

文章编号: 1671-0444 (2018)02-0232-06

Gore-Tex 面料透湿性能对比测试

陈益松^{a, b}, 唐晓楠^a

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

摘要: 采用 YG 601 型织物透湿仪和被动式微气候仪, 在 3 种标准试验条件和 4 种微气候仪条件下, 对 3 种 6 块 Gore-Tex 试样和 2 块棉织物试样进行了透湿性能测试。在标准透湿杯条件下, 各试样的透湿量差异相对较大, 平均透湿量与透湿量差异与试样两侧所存在的蒸汽压差成正比, Gore-Tex 试样平均透湿能力要小于普通棉织物。采用被动式微气候仪的透湿试验发现: 试样的透湿量与模拟皮肤内的水温成正比, 水温越高, 皮肤出汗量越大, 内外湿度差越大, 试样的透湿量也越大, 同时微气候室内的积水也越多; 在稳态情况下, 微气候室内的积水量随时间成正比; 在相同条件下 Gore-Tex 试样及棉织物试样的透湿量相差很小, 但前者在微气候室内的积水量要大一些, 也说明不同 Gore-Tex 织物的透湿量接近但还是小于普通棉织物。虽然 Gore-Tex 织物的透湿量接近棉织物, 但其透气性能要远低于普通织物。所以, Gore-Tex 织物称作防风透湿织物是准确的, 其主要性能取决于 PTFE(聚四氟乙烯)微孔膜的性能。

关键词: 微气候仪; Gore-Tex 织物; 防风透湿织物; 透湿性; 透湿杯法

中图分类号: TS 941.15

文献标志码: A

Comparison Tests of Gore-Tex Fabric Moisture Permeability

CHEN Yisong^{a, b}, TANG Xiaonan^a

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

Abstract: Using YG601 fabric moisture permeability apparatus and passive micro-climate apparatus, an experiment is designed to test moisture permeability for three kinds six pieces Gore-Tex specimen and two pieces of cotton specimen for comparing in three kinds of standard test conditions and four kinds of artificial micro-climate conditions. In standard conditions of dish method, differences are very apparent in moisture permeability among all samples where the average moisture transmissions and variations of the value are proportional to the pressure difference of vapor on sides the specimen while the average moisture permeability of Gore-Tex specimen is little less than cotton specimen. Based on the results of fabrics moisture permeability experiment with passive micro-climate apparatus, the moisture transmission is directly proportional to the water temperature under simulated skin. The higher the water temperature is, the larger the sweating rate by skin is, the bigger the moisture differences on sides the specimen and the more the moisture transmission is while the more the water accumulation is in micro-climate room. The accumulated water is proportional to time under steady state conditions. The differences of moisture transmission between Gore-Tex fabric and cotton fabric are negligible in the same conditions, but more accumulated water with Gore-Tex fabrics shows that the moisture transmission of Gore-Tex fabric is close

收稿日期: 2017-01-19

作者简介: 陈益松(1964—), 男, 湖南宁远人, 教授, 博士, 研究方向为服装舒适性与光学测量三维, E-mail: cys@dhu.edu.cn

to cotton fabric but less than it. The air permeability of Gore-Tex fabric is so far below cotton fabric comparing to moisture permission difference. Therefore, it is accurate for Gore-Tex fabric to call windproof and moisture permeability fabric which is mainly determined by property of micro-porous membrane of PTFE(polytetrafluoroethylene).

Key words: micro-climate apparatus; Gore-Tex fabric; windproof breathable fabric; moisture permeability; dish method

人体与环境的热湿平衡传递是一个复杂的过程^[1],人体出汗是排泄和调节体温的生理机制,而服装包裹在体外,作为人体与环境进行热湿交换的媒介,它的透湿性能直接影响到人体生理和着装的舒适性^[2]。然而,人们的着装在很多情况下要求防风防雨,通常使用涂层来解决这一问题,但涂层会破坏面料的透湿透气性能^[3]。使用 PTFE(聚四氟乙烯)微孔膜的 Gore-Tex 层压复合面料^[4]较好地解决了这一对矛盾,自其诞生以来被广泛应用于服装行业,特别是户外运动与作业领域。文献[5]介绍了 e-PTFE 膜物理化学参数,分析了层压织物的防水透湿性、防风性以及保暖性等机理,并将 e-PTFE 膜复合面料与其他面料对比,结果显示前者在特定性能方面具有优势。文献[6]探讨了影响防水透湿织物性能的因素,较之其他防水透湿织物,微孔膜层压织物的透湿性是最好的,其织物的抗沾水能力与层压膜或涂层的抗沾水能力有关。文献[7]介绍了防水透湿织物的微孔透湿机理,并探讨了防水透湿织物测试方法的研究进展,指出目前的测试方法存在着测试与穿着条件吻合度差的缺陷。文献[8]详细介绍了防水透湿织物防水性和透湿性的检测技术,其中透湿性的检测技术有吸湿法、蒸发法和模拟法(蒸发热板法),由于各方法衡量织物透湿性能的相关标准差异较大,且测试结果难以比较,导致防水透湿纺织品产业的发展受限。文献[9]通过改变透湿杯的水温来测试 Gore-Tex 薄膜及其他几种 PTFE 微孔薄膜的透湿量,研究发现,当环境温度不变时,透湿量随水温的升高而增大,两者呈指数型关系。文献[10]的研究显示,对于某些防水透湿织物,水蒸气转移性能依赖于织物及其周围存在的温度梯度,当外界环境温度降低到 0℃ 以下,织物对水蒸气的蒸发阻抗将急剧增加。

本文采用 YG 601 型织物透湿仪和被动式微气候仪两种试验装置,在 3 种标准试验条件和 4 种模拟穿着状态下,对 3 种 6 块 Gore-Tex 试样和 2 块棉织物试样进行透湿量对比试验,研究 Gore-Tex 在着装状态下的透湿性能。

1 试验仪器

1.1 YG 601 型织物透湿仪

YG 601 型织物透湿仪由恒温恒湿气候箱和箱内旋转的 8 个透湿杯构成,如图 1 所示。透湿杯是测定织物透湿性能的常用方法。

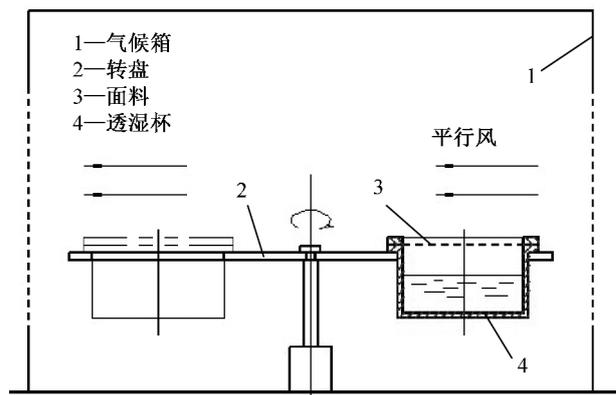


图 1 YG 601 型织物透湿仪

Fig. 1 Fabric moisture permeability apparatus of YG 601 type

气候箱左右两侧为多孔壁板,分别为出风侧和回风侧,两侧壁之间维持风速为 0.3~0.5m/s 的平行风。气候箱内温度和相对湿度由箱内的温度传感器和相对湿度传感器检测并反馈至控制器,温度精度可控制在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,相对湿度精度可控制在 $\pm 3\%$ 。8 个透湿杯放置在一个缓慢旋转的托盘上,可以保证每只透湿杯所受的环境影响一致。透湿杯试验方法分吸湿法和蒸发法,试验时,吸湿法试样正面朝内,蒸发法试样正面朝外,覆盖于透湿杯上。一定时间内,称取透湿杯的质量变化,试样透湿量的计算如式(1)所示。

$$W = \frac{\Delta m}{A \cdot t} \quad (1)$$

式中: W 为试样每平方米每小时的透湿量, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; Δm 为同一试验组合体两次称量之差, g ; A 为试样有效试验面积, m^2 ; t 为试验时间, h 。试样透湿量为 3 个试样透湿量的算术平均值。

1.2 被动式微气候仪

被动式微气候仪^[11]如图 2 所示。采用被动供水方式的出汗模拟机制^[12],通过调节装置中的水柱高度和皮肤温度,改变模拟皮肤的出汗率和微气候空间的湿气压,出汗量可以根据测试试样的透湿能力而自动调节并实时监测,弥补了以往微气候仪在供水和模拟出汗方面的不足。

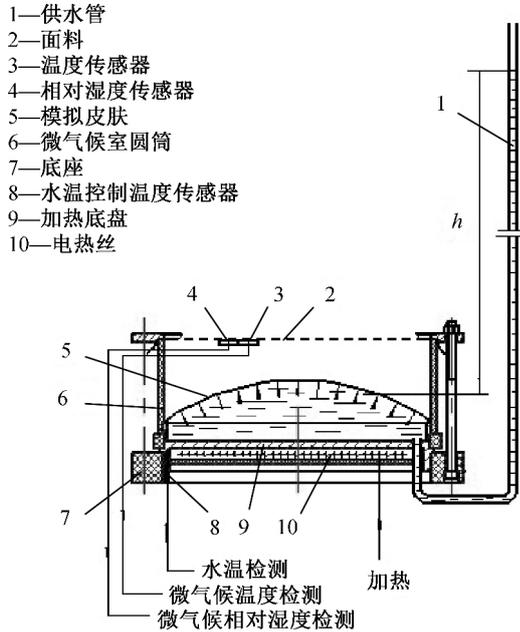


图 2 被动式微气候仪

Fig. 2 A passive micro-climate apparatus

被动式微气候仪的模拟出汗系统^[13]由供水管 1、模拟皮肤 5 和加热底盘 9 组成。蒸馏水充满其间并使管中水位高出模拟皮肤 h ,形成压力水柱,并在温度的作用下,压力水由 Gore-Tex 微孔膜复合织物制作的模拟皮肤微量渗出后形成汗液,汗液蒸发形成的汗气通过被测织物扩散到环境空间。为避免供水管水柱水位下降过多而影响皮肤出汗状态的变化,试验中每小时记录一次水柱水位下降高度,并进

行补水使水位恢复到原来高度。通常 1 小时水位下降为 1~7 cm 左右,不到总水柱高度(1.5 m)的 5%,对皮肤的出汗量无实质性影响。根据记录的水柱水位的高度差可以计算出每小时水柱中水减少量,即为皮肤的出汗量,计算如式(2)所示。

$$Q_z = \frac{\rho V}{t} = \frac{\rho \pi r^2 \Delta h}{t} = \frac{0.02826 \Delta h}{t} \quad (2)$$

式中: Q_z 为每小时水柱中水减少的质量, g/h; ρ 为水的密度, 103 kg/m³; r 为水柱半径, 3 mm; Δh 为一次测试前后的水柱中水位高度差, mm; t 为测试时间, h。

试验中发现,微气候仪由于内外温差缘故,在微气候室圆筒壁内、试样支撑架上会出现积水现象,故织物实际透湿量应减去这部分积水量。则试样每小时的透湿量 Q 为

$$Q = Q_z - Q_j \quad (3)$$

式中: Q_j 为腔内每小时的积水量, g/h。

试样每平方米每小时透湿量的计算如式(4)所示。

$$W = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

式中: W 为试样每平方米每小时的透湿量, g/(m²·h); A 为试样的透湿面积, m²。微气候圆筒壁的内半径为 0.08 m, A 为 0.02 m²。

2 试样选取及试验条件

2.1 试样选取

本文选取 3 种 6 块 Gore-Tex 面料,即三层层压织物、两层层压织物和两层半层压织物各 2 块,与 2 种棉织物作对比。试样尺寸为 24 cm×24 cm(试样夹直径为 16 cm)。面料的基本参数测试结果如表 1 所示。

表 1 试样面料基本参数

Table 1 Basic parameters of specimens

| 试样 | 面料类型 | 经密/ (根·cm ⁻¹) | 纬密/ (根·cm ⁻¹) | 厚度/mm | 面密度/ (g·m ⁻²) | 透气率/ (mm·s ⁻¹) |
|----|------------------------|------------------------------|------------------------------|-------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 红色 Gore-Tex 三层层压织物 | 155 | 226 | 0.459 | 187.73 | 1.16 |
| 2 | 橘黄色 Gore-Tex 三层层压织物 | 185 | 236 | 0.428 | 165.78 | 1.14 |
| 3 | 红色 Gore-Tex 两层层压织物 | 190 | 258 | 0.244 | 124.15 | 0.71 |

(续 表)

| 试样 | 面料类型 | 经密/ (根·cm ⁻¹) | 纬密/ (根·cm ⁻¹) | 厚度/mm | 面密度/ (g·m ⁻²) | 透气率/ (mm·s ⁻¹) |
|----|------------------------|------------------------------|------------------------------|-------|------------------------------|-------------------------------|
| 4 | 黑色 Gore-Tex 两层层压织物 | 142 | 274 | 0.312 | 162.84 | 0.63 |
| 5 | 黑色 Gore-Tex 两层半层压织物 | 296 | 344 | 0.198 | 81.95 | 0.70 |
| 6 | 黄色 Gore-Tex 两层半层压织物 | 192 | 326 | 0.248 | 108.87 | 0.70 |
| 7 | 包芯纱斜纹棉织物 | 135 | 210 | 0.670 | 279.46 | 24.77 |
| 8 | 平纹棉织物 | 90 | 120 | 0.470 | 143.33 | 50.89 |

注:两层半 Gore-Tex 织物为内面印有加固乳胶点阵。

2.2 试验条件

YG 601 型织物透湿仪与被动式微气候仪的试验条件如表 2 所示。

表 2 试验条件

Table 2 Experimental conditions

| 编号 | 方法 | 水控制 温度/°C | 环境 温度/°C | 环境相对 湿度/% | 水蒸气 压差/kPa |
|----|------|--------------|-------------|--------------|---------------|
| 1 | 吸湿法 | | 38.0±0.5 | 90±3 | 6.63 |
| 2 | 蒸发法一 | | 35.0±0.5 | 40±3 | 3.37 |
| 3 | 蒸发法二 | | 30.0±0.5 | 35±3 | 2.76 |
| 4 | | 35±0.5 | | | 4.00 |
| 5 | 微气 | 30±0.5 | | | 2.67 |
| 6 | 候仪 | 25±0.5 | 21±1 | 65±3 | 1.55 |
| 7 | | 21±0.5 | | | 0.87 |

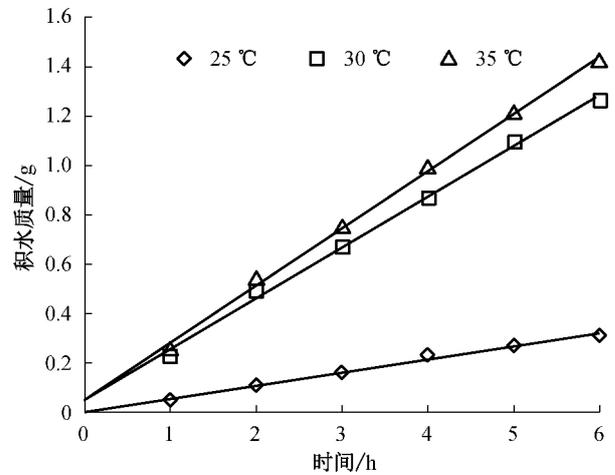
YG 601 型织物透湿仪的试验操作按 GB/T 12704.2—2009 进行。

微气候仪的操作需要把试样固定于测试装置的试样架上,水位加注至距离模拟皮肤高 150 cm 处,供水管旁固定有米尺,测量精度为 1 mm。当温度测量系统使皮肤下的水温控制呈现平稳状态时,试验正式开始。向供水管中加水到指定的水位高度,并记录试验开始时间。1 h(或下降特别慢的为 2 h)后,观察并记录水柱中水位的刻度值,测量并记录试样表面温度,再向供水管中加水到试验开始时指定的水位高度,重复试验。

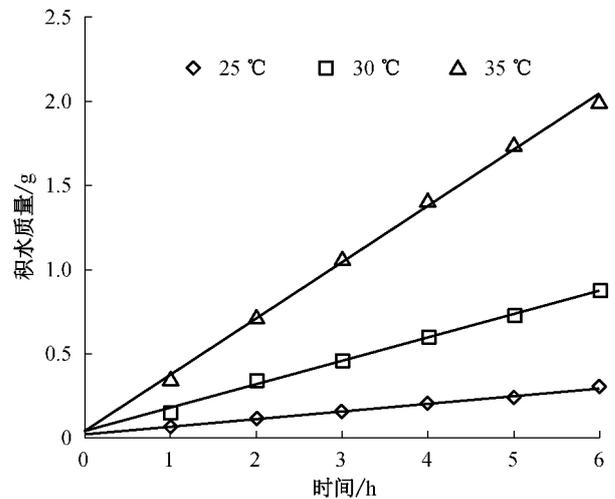
3 微气候仪内积水测量与分析

试验采用吸水能力很强的棉纱来吸收微气候室内的积水,然后用精度较高的电子天平称量吸水前后棉纱的质量,计算其质量差值来获得积水量的数

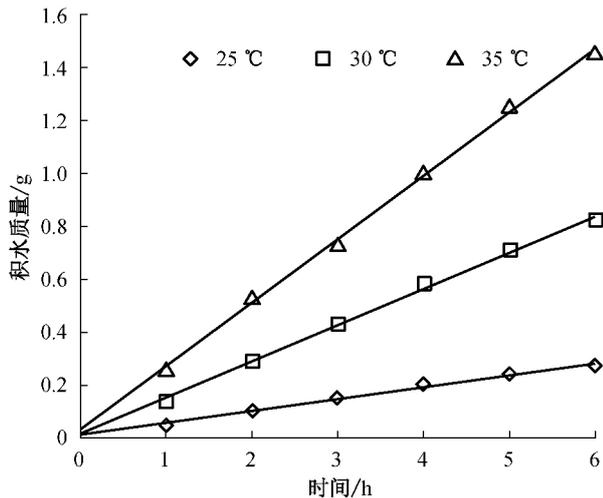
据。为了不破坏腔内微气候区的温湿度平衡,在每 3 次重复试验完成后停止试验,打开测试装置用棉纱收集积水。在不同水温条件下,1、3、7 号试样“衣下”微气候积水量随时间的变化如图 3 所示。



(a) 1 号试样



(b) 3 号试样



(c) 7号试样

图3 在不同水温条件下3种试样“衣下”的微气候积水量随时间的变化

Fig. 3 Accumulated water in microclimate room under three specimens increased with time

试验发现,当皮肤内水温(21 °C)与环境温度相同时,由于内外温差为零,微气候室内并没有积水发生。由图3可知,在水温分别为25、30、35 °C条件下,当水温与环境温度之间的差异越大,微气候室内积水量也越大。所测试样微气候室内的积水量基本随时间呈线性增加。

由图3还可知:1号三层Gore-tex试样在水温为30 °C时,其积水量要远大于7号棉织物,而水温为25和35 °C时的积水量与棉织物差异不大;5号二层Gore-Tex试样在35 °C时其积水量要远大于7号棉织物,而25和30 °C时与棉织物差异不大。总体而言,Gore-Tex织物的微气候室内的积水量要高于棉织物,这也从另一方面说明了Gore-Tex织物的透湿能力要弱于普通棉织物。

4 试验结果与分析

采用YG 601型织物透湿仪和被动式微气候仪分别对8种织物试样进行透湿量测试,结果如表3所示。

表3 两种方法测得的8种织物透湿量

Table 3 The moisture transmission of eight specimens in two methods

g/(m²·h)

| 试样 | YG 601型织物透湿仪 | | | 被动式微气候仪 | | | |
|-----|--------------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | 试验1 | 试验2 | 试验3 | 试验4 | 试验5 | 试验6 | 试验7 |
| 1 | 140.36 | 73.13 | 66.25 | 94.57 | 59.98 | 28.91 | 16.52 |
| 2 | 148.62 | 90.83 | 69.79 | 96.66 | 61.84 | 29.60 | 17.57 |
| 3 | 163.95 | 92.01 | 82.96 | 93.99 | 60.17 | 35.43 | 19.51 |
| 4 | 155.70 | 96.73 | 76.08 | 88.75 | 54.67 | 29.38 | 16.92 |
| 5 | 163.95 | 100.26 | 74.90 | 91.79 | 56.13 | 29.00 | 16.17 |
| 6 | 154.52 | 84.93 | 78.24 | 92.72 | 57.55 | 34.33 | 18.98 |
| 7 | 185.19 | 104.98 | 85.32 | 93.28 | 58.61 | 36.91 | 19.68 |
| 8 | 169.85 | 102.62 | 86.30 | 92.91 | 58.04 | 36.34 | 19.33 |
| 平均值 | 160.27 | 93.19 | 77.48 | 93.08 | 58.37 | 32.49 | 18.09 |
| 标准差 | 13.76 | 10.47 | 7.21 | 2.28 | 2.31 | 3.57 | 1.45 |

由表3可知:

(1) 在YG 601型织物透湿仪测试中发现,透湿杯法中的试样平均透湿量及透湿量差异基本与方法所设定的试样两边的蒸汽压差成正比,从大到小依次为:吸湿法、蒸发法一、蒸发法二。3种试验条件下6块Gore-Tex试样的透湿量虽有差异,但相差不大,都小于普通棉织物。

(2) 在被动式微气候仪的模拟衣下空间的透湿量测试中发现,试样的平均透湿量与皮肤下的水温

成正比,即水温越高,皮肤本身的出汗量越大,皮肤表面到环境间的湿浓度差也越大,试样的透湿量越大,同时,微气候室内的积水量也越大。

(3) 被动式微气候仪在水温为35 °C时,试样两侧的蒸汽压差与蒸发法一相似(试验3和5),两种方法所测的平均透湿量同处一个量级。由此说明,水蒸气压力差是平均透湿量的主要影响因素,在被动式微气候仪测量中,考虑积水量的做法是正确的。

(4) 相比之下,被动式微气候仪所测得的试样

透湿量差异比透湿杯要小,甚至不明显。这是因为微气候仪从模拟皮肤的出汗到微气候空间再穿过面料到环境空气,出汗本身受模拟皮肤性能、水温和压力共同影响较大,而试样本身对其影响相对变小。但从微气候室的积水量来看,Gore-Tex 试样的积水量要大于普通面料,说明其透湿性能低于普通棉织物。

(5) 从透气数据看,Gore-Tex 织物相对普通织物属于“基本不透气”,主要是 Gore-Tex 织物的 PTFE 微孔膜对高气压差的气流阻挡明显,而在蒸汽浓度的分压差下(总气压差不变)其透湿能力却接近普通织物。因此,将 Gore-Tex 织物称之为防风透湿面料是准确的。

5 结 语

本文使用 YG 601 型织物透湿仪和被动式微气候仪在 7 种试验条件下对 3 种 6 块 Gore-Tex 复合织物及 2 块棉织物进行了透湿能力的测量。试验发现,Gore-Tex 织物总体表现出很高的透湿能力,其平均透湿能力接近但小于普通棉织物,但透气能力远小于普通棉织物。这说明虽然三层或两层 Gore-Tex 织物外层面料的织物结构、厚度、外观形态以及有无内经编保护层上有较大的差异,但是在特定试验条件下,其透湿量相差不大且具有强大的防风穿透能力。Gore-Tex 复合织物的防风透湿性能主要取决于其自身 PTFE 膜,因此将其称之为防风透湿面料是准确的。

参 考 文 献

[1] 谌玉红. 人体-服装-环境系统热湿传递特性及测试与评价方法

(上接第 204 页)

- [5] THIBODEAUX D, SENTER H, KNOWLTON J L, et al. A comparison of methods for measuring the short fiber content of cotton[J]. *Journal of Cotton Science*, 2008, 12: 298-305.
- [6] 王府梅, 吴红艳. 一种纤维长度快速低成本测量方法: ZL 2012 1 0106711. 8[P]. 2012-08-22.
- [7] 吴红艳. 一种纤维长度快速低成本测量方法[D]. 上海: 东华大学纺织学院, 2013: 19-27.
- [8] WU M Q, WANG F M. Optical algorithm for calculating the quantity distribution of fiber assembly[J]. *Applied Optics*, 2016, 55(25): 7157-7162.

研究[D]. 中国人民解放军军事医学科学院, 2006.

- [2] SONG G. Improving comfort in clothing [M]. Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [3] 高诚贤. 功能性防水透湿涂层织物性能及其影响因素[J]. *印染*, 2005, 31(12): 46-49.
- [4] SHABARIDHARAN, DAS A. Study on heat and moisture vapour transmission characteristics through multilayered fabric ensembles[J]. *Fibers and Polymers*, 2012, 13(4): 522-528.
- [5] 王爱兵, 朱小云. 膨体聚四氟乙烯微孔层压织物及其用途[J]. *纺织科技进展*, 2009(2): 15-16.
- [6] 陈丽华. 防水透湿织物服用性能的影响因素分析[J]. *棉纺织技术*, 2014, 42(10): 27-32.
- [7] 高党鸽, 张文博, 马建中. 防水透湿织物的研究进展[J]. *印染*, 2011, 37(21): 45-50.
- [8] 王康建, 刘才容, 孙近. 防水透湿织物及其检测[J]. *中国纤检*, 2014(16): 74-78.
- [9] 张建春, 黄机质, 郝新敏. 织物防水透湿原理与层压织物生产技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2003.
- [10] KANETSUNA H, TAKENAKA T. A moisture permeability through a fabric under temperature gradient conditions [J]. *Fiber*, 2000, 56(11): 544-549.
- [11] 陈益松, 徐军, 郭媛媛, 等. 被动式微气候仪的研制及织物透湿性能的测量[J]. *东华大学学报(自然科学版)*, 2015, 41(3): 309-312.
- [12] 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.
- [13] 陈益松, 夏明, 李玲. 模拟皮肤“出汗”性能的测量[J]. *东华大学学报(自然科学版)*, 2014, 40(1): 54-57.

(责任编辑: 徐惠华)

(责任编辑: 杨 静)