

石墨烯改性黏胶功能纺织品的性能研究

郭岭岭¹ 张旭东² 王颖¹ 杨楠¹ 陆振乾¹ 冒海燕¹

1. 盐城工学院 纺织服装学院(中国)

2. 江苏东方滤袋股份有限公司(中国)

摘要: 为拓展石墨烯纺织品的生产与应用,开发设计功能性石墨烯改性黏胶织物,研究石墨烯改性黏胶纱线的基本性能,设计纱线的上浆工艺、组织结构及织造工艺,获得3种不同组织结构的石墨烯改性黏胶织物,并测试3种织物的保温性、抗静电性能、抗紫外线性能、透气性、电阻率等。研究表明:将石墨烯材料的功能性运用于机织物中并兼顾组织结构的设计可赋予织物更加优异的性能。

关键词: 石墨烯;黏胶;织物;功能纺织品

Study on performance of graphene-modified viscose functional textile

Guo Lingling¹, Zhang Xudong², Wang Ying¹, Yang Nan¹, Lu Zhenqian¹, Mao Haiyan¹

1. College of Textile & Clothing, Yancheng Institute of Technology, Yancheng/China

2. Jiangsu Dongfang Filter Bag Co., Ltd., Funing/China

Abstract: To expand the production and applications, the functional graphene-modified viscose fabrics were developed, the properties of graphene-modified viscose yarn were researched, and the sizing processes, weaving texture and weaving processes of yarn were designed. The graphene-modified fabrics with different weaving textures were prepared, and the warm retention, antistatic performance, air permeability, electrical resistivity and so on of the three fabrics were tested. The results showed that: the functionality of graphene and combining with the design of weaving textures being applied into the woven fabric can endow the fabric with more excellent performance.

Keywords: graphene; viscose; fabric; functional textile

石墨烯材料作为由碳原子构成的单层片状结构的新材料,具有良好的防紫外线性能、抗静电性能、抗菌、阻燃、导电、耐热、电磁防护和远红外等多种功能^[1-2],被广泛用于材料改性,将石墨烯用于纺织行业具有较大开发价值。石墨烯制备功能性面料成为研究热点,但市售石墨烯纺织品较少,一是由于石墨烯价格昂贵;二是由于生产工艺复杂。学者们对石墨烯材料的研究尚集中在实验室阶段。目前,各种方法制备出的石墨烯纤维的可纺性和可织性仍比较差、成本相对较高^[3],因此限制了石墨烯材料在纺纱和织造方面的开发应用。中科悦达材料科技有限公司经过不

懈努力,不断研究探索,与企业、高校合作,成功纺制出条干均匀、性能优异的石墨烯改性黏胶纱线。

石墨烯材料在纺织领域主要应用于纤维改性和功能性整理。在开发以石墨烯改性纤维为基础的纺织面料时,精准掌握其特性至关重要。这不仅要求纺织品保持原有的各项基本性能,还需融入多种功能特性。研究的目的是研制出能够展现石墨烯独特功能性的纺织产品,同时,充分利用企业的优势资源,精心进行产品设计与研发工作。

本研究首先测试了石墨烯改性黏胶纱线的物化性能,根据纱线的特征选择上浆、织造工艺,并进一步

研究了石墨烯改性黏胶织物的优异性能及其与组织结构的关系。研究可为机织石墨烯改性黏胶面料产品的开发及应用提供一定的参考依据。

1 石墨烯改性黏胶纱线

1.1 纤维形貌

由中科悦达材料科技有限公司提供的石墨烯改性黏胶纤维经新型纺纱技术——紧密纺,纺制成石墨烯改性黏胶紧密纺纱线。

采用 CU-6 型纤维细度仪,在 200 倍下观察石墨烯改性黏胶纤维的纵向形貌,可见纤维表面具有明显的沟壑,见图 1。

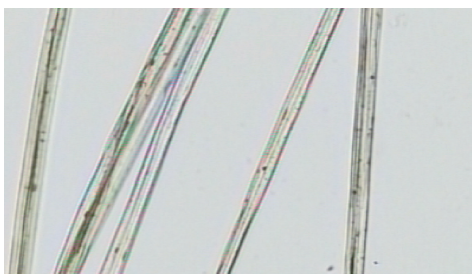


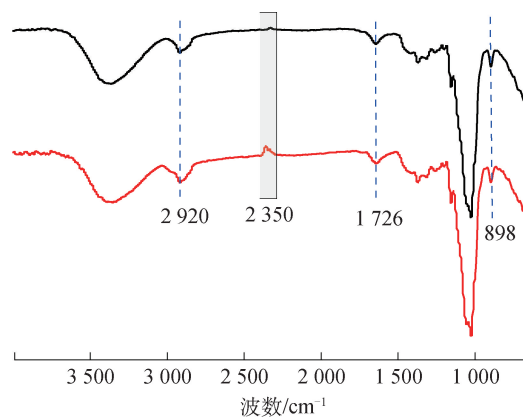
图 1 石墨烯改性黏胶纤维的纵向形貌

1.2 纱线的傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 测试

图 2 为普通黏胶纱线、石墨烯改性黏胶纱线的傅里叶变换红外光谱图。普通黏胶纤维是以自然界的木材、芦苇、棉短绒等纤维素为原料的纺丝溶液,经化学加工制成,而石墨烯改性黏胶纤维是石墨烯材料与黏胶纺丝溶液混合均匀后,经过粉碎处理、黄化处理、溶解处理等多项纺丝工序得到的具有可纺性的纤维材料。普通黏胶纱线的红外光谱分别在 898、1 726、2 920 cm^{-1} 处出现特征峰,这归因于 β -D 葡萄糖苷键特征峰、C=O 的伸缩振动峰、 CH_2 不对称伸缩特征峰^[4-5],与普通黏胶纱线相比,石墨烯改性黏胶纱线在 2 360 cm^{-1} 处出现新的特征峰^[6],这属于氧化石墨烯的含氧特征峰,说明氧化石墨烯存在于改性黏胶纱线中。

1.3 纱线强力

采用 YG(B)021DL 型电子单纱强力仪,以 500 mm/min 的拉伸速度匀速拉伸纱线,夹距为



—普通黏胶纱线 —石墨烯改性黏胶纱线

图 2 纱线的红外光谱图

500 mm,预加张力 12.25 cN,测试石墨烯改性黏胶纱线 5 次,取平均值,结果如表 1 所示。

表 1 石墨烯改性黏胶纱线强伸性能

断裂强力/ cN	断裂强度/ (cN/tex)	断裂伸长率/ %	断裂功/ (cN·mm)
399.2	16.3	10.73	14 372.28

测试可知,石墨烯改性黏胶纱线的断裂强度为 16.3 cN/tex,根据 FZ/T 12003—2006《黏胶纤维本色纱线》,纱线一等品的强度需大于 11.4 cN/tex,因此,测试纱线的强度满足一等品纱线的要求。

1.4 纱线捻度

纱线捻度与纱线的拉伸性能、直径、比体积、毛羽、柔软性与硬挺度具有较为直接的影响。采用 Y331A 型捻线机,按退捻加捻法原理测试石墨烯改性黏胶纱线的捻度和捻度不匀率。在夹持长度为 250 mm 下,测试 10 次,石墨烯改性黏胶纱线的捻回数分别为 140.0、120.7、145.7、121.5、130.6、139.2、141.4、122.3、124.0 和 134.7,根据公式(1),计算纱线的平均捻度(T_t),单位为捻/10 cm。

$$T_t = \frac{\text{捻回数总和}}{\text{夹持长度(mm)} \times \text{试验次数}} \times 100 \quad (1)$$

计算得到石墨烯改性黏胶纱线的平均捻度为 52.80 捻/(10 cm);计算测得的石墨烯改性黏胶纱线的捻度依次为 56.00、48.28、58.28、48.60、52.24、55.68、56.56、48.92、49.6 和 53.88 捻/(10 cm),其中捻度平均值以下的试验有 5 次,求得平均值以下各项的捻度平均值为 49.53 捻/(10 cm),根据公式(2)

计算捻度不匀率。

$$\text{捻度不匀率} = \frac{2(\text{平均捻度} - \text{平均值以下各项的平均值}) \times \text{平均值以下次数}}{\text{平均值} \times \text{试验次数}} \times 100\% \quad (2)$$

经计算,石墨烯改性黏胶纱线的捻度不匀率为 6.19%,因此,石墨烯改性黏胶纱线的质量综合评价为比较好。纱线品质总体尚好。

1.5 纱线毛羽

纱线的毛羽是反映纱线质量的重要检验指标之一,毛羽的伸出长度与数量会直接影响纱线的外观和手感,进而影响纺织品的质量、档次、生产效率及后期的加工工艺。

采用 YG127A 型纱线毛羽测试仪测试石墨烯改性黏胶纱线,并记录相关测试指标——纱线毛羽指数、极差、频数比和 CV 值等。分析测试结果可知:所测石墨烯改性黏胶纱线的毛羽长度集中在 3 mm 及其以下,表明成纱毛羽较短,这种无害毛羽有利于后续的络筒、整经及织造加工。

表 2 石墨烯改性黏胶纱线毛羽测试结果

毛羽长度/mm	极差	频数比/%	毛羽指数	CV 值/%
1	28.00	76.58	137.33	10.33
2	11.00	15.80	28.33	20.07
3	5.00	6.13	11.00	24.05
4	2.00	1.12	2.00	50.00
5	1.00	0.19	0.33	173.21

2 上浆

上浆工序能有效提高纱线的强度,减少纱线的毛羽,提升纱线的耐摩擦性能,保障织造的顺利进行。本试验的浆纱工艺以磷酸酯淀粉为主浆料,浆料配方如表 3 所示,烘房温度控制为 60℃,车速 40 m/min,上浆遵循“低黏度、中浓度、重浸透”的原则,采用中压上浆。

表 3 浆料的配方

浆液配方	用量
磷酸酯淀粉	25 g
聚乙烯醇(PVA)	5 g
丙烯酸	25 g
腊片	2 g
抗静电剂	3 g
水	500 mL

3 织造

在探讨石墨烯改性黏胶织物性能的同时,设计不同的织物组织,探讨组织结构对石墨烯改性黏胶织物性能的影响。试验设计了 3 种织物组织,其总经根数相同,而组织结构存在异同。相同点是均含有平纹组织,不同在于空间结构布局,以研究空间结构对石墨烯改性黏胶织物的影响。3 种组织依次为平纹组织、双层组织和管状组织,图 3 为其组织图。石墨烯改性黏胶织物的上机工艺^[7]参数如表 4 所示。

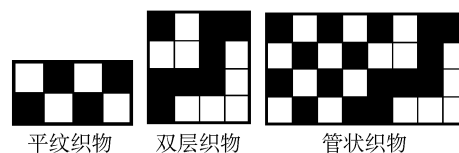


图 3 织物组织图

表 4 石墨烯改性黏胶织物的上机工艺参数

项目	参数
地经穿经顺序	1,2,3,4,5,6,7,8
边经穿经顺序	9,10
钢箱号数/[齿/(10 cm)]	100
每箱穿入数	4
箱幅/cm	20

石墨烯改性黏胶纱线上机规格:经、纬纱线密度为 24.5 tex × 24.5 tex, 经、纬向上机密度为 200 [根/(10 cm)] × 132 [根/(10 cm)],织造完成下机后,平纹组织、双层组织和管状组织织物的经向缩率分别为 3.75%、7.00%和 9.00%,纬向缩率分别为 2.16%、4.30%和 5.00%。将坯布进行碱退浆法处理,具体工艺参数为烧碱质量浓度 7 g/L,去离子水温度 80℃,处理时间 8 min,经水洗净后烘箱烘干。退浆处理后的石墨烯改性黏胶织物柔软平整;各织物的退浆缩率不同,平纹组织、双层组织和管状组织织物的经向缩率分别为 8.5%、12.0%和 13.5%,纬向缩率分别为 4.6%、6.8%和 8.0%;且退浆后的织物厚度不同,平纹织物 0.70 mm,双层织物 0.99 mm,

管状织物 0.92 mm。由测试数据可知,相比平纹织物,双层织物和管状织物的下机缩率、退浆缩率均比较大。这是由于双层组织由上、下两层经、纬纱构成,在总经根数不变的前提下,相较于平纹组织,双层、管状组织空间结构更加立体,间隙增加,织物紧度降低,缩率增加,幅宽减小,织物的厚度略增加,且经碱退浆,织物自由状态下继续收缩,纱线排列更加紧密。

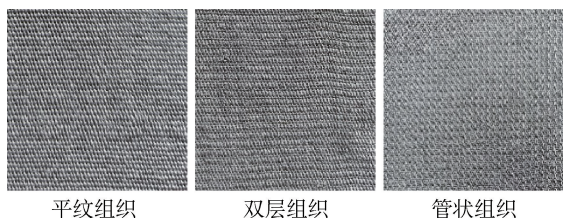


图4 退浆后的石墨烯改性黏胶织物

4 织物性能

石墨烯材料具有优异的物理、化学和生物活性,是目前纺织工业的一个重要发展方向。本文通过测试石墨烯改性黏胶织物的保温性、抗静电性能、防紫外线性能等,研究组织结构对织物性能的影响。

4.1 保温性

采用 YG606 D 型平板式保温仪对制织的平纹织物、双层织物和管状织物进行保温性能测试,试样尺寸均为 30 cm×30 cm。测试结果如表 5 所示。

表5 石墨烯改性黏胶织物的保温性能测试

试样	保温率/%	传热系数/[W/(m ² ·K)]	克罗值/clo
平纹织物	22.31	41.55	0.16
双层织物	19.49	49.29	0.13
管状织物	15.11	67.01	0.10

传热系数越小,说明织物的保温性能越好。由表 5 可知,保温率从大到小依次为平纹织物、双层织物和管状织物。平纹织物的传热系数为 41.55 W/(m²·K),克罗值为 0.16 clo(24.8 m²·K·W⁻¹),显示其具有良好的保暖性。这与平纹组织结构以及石墨烯具有远红外保暖功效密切相关。

4.2 抗静电性能

抗静电性能良好的织物可广泛应用于服装面料,使穿着更为舒适。采用 YG(B)342E 型织物感应式静

电测定仪,测试这 3 种石墨烯改性黏胶织物的静电电压值以及半衰期。试样尺寸均为 4.5 cm×4.5 cm,测试数据见表 6。

表6 石墨烯改性黏胶织物抗静电性能测试结果

试样	静电电压/V	静电半衰期/s
平纹织物	455	5.4
双层织物	466	5.0
管状织物	405	4.8

根据 GB/T 12 703.1—2021《纺织品 静电性能 试验方法第 1 部分:电晕充电法》,由表 6 数据可知,平纹、双层、管状织物的静电半衰期分别为 5.4、5.0 和 4.8 s,均≤10.0 s,说明 3 种石墨烯改性黏胶织物的抗静电效果均为优异。其中,管状织物的静电半衰期最小,这可能与织物组织、经、纬纱线的排列、织物紧度有关。因此,织物的抗静电性能不仅受材料自身性质的影响,还受织物结构的影响。

4.3 防紫外线性能

紫外线的过量照射会对人体的皮肤细胞产生恶劣影响,因此织物的防紫外线性能尤为重要。采用 YG(B)912E 型纺织品防紫外线性能测试仪对 3 种织物进行测试,数据取平均值。3 种织物的测试结果如表 7 所示。

表7 石墨烯改性黏胶织物防紫外线性能测试结果

试样	UV _A 透射比/ %	UV _B 透射比/ %	紫外线防护系数 (UPF)
平纹织物	1.51	1.44	69.54
双层织物	1.27	1.26	80.51
管状织物	0.82	0.84	122.10

按照 GB/T18830—2009《纺织品防紫外线性能的评定》进行评定。由表 7 数据可知,石墨烯改性黏胶织物的 A 波段透射比、B 波段透射比都较小,均小于 5%,紫外线防护系数也达到了 50+,表明石墨烯改性黏胶纱线织制的织物具有一定的屏蔽紫外线的作用。这是由于石墨烯材料不仅能反射大量的光线,而且能吸收紫外线并以热能和荧光等形式消耗掉^[8-9]。因此,石墨烯改性黏胶织物的防紫外线效果优异。不同组织结构的织物的防紫外线^[10]效果不同,这 3 种不同组织织物的防紫外线性能从高到低依次为管状织物>双层织物>平纹织物。这是由于管状织物兼具双层组织的厚度和平纹组织的紧度于一

身,从而可降低织物的孔隙率,提高防紫外线性能。由此可见,石墨烯材料自身的功能性可赋予不同组织结构的织物不同的防紫外线性能。

4.4 透气性

根据 GB/T5453—1997《纺织品 织物透气性的测试》,采用 YG(B)461E 型全自动织物透气性能测试仪测试 3 种石墨烯改性黏胶织物的透气性能,测试压差为 100 Pa,测试面积为 20 cm²,每测试一次,变换一下织物的测试位置,每个试样测试 10 次,求平均值。测试时,平纹织物、双层织物和管状织物适宜的喷嘴大小分别为 04 号(直径为 4 mm)、06 号(直径为 8 mm)和 05 号(直径为 6 mm)。测试结果如图 5 所示。可见双层组织织物的透气率最大,平纹织物的透气率最小。这是因为平纹组织交织点多,总紧度大,气流不易通过,而双层织物是独立的两层面料,其相对稀松,利于空气通过,故透气性能较佳。

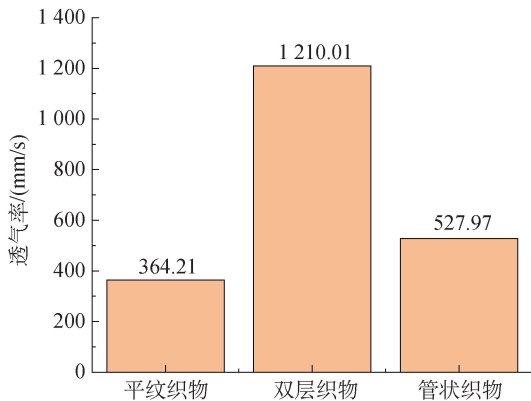


图 5 石墨烯改性黏胶织物的透气性

4.5 电阻率

采用 ZC36 型高绝缘电阻测量仪测试不同组织结构石墨烯改性黏胶织物的表面电阻率、体积电阻率^[11]。体积电阻率按公式(3)计算。

$$\rho_v = R_v \frac{S}{t} \quad (3)$$

式中: ρ_v 为体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$; t 为试样厚度,cm; R_v 为体积电阻, Ω ; S 为圆片电极的有效面积,为 21.237 cm²。

表面电阻率按公式(4)计算。

$$\rho_s = R_s \frac{P}{g} \quad (4)$$

式中: ρ_s 为表面电阻率, Ω ; R_s 为表面电阻, Ω ; P 为圆片电极的周长,为 15.708 cm; g 为圆片电极与圆环电极之间的缝隙,为 0.2 cm。

体积电阻率、表面电阻率的测试结果如表 8 所示。

表 8 石墨烯改性黏胶织物电阻、电阻率的测试结果

试样	$R_v/\text{M}\Omega$	$\rho_v/\text{G}\Omega \cdot \text{cm}$	$R_s/\text{M}\Omega$	$\rho_s/\text{G}\Omega$
平纹织物	38	11.53	820	64.40
双层织物	50	10.73	1 110	87.18
管状织物	33	7.62	650	51.05

由图 6 可知,同一织物其表面电阻率比体积电阻率大;不同组织的织物的体积电阻率、表面电阻率均不相同。对比 3 种织物可知,表面电阻率大小排序为双层织物>平纹织物>管状织物,体积电阻率大小排序为平纹织物>双层织物>管状织物,管状织物的体积电阻率和表面电阻率均优于其他 2 种织物。双层织物的表面电阻率最大,这是因为表面电阻是材料表面薄层的电阻的表征,受材料表面形貌、粗糙情况、表面材料的分布等因素影响^[12]。分析双层组织的结构可知,其经、纬纱在空间结构排列不同,双层组织使织物表面纱线根数相对减少,纱线之间的有效接触程度减少,故表面电阻率增大。平纹织物的体积电阻率最大是由于体积电阻受材料厚度及结构的影响,平纹组织厚度小,纱线屈曲点多,稳态电流流经的数量少。管状组织兼具平纹组织与双层组织的结构,且还含有性能优异的石墨烯材料,因此,管状组织织物具有较好的电阻率。

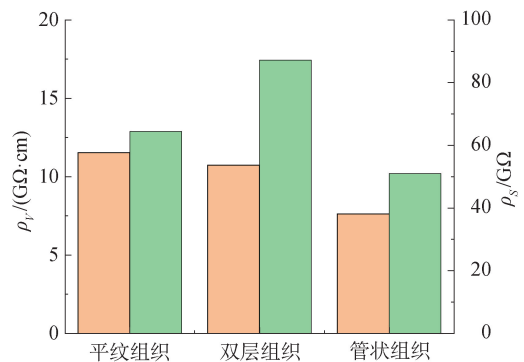


图 6 石墨烯改性黏胶织物的体积电阻率和表面电阻率

5 结语

石墨烯改性纤维技术的成功,为功能性面料的开

发研究提供了新思路。通过研究石墨烯改性黏胶纱线的性能、浆纱工艺,提高织物的可织性,结合石墨烯材料的功能性,设计了不同组织类型的织物,研究组织结构对石墨烯改性黏胶织物性能的影响,这可为柔性可穿戴智能纺织品的开发奠定基础。利用石墨烯材料的功能性,可开发多种功能性织物,从而开拓石墨烯材料在纺织行业的应用前景与市场。相信越来越多的石墨烯纺织品将陆续出现在纺织面料市场上,并逐渐为人们所接受。石墨烯功能性织物将引领纺织材料不断走向高端智能,并逐渐扩大其发展领域。

参 考 文 献

- [1] 胡志良,王蓉,洪杰,等. 石墨烯功能性纤维混纺西装面料的开发[J]. 纺织科技进展,2023(2):42-45.
- [2] 李金茗,吴穗生,杨梅,等. 功能性石墨烯纺织品的应用研究[J]. 化纤与纺织技术,2017;46(1):11-15.
- [3] 高燕,王珊珊,殷雪松. 石墨烯材料在纺织领域中的应用[J]. 黑龙江纺织,2022(1):1-4.
- [4] 胡兴文,马军强,王双成,等. 生物质石墨烯改性黏胶长丝制备与性能研究[J]. 针织工业,2020(2):21-24.
- [5] CHATTERJEE A, KUMAR M N, MAITY S. Influence of graphene oxide concentration and dipping cycles on electrical conductivity of coated cotton textiles[J]. Journal of the Textile Institute,2017,108(11):1910-1916.
- [6] 虞茹芳,洪兴华,祝成炎,等. 还原氧化石墨烯涂层织物的电加热性能[J]. 纺织学报,2021,42(10):126-131.
- [7] 郭岭岭,林洪芹,王淑莉,等. 独幅抽针拼花大提花面料的工艺设计[J]. 毛纺科技,2022,50(7):8-12.
- [8] 张佳沁,房志浩,梁惠娥. 现代服用抗紫外棉织物的制备及光谱分析[J]. 光谱学与光谱分析,2020,40(9):2770-2774.
- [9] 史洋涛,吕思晨,张金珍. 抗紫外与远红外石墨烯机织物的性能研究[J]. 丝绸,2023,60(8):54-60.
- [10] 智一帆,左鑫,许佳,等. 多功能导电石墨烯纺织品的制备[J]. 印染助剂,2021,38(12):23-26.
- [11] 贾高鹏,曾春梅,樊理山. 电极压力变化对针织物电阻的影响[J]. 纺织导报,2014(12):90-92.
- [12] LIU Z L, LI Z, CHENG L, etc. Reduced graphene oxide coated silk fabrics with conductive property for wearable electronic textiles application [J]. Advanced Electronic Materials,2019,5(4) 1800648-1800657.

欢迎订阅 2025 年《产业用纺织品》

《产业用纺织品》(月刊),大 16 开,全彩色印刷,定价 12.00 元/册,全年 144.00 元,中国标准连续出版物号 ISSN 1004-7093,邮发代号 4-492。
CN 31-1595/TS

《产业用纺织品》创刊于 1983 年,由教育部主管,东华大学、全国产业用纺织品科技情报站主办,中国产业用纺织品行业协会协办,东华大学期刊中心编辑出版,月刊,是全国产业用纺织品领域具有权威性的期刊之一;为《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊,已入编中国学术期刊(网络版)、万方数据—数字化期刊群、中文科技期刊数据库、超星期刊出版平台等;多次入编《中文核心期刊要目总览》;入选 RCCSE 中国准核心学术期刊、CACJ 中国应用型扩展期刊;为第五届上海市高校科技期刊案例库特色科技期刊。

秉承“创新、严谨、求实”的办刊作风,《产业用纺织品》致力于建设高质量、高水平一流学术期刊。期刊以产业用纺织品为特色,主要刊登国内外有关产业用纺织品

的综述文章,科研、生产技术报告,报道相关领域的新产品、新材料、新技术及新设备,并介绍相关的专利、标准、测试方法,以及相关领域的行业动态、市场信息等。

2025 年,《产业用纺织品》重点选题方向包括高品质非织造材料、安全防护与应急救援用纺织品、航空航天用高性能纺织品、海洋产业与渔业用纺织品、医疗健康用纺织品、交通运输用纺织品、土工建筑用纺织品、过滤用纺织品等,并欢迎自荐栏目主持人。热忱欢迎国内外产业用纺织行业相关企业工程技术人员、纺织高等院校师生、科研人员等将优秀研究论文发表在《产业用纺织品》上。

《产业用纺织品》承接相关广告,并热诚为客户宣传,欢迎有意者来电或 E-mail 联系。

地 址:上海市延安西路 1882 号

东华大学出版社楼 207 室

电 话:021-62378228

E-mail: techtex@dhu.edu.cn

采编平台: <http://cyyf.cbpt.cnki.net>

