

# 吸湿排汗针织面料设计及热湿舒适性评价

李慧, 宋晓霞\*

(上海工程技术大学 纺织服装学院, 上海 201620)

**摘要:**为研究吸湿排汗针织面料的热湿舒适性,设计了不同纱线原料、组织结构和挑孔间距的针织面料,并对面料的回潮率、透湿性、芯吸性能、透气性和保暖性能进行测试;基于实验数据结果,采用灰色关联度分析法对面料的热湿舒适性进行综合评价。结果显示:纱线原料、组织结构和挑孔间距对面料的热湿舒适性均有影响。其中,纱线原料以质量比为50:50的竹棉混纺纱、组织结构为3×1浮线抽条组织、挑孔间距为1.5 cm的面料热湿舒适性能最优。

**关键词:**吸湿排汗;针织面料;热湿舒适性;灰色关联度分析;综合评价

中图分类号:TS 101.92.3 文献标志码:A 文章编号:2096-1928(2022)03-0196-06

## Design of Moisture-Wicking Fabric and Thermal and Moisture Comfort Evaluation

LI Hui, SONG Xiaoxia\*

(School of Textiles and Fashion, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**Abstract:**In order to study the thermal and moisture comfort of moisture-wicking knitted fabrics, knitted fabrics with different yarn materials, organizational structures and hole spacing were designed, and the moisture regain, moisture permeability, wicking performance, air permeability and warmth retention performance were tested. Based on the results of the test data, the grey correlation analysis method was used to comprehensively evaluate the thermal and moisture comfort of the fabric. The results show that the yarn material, structure and hole spacing all affect the thermal and moisture comfort of the fabric. Among them, the fabric with a mass ratio of 50:50 bamboo-cotton blended yarn material, 3×1 floating thread structure and a 1.5 cm hole spacing shows the best thermal and moisture comfort performance.

**Key words:**moisture wicking, knitted fabric, thermal and moisture comfort, comprehensive evaluation

吸湿排汗功能是保持针织服装穿着舒适性的重要功能<sup>[1]</sup>。具有吸湿排汗功能的纤维截面大多为异形结构,存在众多微孔或沟槽<sup>[2]</sup>。这些微孔或沟槽使纤维具有毛细管芯吸效应,而这种效应可以使纤维迅速吸收皮肤表面的汗水从织物外层蒸发。影响针织服装热湿舒适性的因素有很多,如纤维性能、纱线结构、织物组织结构等<sup>[3]</sup>。其中纤维性能对面料热湿舒适性的影响占主要地位,并在很大程度上决定了面料的吸湿排汗效果;织物组织结构会

影响面料和水的接触面积、传导速率、传导距离以及蒸发面积,进而影响面料的热湿舒适性,合理利用组织结构可以增强面料的吸湿导湿能力。此外,有研究表明<sup>[4]</sup>,在针织面料上添加不同间距的挑孔,可以增加衣下空气,从而进一步提高针织面料的热湿舒适性。文中通过改变面料的纱线、组织结构和挑孔间距,利用正交实验设计开发了9块吸湿排汗面料,并通过测试面料的热湿性能指标,探究纱线原料、组织结构和挑孔间距对面料服用性能的影响。

收稿日期:2021-09-17; 修订日期:2022-03-04。

基金项目:企业事业委托科研项目[(0239-E4-6000-19-0339)(19)FZ-020]。

作者简介:李慧(1995—),女,硕士研究生。

\*通信作者:宋晓霞(1972—),女,教授,硕士生导师。主要研究方向为针织服装设计与工艺、服装舒适性。

Email:songxiaoxia@126.com

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与仪器

**1.1.1 原料** 为满足针织面料的吸湿排汗功能,选择竹纤维、cooldry、coolplus 与棉混纺纱线,混纺质量比均为 50:50,纱线规格为 58 tex。混纺纱线均由东莞市内森奎音纺织科技有限公司生产。

**1.1.2 仪器** LE104E/02 电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司制造;YG751B 型电脑式恒温恒湿箱、YG747 型通风式快速八篮恒温烘箱、YG871-Ⅱ型毛细管效应测定仪、YG461E-Ⅲ型全自动透气量仪、YG606D 型平板式织物保温仪,均由宁波纺织仪器厂制造。

### 1.2 面料设计

竹纤维的吸放湿性及透气性良好,是夏季针织

服装首选纱线之一<sup>[5]</sup>。cooldry 纤维与 coolplus 纤维的横截面均呈“十”字形<sup>[6-7]</sup>,具有良好的吸湿排汗功能。组织结构设计是改善织物吸湿排汗性能的有效因素<sup>[8]</sup>,因此可以选择线圈大小均匀且织物表面平整的纬平组织、透气性和弹性好的 3×1 浮线抽条组织以及不卷边的 2×2 正反针组织。孙岑文捷<sup>[9]</sup>和 SUN C 等<sup>[4]</sup>研究发现具有通风孔设计的服装能提高服装的热湿舒适性。因此在针织面料上增加挑孔设计(挑孔是电脑横机通过移圈工艺形成的孔洞)可以使面料达到较好的吸湿排汗效果,但是需要保证单位面积面料内的挑孔面积率,将挑孔间距分别设为 1.0,1.5,2.0 cm。

实验条件满足 3 因素 3 水平,若不考虑交互作用,选用  $L_9(3^4)$  正交表设计并安排实验<sup>[10]</sup>。具体实验设计见表 1。

表 1 面料设计方案

Tab.1 Fabric design plan

编号	A 纱线原料	B 组织结构	C 挑孔间距
1 <sup>#</sup>	1[m(竹纤维):m(棉)=50:50]	1(纬平组织)	1(1.0 cm)
2 <sup>#</sup>	1[m(竹纤维):m(棉)=50:50]	2(3×1 浮线抽条组织)	2(1.5 cm)
3 <sup>#</sup>	1[m(竹纤维):m(棉)=50:50]	3(2×2 正反针组织)	3(2.0 cm)
4 <sup>#</sup>	2[m(cooldry):m(棉)=50:50]	1(纬平组织)	2(1.5 cm)
5 <sup>#</sup>	2[m(cooldry):m(棉)=50:50]	2(3×1 浮线抽条组织)	3(2.0 cm)
6 <sup>#</sup>	2[m(cooldry):m(棉)=50:50]	3(2×2 正反针组织)	1(1.0 cm)
7 <sup>#</sup>	3[m(coolplus):m(棉)=50:50]	1(纬平组织)	3(2.0 cm)
8 <sup>#</sup>	3[m(coolplus):m(棉)=50:50]	2(3×1 浮线抽条组织)	1(1.0 cm)
9 <sup>#</sup>	3[m(coolplus):m(棉)=50:50]	3(2×2 正反针组织)	2(1.5 cm)

水在面料中的传递过程基本上由润湿—吸湿—扩散—蒸发 4 个步骤组成,其中:①润湿过程是水分对纤维和面料表面的润湿。②吸湿过程即水分吸附于纤维、面料表面和内部的过程。由于棉纤维中含有大量的亲水基团,有助于润湿和吸湿,同时 cooldry 与 coolplus 纤维截面异型化,增大了水与纤维的接触比表面积,因此,其具有良好的吸湿效果。③扩散过程指面料中的水分由面料的内表面向外表面扩散的过程,其主要依靠纤维内部的孔洞、纤维表面的沟槽以及纤维之间的空隙所产生的毛细效应完成扩散。因竹纤维内部呈高度中空,毛细管效应极强,且 cooldry 与 coolplus 纤维表面又有细沟槽,因此有利于水气的传输。④蒸发过程即面料吸收的水分向外层空间蒸发从而实现面料的速干过程。通过在面料上进行挑孔设计可以增加衣下空气,加快空气对流速度,使水分快速蒸发。

依据表 1 中的面料设计方案,利用 Stoll 电脑横机织造了 9 块面料试样。文中实验设计的吸湿排汗针织面料后续将用于开发春秋季节外穿的贴体针

织上衣,所用电脑横机针距为 14 针,属于细针距电脑横机,且电脑横机可以通过收放针的方式编织与人体相适应的成型衣片,下机后不需要裁剪,只需简单缝合即可。对开发的针织面料进行基本参数测定,测量结果见表 2。

表 2 面料基本参数测量结果

Tab.2 Measurement results of basic parameters of fabrics

编号	密度		厚度/mm	面密度/(g/m <sup>2</sup> )
	横密/ (纵行/dm)	纵密/ (横行/dm)		
1 <sup>#</sup>	1.2	0.80	0.937	253.511
2 <sup>#</sup>	1.1	1.00	0.945	229.200
3 <sup>#</sup>	1.1	0.68	1.227	251.821
4 <sup>#</sup>	1.1	0.84	0.933	248.752
5 <sup>#</sup>	1.1	1.00	0.953	224.750
6 <sup>#</sup>	1.1	0.64	1.225	240.831
7 <sup>#</sup>	1.2	0.80	0.941	257.753
8 <sup>#</sup>	1.1	1.00	0.965	245.520
9 <sup>#</sup>	1.1	0.64	1.213	252.011

由表2可知,试样3<sup>#</sup>,6<sup>#</sup>,9<sup>#</sup>的厚度较厚,组织结构均为正反针,其余面料的厚度相差不大;在组织结构相同的条件下,cooldry与棉混纺织物的面密度最小,coolplus与棉混纺织物的面密度最大;在纱线原料相同的情况下,3×1浮线抽条组织织物的质量最轻。

### 1.3 热湿舒适性能测试

**1.3.1 面料回潮率测试** 参照 GB/T 9995—1997《纺织材料含水率和回潮率的测定 烘箱干燥法》标准<sup>[11]</sup>,将试样放在恒温恒湿箱 24 h 后第一次称重,记为  $M_1$ ,随后将试样放入烘箱进行烘干,30 min 后取出称重,记为  $M_2$ ,根据公式计算回潮率。

**1.3.2 面料透湿性测试** 参照 GB/T 12704.2—2009《纺织品织物透湿性试验方法第2部分:蒸发法》标准<sup>[12]</sup>,把盛有一定温度的蒸馏水并覆盖面料试样的透湿杯放置在恒温恒湿实验室内,根据一定时间内透湿杯质量变化计算出试样透湿率。

**1.3.3 面料芯吸性能测试** 参照 FZ/T 01071—2008《纺织品毛细效应试验方法》标准<sup>[13]</sup>,将试样垂直浸入毛细管效应测定仪的恒温水槽中,记录规定时间内液体在织物表面上升的高度。

**1.3.4 面料透气性测试** 参照 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》标准<sup>[14]</sup>,在规定的压差条件下,使用透气量仪测试一定时间内垂直通过试样给定面积的气流流量,从而计算出透气率。

**1.3.5 面料热传递性能测试** 参照 GB/T 11048—1989《纺织品保温性能试验方法》标准<sup>[15]</sup>,将试样覆盖在织物保温仪上,由微电脑测定出实验板在一定时间内保持温度恒定所需的加热时间,最终在显示屏上输出保温率、热阻和传热系数。

## 2 结果与讨论

### 2.1 面料回潮率性能

回潮率是指纺织材料中所含水分的重量占纺织材料干重的百分比<sup>[16]</sup>。回潮率是反映纺织材料吸湿能力的重要指标,回潮率越大,说明面料的吸湿性越好。织物回潮率测试结果如图1所示。由图1可知,试样1<sup>#</sup>,2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>的回潮率最好,这是由于竹纤维的横截面上充满了孔隙,纤维内部呈中空状态,可快速吸收和蒸发水分。另外,棉纤维中含有大量的亲水基团,能够吸附水分子,具有良好的吸湿性。因此,试样4<sup>#</sup>,5<sup>#</sup>,6<sup>#</sup>的回潮率大于试样7<sup>#</sup>,8<sup>#</sup>,9<sup>#</sup>的回潮率,说明织物回潮率主要与纱线原料有关。

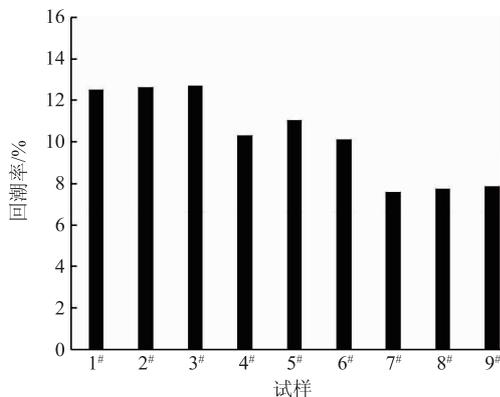


图1 织物回潮率

Fig. 1 Moisture regain of fabrics

### 2.2 面料透湿性能

织物透湿性的评价指标是透湿率,透湿率是指在试样恒温恒湿条件下,规定时间内垂直通过单位面积试样的水蒸气质量。面料的透湿性直接关系到面料排汗的能力<sup>[17]</sup>,文中实验采用蒸发法测试织物的透湿性,测试结果如图2所示。

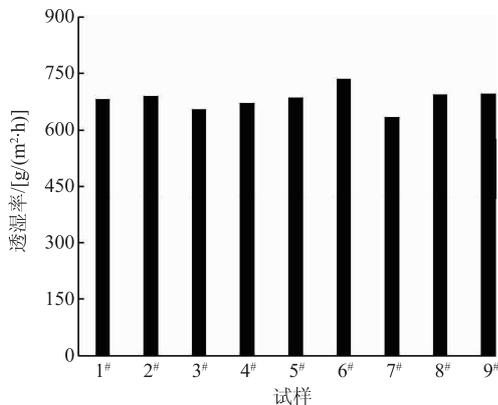


图2 织物透湿率

Fig. 2 Moisture permeability of fabrics

由图2可知,试样6<sup>#</sup>的透湿性最好,这是由于2×2正反针组织在编织过程中是前后床交替编织,并在织物表面形成凸起,组织结构较为松散;同时试样6<sup>#</sup>的挑孔间距为1 cm,单位面积内的挑孔数量较多,减少了水汽在织物间传递的阻力。试样8<sup>#</sup>的组织结构为3×1浮线抽条组织,织物透湿性也较好。试样7<sup>#</sup>的透湿性最差,纬平组织相对于3×1浮线抽条组织而言结构较紧密,且试样7<sup>#</sup>的挑孔间距为2 cm,单位面积内的挑孔数量较少,从而影响了织物的透湿性。经分析发现,对织物透湿率影响较大的是挑孔间距和组织结构。

### 2.3 面料芯吸性能

芯吸性能是指在纤维毛细管附加引力的作用下,织物中的水分沿着纤维毛细管移动的能力。文中实验通过测量织物浸水30 min后的芯吸高度表

征织物的芯吸能力,芯吸高度越高,表明织物的导湿性能越好。芯吸高度测试结果如图3所示。

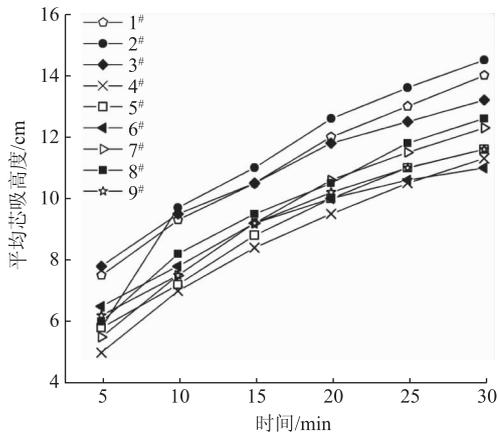


图3 织物芯吸高度随时间变化趋势

Fig. 3 Trend of fabric wicking height over time

由图3可知,试样1<sup>#</sup>,2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>的导湿性最好,其中试样2<sup>#</sup>在5~10 min内芯吸速率较快,10 min之后芯吸速率较平缓,30 min时芯吸高度最高;试样7<sup>#</sup>和8<sup>#</sup>的导湿性次之;试样4<sup>#</sup>,5<sup>#</sup>,6<sup>#</sup>和9<sup>#</sup>的导湿性较差,其中试样5<sup>#</sup>和9<sup>#</sup>在30 min时的芯吸高度相同;试样6<sup>#</sup>的导湿性最差。在纱线原料相同条件下,3×1浮线抽条组织织物的导湿性最好,纬平组织导湿性次之,2×2正反针组织导湿性最差,说明纱线原料和组织结构对织物芯吸性能影响较大。

## 2.4 面料透气性能

透气性是评价织物热湿舒适性的是一个重要指标<sup>[18]</sup>,文中实验用透气率来表示织物的透气性,透气率本质上即气体的流动速度<sup>[19]</sup>。实验测试结果如图4所示。

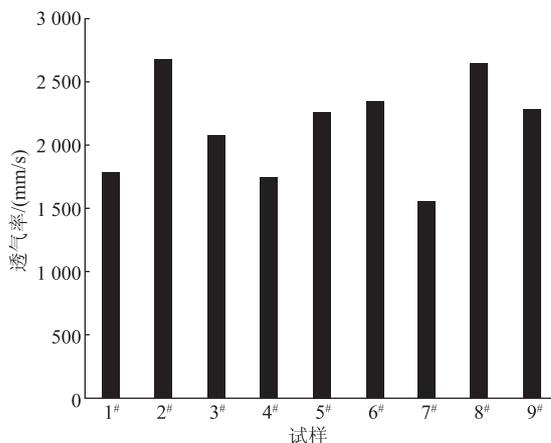


图4 织物透气率

Fig. 4 Air permeability of fabrics

由图4可知,试样2<sup>#</sup>和8<sup>#</sup>的透气性较好,3×1浮线抽条组织的结构较疏松,空气易从浮线位置通过织物。试样4<sup>#</sup>和7<sup>#</sup>的透气性较差,纬平组织结构紧密,增加了空气阻力,从而影响织物的透气性。

但由于试样4<sup>#</sup>的挑孔间距较小,单位面积内挑孔数量多,增加了空气的传输,所以试样4<sup>#</sup>的透气性优于试样7<sup>#</sup>,说明织物组织结构和挑孔间距对织物透气性能影响较大。

## 2.5 面料热传递性能

织物的热传递性能是指织物从高温方向向低温方向传热的性能。织物的热传递性能主要通过织物的保暖率、传热系数以及热阻来描述<sup>[20]</sup>。实验测试结果见表3。

表3 织物热传递性能

Tab. 3 Heat transfer performance of fabrics

编号	保温率/%	传热系数/ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	热阻/ [(m <sup>2</sup> ·K)/W]
1 <sup>#</sup>	13.73	55.38	18.60 × 10 <sup>-3</sup>
2 <sup>#</sup>	18.73	45.88	35.65 × 10 <sup>-3</sup>
3 <sup>#</sup>	12.77	60.11	17.05 × 10 <sup>-3</sup>
4 <sup>#</sup>	23.42	41.03	48.05 × 10 <sup>-3</sup>
5 <sup>#</sup>	22.91	41.62	46.50 × 10 <sup>-3</sup>
6 <sup>#</sup>	15.16	49.24	20.15 × 10 <sup>-3</sup>
7 <sup>#</sup>	27.52	38.92	58.90 × 10 <sup>-3</sup>
8 <sup>#</sup>	15.79	46.93	21.70 × 10 <sup>-3</sup>
9 <sup>#</sup>	14.44	52.14	18.60 × 10 <sup>-3</sup>

由表3可知,组织结构为2×2正反针的试样热传递性能较好,正反针组织结构的线圈在表面形成的凸起,减少了与保温板之间的接触面积,且正反针组织的弹性较大,正反两面形成孔隙,部分热量从透气孔散发出去。其中试样3<sup>#</sup>的热传递效果最好,说明织物热传递性能受纱线原料的影响。对比试样2<sup>#</sup>和8<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>和7<sup>#</sup>,发现挑孔间距对织物热传递性能也有一定影响。

## 2.6 面料热湿舒适性综合评价

根据上述实验测试结果可以看出,9块面料在各方面的性能优劣不同,很难根据面料的某一项指标做出整体热湿舒适性评价<sup>[21]</sup>。因此,文中引用灰色关联度分析法对面料热湿舒适性进行综合评价。

**2.6.1 灰色关联度模型的建立** 灰色关联分析实际上是一种态势分析,是比较其他数列与参考数列的接近程度<sup>[22]</sup>。灰色关联度模型建立过程如下:

建立数列:

设  $X_0 = \{x_0(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$  为参考序列;  
 $X_i = \{x_i(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) 为比较序列。

对数据进行初值化处理:

$$X'_i(k) = x_i(k)/x_0(k), \quad (1)$$

求绝对差值:

$$\Delta_i(k) = |X'_0(k) - X'_i(k)|, \quad (2)$$

求关联系数:

$$\xi_i(k) = (a + \rho A) / (\Delta_i(k) + \rho A), \quad (3)$$

式中:  $a = \min_i \min_k |X'_0(k) - X'_i(k)|$  为两级最小差;  $A = \max_i \max_k |X'_0(k) - X'_i(k)|$  为两级最大差;  $\rho$  为分辨系数,  $\rho \in (0, 1)$ , 分辨率系数应根据实际需要进行合理选择<sup>[23]</sup>, 文中取  $\rho = 0.5$ 。

求等权关联度:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k), \quad (4)$$

式中:  $n$  为测试指标总数。

求权重关联度:

$$r'_i = \sum_{k=1}^n \omega_k \xi_i(k). \quad (5)$$

式中:  $\omega_k$  为权重系数, 根据各指标所做的贡献不同考虑权重, 求出权重关联度。

**2.6.2 关联度求解与分析** 将针织物的热湿指标看作一个灰色系统, 确定参考数列  $X_0 = (12.71, 734.98, 14.5, 2671, 60.11)$ ; 参考序列一般是由所有指标的极值构成<sup>[24]</sup>。以9块面料热湿性能测试值构成的数列为比较数列, 记  $X_i = [x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(5)]$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ , 即  $x_i(1)$  为回潮率,  $x_i(2)$  为透湿率,  $x_i(3)$  为芯吸性高度,  $x_i(4)$  为透气率,  $x_i(5)$  为传热系数。各个指标的参数因量纲不同, 数值差异很大, 因而, 根据式(1)对数据进行初始化处理。处理后各数据见表4。

表4 初始化后各指标测试数据

Tab.4 Test data of each index after initial value

初始化试样编号	回潮率/%	透湿率/[g/(m <sup>2</sup> ·h)]	芯吸性高度/cm	透气率/(mm/s)	传热系数/[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
$X'_0$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
$X'_1$	0.982	0.928	0.966	0.665	0.921
$X'_2$	0.992	0.937	1.000	1.000	0.763
$X'_3$	1.000	0.889	0.910	0.776	1.000
$X'_4$	0.811	0.913	0.793	0.651	0.683
$X'_5$	0.869	0.933	0.800	0.846	0.692
$X'_6$	0.794	1.000	0.779	0.874	0.819
$X'_7$	0.598	0.861	0.848	0.580	0.647
$X'_8$	0.611	0.942	0.862	0.989	0.781
$X'_9$	0.617	0.947	0.800	0.854	0.867

结合表4数据, 利用式(2)可求出  $X'_0$  与  $X'_i$  各对应点的绝对差值  $\Delta_i(k)$ , 其中  $a = 0; A = 0.42$ 。利用式(3)求出关联系数  $\xi_i(k)$ ; 再由式(4)和式(5)计算等权关联度和加权关联度, 并分别进行排序, 具体见表5。根据面料的服用特点来设计权重系数<sup>[25]</sup>, 文中面料的吸湿性、透湿性和透气性占主导地位, 故权重系数  $\omega_k$  分别为: 0.25, 0.25, 0.15, 0.20, 0.15。

表5 等权关联度和加权关联度

Tab.5 Equal weight correlation degree and weighted correlation degree

编号	等权	等权关	加权	加权关
	关联度	联度秩位	关联度	联度秩位
1 <sup>#</sup>	0.728	3	0.726	3
2 <sup>#</sup>	0.840	1	0.857	1
3 <sup>#</sup>	0.768	2	0.735	2
4 <sup>#</sup>	0.502	8	0.517	8
5 <sup>#</sup>	0.574	6	0.586	7
6 <sup>#</sup>	0.631	5	0.653	5
7 <sup>#</sup>	0.446	9	0.470	9
8 <sup>#</sup>	0.636	4	0.663	4
9 <sup>#</sup>	0.573	7	0.590	6

由表5可知, 两种关联度秩位排序存在较小差

异, 竹棉织物的排序较靠前, 而含 cooldry 和 coolplus 纤维织物的排序相对靠后, 说明织物的热湿舒适性主要与纱线原料有关。试样 2<sup>#</sup>和 8<sup>#</sup>为浮线抽条组织, 试样 3<sup>#</sup>和 6<sup>#</sup>为 2×2 正反针组织, 这几种织物的热湿舒适性关联度排序靠前。试样 4<sup>#</sup>和 7<sup>#</sup>为纬平组织, 热湿舒适性排序靠后, 说明组织结构对织物的热湿舒适性也有明显影响。同时试样 1<sup>#</sup>也是纬平组织, 但是纱线原料为竹棉混纺纱线, 试样 1<sup>#</sup>的关联度排序靠前说明纱线原料对织物的热湿舒适性有一定的影响。对比试样 5<sup>#</sup>和 8<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>和 9<sup>#</sup>, 发现挑孔间距也会影响织物的热湿舒适性。面料的某些热湿性能比较突出, 也会使面料的整体热湿舒适性提高。如试样 2<sup>#</sup>在透气、芯吸方面占有优势, 试样 3<sup>#</sup>在吸湿、热传递方面较好, 所以这两者整体的热湿舒适的排位分别为 1 和 2; 试样 6<sup>#</sup>的透湿率较大, 其热湿舒适性也比较靠前。

### 3 结语

1) 通过测试面料的热湿性能, 发现纱线原料、组织结构和挑孔间距对织物的回潮率、透湿率、透气性、芯吸和热传递性能有不同程度的影响。其中

织物的回潮率主要与纱线原料有关,织物的透湿率和透气性能主要受到挑孔间距及组织结构的影响,织物芯吸性能主要受到纱线原料和组织结构的影响,挑孔间距对织物热传递性能也有一定的影响。

2)采用灰色关联度分析法对9块吸湿排汗针织面料的热湿舒适性能进行综合评价。实验结果表明,试样2#的热湿综合性能最佳,其次是试样1#和3#。

3)最优试样2#的组合形式为50/50竹棉混纺纱,3×1浮线抽条组织,挑孔间距1.5cm。因此,未来在设计夏季吸湿排汗功能服装时,可以考虑适当增加3×1浮线抽条组织的使用面积,在面料上增加挑孔间距为1.5cm的小孔,提高针织服装整体的热湿舒适性。

### 参考文献:

[1] 刘鹏,刘艳君,冯岚清. 吸湿排汗纤维在针织产品中的应用[J]. 现代纺织技术,2012,20(2):59-60.  
LIU Peng, LIU Yanjun, FENG Lanqing. Application of moisture wicking fiber in knitted products [J]. Modern Textile Technology, 2012, 20(2): 59-60. (in Chinese)

[2] 龙海如. 功能性针织运动面料产品开发[J]. 纺织导报, 2017(3):31-32,34.  
LONG Hairu. Development of functional knitted sportswear fabric [J]. China Textile Leader, 2017(3): 31-32, 34. (in Chinese)

[3] 彭福建,李煜炜,周昕妍,等. 织物热湿舒适性影响因素及评价方法[J]. 现代丝绸科学与技术,2019,34(3): 32-36.  
PENG Fujian, LI Yuwei, ZHOU Xinyan, et al. Affecting factors and evaluation methods of clothing heat-moisture comfort performances [J]. Modern Silk Science and Technology, 2019, 34(3): 32-36. (in Chinese)

[4] SUN C, AU J S C, FAN J T, et al. Novel ventilation design of combining spacer and mesh structure in sports T-shirt significantly improves thermal comfort [J]. Applied Ergonomics, 2015, 48: 138-147.

[5] 周建平,杨元. 竹原纤维织物风格测试与分析[J]. 纺织学报,2012,33(9):47-49.  
ZHOU Jianping, YANG Yuan. Testing and analysis of style of bamboo fiber fabrics [J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(9): 47-49. (in Chinese)

[6] 潘建君,万振江. Cooldry 纤维高导湿纬编针织面料开发[J]. 上海纺织科技,2005,33(5):45-46.  
PAN Jianjun, WAN Zhenjiang. The development and application of cooldry weft-knitted fabric of good wet permeability [J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2005, 33(5): 45-46. (in Chinese)

[7] 丛洪莲,李秀丽. 功能性针织面料的开发与应用[J]. 纺织导报,2010(9):24,26-28,30.  
CONG Honglian, LI Xiuli. R&D and application of functional knitted fabrics [J]. China Textile Leader, 2010(9): 24, 26-28, 30. (in Chinese)

[8] 薛爱武. 吸湿排汗功能性经编贾卡运动衣面料的开发[J]. 针织工业,2013(5):17-19.  
XUE Aiwu. Development of moisture absorption and sweat transferring functional jacquard warp knitted fabric for sportswear [J]. Knitting Industries, 2013(5): 17-19. (in Chinese)

[9] 孙岑文捷,倪军,张昭华,等. 针织运动服的通风设计与热湿舒适性评价[J]. 纺织学报,2020,41(11):122-127,135.  
SUN Cenwenjie, NI Jun, ZHANG Zhaohua, et al. Ventilation design and thermal-wet comfort evaluation of knitted sportswear [J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(11): 122-127, 135. (in Chinese)

[10] 程敬丽,郑敏,楼建晴. 常见的试验优化设计方法对比[J]. 实验室研究与探索,2012,31(7):7-11.  
CHENG Jingli, ZHENG Min, LOU Jianqing. Comparison of several common optimal experimental design methods [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2012, 31(7): 7-11. (in Chinese)

[11] 国家技术监督局. 纺织材料含水率和回潮率的测定 烘箱干燥法:GB/T 9995—1997[S]. 北京:中国标准出版社,1998.

[12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 纺织品 织物透湿性试验方法第2部分:蒸发法:GB/T 12704.2—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[13] 全国纺织品标准化技术委员会. 纺织品毛细效应试验方法:FZ/T 01071—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[14] 国家技术监督局. 纺织品 织物透气性的测定:GB/T 5453—1997[S]. 北京:中国标准出版社,1997.

[15] 国家技术监督局. 纺织品保温性能试验方法:GB/T 11048—1989[S]. 北京:中国标准出版社,1990.

[16] 姚穆. 纺织材料学[M]. 3版. 北京:中国纺织出版社,2009.

[17] 杨旭. 浅析针织服装舒适性的影响因素[J]. 轻纺工业与技术,2020,49(3):61-62.  
YANG Xu. Analysis on the influencing factors of the comfort of knitted garments [J]. Light and Textile Industry and Technology, 2020, 49(3): 61-62. (in Chinese)

[18] 颜奥林. 纺织品热湿舒适性测试及综合评价[D]. 无锡:江南大学,2020.

[19] 钱银南. 基于热湿舒适性的经编成形服装分区设计[D]. 无锡:江南大学,2013.