

石墨烯改性锦纶针织面料服用性能研究

姚馨馨, 丛洪莲, 高哲

(江南大学 教育部针织技术工程研究中心 江苏 无锡 214122)

摘要: 为探究新型石墨烯改性锦纶纱线在纬编内衣面料中的应用,设计开发了不同原料、不同组织结构石墨烯改性锦纶针织面料,并与传统锦纶面料进行服用性能对比。采用扫描电镜观察石墨烯改性锦纶纤维的表面结构,发现二维平面石墨烯的再石墨化现象;通过石墨烯改性锦纶面料及普通锦纶面料的性能测试对比,分析数据得知石墨烯改性锦纶面料的质量磨损率约为普通锦纶面料的 1/6,芯吸高度为普通锦纶面料的 3~4 倍,同时透湿量约为普通锦纶面料的 1.5~2 倍,显示出极好的耐磨性能与热湿舒适性能。采用模糊物元综合评价方法分析,结果显示石墨烯改性锦纶面料的综合指标均高于普通锦纶面料,最高值为 0.984,具有更加突出的服用性能。

关键词: 石墨烯; 锦纶; 针织面料; 服用性能; 模糊综合评价

中图分类号: TS101.923.6 文献标志码: A 文章编号: 1001-7003(2018)10-0048-06 引用页码: 101108

Wearability of graphene modified nylon knitted fabric

YAO Xinxin, CONG Honglian, GAO Zhe

(Engineering Research Center of Knitting Technology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to research the application of novel graphene modified nylon yarns in weft-knitted underwear fabric, graphene modified nylon knitted fabrics with different yarn materials and different knitting structures were developed, and the wearability of graphene modified nylon knitted fabrics was compared with that of normal nylon fabrics. The regraphitization of graphene was found by observing the surface structure of graphene modified nylons through Scanning Electron Microscope (SEM). It could be found from comparison tests of graphene modified nylon and common nylon that the mass loss rate of graphene modified nylon fabrics is nearly 1/6 of normal nylon fabrics, and the wicking height of graphene modified nylon fabrics is about 3 to 4 times of normal nylon fabrics. Moreover, the water vapor transmission rate of graphene modified nylon fabrics is nearly 1.5 to 2 times of normal one, showing extremely fantastic abrasion resistance and thermal-moisture comfort performance. On the basis of fuzzy matter-element analysis, comprehensive performance index of graphene modified nylon fabrics is generally higher than that of normal nylon fabrics, showing the outstanding wearability with a peak value of 0.984.

Key words: graphene; nylon; knitted fabric; wearability; fuzzy comprehensive evaluation

石墨烯是由碳原子通过 sp^2 杂化形成的,结构为二维片状^[1]。特殊的结构使得石墨烯具有极好的机械

性能、力学性能和电学性能等。石墨烯很薄,厚度只有 0.335 nm,电阻率很小,约为 $10^{-8} \Omega \cdot m$ ^[2];石墨烯具有很好的导热性与良好的透光性;石墨烯还具有极强的耐磨性。将石墨烯与普通纤维复合形成的新型纱线,具有抗菌^[3]、抗静电、抗紫外线^[4]、发射低温远红外线等特殊功能,可广泛应用于服装、家纺等产品。

石墨烯材料分散性能差^[5],纤维制品的制造难度较高,因此对石墨烯织物的研究较少。采用石墨烯纳米片作为紫外线吸水剂,通过“轧-烘-焙”方法对

收稿日期: 2018-01-03; 修回日期: 2018-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(61602212);江苏省自然科学基金项目(BK20140161);江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏政办发(2014)37号)

作者简介: 姚馨馨(1992—),女,硕士研究生,研究方向为针织产品设计与开发。通信作者: 丛洪莲,教授,cong-wkrc@163.com。

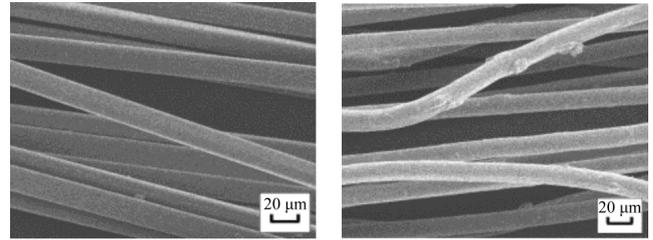
棉织物进行涂层,得到防紫外线棉织物^[6];采用氧化石墨烯和壳聚糖,通过静电层层自组装技术与低温化学法,得到具有导电性的棉织物^[7]。

目前,石墨烯在纤维及纺织品领域的研究有了初步进展,但主要集中在纤维性能的改善及涂层织物的性能提高方面,而对于石墨烯复合短纤或长丝在针织面料上的应用及性能研究还较少。本文在分析了石墨烯改性锦纶长丝的结构特点的基础上,针对面料综合性能的研究,织造了石墨烯改性锦纶面料及对比产品,研究其物理及热湿性能,并采用数学评价方法对其进行合理评价,为今后石墨烯针织产品的开发提供理论参考。

1 实验

1.1 原料的形貌

本文采用的原料为圣泉集团的石墨烯改性锦纶。图 1 为常规锦纶与石墨烯改性锦纶纤维形貌图。与常规锦纶比,石墨烯改性锦纶表面凹凸不平且均匀分布着小颗粒。这是由于石墨烯在锦纶中出现的集聚现象,即再石墨化现象,部分石墨烯集聚后的尺寸较大,会伸出纤维表面,成为突出的块状颗粒。



(a) 常规锦纶 (b) 石墨烯改性锦纶

图 1 常规锦纶与石墨烯改性锦纶纤维形貌

Fig. 1 Morphology of conventional nylon fiber and graphene modified nylon fiber

1.2 试样准备

不同纱线组分与组织结构会对内衣面料的性能产生不同程度的影响,使得其风格与用途有所不同,如平针添纱组织厚度适中,浮线添纱组织透气性好。选用 55 dtex 生物质石墨烯改性锦纶及 77 dtex 常规锦纶(结合 2050 锦氨包覆纱(20 为 22 dtex 氨纶,50 为 55 dtex 锦纶)、22 dtex 氨纶,采用平针添纱及浮线添纱(3×4 网眼)组织,其中 3 表示一个循环中参加编织的针数,4 表示不编织的针数,使用机号 E28、筒径 45.72 cm 的 SM8-TOP2 MP2 圣东尼单面无缝成型内衣机编织六款试样,下机后水洗定型。织物规格如表 1 所示。

表 1 织物规格参数

Tab. 1 Fabric specification parameters

织物编号	原料	组织	横密/ (纵行·5 cm ⁻¹)	纵密/ (横列·5 cm ⁻¹)	厚度/mm	平方米质量/ (g·m ⁻²)
1	石墨烯改性锦纶+氨纶	平针添纱	100	215	0.83	172.83
2	石墨烯改性锦纶+包覆丝	平针添纱	82	131	0.84	176.54
3	石墨烯改性锦纶+包覆丝	浮线添纱	85	140	0.90	269.00
4	锦纶+氨纶	平针添纱	120	225	0.83	300.63
5	锦纶+包覆丝	平针添纱	98	160	0.84	216.25
6	锦纶+包覆丝	浮线添纱	98	163	0.93	278.78

1.3 仪器与设备

SM8-TOP2 MP2 圣东尼单面无缝成型内衣机(圣东尼(上海)针织机器有限公司),CRE 型拉伸试验仪(上海湘杰仪器仪表),Y522N 型织物耐磨仪(南通宏大仪器),YG 502N 型织物起毛起球仪(温州市大荣纺织仪器),HD-1219 毛细管效应测定仪(昆山海达精密仪器),YG 461E 型数字式透气仪(温州际高检测仪器),YG 601-II 电脑式织物透湿仪(宁波纺织仪器)。

1.4 织物性能测试

根据 FZ/T 70006—2004《针织物 拉伸弹性回复

率试验方法》,采用 CRE 型拉伸试验仪对织物的定伸长力进行测试,测试试样 1~6 的拉伸性能,设置延伸率为 50%,采用等速定伸长拉伸,拉伸速度为 100 mm/min,预加张力 1cN,单次拉伸及反复拉伸 10 次。

根据 GB/T 21196.3—2007《纺织品 马丁代尔法 织物耐磨性的测定 第 3 部分:质量损失的测定》,采用 Y522N 型织物耐磨仪对织物耐磨性能进行测试,试样尺寸为直径 13 cm 的圆,摩擦至设定圈数,记录磨损质量。

根据 GB/T 4802.1—2008《纺织品 织物起毛起

球性能的测定 第1部分:圆轨迹法》,采用 YG 502N 型织物起毛起球仪,加压重锤质量 300 g,尼龙刷 350 转,磨料 350 转,将磨完的面料表面与标准样卡上的面料对比进行评级。每款面料做三次测试实验。若 3 块试样中有 2 块等级相同,则最后结果为多数试样的等级;若 3 块试样等级均不相同,最后结果以中间等级为准。

根据 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》,采用 YG 461E 型数字式透气仪对织物透气性进行测试,设定实验的测试面积为 20 cm²,试样压差为 100 Pa,测试前需要使样品在温度为(20±2)℃,相对湿度(65±2)%的标准大气环境达到平衡,同一样品不同部位测量 10 次,计算平均值。

根据 FZ/T 01071—2008《纺织品 毛细效应试验方法》,实验在(20±2)℃,相对湿度为(65±3)%的标准大气条件下进行,采用 HD-1219 毛细管效应测定仪测量织物 20 min 后的芯吸高度,其中 3 块试样为经向,另外 3 块为纬向。

根据 GB/T 12704.1—2009《纺织品 织物透湿性试验方法 第1部分:吸湿法》,采用 YG601-II 电脑式织物透湿仪分别测试织物工艺正反面的透湿量,温度设定 38℃,湿度 90%。

2 结果与分析

2.1 拉伸回复性能

拉伸力结果如表 2 所示。通过表 2 的数据可看出,石墨烯改性锦纶面料的单次定伸长力值与 10 次拉伸力值都比普通锦纶面料大,因此石墨烯改性锦纶面料的拉伸回复性能更好。试样 3 的横向单次拉伸力约是试样 6 的 2 倍,试样 2 的纵向单次拉伸力约是试样 5 的 3 倍;试样 3 的反复拉伸力值约为试样 6 的 2 倍,其他石墨烯改性锦纶面料的拉伸力值均大于普通锦纶面料。织物的拉伸回复性能除了受线圈

表 2 试样单次及 10 次拉伸力值

Tab. 2 Single and 10 times tensile force value of fabric

织物编号	单次拉伸		反复 10 次拉伸	
	横向/N	纵向/N	横向/N	纵向/N
1	2.6	2.8	3.0	2.7
2	2.7	7.0	4.2	7.3
3	7.1	3.6	19.2	5.4
4	2.0	1.8	2.2	1.9
5	2.5	2.1	3.1	2.1
6	3.2	2.2	7.7	2.2

结构的影响,纱线自身的拉伸及线圈之间、纤维之间的摩擦都会对其有一定的缓冲作用^[8],石墨烯的加入使纤维之间、线圈之间的摩擦力值变大,从而改善了面料的拉伸回复性能。横向拉伸力值略大于纵向拉伸力值,这是由于面料在拉伸过程中沉降弧被拉直,线圈变形,纱线伸长。

2.2 耐磨性能

表 3 为织物的耐磨性测试结果。通过表 3 数据可以看出,石墨烯改性锦纶面料的磨损质量较少,同时加入氨纶的面料磨损质量也较少。为了更加准确地描述耐磨性能,去除各面料在磨前的质量差异,一般采用质量减少率比较织物的耐磨性能,计算公式如下:

$$\text{试样质量减少率}/\% = \frac{G_0 - G_1}{G_0} \times 100 \quad (1)$$

式中:G₀ 为磨损前试样总质量;G₁ 为磨损后试样总质量。

表 3 试样耐磨性数据

Tab. 3 Abrasion resistance data sheet of fabric

织物编号	实验前/mg	实验后/mg	质量减少率/%
1	2 852.32	2 851.06	0.04
2	2 299.20	2 297.08	0.09
3	2 150.24	2 149.32	0.04
4	3 972.56	3 961.46	0.28
5	3 686.46	3 678.46	0.50
6	3 562.48	3 553.88	0.24

从表 3 可以看出,石墨烯改性锦纶织物的质量减少率小于普通锦纶织物,当它们表面的石墨烯锦纶纱线越多时,耐磨性越好。浮线添纱织物的质量磨损率小于平纹添纱织物,浮线添纱织物表面为网眼结构,摩擦面较平纹添纱组织小。石墨烯从纤维表面突出,纤维在磨损时多了颗粒状物质保护,使得石墨烯改性锦纶织物的耐磨性特别突出。加入氨纶的织物质量减少率约为加入包覆丝织物的一半,氨纶不会对耐磨性产生较大的影响,但因为加入氨纶会使织物更加紧密,磨损相对变小。

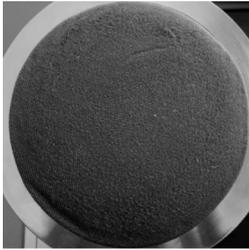
2.3 抗起毛起球性能

表 4 为试样的起毛起球性能测试结果。影响织物抗起毛起球性的因素主要有原料纱线性能、组织结构等。石墨烯改性锦纶面料的起毛起球等级为 3~4 级,普通锦纶面料等级为 2~3 级,如图 2(a) 为试样 2 的起毛起球状态,图 2(b) 为试样 5 的起毛起球状态。石墨烯改性锦纶纱线表面凹凸不平,有颗

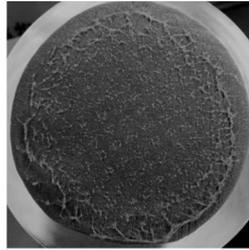
表 4 试样起毛起球性能测试结果

Tab. 4 Pilling performance test results of fabric

织物编号	起毛起球等级/级	起毛起球状态描述
1	3~4	中度起球,球体大、密度大
2	4	轻度起球,球体小、密度小
3	4	轻度起球,球体小、密度小
4	2~3	明显起球,球体大、密度大
5	2~3	明显起球,球体大、密度大
6	3	明显起球,球体大、密度小



(a) 试样2



(b) 试样5

图 2 试样 2、5 的起毛起球状态

Fig. 2 Fluff and pilling of fabric 2 and 5

粒状物质,这些突出颗粒使纱线在摩擦形成球之前断裂,布面起球现象不明显,且纤维被拉出的长度较短,不容易被刷起毛。氨纶面料的起球现象比包覆丝面料稍严重,主要因为氨纶在摩擦过程中易断裂纠结成球。

2.4 透气性能

织物的透气性与纤维及纱线性质,以及织物组织、织物密度等因素有关。表 5 为试样的透气性能测试结果,可看出石墨烯改性锦纶面料的透气率均大于普通锦纶面料。主要是因为纱线的规格较小,编织的织物厚度及面密度等也较小,线圈间空隙比较大。另外,平针添纱面料的透气率较浮线添纱面料的低,氨纶织物的透气率低于包覆丝面料,都是受到线圈之间的空隙影响,布面更加紧密则空气透过织物的阻碍越大。

表 5 试样透气性能测试结果

Tab. 5 Permeability test results of fabric

织物编号	透气率/(mm·s ⁻¹)
1	170.40
2	271.13
3	348.92
4	83.13
5	63.44
6	97.65

2.5 导湿及透湿性能

织物芯吸效应的强弱能够表明织物导湿性能的

好坏,透湿性能则通过面料在空气中吸收和散发水分的多少表示。表 6 为试样导湿及透湿性能测试结果。

表 6 试样导湿及透湿性能测试结果

Tab. 6 Test results of moisture and water vapor permeability of fabric

织物编号	芯吸高度/cm		透湿量/(g·m ⁻² ·(24h) ⁻¹)	
	纬向	经向	工艺正面	工艺反面
1	8.68	12.08	5 177.680	5 474.760
2	18.17	19.00	5 262.560	6 479.173
3	19.00	20.00	5 050.360	6 139.653
4	5.00	5.21	2 857.627	3 098.120
5	5.87	5.90	3 734.720	3 819.600
6	6.41	6.62	3 621.547	4 244.000

从表 6 芯吸高度数据可以看出,石墨烯改性锦纶面料的芯吸高度明显高于普通锦纶面料,这样的差异主要取决于纤维间的间隙,纤维的间隙形成了水分通过的通道,而石墨烯改性锦纶表面的突出颗粒将纤维间的间隙变多,因而石墨烯改性锦纶面料的导湿性能优于普通锦纶面料;经向芯吸高度略高于纬向芯吸高度,因为经向的圈柱形成直线的通道,水分易传递,而纬向纱线形成的通道弯曲,毛细效应减弱;浮线添纱织物芯吸高度略高于平针添纱组织,主要因为平针添纱织物紧密,纱线弯曲较大,从而阻止了水分的传递。

从表 6 的数据还可以看出,石墨烯改性锦纶面料透湿性能更好,面料的工艺反面的透湿量大于工艺正面。水汽通过织物间隙传递,由织物一侧传递至另一侧。石墨烯改性锦纶面料中的长丝表面凹凸不平,拥有较多空隙,透湿性好;面料的透湿量与织物的表层结构有关^[9],工艺正面为圈柱,工艺反面为圈弧,圈柱基本为平直的纱线,圈弧为一段弯曲纱线,因而圈弧形成的反面比表面积更大,水汽更易进入,所以织物工艺反面的透湿量大于工艺正面。

3 综合评价

通常将织物服用性能具体分为物理性能与舒适性,其中物理性能中较重要的性能有织物的拉伸回复弹性、耐磨性和起毛起球性能,主要影响织物的耐穿性能;舒适性中较为重要的性能有透气、透湿和导湿性能,主要影响穿着的舒适度。为探究石墨烯改性锦纶面料的服用性能,采用模糊物元综合评价法。物元分析是介于数学与实验之间的科学研究

方法,将事物、特征及相应量值放在一起研究,可更加贴切地描述事物的变化规律,其结果由欧式贴近度值表示^[10]。

选定指标分别为横向反复弹性回复力值、纵向反复弹性回复力值、质量磨损率、起毛起球级数、透气率、纬向芯吸高度、经向芯吸高度、工艺反面透湿量、工艺正面透湿量,分别对应 C1 ~ C9 来表示各选定指标。以 6 组试样作评价对象,用 j 表示第 j 个试样, i 表示第 i 个特征^[11]。

采用式(2)(3)计算各评价指标的从优隶属度,正指标采用式(2)计算,逆指标采用式(3)计算。选取各项指标的最大值或最小值构建标准模糊物元,计算差平方复合物元,用来判断评价对象的优劣。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

式中: r_{ij} 为从优隶属度, x_{\max} 与 x_{\min} 分别表示各评价指标中的最大值和最小值。

采用变异系数法确定各项评价指标的权重,客观地确定各项性能的重要程度。式(4)表示织物性能的相对变异程度,式(5)表示各指标权重。

$$v_i = \frac{\sigma_i}{x_i} \quad (4)$$

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i} \quad (5)$$

式中: \bar{x}_i 为第 i 个指标的平均值, σ_i 是第 i 个指标的标准差。

权重值计算结果如表 7 所示。

表 7 各项性能的权重值
Tab. 7 Weights of various properties

选定指标	权重
C1	0.193 8
C2	0.121 5
C3	0.177 7
C4	0.041 6
C5	0.131 1
C6	0.118 8
C7	0.114 4
C8	0.046 4
C9	0.054 6

采用式(6)计算出欧式贴近度,评价样本与标准样本的差异,其值越大则差异越小。

$$\rho H_j = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^5 w_i \Delta_{ij}} \quad (6)$$

式中: ρH_j 表示织物欧式贴近度。

六种织物欧式贴近度计算结果如表 8 所示。

表 8 试样的欧式贴近度数据
Tab. 8 Table of European approach degree data

织物编号	ρH_j
1	0.577 7
2	0.836 3
3	0.984 0
4	0.129 4
5	0.119 5
6	0.414 1

加入石墨烯改性锦纶的面料综合性能均高于普通锦纶面料,其中石墨烯改性锦纶与锦氨包覆丝编织的浮线添纱面料的综合性能最好。前三组中织物 3 的欧式贴近度优于织物 1 与织物 2,后三组中织物 6 的欧式贴近度优于织物 4 与织物 5,表明浮线添纱组织面料的综合性能比平针添纱组织面料的综合性能更好。比较织物 1 与织物 2、织物 4 与织物 5 的欧式贴近度,氨纶与包覆丝对各项性能影响最大的是拉伸回复性能,对其他性能的影响较小,因此对欧式贴近度的影响也较小。由此可见,具有良好综合服用性能的石墨烯改性锦纶面料在服装领域的应用前景十分广阔。

4 结 论

本文针对石墨烯改性锦纶进行结构分析,并结合不同原料及组织设计了六种试样,研究了面料的拉伸回复性能、耐磨性、抗起毛起球性能、透气性、导湿性及透湿性能,并对其进行模糊综合评价,得到以下结论:

- 1) 石墨烯改性锦纶的表面凹凸不平,分布着小的块状颗粒。
- 2) 石墨烯改性锦纶面料综合性能良好,具有突出的耐磨性能与热湿舒适性能。石墨烯改性锦纶面料的质量减少率约为普通锦纶面料的 1/6,芯吸高度为普通锦纶面料的 3 ~ 4 倍,同时透湿量为普通锦纶面料的 1.5 ~ 2 倍。
- 3) 石墨烯锦纶面料的服用性能突出,可应用于内衣、T-恤等贴身服装,具有良好的应用前景。

参考文献:

[1] 蒲丛丛,张莉,何建新,等. 石墨烯材料在纺织及其他领

- 域中的应用[J]. 中原工学院学报, 2017, 28(1): 27-30.
PU Congcong, ZHANG Li, HE Jianxin, et al. The application of graphene materials in textile industry and other fields [J]. Journal of Zhongyuan University of Technology, 2017, 28(1): 27-30.
- [2] NOVOSELOV K S, GEIM A K, MOROZOV S V, et al. Electric field effect in atomically thin carbon films [J]. Science, 2004, 306(5696): 666.
- [3] 黎云玉, 郭领军, 秦剑斌. 石墨烯-聚丙烯腈复合纳米纤维的开发及其抗菌性[J]. 合成纤维, 2014, 43(1): 24-28.
LI Yunyu, GUO Lingjun, QIN Jianbin. Preparation of graphene-polyacrylonitrile composite fiber and its antibacterial property [J]. Synthetic Fiber in China, 2014, 43(1): 24-28.
- [4] 于荣荣, 田明伟, 曲丽君, 等. 石墨烯复合纤维与纺织品的功能[J]. 染整技术, 2017, 39(6): 10-15.
YU Rongrong, TIAN Mingwei, QU Lijun, et al. The function of graphene composite fiber and textiles [J]. Textile Dyeing and Finishing Journal, 2017, 39(6): 10-15.
- [5] 曲丽君, 田明伟, 迟淑丽, 等. 部分石墨烯复合纤维与制品的研发[J]. 纺织学报, 2016, 37(10): 170-177.
QU Lijun, TIAN Mingwei, CHI Shuli. et al. Research and development of graphene composite fibers and fabrics [J]. Journal of Textile Research, 2016, 37(10): 170-177.
- [6] 胡希丽, 田明伟, 曲丽君. 基于纳米石墨烯整理的棉织物防紫外线性能分析[J]. 棉纺织技术, 2015, 43(6): 32-36.
HU Xili, TIAN Mingwei, QU Lijun. Ultraviolet-proof property analysis of cotton fabric based on nano-graphene [J]. Cotton Textile Technology, 2015, 43(6): 32-36.
- [7] 胡希丽, 田明伟, 曲丽君. 氧化石墨烯/壳聚糖静电组装棉织物的导电性能[J]. 印染, 2015, 41(18): 1-5.
HU Xili, TIAN Mingwei, QU Lijun. Electrical conductivity of cotton fabric finished with graphite oxide/chitosan via layer-by-layer self-assembly [J]. Dyeing and Finishing, 2015, 41(18): 1-5.
- [8] 翟亚超. 无缝内衣织物拉伸与弹性回复性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2015.
ZHAI Yachao. Investigation on Tensile and Elastic Recovery Properties of Seamless Underwear Knitted Fabrics [D]. Shanghai: Donghua University, 2015.
- [9] 陈晴, 张家琳, 范丽敏. 经编间隔织物的透气性与透湿性[J]. 服装学报, 2017, 2(2): 107-112.
CHEN Qing, ZHANG Jialin, FAN Limin. Air and water vapor permeability of warp knitted spacer fabric [J]. Journal of Clothing Research, 2017, 2(2): 107-112.
- [10] 李鸿吉. 模糊数学基础及实用算法[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
LI Hongji. Fuzzy Mathematics Foundation and Practical Algorithm [M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [11] 于凤娟. 竹炭针织内衣织物服用性能研究与综合评价[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2013.
YU Fengjuan. Research and Comprehensive Evaluation on Wearability of Bamboo-Carbon Knitted Underwear Fabric [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2013.