

# 暖体假人在服装热湿舒适性测试中的应用

雷中祥, 钱晓明\*, 邢京京

(天津工业大学 纺织学院, 天津 300387)

**摘要:** 综述了暖体假人的发展过程, 暖体假人在服装热湿舒适性中的测试标准、指标和方法, 以及该测试方法的局限性, 并提出了建议。

**关键词:** 暖体假人; 热湿舒适性; 测试应用

**中图分类号:** TS941.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-0356(2016)12-0050-03

暖体假人是模拟人体与环境热湿交换的仪器设备, 在服装热湿舒适性评价和职业防护服开发中能科学地评价服装整体热学性能, 避免真人实验中人体差异的影响; 实验精度高, 可重复性好, 被公认为服装工效学研究必不可少的手段。

## 1 暖体假人发展历程

干式暖体假人诞生于 20 世纪 40 年代, 只能测量服装的透湿性能。最早出现的出汗暖体假人是美国 Goldman 和西德 Mecheels 于 20 世纪 60 年代末期研制的<sup>[1-2]</sup>。80 年代以来, 世界上出现了多种形式的出汗暖体假人。日本女子文化大学和大阪工业技术试验所分别研制了不同类型的出汗暖体假人<sup>[3-4]</sup>; 瑞典、芬兰、瑞士等国也研制了比较先进的多管路区域控制出汗暖体假人<sup>[5-6]</sup>。东华大学服装学院在 2000 年研制了在干假人基础上外挂出汗皮肤系统构成的出汗暖体假人<sup>[7]</sup>; 中国人民解放军总后勤军需装备研究所在 2004 年研制了与瑞士和瑞典相似的出汗暖体假人<sup>[8]</sup>, 并应用于军服的评测; 2002 年香港理工大学研制出世界上第一个织物出汗暖体假人 Walter<sup>[9]</sup>(图 1), 并成功在服装业界得到应用。

## 2 暖体假人的测试指标

暖体假人用以模拟人体、服装和环境之间的热湿交换过程, 假人的性能状态可以通过表面温度、产热量、热阻、湿阻等指标来描述。在进行实验之前, 采用准确合理的测试方案及参数对掌握测试规律及准确地评价服装热湿舒适性能具有重要的意义。

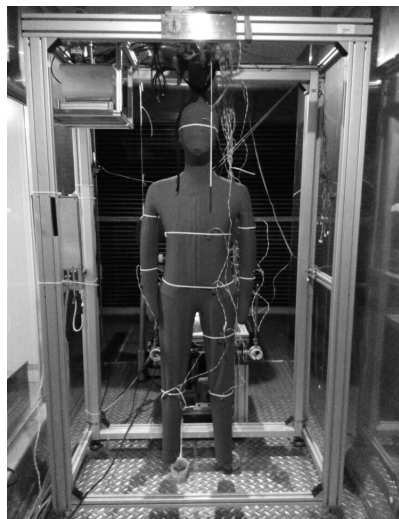


图 1 暖体假人 Walter

### 2.1 热阻

根据人体热平衡理论和服装热湿传递原理, 当出汗暖体假人、服装和环境处于热平衡时, 假人的产热量等于通过服装的散热量<sup>[10]</sup>, 即

$$Q = Q_t + Q_e \quad (1)$$

式中,  $Q$  为假人的产热量(W);  $Q_t$  为人体通过服装表面的非蒸散发热流量(W);  $Q_e$  为人体通过服装表面的蒸散发热流量(W)。

服装层中因温度梯度而产生的热流阻力称为热阻, 计算公式为

$$R_{ct} = \frac{A \times (T_{skin} - T_{amb})}{Q_t} \quad (2)$$

式中,  $R_{ct}$  为服装总热阻( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ );  $T_{skin}$  为假人皮肤温度( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{amb}$  为假人周围环境温度( $^{\circ}\text{C}$ );  $A$  为假人体表面积( $\text{m}^2$ );  $Q_t$  为假人的非蒸散发热流量(W)。

服装总热阻  $R_{ct}$  有两部分组成, 一部分是指服装的有效热阻值  $R_{cf}$ , 另一部分是指着装人体表面空气层热阻  $R_{cto}$ , 为裸露的假人在相同环境条件下测得的热阻, 即  $R_{ct} = R_{cf} + R_{cto}$ 。

收稿日期: 2016-09-27

作者简介: 雷中祥(1991-), 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 服装功能与舒适性。

\* 通信作者: 钱晓明(1964-), 博士研究生, 教授, E-mail: qxm@tjpu.edu.cn。

考虑着装后人体体表面积增大对服装热传递特性的影响,定义服装基本热阻为

$$R_{cf} = R_c - (R_{clo} / f_{cl}) \quad (3)$$

式中,服装面积系数  $f_{cl}$  是服装表面积与人体净体表面积的比值。

服装总热阻是指从皮肤表面到环境的热阻,包括体表面积增大的影响和着装人体表面空气层的阻抗;服装有效热阻是从皮肤到服装表面的热阻,包含体表

面积增大的影响;服装基本热阻是从皮肤到服装表面的热阻,排除了着装后人体体表面积增大带来的影响。所以,对于服装隔热性能来说,必须明确热阻类型和测试指标,才能准确地进行表征及相互比较。

暖体假人测量服装热阻有3种模式:恒皮温、恒热流和热舒适调节。同时,服装热阻计算也有3种模型:并行模式、串行模式和全局模式。表1列出了3种模式的详细信息<sup>[11]</sup>。

表1 暖体假人测量服装热阻计算模型

模 式	计算公式	适用模式	特 点
并行模式	$\frac{1}{I_t} = \sum f_i \times \left( \frac{A_{s,i}}{T_{sk,i} - T_0} \right) = \sum f_i \times \frac{1}{I_{T,i}}$	恒皮温	相较于串行模型,测量值更稳定
串行模式	$I_t = \sum_i (f_i \times \frac{T_{sk,i} - T_0}{\dot{O}_{s,i}}) = \sum_i f_i \times I_{T,i}$	恒热流	应用广泛,但测量值偏高(特别是对于局部热阻差别明显的服装)
全局模式	$I_t = \frac{\sum (f_i \times T_{sk,i}) - T_0}{\sum (f_i \times \dot{O}_{s,i})}$	所有模式	适用范围广

注:  $I_t$ ——服装总热阻(克罗值);  $f_i$ —— $i$ 部位的表面积与假人表面积之比;  $\dot{O}_{s,i}$ ——显热流量(W/m);  $T_{sk,i}$ —— $i$ 部位的平均皮肤温度(°C);  $T_0$ ——环境温度,(°C);  $I_{T,i}$ —— $i$ 部位的服装总热阻(克罗值)。

在计算服装热阻时,除了计算服装总热阻之外,计算服装的局部热阻也很重要,因为局部热阻能真实地表达服装对所覆盖部分身体的隔热性能。对于相同面料的服装,局部热阻还能区分服装结构导致的细微差别,这更利于改进服装结构设计。

## 2.2 湿阻

影响服装舒适性的一个重要因素是服装的透湿阻力即服装的湿阻,计算公式为

$$R_{et} = \frac{A \times (P_{sat} - P_{amb})}{Q_e} \quad (4)$$

式中,  $R_{et}$  为服装总湿阻(Pa·m<sup>2</sup>/W);  $P_{sat}$  为假人皮肤表面的水蒸气压(Pa);  $P_{amb}$  为假人周围环境的水蒸气压(Pa);  $A$  为假人体表面积(m<sup>2</sup>);  $Q_e$  为假人的蒸发散热流量(W)。

服装的总湿阻是指皮肤表面到环境的湿阻。它与干态热传递相类似,也要考虑着装后人体体表面积增大的影响和服装表面空气层的湿阻。

## 3 暖体假人的测试标准

假人的热湿舒适性方面的测试标准和舒适性评价主要包括服装热阻、湿阻测试和舒适性评价。目前有关暖体假人的测试技术已相当成熟,表4为暖体假人国际测试标准。

表2 暖体假人国际测试标准

假人测试标准	(1)ISO 7920,评价服装热性能;(2)ASTM F1291,使用暖体假人测量服装热阻的标准测试方法;(3)EN-ISO 15831-2003,使用暖体假人测量服装基本热阻
采用假人测试的应用标准	(1)ENV 342,防寒服标准;(2)EN 511,防护手套(暖体假手);(3)ISO DIS14505,评价车内热环境
需要采用假人测试结果的标准	(1)ISO 7730,PMV及PPD指数的测试标准;(2)ISO DIS 7933,热环境,通过预测热应力分析人体热阻;(3)ISO DIS 11079,在寒冷条件下,通过服装热阻及局部冷却效应解释人体冷感

## 4 暖体假人测试的局限性

在暖体假人测试服装热湿舒适性试验中,假人是内在因素,左右着最终测试结果的准确性。暖体假人良好的精度和模拟性能,以及稳定的着装条件与测试环境条件,是获取服装热湿性能指标真实测试结果的基本保证。但是假人毕竟是模拟人体发热出汗机制,技术上存在一定的局限性,这是值得我们研究的。

### 4.1 假人测试的重复性

自出汗暖体假人发明以来,研制性能完善的出汗暖体假人系统对研究者而言一直是一个挑战。虽然已经出现多种形式的暖体假人,但由于设计出发点不同,再加之假人在形态上存在相当大的差异,造成同种服装利用不同的假人测试出的结果存在较大的变化。

目前假人在世界上数量较少,各国的假人都各有特点,其体型、材质、分段结构、控温方法、出汗方法以及实验方法的不同,造成同种服装利用不同暖体假人

的测试结果存在很大差异性,限制了假人的推广作用。

Ingvar Holme<sup>r</sup>[14]指出,对于湿阻实验,变异系数更大,单层服装测试结果的变异系数达到50%,而多层服装测试结果的变异系数要超过100%;对于热阻试验,同一实验室对某个特定服装测试结果的重复性,即变异系数是2%~4%,而不同实验室之间测试结果的变异系数是5%~10%,因此,目前大多暖体假人用于定性分析与比较。

#### 4.2 假人模拟出汗问题

自上个世纪80年代以来,研究人员对假人出汗系统进行了多方面研究,除了研究新型结构的出汗模拟皮肤外,主要思路集中在如何通过管路将水通入假人皮肤,这样可以使模拟皮肤持久保持水分。现有的出汗暖体假人分为主动式出汗和被动式出汗2种基本模式。主动式出汗系统采用精确定量供水系统,通常由泵和阀联合控制,供水量可事先精确设定,如100、200 g/h等,并在整个实验过程中保持恒定的供汗量,是以控制假人皮肤表面润湿度为目的。被动出汗系统仅仅是补充假人的汗水散失量,而不是定量供给。这种供水方式可见于暖体假人Walter,水补量会自动随着被测量服装的不同透视能力而变化。

然而,无论暖体假人采用哪种出汗模式,假人模拟人体出汗的情况可分为2种,一种是完全模拟人体的各种真实出汗状态,包括剧烈运动下大汗淋漓的情况,这属于仿生学模拟,但大多数真人出汗的情况并不能满足假人作为仪器对服装透湿指标测量的要求。例如,大汗时沿四肢滴下的汗水量并不能用于计算服装的透湿能力,同时液态汗水侵入服装将严重影响服装的隔热透湿能力,因此假人模拟出汗的最理想的状态是均匀地释放气态汗。所以既要保持假人皮肤表面的湿态又不希望汗水侵入到服装中去,这对假人皮肤的设计和材质的选择要求很高。

另外,在运动状态下,人体各部位出汗量是不同的,在服装的覆盖面积下以腋下和胸口出汗最多,其他部位也各有差别,故而将整个身体各部位出汗量视为均等并不能真实反映人体的出汗情况,所以,如何更好地设置假人的出汗量以便真实地模拟真人运动状态,是亟待解决的问题。

#### 5 结语

当前暖体假人研究大多局限于由单层服装构成的人体—服装—环境系统,建议未来还应考虑多层服装系统,毕竟人体多数情况下穿着多层服装,而且暖体假人也存在一些问题,即便能出汗行走,也仅仅是人类复杂热调节系统的某种近似,与人类真实的调节系统具

有一定的差别,其测试结果必须与真人实验相比较,进行全面的综合评价。相信在不久的将来暖体假人技术会更加成熟,更加广泛地运用到纺织服装、职业健康、环境、消防、交通安全、航空航天等各领域。

#### 参考文献:

- [1] Goldman R F. Thermal manikins: their origins and role [A]. Fan Jintu. Thermal manikins and Modelling [C]. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2006.
- [2] Mecheels J. The measurement of the functional effect of clothing on the human body[J]. Melliand Texiberichte International, 1971, 52(7): 843—849; 52(8): 967—974; 52(10): 1 215—1 221.
- [3] Teruko T, Miwa T. Thermal control system for a sweating manikin[J]. Journal of Home Economics of Japan, 1993, 44(8): 671—677.
- [4] Dozen Y, Aratani Y, Saitoh T, *et al.* Model of sweating thermal manikin[J]. Journal of the Textile Machinery, 1992, 37(4): 101—112.
- [5] Meinander H. Evaluation of functional clothing systems with a sweating thermal manikin [A]. VTT symposium 133: Textiles and Composites 92 [C]. Finland, 1992: 289—295.
- [6] Richards M G M, Mattle N G. Development of a sweating agile thermal manikin [A]. 4<sup>th</sup> International Meeting on Thermal Manikins [C]. Switzerland: EMPA, 2001.
- [7] 姜志华, 湛玉红, 曾长松, 等. 出汗假人系统研究[J]. 中国个体防护装备, 2004, (5): 8—11.
- [8] Zhang W Y, Zhu L J. Study on thermal sweating manikin [A]. 4<sup>th</sup> International Meeting on Thermal Manikins [C]. Switzerland: EMPA, 2001.
- [9] Fan J, Chen Y S. Measurement of clothing thermal insulation and moisture vapour permeability using a novel perspiring fabric thermal manikin [J]. Measurement Science and Technology, 2002, 13(7): 1 115—1 123.
- [10] 张渭源. 服装舒适性与功能 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2011.
- [11] 柯莹. 服装局部通风的测评表征及其与热湿舒适性关系研究 [D]. 上海: 东华大学, 2014.
- [12] ISO 7730—2005, Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria [S].
- [13] 肖红. 服装卫生舒适与应用 [M]. 上海: 东华大学出版社, 2009.
- [14] Ingva Holme<sup>r</sup>. Thermal manikin history and applications [J]. European Journal of Applied Physiology, 2004, 92: 614—618.

## 参考文献:

- [1] 包晓佳,侯小伟.创意服装设计主题训练的教学研究[J].泰山乡镇企业职工大学学报,2011,28(4):40-41.
- [2] 李凌.服装创意设计主题训练的教学研究[J].装饰,2010,(2):90-91.
- [3] 张婷.“仿生”主题教学在服装设计专业课程中的应用研究[J].艺术教育,2015,(10):235.

## Teaching Strategy of Fashion Design Based on Theme Training

LIN Yan-ping

(Jiangxi Institute of Fashion Technology, Nanchang 330201, China)

**Abstract:** Based on the course teaching status and deficiency of fashion design for national colleges and universities, the teaching connotation, method and strategies of fashion design based on theme training were studied to improve the teaching level and promote the modern development of the fashion design industry.

**Key words:** theme training; fashion design; teaching strategy

(上接第 52 页)

## Application of Thermal Manikin in Clothing Heat-moisture Comfort

LEI Zhong-xiang, QIAN Xiao-ming\*, XING Jing-jing

(School of Textile, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

**Abstract:** The development of thermal manikins was reviewed. The testing standards, indicators, methods and the limitations of the test methods of thermal manikin in clothing heat-moisture comfort were detailed. Some suggestions were proposed.

**Key words:** thermal manikin; heat-moisture comfort; testing application

(上接第 56 页)

- [13] 于璐,罗丽云.浅析基于威客平台的软件开发专业教学模式的研究[J].电脑知识与技术,2015,(4):147-148.
- [14] 朱性福.深化校企合作促进职业教育快速发展[J].职业,2012,33:25-26.
- [15] 李秀华.基于职业导向的“课证融合”人才培养模式的实践研究[J].职教通讯,2012,(8):13-15.
- [16] 刘丽君.基于工作过程的“课证融合”人才培养模式实践[J].价值工程,2011,20:276-277.
- [17] 徐照兴.本科高校转型发展背景下基于威客平台的教学模式[J].工程研究:跨学科视野中的工程,2015,(3):258-265.

## Countermeasures for Computer Software Compound Talents Training Based on the Textile and Garment Industry

XU Zhao-xing

(Jiangxi Institute of Fashion Technology, Nanchang 330201, China)

**Abstract:** In order to more effectively cultivate computer software compound talents for textile and garment industry, according to the enterprise job requirements, combined with teaching practice, the educational objectives for computer software professional (according to the categories of admissions) were as follows: established a foothold in textile and garment industry, UI design and optimization, software technology support two job groups, training high level applied technical talents. A complete set of course system including course of clothing introduction, clothing production and management, clothing enterprise management and specialized courses according to the position of curriculum group was added. The computer software compound talents for the textile and garment industry were cultivated based on the combination of platform of witkey teaching and depth cooperation between schools and enterprises of “prospective employees’ type” talent training mode.

**Key words:** textile and garment industry; computer software; compound talents; implementation countermeasures