

DOI: 10.13475/j.fzxb.20171003907

开放式局部热阻测试系统的实现

邓辉^{1,2}, 师云龙^{1,2}, 胡源盛³, 钱晓明^{1,2}, 范金士^{1,2,3}

(1. 天津工业大学 纺织学院, 天津 300387; 2. 天津工业大学 教育部先进纺织复合材料重点实验室, 天津 300387; 3. 康奈尔大学 人类生态学院, 纽约 14853)

摘要 针对目前适用于单段暖体假人局部热阻测试系统较少的问题, 结合康奈尔大学的单段暖体假人(Walter 出汗暖体假人)系统, 设计搭建了开放式局部热阻测试系统并进行了局部热舒适性研究。采用该系统对 Walter 出汗暖体假人的裸态和穿 M 号全棉衬衣和休闲裤、穿大孔 M 号全棉短袖衫和休闲裤、穿小孔 M 号全棉短袖衫和休闲裤、穿全棉 T 恤和休闲裤等 4 种着装状态下共 5 种情况进行了整体热流密度、局部热流密度和服装热阻 3 项测试。结果表明, 开放式局部热阻测试系统可准确表示穿着不同服装条件下假人的局部热流密度数值, 其整体热流密度误差不超过 4.6 W/m², 热阻误差不超过 3.1%。

关键词 局部热阻; 单段暖体假人; 出汗暖体假人; 热阻测试系统

中图分类号: TH 89 文献标志码: A

Research on open local thermal resistance measurement system

DENG Hui^{1,2}, SHI Yunlong^{1,2}, WU Yuensheng³, QIAN Xiaoming^{1,2}, FAN Jintu^{1,2,3}

(1. School of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. Key Laboratory of Advanced Textile Composites, Ministry of Education, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 3. College of Human Ecology, Cornell University, New York 14853, USA)

Abstract In view of very few tests on local thermal insulation using "Whole-segment" thermal manikin, with "Whole-segment" ("Walter" sweating manikin) in Cornell University, the open local thermal resistance test system was designed and developed, and related research was carried out. By several instances including nude state and wearing M type cotton shirt + trouser state, wearing M type cotton short sleeve shirt (large hole) + trouser state, wearing M type cotton short sleeve shirt (small hole) + trouser state, wearing M type cotton T-shirt + trouser state, whole body heat flux test, local heat flux test and local thermal resistance test were completed with this system. The results show that the open local thermal resistance test system can accurately represent the local heat flux value of the manikin under different clothing conditions, the overall heat loss tested does not exceed 4.6 W/m², and the local resistance error can be controlled within 3.1%.

Keywords local thermal resistance; "Whole-segment" thermal manikin; sweating manikin; thermal resistance measurement system

热阻是影响服装热舒适性的重要参数, 其测量方法和测试系统对于研究和改善服装的热舒适性具有重要意义^[1]。众所周知, 人体各部位的体表温度各不相同, 人体各部位的局部热阻也各不相同。局部热阻能更真实地表达服装对所覆盖部分身体的隔热性能^[2-3]。特别是对于由相同面料组成的服装而

言, 局部热阻还能区分由服装结构形成的细微差别。

目前局部热舒适性研究是国际上此类研究的热点问题, 包括如日本^[4-6]、葡萄牙^[7-9]、瑞典^[10-12]以及德国^[13-14]等国家在内的许多学者均借助假人在研究人体局部热舒适性上取得了较大的进展, 但上述的研究均在多段暖体假人 (multi-segment

收稿日期: 2017-10-13 修回日期: 2018-05-28

基金项目: 天津市应用基础与前沿技术研究计划重点项目 (15JCZDJC38500); 纺织工程国家重点学科优秀青年教师计划项目 (13-06-01)

第一作者简介: 邓辉 (1979—), 男, 副教授, 博士。主要研究方向为服装局部热传递。E-mail: denghui@tjpu.edu.cn。

manikin) 上完成。多段暖体假人在局部热舒适性的研究上具有一定的优势,但多段暖体假人是由温度和测量系统单独控制的多节段组成,这种暖体假人可以给出在一定的环境条件下各段的相对热损失,但同时其某一节段到另一节段还存在内部热传递,服装层内之间有热流,这些都会影响局部热阻的准确性,这显然与真实的人体是有区别的。单段暖体假人(whole-segment manikin) 全身为一个整体,各部位由于相互连通,其参数如表面温度和湿度等可以相互影响,更贴近真人的情况。目前对于单段暖体假人的局部热舒适性的相关研究较少,主要原因在于适合于单段暖体假人的局部热阻测试系统并不多见。

本文结合康奈尔大学的出汗暖体假人 Walter^[15-16]。设计开发开放式远程局部热阻测试系统并完成局部热阻的测试,并通过多个实例进行测试以验证了结果的准确性。

1 局部热阻测试原理

1.1 暖体假人热阻测试原理

热阻的计算主要有 3 种方法,包括总体法、并行法和串行法,其中可应用于局部热阻计算的为并行法和串行法 2 种计算方法。

并行法算法如式(1)所示。

$$I_T = \frac{\sum (f_i \times \overline{t_{sk_i}}) - t_o}{\sum (f_i \times \dot{Q}_{s_i})} \quad (1)$$

串行法算法如式(2)所示。

$$\frac{1}{I_T} = \sum f_i \times \left(\frac{\dot{Q}_{s_i}}{t_{sk_i} - t_o} \right) = \sum f_i \times \frac{1}{I_{T_i}} \quad (2)$$

$$I_T = \sum (f_i \times \frac{\overline{t_{sk_i} - t_o}}{Q_{s_i}}) \quad (3)$$

式中: I_T 为热阻, $m^2 \cdot ^\circ C / W$; $f_i = A_i / A$, 其中 A 为假人体表面积, m^2 ; A_i 为假人身体各区域表面积, m^2 ; i 为假人身体各个区域编号 ($i = 1, 2, \dots, n$); t_o 为空气温度, $^\circ C$; Q_{s_i} 为每个区域的局部热流密度, W/m^2 ; t_{sk_i} 为每个区域的皮肤表面温度, $^\circ C$ 。

这 2 种方法目前在世界上均有被采用,其中北美和中国大多采用并行法作为衡量热阻结果的方法,而欧洲大多采用串行法作为衡量热阻结果的方法。一般来说,采用串行法需要先计算服装各节段的热阻,再按暖体假人各节段的体表面积加权得到服装的总热阻,测得的热阻值数值往往比采用并行法测得的热阻值数值要高 20% 左右。结合我国实

际情况,本文以并行法作为衡量最终结果准确性的方法。

目前,出汗暖体假人 Walter 的热阻通过下述公式^[17] 计算得出:

$$R_c = \frac{A_s (T_s - T_a)}{H_d} \quad (4)$$

$$H_d = H_s + H_p - H_e - H_a \quad (5)$$

$$H_e = Q\lambda \quad (6)$$

$$T_s = 12\% T_1 + 9.12\% T_2 + 9.5\% T_3 + 6.01\% T_4 + 6.37\% T_5 + 4.93\% T_6 + 4.93\% T_7 + 3.3\% T_8 + 3.3\% T_9 + 6.97\% T_{10} + 6.97\% T_{11} + 6.97\% T_{12} + 6.97\% T_{13} + 6.33\% T_{14} + 6.33\% T_{15} \quad (7)$$

式中: T_a 为环境温度, $^\circ C$; T_s 为假人皮肤表面平均温度, $^\circ C$; H_d 为假人干热损失, W ; H_s 为加热器能量消耗, W ; H_p 为水泵能量消耗, W ; H_e 为湿热损失, W ; H_a 为管路热损失, W ; Q 为假人每小时汗汽蒸发量, g/h ; λ 为水的汽化热, $(W \cdot h) / g$, 其每小时值为 $0.67 W/g$; $T_1 \sim T_{15}$ 为假人身上不同位置的表面温度, $^\circ C$ 。

上述公式可根据 Walter 的整体输入能量与输出能量之差计算出 Walter 的整体热阻,但不能计算出 Walter 的局部热阻,因此,只要本文所述局部热阻测试系统通过式(1) 计算出 Walter 整体热阻并与通过式(4) 计算得出的整体热阻相比较,如误差较小,即可认定局部热阻测试系统准确。

1.2 热流密度的测试

由并行法的公式可看出,为得到假人的局部热阻值需要首先获得每部分躯干的局部热流密度值和表面温度值。表面温度值可采用温度传感器来测量,而局部热流密度值需要采用热流传感器对热流密度进行测量。

在本文系统中选用适合于服装用的高精度热流传感器,并根据 ISO 8301 AMD 1—2010 《绝热恒定热阻及相关性能的测定-热流量计法》标准对其进行标定。经标定,热流传感器的测量范围为 $-689.75 \sim 689.75 W/m^2$, 测量精度为 $2.6 W/m^2$, 测量范围和精度完全满足测试要求。

2 局部热阻测试系统的建立

2.1 出汗暖体假人系统

出汗暖体假人是一种具有人体外形且能真实模拟并测量人体与外界进行热湿交换的仪器设备系统,它能在设定的环境条件下,模拟人体、服装和环境间的热交换过程,科学地测试服装整体或

局部的热学性能参数,避免了人体实验中个人生理、心理因素和个体差异的影响,实验结果准确,可重复性好。

本文采用的出汗暖体假人为康奈尔大学的Walter假人,如图1所示,出汗水路系统如图2所示。2005年美国将Walter假人收录到用于出汗假人测试的ASTM F2370—2010《利用出汗假人测量服装湿阻的标准测试方法》中。



图1 Walter暖体假人外观图
Fig.1 Look of manikin Walter

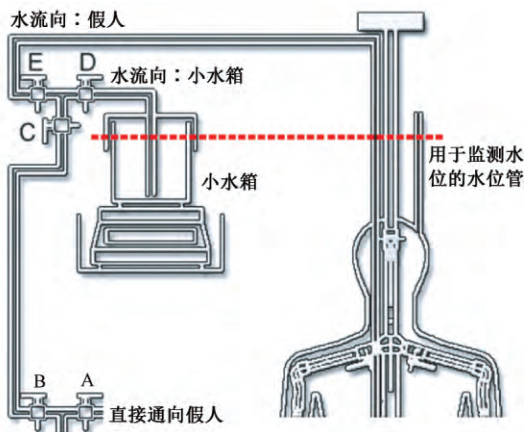


图2 Walter暖体假人的水路系统
Fig.2 Water system of manikin Walter

出汗暖体假人为男性身体: 身高 172 cm、颈围 45 cm、胸围 95 cm、腰围 89 cm、臀围 100 cm、表面积 1.79 m^2 , 假人皮肤表面为防水透气聚四氟乙烯(PTFE)3层面料。出汗暖体假人出汗量为 $0 \sim 600 \text{ g/h}$ 。出汗暖体假人中心温度稳定可控为 $(37 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C}$ 。

2.2 局部热阻测试系统

局部热阻测试系统选用了LabVIEW(NI公司的

图形编程软件)作为整套系统的开发工具,局部热阻测试系统的数据采集与控制、数据分析及存储、虚拟仪器操作及显示面板等均采用其来开发完成。本文系统主要由底层信号采集与外围硬件接口模块、参数设置模块、假人表面温度及热流值实时显示模块、水泵PID控制调节模块、运行过程监控模块等功能模块组成,各模块之间相互协调、相辅相成,共同实现局部热阻测试系统的功能。

2.2.1 信号采集与外围硬件接口模块

位于出汗暖体假人Walter表面每个区域的热流传感器及其他传感器信息均由多块16通道16位数据采集卡(型号为cFP-AI-412)采集传送至网络化浮点分析处理系统(型号为cFP-2220)进行分析处理。

该网络化浮点分析处理系统拥有400 MHz的中央处理器,其自带256MBSDRAM,存储空间可达512 MB。另外其本身的CF卡或USB插口便于实现外部数据的存储,网络插口便于实现局部热阻测试系统的网络化数据提取与控制。所采集到的数据均由LabVIEW编写的本系统进行实时读取、分析和存储显示,系统内涉及到的数字信号控制信息输出由数字输出模块(型号为cFP-DO-403)完成,模拟信号控制信息输出由模拟输出模块(型号为cFP-AO-210)完成。

为完成系统应用程序的所有功能,还需要将底层硬件和上层应用程序通过驱动和外围接口程序连接起来,其中的扩展模块预留了相应的接口,可将本文系统在今后扩展为局部湿阻测试打下软硬件基础,也体现了本文系统的开放性。

2.2.2 参数设置模块

局部热阻测试系统中需要设定的重要参数主要有假人核心温度、热流值采样间隔,各区域面积与全身面积比值等。假人核心温度通常是根据具体的国际通行测试标准来确定,如对站姿假人进行测试时需要将核心温度设置为 $37 \text{ }^\circ\text{C}$,而对于躺姿假人来说测试时需要将核心温度设置成 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 等,该核心温度值必需与Walter假人系统的核心温度值保持一致,一旦出现不匹配则发出错误信息进行报警。热流值采样间隔则是根据测试的精度要求可设置为5、10、20、30、60 min时采样1次,精度依次递增,一般而言20 min为默认值。各区域面积与全身面积比值为式(2)、(3)中的 f_i ,根据不同的位置 f_i 分别为12%(头)、9.12%(胸)、9.5%(背)、6.01%(腹)、6.37%(腰)、4.93%(左右上臂2处)、3.3%(左右下臂2处)、6.97%(左右大腿前后2处)、6.33%(左右脚踝2处)。

2.2.3 假人表面温度及热流值实时显示模块

为能实时对假人各部分皮肤温度进行测试和显示,以便保证局部热流密度测试更加准确,采用 NI VISION 技术开发了假人皮肤温度实时图像显示模块。该模块在系统中的显示如图 3 所示。该模块不仅可实时监测假人各部分的表面温度,还能实时监测假人水路系统的数据和实现预约定时采集。

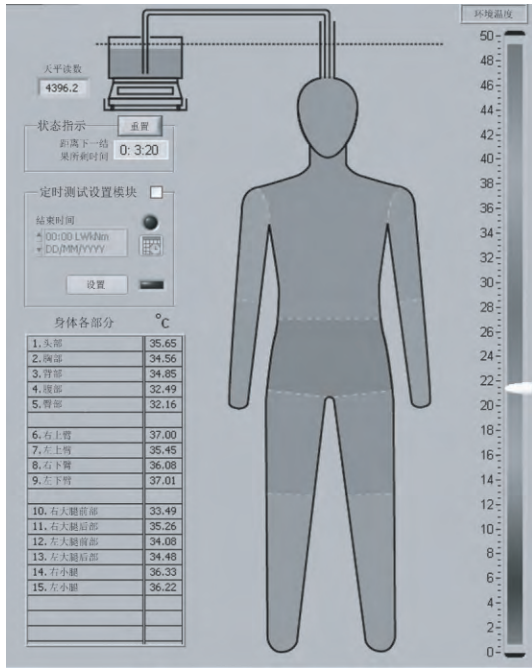


图 3 假人表面温度实时显示模块

Fig. 3 Skin temperature real-time display module of Manikin

2.2.4 水泵 PID 控制调节模块

为将假人体内的热水尽快分散到假人体内的各个区域并尽可能保持皮肤表面温度均匀以更能贴合真实人体表面皮肤温度分布,本文系统在假人内部安装 6 个水泵完成上述功能。这就要求在测试局部热阻时,需要对每个水泵都进行单独控制并尽量保持假人表面温度稳定和平均,而 PID 参数设置是实现这种控制模式最有效的方式。经多次反复试验,本文系统对每个水泵均进行了 PID 参数设置,该参数可以使皮肤表面温度尽可能均匀并保证其测试内容符合 ASTM F2370—2010《利用出汗假人测量服装湿阻的标准测试方法》标准。

2.2.5 运行过程监控模块

运行监控模块主要完成对诸如环境温度,环境湿度,各部分传感器及整体系统供电供水是否异常等内容进行监控。由于 ASTM F2370—2010 标准对环境温湿度有着非常严格的要求,因此本文系统必须对环境温湿度进行监控并显示,一旦出现温湿度不符合标准的情况则必须停止测试,待符合测试标准才能重新开始测试。

3 实验与结论分析

3.1 实验准备

为了表征本文系统的测试结果,选取了 5 种状态来进行本文实验,包括裸态(后文代号为 N)指的是假人不穿任何衣服时的状态,这通常用作验证假人系统正常工作与否的标准。其他 4 种状态分别为将假人穿上 M 号全棉衬衣和休闲裤(后文代号为 ST16),M 号全棉短袖衫和休闲裤,大孔代表短袖衫在左右 2 个上臂部具有较大的花纹孔(后文代号为 SLT),小孔代表其左右 2 个上臂部具有较小的花纹孔(后文代号为 SST),最后一种为 M 号全棉 T 恤和休闲裤(后文代号为 TT),休闲裤均采用同一款式同一面料同一大小。

实验过程中,将人工气候室设定为环境温度为 20 °C,相对湿度为 65%,风速为无风的标况。假人的核心温度保持 37 °C 不变。所使用的服装均需在人工气候室中调湿 24 h。每套服装对应的测试均需要测试 4 次取平均值并且每次均需要将假人进行穿脱服装。热阻的测量需要假人在人工气候室中稳定 12 h 之后再行测量。假人在测试过程中始终保持悬挂状态并不接触地面。

将假人表面划分为 15 个区域(如图 3 所示,其中左右臂测试时分别再细分为左右上臂和左右下臂),每个区域均放置 1 个热流传感器和 1 个温度传感器紧贴假人皮肤表面,放置位置为每个区域中心部位任意点,所有的热流传感器和温度传感器均连接至多通道热流测试系统上完成热阻和局部热阻测试,水分损失通过如图 2 所示的小水箱下面的电子天平来进行测量。

3.2 实验结果及分析

3.2.1 全身热流密度实验验证

首先进行全身热流密度实验,表 1 示出全身热能量变化数据。可以看出,数据包括了加热器能量消耗 H_s 、管路热损失 H_a ,假人每小时汗汽蒸发量 Q 以及水泵能量消耗 H_p ,经公式(5)可计算出全身热能量变化,再除以假人全身表面积(1.79 m²)即可得出全身热流密度。

图 4 示出采用局部热阻测试系统对包括裸态、M 号全棉衬衣和休闲裤、大孔 M 号全棉短袖衫和休闲裤、小孔 M 号全棉短袖衫和休闲裤、M 号全棉 T 恤和休闲裤在内的每种状态经过 5 次实验得出的标准差。从图上可看出,该测试系统的重复性非常好。

表1 全身热能量变化数据表

Tab.1 Data of whole body heat energy change

假人穿衣状态	H_s/W	H_a/W	$Q/(g \cdot h^{-1})$	H_b/W	全身热流密度/($W \cdot m^{-2}$)
N	551.10	8.21	475.13	18.30	135.67
ST16	287.21	4.25	257.60	18.42	71.94
SLT	309.7	4.63	281.10	19.26	75.98
SST	295.17	4.37	267.90	19.29	72.96
TT	292.32	4.33	263.13	18.76	72.88

表2 实测全身热流密度和计算全身热流密度数据表

Tab.2 Data sheet of the real heat loss and heat loss calculated

假人穿衣状态	实测全身热流密度(有效值)	计算全身热流密度	误差
N	131.07	135.67	4.60
ST16	69.77	71.94	2.17
SLT	74.72	75.98	1.26
SST	71.50	72.96	1.46
TT	71.58	72.88	1.30

注: 计算全身热流密度为公式(5)结果除以面积权值计算得出, 而实测全身热流密度为各部分热流传感器的实测值通过面积权值计算得出)。

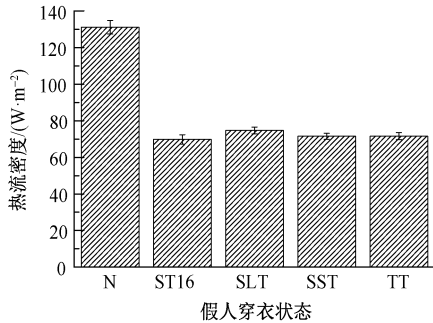


图4 每种状态5次试验的平均值和标准差
Fig.4 Mean value and standard deviation of this test method after 5 times on different samples

3.2.2 局部热流密度测试实验

图5示出在局部热流实验中假人各区域的热流密度分布图。可看出假人处于各种状态下的热流密度分布情况。

在图5所示的5种状态下,头部热流密度值基本保持不变(其值为 $130 W/m^2$ 左右,下同)对于假人身体其他部分而言,如所穿着服装不同,则数值会有较大差异;而所穿着服装相同,则数值变化不大。举例来说,如假人臂部部分(包括左臂和右臂),当穿上ST16长袖和SLT短袖衬衫之后,其值发生了较大的变化(值从长袖状态下左下臂的 $86 W/m^2$ 变为短袖状态下的 $131 W/m^2$,长袖状态下右下臂从 $45 W/m^2$ 变为短袖状态下 $198 W/m^2$),即当从长袖衬衫换为短袖衬衫时,假人在下臂部分感觉更凉快;

表2示出实测和计算全身热流密度。表中实测全身热流密度的数值是通过将假人身体表面每个区域的热流密度有效值经面积加权得出,与整体热流密度相比二者的误差最大不超过 $4.6 W/m^2$ 。证明从总体上看,采用局部热阻测试系统可反映假人的全身热流密度。

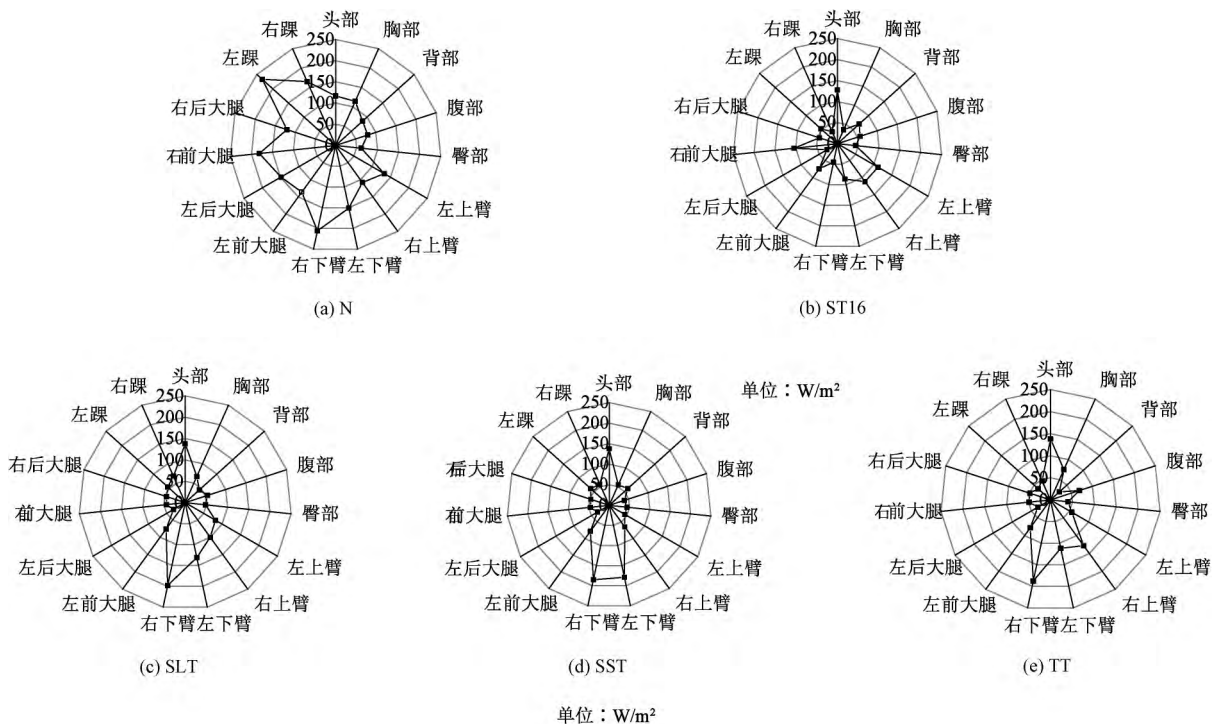


图5 各种状态下假人身体每部分局部热流量值图

Fig.5 Local heat flux of every division zone of manikin in different statuses

对于 SLT 状态的短袖衬衫和 SST 状态的而言,当短袖处为大孔和小孔时,其值也发生了较大的变化(大孔的左上臂 82 W/m^2 变为小孔的 44 W/m^2 ,大孔的右上臂 100 W/m^2 变为小孔的 65 W/m^2),即当从大孔短袖衬衫换为小孔短袖衬衫时,假人在上臂部分感觉更“闷热”。在测试的 5 种状态中,由于下身均穿着同一款裤子,下身的各部分区域热流密度值变化不大。说明该测试系统可准确表示不同服装条件下假人的局部热流密度测试数值。

3.2.3 服装热阻实验

由式(1)~(3)可知,通过局部热流密度可获得假人的总热阻值,由此也可验证所测局部热流密度的准确性。将各区域局部热阻值按照面积权值根据转化为整体热阻值再和式(4)计算值进行比较(考虑到目前我国和美国均采用并行法表示热阻,所以本文也采用并行法)。表 3 示出各种状态下假人标准热阻和计算热阻数据。

表 3 各种状态下假人标准热阻和计算热阻数据表

Tab.3 Thermal resistance of manikin (real and calculated) in different statuses

假人穿衣状态	热阻计算值/ ($\text{m}^2 \cdot \text{C} \cdot \text{W}^{-1}$)	热阻标准值/ ($\text{m}^2 \cdot \text{C} \cdot \text{W}^{-1}$)	误差/ %
N	0.101 0	0.098 0	3.06
ST16	0.187 7	0.189 5	0.94
SLT	0.177 6	0.177 0	0.34
SST	0.184 1	0.183 5	0.33
TT	0.185 8	0.183 7	1.14

从表 3 可看出,这几种情况和标准值比较后,其最大误差均小于 3.1%,证明其测试结果准确。

4 结 论

本文结合康奈尔大学的 Walter 暖体出汗假人,设计开发了开放式局部热阻测试系统并选取了裸态和穿 M 号全棉衬衣和休闲裤、穿大孔 M 号全棉短袖衫和休闲裤、穿小孔 M 号全棉短袖衫和休闲裤、穿全棉 T 恤和休闲裤等 4 种着装状态共 5 种情况,完成了整体热流密度测试、局部热流密度测试和服装热阻测试等 3 项测试。实验得出,开放式局部热阻测试系统可以准确表示穿着不同服装条件下假人的局部热流密度数值,其整体热流密度误差不超过 4.6 W/m^2 ,热阻误差不超过 3.1%。

通过上述实验结果表明,该系统可以完成暖体出汗假人的局部热阻的测试。在今后的科研工作中,还可对本文系统的开放式接口进行适当改造,以完成更多的测试工作。

FZXB

参考文献:

- [1] 赖军,许静娴,陈立丽,等. 服装动态热阻测定及预测模型的研究进展[J]. 纺织学报,2017,38(5):170-176.
LAI Jun, XU Jingxian, CHEN Lili, et al. Development and trend of evaluation and prediction model of clothing dynamic insulation [J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(5): 170-176.
- [2] RAPP G M. Convective heat transfer and convective coefficients of nude man, cylinders and spheres at low air velocities [J]. ASHRAE Transactions, 1973, 75(1):75-87.
- [3] ICHIHARA M, SAITOU M, NISHIMURA M, et al. Measurement of convective and radiative heat transfer coefficients of standing and sitting human body by using a thermal manikin[J]. Journal of Architecture Planning and Environmental Engineering, 1997(501):45-51.
- [4] ISHII J, HORIKOSHI T, WATANABE S, et al. Experimental estimation of natural convective heat transfer coefficients for the human body and its segments[J]. Journal of Architecture Planning and Environmental Engineering, 2000(530):31-38.
- [5] DIPANKAR BHANJAA, BALARAM KUNDUA, ABDUL AZIZC. Enhancement of heat transfer from a continuously moving porous fin exposed in convective-radiative environment [J]. Energy Conversion and Management, 2014(88), 842-853.
- [6] KUWABARA K, MOCHIDA T, KONDO M, et al. Measurement of man's convective heat transfer coefficient by using a thermal manikin in the middle wind velocity region [J]. Journal of Human and Living Environment, 2001(8):27-32.
- [7] OGURO M, ARENS E, DE DEAR R J, et al. Convective heat transfer coefficients and clothing insulations for parts of the clothed human body under calm conditions [J]. Journal of Architecture Planning and Environmental Engineering, 2002(561):31-9.
- [8] OGURO M, ARENS E, DE DEAR R, et al. Evaluation of the of air flow on clothing insulation and on dry heat transfer coefficients for each part of the clothed human body [J]. Journal of Architecture Planning and Environmental Engineering, 2001(549):13-21.
- [9] OGURO M, ARENS E, DE DEAR R, et al. Convective heat transfer coefficients and clothing insulations for parts of the clothed human body under airflow conditions [J]. Journal of Architecture Planning and Environmental Engineering, 2002(561):21-29.
- [10] HOLMEÅ R I, NILSSON H, HAVENITH G, et al. Clothing convective heat exchange proposal for improved prediction in standards and models [J]. Annals of Occupational Hygiene, 1999, 43(5):329-337.
- [11] AVM OLIVEIRA, GASPAR A R, QUINTELA D A.

- Assessment of the thermal insulation of the air layer with a movable thermal manikin [C]//Roomvent 9th International Conference on Air Distribution Rooms. Coimbra: Building and Environment, 2004: 2142-2153.
- [12] AVM OLIVEIRA, ADÉLIO R GASPAS, SARA C FRANCISCO, et al. Quintela convective heat transfer from a nude body under calm conditions: assessment of the effects of walking with a thermal manikin [J]. International Journal of Biometeorology, 2012 (56): 319-332.
- [13] THOMAS VEGA, RACHEL A WASSON, BRIAN Y LATTIMER, et al. Partitioning measurements of convective and radiative heat flux [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2015 (84): 827-838.
- [14] ANDREY E KOVTANYUKA, ALEXANDER YU CHEBOTAREVA, NIKOLAI D BOTKINC, et al. Theoretical analysis of an optimal control problem of conductive-convective-radiative heat transfer [J]. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 2014, 412(1): 520-528.
- [15] WANG F. A comparative introduction on sweating thermal manikin "Newton" and "Walter" [C]//7th International Thermal Manikin and Modelling Meeting. Coimbra: University of Coimbra Express, 2008: 1-7.
- [16] FAN Jintu, QIAN Xiaoming. New functions and applications of Walter, the sweating fabric manikin [J]. European Journal of Applied Physiology, 2004, 92(6): 641-644.
- [17] 陈益松, 徐军, 范金土. 暖体假人的出汗模拟方式与测量算法 [J]. 纺织学报, 2008, 29(8): 130-134.
CHEN Yisong, XU Jun, FAN Jintu. Sweating design in different thermal manikins and their measurement methods [J]. Journal of Textile Research, 2008, 29(8): 130-134.

欢迎订阅 2019 年《山东纺织科技》

《山东纺织科技》是山东省纺织工业的一本综合性科技期刊(国内统一刊号 CN37-4127/TS, 国际标准刊号 ISSN1009-3028), 大 16 开本、双月刊、公开发行人。主要刊登纺织、印染及相关专业的纺织新产品、新技术、新工艺、新设备的研究报告、学术论文、生产实践及管理经验等文章, 并介绍国外纺织科技信息。主要栏目有“经纬论坛”“研究探讨”“产品开发”“生产实践”“革新改造”“仪器与检测”“服装服饰”“计算机应用”“企业纵横”“综述”“科技博览”等。本刊已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国万方数字化期刊群》和《中文科技期刊数据库》等收录, 是《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。

欢迎广大新老读者到当地邮局订阅, 邮发代号 24-132, 亦可向编辑部直接办理订阅手续。

《山东纺织科技》每期 8 元, 全年定价 48 元(含邮费)。

汇款地址: 青岛市山东路 195 号

山东省纺织科学研究院《山东纺织科技》编辑部

邮 编: 266032

银行信汇: 中国工商银行青岛台东支行

帐 号: 3803023009008905301

联系电话: (0532) 85648088 85641981

传 真: (0532) 85648088

E-mail: sdfzkj@163.com

