

DOI: 10.13475/j.fzxb.20181101509

织物凉感等级的主客观评价及确定

楚鑫鑫¹, 肖红², 范杰¹

(1. 天津工业大学 纺织科学与工程学院, 天津 300387;
2. 军事科学院 系统工程研究院军需工程技术研究所, 北京 100010)

摘要 采用自主研发的热流式织物凉感测试仪, 测试 57 块面料的瞬态热流密度最大值和平衡态热流密度值, 利用上述测试值, 从主、客观 2 个方面评价织物的接触凉感。客观评价中, 采用心理学 5 点标尺, 将面料的凉感评价指标分为 A、B、C、D 和 E 共 5 档, 从 A 到 E 凉感依次减弱。利用模糊综合评价法, 对测试得到的瞬态和稳态热流密度值进行隶属度等级分类, 获得不同凉感等级对应的瞬态和稳态热流密度取值范围。主观评价中, 利用参试人员直接触摸对面料凉感进行主观评价和分析, 获得织物凉感等级。主客观评价分析织物的接触凉感结果具有较强的一致性, 对纺织面料的凉感等级进行了比较准确地客观划分, 可推进对于凉感纺织品市场的规范。

关键词 织物凉感; 凉感等级; 模糊综合评价法; 隶属度函数; 主观评价
中图分类号: TS 103.6 文献标志码: A

Using fuzzy comprehensive evaluation method to classify fabrics for coolness level

CHU Xinxin¹, XIAO Hong², FAN Jie¹

(1. School of Textile Science and Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China;
2. The Institute of Quartermaster Engineering and Technology, System Engineering Research Institute, Academy of Military Sciences PLA China, Beijing 100010, China)

Abstract The self-developed heat flow coolness tester was adopted to test the transient heat flux density maximum and the equilibrium heat flux density of fifty-seven fabrics. Using the above test values, the contact feeling of the fabric was evaluated from both subjective and objective aspects. For objective evaluation, the cooling evaluation index of fabrics was divided into five categories based on They were marked as A, B, C, D and E, the coolness was weakened in turn. The fuzzy comprehensive evaluation method was used to classify the transient and steady heat flux values obtained by the test, and obtained the range of transient and steady heat flux values corresponding to different coolness levels. For subjective evaluation, the tester directly touched the fabric to evaluate and analyzed the cool feeling of the fabric subjectively, and obtained the coolness level of the fabric. Subjective and objective evaluation of fabrics has a strong consistency in the contact cooling results, the cooling grade of textile fabrics is accurately divided, which can promote the specification of the cool textile market.

Keywords cool feeling of fabric; coolness level; fuzzy comprehensive evaluation method; membership function; subjective evaluation

随着人们生活水平的提高,对织物热舒适性的要求也越来越高。特别是在夏季,接触凉感越来越成为消费者选择面料的一项重要参考指标。一些具有接触凉感的服用类和生活用类纺织品也进入市场,被消费者接受和喜爱。2018年,GB/T 35263—

2017《纺织品 接触瞬间凉感性能的检测和评价》正式实施,规定了纺织品与皮肤接触瞬间凉感性能的检测与评价方法,提出了接触瞬间凉感和接触凉感系数的概念,但此标准还存在不足:1)仅规定了接触瞬间凉感,不能反映织物持续的散热能力和热吸

收稿日期: 2018-11-05 修回日期: 2018-11-13

第一作者: 楚鑫鑫(1992—),女,硕士生。主要研究方向为织物凉感的测试方法和评价。

通信作者: 肖红(1976—),女,高级工程师,博士。主要研究方向为功能性纺织材料开发。E-mail: 76echo@vip.sina.com。

收能力,不能够完全概括现有凉感制品的特点;2)在对织物的接触瞬间凉感进行评价时,规定瞬态热流密度最大值 q_{\max} 在某一数值范围内,就判定织物具有凉感性能,并不能对凉感强弱进行等级划分,无法有效地评价纺织品凉感程度。

模糊综合评价法是基于模糊数学,将一些多层次、多因素、复杂模糊不清等定性评价指标量化,进行系统综合评价的一种方法,它把评价对象以及反映评价对象的模糊概念建成一定的模糊集合^[1]。相对于传统的数学方法,模糊综合评价方法突出的优势是方法简单、实用,对多因素且模糊性的问题具有很好的适用性^[2]。除此之外,通过运用一定的算法综合各因素的值来判断整个评价对象所属等级。这种数学方法已被越来越多应用到解决纺织领域中的问题:吴志斌等^[3]对涤纶仿真丝绸手感风格进行模糊综合评价;柯宝珠等^[4]采用模糊综合评价法评价织物风格;刘侃^[5]利用模糊聚类分析法对服装面料的缝制加工性能进行综合评价;罗纪华等^[6]用综合模糊评定的方法,对比评定各种整理后苎麻织物服用性能的优劣。

前期研究中,研制了热流式织物凉感测试仪器^[7]并基于该仪器确定了织物凉感的检测方法、评价指标^[8],探明了织物沿平面方向的传热机制^[9]。为进一步对织物凉感进行等级划分,本文采用模糊综合评价法对织物凉感等级进行研究,并与以人为中心的主观评价等级划分进行比较,拟确定符合实际使用感受的凉感等级。

1 实验部分

1.1 实验样品

试样样品规格如表 1 所示。其中,聚烯烃纤维的热导率为 $14 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,而普通的天然和合成纤维热导率多在 $0.05 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下。为较全面地划分织物凉感等级,实验室中共织造和收集不同凉感的 57 块试样,包括单方向含有聚烯烃导热丝的试样 17 块、双向都含有导热丝的试样 16 块、常规普通纤维不同组织结构和厚重程度的试样 20 块和含有不同金属丝(铜纤维、银纤维和镀银纤维)的试样 4 块。

1.2 客观评价测试方法及指标

采用 FFZ415 热流式凉感测试仪,对实验室中的 57 块样品进行测试,测试方法和评价指标参见文献[9-10]。测试每一块试样的最大瞬态热流密度 q_{\max} 、稳态热流密度 q_{bal} 的值。测试过程模拟了织物和皮肤接触时,通过人体皮肤的最大瞬态热流密度,

热流密度越大表明织物与皮肤接触瞬间人体损失的热量越多,织物与人体的接触凉感越强^[11]。测试结果见表 1。

1.3 主观评价方法及步骤

1.3.1 参试人员及评价方法

40 名不同性别的在校研究生进行主观评价,其中 12 名男生、28 名女生,平均身高 166.8 cm,平均体重 57.8 kg。参试人员对 57 块不同材质的面料进行织物凉感的主观评价,形成真实可靠的主观评价等级。其中对织物凉感等级的文字描述,A 等级指凉爽感觉强烈,B 等级指凉爽感觉明显,C 等级指稍微有凉爽感觉,D 等级指凉爽感觉一般,E 等级指没有凉爽感觉。

整个主观评价过程在恒温恒湿实验室中进行,环境温度为 $21 \text{ }^{\circ}\text{C}$,环境湿度为 63%,空气流速不超过 0.2 m/s ,以确保人体各项机能处于最佳状态,感觉器官最为敏感,心理状态也趋于稳定状态,有利于实验的顺利进行。参试人员通过前臂内侧对织物凉感进行评价。面料在接触人体皮肤时,会有热量传导到面料,为避免误差,每次测试要间隔 2 min,使面料恢复到初始热状态再进行下一次实验。

1.3.2 实验步骤

测试前,对参试人员进行相关简单的实验培训。培训内容包括:织物凉感的意义讲解、测试时对样本的触摸方式及调查问卷的填写方式,以确保实验的正确进行及实验结果的可靠性和准确性。

实验中,在触摸试样样本之前,参试人员需要在实验室中静坐 20 min,以便适应环境和调整个人心理状态。随后,参试人员将前臂裸露往前伸直,并保持前臂内侧向上的姿势,另一只手将织物放在前臂上,可适当采用按压等方式,模拟皮肤对服装产生的压强。

参试人员根据前臂内侧与织物接触时的瞬间的凉爽感觉填写调查问卷表,对织物的凉感等级进行分级。

1.3.3 结果计算

参试人员对面料进行评级时采用计分的形式对面料进行打分,A 等级对应 5 分,记为 x_1 ,B 等级对应 4 分,记为 x_2 ,C 等级对应 3 分,记为 x_3 ,D 等级对应 2 分,记为 x_4 ,E 等级对应 1 分,记为 x_5 。每块面料 A、B、C、D、E 各等级中打分的总人数作为权重,记为 w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 ,根据加权平均法的公式:

$$x_i = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + w_4x_4 + w_5x_5}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5} \quad (i = 1, 2, \dots, 5)$$

在主观评价织物凉感等级时,每块面料最终都

表 1 试样规格及热流密度值
Tab.1 Sample size and heat flux value

编号	组织	成分	面密度/(g·m ⁻²)	厚度/mm	q _{max} /(W·m ⁻²)	q _{bal} /(W·m ⁻²)
1 [#]	罗纹	聚烯烃、涤纶	351.1	1.85	337.6	37.9
2 [#]	罗纹	聚烯烃、涤纶	360.0	2.21	326.9	34.6
3 [#]	纬平针	聚烯烃、锦纶	180.0	0.53	389.1	27.8
4 [#]	小提花	聚烯烃、锦纶	230.0	0.72	366.7	27.3
5 [#]	双反面	锦纶、粘胶	180.0	0.50	321.0	26.4
6 [#]	纬平针	锦纶、涤纶	200.0	0.48	340.6	26.4
7 [#]	纬平针	锦纶、涤纶、粘胶	180.0	0.66	315.9	26.1
8 [#]	纬平针	锦纶、涤纶	180.0	0.47	307.7	25.3
9 [#]	$\frac{3}{1}$ 斜纹	聚烯烃、棉	197.1	0.51	390.7	56.1
10 [#]	平纹	聚烯烃、涤纶、棉	240.2	0.58	391.6	55.7
11 [#]	斜纹	聚烯烃、棉	206.7	0.64	346.7	45.9
12 [#]	斜纹	聚烯烃、棉	212.8	0.65	328.6	44.7
13 [#]	斜纹	聚烯烃、棉	210.1	0.65	295.7	42.7
14 [#]	斜纹	聚烯烃、棉	144.5	0.37	332.4	43.7
15 [#]	斜纹	聚烯烃、棉	142.7	0.41	303.8	41.4
16 [#]	平纹	聚烯烃、涤纶、棉	146.0	0.45	312.2	40.9
17 [#]	平纹	聚烯烃、涤纶、棉	137.8	0.39	301.3	38.2
18 [#]	斜纹	聚烯烃、棉	143.5	0.43	289.1	37.8
19 [#]	双层	聚烯烃、棉	638.1	1.92	414.7	70.3
20 [#]	双层	聚烯烃、棉	370.8	1.47	323.3	65.3
21 [#]	提花	聚烯烃	491.1	1.27	495.5	82.6
22 [#]	平纹	聚烯烃、棉	508.0	1.46	393.1	79.9
23 [#]	单层	聚烯烃、棉	516.1	1.10	486.3	79.1
24 [#]	平纹	聚烯烃、棉	596.0	2.14	379.0	77.6
25 [#]	提花	聚烯烃	454.1	1.40	430.6	77.1
26 [#]	平纹	聚烯烃、涤纶、棉	349.8	1.05	437.0	68.0
27 [#]	平纹	聚烯烃、棉	417.1	1.21	396.7	67.7
28 [#]	平纹	聚烯烃、涤纶、棉	351.2	1.11	405.1	61.0
29 [#]	菱形	聚烯烃	511.6	1.15	482.3	69.5
30 [#]	平纹	聚烯烃、棉	283.0	0.94	364.8	64.7
31 [#]	平纹	聚烯烃、棉	315.5	1.32	353.8	62.8
32 [#]	$\frac{3}{1}$ 斜纹	聚烯烃、棉	247.8	0.62	391.9	59.3
33 [#]	平纹	聚烯烃、棉	225.8	0.83	355.9	59.3
34 [#]	—	竹块	4 210.5	6.44	357.1	56.9
35 [#]	—	竹条	1 709.4	4.31	372.6	33.0
36 [#]	—	藤条	570.6	0.56	340.1	25.5
37 [#]	平纹	聚烯烃、棉	502.9	0.88	388.6	29.2
38 [#]	斜纹	棉	183.9	0.61	290.3	27.3
39 [#]	斜纹	棉	118.5	0.26	298.1	26.7
40 [#]	$\frac{3}{1}$ 斜纹	涤纶、棉	252.9	0.53	291.8	26.6
41 [#]	平纹	涤纶、棉	152.8	0.30	299.4	25.8
42 [#]	平纹	涤纶、棉	132.1	0.22	296.5	25.5
43 [#]	平纹	麻、涤纶、棉	151.1	0.30	263.1	25.2
44 [#]	斜纹	涤纶	229.7	0.5	286.8	25.1
45 [#]	平纹	锦纶	59.4	0.11	264.2	24.6
46 [#]	平纹	锦纶	79.7	0.14	253.0	23.2
47 [#]	平纹	涤纶、棉	67.3	0.11	241.3	23.2
48 [#]	小元宝针	涤纶	322.4	3.04	145.9	23.6
49 [#]	小元宝针	涤纶	275.1	4.28	119.8	23.6
50 [#]	小元宝针	涤纶	149.9	1.79	130.0	22.3
51 [#]	小元宝针	腈纶、涤纶、棉	278.9	2.81	147.1	22.0
52 [#]	罗纹	镀银纤维	180.6	0.71	299.5	26.9
53 [#]	平纹	铜纤维	81.6	0.11	256.0	25.8
54 [#]	平纹	银纤维、棉	72.8	0.18	249.1	24.2
55 [#]	网眼	银纤维	26.9	0.18	202.0	23.1
56 [#]	双罗纹	涤纶、毛、腈纶	284.0	1.12	273.5	27.6
57 [#]	起绒	毛、涤纶	326.9	1.72	246.2	26.8

会被评为 A、B、C、D、E 等级中的某个级别,再将同为一个等级的面料的加权平均值按大小排序,取最大值和最小值划定此等级对应的加权平均值范围。

最终划定 A 等级对应的加权平均值范围为 4.3~5, B 等级对应的加权平均值范围为 3.5~4.3, C 等级对应的加权平均值范围为 2.5~3.5, D 等级对应的加权平均值范围为 1.5~2.5, E 等级对应的加权平均值范围为 1~1.5。

2 实验结果及分析

2.1 织物热流密度结果及分析

从表 1 中看出 q_{max} 值大的试样其 q_{bal} 值不一定大,如 3# 试样, q_{max} 值为 389.1 W/m^2 , q_{bal} 值为 27.8 W/m^2 , 同样 q_{bal} 值大的试样 q_{max} 值不一定大,如 31# 试样, q_{max} 为 353.8 W/m^2 , q_{bal} 值为 62.8 W/m^2 。这与构成试样的聚烯烃的含量、织物组织结构等相关。聚烯烃在试样中所占比例大,其接触瞬间凉感和稳态接触凉感就较好。编号为 13#、12#、11# 的试样中,聚烯烃纤维和棉纤维的比例分别为 1:1、2:1、3:1,聚烯烃纤维的含量分别从 50% 增加到 75%,试样的 q_{max} 值也从 295.7, 增加到 346.7 W/m^2 ,聚烯烃纤维在试样中所占比例大,其接触瞬间凉感就较好。编号为 15# 的试样,聚烯烃纤维和棉纤维的比例为 3:1,其 q_{max} 值为 303.8 W/m^2 比 11# 试样的 q_{max} 值小很多,可知试样中,测试试样中聚烯烃纤维较粗,试样的面密度相对较大,吸热量较大,接触凉感越强。测试试样中,试样的组织结构存在差异,造成试样的表面有多种形态,织物表面状态越光滑,接触时的表面积越大,织物凉感越好。

接触瞬间凉感与稳态接触凉感没有正相关关系,结合文献中理论分析,接触瞬间凉感与织物的热吸收能力、导热丝的热传导能力相关,反映了织物的瞬间热吸收能力;而稳态接触凉感与导热丝的热传导能力相关,反映了织物持续的散热能力。因此,在对试样的凉感进行等级划分时,需要分别从这 2 个指标进行分类。

2.2 凉感的等级划分

人体着装的凉感程度是一种人体主观舒适感觉,目前无法用物理量来直接表示。为将主观感觉定量化,采用了心理学标尺,将人体主观感觉分级。根据前面测试得到面料的 q_{max} 、 q_{bal} 的值,对面料的凉感等级进行分类。目前使用的心理学标尺主要有 3 点、5 点、7 点标尺^[12],把人体的热舒适性程度赋予相应的数值,从而定量地评

价此类定性问题。在本文对织物凉感进行等级分类时,基于 5 点标尺,将其划分为 5 个等级, A、B、C、D、E,具体见表 2。

表 2 凉感等级分类

Tab.2 Coolness classification		
凉感等级	q_{max} 感觉	q_{bal} 感觉
A	很凉	很凉
B	凉爽	凉爽
C	较凉	较凉
D	一般	一般
E	不凉	不凉

2.3 模糊综合评价模型

2.3.1 模糊综合评价步骤

对测试得到的热流密度数值,采用模糊综合评价法,按照以下步骤,进行隶属度等级分类。

1) 建立评判因素对象集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_i\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$)。因素 u_i 就是评价对象的集合,在此次工作中就是 q_{max} 和 q_{bal} 数值大小的集合,即表 1 中的 q_{max} 和 q_{bal} 数值。

2) 建立评判集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_i\}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)。在纺织品评价中,评判集 v_i 就是等级划分的集合,此次工作中是凉感等级的集合,即表 2 所述集合。

3) 在建立隶属度函数时,选取模糊分布的常用公式(梯形型)。隶属度函数是依据评价标准建立起来的,目的在于通过一定的函数运算来刻划评价因素对评判等级的隶属程度,从而使本来模糊的数学概念变得直观^[13]。

其隶属度函数的数学模型如下:

一级:

$$R_{v1}(u_i) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(1 + \frac{u_i - x_1}{u_i - x_2} \right) & \mu_i < x_1 \\ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{x_1 - u_i}{x_1 - x_2} \right) & x_1 \leq u_i < x_2 \\ 0 & \mu_i \geq x_2 \end{cases}$$

二级:

$$R_{v2}(u_i) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(1 - \frac{u_i - x_1}{u_i - x_2} \right) & \mu_i < x_1 \\ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{x_1 - u_i}{x_1 - x_2} \right) & x_1 \leq u_i \leq x_2 \\ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{u_i - x_3}{x_2 - x_3} \right) & x_2 < u_i \leq x_3 \\ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{x_3 - u_i}{x_3 - x_4} \right) & x_3 \leq u_i < x_4 \\ 0 & \mu_i > x_4 \end{cases}$$

三级:

$$R_{v3}(u_i) = \begin{cases} 0 & \mu_i < x_2 \\ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{u_i - x_3}{x_2 - x_3} \right) & x_2 \leq u_i \leq x_3 \\ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{x_3 - u_i}{x_3 - x_4} \right) & x_3 \leq u_i \leq x_4 \\ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{u_i - x_5}{x_4 - x_5} \right) & x_4 \leq u_i < x_5 \\ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{x_5 - u_i}{x_5 - x_6} \right) & x_5 \leq u_i < x_6 \\ 0 & \mu_i \geq x_6 \end{cases}$$

四级:

$$R_{v4}(u_i) = \begin{cases} 0 & \mu_i < x_4 \\ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{u_i - x_5}{x_4 - x_5} \right) & x_4 \leq u_i < x_5 \\ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{x_5 - u_i}{x_5 - x_6} \right) & x_5 \leq u_i \leq x_6 \\ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{u_i - x_7}{x_6 - x_7} \right) & x_6 \leq u_i < x_7 \\ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{x_7 - u_i}{x_6 - u_i} \right) & \mu_i \geq x_7 \end{cases}$$

五级:

$$R_{v5}(u_i) = \begin{cases} 0 & \mu_i < x_6 \\ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{u_i - x_6}{x_6 - x_7} \right) & x_6 < u_i < x_7 \\ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{x_7 - u_i}{x_6 - u_i} \right) & \mu_i \geq x_7 \end{cases}$$

在上述数学模型中: x_1, x_3, x_5, x_7 分别是 v_1 和 v_2, v_2 和 v_3, v_3 和 v_4, v_4 和 v_5 的等级临界值; x_2, x_4, x_6 分别为 v_2, v_3, v_4 等级数值区间的中间值。

选取模糊分布中的梯形与半梯形分布, 为避免等级间数值相差较小但评价等级相差一级的现象, 对选用的数学模型进行修正。对于中间型, 使其在中间点的隶属度为 1.0, 向两侧边缘递减到 0.5, 对

于偏大型和偏小型使其距离临界值越远, 隶属度越大, 在临界上属于两侧的等级均为 0.5^[14]。

4) 利用模糊分布中的梯形公式对热流密度数值进行分类后, 对评价指标分等级: A- R_{v5} , B- R_{v4} , C- R_{v3} , D- R_{v2} , E- R_{v1} 。

2.3.2 隶属度等级分类结果

利用隶属等级函数对 q_{max}, q_{bal} 的值进行隶属等级分类, 每一个热流密度值都会对应 5 个不同的 R_v 值, 选择其中一个最大的数值对应的 R_v 结果作为最后的隶属等级, 根据等级划分结果把实验室测试的 57 块试样进行凉感等级分类。结果如表 3、4 所示。

2.4 凉感等级划分结果及分析

基于模糊综合评价法中的隶属度函数, 对前述试验中得到的织物 q_{max}, q_{bal} 的值进行等级分类, 得到较科学合理的不同凉感程度的 q_{max}, q_{bal} 的值范围, 进而可以划分织物的凉感等级。分类结果如表 5 所示。其中, 凉感等级为 A 对应的面料主要是含有 1 333.888 dtex 高导热聚烯烃纤维的面料, 凉感等级为 B 对应的面料主要是 667.444 dtex 高导热聚烯烃纤维的面料, 凉感等级为 C 对应的面料主要是 444.222 dtex 高导热聚烯烃纤维的面料, 凉感等级为 D 对应的面料主要是含金属纤维面料和普通面料, 凉感等级为 E 对应的面料主要是摇粒绒面料, 该类面料具有一定保暖性, 结果如图 1 所示。

2.5 织物凉感等级的主观评价

前期客观测试最终都要以实际穿着的凉感感受为基准, 希望测试仪器也能够有效地反映穿着特征, 通过仪器的物理测量能够有效地推断出人的生理感觉和心理感觉^[15]。现阶段所有织造的具有凉感性能的面料最终都要回归市场, 被各行各业的消费者评比和选择, 由于个体差异的存在, 每个人对凉感程度的认识也是不尽相同的, 为能更好地帮助消费者认识凉感面料以及规范凉感纺织品市场, 对织物凉

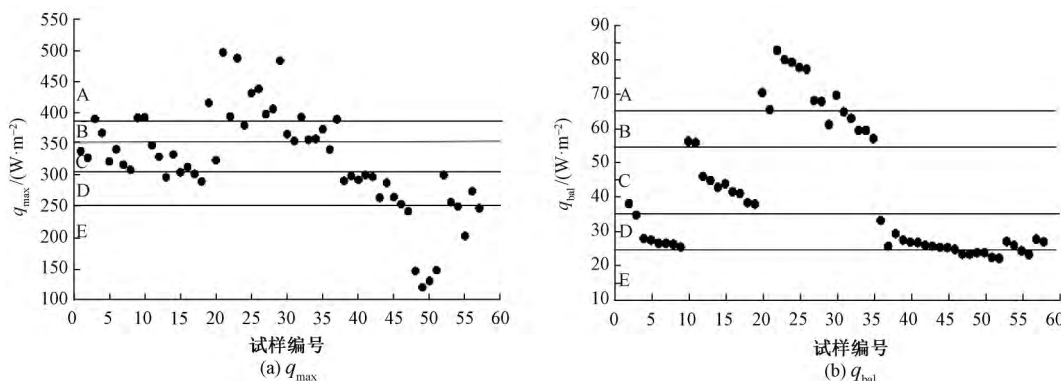


图 1 试样 q_{max}, q_{bal} 的等级分级结果

Fig.1 Grades results of q_{max} and q_{bal} of samples

表 3 q_{max} 的隶属等级分类结果
Tab.3 q_{max} subordinate classification result

试样编号	$q_{max}/(W \cdot m^{-2})$	R_{v1}	R_{v2}	R_{v3}	R_{v4}	R_{v5}	隶属等级	凉感等级
21 [#]	495.5	0	0	0	0.10	0.90	五级	A
23 [#]	486.3	0	0	0	0.11	0.89	五级	A
29 [#]	482.3	0	0	0	0.12	0.88	五级	A
26 [#]	437.0	0	0	0	0.20	0.80	五级	A
25 [#]	430.6	0	0	0	0.22	0.78	五级	A
19 [#]	414.7	0	0	0	0.31	0.69	五级	A
28 [#]	405.1	0	0	0	0.42	0.58	五级	A
27 [#]	396.7	0	0	0	0.57	0.93	五级	A
22 [#]	393.1	0	0	0	0.64	0.86	五级	A
32 [#]	391.9	0	0	0	0.66	0.84	五级	A
10 [#]	391.6	0	0	0	0.67	0.83	五级	A
9 [#]	390.7	0	0	0	0.69	0.81	五级	A
3 [#]	389.1	0	0	0	0.72	0.78	五级	A
37 [#]	388.6	0	0	0	0.73	0.77	五级	A
24 [#]	379.0	0	0	0	0.92	0.58	四级	B
35 [#]	372.6	0	0	0.05	0.95	0	四级	B
4 [#]	366.7	0	0	0.17	0.83	0	四级	B
30 [#]	364.8	0	0	0.20	0.80	0	四级	B
34 [#]	357.1	0	0	0.36	0.64	0	四级	B
33 [#]	355.9	0	0	0.38	0.62	0	四级	B
31 [#]	353.8	0	0	0.42	0.58	0	四级	B
11 [#]	346.7	0	0	0.57	0.43	0	三级	C
6 [#]	340.6	0	0	0.69	0.31	0	三级	C
36 [#]	340.1	0	0	0.70	0.30	0	三级	C
1 [#]	337.6	0	0	0.75	0.25	0	三级	C
14 [#]	332.4	0	0	0.85	0.15	0	三级	C
12 [#]	328.6	0	0	0.93	0.07	0	三级	C
2 [#]	326.9	0	0	0.96	0.04	0	三级	C
20 [#]	323.3	0	0.03	0.97	0	0	三级	C
5 [#]	321.0	0	0.08	0.92	0	0	三级	C
7 [#]	315.9	0	0.18	0.82	0	0	三级	C
16 [#]	312.2	0	0.26	0.74	0	0	三级	C
8 [#]	307.7	0	0.35	0.65	0	0	三级	C
15 [#]	303.8	0	0.42	0.58	0	0	三级	C
17 [#]	301.3	0	0.47	0.53	0	0	三级	C
52 [#]	299.5	0	0.51	0.49	0	0	二级	D
41 [#]	299.4	0	0.51	0.49	0	0	二级	D
39 [#]	298.1	0	0.54	0.46	0	0	二级	D
42 [#]	296.5	0	0.57	0.43	0	0	二级	D
13 [#]	295.7	0	0.59	0.41	0	0	二级	D
40 [#]	291.8	0	0.66	0.34	0	0	二级	D
38 [#]	290.3	0	0.69	0.31	0	0	二级	D
18 [#]	289.1	0	0.72	0.28	0	0	二级	D
44 [#]	286.8	0	0.76	0.24	0	0	二级	D
56 [#]	273.5	0.03	0.97	0	0	0	二级	D
45 [#]	264.2	0.22	0.78	0	0	0	二级	D
43 [#]	263.1	0.24	0.76	0	0	0	二级	D
53 [#]	256.0	0.38	0.62	0	0	0	二级	D
46 [#]	253.0	0.44	0.56	0	0	0	二级	D
54 [#]	249.2	0.52	0.48	0	0	0	一级	E
57 [#]	246.2	0.57	0.43	0	0	0	一级	E
47 [#]	241.3	0.63	0.37	0	0	0	一级	E
55 [#]	202.0	0.83	0.17	0	0	0	一级	E
51 [#]	147.1	0.90	0.10	0	0	0	一级	E
48 [#]	145.9	0.90	0.10	0	0	0	一级	E
50 [#]	130.0	0.91	0.09	0	0	0	一级	E
49 [#]	119.8	0.92	0.08	0	0	0	一级	E

表 4 q_{bal} 的隶属等级分类结果Tab.4 q_{bal} subordinate classification result

试样编号	$q_{\text{bal}}/(W \cdot m^{-2})$	R_{v1}	R_{v2}	R_{v3}	R_{v4}	R_{v5}	隶属等级	凉感等级
21 [#]	82.6	0	0	0	0.11	0.89	五级	A
22 [#]	79.9	0	0	0	0.13	0.87	五级	A
23 [#]	79.1	0	0	0	0.13	0.87	五级	A
24 [#]	77.6	0	0	0	0.14	0.86	五级	A
25 [#]	77.1	0	0	0	0.15	0.85	五级	A
19 [#]	70.3	0	0	0	0.24	0.76	五级	A
29 [#]	69.5	0	0	0	0.26	0.74	五级	A
26 [#]	68.0	0	0	0	0.31	0.69	五级	A
27 [#]	67.7	0	0	0	0.32	0.68	五级	A
20 [#]	65.3	0	0	0	0.47	0.53	五级	A
30 [#]	64.7	0	0	0	0.53	0.97	五级	A
31 [#]	62.8	0	0	0	0.72	0.78	五级	A
28 [#]	61.0	0	0	0	0.90	0.60	四级	B
32 [#]	59.3	0	0	0.07	0.93	0	四级	B
33 [#]	59.3	0	0	0.07	0.93	0	四级	B
34 [#]	56.9	0	0	0.31	0.69	0	四级	B
9 [#]	56.1	0	0	0.39	0.61	0	四级	B
10 [#]	55.7	0	0	0.43	0.57	0	四级	B
11 [#]	45.9	0	0	0.96	0.04	0	三级	C
12 [#]	44.7	0	0.01	0.99	0	0	三级	C
43 [#]	43.7	0	0.06	0.94	0	0	三级	C
13 [#]	42.7	0	0.12	0.89	0	0	三级	C
15 [#]	41.4	0	0.18	0.82	0	0	三级	C
16 [#]	40.9	0	0.21	0.80	0	0	三级	C
17 [#]	38.2	0	0.34	0.66	0	0	三级	C
1 [#]	37.9	0	0.36	0.65	0	0	三级	C
3 [#]	37.8	0	0.36	0.64	0	0	三级	C
2 [#]	34.6	0	0.54	0.46	0	0	二级	D
35 [#]	33.0	0	0.7	0.3	0	0	二级	D
37 [#]	29.2	0.08	0.92	0	0	0	二级	D
3 [#]	27.8	0.22	0.78	0	0	0	二级	D
56 [#]	27.6	0.24	0.76	0	0	0	二级	D
4 [#]	27.3	0.27	0.73	0	0	0	二级	D
38 [#]	27.3	0.27	0.73	0	0	0	二级	D
52 [#]	26.9	0.31	0.69	0	0	0	二级	D
57 [#]	26.8	0.32	0.68	0	0	0	二级	D
39 [#]	26.7	0.33	0.67	0	0	0	二级	D
40 [#]	26.6	0.34	0.66	0	0	0	二级	D
6 [#]	26.4	0.36	0.64	0	0	0	二级	D
5 [#]	26.4	0.36	0.64	0	0	0	二级	D
7 [#]	26.1	0.39	0.61	0	0	0	二级	D
41 [#]	25.8	0.42	0.58	0	0	0	二级	D
53 [#]	25.8	0.42	0.58	0	0	0	二级	D
42 [#]	25.5	0.45	0.55	0	0	0	二级	D
36 [#]	25.5	0.45	0.55	0	0	0	二级	D
8 [#]	25.3	0.47	0.53	0	0	0	二级	D
43 [#]	25.2	0.48	0.52	0	0	0	二级	D
44 [#]	25.1	0.49	0.51	0	0	0	二级	D
45 [#]	24.6	0.54	0.46	0	0	0	一级	E
54 [#]	24.2	0.57	0.43	0	0	0	一级	E
48 [#]	23.6	0.61	0.39	0	0	0	一级	E
49 [#]	23.6	0.61	0.39	0	0	0	一级	E
46 [#]	23.2	0.63	0.37	0	0	0	一级	E
47 [#]	23.2	0.63	0.37	0	0	0	一级	E
55 [#]	23.1	0.64	0.36	0	0	0	一级	E
50 [#]	22.3	0.68	0.32	0	0	0	一级	E
51 [#]	22.0	0.69	0.31	0	0	0	一级	E

表 5 凉感等级分类
Tab.5 Cool classification

凉感等级	$q_{max}/(W \cdot m^{-2})$	$q_{bal}/(W \cdot m^{-2})$
A	≥ 380	≥ 65
B	350~380	55~65
C	300~350	35~55
D	250~300	25~35
E	≤ 250	≤ 25

感进行主观等级的评价实验是非常必要的。

将 40 名参试人员对 57 块试样的平均评价结果和客观测试得到的织物凉感等级对比,见表 6。

从上述表格中可以看出,主观评价织物的凉感和利用热流式凉感测试仪测试织物的凉感具有高度的一致性,一致性的比例可用此公式表示:(主客观评价等级一致的面料数/总面料数) $\times 100\%$,计算结果为 78.9%,可以看出面料凉感等级主客观评价一致性较好。

1[#]、2[#]面料分别是不同含量凉感丝的罗纹组织

表 6 织物凉感客观评价和主观评价对比表

Tab.6 Comparison of objective evaluation and subjective evaluation of fabric coolness

试样编号	主观评价	客观评价	试样编号	主观评价	客观评价	试样编号	主观评价	客观评价
1 [#]	A	C	20	B	C	39	D	D
2 [#]	B	C	21	A	A	40	D	D
3 [#]	B	A	22	A	A	41	D	D
4 [#]	B	B	23	A	A	42	D	D
5 [#]	C	C	24	B	B	43	D	D
6 [#]	C	C	25	A	A	44	D	D
7 [#]	C	C	26	A	A	45	D	D
8 [#]	C	C	27	A	A	46	D	D
9 [#]	B	A	28	B	A	47	D	E
10 [#]	A	A	29	A	A	48	E	E
11 [#]	C	C	30	B	B	49	E	E
12 [#]	C	C	31	B	B	50	E	E
13 [#]	C	D	32	B	A	51	E	E
14 [#]	C	C	33	B	B	52	D	D
15 [#]	C	C	34	B	B	53	D	D
16 [#]	C	C	35	B	B	54	D	E
17 [#]	C	C	36	C	C	55	E	E
18 [#]	C	D	37	C	A	56	D	D
19 [#]	A	A	38	D	D	57	E	E

针织面料,表面不平整,在使用热流式凉感测试仪进行测试时,面料中凹进去的部分会存有部分空气,最后测得的热流密度值变小,在将面料放在前臂内侧进行主观评价时,面料因其柔软可弯曲,面料中存有的空气较少,接触面积相对来说较大,得出的凉感等级较高。3[#]、9[#]、28[#]、32[#]面料客观评价等级为 A 级,在进行主观评价时的等级降为 B 级。13[#]、18[#]面料客观评价等级为 D 级,在进行主观评价时等级升为 C 级,47[#]、54[#]面料客观评价等级为 E 级,在进行主观评价时等级升为 D 级。主客观评价结果不相同的试样,分析它们的接触瞬间最大热流密度值,大部分都在分界数值上下,相差很小,例如 9[#] q_{max} 值为 390.7 W/m²,在 A、B 等级分界线上,客观评价中属于 A 等级,但在以人为主体的主观评价中,因个体存在差异,选择其为 B 等级的人数较多,即最终 9[#] 试样在主观评价中隶属于 B 等级。

3 结 论

采用热流式凉感测试仪对实验室收集的 57 块面料进行测试,包括含高热聚烯烃长丝的面料、普通面料、和含有金属丝的面料,采用模糊综合评价法对织物凉感指标进行客观等级分类、和采用参试人员主观评价进行等级分类,结果如下。

1) 利用模糊综合评价法对织物进行的 5 档凉感分类,可以较为详细给出具体的等级指标。比如,凉感为 A 级的织物,其瞬态热流密度大于

380 W/m² 稳态热流密度大于 65 W/m²。

2) 面料的凉感需要从瞬态接触凉感和稳态持续散热 2 个方面进行综合评价。接触瞬间凉感好的面料其稳态接触凉感不一定会好,即存在瞬态热流密度为 A 级、稳态热流密度为 B 级的试样。使用者需要根据具体情况进行选择。

3) 利用模糊综合评价法对面料的凉感等级的分类,和人为主观评价织物的凉感等级具有较好的一致性,为消费者在购买相关凉感产品时提供可靠的数据支持,也可以作为制订凉感纺织品凉感等级标准的参考。

FZXB

参考文献:

- [1] 蔡戈鸣. 市政工程施工新技术模糊综合后评价模型研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004: 41-45.
CAI Geming. Research on fuzzy comprehensive post-evaluation model of new construction technology for municipal engineering [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004: 41-45.
- [2] 黄洪金. 层次分析和模糊综合评价方法在公共政策评价中的应用研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2014: 22-23.
HUANG Hongjin. Research on application of AHP and fuzzy comprehensive evaluation method in public policy evaluation [D]. Wuhan: Huazhong Normal University, 2014: 22-23.
- [3] 吴志斌, 麦有定. 涤纶仿真丝绸手感风格的模糊评判法[J]. 检验检疫学刊, 1996(4): 40-43.
WU Zhibin, MAI Youding. Fuzzy evaluation method of polyester simulation silk handle style [J]. Inspection and Quarantine Science, 1996(4): 40-43.
- [4] 柯宝珠. 织物风格的模糊综合评价[J]. 五邑大学学报(自然科学版), 2001, 15(1): 65-70.
KE Baozhu. Fuzzy comprehensive evaluation of fabric style [J]. Journal of Wuyi University (Natural Science Edition) 2001, 15(1): 65-70.
- [5] 刘侃. 用模糊聚类分析法评价服装加工性能[J]. 西安工程大学学报, 2002, 16(2): 116-120.
LIU Kan. Evaluation of garment processing performance by fuzzy clustering analysis [J]. Journal of Xi'an Polytechnic University 2002, 16(2): 116-120
- [6] 罗纪华, 马艺华. 苕麻织物服用性能的模糊综合评定[J]. 北京纺织, 2001(5): 45-47.
LUO Jihua, MA Yihua. Fuzzy comprehensive evaluation of the performance of ramie fabrics [J]. Beijing Textile Journal 2001(5): 45-47.
- [7] 王翰林, 肖红, 夏秀云, 等. 热流式织物凉感测试设备及测试方法: 105136847 B [P]. 2015-12-09.
WANG Hanlin, XIAO Hong, XIA Xiuyun, et al. Heat flow fabric cooling test equipment and test method: 105136847 B [P]. 2015-12-09.
- [8] 肖红, 王翰林, 楚鑫鑫, 等. 热流式织物凉感测试仪的研制和凉感评价指标 [J]. 棉纺织技术, 2018, 46(8): 79-82.
XIAO Hong, WANG Hanlin, CHU Xinxin, et al. Development of heat flow fabric coolness tester and evaluation index of coolness [J]. Cotton Textile Technology 2018 46(8): 79-82.
- [9] 楚鑫鑫, 肖红, 程剑, 等. 织物凉感测试的影响因素分析及确定 [J]. 棉纺织技术, 2018 46(9): 76-80.
CHU Xinxin, XIAO Hong, CHENG Jian, et al. Analysis and determination of influencing factors of fabric coolness test [J]. Cotton Textile Technology, 2018, 46(9): 76-80.
- [10] 肖红. 织物沿平面方向的传热机理及凉感影响因素 [J]. 棉纺织技术, 2018 46(7): 28-33.
XIAO Hong. Heat transfer mechanism of fabric along the plane direction and factors affecting coolness [J]. Cotton Textile Technology 2018 46(7): 28-33.
- [11] 孙玉钗. 织物接触冷感与影响因素分析 [J]. 棉纺织技术, 2009, 37(10): 18-21.
SUN Yuchai. Analysis of cold contact and influencing factors of fabric contact [J]. Cotton Textile Technology, 2009, 37(10): 18-21.
- [12] 孙宇明. 基于皮肤温度的人体热感觉特性实验研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2009: 27-31.
SUN Yuming. Experimental study on human thermal sensation based on skin temperature [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009: 27-31.
- [13] 于声. 模糊评价法在区域工业用地适宜性评价中应用 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2007: 17-19.
YU Sheng. The application of fuzzy judgment method in the regional industrial land-use planes suitability analysis [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science 2007: 17-19.
- [14] 崔莹. 重庆市水资源可持续利用能力模糊综合评价 [D]. 重庆: 西南大学, 2017: 58-60.
CUI Ying. Fuzzy comprehensive evaluation on sustainable utilization of water resource in Chongqing [D]. Chongqing: Southwest University 2017: 58-60.
- [15] 岳静. 丝织物手感的认知评价及预测模型研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2015: 19-22.
YUE Jing. Study on the handle cognitive evaluation and prediction models of silk fabrics [D]. Suzhou: Soochow University 2015: 19-22.