

服装热阻测量结果差异的成因分析

姜茸凡^{1,2,3}, 王云仪^{1,2}

(1. 东华大学 服装与艺术设计学院, 上海 200051; 2. 东华大学 现代服装设计与技术教育部重点实验室, 上海 200051)

(3. 西安工程大学, 陕西 西安 710048)

摘要: 热阻是衡量服装隔热性能的重要指标, 相同服装会因测量模式和测试条件的不同而产生不同的热阻测量值, 导致服装隔热性能的误判。通过条件假设和理论推导对比了采用全体法、平行法和串行法测得服装热阻值的差异, 并通过传热机制理论分析了测试条件对服装热阻的影响。结果表明: 测量结果的差异是由于各测量模式对应的加权求和公式不同所导致的, 如果服装各区段热阻不相等, 则各公式计算的热阻值将不同; 测试条件不同时, 由于环境舱和暖体假人的设定参数不同影响了服装系统的传热机制, 导致测量结果不同。针对不同类型的服装, 应合理选择测量模式及其测试条件。

关键词: 服装; 隔热性能; 暖体假人; 全体法; 串行法; 平行法

中图分类号: TS941.16

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)06-0013-05

The cause analysis of measurement difference of clothing thermal resistance

JIANG Rongfan^{1,2,3}, WANG Yunyi^{1,2}

(1. Fashion and Art Design Institute, Donghua University, Shanghai 200051, China)

(2. Key Laboratory of Clothing Design and Technology, Donghua University, Ministry of Education, Shanghai 200051, China)

(3. Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: Thermal insulation is the important indicator on heat insulation performance. It is showed that the same garment may have different thermal insulations because of the measurement methods and testing conditions, which results in misjudgement about heat insulation performance of clothing. The deviation between the methods of global, parallel and serial is compared by the assumption and theoretical derivation, and the influence of testing conditions on the clothing thermal resistance is analyzed by the heat transfer mechanism. The results show that the deviations of measurement method is due to the fact that calculation formula of the weighted average method of each method is different, if the clothing thermal resistance of each section is not equal, the thermal resistance of each formula makes a difference. The deviations of testing conditions is due to the fact that the setting parameters of climate chamber and thermal manikin influence the heat transfer mechanism of the clothing system, which results in the deviations of measurement. Therefore, it should be reasonably select measurement methods and testing conditions for different types.

Key words: garment; thermal insulation property; thermal manikin; global method; serial method; parallel method

服装热阻是表征服装隔热性能的重要指标, 也是人体热生理模型的重要参数^[1-3]。例如: ISO11079《冷环境评估-所需服装热阻的测定》利用 IREQ 模型预测人在冷环境下所需的服装热阻^[4-5], 并用以指导实际着装要求。如果热阻测量值不能真实反映其隔热性能, 将会误判服装的使用效能, 当服装实际使用后, 人体的热平衡状态可能难以维持, 从而给着装者带来潜在危害, 严重时甚至危及生命。因此, 准确测量服装热阻将为冷/热环境防护装备的设计研发提供可靠有效的基础数据支持。

20世纪40年代, Goldman等人^[6]发明了第一代暖体假人, 用以测量服装热阻。之后, 为规范热阻测试方

法并获取准确统一的测量结果, 建立了一系列测试标准^[7]。然而, 尽管依据标准测试服装热阻, 但相同服装在不同测量模式和测试条件下, 测量结果仍会产生不同程度的差异, 这给试验结果之间的对比分析带来困难。本文从测量模式和测试条件两方面分析了造成服装热阻测量差异的原因, 为正确解读服装热阻测量结果提供参考。

1 测量模式

服装热阻的测试原理是将暖体假人置于恒温恒湿的环境舱内, 测试其着装后趋于热平衡的过程中, 在假人体表温度和环境温度之间的温差驱动下的热量传递情况, 由此评价服装的隔热性能^[8]。当前通常将暖体假人分为若干区段, 每个区段可以独立控温和完成数据采集^[9-10], 对各区段采集的数据依据体表面积占比进行加权计算, 从而获取服装整体的隔热值^[11]。

根据 ISO 9920—2009《热环境工效学-成套服装

收稿日期: 2017-10-09

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51576038)

作者简介: 姜茸凡(1987—), 男, 博士生, 主要从事服装舒适性与功能设计研究。

通信作者: 王云仪。E-mail: wangyunyi@dhu.edu.cn。

热湿阻测定》,服装热阻的计算方法分为全体法、平行法和串行法。全体法根据人体热生理特征设定假人各区段的体表温度或产热功率^[12],计算体表温度加权平均值与产热功率加权平均值之比,即得服装热阻,见式(1):

$$I_t = \frac{\bar{t}_{sk} - t_a}{H_{sk}} = \frac{\sum \alpha_i \times t_i - t_a}{\sum (\alpha_i \times H_i)} = \frac{\sum \alpha_i \times (t_i - t_a)}{\sum (\alpha_i \times H_i)} \quad (1)$$

式中: α_i ——假人第*i*区段的表面积与总表面积的百分比, $\sum \alpha_i = 1, \%$;

\bar{t}_{sk} ——皮肤平均温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_i ——第*i*区段的皮肤表面温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_a ——环境空气温度, $^{\circ}\text{C}$;

H_{sk} ——假人单位面积平均产热功率, W/m^2 ;

H_i ——第*i*区段的单位面积产热量, W/m^2 ;

I_t ——全体法热阻, $(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{W}$

平行法设定假人为恒皮温模式,即 $t_i = t_{sk} = k, k$ 为常数,则式(1)可简化为式(2):

$$\frac{1}{I_p} = \frac{1}{I_t} = \frac{\sum (\alpha_i \times H_i)}{\sum \alpha_i \times (t_i - t_a)} = \sum \alpha_i \left(\frac{H_i}{t_i - t_a} \right) = \sum \alpha_i \frac{1}{I_i} \quad (2)$$

式中: I_p ——平行法热阻, $(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{W}$

串行法设定假人为恒功率模式,即 $H_i = H_{sk} = k$,则式(1)可简化为式(3):

$$I_s = I_t = \frac{\sum \alpha_i \times (t_i - t_a)}{\sum (\alpha_i \times H_i)} = \sum \alpha_i \frac{(t_i - t_a)}{H_i} = \sum \alpha_i \times I_i \quad (3)$$

式中: I_s ——串行法热阻, $(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{W}$

I_i ——第*i*区段热阻, $(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{W}$

全体法要求假人具有模拟人体热生理调节机制的功能,测量方式最复杂,但测试结果最能反映服装隔热能力。平行法和串行法是根据全体法在恒皮温模式和恒功率模式下的简化,平行法热阻为各区段热阻倒数加权之和的倒数,串行法热阻为各区段热阻加权之和。这两种测量模式和计算公式较为简单,故在服装热阻测试中被广泛应用。

学者们利用3种方法进行了大量的服装热阻试验,但测试数据显示,3种方法的计算结果存在不同程度的差异^[13-19]。

1.1 串行法和平行法对比分析

Nilsson 等人^[14]在恒皮温模式和恒功率模式下测量了服装热阻,数据显示,相同服装串行法热阻要高于平行法热阻。随后, Anttonen 等人^[15]和 Kuklane 等人^[16]也分别在这两种模式下测量了服装热阻,其测试

结果与 Nilsson 相似。Kuklane 还发现两种测量模式的服装热阻差值会随服装热阻分布不均匀程度的增大而增大。

为分析串行法和平行法之间热阻值出现差异的原因,本文对热阻求和公式进行合理假设和数学推导。假设假人分为上体和下体两个区段,每区段假人表面积各占50%,上体服装热阻为 I_1 ,下体服装热阻为 I_2 ,简化式(2)和(3)分别为式(4)和(5):

$$I_p = \frac{2I_1I_2}{I_1+I_2} \quad (4)$$

$$I_s = \frac{I_1+I_2}{2} \quad (5)$$

假设一:服装热阻分布均匀, $I_1 = I_2$,则 $I_p = I_1$, $I_s = I_1$,所以 $I_p = I_s$ 。

假设二:服装热阻分布不均匀, $I_1 \neq I_2 > 0$;则 $(I_1 - I_2)^2 > 0$,即得式(6):

$$I_1^2 - 2I_1I_2 + I_2^2 > 0 \quad (6)$$

对式(6)左右两边同加 $4I_1I_2$,再进行不等式变换,可得式(7):

$$\frac{(I_1+I_2)}{2} > \frac{2I_1I_2}{(I_1+I_2)} \quad (7)$$

可见 $I_s > I_p$,即串行法热阻值恒大于平行法热阻值。

分析热阻分布不均匀程度与两种方法计算差值之间的关系,见式(8):

$$I_s - I_p = \frac{(I_1+I_2)}{2} - \frac{2I_1I_2}{(I_1+I_2)} = \frac{(I_1-I_2)^2}{2(I_1+I_2)} \quad (8)$$

从式(8)可以看出, I_1 与 I_2 之间的差值越大,即服装热阻分布不均匀程度越大,串行法与平行法之间的热阻差值越大。

1.2 串行法和全体法对比分析

Oliveira 等人^[17-18]在热生理调节模式、恒功率模式和恒皮温模式下测量夏装、商务装/生活装、防寒服3类服装的热阻。数据显示,相同服装串行法热阻高于全体法热阻,并且随着服装面料厚度的增大和热阻分布不均匀程度的增大,两种方法之间的差值将会增大。Lee 等人^[19]在恒功率模式和热生理调节模式下测试了38套服装热阻,其结论与Oliveira相同,并表示服装覆盖面积的减小也会增大两种方法之间的差值。根据1.1中暖体假人和服装热阻的假设条件,探究串行法与全体法之间热阻出现差异的原因。

假设一:服装热阻分布均匀, $I_1 = I_2$,根据式(1)得

式(9):

$$I_i = \frac{\sum T_i}{\sum H_i} = \frac{T_i}{H_i} = I_i = I_2 = I_s \quad (9)$$

即 $I_i = I_s$ 。

假设二:服装热阻分布不均匀,即 $|I_1 - I_2| = C$, $C \neq 0$; C 为两区段热阻差值,差值越大,说明服装热阻分布越不均匀。假设 I_2 为恒定值, $I_1 = I_2 + C$ 。根据式(5)得式(10):

$$I_s = \frac{I_1 + I_2}{2} = \frac{I_2 + C + I_2}{2} = I_2 + \frac{C}{2} \quad (10)$$

即 $I_s - I_2 = \frac{C}{2}$, 若 $C \rightarrow +\infty$, 则 $I_s - I_2 \rightarrow +\infty$ 。

对比发现,随着服装热阻分布不均匀程度的增大,串行法热阻将呈线性增长,而全体法热阻是最能真实表征服装隔热能力的测量值,某一区段热阻的增大对于服装整体隔热能力的影响较小,全体法热阻变化较小。所以,串行法和全体法之间的热阻差值将会随着热阻分布不均匀程度的增大而增大。

服装面料厚度增大会引起上装与下装重叠位置处厚度成倍增加,服装局部热阻也随之成倍加大,导致服装热阻分布不均匀程度增大,即两种方法之间的热阻差值变大。服装覆盖面积的减小也会导致未覆盖区段和覆盖区段之间产生热阻差值,引起服装热阻分布不均匀程度的增大。因此,服装面料厚度增大和服装覆盖面积减小都会引起服装热阻分布不均匀程度增大,最终导致串行法和全体法在测量相同服装时,热阻差值增加。

1.3 平行法和全体法对比分析

Oliveira 等人^[17-18]在热阻测试中也比较了平行法热阻和全体法热阻。数据显示,相同服装平行法热阻略低于全体法热阻,并且对于夏装、商务装/生活装、防寒服等3类服装,平行法热阻与全体法热阻的差异程度较小。

根据1.1中暖体假人和服装热阻的设定条件分析平行法与全体法热阻差异较小的原因。

假设一:服装热阻分布均匀, $I_1 = I_2$, 根据式(4), 则 $I_p = I_1$, 且 $I_i = I_1$, 所以, $I_i = I_p$ 。

假设二:服装热阻分布不均匀, $I_1 \neq I_2$, 假设 I_2 为恒定值, $I_1 = I_2 + C$ 。根据式(4)得式(11):

$$I_p = \frac{2I_1I_2}{I_1 + I_2} = \frac{2(C + I_2)I_2}{C + I_2 + I_2} = \frac{2CI_2 + 2I_2^2}{C + 2I_2} \quad (11)$$

则平行法热阻与任一区段热阻之差可得式(12):

$$I_p - I_2 = \frac{2CI_2 + 2I_2^2}{C + 2I_2} - I_2 = \frac{CI_2}{C + 2I_2} = \frac{C}{\frac{C}{I_2} + 2} \quad (12)$$

若 $C \rightarrow +\infty$, 则 $\frac{C}{\frac{C}{I_2} + 2} \rightarrow 1$, 即 $I_p - I_2 \rightarrow 1$ 。

对比发现:随着服装热阻分布不均匀程度的增加,平行法热阻与任一区段热阻的差值趋向于1,说明热阻分布不均匀程度对于平行法热阻的影响较小。在1.2中已说明,服装热阻分布不均匀程度的增大对于全体法热阻的影响较小,所以,服装热阻分布不均匀程度对于全体法热阻和平行法热阻的影响皆较小,因此,对两者差值影响也较小。服装面料厚度和服装覆盖面积主要影响了服装热阻分布的不均匀程度,但对于平行法热阻影响较小,平行法热阻更接近于全体法热阻。因此,在测量防寒服热阻时,应建议选用恒皮温模式,以避免对服装隔热性能产生误判。

2 测试条件

服装热阻由服装基本热阻和服装外表面空气层热阻两部分组成^[20]。暖体假人或环境舱设定的测试参数不同,会引起两部分系统传热机制的波动,最终导致测量结果发生变化。因此,国际上制定了暖体假人系统测量服装热阻的相关标准,如ISO 9920—2009《热环境人类工程学 整套服装的保暖和耐水蒸汽能力的估计》、ISO 15831—2004《服装-生理反应-通过暖体假人测定热阻》、ASTM F 1291—2004《利用暖体假人测量服装热阻的标准测试方法》和 ASTM F 1720—2014《利用暖体假人测量睡袋热阻的标准测试方法》。尽管这些标准对测试条件都做了规定(见表1),但多数参数(温度、假人表面散热量、风速、相对湿度)只提供了一个范围,这就有可能对测试结果产生潜在的影响。

表1 各标准服装热阻测试条件

项目	ASTM F 1291—2004	ASTM F 1720—2014	ISO 15831—2004	ISO 9920—2009
皮肤平均温度/°C	35±0.3	35±0.3	34±0.2	32~34
空气温度(低于 T_{sk})	12°C	25°C	12 K	12°C
热散失/(W·m ⁻²)	≥20	—	≥20	≥20
相对湿度/%	30~70	40~80	30~70	30~70
空气流速/(m·s ⁻¹)	≤0.4	0.3±0.05	0.4±0.1	≤0.15

2.1 环境温度的影响

如表1所示,各标准皆规定了环境温度的上限,但

未明确规定温度下限。为此, Henriksson 等人^[21]对比了两种环境温度(-15.4℃和 11.0℃)下相同服装的热阻,结果显示,环境温度高时服装热阻较大。Oliveira 等人^[22]在此基础上又分析了环境温度与服装外表面空气层热阻之间的关系,测量了 5 种不同环境温度的裸体假人表面空气层热阻,发现环境温度与假人表面空气层热阻呈正相关。

分析服装表面空气层的传热机制,紧紧贴附于服装外表面的空气处于静止状态,热量以传导形式向外传递,由于静止空气为良好的隔热材料^[8],所以此处空气层隔热性较好,热阻较大。随着空气与服装外表面的距离变远,静止的空气变得活跃起来,形成自然对流,热量以热对流形式传递,此处热阻较小。在传热学中,静止空气层厚度可通过瑞利数进行判定^[23],见式(13):

$$L^3 = \frac{R_a \times \alpha \times v}{g \times \beta \times (\bar{T}_{sk} - T_a)} \quad (13)$$

式中: L ——空气层厚度, m;

R_a ——无量纲常数,处于水平方向的空气层,当 R_a 达到 1 708 时,空气层发生稳态自然对流;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

β ——空气热膨胀系数, K^{-1} ;

α ——空气热扩散系数, m^2/s ;

v ——空气动力粘度, m^2/s ;

\bar{T}_{sk} ——皮肤平均温度, $^{\circ}C$;

T_a ——环境温度, $^{\circ}C$

根据式(13)可以看出,静止空气层厚度和皮肤与环境之间的温差呈反比。所以,当环境温度变低时,温差变大,使服装外表面静止空气层厚度变小,空气层热阻变小,服装热阻也相应变小。因此,对于夏季服装,环境温度在满足温度上限的前提下,不应过低设置,以免造成测量的热阻值偏低。

2.2 散热量的影响

如表 1 所示,各标准都规定了假人表面的最小散热量为 $20 W/m^2$ 。ISO 9920 中标明测试热阻的最佳散热量应为 $40 W/m^2$ 。原因在于皮肤和环境之间的温差是暖体假人对外散热的动力^[8]。如果假人散热动力不足,将导致散热量变小,则根据式(1)测量的热阻值将偏大。因此,各标准都规定了皮肤和环境之间的最小温差。然而,对于厚重的防寒服,由于热阻较大,尽管测试条件满足最小温差,但假人散热量仍不能达到

$20 W/m^2$,所以,测量的热阻仍会偏大。ASTM F1720 规定测试睡袋热阻的环境与皮肤之间的温差为 $25^{\circ}C$,其原因也是为了避免睡袋热阻较大造成的假人散热动力不足。因此,在测量厚重服装热阻时,测试条件不仅要满足假人与环境间的最小温差,也需注意假人的最小散热动力,以避免服装隔热能力表征不准确。

2.3 空气流动

如表 1 所示,各标准规定的环境空气流速并不统一。风速设置的不同将影响衣下空气层和服装外表面空气层的传热机制^[24],最终影响服装的隔热性能。根据测得的热阻值,可以总结出风速与热阻之间的变化规律,并建立动态热阻预测方程^[25-28]。但是,这些预测方程都是参考不同的空气流速作为无风环境建立的。如 ASTM F 1291 要求风速小于 $0.4 m/s$,而 ISO 9920 要求风速小于 $0.15 m/s$ 。以不同空气流速作为计算动态服装热阻的参数,预测结果也会出现差异。因此,统一规范环境舱的空气流速,将为准确表征服装热阻和预测动态服装热阻提供保障。

2.4 相对湿度的影响

如表 1 所示,各标准中相对湿度的设置范围在 30%~80%。如果外界环境相对湿度过高,水汽会进入织物内的孔隙,替代原有静止空气,增大织物的导热系数^[29],从而减小服装热阻。Wang^[30]表示服装润湿程度与热阻之间呈负相关关系,见式(14):

$$TW = 0.562 \times 10^{-7} \times MC^3 - 0.122 \times 10^{-3} \times MC^2 + 0.0925 \times MC \quad (14)$$

式中: TW ——湿态热阻减少率, %;

MC ——服装润湿程度, g

因此,在测试服装热阻时,尤其是针对吸湿性较好的服装,应将相对湿度控制在最佳值 50% 左右,以减少相对湿度差异造成的热阻测量偏差。

3 结 语

本文从测量模式和测试条件两个方面探讨了造成服装热阻出现差异的原因。

(1) 全体法和平行法的测试结果较为接近,而串行法与其他两种方法之间的测试结果存在较大差异,且差异程度与服装热阻分布不均匀程度呈正相关,其原因是各测量模式下加权公式不同所造成的。串行法热阻与热阻分布不均匀程度呈正相关,而平行法热阻受热阻分布不均匀程度的影响较小。因此,在测试服装热阻时,尤其是厚重服装,可将恒皮温(平行法)模

式作为主要的测量方式。若选择恒功率(串行法)模式测量服装热阻,应对差异较大的区段热阻进行筛选和修正,提高其分布的均匀程度,减小测量模式造成的差异,为合理解读热阻数据提供保障。

(2)测试条件影响服装的传热机制,进而影响测得的服装热阻值。因此,应根据服装性能合理地设计测试参数。对于夏季服装,应适当缩小环境气温与假人体表的温差,避免由于温差过大而减小服装外表面空气层的热阻。对于防寒服装,应设置较低的环境温度,以此来增大假人向外环境的散热能力。对于吸湿性较好的服装,环境相对湿度可适当偏低设置,避免服装润湿后的热阻降低。此外,在环境舱许可的情况下,应尽量设置较低的空气流速,避免在风的作用下导致服装热阻测量值偏低。



参考文献:

- [1] 刘丽英.人体微气候热湿传递数值模拟及着装人体热舒适感觉模型的建立[D].上海:东华大学,2005.
- [2] GEORGE H, DUSAN F. Thermal indices and thermophysiological modeling for heat stress[J]. *Comprehensive Physiology*, 2016(6): 1-48.
- [3] FU M, WENG W, CHEN W, et al. Review on modeling heat transfer and thermoregulatory responses in human body[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2016(62): 189-200.
- [4] OLIVEIRA A V M, GASPAR A R, ANDRÉ J S, et al. Subjective analysis of cold thermal environments [J]. *Applied Ergonomics*, 2014(45): 534-543.
- [5] RALLEMA A, ALEXANDR B, SERGEY S. Cold assessment criteria and prediction of cooling risk in humans: The russian perspective[J]. *Industrial Health*, 2009(47): 235-241.
- [6] INGVAR H. Thermal manikin history and applications [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2004(92): 614-618.
- [7] INGVAR H. Use of thermal manikins in international standards; The 6th International Thermal Manikins and Modelling Meeting (6I3M) In Thermal Manikins and Modelling [C]. 2006.
- [8] 张渭源.服装舒适性 with 功能[M].北京:中国纺织出版社,2005.
- [9] MARIA K, KRZYSZTOF S, IWONA S S, et al. Comparative evaluation of clothing thermal insulation measured on a thermal manikin and on volunteers[J]. *Fibres & Textiles*, 2007, 15(2): 73-79.
- [10] WU Y S, FAN J. Measuring the thermal insulation and evaporative resistance of sleeping bags using a supine sweating fabric manikin [J]. *Measurement Science & Technology*, 2009(20): 1-10.
- [11] HUANG J. Theoretical analysis of three methods for calculating thermal insulation of clothing from thermal manikin [J]. *Annals Occupational Hygiene*, 2012, 56(6): 728-735.
- [12] ZHAI L, LI J. Development and application of thermoregulatory manikin: A review [J]. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 2014(4): 583-594.
- [13] XU X, THOMAS E, JULIO G, et al. Comparison of parallel and serial methods for determining clothing insulation [J]. *Journal of ASTM International*, 2008, 5(9): 1-6.
- [14] NILSSON, HENRIK. Analysis of two methods of calculating the total insulation [J]. *Proceedings of a European Seminar on Thermal Manikin Testing in Arbetslivsrapport*, 1997: 17-22.
- [15] HANNU A, JUHANI N, HARRIET M, et al. Thermal manikin measurements—exact or not? [J]. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2004, 10(3): 291-300.
- [16] KALEV K, GAO C, INGVAR H, et al. Calculation of clothing insulation by serial and parallel methods: Effects on clothing choice by IREQ and thermal responses in the cold [J]. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2007, 13(2): 103-116.
- [17] OLIVEIRA A V M, BRANCO V J, GASPAR A R, et al. Measuring thermal insulation of clothing with different manikin control methods comparative analysis of the calculation methods [J]. *7th International Thermal Manikin and Modelling Meeting University of Coimbra*, 2008(9): 1-8.
- [18] OLIVEIRA A V M, GASPAR A R, QUINTELA D A. Measurements of clothing insulation with a thermal manikin operating under the thermal comfort regulation mode: comparative analysis of the calculation methods [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2008(104): 679-688.
- [19] LEE J Y, KO E S, LEE H H, et al. Validation of clothing insulation estimated by global and serial methods [J]. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2011, 23(2/3): 184-198.
- [20] 于瑶,钱晓明,范金土.风速与步速对服装表面空气层热阻的影响 [J]. *纺织学报*, 2009(30): 107-112.
- [21] HENRIKSSON OTTO, PETER L, KALEV K, et al. Protection against cold in prehospital care: Evaporative heat loss reduction by wet clothing removal or the addition of a vapor barrier—a thermal manikin study [J]. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2011, 26(6): 1-7.
- [22] OLIVEIRA A V M, GASPAR A R, FRANCISCO S C. 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.
- [23] 杨世铭,陶文栓.传热学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [24] GEORGE H. The interaction between clothing insulation and thermoregulation [J]. *Exogenous Dermatology*, 2002, 1(5): 221-230.
- [25] GEORGE H, NILSSON. Correction of clothing insulation for movement and wind effects, a meta-analysis [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2004(92): 636-640.
- [26] QIAN X, FAN J. A quasi-physical model for predicting the thermal insulation and moisture vapor resistance of clothing [J]. *Applied Ergonomics*, 2009(40): 577-590.
- [27] LU Y, WANG F, WAN X, et al. Clothing resultant thermal insulation determined on a movable thermal manikin. Part I: Effects of wind and body movement on total insulation [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2015(59): 1475-1486. (下转第21页)

本试验心电监测服装工艺难点在于导联线在外衣和背心之间的相互穿插,为此在服装上设计了导线盖固定导联线,导线走向尽量与缝份贴合,放置心电监测仪的暗袋设计在口袋里层中,不会影响服装的整体外观和穿着舒适性。

5 结语

目前,针对心电监测老年服装的研究已取得了一些进展,但还处于试验研究的初期阶段,需要探究的问题还有很多。此款心电监测服装是新型技术产品,监测装置和服装款式设计合理,可有效保障老年人的身心健康,具有巨大的市场潜力。不足之处是产品分割成里衣和外衣2个部分,在穿脱便捷性上有待改善。后期将着重研究如何将里衣和外衣整合成一件衣服,既能够在户外活动穿着,又能随时监测健康,以便达到产业化应用的目的。



参考文献:

[1] 贺义军,洪文进,唐颖,等.智能化安全服装的设计模式探讨[J].

(上接第9页)

达到GB/T 17639—2008《土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布》要求,而且聚丙烯长丝土工布的拉伸强度、撕破强力、顶破强力均超出标准50%左右,不足的是面密度偏差较大,工艺有待改进。

4 结语

(1)通过分丝比及灰度直方图的标准差来表征分丝效果,结果表明:原丝性能、牵伸管风压、静电场电压、摆丝板摆动频率均对分丝效果产生影响,其中原丝中单丝线密度的影响最为显著,线密度越大,分丝效果越好。

(2)采用本文提出的方法制备了聚丙烯及聚酯长丝土工布并测试其相关性能,结果发现,聚丙烯长丝土

(上接第17页)

[28] LU Y,WANG F,WAN X, et al.Clothing resultant thermal insulation determined on a movable thermal manikin.Part II: Effects of wind and body movement on local insulation[J].International Journal of Biometeorology,2015(59):1487-1498.

[29] HALL J F,POLTE J W.Effect of water content and compression on

纺织导报,2016(11):129-131.

[2] 程浩南.心电监测技术在监测与健康护理服装设计中的应用[J].化纤与纺织技术,2017(3):22-25.

[3] 胡艳琼,邓咏梅.心电监测服装监测位置的研究[J].国际纺织导报,2016(4):46-50.

[4] 石金兰,任立红,丁永生,等.基于嵌入服装式心电监测的亚健康智能评估系统[J].微型电脑应用,2008(1):1-3.

[5] 严妮妮,邓咏梅,张辉,等.心电监护服装结构对监测点位移的影响研究[J].丝绸,2014(10):1-5.

[6] 洪文进.基于智能化的针织安全性服装定制模式探讨[J].毛纺科技,2017(5):55-58.

[7] 宋清超,胡立夫,陈振,等.人体健康智能监测服装研究[J].自动化技术与应用,2016(7):135-138.

[8] 岳彤.智能安全服装中智能纤维的应用[J].纺织导报,2016(5):83-84.

[9] 洪岩,杨敏,陈雁,等.人体生理指标与服装微气候监测系统研发[J].纺织学报,2013(1):96-100.

[10] 沈雷,任祥放,刘皆希,等.保暖充电老年服装的设计与开发[J].纺织学报,2017(4):103-108.

工布的拉伸强度、撕破强力、顶破强力均超出标准50%左右,这表明,该制备长丝非织造材料的方法是可行的。



参考文献:

[1] 邹荣华.纺粘法非织造布生产技术现状及发展趋势[J].纺织导报,2005(9):29-34.

[2] 柯勤飞,靳向煜.非织造学[M].上海:东华大学出版社,2010.

[3] 纺粘发展的去岁今昔——2012我国纺粘法非织造布现状和趋势分析[J].非织造布,2012(6):31-34.

[4] 李熙,靳双林.我国针刺过滤毡的现状与展望[J].产业用纺织品,2008(6):6-8.

[5] 宋新丽,郑喜凤,凌丽清,等.基于灰度直方图的LED显示屏亮度均匀性评估方法[J].液晶与显示,2009(1):140-144.

clothing insulation[J].Journal of Applied Physiology,1956(5):539-546.

[30] WANG F,SHI W,LU Y.Effects of moisture content and clothing fit on clothing apparent 'wet' thermal insulation: A thermal manikin study[J].Textile Research Journal,2016,86(1):57-63.

保 护 环 境 利 国 利 民