

# 运动服用针织面料热湿舒适性能评价

姚芳芹<sup>1</sup>, 方丽英<sup>\*2</sup>

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州, 310018; 2. 浙江理工大学 国际教育学院, 浙江 杭州 310018)

**摘 要:**选取 20 种运动服用针织面料, 测试其基本结构参数和热湿舒适性能指标, 并运用灰色聚类分析法和主成分分析法探究影响面料热湿舒适性能的主要因素, 建立综合评价模型, 得到因子权重和综合比较排序。研究表明: 厚度、面密度、总密度对面料的热湿舒适性能有显著影响; 测试得到的 10 个物理指标可归纳为 3 个主成分, 即湿传递、热传递和通透性。其中, 芯吸高度、透湿量、透气率在高温条件下对面料热湿舒适性能影响更大。该结论可为企业设计和消费者选购运动服用产品提供理论依据。

**关键词:** 运动服用面料; 针织; 热湿舒适性能; 灰色聚类; 主成分分析

**中图分类号:** TS 941.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2022)02-0101-07

## Evaluation of Thermal and Heat-Moisture Comfort Performance of Knit Sportswear Fabric

YAO Fangqin<sup>1</sup>, FANG Liying<sup>\*2</sup>

(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. School of International Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In order to provide a selection basis of knit sportswear fabrics, 20 kinds of sportswear fabrics were selected, the basic structural parameters and the main indicators of thermal and moisture comfort performance were tested, and the gray cluster analysis method and principal component analysis method were used to explore the affecting factors. A comprehensive evaluation formula was established to obtain factor weights and comparison rankings. The research results show that, thickness, areal density, and total fabric density have significant effects on the thermal and moisture comfort. The 10 physical indicators can be summarized into 3 main components, namely: moisture transfer, heat transfer and permeability. Among them, wicking height, moisture permeability and air permeability have a greater impact on the thermal and moisture comfort under high temperature conditions. Discussing the pros and cons of thermal and wet comfort of fabrics can provide a theoretical basis for design and consumers to purchase sportswear products.

**Key words:** sportswear fabric, knitting, heat-moisture comfort, grey clustering, principal components analysis

人体出汗后, 汗液会以汽态(潜汗)和液态(显汗)两种形式排出<sup>[1]</sup>。当人体在静止或是少量运动的情形下, 汗液仅以汽态形式排出体外。当运动量较大或处于炎热环境下, 皮肤表面出现液态汗水, 为避免人体出现不舒适的黏体感和湿冷感, 服装面料应具备良好的吸附、转移和散发汗液的能力<sup>[2]</sup>。随着生活水平的不断提高, 消费者对运动服用面料

的吸湿、透气、排汗等功能性需求也在提升。

为了提高运动面料的热湿舒适性能, 鲍正壮等<sup>[3]</sup>测试了 13 种纬平弹力针织物的性能指标, 运用改进灰色关联度法分析织物吸湿速干性能, 并对吸湿性、速干性较差的织物提出改进方法; 汪世奎等<sup>[4]</sup>根据人体运动时各部位对热湿舒适性能的不同需求, 在不同部位配置适合人体热湿和拉伸需求

收稿日期: 2021-05-09; 修订日期: 2021-10-28。

作者简介: 姚芳芹(1995—), 女, 硕士研究生。

\* 通信作者: 方丽英(1969—), 女, 副教授, 硕士生导师。主要研究方向为服装企业管理与营销。

Email: 13735819288@139.com

的新型面料,取得一定的效果。目前对面料的热湿舒适性能研究主要侧重于纤维材料的改性<sup>[5]</sup>、织物加工工艺优化<sup>[6-7]</sup>以及对其吸湿性、导湿性等单项指标的研究<sup>[8]</sup>,而根据各项指标在热湿舒适性能中的权重对面料进行综合评价的较少,尤其是针对运动服用面料的研究相对空缺;另外不同季节环境下,影响面料热湿舒适性能因素权重的大小会有差异<sup>[9]</sup>。因此,有必要在特定环境下(如高温)对运动针织面料进行综合分析。

目前,关于织物性能的综合评价方法主要有模糊综合评价、灰色近优模型和灰色关联度分析,但这3种方法在运用中有一定的局限性。模糊综合评判适合评价因素多的对象系统,但评价过程中隶属度、权重的确定都带有较强的主观性<sup>[10]</sup>;灰色近优模型适用于影响因子多且难以确定权重的情形,但无法深入探究各指标对综合性能的影响程度;灰色关联度分析计算过程简便,结果直观,但计算关联度时客观性不足<sup>[11]</sup>;而灰色聚类 and 主成分分析法

将定性分析和定量分析相结合,既可以排除主观因素的影响,对已有的聚类结果进行交叉验证,又可以探讨各因素对面料热湿舒适性能的影响程度。

基于此,文中选取20种运动服用针织面料为研究对象,测试其热湿舒适性能指标,并通过灰色聚类 and 主成分分析法探讨影响面料热湿舒适性能的因素,获得性能优劣的比较排序,以期为开发和设计运动服用产品提供理论依据,并为消费者选购产品提供一定参考。

# 1 材料与方法

## 1.1 原料与仪器

**1.1.1 原料** 选取10种宁波申洲针织有限公司研发的新型运动面料(1<sup>#</sup>,4<sup>#</sup>,6<sup>#</sup>,7<sup>#</sup>,9<sup>#</sup>,11<sup>#</sup>,13<sup>#</sup>,14<sup>#</sup>,18<sup>#</sup>,19<sup>#</sup>)和10种市场上常见的运动服用针织面料(2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>,5<sup>#</sup>,8<sup>#</sup>,10<sup>#</sup>,12<sup>#</sup>,15<sup>#</sup>,16<sup>#</sup>,17<sup>#</sup>,20<sup>#</sup>),具体规格见表1。

表 1 面料规格参数  
Tab.1 Specifications of fabrics

编 号	原 料	横密/ (根/cm)	纵密/ (根/cm)	总密度/ (圈/cm <sup>2</sup> )	面密度/ (g/m <sup>2</sup> )	厚度/mm	组织结构
1 <sup>#</sup>	棉	24	9	216	218	0.65	双罗纹
2 <sup>#</sup>	$m(\text{天丝}):m(\text{棉})=60:40$ $m(\text{莫代尔}):m(\text{尼龙}):m(\text{棉}):m(\text{氨纶})=$ 38:37:18:7	23	11	253	184	0.48	双罗纹
3 <sup>#</sup>		16	11	176	319	0.63	双罗纹
4 <sup>#</sup>		13	5	65	349	1.39	纬平
5 <sup>#</sup>	$m(\text{棉}):m(\text{涤纶})=74:26$	22	8	176	161	0.40	纬平
6 <sup>#</sup>	$m(\text{丙纶}):m(\text{黏胶})=60:40$	26	9	234	149	0.39	纬平
7 <sup>#</sup>	$m(\text{尼龙}):m(\text{氨纶})=88:12$	30	12	360	160	0.33	双罗纹
8 <sup>#</sup>	$m(\text{尼龙}):m(\text{氨纶})=85:15$	29	12	348	178	0.38	单面提花
9 <sup>#</sup>	$m(\text{尼龙}):m(\text{氨纶})=80:20$	40	12	480	90	0.27	纬平
10 <sup>#</sup>	$m(\text{尼龙}):m(\text{氨纶})=77:23$	30	14	420	220	0.64	双罗纹
11 <sup>#</sup>	$m(\text{涤纶}):m(\text{黏胶})=65:35$	19	7	133	179	0.45	纬平
12 <sup>#</sup>	涤纶	21	10	210	140	0.37	双罗纹
13 <sup>#</sup>	涤纶	18	9	162	163	0.60	珠地网眼
14 <sup>#</sup>	涤纶	21	9	189	174	0.57	蜂巢组织
15 <sup>#</sup>	涤纶	17	8	136	167	0.46	单面提花
16 <sup>#</sup>	COOLDRY	21	10	210	149	0.54	蜂巢组织
17 <sup>#</sup>	TOPCOOL	22	8	176	175	0.57	珠地网眼
18 <sup>#</sup>	COOLPASS	23	8	184	152	0.56	蜂巢组织
19 <sup>#</sup>	COOLMAX	19	9	171	138	0.59	珠地网眼
20 <sup>#</sup>	$m(\text{COOLMAX}):m(\text{COOLPASS})=50:50$	17	9	153	126	0.54	珠地网眼

注:1<sup>#</sup>,5<sup>#</sup>,6<sup>#</sup>,7<sup>#</sup>,10<sup>#</sup>,11<sup>#</sup>,12<sup>#</sup>,13<sup>#</sup>,14<sup>#</sup>,15<sup>#</sup>为经过吸湿速干整理的面料。

**1.1.2 仪器** YG606D 型平板式保温仪,宁波纺织仪器厂制造;KES-F7 接触冷暖感测试仪,日本加多技术有限公司制造;FX3300 型透气性测试仪,瑞士

Textest 公司制造;YG747 型通风式烘箱,常州中纤检测仪器设备有限公司制造;PW-5P-AT2 自动吸水速度试验机,日本株式会社大荣科学精器制作所

制造;YG(B)216-II 型织物透湿量仪,温州大荣纺织仪器有限公司制造。

1.2 热湿舒适性能测试

被测试样均在标准环境[温度(25±2)℃,相对湿度(65±3)%]的恒温恒湿室内静置 24 h。

1.2.1 面料保温性能测试 参照 GB 1048—1989《纺织品保温性能试验方法》<sup>[12]</sup>,采用平板式保温仪测试,每种面料取 3 个试样,计算其保温率、传热系数,取平均值。

1.2.2 面料接触凉感性能测试 根据 GB/T 35263—2017《纺织品接触瞬间凉感性能的检测和评价》<sup>[13]</sup>方法,采用接触冷暖感测试仪测试试样热流量,在试样的反面任选 5 个位置测试,取其平均值,计算接触凉感系数。

1.2.3 面料透气性测试 参照 GB/T 5453—1997《纺织品织物透气性的测定》<sup>[14]</sup>,采用透气性测试仪测试试样的透气率。同一试样不同部位重复测

定 10 次,取平均值。

1.2.4 面料回潮率测试 根据 GB/T 9995—1997《纺织材料含水率和回潮率的测定 烘箱干燥法》<sup>[15]</sup>,采用通风式烘箱烘干试样,测试试样的回潮率。

1.2.5 面料导湿性测试 参照 FZ/T 01071—2008《纺织品毛细效应试验方法》<sup>[16]</sup>,采用自动吸水速度试验机测试试样的液体芯吸高度。每种面料取 3 个试样,经(纬)向液体芯吸高度取其平均值。

1.2.6 面料透湿性测试 参照 GB/T 12704—1991《织物透湿量测定方法 透湿杯法》<sup>[17]</sup>,采用织物透湿量仪测试试样的透湿量,每种面料取 3 个试样,取其平均值。

2 热湿舒适性能综合评价

面料热湿舒适性能测试结果见表 2。

表 2 面料热湿舒适性能测试结果

Tab.2 Testing results of fabrics heat-moisture comfort performances

编 号	保温率/%	传热系数/ (W/m <sup>2</sup> ·℃)	接触凉感系数/ (W/cm <sup>2</sup> )	透气率/ (mm/s)	回潮率/%	芯吸高度/mm		透湿量/ (g/m <sup>2</sup> ·h)
						经向	纬向	
1 <sup>#</sup>	19.38	34.69	0.130	342	5.16	159.6	142.9	561.394
2 <sup>#</sup>	12.50	57.62	0.133	540	7.00	22.6	22.6	550.602
3 <sup>#</sup>	12.81	56.47	0.147	87	5.06	81.8	90.5	456.476
4 <sup>#</sup>	29.24	19.91	0.117	272	3.45	78.7	89.8	467.091
5 <sup>#</sup>	12.41	58.09	0.143	585	3.75	144.2	114.6	534.678
6 <sup>#</sup>	9.83	75.51	0.152	656	4.35	119.7	109.9	599.788
7 <sup>#</sup>	11.49	63.40	0.181	79	1.90	143.2	155.3	561.217
8 <sup>#</sup>	6.23	123.90	0.210	650	1.85	87.5	106.4	640.481
9 <sup>#</sup>	7.95	95.30	0.172	608	1.88	18.4	17.4	527.601
10 <sup>#</sup>	17.32	38.21	0.116	85	1.98	151.1	143.3	541.401
11 <sup>#</sup>	18.02	37.43	0.114	839	2.94	149.2	135.2	674.452
12 <sup>#</sup>	11.44	63.90	0.128	901	0.19	169.4	131.9	665.782
13 <sup>#</sup>	16.73	40.95	0.096	1383	0.10	148.7	145.6	593.418
14 <sup>#</sup>	16.32	41.07	0.106	1523	0.27	195.0	174.2	703.468
15 <sup>#</sup>	13.15	53.69	0.122	1833	0.39	181.6	148.2	726.822
16 <sup>#</sup>	17.97	37.12	0.100	1190	0.41	164.9	158.9	541.401
17 <sup>#</sup>	15.99	42.70	0.099	936	0.33	204.2	197.8	652.512
18 <sup>#</sup>	16.14	41.60	0.098	1340	0.23	210.1	197.7	734.607
19 <sup>#</sup>	17.36	38.14	0.084	971	0.14	208.0	194.6	709.483
20 <sup>#</sup>	15.38	44.28	0.085	1280	0.24	224.6	197.2	645.081

2.1 灰色聚类分析

灰色聚类分析是一种以“少数数据”“贫信息”的不确定系统为研究对象,适合小样本分析且计算简便的分析方法,可将热湿舒适性能从好到差分为 3 个或 3 个以上的灰类<sup>[18-19]</sup>。文中采用灰色聚类分析法对 20 种面料进行热湿舒适性能分类,将 1<sup>#</sup>~20<sup>#</sup>面料记为聚类对象,保温率  $N_1$ 、传热系数  $N_2$ 、接

触凉感系数  $N_3$ 、透气率  $N_4$ 、回潮率  $N_5$ 、经向芯吸高度  $N_6$ 、纬向芯吸高度  $N_7$ 、透湿量  $N_8$  记为聚类指标,将面料的热湿舒适性能分为好、中、差 3 档,记为  $k_1, k_2, k_3$ ,即聚类灰数为  $s=3$ 。

1)在灰色聚类分析中,所有因素都应以正比关系计入,因此热湿舒适性能指标保温率以倒数的形式计入。

所有数据进行均值化无量纲处理,具体公式为

$$x_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}} \quad (1)$$

式中: $i$  为聚类对象编号; $j$  为聚类指标编号; $d_{ij}$  为面料所测指标值; $x_{ij}$  为均值化处理后的值。

2) 定义聚类指标  $j$  对  $s$  个灰类 ( $s = k_1, k_2, k_3$ ) 的区间<sup>[11]</sup>, 具体灰数白化区间见表 3。

表 3 灰数白化区间

Tab. 3 Interval of whitening of grey number

聚类指标	$k_1$ (好)	$k_2$ (中)	$k_3$ (差)
$N_1$	[1.282, 2.144]	[0.718, 1.282]	[0.453, 0.718]
$N_2$	[1.326, 2.329]	[0.674, 1.326]	[0.374, 0.674]
$N_3$	[1.166, 1.658]	[0.834, 1.166]	[0.663, 0.834]
$N_4$	[1.363, 2.277]	[0.637, 1.363]	[0.098, 0.637]
$N_5$	[1.553, 3.364]	[0.447, 1.553]	[0.048, 0.447]
$N_6$	[1.240, 1.569]	[0.760, 1.240]	[0.129, 0.760]
$N_7$	[1.225, 1.479]	[0.775, 1.225]	[0.130, 0.775]
$N_8$	[1.077, 1.215]	[0.923, 1.077]	[0.755, 0.923]

3) 定义聚类指标  $j$  不同灰类的白化权函数。

4) 根据白化权函数, 确定  $j$  指标  $k$  子类临界值  $\lambda_j^k$ , 推算聚类权值

$$\eta_j^k = \frac{\lambda_j^k}{\sum_{j=1}^5 \lambda_j^k} \quad (2)$$

5) 根据白化权数和权值, 计算  $i$  对象属于  $k$  灰类的灰色聚类系数

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^5 f_j^k(x_{ij}) g \eta_j^k \quad (3)$$

以确定研究对象处于好、中、差类别的概率。 $\sigma_i^k$  值越大, 对象处于某个级别的概率就越大。

由计算得出的灰色聚类权系数构造聚类系数矩阵

$$\sigma_i^k = \begin{bmatrix} 0.382 & 0.434 & 0.299 \\ 0.301 & 0.185 & 0.660 \\ 0.295 & 0.129 & 0.775 \\ 0.136 & 0.225 & 0.784 \\ 0.169 & 0.605 & 0.373 \\ 0.225 & 0.657 & 0.183 \\ 0.076 & 0.597 & 0.326 \\ 0.058 & 0.610 & 0.270 \\ 0 & 0.339 & 0.737 \\ 0.057 & 0.590 & 0.394 \\ 0.231 & 0.747 & 0 \\ 0.208 & 0.536 & 0.111 \\ 0.253 & 0.533 & 0.146 \\ 0.658 & 0.049 & 0.106 \\ 0.527 & 0.206 & 0.106 \\ 0.283 & 0.372 & 0.337 \\ 0.458 & 0.251 & 0.106 \\ 0.657 & 0.038 & 0.106 \\ 0.533 & 0.150 & 0.16 \\ 0.561 & 0.164 & 0.106 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

矩阵中每一列的最大值决定面料热湿舒适性能评价所属的灰类。

由式(4)可以看出, 热湿舒适性能评价处于“好”档的面料有 14<sup>#</sup>, 15<sup>#</sup>, 17<sup>#</sup>, 18<sup>#</sup>, 19<sup>#</sup>, 20<sup>#</sup>; 处于“中”档的面料有 1<sup>#</sup>, 5<sup>#</sup>, 6<sup>#</sup>, 7<sup>#</sup>, 8<sup>#</sup>, 10<sup>#</sup>, 11<sup>#</sup>, 12<sup>#</sup>, 13<sup>#</sup>, 16<sup>#</sup>; 处于“差”档的面料有 2<sup>#</sup>, 3<sup>#</sup>, 4<sup>#</sup>, 9<sup>#</sup>。分析聚类结果可知, 热湿舒适性能处于“好”档的面料主体是吸湿排汗纤维面料, 在 16<sup>#</sup> ~ 20<sup>#</sup> 吸湿排汗纤维面料中, 17<sup>#</sup>, 18<sup>#</sup>, 19<sup>#</sup>, 20<sup>#</sup> 的热湿舒适性能好, 而 16<sup>#</sup> 热湿舒适性能相对较差, 这是由于 16<sup>#</sup> 面料的总密度最大(210 圈/cm<sup>2</sup>), 厚度也较大(0.54 mm), 这些因素影响了面料的热传递性能, 从而导致热湿舒适性能的下降。热湿舒适性能处于“差”档的面料主体是棉混纺面料, 其中 2<sup>#</sup>, 3<sup>#</sup>, 4<sup>#</sup> 面料的厚度、面密度都很大。由此可以看出, 厚度、面密度、总密度等结构参数, 对面料的热湿舒适性能影响较大。

2.2 主成分分析

灰色聚类分析只是简单的聚类, 不能定量分析, 且织物的性能在各指标下的表征各不相同, 很难根据织物的某一项指标作出整体热湿舒适性能综合评价, 因此需要通过主成分分析法对织物进行综合评价, 获得影响因素的因子权重和各面料热湿舒适性能的优劣排序<sup>[18]</sup>。

2.2.1 主要影响因素分析 由灰色聚类分析得知, 面料的结构参数对热湿舒适性能的影响较大, 因此文中将面料厚度、面密度、总密度与传热系数、接触凉感系数、透气率等热湿舒适性能参数共同作为指标进行主成分分析。经 KMO 样本测度检验, 得到 KMO 值为 0.730, 大于 0.5, 说明样本数据适合作因子分析。在 SPSS 软件中利用主成分分析法提取因子, 可得方差贡献率、累计方差贡献率、特征值和旋转后的成分矩阵, 并通过计算得到特征向量, 结果见表 4 ~ 表 6。

表 4 总方差解释

Tab. 4 Total variance interpretation

主成分编号	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
$Z_1$	4.671	46.708	46.708
$Z_2$	2.997	29.965	76.673
$Z_3$	0.772	7.724	84.397
$Z_4$	0.580	5.796	90.193
$Z_5$	0.502	5.022	95.216
$Z_6$	0.224	2.242	97.457
$Z_7$	0.104	1.041	98.498
$Z_8$	0.073	0.734	99.232
$Z_9$	0.059	0.594	99.826
$Z_{10}$	0.017	0.174	100.000

表 5 旋转后的成分矩阵

Tab.5 Components after orthogonal rotated			
指 标	成 分		
	1	2	3
纬向芯吸高度	0.924	-0.181	0.189
经向芯吸高度	0.903	-0.165	0.300
回潮率	-0.742	-0.164	-0.374
厚度	-0.051	-0.878	-0.219
传热系数	-0.419	0.815	0.019
总密度	-0.087	0.770	-0.503
面密度	-0.326	-0.723	-0.443
接触凉感系数	-0.551	0.608	-0.352
透气率	0.352	-0.008	0.893
透湿量	0.523	0.200	0.703

表 6 特征向量

Tab.6 Eigenvectors			
指 标	成 分		
	1	2	3
经向芯吸高度( $X_1$ )	0.426	0.015	0.328
纬向芯吸高度( $X_2$ )	0.407	-0.010	0.438
接触凉感系数( $X_3$ )	-0.364	0.242	0.042
透气率( $X_4$ )	0.361	0.164	-0.549
透湿量( $X_5$ )	0.349	0.258	-0.224
回潮率( $X_6$ )	-0.348	-0.198	-0.212
厚度( $X_7$ )	0.029	-0.522	-0.003
面密度( $X_8$ )	-0.148	-0.491	0.034
传热系数( $X_9$ )	-0.245	0.425	-0.157
总密度( $X_{10}$ )	-0.254	0.336	0.527

由表 4 总方差解释表可知,主成分  $Z_1, Z_2, Z_3$  的方差贡献率分别为 46.708%, 29.965%, 7.724%, 其累积方差贡献率达到 84.397%,故提取 3 个主成分。由表 5 可以看出,10 个物理指标可以归纳为 3 个主成分:主成分 1 为湿传递因子,包括纬向芯吸高度、经向芯吸高度、回潮率;主成分 2 为热传递因子,包括厚度、传热系数、总密度、面密度、接触凉感系数;主成分 3 为通透性因子,包括透气率、透湿量。其中,湿传递因子对热湿舒适性能影响最大,其次是热传递因子和通透性因子。根据表 6 特征向量写出主成分表达式:

$$Z_1 = 0.426X_1 + 0.407X_2 - 0.364X_3 + 0.361X_4 + 0.349X_5 - 0.348X_6 + 0.029X_7 - 0.148X_8 - 0.245X_9 - 0.254X_{10} \quad ;$$
$$Z_2 = 0.015X_1 - 0.010X_2 + 0.242X_3 + 0.164X_4 + 0.258X_5 - 0.198X_6 - 0.522X_7 - 0.491X_8 + 0.452X_9 + 0.336X_{10} \quad ;$$
$$Z_3 = 0.328X_1 + 0.438X_2 + 0.042X_3 - 0.549X_4 - 0.224X_5 - 0.212X_6 - 0.003X_7 + 0.034X_8 -$$

$$0.157X_9 + 0.527X_{10} \quad .$$

由主成分  $Z_1, Z_2, Z_3$  按照方差贡献率的比例可以推得

$$Z = \frac{46.708\%}{84.397\%}Z_1 + \frac{29.965\%}{84.397\%}Z_2 + \frac{7.724\%}{84.397\%}Z_3 \quad .$$

对指标系数进行归一化处理得到指标权重,具体见表 7。

表 7 指标权重

Tab.7 Index weight	
指 标	权 重
经向芯吸高度	0.178
纬向芯吸高度	0.175
接触凉感系数	0.059
透气率	0.158
透湿量	0.175
回潮率	0.006
厚度	0.041
面密度	0.015
传热系数	0.094
总密度	0.102

由表 7 可以看出,影响面料热湿舒适性能的因子权重从大到小依次为:经向芯吸高度 > 透湿量 = 纬向芯吸高度 > 透气率 > 总密度 > 传热系数 > 接触凉感系数 > 厚度 > 面密度 > 回潮率。

2.2.2 面料综合比较排序 根据评价公式得到面料热湿舒适性能分值,综合分值如图 1 所示,面料热传递与湿传递分值如图 2 所示。

由图 1 可以得到面料热湿舒适性能的得分排序: $18^\# > 20^\# > 19^\# > 15^\# > 14^\# > 17^\# > 12^\# > 13^\# > 16^\# > 11^\# > 7^\# > 8^\# > 6^\# > 5^\# > 10^\# > 1^\# > 9^\# > 2^\# > 3^\# > 4^\#$ 。结果与灰色聚类分析相一致,由此验证了该主成分评价模型的有效性。

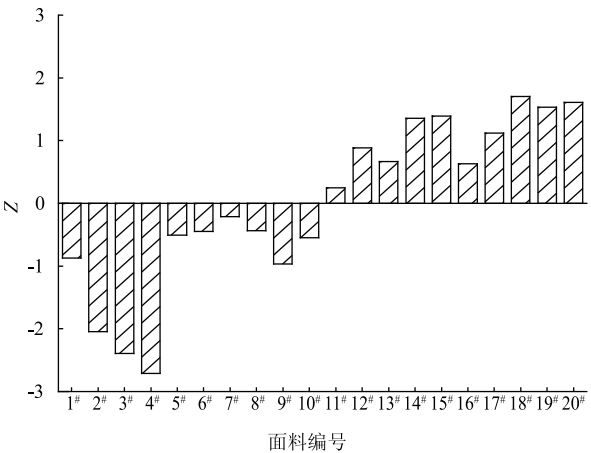


图 1 面料热湿舒适性能综合得分  
Fig.1 Score of thermal wet comfort of the fabric

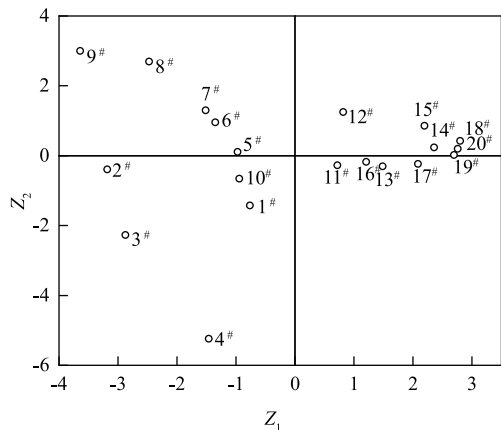


图 2 20 种面料的主成分得分

Fig. 2 Principal component score chart of 20 fabrics

由图 1 可以看出,吸湿排汗纤维面料(16#~20#)的热湿舒适性能得分最高,涤纶面料(11#~15#)其次,棉混纺面料(1#~5#)最差,可见原料对热湿舒适性能影响较大。为了排除厚度、面密度、总密度的影响,选取以下结构参数相近的面料进行比较分析,其热湿舒适性能得分排序为:2# < 5# < 8# < 11# < 15# < 18#,说明纤维原料为吸湿排汗纤维的面料热湿舒适性能最好。究其原因,这两类纤维材料为异形截面涤纶纤维,具有高表面积和沟槽,可以利用沟槽的毛细作用有效传输水汽,导湿、透湿、透气能力都非常好。纤维原料为棉混纺的面料热湿舒适性能较差,这是由于棉混纺面料回潮率较高,具有很好的吸湿能力,但导湿能力较差。

结合图 2,将 20 款面料按照湿传递、热传递能力的大小进一步分类,分析结果如下:

1) 14#, 15#, 18#, 19# 和 20# 为纯涤纶网眼面料和吸湿排汗纤维面料,组织结构均为网眼组织,湿传递能力非常强,热传递能力较强,能有效地将人体大量运动后产生的热量和湿气传递到面料的外表面,保持皮肤表面和面料的干爽,适用于炎热环境或是剧烈运动后容易大量出汗的场合,可用来制作吸湿速干服装。其中,18#, 19#, 20# 吸湿排汗纤维面料表现更为优异,是吸湿速干运动服的首选材料。

2) 11#, 12#, 13#, 16# 和 17# 为涤纶面料和吸湿排汗纤维面料,热量和湿度传递能力都较强,能保持衣内良好的换气和干爽,适合制作普通运动服。其中,11#, 13#, 16#, 17# 的热传递性能较为接近,得分在 0 左右,而 12# 的热传递性能得分接近 1,明显优于其他涤纶面料,且它的厚度、面密度在该类别中都是最小的。因此,可以通过降低面料厚度、面密度的方式提高其热舒适性能。

3) 1#, 5#, 6#, 7# 和 10# 为棉、棉混纺、丙纶/黏胶混纺和锦纶/氨纶混纺面料,湿传递能力一般,热传

递能力较好或一般,适用于制作运动休闲服。

4) 8# 和 9# 为锦纶/氨纶混纺面料,湿传递能力较差,但热传递能力非常强,表面光滑凉爽,传热系数与接触凉感系数都较高,且面料弹性较好,适用于夏季室内健身且出汗量较小的场合,如用于制作瑜伽服。

5) 2#, 3# 和 4# 为未经过吸湿速干整理的棉混纺面料,热传递和湿传递能力都较差。棉混纺面料的亲肤性、吸湿性较好,但导湿、透湿性能不佳,容易使人体产生的汗液吸附在衣物上,难以及时排出,从而产生黏体感和湿冷感,影响服装穿着的舒适性,因此 2# 和 3# 面料应当避免选用。

### 3 结 语

1) 采用灰色聚类方法对运动服用针织面料的热湿舒适性能进行分类,结果表明:厚度、面密度以及总密度对面料热湿舒适性能有显著影响。

2) 将面料结构参数与热湿舒适性能指标结合进行主成分分析,10 个物理指标可归纳为 3 个主成分,分别为:湿传递、热传递、通透性。其中,经向芯吸高度、透湿量、纬向芯吸高度、透气率对面料热湿舒适性能影响更大。

3) 通过对 20 种运动针织面料的热湿舒适性能分析,将面料按照不同场合对热湿性能的需求进行分类,可为企业设计和开发服装以及消费者选购产品提供一定参考。

### 参考文献:

- [1] 龙海如. 纬编针织运动面料的开发与应用[J]. 针织工业, 2017(10): 12-14.  
LONG Hairu. Development and application of weft knitted sports fabrics[J]. Knitting Industries, 2017(10): 12-14. (in Chinese)
- [2] SENTHILKUMAR M, SAMPATH M B, RAMACHANDRAN T. Moisture management in an active sportswear: techniques and evaluation—a review article [J]. Journal of the Institution of Engineers (India): Series E, 2012, 93(2): 61-68.
- [3] 鲍正壮, 周捷, 鲁丹丹, 等. 基于改进灰色关联度的弹力针织物吸湿速干性评价[J]. 西安工程大学学报, 2020, 34(1): 1-7.  
BAO Zhengzhuang, ZHOU Jie, LU Dandan, et al. Evaluation of moisture absorption and quick drying of elastic knitted fabric based on improved grey correlation degree[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2020, 34(1): 1-7. (in Chinese)
- [4] 汪世奎, 谢红, 胡冰, 等. 基于人体工效学的高尔夫服

- 热湿舒适性研究[J]. 上海纺织科技, 2014, 42(11): 11-14.
- WANG Shikui, XIE Hong, HU Bing, et al. Study on the thermal-wet comfort of golf apparel based on ergonomics [J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2014, 42(11): 11-14. (in Chinese)
- [5] 邵灵达, 申晓, 金肖克, 等. 涤纶纤维表面复合改性对其亲水性的影响[J]. 丝绸, 2020, 57(2): 19-24.
- SHAO Lingda, SHEN Xiao, JIN Xiaoke, et al. Effect of surface modification of polyester fiber on its properties [J]. Journal of Silk, 2020, 57(2): 19-24. (in Chinese)
- [6] YANG Y, CHEN L Q, NAVEED T, et al. Influence of fabric structure and finishing pattern on the thermal and moisture management properties of unidirectional water transport knitted polyester fabrics [J]. Textile Research Journal, 2019, 89(10): 1983-1996.
- [7] 郑晓晴, 沈兰萍. 织物组织结构对织物热湿舒适性能的影响[J]. 合成纤维, 2018, 47(11): 35-37.
- ZHENG Xiaoqing, SHEN Lanping. Effect of weave structure on thermal and moisture comfort of fabrics [J]. Synthetic Fiber in China, 2018, 47(11): 35-37. (in Chinese)
- [8] 万殊姝, 沈兰萍, 王艳庚. 麻赛尔功能织物紧度对吸湿导湿性能的影响研究[J]. 现代纺织技术, 2021, 29(4): 57-62.
- WAN Shushu, SHEN Lanping, WANG Yangeng. Research on the influence of tightness of jute-cell functional fabric on moisture absorption and conduction [J]. Advanced Textile Technology, 2021, 29(4): 57-62. (in Chinese)
- [9] 陈香云, 吴薇. 不同季节服用织物热湿舒适性能评价体系[J]. 现代纺织技术, 2012, 20(1): 46-48.
- CHEN Xiangyun, WU Wei. Appraisal system of hot-wet comfortable properties for garment fabric in different seasons [J]. Advanced Textile Technology, 2012, 20(1): 46-48. (in Chinese)
- [10] 马顺彬. 芦荟改性黏胶纤维织物热湿舒适性的模糊综合评判[J]. 现代纺织技术, 2019, 27(4): 44-47, 70.
- MA Shunbin. Fuzzy comprehensive evaluation on thermal-moisture comfort of aloe-modified viscose fiber fabrics [J]. Advanced Textile Technology, 2019, 27(4): 44-47, 70. (in Chinese)
- [11] 吴国辉, 程浩南. 基于灰色近优模型针织T恤衫面料性能评价[J]. 毛纺科技, 2018, 46(3): 9-12.
- WU Guohui, CHENG Haonan. Research on the performance evaluation of summer knitted T-shirt based on grey optimal model [J]. Wool Textile Journal, 2018, 46(3): 9-12. (in Chinese)
- [12] 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.
- [13] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 纺织品接触瞬间凉感性能的检测和评价: GB/T 35263—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [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.
- [16] 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.
- [17] 国家技术监督局. 织物透湿量测定方法 透湿杯法: GB/T 12704—1991[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [18] 王丽莎, 马晓红, 孟花, 等. 基于灰色关联模型的针织物热湿舒适性分析与预测[J]. 毛纺科技, 2020, 48(5): 82-86.
- WANG Lisha, MA Xiaohong, MENG Hua, et al. Analysis and prediction of thermal and moisture comfort of knitted fabrics based on grey correlation model [J]. Wool Textile Journal, 2020, 48(5): 82-86. (in Chinese)
- [19] 邢丽娟, 刘新金, 苏旭中, 等. 应用灰色聚类方法评价特种动物纤维综合物理性能[J]. 纺织学报, 2019, 40(1): 26-31.
- XING Lijuan, LIU Xinjin, SU Xuzhong, et al. Evaluation on comprehensive physical properties of special animal fibers based on gray clustering [J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(1): 26-31. (in Chinese)

(责任编辑:邢宝妹)