

基于赛络菲尔纺的凉感纱线设计及其服用性能评价

宋均燕¹ 刘 杨¹ 刘 露^{2,3} 关兴敏¹ 康肖楠¹ 李鹏飞^{2,3}

1. 新疆大学 a. 纺织与服装学院, b. 新疆智能与绿色纺织重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830017;
2. 昌吉溢达纺织有限公司, 新疆 昌吉 831199;
3. 新疆棉纺工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830054

摘 要:以新疆长绒棉、4.44 tex/24 F (即 40 D/24 F) 和 2.22 tex/12 F (即 20 D/12 F) 的锦纶全拉伸丝为原料, 设计了常规赛络菲尔纺、棉/锦纶长丝合股、双丝异向包缠、双丝同向包缠和双股赛络菲尔纺等 5 种相同组分配比、不同结构的 11.81 tex 棉/锦纱线, 并织制成单面纬平针织物。通过对纱线及织物相关指标进行分析和研究, 采用 CRITIC 权重赋值法对 5 种织物试样的性能进行模糊综合评价, 结果显示: 5 种纱线结构紧密、表面光洁, 接触瞬间凉感值都大于 0.15 W/cm^2 , 满足凉感织物国家标准要求; 相较于单丝包缠结构, 双丝结构纱线中长丝露出面积更大, 织物接触瞬间凉感更好; 涉及合股工序的赛络菲尔纺纱线兼具结构蓬松、条干均匀、毛羽根数少等优点, 织物凉感性能更具优势, 其中双股赛络菲尔纺纱线织制的织物综合性能最好, 最适用于夏季凉感织物。

关键词: 纱线结构; 赛络菲尔纺; 凉感; 新疆长绒棉; 锦纶长丝; 服用性能

中图分类号: TS106

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2025)09-0035-09

Design of cool-feeling yarns based on Sirofil spinning and evaluation of their wearing performance

Song Junyan¹, Liu Yang¹, Liu Lu^{2,3}, Guan Xingmin¹, Kang Xiaonan¹, Li Pengfei^{2,3}

1. a. College of Textile and Garment, b. Xinjiang Intelligent and Green Textile Lab, Xinjiang University, Urumqi 830017, Xinjiang, China;
2. Changji Esquel Textile Co., Ltd., Changji 831199, Xinjiang, China;
3. Xinjiang Cotton Spinning Engineering Technology Research Center, Urumqi 830054, Xinjiang, China

Abstract: Using Xinjiang long-staple cotton, 4.44 tex/24 F (40 D/24 F) and 2.22 tex/12 F (20 D/12 F) nylon fully drawn filaments as raw materials, five types of 11.81 tex cotton/nylon yarns with the same composition ratio but different structures were designed, including regular Sirofil spinning, cotton/nylon filament plying, double-filament counter-directional wrapping, double-filament co-directional wrapping, and double ply Sirofil spinning. And these yarns were knitted into jersey fabrics. By analyzing and researching the relevant indicators of yarns and fabrics, the CRITIC weight assignment method was used to fuzzy comprehensively evaluate the performance of the five samples. The results showed that the five types of yarns exhibited dense structures and smooth surfaces, with the instant aneous cool-feeling values upon contact all exceeding 0.15 W/cm^2 ,

基金项目: 新疆科技厅重点研发项目(2025B04011-001)

收稿日期: 2025-08-15

作者简介: 宋均燕, 1977 年生, 正高级工程师, 研究方向为纺纱技术, 1505547849@qq.com

meeting the requirements of the national standard for cool-feeling fabrics; compared to the single-filament wrapping structure yarns, the double-filament structure yarns featured a larger exposed area of the filaments, resulting in superior instantaneous cool-feeling upon contact; the Sirofil spinning yarns with a plying process combined the advantages of fluffy structure, uniform evenness, and fewer hairiness, endowing the fabrics with more advantageous cool-feeling performance. Among them, the fabric knitted from the double ply Sirofil spinning yarns had the best comprehensive performance, making it most suitable for summer cool-feeling fabric.

Keywords: yarn structure; Sirofil spinning; cool-feeling; Xinjiang long-staple cotton; nylon filament; wearing performance

随着全球气候的变暖,各地极端天气出现得越来越频繁。如今,夏季高温愈发令人难耐,风扇、空调等设备使用频率显著提高,引发的环境污染问题进一步加剧了当前面临的气候问题^[1]。在此背景下,消费者对夏季服装的要求亦随之提高。轻薄凉爽且透湿透气的服用纺织品可以有效地将热空气和汗液从织物亲肤层与人体之间转移到织物外层,缓解人体体温的升高,进而减少风扇、空调等设备的使用,减轻环境污染压力。

目前,伴随凉感织物生产技术的发展,赋予织物凉感性能的方式主要有采用功能性新材料^[2-3]或对织物进行后整理^[4-5]。丁九阳^[6]通过添加含氮化铝的冰凉母粒,开发出具有良好力学性能且吸湿速干性能达Ⅲ级的超凉感锦纶6全拉伸丝。谢婷等^[7]对凉感聚乙烯长丝加捻,发现当捻度为150 T/m时,凉感聚乙烯长丝纱表现出最佳的吸湿性。申远辉等^[8]将功能化氮化硼/纳米纤维素整理液通过“浸-轧-烘”工艺涂覆到棉织物表面,研究了整理液中氮化硼含量与棉织物性能的关系,并据此开发出热量管理凉感纺织品。乔志洁等^[9]将强捻精梳长绒棉纱与5.5 tex/32 F的Sorona拉伸变形丝交织,开发出纬编凉感面料,并发现该面料的瞬间接触凉感性能良好,且强力和弹性回复性能好,手感柔软,透气性能佳。但新材料的制备及其后整理工艺中通常会使用大量的化学试剂,并存在废水、废气等排放问题^[10]。

因此,从纱线角度出发,设计不同的纱线结构,利用物理方式改变纱线的外观及性能^[11],并对相应织物的凉感性能展开探究,对推动绿色环保凉感纺织品的研发具有重要意义。本研究设计并制备了配比相同但结构不同的5种棉/锦包缠纱线,它们分别

为常规赛络菲尔纺纱、棉/锦纶长丝合股纱、双丝同向包缠纱、双丝异向包缠纱和双股赛络菲尔纺纱,并将它们织成单面纬平针织物,研究纱线结构对织物凉感性能的影响,以期为开发环境友好型夏季凉感织物提供一定的试验基础和理论支撑。

1 凉感纱线的结构设计

1.1 设计原理

夏季服装面料需具备轻薄柔软、透气性好、热湿舒适性^[11]佳,以及一定的接触凉感等特性。因此,在原料选择和纱线结构设计的过程中,需对这些特性进行考虑和分析。

1.2 原料选择与纱线结构设计

本研究基于赛络菲尔纺,采用短纤维和长丝,结合细纱和合股工序,对纱线结构进行设计^[12]。其中,短纤维选用柔长的新疆长绒棉^[13];长丝选用夏季织物常用的锦纶(PA6)长丝,其导热系数高,为0.244~0.337 W/(m·K),相较于常见的涤纶[导热系数为0.084 W/(m·K)]具有明显的导热优势^[14]。纱线中棉与锦纶的质量配比控制在63:37,其中锦纶分别使用4.44 tex/24 F(即40 D/24 F)和2.22 tex/12 F(即20 D/12 F)的全拉伸丝(FDY)。

为满足夏季织物凉感性能的需求,纱线需具备结构紧密、表面光洁等特性。而赛络菲尔纺^[15](Sirofil spun)技术能够兼具短纤维和长丝2类纤维的特性,制备的纱线与传统纺纱工艺制备的纱线相比,结构紧实、表面光洁,且毛羽根数少^[16-17]。本研究设计并制备了5种配比相同但结构不同的纱线,并通过捻度调整试验最终确定,单纱为Z捻向、合股为S捻向,以免经赛络菲尔纺成纱后纱线因长丝

和短纤长度差异而出现断裂不同步的问题。

5 种纱线的制备流程及所得纱线结构如图 1 所示:制备 1[#]试样时,锦纶长丝束经细纱机前皮辊喂入,与棉须条在三角区汇合后加捻成纱。制备 2[#]试样时,先纺制棉细纱,再将棉细纱与锦纶长丝束合股。合股时,棉纱因解捻变得蓬松,同时与锦纶长丝束合股,形成锦纶长丝束被棉纤维部分包裹的结构。制备 3[#]试样时,先利用赛络菲尔纺制棉/锦细纱,然后与另一根锦纶长丝束并合后反向加捻。合股

时,第 1 根长丝会因解捻而舒展伸长,第 2 根长丝会因加捻而缩短并嵌入纱线内部,形成棉纤维突出纱线表面,同时锦纶长丝束在外层呈网状包缠棉须条的特殊芯鞘结构。制备 4[#]试样时,2 根长丝与棉须条同时、同捻向经由细纱机纺成。长丝从棉须条两侧喂入加捻三角区,棉须条置于中间,一次加捻成纱。制备 5[#]试样时,先各自纺制赛络菲尔纺纱,再将 2 根并合后反向加捻。由于有长丝的束缚,所有涉及合股工序的试样其纵向皆呈波浪状。

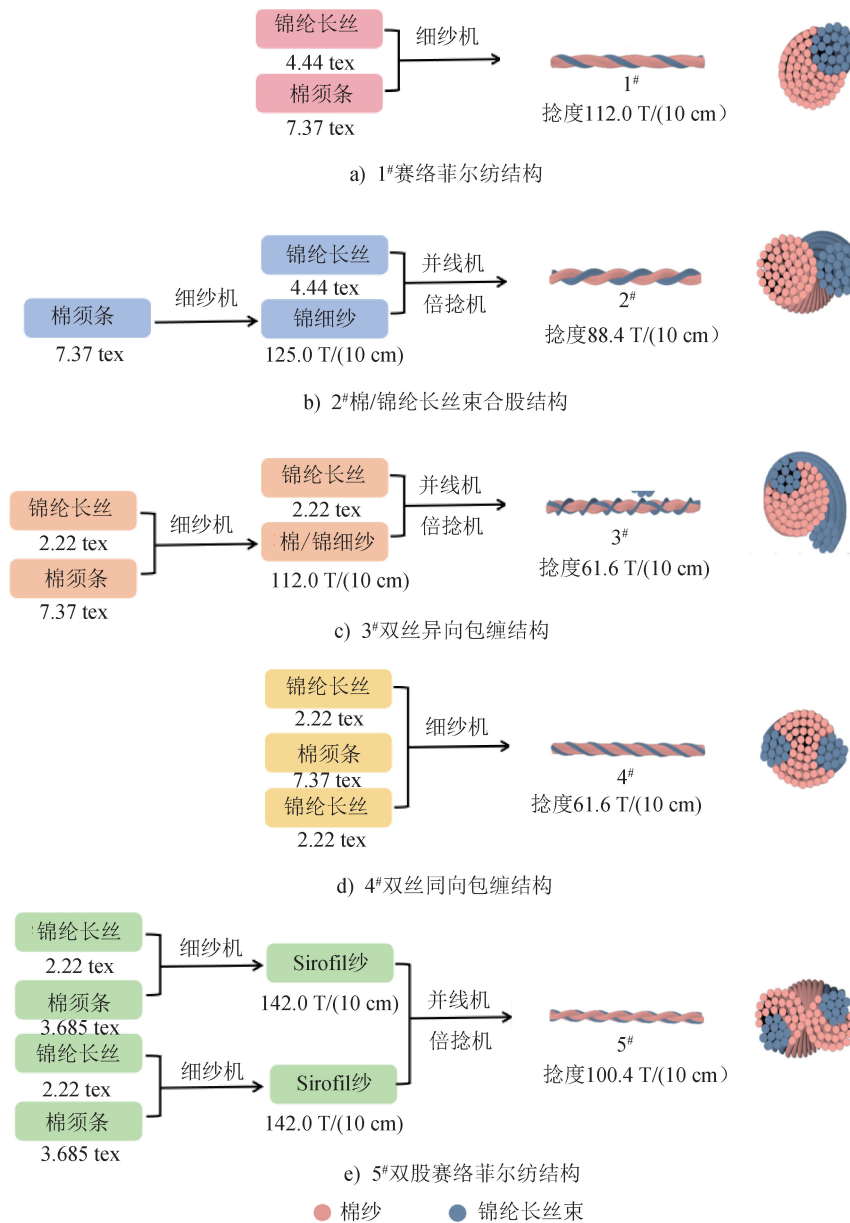


图 1 5 种纱线的制备流程及结构

Fig. 1 Preparation process and structure of five types of yarns

然后使用 WD/2.1F-ZJ-S4R 型单面针织机,将 制备的 5 种纱线加工成夏季常见的单面纬平针织

物,对应编号分别为 F1[#]~F5[#]。设置针织物的横密为 83.5 线圈/(5 cm),纵密为 105 线圈/(5 cm)。

2 测试与表征

2.1 纱线测试

采用 SEM3100 型台式扫描电子显微镜观察纱线纵向表面。纱线经喷金处理后,放置于扫描电子显微镜下观察,放大倍数为 200。

夏季凉感织物用纱线主要表征内容为条干光洁程度和纱线蓬松状态,对应的指标为毛羽根数和纱线体积密度。本研究参照 GB/T 3292.1—2008《纺织品 纱线条干不匀试验方法 第 1 部分:电容法》,使用乌斯特 UT6-S800/A 型全自动条干仪,测试纱线条干、毛羽根数和纱线体积密度。

2.2 织物测试

夏季凉感织物主要表征内容为服用舒适性,对应的指标有织物厚度、透气性、热湿舒适性(热阻湿阻)及瞬间凉感性能等。

2.2.1 厚度

参照 GB/T 3820—1997《纺织品和纺织制品厚度的测定》,使用 YG141H 型测厚仪测量织物的厚度。

2.2.2 透气性

参照 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》,使用 YG(B)461E 型数字式织物透气性能测试仪测量织物的透气率。

2.2.3 热湿舒适性

参照 GB/T 11048—2018《纺织品 生理舒适性稳态条件下热阻和湿阻的测定(蒸发热板法)》,使用 YG(B)606G 型热阻湿阻测试仪测量织物的热阻和湿阻。

2.2.4 瞬时凉感性能

参照 GB/T 35263—2017《纺织品 接触瞬间凉感性能的检测和评价》,使用 KES-QM 型织物凉感测试仪测试织物的瞬时凉感性能。将热检测板以一定压力接触试样时的最大热流密度定义为接触瞬间凉感值(q_{\max})。当载样台和热检测板的温差为 15℃时,若 $q_{\max} \geq 0.15 \text{ W/cm}^2$,则判定试样具有接触瞬间凉感性能。

3 结果与分析

3.1 纱线外观

图 2 所示为 5 种纱线外观形态的 SEM 照片。从 5 种纱线中均可见棉纤维和锦纶长丝束 2 种纤维,5 种纱线的纵向结构有明显差异。其中,2[#]、3[#]及 5[#]纱线的纵向均为波浪状且表面较为平整光洁,这与合股时捻向与单纱捻向相反,单纱发生解捻,纤维间抱合减弱,单纱结构变得蓬松,棉纤维向外膨出,同时锦纶长丝束包缠在纱线表面有关。

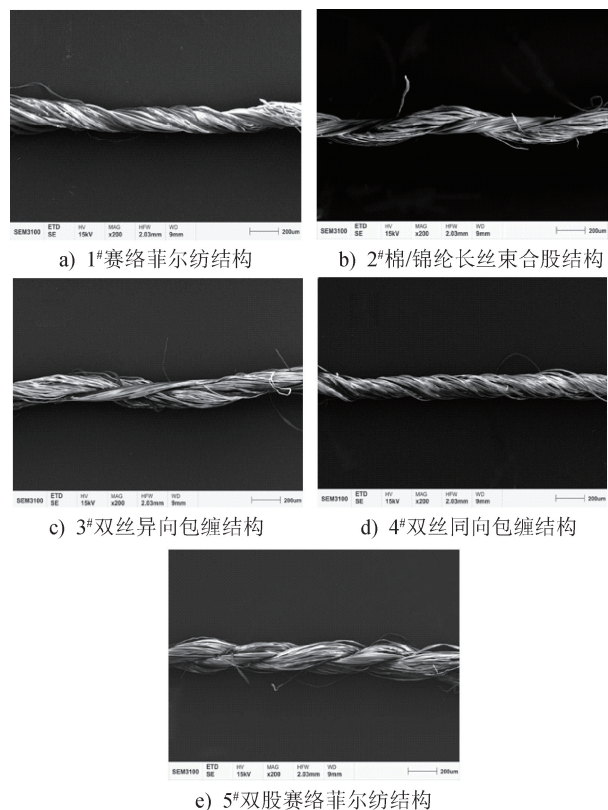


图 2 纱线外观形态的 SEM 照片

Fig. 2 SEM images of yarn appearance morphology

3.2 纱线物理性能

测得 5 种纱线的线密度、纱线条干 CV 值、毛羽根数和纱线体积密度等结果如表 1 所示,可以看出:5 种纱线实测线密度相近,极差为 0.21 tex,5 种纱线的最大实测线密度差异不大于 2%,线密度偏差控制较好。可得出,各纱线及其织物性能差异主要源于纱线结构的不同。

表 1 纱线物理性能测试结果

Tab. 1 Test results of yarn physical properties

试样编号	纱线结构	线密度/ tex	条干 CV 值/ %	毛羽根数/[根·(100 m) ⁻¹]		纱线体积密度/ (g·cm ⁻³)
				S _{1+2u}	S _{3u}	
1 [#]	赛络菲尔纺	12.07	9.60	6 343	969	0.66
2 [#]	棉/锦纶长丝束合股	11.92	9.06	5 561	640	0.54
3 [#]	双丝异向包缠	11.86	9.01	2 054	78	0.52
4 [#]	双丝同向包缠	11.95	8.62	3 776	423	0.71
5 [#]	双股赛络菲尔纺	12.02	7.80	3 556	630	0.51

3.2.1 条干 CV 值

条干 CV 值是衡量纱线质量的一个重要指标,它会直接影响制成织物的外观和性能。本研究制备的 5 种纱线试样都具有赛络菲尔纺结构纱线表面光洁、条干均匀的特点,条干 CV 值从大到小依次为 1[#]、2[#]、3[#]、4[#]、5[#]。

分析可知:相较于单丝结构的纱线,双丝结构的纱线中锦纶长丝束对棉须条包缠更充分,纱线结构更均匀;合股的纱线也具备条干均匀的优势。5[#]试样综合了双丝结构和合股工艺的优势,条干均匀度最好。

3.2.2 毛羽根数

毛羽会在纱线及织物表面形成含空气的毛羽层,进而影响织物的相关性能。测试结果显示:S_{1+2u}(即 100 m 纱线中所有 1 mm 和 2 mm 长度级别内的毛羽纤维数量之和)从大到小依次为 1[#]、2[#]、4[#]、5[#]、3[#],S_{3u}(即 100 m 纱线中所有 3 mm 及 3 mm 以上长度级别的毛羽纤维数量之和)从大到小依次为 1[#]、2[#]、5[#]、4[#]、3[#]。

分析可知:受长丝包缠影响,双丝结构的纱线即 3[#]、4[#]及 5[#]试样的毛羽根数相较于单丝结构的纱线

有所减少;合股的纱线因单纱发生了解捻,棉须条蓬松并向外突出,加之合股时纱线发生了摩擦,导致毛羽增多,但赛络菲尔纺结构的单纱合股时因有长丝的束缚,毛羽根数相对略少。3[#]试样由于表面被 2 根长丝呈网状包缠,捻度高,毛羽根数最少,尤其是 S_{3u} 减少明显。

3.2.3 纱线体积密度

纱线体积密度可以直观表征纱线的蓬松程度,5 种试样的纱线体积密度为 4[#]>1[#]>2[#]>3[#]>5[#]。

分析可知:4[#]试样加捻时,其中的 2 根长丝因捻缩而将棉须条紧密包缠,纱线体积密度最大;合股试样因反向加捻导致纱线中的棉须条解捻而变得蓬松,纱线体积密度减小;5[#]试样因棉须条和 2 根长丝均发生了解捻,捻度最低,结构最蓬松,纱线体积密度最小。

3.3 织物性能

鉴于织物凉感性能主要受纱线蓬松程度与织物蓬松程度的综合影响,本研究将对 5 种纱线制成织物的厚度、透气性、热湿舒适性、瞬时凉感性能等进行测试,结果如表 2 所示,并将测试结果与纱线毛羽根数、纱线体积密度、织物体积密度进行相关性分析。

表 2 织物性能测试结果

Tab. 2 Test results of fabric performance

试样编号	纱线结构	织物厚度/ mm	取样 质量/g	织物体积密度/ (g·cm ⁻³)	透气率/ (mm·s ⁻¹)	热阻/ (m ² ·K·W ⁻¹)	湿阻/ (m ² ·Pa·W ⁻¹)	瞬间凉感/ (W·cm ⁻² ·s ⁻¹)
F1 [#]	赛络菲尔纺	0.499	1.130	0.200 3	1 578	0.046 3	2.804	0.177
F2 [#]	棉/锦纶长丝束合股	0.491	1.133	0.204 2	2 404	0.040 2	2.657	0.161
F3 [#]	双丝异向包缠	0.392	1.129	0.254 8	2 207	0.036 9	2.328	0.185
F4 [#]	双丝同向包缠	0.442	1.129	0.226 0	1 816	0.038 6	2.213	0.181
F5 [#]	双股赛络菲尔纺	0.410	1.131	0.244 0	2 719	0.041 4	2.529	0.194

3.3.1 织物厚度

织物厚度是日常分辨夏季织物凉感性能最直观的指标之一。根据表 2 可知,5 种织物厚度表现为

F1[#]>F2[#]>F4[#]>F5[#]>F3[#]。由图 3 的相关性热图可知:织物厚度与毛羽根数呈正相关,其中与 S_{3u} 的相关性相对较弱;与纱线体积密度呈正相关;与织物体

积密度呈完全负相关。

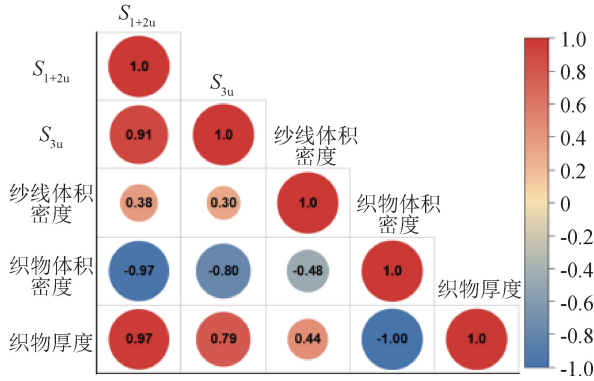


图3 织物厚度相关性热图

Fig. 3 Correlation heatmap of fabric thickness correlation

分析可知:较多的毛羽会在织物表面及内部形成毛羽层,导致织物厚度增大,但过长的毛羽会倒伏,因此 S_{3u} 对织物厚度的影响相对较小;纱线体积密度越大,则纱线的抗弯刚度越大,织造形成的线圈越立体,织物厚度增大;织物体积密度越小,织物孔隙率越高,织物厚度越大。

F3[#]、F4[#]和 F5[#]织物中纱线为双丝结构,其中的长丝对棉须条束缚程度高,致使毛羽根数少,纱线体积密度大,织物厚度值小,其中 F3[#]织物厚度最小。

3.3.2 织物透气性

织物内外层空气流通可以促进人体表面热量的散失与水气的蒸发,使人体清爽舒适,因此透气率是开发夏季凉感织物时考量的一个重要因素。根据表2可知,5种织物的透气率表现为 F5[#]>F2[#]>F3[#]>F4[#]>F1[#]。根据图4的相关性热图可知:织物透气率与毛羽根数的相关性弱;与纱线体积密度呈负相关,且相关性最强;与织物体积密度呈正相关。

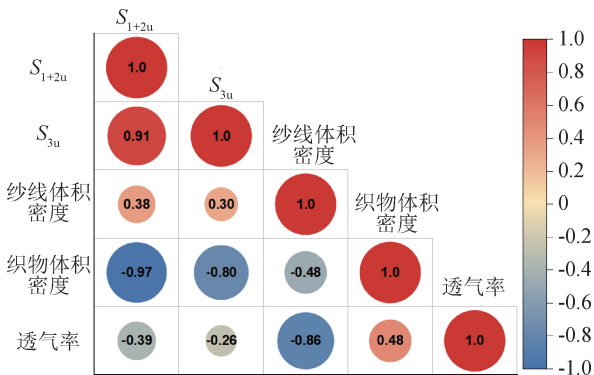


图4 织物透气性相关性热图

Fig. 4 Correlation heatmap of fabric air permeability correlation

分析可知:毛羽的存在会对织物内空气的流通造成一定的阻碍,大量的毛羽在纱线之间的间隙中伸出,形成了一个错综复杂的三维“毛羽网络”。这个网络会迫使空气流线变得更加弯曲、迂回,进而增加了流动阻力,降低了透气效率,因此毛羽根数与织物透气性呈负相关;而纱线体积密度方面,其值越小,则纱线结构越蓬松,纱线内部纤维间间隙越多,透气率越大。

2[#]、3[#]和 5[#]纱线在合股过程中发生了解捻,纱线结构蓬松,故制成的织物透气率大,其中 F5[#]织物的透气性最好。

3.3.3 织物热湿舒适性分析

热阻、湿阻可表征织物的热湿舒适性。夏季凉感织物应满足保暖率低、无闷汗感等特点,因此热阻和湿阻值均以较小为宜。

据表2的数据可知,5种织物的热阻值为 F1[#]>F5[#]>F2[#]>F4[#]>F3[#]。根据图5的相关性热图可知:织物热阻与毛羽根数呈正相关,且相关性最强,尤其是 S_{3u} ;与纱线体积密度相关性弱;与织物体积密度呈负相关。

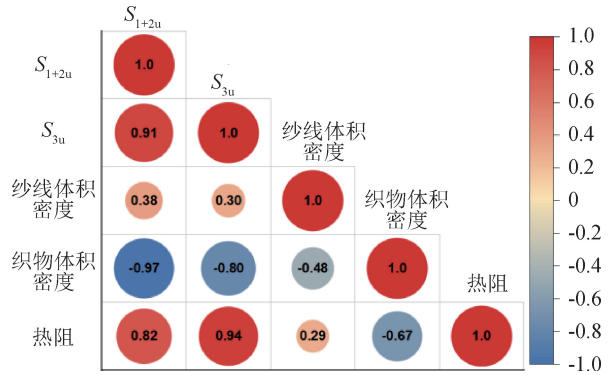


图5 织物热阻相关性热图

Fig. 5 Correlation heatmap of fabric thermal resistance correlation

分析可知:较多毛羽形成的空气层可以提高织物的热阻值,使织物更保暖,且毛羽越长,影响越显著;纱线体积密度小,纱线结构蓬松,纤维间静止空气含量高,织物热阻值提升;织物体积密度大,织物紧密,内部静止空气的含量低且分散,对热阻值影响大。另外,从材料导热系数角度考虑,导热系数高的锦纶长丝束充分分布于织物表面时,有利于热量的吸收与扩散,热阻值减小。

另根据表2可知湿阻值的表现为 F1[#]>F2[#]>

$F5^\# > F3^\# > F4^\#$ 。根据图 6 的相关性热图可知:湿阻与毛羽根数呈正相关,且相关性最强;与纱线体积密度相关性弱;与织物体积密度呈负相关。

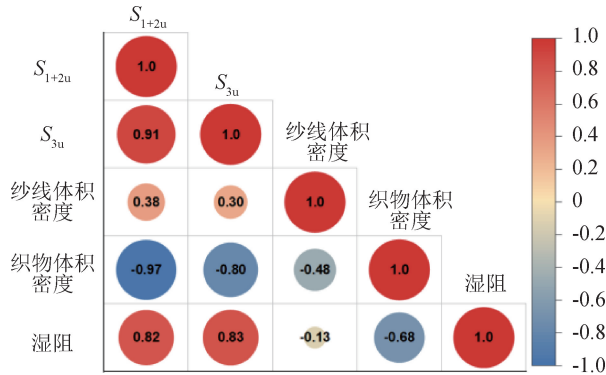


图 6 织物湿阻相关性热图

Fig. 6 Correlation heatmap of fabric moisture resistance correlation

分析可知:毛羽会阻碍空气流通,并因含有大量羟基等亲水基团而吸收和保留部分水分子,增大织物湿阻;湿阻测试时,由于无气流压力,纱线体积密度与织物透湿性相关性弱;织物体积密度小,织物结构蓬松,内部孔隙大,有利于织物透湿。此外,锦纶为疏水材料,当锦纶长丝束充分包覆在纱线表面时,湿阻值偏大。

3[#]和 4[#]纱线为双丝包缠结构,长丝包覆程度高、毛羽少、表面光洁,故热阻值和湿阻值小,热湿舒适性好。其中,F3[#]织物导热性最好,F4[#]织物透湿性最好。

3.3.4 织物瞬间凉感分析

接触瞬间凉感反映的是人体接触低于体温的织物时,织物吸收皮肤表面的热量,人体因热量快速散失、温度即刻降低而获得凉爽感受。 q_{max} 越大,人体在高温环境中越能获得凉爽舒适感。根据表 2 可知,本研究制备的 5 种织物皆满足 $q_{max} \geq 0.15 \text{ W/cm}^2$,均具有接触瞬间凉感性能,且 q_{max} 表现为 $F5^\# > F3^\# > F4^\# > F1^\# > F2^\#$ 。根据图 7 的相关性热图可知:织物瞬间凉感与 S_{1+2u} 呈负相关、与 S_{3u} 相关性弱;与纱线体积密度相关性弱;与织物体积密度呈正相关,且相关性最强。

织物瞬间凉感主要受织物紧密程度、光洁程度及表面材料导热系数影响。分析可知:毛羽根数多,人体接触织物表面时先接触到包含空气的毛羽层,织物瞬间凉感值降低;织物体积密度越大,结构越紧密,纱线间孔隙越小,人体接触到的织物面积会更

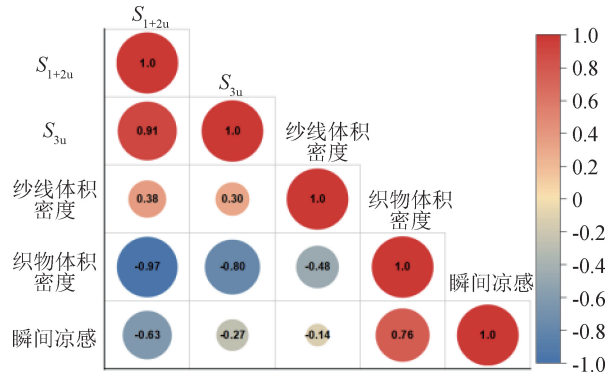


图 7 织物瞬间凉感相关性热图

Fig. 7 Correlation heatmap of fabric instantaneous cool-feeling correlation

大,当导热系数高的锦纶长丝束更多地分布于纱线表层时,织物瞬间凉感值更高。

相较于单丝结构纱线,双丝包缠结构的纱线毛羽更少、锦纶长丝束分布在表面的更多,相应织物的 q_{max} 值更大。本研究中,F5[#]织物的 q_{max} 值最大,织物瞬间凉感性能最优。

4 夏季织物凉感性能综合评价

由于评价织物凉感性能参考的因素较多,故无法仅通过前文的指标对比分析确定纱线结构的选择。本研究将对 5 种相同组分配比、不同纱线结构的织物的凉感性能进行综合评价,以获得样本优劣排序,为凉感功能面料的开发提供参考。研究采用 CRITIC 权重赋值法^[18]进行模糊综合评价。CRITIC 权重赋值法是一种不受主观因素影响,只由数据驱动的、客观的赋权方法,以评价指标的变异性和评价指标间的冲突性作为标准进行计算。

4.1 单因素矩阵的建立

首先建立因素集 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$,其中 $U_1 \sim U_5$ 分别为织物的厚度、透气率、热阻、湿阻和织物瞬间凉感值。以 5 种相同组分配比、不同纱线结构的织物作为评价对象,输入原始数据,根据单因素评判得到评判矩阵 R_0 :

$$R_0 = \begin{bmatrix} 0.499 & 1.578 & 0.046 & 0 & 2.804 & 0.177 \\ 0.491 & 2.404 & 0.040 & 2 & 2.657 & 0.161 \\ 0.392 & 2.207 & 0.036 & 9 & 2.328 & 0.185 \\ 0.442 & 1.816 & 0.038 & 6 & 2.213 & 0.181 \\ 0.410 & 2.719 & 0.041 & 4 & 2.529 & 0.194 \end{bmatrix}$$

4.2 建立模糊综合评价变换矩阵

由于各性能指标的量化标准不同,故需先对评判矩阵 $R_0 = (a_{ij})_{n \times m}$ 中的原始测试数据进行标准化处理,得到综合评判变换矩阵 $R_1 = (z_{ij})_{n \times m}$ 。织物厚度、热阻和湿阻的数值越小,对应的性能越佳,原始测试数据 a_{ij} 按式(1)进行标准化处理;透气率和瞬间凉感值越大,对应的性能越佳,原始测试数据 a_{ij} 按式(2)进行标准化处理。

$$z_{ij} = \frac{\max(a_j) - a_{ij}}{\max(a_j) - \min(a_j)} \quad (1)$$

$$z_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_j)}{\max(a_j) - \min(a_j)} \quad (2)$$

其中: a_{ij} 表示第 i 个样本在第 j 个指标上的原始值; z_{ij} 是标准化后的值,数值范围为 $[0, 1]$ 。

经标准化处理后,得到的综合评判变换矩阵 R_1 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0.48 \\ 0.07 & 0.72 & 0.65 & 0.25 & 0 \\ 1.00 & 0.55 & 1.00 & 0.81 & 0.73 \\ 0.53 & 0.21 & 0.82 & 1.00 & 0.61 \\ 0.83 & 1.00 & 0.52 & 0.47 & 1.00 \end{bmatrix}$$

4.3 计算权重

用标准差 σ_j 表示 j 项指标的对比性:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_{ij} - \bar{z}_j)^2} \quad (3)$$

计算指标间的皮尔逊相关系数矩阵 $R = (r_{jk})_{m \times m}$, 其中, r_{jk} 为指标 j 与指标 k 的皮尔逊相关系数:

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - \bar{z}_j)(z_{ik} - \bar{z}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - \bar{z}_j)^2 \sum_{i=1}^m (z_{ik} - \bar{z}_k)^2}} \quad (4)$$

其中: \bar{z}_j, \bar{z}_k 分别是第 j 个指标和第 k 个指标在所有样本上标准化值的平均值。

不同指标之间的相关程度用冲突性表示。设指标 j 的冲突性为 f_j :

$$f_j = \sum_{i=1}^m (1 - |r_{jk}|) \quad (5)$$

标准差反映指标间的独立性。其值越大,表明信息重叠越少。

综合标准差与冲突性,计算指标 j 的信息量 c_j :

$$c_j = \sigma_j \cdot f_j \quad (6)$$

权重 w_j 由信息量占比决定:

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{j=1}^n c_j} \quad (7)$$

根据式(7)计算得到权重矩阵:

$$W = [0.143, 0.271, 0.179, 0.189, 0.218]^T \quad (8)$$

4.4 模糊综合评价矩阵的确定

模糊综合评价矩阵 B 通过权重矩阵 W 和综合评判变换矩阵 R_1 获得。模糊综合评价值越大,则透气性和热湿舒适性越好。其计算式:

$$B = R_1 \times W \quad (9)$$

代入计算得:

$$B = [0.105, 0.369, 0.783, 0.601, 0.790]^T \quad (10)$$

根据模糊综合评价,5种织物的凉爽性能排序为 $F5^\# > F3^\# > F4^\# > F2^\# > F1^\#$, 可知5种相同组分配比、不同结构纱线制备的织物中, $F5^\#$ 在综合性能上具有一定优势,说明纱线采用双股赛络菲尔纺结构可以赋予织物良好的凉爽性能,满足织物热湿管理与调节需要,该种纱线在环境友好夏季服用纺织品应用领域具有一定的发展前景。

5 结论

本文选用纤维柔长的新疆长绒棉和导热系数高的锦纶长丝束为原料,以赛络菲尔纺结构为基础,设计并制备了5种线密度相同、组分配比相同但结构不同的纱线,并织制成单面纬平针织物,通过对纱线及织物的凉感相关性能进行测试和分析,得出结论:

(1) 以赛络菲尔纺结构为基础设计的5种纱线均具备结构紧密、表面光洁等特点,5种织物均满足国标对凉感织物的要求 (q_{\max} 值 $\geq 0.15 \text{ W/cm}^2$), 适用于夏季凉感织物的开发。

(2) 双丝结构纱线相较于单丝结构,长丝露出纱线表面的面积更大,功能性体现更明显,织物的瞬间凉感性能更好。

(3) 涉及合股工序的纱线因存在反向加捻工序,纱线结构更蓬松、透气性更好。相较于纯棉单纱,涉及合股的赛络菲尔纺结构单纱因有长丝的束缚,其股线兼具纱线体积密度小、结构稳定、表面光

洁等特点,用其织制的织物热湿舒适性和瞬间接触凉感更佳。

(4)综合分析得出,双股赛络菲尔纺纱线最适合用于制备夏季凉感织物。后续还可以结合环保材料及织物结构,进一步提升织物的凉感性能。



期刊采编平台

中国知网下载

参考文献

- [1] MIKHAYLOV A, MOISEEV N, ALESHIN K, et al. Global climate change and greenhouse effect [J]. Entrepreneurship and Sustainability Issues, 2020, 7 (4): 2897-2913.
- [2] 李栋. “白石墨烯”的制备及其对黏胶纤维性能的影响[J]. 合成纤维, 2023, 52(6): 20-23.
- [3] 谢婷, 钱娟, 张佩华. 凉感聚乙烯纤维在凉爽功能纺织品中的应用与展望[J]. 产业用纺织品, 2021, 39 (6): 1-7.
- [4] 王荣, 俞金林. 吸湿凉爽羊毛混纺面料的开发[J]. 毛纺科技, 2024, 52(6): 34-38.
- [5] SONG Y N, LEI M Q, DENG L F, et al. Hybrid metamaterial textiles for passive personal cooling indoors and outdoors [J]. ACS Applied Polymer Materials, 2020, 2(11): 4379-4386.
- [6] 丁九阳. 凉感聚乳酸纤维与织物的制备及性能研究 [D]. 上海: 东华大学, 2023.
- [7] 谢婷, 钱娟, 张佩华. 凉感聚乙烯长丝的性能研究 [J]. 国际纺织导报, 2021, 49(4): 1-4.
- [8] 申远辉, 宋馥繁, 杨雷, 等. 氮化硼/纳米纤维素改性凉感棉织物制备及其性能[J]. 现代纺织技术, 2025, 33(8): 52-58.
- [9] 乔志洁, 李天剑, 钱娟, 等. 强捻精梳长绒棉纱及其纬编凉感面料的性能[J]. 国际纺织导报, 2022, 50 (1): 20-23.
- [10] UDDIN F. Environmental hazard in textile dyeing wastewater from local textile industry [J]. Cellulose, 2021, 28(17): 10715-10739.
- [11] 刘叶, 储子晴, 徐广标, 等. 印花织物持续凉感性能评价及影响因素分析[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2024, 50(4): 9-15.
- [12] SONG J, SU X Z, LIU X J. Study on shape retention properties of filament/staple fiber composite yarns and fabrics [J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2019, 31(6): 790-801.
- [13] 董晓宇, 贾冬, 阿依达娜·阿衣本, 等. 近几年新疆长绒棉的质量变化[J]. 棉纺织技术, 2022, 50(4): 49-51.
- [14] 张大为. 姚穆教授主编的《纺织材料学》(第二版) 名列中文纺织类高被引图书榜首[J]. 西安工程大学学报, 2018, 32(5): 524.
- [15] KHURSHID M F, ASLAM S, ALI U, et al. Comparative analysis of siro yarn properties spun on ring and pneumatic compact spinning systems [J]. Industria Textila, 2017, 68(4): 245-249.
- [16] 刘帅, 郭晨宇, 陈鹤文, 等. 赛络菲尔包缠纱结构建模分析与性能优化[J]. 纺织学报, 2023, 44(4): 63-69.
- [17] PENG Z Y, LI W, CHEN Z, et al. Controlling the fiber stress distribution with variable-frequency step roll for tunable spun yarn structures [J]. Polymers, 2023, 15 (13): 2974.
- [18] LIANG H, WU M, JIA X L, et al. Comprehensive evaluation of soil improvement benefits of biological retention facilities based on AHP-CRITIC [J]. Buildings, 2024, 14(3): 780.

(上接第 27 页)

- [64] SHU Q, HU T, XU Z, et al. Non-tensile piezoresistive sensor based on coaxial fiber with magnetoactive shell and conductive flax core [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2021, 149: 106548.
- [65] ZHANG J Z, LIU J, ZHAO Z Y, et al. A facile scalable conductive graphene-coated *calotropis gigantea* yarn [J]. Cellulose, 2022, 29(6): 3545-3556.
- [66] LIU J G, ZHANG J Z, LIU J, et al. A scalable flexible strain sensor with adaptive response capability to varying microenvironments for digital healthcare [J]. Composites Science and Technology, 2025, 261: 111034.