量与喷嘴两端的压差呈非线性关系,式中参数有些可以通过实际测量获得,而 $C$ 、 $\varepsilon$ 参数对透气量的影响十分复杂,难以定量或定性确定。

## 2 硬件系统设计

控制系统是样机的核心部分,其硬件系统主要包含4个模块:压力检测模块、风机控制模块、信号处理模块和人机界面模块,控制系统框架如图3所示。压力检测模块用来检测被测织物两侧的压差和孔板两侧的压差,作为控制系统的信号输入部分;风机控制模块主要是根据测量的需要,通过改变风机转速与孔板一起来实现操作人员的设定压差;信号处理模块主要是对压力检测模块采集到的压差信号进行处理并根据压差与透气量之间的关系计算织物的透气量;人机界面模块便于工人操作,如输入、测试结果的输出以及结果的查询。系统框架见图3。

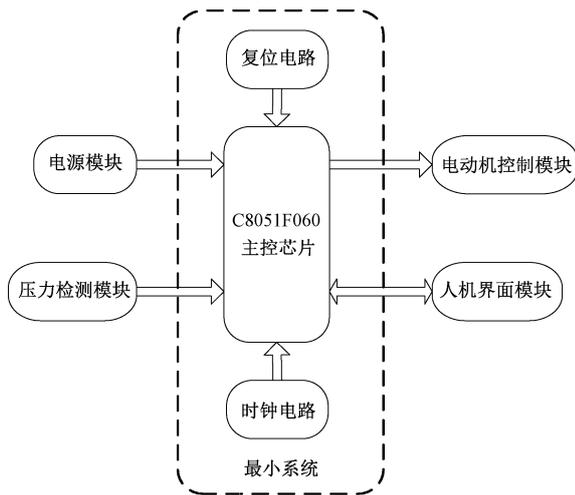


图3 控制系统框架

样机具体测量步骤:待测样品在工作台上压紧后,抽风机开始运转,然后把控室内的空气抽出,气压导管把上腔室的压力同时送到压差传感器1和压差传感器2(见图1),而下腔室的气压送到压差传感器2。控制器对这些信号进行识别、分析与计算等过程,通过抽风机与孔板配合使得抽风机在织物设定的压差下达到稳定,然后根据每块孔板的压差与透气量之间的关系,计算出对应的透气率并通过LCD显示。

## 2.1 硬件选型

样机采用C8051F060芯片作为控制核心,它是完全集成的混合信号片上系统型MCU,采用Silicon Lab的专利CIP-51微控制器内核<sup>[9]</sup>,高速、流水线结构的8051兼容的CIP-51内核(可达25 MIPS)与标准的8051结构相比指令执行速度有很大的提高,是一种功能比较齐全的高速、高性能单片机,支持闪存的读写操作以及非侵入式在系统调试。Cygna1提供基于Windows集成的在线开发调试环境<sup>[9]</sup>,可实现存储器及寄存器校验和修改;设置断点、观察点、堆栈;程序可单步运行、全速运行、停止等。在调试时所有的数字和模拟外设都能正常工作,实时反映真实情况,且具有59个数字I/O引脚,片内集成了2个16位、1 Msps的ADC,一个10位、200 Ksps的带8通道模拟多路开关的ADC,可以完成多路模拟量的高速高精度采集。64 KB可在系统编程的FLASH存储器;4 K+256字节的片内RAM<sup>[9]</sup>,满足该系统设计要求。

根据设计要求,织物两侧的压差应能达到100~200 Pa,采用DC002NDC4和DC020NDC4压差传感器,DC002NDC4的压力范围为0~500 Pa,耐压25 000 Pa,爆发压力为5 000 Pa;DC020NDC4压力范围为0~5 000 Pa,耐压75 000 Pa,爆发压力125 000 Pa<sup>[10]</sup>。这2种压差传感器都属于高精度微压带放大信号压力传感器,拥有紧密的温度补偿、偏移和量程校准,以及卓越的长期稳定性,最主要的是它有着良好的线性输出。适用于无腐蚀性的、非离子的工作环境,比如清洁干燥的空气流体等。

## 2.2 电源模块设计

本文控制系统的电路电压需要3种规格,分别为12.0、5.0和3.3 V。手持式总电源由12.0 V锂电池提供;5.0 V的电压是12.0 V电压通过WRB1205YMD-6 W DC-DC模块电源降压得到<sup>[11]</sup>,此模块的输入电源的电压较宽,范围为9~18 V,最大可达20 V,最大输出电流可达250 mA,高温特性好,输出电压稳定性和输出纹波噪声较高的,能满足工业级产品的技术要求。3.3 V采用高效线性三端稳压器AMS1117,把5 V电压变为3.3 V电压<sup>[12]</sup>。

## 2.3 风机控制模块设计

风机的作用是抽取气压腔内的空气,在被测织物两侧形成所需的压差,同时使得气体在气压腔内快速流动。由于不同织物需要不同的流速来产生所需的压差,因而要求电机有稳定强劲的风力,系统采用定制的200 W/12 V直流风机且进风口配置过滤网。

风机的转速通过直流电动机控制,其电压由锂

电池提供,驱动能力较弱,本文系统采用 MOSFET 75NF75 做驱动功率管<sup>[13]</sup>;直流电动机的转速控制有励磁控制法与电枢电压控制法,根据控制技术的方便,系统采用 PWM 电枢电压控制法。同时为消除驱动电路对其他电路的干扰,以及对其他电路进行保护,该系统将电动机驱动电路与其他控制电路采用 TLP181 高速光耦电气隔离<sup>[14]</sup>。

### 3 软件系统设计

#### 3.1 程序设计流程

根据透气仪的工作原理和操作步骤,对织物透气仪的软件包含以下主要模块:①主程序模块:系统初始化(时钟振荡器初始化、端口初始化、定时器初始化、AD 转换初始化等),开机界面显示,查询人机界面操作,并做出对应的处理;②电动机速度调整模块:进入测试界面按下启动按键,电动机开始启动,根据织物两侧的设定压差自动调整电动机转速,当织物两侧压差稳定时读取孔板两侧压差,计算透气率,保存测量数据,电动机停止,界面显示;③喷嘴选择模块:每个喷嘴都有一个透气率测量范围,当测试样品的透气率小于当前喷嘴的最小值时,提示更换小孔径喷嘴进行测量,相反则要更换大孔径喷嘴来测量;④透气量的检测:首先建立各孔板的透气量数学模型,然后根据实际的压差传感器的测量值来计算透气量。程序控制总流程如图 4 所示。

#### 3.2 电动机速度调整

系统中通过 PWM 电枢电压控制法来调整电动机转速。机器启动测试后,不停采集织物两侧压差,当压差小于设定压差时,减小占空比,电动机加速;当压差大于设定压差时,增大占空比,电动机减速。通过电动机速度的调整,直至织物两侧压差稳定在设定压差范围,此时才可以读取 AD 测量数据。电动机速度调整程序流程图见图 5。

#### 3.3 喷嘴选择

喷嘴的选择在织物透气仪的工作过程中是非常关键的步骤,不同的喷嘴对应不同的透气率测量范围。当所测量的织物透气率超出当前喷嘴的测量范围时,程序会提示增大或减小喷嘴。喷嘴大小的判断跟 PWM 调整有着密切的关系,在调整 PWM 的时候,要实时判断对应喷嘴占空比的上、下限值。喷嘴选择程序流程图见图 6。

#### 3.4 参数预测

压差测量法所采集到的数据是各喷嘴两端的压差,要准确检测织物的透气量,关键是建立不同喷嘴下的压差与透气量的数学模型。根据基于压差法的

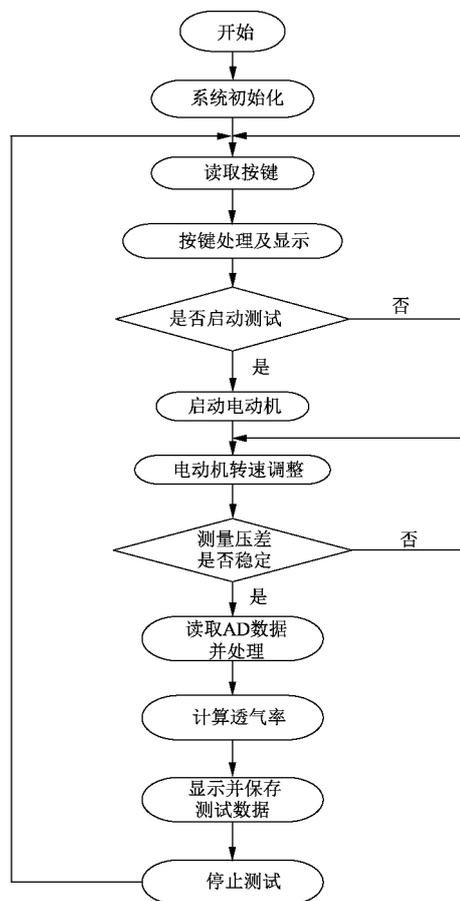


图 4 程序控制总流程

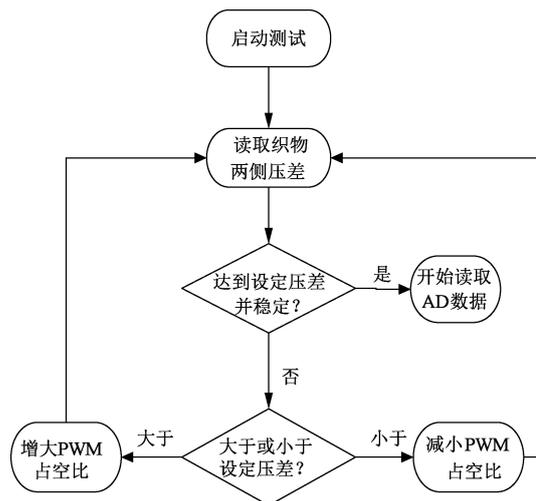


图 5 电动机速度调整程序流程图

透气仪的结构以及理论分析,可知压差与透气量呈现非线性幂函数关系。由于不同喷嘴下有不同的非线性关系<sup>[15]</sup>,不同喷嘴下的非线性关系由实际测量数据可得:

$$Y = a \times X^b + c \quad (3)$$

式中:  $Y$  为流体的气体流量;  $X$  为两室压差;  $b$  为指数(理论值为 0.5);  $a$  是拟合系数;  $c$  是拟合误差; 织物的透气量是根据具体喷嘴下所采集的压差并通过上述数学模型求取。对于式(3)参数  $a$ 、 $c$  难以用理

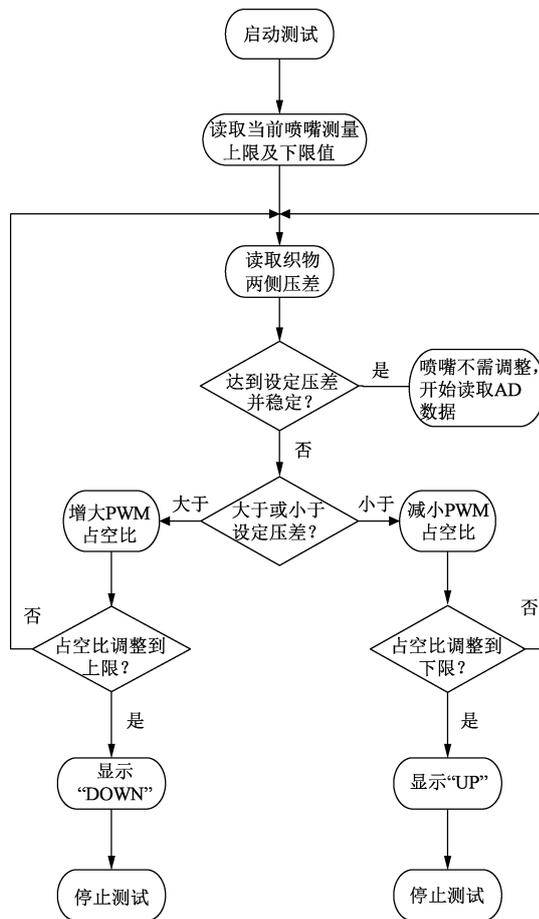


图6 喷嘴选择程序流程图

论计算的方法获得,因而采用参数预测方法。本文采用一元非线性回归分析预测法,其回归模型的表达式为<sup>[17]</sup>:

$$y = f(x, \beta_1, \beta_2) + \varepsilon_i \quad (4)$$

式中:  $x$  为自变量;  $y$  为因变量;  $\beta$  为未知常量;  $\varepsilon_i$  为随即项,又称随机误差,满足:  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ , 且  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  相互独立。

设  $x_i, y_i$  为实测值,其中  $x_i$  为自变量,  $y_i$  为因变量。  $f(x_i, b_1, b_2)$  为  $y_i$  的理论值,  $b_1, b_2$  为常量,根据最小二乘法原则,可得残差平方和  $Q$  的公式如下:

$$Q = \sum_{i=1}^N \{y_i - f(x_i, b)\}^2 \quad (5)$$

当上述公式中的  $Q$  值最小时,此时的参数值即为非线性回归模型的参数值。

## 4 实验

为了检验控制系统的正确性和可靠性,研发了一台样机并在纺织品测试实验室进行透气试验。采用 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》对 13 个标准样品测试(目标差压为 100 Pa),并与固定式 YG461 透气仪进行比较,每组数据测 3 次,取其平均值,测试结果如表 1 所示。可以看出所有误

差均在  $\pm 5\%$  的范围内。

表1 样机和固定式透气仪测试数据比较

样品序号	喷嘴直径 $\phi$ / mm	透气量 / (L·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )		误差 / %
		样机	固定式	
1	1.60	11.42	11.10	2.88
2	2.20	17.96	18.88	-4.86
3	2.80	32.86	32.74	3.78
4	4.00	52.64	51.04	3.13
5	5.10	87.33	86.82	0.59
6	6.60	145.31	139.87	3.89
7	8.05	210.17	206.07	1.99
8	9.80	298.08	304.90	-2.24
9	11.45	397.41	400.37	-0.74
10	13.80	580.92	600.33	-3.23
11	16.20	841.49	827.03	1.75
12	19.00	1 143.30	1 107.67	3.22
13	21.80	1 486.20	1 455.67	2.10

注: 目标压差 100 Pa。

## 5 结束语

本文设计了新型手提式透气仪,开发了基于单片机的透气仪控制系统,详细地论述了系统硬件和软件的设计,并在此基础上完成了系统的调试及参数的测试,采用 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测试》对 13 个标准样品测试(测试条件:目标差压为 100 Pa),并与固定式 YG461 透气仪进行比较,由于便携式透气仪的被测织物与仪器间为非紧密接触,使得测漏比固定式透气仪严重,导致精度较低,从测试数据可以看出所有误差均在  $\pm 5\%$  的范围内,表明控制系统具有较好的精度和稳定性。该仪器可缩短生产周期,降低生产成本,提升纺织工业竞争力,促进我国纺织工业的发展,因而具有广泛的市场。

### 参考文献:

- [1] 张建祥,王桂芝,崔金德,等. 纺织品透气性测试[J]. 印染 2009, 35(23): 38-40.
- [2] 邱茂伟,王府梅. 机织物透气性能的预测研究[J]. 纺织学报 2005, 26(4): 73-75.
- [3] 刘孝锋,汪仁煌. 基于压差法的薄膜透气性测试装置研究现状[J]. 包装工程 2011, 32(9): 115-118.
- [4] 标准集团(香港)有限公司. 透气仪织物透气性测试 [EB/OL]. (2004-12-19) [2014-08-25]. <http://wenku.baidu.com/link?url=I3R5r6jiW9a0AKBZmFHIUuRS0Ga07zNGaK4VQeNGx7SP6mdUHFBVWumKBTUs4wPVJdsq6Ay86jLzSeBCr0Y9xYtnQzUlhGD51aqBCbIfvL>.

- [5] 广州理宝实验室检测仪器有限公司. TEXTEST 便携式透气性测试仪 FX3360 [EB/OL]. (2002-10-05) [2014-05-16]. <http://www.epooo.com/products/4729658.html>.
- [6] 宁波纺织仪器厂. YG461E 型数字式织物透气仪 [EB/OL]. (2000-05-24) [2014-05-16]. [http://www.chem17.com/st680/Product\\_6260.html](http://www.chem17.com/st680/Product_6260.html).
- [7] 王微山, 赵江. 薄膜透气性测试的两种方法比较—压差法和等压法 [J]. 食品工业科技, 2008, 29(8): 283-284.
- [8] LANDAU L D, LIFSHITZ E M. Fluid Mechanics: Second Edition [M]. Beijing: Book World Publications, 1999: 60-89.
- [9] 史宇辉, 米微琪, 李睿. 基于 C8051F060 的数据采集子站设计 [J]. 微电子学与计算机, 2009, 62(12): 81-86.
- [10] HONEYWELL. Sursensetm precision very low pressure sensors/U-output. sensor technics [EB/OL]. (2005-06-18) [2014-01-03]. [http://www.ic37.com/SENORTECHNICS/DC050\\_datasheet\\_8090739/DC050\\_4.html](http://www.ic37.com/SENORTECHNICS/DC050_datasheet_8090739/DC050_4.html).
- [11] 钟璠. 无人试验船控制平台的设计及测试研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [12] 郑晓庆, 杨日杰, 杨立永, 等. 多路输出 DC-DC 电路设计 [J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(9): 29-33.
- [13] 石江涛. 基于 STC 单片机无刷直流电动机控制系统的设计 [D]. 太原: 太原科技大学, 2014.
- [14] TOSHIBA. TLP181 docin [EB/OL]. (2002-02-13) [2012-06-02] <http://www.docin.com/p-114352973.html>.
- [15] 黄其善. 织物中压透气仪 [J]. 纺织学报, 1985, 6(4): 11-15.
- [16] 贾乃光. 数理统计 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.