

文章编号: 1671-0444(2012)02-0190-06

## 服装开口部位对着装热舒适性的影响

张向辉<sup>a, b</sup>, 李俊<sup>a, b</sup>, 王云仪<sup>a, b</sup>

(东华大学 a. 服装和艺术设计学院;  
b. 现代服装设计与技术教育部重点实验室, 上海 200051)

**摘要:** 服装开口是促进衣下空间与外界环境之间热交换的重要途径. 采用暖体假人和人体生理试验方法, 在无风和有风两种条件下, 对胸部、背部和腋下等不同部位开口及无开口状态下的服装热阻、平均皮肤温度、衣下湿度和主观舒适感等指标进行测量. 研究结果显示, 服装开口部位对服装总热阻有影响, 腋下开口的服装热阻最低; 服装开口部位对人体体温调节有显著影响, 在胸部和腋下开口有助于增强衣下空气与外界环境之间气体交换, 增加对流和蒸发散热, 从而减缓皮肤温度和衣下湿度升高. 试验结果同时表明, 风速对服装热阻及人体各项生理指标的影响更为显著. 总体而言, 服装腋下部位开口对人体热湿生理调节起到促进作用, 具有较好着装舒适感.

**关键词:** 服装; 开口部位; 通风效应; 热阻; 体温调节; 舒适性

**中图分类号:** TS 941. 16      **文献标志码:** A

## Effects of the Positions of Clothing Openings on Thermal Comfort

ZHANG Xiang-hui<sup>a, b</sup>, LI Jun<sup>a, b</sup>, WANG Yun-yi<sup>a, b</sup>

(a. Fashion and Art Design Institute; b. Key Laboratory of Clothing Design & Technology,  
Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 200051, China)

**Abstract:** Clothing openings critically influence the heat exchange between the external environment and the clothing microenvironment. The effects of varying clothing openings' position including at chest, upper back, under-arm or no opening, on thermal comfort were investigated using both thermal manikin and garment wear trials in the environments with or without wind. Clothing thermal insulation, mean skin temperature, clothing microclimate relative humidity and subjective ratings on comfort were recorded during the tests. The results showed that, the positions of clothing openings effect on the total thermal insulation; among the various designs tested, openings applied at under-arm could most effectively release heat from the body. Meanwhile, openings applied at chest or under-arm also contributed to the air exchange between the microclimate around the body and the ambient environment during treadmill exercise, which increased the effectiveness of heat removal by convection and evaporation and resulted in lower mean skin temperature and clothing microclimate relative humidity. However, the effects of wind produced more significant differences on thermoregulation responses than the clothing openings did. In conclusion, the clothing openings placed at under-arm were the best choice

收稿日期: 2011-02-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51106022); 教育部高校博士学科点专项科研基金资助项目(20110075110005/20110075120009); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(12D10721)

作者简介: 张向辉(1978—), 女, 天津人, 讲师, 博士, 研究方向为服装结构、功能服装与舒适性. E-mail: zhangxianghui@dhu.edu.cn  
李俊(联系人), 男, 教授, E-mail: lijun@dhu.edu.cn

in a clothing system with respect to desired thermoregulatory response and wearer comfort.

**Key words:** clothing; positions of clothing openings; ventilation; thermal insulation; thermoregulation; comfort

服装对人体与环境之间的热交换具有决定性影响.在作业或运动过程中,如果人体产生的热量不能及时通过服装传递到外界环境,在衣下将会形成热蓄积,从而对作业安全和人体健康造成较大危害<sup>[1-2]</sup>.形成热蓄积的主要原因是服装衣下空气层与外界环境之间空气交换不充分<sup>[3]</sup>,空气交换率低使得衣下空气层湿度增大,从而使皮肤表面汗液蒸发减少,导致人体体温升高,同时空气交换率也显著影响对流散热.这种服装衣下空气层与外界环境之间气体交换的现象被称为服装通风效应.显然,通风效应对于着装人体蒸发和对流散热有着重要影响<sup>[4-5]</sup>.形成服装通风效应的途径主要有 3 种<sup>[5]</sup>:衣下空气层直接透过服装面料与外界环境之间进行交换;衣下空气层通过服装开口部位与外界环境形成自然对流进行交换;由于人体运动或环境风速使衣下空气层通过服装开口部位与外界环境形成强迫对流进行交换(通常称为“风箱效应”).可见,服装面料性能以及服装开口等设计特征是影响服装通风效应的主要因素,并最终决定人体着装的生理舒适性<sup>[6]</sup>.

关于服装面料性能对通风效应的影响,已有较多研究<sup>[7-10]</sup>.研究表明:在人体运动过程中,面料的吸湿性和透气性对服装通风效应具有显著影响,是决定着装热湿舒适性的关键因素.对于透气性较差的材料(如功能防护服装面料),当透过面料散热受到严重阻碍后,通过服装开口形成的通风效应是促进服装衣下空间与外界环境之间进行热交换的一条重要途径<sup>[11]</sup>.服装开口度与服装热阻的关系也得到了试验研究<sup>[12]</sup>.REISCHL 等<sup>[7, 13]</sup>的研究基于传统消防服,通过增大消防服领口大小以及在服装腋下、侧缝等部位增加通风开口设计,显著提高了消防服穿着的热湿舒适性.RUCKMAN 等<sup>[14]</sup>的研究表明,在服装腋下部位增加通风开口对人体多项生理指标具有显著调节作用.然而,关于服装开口部位对着装热湿舒适性的影响目前尚没有系统的研究.

本文通过在服装不同部位增加开口设计,在外界环境无风和有风两种条件下,对服装开口部位与服装热阻以及人体热湿生理调节的关系进行系统研究,定量地评价服装开口形成的通风效应对着装热湿舒适性的影响,从而为优化服装结构,建立具有满意着装舒适性的服装系统提供参考.

## 1 试 验

### 1.1 试验服装

本文试验服装以普通男式圆领插肩长袖 T 恤(M 码 170/88A)为参照服装.根据人体躯干部位汗液分泌分布规律<sup>[15]</sup>,在服装胸部、背部和腋下 3 个部位分别增加对称式开口结构,每个开口长度均为 20 cm,通过隐形拉链调节开口的开合状态.试验服装款式如图 1 所示.服装面料基本参数如表 1 所示.

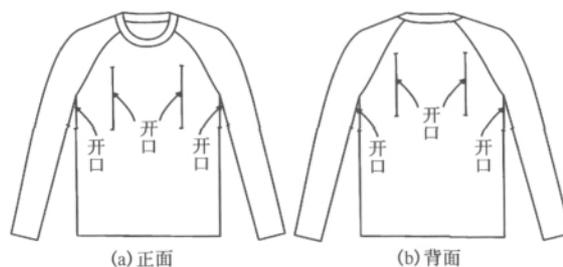


图 1 试验服装款式图及开口部位

Fig. 1 The sketch of clothing and the positions of clothing openings

表 1 服装面料基本参数

Table 1 Specifications of clothing fabric

成分	组织结构	面密度/ ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )	厚度/ mm	透气率/ ( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	克罗值/ clo
100% 涤纶	网眼双罗纹	152	0.55	766	0.152

### 1.2 服装热阻试验

试验采用由东华大学研制的 11 区段暖体假人,平均皮肤温度设定为  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,温度测量误差小于  $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .试验在人工气候室内进行,环境温度为  $(20 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $(50 \pm 2)\%$ ,环境风速为无风和有风两种条件:无风条件风速  $v_a \leq 0.2\text{ m/s}$ ;有风条件采用两个风扇上下排列放置在暖体假人前面,与暖体假人间距为  $1.5\text{ m}$ ,调整风扇高度与暖体假人躯干部位等高,形成迎面风,风速  $v_a = 1.0\text{ m/s}$ .服装热阻按文献<sup>[16]</sup>进行测试,测量 10 次取平均值.

### 1.3 人体生理着装试验

试验在恒温恒湿气候室内进行,环境温度为  $(25 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $(50 \pm 2)\%$ ,环境风速为无风和有风两种条件,设置同暖体假人试验.受试者为 6 名健康男性大学生,年龄为  $(21 \pm 3)$  岁,身高为  $(172 \pm 2)\text{ cm}$ ,体重为  $(66 \pm 3)\text{ kg}$ .受试者进入试验环境休息

10 min 后更换试验服装(上装为试验 T 恤,下装为统一运动短裤),佩戴心率监测仪,用透气型胶布将皮温传感器粘贴固定在受试者前臂、胸部、背部、大腿和小腿 5 点皮肤表面<sup>[17]</sup>,用于测量皮肤温度,将湿度传感器粘贴固定在胸部,用于测量该部位衣下相对湿度,注意传感器不与皮肤表面接触,温湿度传感器均连接到自行设计开发的温湿度采集系统,试验过程中每 30 s 采集一次数据. 试验服装的 4 种开口状态为无开口( $T_0$ )、胸部开口( $T_1$ )、背部开口( $T_2$ )、腋下开口( $T_3$ ). 试验过程包括:静态站立 10 min,以 6 km/h 速度跑步 15 min,站立休息 10 min. 试验前后受试者填写着装整体舒适感主观评价问卷,采用 5 级评价标尺<sup>[18]</sup>,其中,“1”为最舒适,“5”为极不舒适.

#### 1.4 数据分析方法

单因素方差分析是用来研究一个控制变量的不同水平是否对观测变量产生显著影响<sup>[19]</sup>. 采用  $F$  统计量作为检验统计量,其利用样本数据计算出检验统计量观测值发生的概率  $p$ ,通过比较概率  $p$  值与给定显著性水平  $\alpha$ ,判定总体均值与检验值之间是否存在显著差异. 本文采用单因素方差分析,对不同风速条件下的开口部位不同是否对服装总热阻产生显著影响进行分析.

重复测量方差分析<sup>[20]</sup>,作为专门的统计分析方法,通常以测量时间效应及其与观察变量的交互作用作为组内效应,以不同水平观察变量对观测值的效应作为组间效应,采用  $F$  统计量作为检验统计量,进行统计学检验. 重复测量方差分析除要求样本是随机的外,还特别强调满足协方差矩阵的球对称性,若满足球对称性,则可用一元方差来分析重复观测数据. 如果不满足,需对时间点  $F$  值的自由度进行调整. 本文的人体生理试验数据属于重复测量数据,因此,采用重复测量设计方差分析以不同开口部位为组间因素,以不同时间阶段(运动前、运动中、运动后)为组内因素,用于研究服装开口部位不同时的心率、平均皮肤温度和衣下湿度等人体生理指标之间有无差异.

配对样本  $t$  检验是利用来自两个总体的配对样本,推断两个总体的均值是否存在显著差异,配对样本观察值通常具有先后顺序的特征<sup>[19]</sup>. 采用  $t$  统计量作为检验统计量, $t$  统计量服从  $n-1$  个自由度的  $t$  分布. 利用样本数据计算出  $t$  统计量的观测值和对应的概率  $p$ ,将概率  $p$  值与显著性水平  $\alpha$  做比较,判定总体均值与检验值之间是否存在显著差异. 本文对试验前、后受试者的主观评价采用配对样本  $t$  检验,分析服装开口部位不同是否对受试者运动前后着装舒适感产生明显差异. 文中  $\alpha$  均设定为 0.05.

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 通风开口部位对服装热阻的影响

服装总热阻是评价服装隔热性能的重要指标<sup>[21]</sup>,热阻值越低,表明服装越具有较好的散热性能,有助于人体在运动后恢复热湿平衡. 在无风和有风条件下,各试验服装总热阻以及相对于  $T_0$  的服装热阻变化率分别如图 2 和 3 所示. 由图 2 和 3 可知,在无风条件下,开口部位不同的试验服装热阻之间没有显著差异 [ $F(3, 36) = 0.253, p = 0.859 > 0.05$ ],但所有开口试验服装热阻均小于无开口服装,其中,  $T_1, T_2$  和  $T_3$  服装总热阻分别比  $T_0$  低 1.37%, 0.47% 和 1.65%,表明在胸部或腋下部位增加开口有助于降低服装热阻. 主要原因是试验中暖体假人呈稍前倾站立姿态,躯干前部衣下空气层间隙较大,因此,在胸部或腋下开口可促进衣下空气与外界环境之间自然对流,降低服装热阻. 由于服装在背部贴合于暖体假人表面,衣下空气层间隙较小,因此,背部开口对服装热阻影响较小.

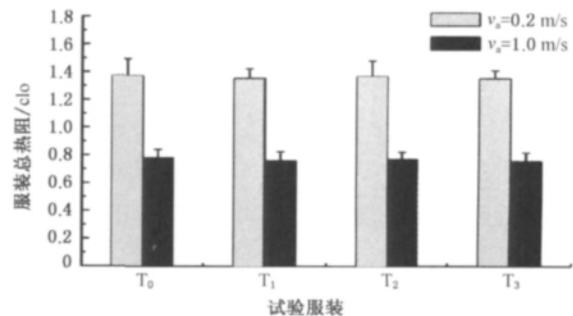


图 2 无风和有风条件下不同开口部位试验服装总热阻  
Fig. 2 Total thermal insulation of tested clothing with different opening positions in the environments with or without wind

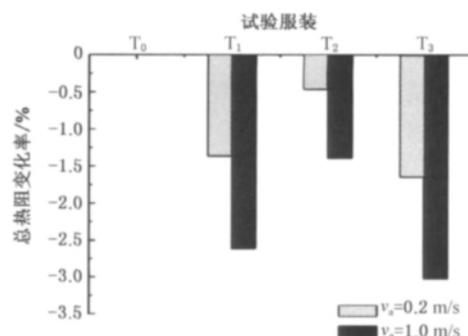


图 3 无风和有风条件下不同开口部位服装相对于  $T_0$  的总热阻变化率  
Fig. 3 Differences between tested clothing with different opening positions and the  $T_0$  in terms of total thermal insulation in the environments with or without wind

由图 2 和 3 可知,在有风条件下,所有服装热阻均显著低于无风条件( $p < 0.001$ ),说明风速是影响服装热阻的重要因素<sup>[4, 22]</sup>. 不同开口部位未对服装热阻产生显著影响 $[F(3, 36) = 0.316, p = 0.814 > 0.05]$ ,但相对于无开口服装,所有开口服装热阻变化率均显著大于无风条件,其中  $T_3$  热阻降低率最大,为 3.02%, $T_1$  和  $T_2$  分别降低 2.61% 和 1.40%,约为无风条件下的 2~3 倍. 这表明在风速作用下,通风开口对服装热阻的调节作用更加显著. 就开口部位而言,腋下增加开口对服装热阻影响最大,其次是胸部开口,而背部开口影响最小. 主要原因是腋下开口使整个躯干部位衣下空间与外界环境之间形成横向连通,在风速作用下“风箱效应”显著,因而可较大地降低服装热阻;风向是迎面风,因此,在胸部开口有利于气流直接进入衣下空间形成强迫对流,增加对流散热,从而降低服装热阻,而背部开口对热阻的影响没有其他部位开口明显. 总体上,在服装腋下部位增加开口形成的通风效应最显著,可较大地降低服装热阻,有助于促进着装人体热平衡,这与 HO 等<sup>[23]</sup>的研究结论一致.

## 2.2 通风开口部位对人体热湿生理调节的影响

试验过程中受试者穿着试验服装的心率变化如图 4 所示. 在无风或有风条件下,在不同运动状态(静立、运动、休息)下,心率值随时间变化具有显著差异( $p < 0.001$ ),而服装不同开口部位对受试者心率没有显著影响( $p > 0.05$ ). 心率是衡量人体运动负荷的重要指标,由于试验过程中每位受试者的运动强度设定相同,因此,试验结果表明服装开口部位不同并没有显著增加或减少人体生理负荷. 同时,无风或有风条件下,受试者心率也未见显著差异,表明本试验中受试者心率仅受到运动强度变化的影响,其与风速变化无关.

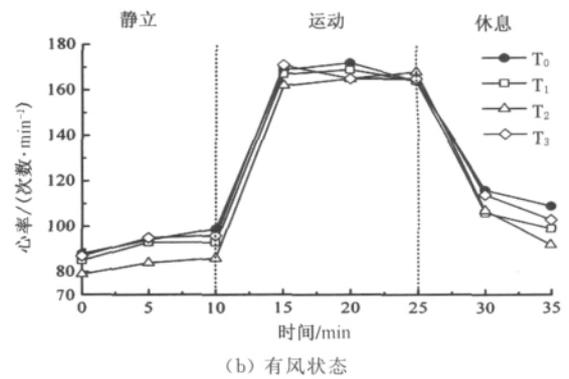
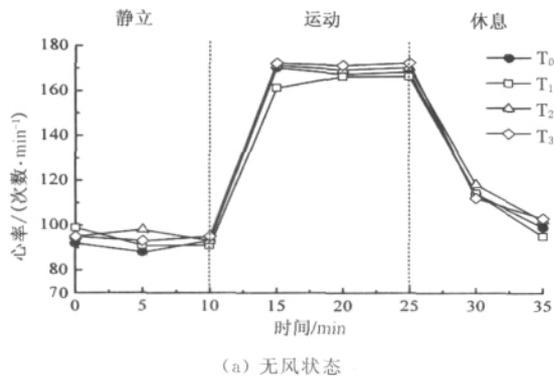


图 4 受试者穿着试验服装过程中心率变化  
Fig. 4 Heart rate of subjects by wearing tested clothing during the experiments

试验过程中,受试者穿着试验服装的平均皮肤温度( $t_{sk}$ )变化如图 5 所示. 由图 5(a)可知,在无风条件、不同运动状态下, $t_{sk}$  值随时间的改变具有显著差异( $p < 0.001$ ). 试验过程中,无开口服装的  $t_{sk}$  值高于所有开口服装,且在运动开始后快速升高,变化率也显著高于所有开口服装,而  $T_3$  服装的  $t_{sk}$  值变化最小,显著低于其他服装,表明在运动过程中,服装开口形成衣下空间与外界环境之间强迫对流,有效促进人体对流散热,减缓皮肤温度升高. 运动停止后,所有试验服装的  $t_{sk}$  值均呈继续升高后下降的变化趋势,其中  $T_0$  服装的最高  $t_{sk}$  值为 35.00 °C,其次是  $T_2$  和  $T_1$  服装,分别为 34.65 和 34.52 °C, $T_3$  服装的最高  $t_{sk}$  值为 34.37 °C. 在休息阶段, $T_3$  服装的  $t_{sk}$  值降低最快,显著低于其他试验服装,这主要是由于运动后人体产生的汗液使服装贴在胸部或背部部分皮肤表面,在一定程度上降低了该部位开口的通风散热作用,而腋下开口服装由于在体侧部位衣下间隙较大,仍能起到很好的通风作用,因而有助于调节人体体温快速恢复平衡.

由图 5(b)可知,在有风条件下,所有服装  $t_{sk}$  值变化趋势基本一致,不同运动阶段的  $t_{sk}$  值没有显著差异( $p > 0.05$ ),并且服装不同开口部位对  $t_{sk}$  值也没有显著影响( $p > 0.05$ ),这是由于在风速作用下,试验服装面料本身的透气性在一定程度上削弱了服装开口部位变化产生的影响. 在运动休息阶段, $T_1$  和  $T_3$  服装的  $t_{sk}$  值略低于  $T_0$  和  $T_2$  服装,两组服装的最高  $t_{sk}$  值分别为 33.05, 32.92 °C 和 33.30, 33.30 °C,虽然差异并不显著,但一定程度上说明在风速作用下,服装胸部和腋下增加开口具有较好通风效应,有助于人体体温调节. 由于风向原因,背部开口与未开口服装的  $t_{sk}$  值几乎没有差异. 另外,所有试验服装在两种风速条件下的最高  $t_{sk}$  值具有显著差异( $p <$

0.05),说明风速是影响  $t_{sk}$  值的主要因素<sup>[24]</sup>.

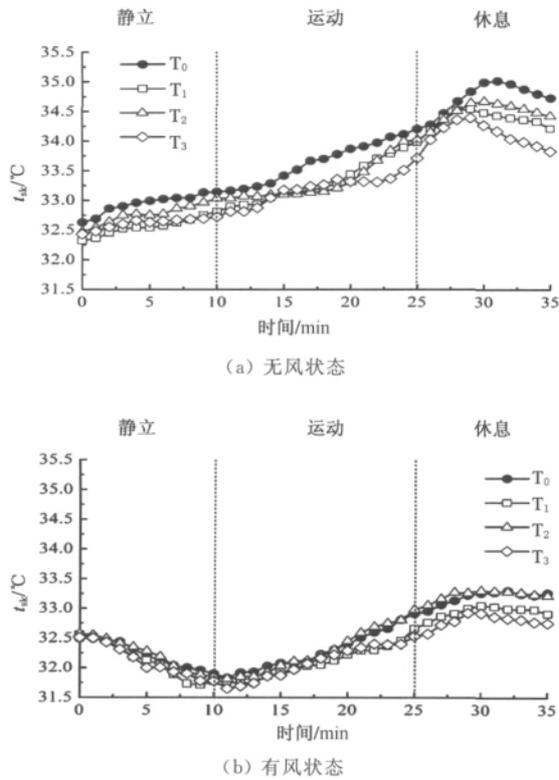


图 5 受试者穿着试验服装过程中平均皮肤温度的变化  
Fig. 5 Mean skin temperature of subjects by wearing tested clothing during the experiments

试验过程中,受试者穿着试验服装胸部衣下相对湿度( $RH_{cl}$ )变化如图 6 所示. 在无风或有风条件、不同运动状态下, $RH_{cl}$ 值随时间改变具有显著差异( $p < 0.001$ ). 由图 6(a)可知,无风条件下,所有服装  $RH_{cl}$  值变化趋势基本一致,刚开始运动时,在运动形成“风箱效应”作用下, $RH_{cl}$ 值迅速下降,随着运动汗液分泌增多,衣下湿度迅速增加,其中  $T_0$  和  $T_2$  服装增加最快,而  $T_1$  和  $T_3$  服装呈缓慢增加,表明在服装胸部和腋下开口增强衣下空间与外界环境之间的空气交换,有助于促进汗液蒸发,减缓衣下湿度的增加. 随着人体对运动强度的适应, $RH_{cl}$ 值呈平稳状态,运动结束后所有服装  $RH_{cl}$ 值均没有明显降低,虽然  $T_0$  服装略高于其他开口服装,但开口部位不同的服装  $RH_{cl}$ 值之间没有显著差异( $p > 0.05$ ). 这主要由于运动后服装面料的性能是影响衣下湿度的主要因素<sup>[14]</sup>,但增加服装开口在一定程度上也有助于人体蒸发散热.

由图 6(b)可知,在有风条件下, $RH_{cl}$ 值呈现出与无风条件不同的变化趋势,在风速作用下, $RH_{cl}$ 值变化显著低于无风条件,且在运动后期以及休息阶段, $T_0, T_2$ 与  $T_1, T_3$ 之间  $RH_{cl}$ 值存在显著差异,说明在风速作用下,胸部和腋下开口具有显著降低衣下

湿度的作用. 这也是由于胸部和腋下开口增大衣下空间与外界环境之间的气体交换,促进蒸发散热,使衣下湿度降低.

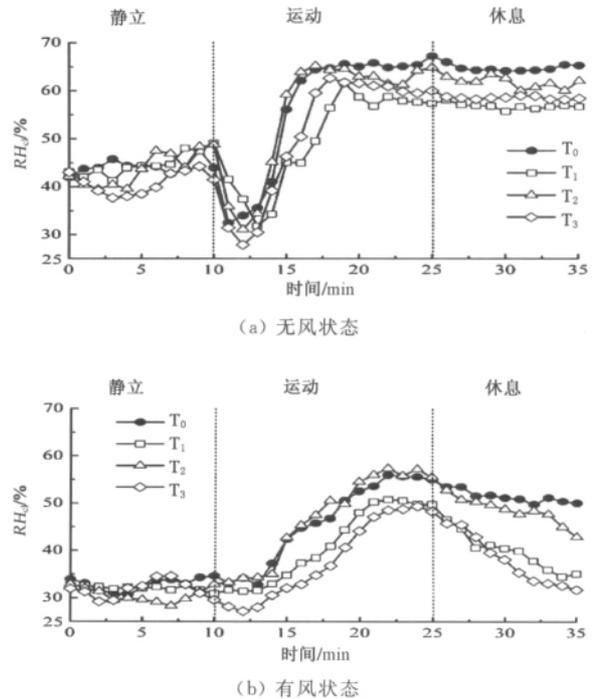


图 6 受试者穿着试验服装过程中胸部衣下相对湿度的变化  
Fig. 6 Clothing microclimate relative humidity at chest level of subjects by wearing tested clothing during the experiments

试验前后受试者对试验服装的着装舒适感评价如表 2 所示. 在无风或有风条件下,试验前,受试者均处于舒适状态;试验后,无风条件下的评分均显著高于有风条件( $p < 0.05$ ),但不同试验服装之间没有显著差异( $p > 0.05$ ). 由此表明,风速对于受试者主观舒适感具有显著影响,而服装开口部位的差异尚不能显著影响受试者的主观评价. 但由表 2 可知,无论在无风或有风条件下,未开口服装的舒适感评分均最高(即最不舒适),而腋下开口服装评分均低于其他开口部位服装,表明腋下开口相对于其他开口部位更具舒适性,这也与人体皮肤温度、衣下相对湿度等生理指标结果相一致.

表 2 着装舒适感主观评价  
Table 2 Subjective ratings for comfort

试验服装	无风条件		有风条件	
	试验前	试验后	试验前	试验后
$T_0$	1.0±0.0	2.8±0.4	1.0±0.0	2.0±0.6
$T_1$	1.0±0.0	2.5±0.5	1.2±0.2	1.8±0.8
$T_2$	1.0±0.0	2.8±0.6	1.0±0.0	1.8±0.4
$T_3$	1.0±0.0	2.3±0.5	1.0±0.0	1.5±0.3

### 3 结 语

本文通过暖体假人和人体生理试验,在无风和有风条件下,对服装开口部位不同对着装生理舒适性的影响进行研究,得到以下结论。

(1) 服装开口部位不同对服装总热阻具有影响,腋下开口服装热阻最低,其次是胸部和背部开口,未开口服装热阻最高,且服装开口对热阻的影响在有风条件下比在无风条件下更显著。

(2) 服装开口部位不同对人体生理体温调节具有显著影响——在无风条件下,运动过程中服装开口有助于减缓皮肤温度和衣下湿度升高,休息时腋下开口使皮肤温度显著降低;在有风条件下,胸部和腋下开口有助于增加蒸发散热,降低衣下湿度。总体上,在腋下开口的服装具有较好的着装舒适性。

(3) 风速对服装热阻和人体皮肤温度、衣下相对湿度等指标的影响更显著。

#### 参 考 文 献

- [1] HAVENITH G. Heat balance when wearing protective clothing [J]. *Ann Occup Hyg*, 1999,43(5):289-296.
- [2] ROBERTS B C, WALLER T M, CAINE M P. Thermoregulatory response to base-layer garments during treadmill exercise [J]. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 2007,1(1):29-38.
- [3] LUMLEY S H, STORY D L, THOMAS N T. Clothing ventilation: Update and applications [J]. *Applied Ergonomics*, 1991,22(6):390-394.
- [4] HAVENITH G, HEUS R, LOTENS W. Clothing ventilation, vapour resistance and permeability index: Changes due to posture, movement and wind [J]. *Ergonomics*, 1990,33(8):989-1005.
- [5] BOUSKILL L M, HAVENITH G, KUKLANE K, et al. Relationship between clothing ventilation and thermal insulation [J]. *AIHA Journal*, 2002,63(3):262-268.
- [6] BIRNBAUM R R, CROCKFORD G W. Measurement of the clothing ventilation index [J]. *Applied Ergonomics*, 1978,9(4):194-200.
- [7] REISCHL U, STRANSKY A, DELORME H R, et al. Advanced prototype firefighter protective clothing: Heat dissipation characteristics [J]. *Textile Research Journal*, 1982,52(1):66-73.
- [8] HA M, TOKURA H, YAMASHITA Y. Effects of two kinds of clothing made from hydrophobic and hydrophilic fabrics on local sweating rates at an ambient temperature of 37°C [J]. *Ergonomics*, 1995,38(7):1445-1455.
- [9] UEDA H, HAVENITH G. The effect of fabric air permeability on clothing ventilation [C]// *Environmental ergonomics: The ergonomics of human comfort, health and performance in the thermal environment*. London: Elsevier Ergonomics Book Series, 2005:343-346.
- [10] YAYOI S, CHIKAKO M, MASAOKI T. Heat and water vapor transfer of an underwear in hot environment and thermal comfort [J]. *Thermophys Prop*, 2005,26:224-226.
- [11] HOLMER I. Protective clothing in hot environments [J]. *Industrial Health*, 2006,44:404-413.
- [12] 周永凯,田永娟. 服装款式特征与服装热阻的关系 [J]. *北京服装学院学报:自然科学版*, 2007,27(3):31-37.
- [13] REISCHL U, STRANSKY A. Assessment of ventilation characteristics of standard and prototype firefighter protective clothing [J]. *Textile Research Journal*, 1980,50(3):193-201.
- [14] RUCKMAN J E, MURRAY R, CHOI H S. Engineering of clothing systems for improved thermophysiological comfort: The effect of openings [J]. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1999,11(1):37-52.
- [15] HAVENITH G, UEDA H, SAN H, et al. Required clothing ventilation for different body regions in relation to local sweat rates [C]// *2nd European Conference on Protective Clothing*. Montreux, Switzerland, 2003:212-217.
- [16] ASTM F1291—1999 Standard test method for measuring the thermal insulation of clothing using a heated manikin [S]. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [17] ISO 9886—2004 Ergonomics: Evaluation of thermal strain by physiological measurements [S]. International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- [18] BEDFORD T. The warmth factor in comfort at work: A physiological study of heating and ventilation [R]. Industrial Health Research Board Report No. 76, London: H M Stationery Office, 1936:1-102.
- [19] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用 [M]. 2 版. 北京:电子工业出版社, 2009:122-173.
- [20] 王彤. 医用统计学与 SPSS 软件应用 [M]. 北京:北京大学医学出版社, 2008:148-163.
- [21] FAN J T, CHEN Y S. Measurement of clothing thermal insulation and moisture vapor resistance using a novel perspiring fabric thermal manikin [J]. *Measurement Science and Technology*, 2002,13:1115-1123.
- [22] HOLMER I, NILSSON H, HAVENITH G, et al. Clothing convective heat exchange: Proposal for improved prediction in standards and models [J]. *Ann Occup Hyg*, 1999,43(5):329-337.
- [23] HO C P, FAN J T, NEWTON E, et al. Effects of athletic T-shirt designs on thermal comfort [J]. *Fibers and Polymers*, 2008,9(4):503-508.
- [24] PARSONS K C, HAVENITH G, HOLMER I, et al. The effects of wind and human movement on the heat and vapour transfer properties of clothing [J]. *Ann Occup Hyg*, 1999,43(5):347-352.