

DOI: 10.13475/j.fzxb.20171204906

基于原色纤维混配色织物的呈色特性与影响因素分析

袁理^{1,2}, 代乔民³, 付顺林³, 郑力文¹, 鄢煜尘⁴

(1. 武汉纺织大学 电子与电气工程学院, 湖北 武汉 430200; 2. 武汉纺织大学 湖北省纺织新材料与先进加工技术省部共建国家重点实验室培育基地, 湖北 武汉 430200; 3. 武汉纺织大学 纺织科学与工程学院, 湖北 武汉 430200; 4. 武汉大学 电子信息学院, 湖北 武汉 430072)

摘要 针对色织物加工中存在颜色管理效率低下、色样传递周期长等问题,建立了基于离散 Fréchet 距离准则与色差分析公式的色度学指标联合表征模型;同时,以聚类分析理论为基础,构建了基于类内距离与类间距离的色度学指标差异性判别准则,并应用于原色纤维混配色织物的色度学指标主要影响因素及一般规律分析。结果表明:建立的色度学指标联合表征模型与差异性判别准则具有理想的色度学指标表征与判别能力;当原色纤维质量配比总体差异大于1%时,其色纺织物的色度学指标差异具有显著性;同时,原色纤维的长度、种类以及捻系数差异均会导致其色度学指标的显著改变。研究结果对于最终建立原色纤维混配色预测模型以及色纺企业的实践生产均具有积极参考作用。

关键词 原色纤维; 色纺织物; 呈色特性; 色度学指标; 色差分析; 显著性差异

中图分类号: TS 101.9 文献标志码: A

Coloration characteristics and influencing factors of colored spun fabric based on primary-color fibers blending

YUAN Li^{1,2}, DAI Qiaomin³, FU Shunlin³, ZHENG Liwen¹, YAN Yuchen⁴

(1. School of Electronic and Electrical Engineering, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430200, China; 2. State Key Laboratory for Hubei New Textile Materials and Advanced Processing Technology, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430200, China; 3. School of Textile Science and Engineering, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430200, China; 4. Electronic Information School, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, China)

Abstract Aiming at the problems of low efficiency of color management and long transmission cycle of color samples in color spinning industry, a colorimetry index joint model based on discrete Fréchet distance criterion and color difference analysis formula was proposed. Meanwhile, based on cluster analysis theory, the discriminant criterion of colorimetry index based on "intra class distance" and "inter class distance" was established, and used for the analysis on the coloration characteristics and influencing factors of colored spun fabric based on primary-color fibers blending. The results show that the joint model and discriminant criterion of colorimetry index has ideal stability and adaptability. When the quality ratio difference of primary-color fibers is greater than 1%, the colorimetry index of colored spun fabric has significant difference. At the same time, the difference of length, type, and twisting coefficients of primary-color fibers will cause significant differences in colorimetry index of colored spun fabric. The result has a positive guiding role in final establishment of the prediction model of the mixed color of the primary-color fibers and the practice and production of color spinning enterprise.

Keywords primary-color fiber; colored spun fabric; coloration characteristic; colorimetry index; color difference; significant difference

收稿日期: 2017-12-25 修回日期: 2018-04-05

基金项目: 湖北省自然科学基金项目(2014CFB754); 湖北省教育厅科学技术研究计划青年人才项目(Q20141607); 中国纺织工业联合会科技项目(2014072)

第一作者简介: 袁理(1982—),男,副教授,博士。主要研究方向为图像处理与模式识别。E-mail: yuanli@wtu.edu.cn。

色织物是指经特定工序混和加工纺制而成含有 2 种或 2 种以上不同色泽纤维的织物,因其具有宏观色彩丰富、立体感强等外观风格而被市场青睐。产品已由最初的麻灰色系列发展到彩色系列,从小色差素色品种发展到大色差混色品种,并形成了纺织行业中独具特色的色纺产业^[1]。传统的色纺织物加工,需要根据客户来样分析并制备不同颜色的基础色纤维,随着纱线品种以及织物颜色的增加,基础色纤维的库存数量会无序增长且不成体系,严重影响企业的生产效率与节能减排。

近年来,以彩色印刷中的原色混色理论为依据,利用优选原色纤维进行混配呈色的色纺产品得到了市场和企业的关注,其混配色理论与优化方案已成为目前色纺研究领域的重点内容之一。程璐等^[2]提出采用反向传播(back propagation,简称 BP)神经网络对麻灰纱线中的黑白纤维混配呈色进行建模分析。结果表明,相较于专用测配色仪 Datacolor Match 或基于 Kubelka-Munk(KM)双常数理论的配色模型,基于 BP 神经网络的配色方案的适用性与精度最优,具有实际应用价值;刘东升等^[3]以经典黑、白色纤维为基准,研究了 4 种不同混和方式对色纺织物风格的影响。结果表明,不同颜色混和工序会对色纺织物的风格产生显著影响;王玉娟等^[4]利用改进的 Stearns-Noeche(S-N)模型建立色纺纱线自动配色系统。结果表明,以 Datacolor SF600 为测量平台,通过 1~2 步的颜色修正,可以得到色差小于 1 的配色结果,从而满足色纺纱生产中多组分、定比例的配色与修色要求;赵玉等^[5]以彩色印刷中的原色混色理论为基础,提出了基于原色纤维混配色的纺织品新型呈色方法与理论模型。通过结合色差分析与光谱反射率统计分析,确定了黄、品红、青、黑和白色(本色)5 种优选原色纤维,选择其中 2 种或 2 种以上原色纤维以不同的质量比均匀混合,可以得到色彩均匀、种类丰富的素色织物;同时,借助 S-N 光学经验模型对混色样配方进行预测,实验结果表明,该光学模型对羊毛纤维混配色具有适用性。文献[6]报道了将一种改进型 S-N 方程用于色纺织物颜色的预测,相较于传统的 S-N 模型与双常数 KM 模型具有更为理想的线性与精度,但预测色差平均值为 0.63。值得注意的是,上述关于原色纤维混配呈色的研究主要集中在混色模型与优化方案层面,缺少对其呈色影响因素及一般规律的深入分析。

不同于显示器色光混色或印刷色料混色,色纺产品是以染色纤维作为基本呈色单元,整体呈色特性是由加色混合和减色混合共同影响决定的^[5]。在成纱和织造的过程中,每根原色纤维作为特定配

方的染料载体,会在纱线或织物表面呈现与捻度相关的螺旋形,并且纤维间互相聚集和交叠,使得其呈色单元的尺寸很大且不均匀,因此,能够影响色纺织物呈色特性的可能因素很多,包括:纤维的颜色与长度特性相互间的堆叠情况,染色纤维的质量配比与种类,以及成纱或织造的工艺参数等。对原色纤维混配色织物呈色特性及影响因素展开系统分析是建立全色域颜色预测模型的基础,也是当前原色纤维混配呈色研究领域亟待解决的关键科学问题。

本文以原色纤维混配色织物的呈色特性为研究内容,重点分析其色度学指标的主要影响因素及一般规律,提出利用离散 Fréchet 距离准则与色差分析公式建立色度学指标联合表征模型,并用于原色纤维混配色织物的色度学指标特征提取;同时,针对聚集态染色纤维呈色的随机性与多样性,以聚类分析理论为基础,构建基于“类内距离”与“类间距离”的色度学指标差异性判别准则。相较于传统的经验阈值判别法,该判别准则能够针对不同参数的测试样本进行动态调整,具有自适应性。本文的研究对于最终建立原色纤维混配色预测模型以及色纺企业的实践生产均具有积极参考作用。

1 色度学指标联合表征模型

光谱反射率曲线与 CMC($l:c$)色差分析被广泛应用于纺织品色度学指标的定量分析,但由于其颜色表征原理与特性的不同,2 种分析模型间会存在“同色异谱”的问题,因此,本文提出采用联合表征模型对色纺产品的色度学指标进行表征与分析,充分利用 2 种分析模型的表征能力,具体定义如下:

$$\Delta U_{FE} = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{S_f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{S_e}\right)^2} \quad (1)$$

ΔF 表示样本间光谱反射率曲线相似度,即离散 Fréchet 距离,定义如下:

设 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$, $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 组成的 2 条曲线,其至高点间的离散 Fréchet 距离为 $d_F^1(A, B)$,其至低点离散 Fréchet 距离为 $d_F^2(A, B)$,则将 $|d_F^1(A, B) - d_F^2(A, B)|$ 作为 2 条曲线间的离散 Fréchet 距离^[7-8]。

ΔE 表示样本间的 CMC(2:1)色差分析数值,定义为

$$\Delta E_{cmc}(l:c) = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{LS_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}}{LS_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}}{S_H}\right)^2} \quad (2)$$

式中: ΔL 、 ΔC_{ab} 、 ΔH_{ab} 分别为样本间的明度差、饱和

度差、色相差; S_L 、 S_C 、 S_H 分别为明度差、饱和度差、色相差的加权系数; l 和 c 分别取值为 2 和 1, 并记作 CMC (2:1)。同时, S_f 、 S_e 分别为谱差与色相差分量的加权系数。为进一步简化分析, 本文设定加权系数 $S_f = S_e = 0.5$ 。

2 实验设计

2.1 实验样本的制备

可能影响色纺织物呈色特性的因素很多, 既包括染色纤维的质量配比, 也包括染色纤维的种类和性状特性, 同时也包括成纱或织造工艺等。为定量分析不同影响因素的显著性, 委托相关企业制备了 27 份具有不同配比参数的色纺织物样品。其中: 织物用纱的线密度为 20 tex; 组织结构为平纹, 采用 130 号箱; 下机纬密为 280 根/(10 cm)。在无特殊说明情况下, 每份样品均由 3 种染色纤维构成, 染色纤维长度为 38 mm, 捻系数为 350。不同样品间的染色纤维配比质量、纤维种类、长短、捻系数等参数存在细微差别, 具体配比如表 1 所示。

表 1 实验样本配比参数表

Tab. 1 Parameters of experiment samples

样品编号	组分中各色纤维质量分数/%	特殊说明
17001#	白色 95.05; 大红 3.93; 金黄 1.02	无
17002#	白色 94.60; 大红 3.90; 金黄 1.48	无
17004#	白色 93.60; 大红 3.90; 金黄 2.50	无
17005#	白色 93.10; 大红 3.90; 金黄 3.00	无
17006#	白色 94.96; 大红 3.06; 金黄 1.98	无
17009#	白色 93.38; 大红 4.60; 金黄 2.02	无
17010#	白色 92.90; 大红 5.10; 金黄 2.00	无
17011#	白色 93.90; 大红 4.60; 金黄 1.50	无
17012#	白色 94.00; 大红 3.53; 金黄 2.47	无
17015#	白色 94.00; 大红 3.53; 金黄 2.47	大红: 51 mm
17016#	白色 94.10; 大红 3.90; 金黄 2.00	细绒棉
17017#	白色 94.10; 大红 3.90; 金黄 2.00	长绒棉
17018#	白色 92.00; 黑色 4.00; 蓝色 4.00	无
17019#	白色 90.00; 黑色 4.00; 蓝色 6.00	无
17020#	白色 88.00; 黑色 4.00; 蓝色 8.00	无
17021#	白色 90.00; 黑色 2.00; 蓝色 8.00	无
17022#	白色 89.00; 黑色 3.00; 蓝色 8.00	无
17023#	白色 88.10; 黑色 4.00; 蓝色 7.90	无
17024#	白色 91.00; 黑色 3.00; 蓝色 6.00	无
17025#	白色 92.00; 黑色 2.00; 蓝色 6.00	无
17026#	白色 88.00; 黑色 4.00; 蓝色 8.00	黑色: 51 mm
17027#	白色 91.00; 黑色 3.00; 蓝色 6.00	黑色: 51 mm
17028#	白色 92.00; 黑色 2.00; 蓝色 6.00	黑色: 51 mm
17029#	白色 94.30; 大红 3.80; 金黄 1.90	捻系数 60
17030#	白色 94.00; 大红 4.00; 金黄 2.00	捻系数 65
17031#	白色 94.00; 大红 4.00; 金黄 2.00	捻系数 75
17032#	白色 94.30; 大红 3.80; 金黄 1.90	捻系数 80

2.2 色度学指标的测量

本文利用 X-rite COLORI7 分光光度计对样品的

色度学指标进行测量, 仪器参数中光线几何条件确定为照明观察条件为 d/8、照明光源为 D65、测量孔径为 22 mm; 同时, 随机抽取 10 个测量点, 以不同角度旋转后进行测量; 最后, 将全部测量结果分为 2 组进行平均拟合, 减少测量过程中引入的随机误差。由于测量对象的无光泽性, 按照 GB/T 8424.1—2001《纺织品 色牢度试验 表面颜色的测定通则》, 采用去除镜面反射 (SCE) 模式; 在 UV 去除方面, 设置为无 UV 滤镜模式。在测量之前, 按照上述设置进行设备的校正和标准数据的测试。

2.3 色度学指标差异性判别准则

在纺织品色差分析过程中, 通常采用确定的阈值作为判别准则, 如 $\Delta E_{cmc}(l:c) = 0.8$ 或 1.0 [9-10], 但对于色纺织物而言, 其呈色具有典型的不均匀性和随机性, 通过某一确定阈值很难全面、准确地对其进行分析或判别。因此, 本文以聚类算法为理论基础, 针对色纺织物, 提出了基于“类内距离”和“类间距离”的色差判别准则 [11], 能够针对不同参数的测试样本参数进行自适应调整, 具体定义如下:

$$S_i = \begin{cases} 1, & \text{if } D_{b(i,j)} > 1.5(D_{w(i)} \text{ and } D_{w(j)}) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $D_{w(i)} = \Delta U_{FE}(i_a, i_b)$, 表示样本 i 不同测量点 (a, b) 之间的联合色度学特征距离, 即样本的类内距离; $D_{w(j)} = \Delta U_{FE}(j_a, j_b)$, 表示样本 j 不同测量点 (a, b) 之间的色度学特征距离; $D_{b(i,j)} = \Delta U_{FE}(i, j)$, 表示样本 i, j 之间的联合色度学特征距离, 即样本间的类间距离。当 $S_i = 1$ 时, 表明色度学指标具有显著差异性; 当 $S_i = 0$ 时, 表示差异不明显。

3 实验结果与分析

3.1 纤维配比差异对色度学指标的影响

色纺织物是以染色纤维的聚集态为基本呈色单元, 因此, 不同原色纤维混配的质量差异会导致其色度学指标的改变。对 13 份具有不同染色纤维质量配比参数的样本进行差异显著性判别分析, 具体结果如表 2 所示。

结果表明, 对于不同原色纤维混配色织物, 在纤维总体配比差异达到 1% 以上时, 色度学指标具有稳定的显著差异性。其中, 配比质量差异分别为 0.94% 与 1.00% 的测试样本光谱反射率曲线如图 1 所示。可以看出: 17001# 与 17002# 样本间的光谱曲线出现了多处重合与交叠; 而当质量配比差异增加到 1% 时, 即 17009# 与 17010# 样本间光谱曲线可彼此分离; 因此, 建立的色度学指标联合表征模型与差异性判别分析准则能够有效表征色纺织物的呈色特

表 2 原色纤维质量配比差异与显著性判别分析

Tab.2 Quality ratio difference of primary-color fibers and significant analysis of colorimetry index

样本编号	样本类间距离	样本类内距离	S_i 值	质量差
17004#		0.619 8		
17012#	3.231 4	0.836 7	1	0.80
17001#		1.401 3		
17002#	1.067 8	0.499 1	0	0.94
17009#		0.454 3		
17010#	1.527 3	0.419 8	1	1.00
17004#		0.619 8		
17011#	3.480 2	0.360 6	1	2.00
17005#		0.282 9		
17011#	4.367 6	0.360 6	1	3.00
17006#		0.513 6		
17010#	10.708 7	0.419 8	1	4.12
17020#		1.132 0		
17023#	0.308 1	0.519 2	0	0.20
17021#		0.259 9		
17022#	4.553 3	0.202 4	1	1.00
17020#		1.132 0		
17022#	3.944 6	0.202 4	1	2.00
17021#		0.259 9		
17023#	8.592 1	0.518 2	1	3.00
17018#		0.415 3		
17019#	4.127 2	0.576 1	1	4.00

性与规律。同时, 统计分析表明, 色纺织物的色度学指标差异显著性与其原色纤维质量配比差异总体呈现正向线性相关性。

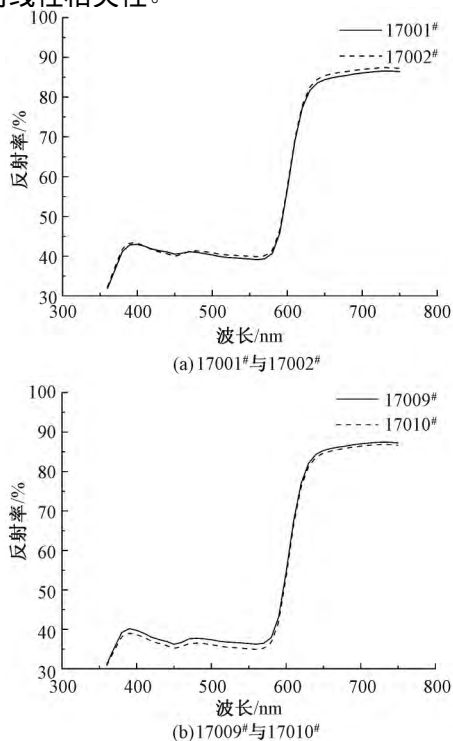


图 1 原色纤维质量配比差异与色纺织物光谱反射率曲线

Fig.1 Quality ratio difference of primary-color fibers and spectral color rate curve of colored spun fabric.

(a) 17001# and 17002#; (b) 17009# and 17010#

3.2 纤维长度对色度学指标的影响

由于纤维长度的差异和纱线中不同位置纤维所受的力学作用不同, 纤维在成纱的过程中会发生内外转移, 由此引起染色纤维分布位置、堆砌紧度的不同, 即染色纤维的长度差异会导致色纺织物呈色特性的改变。对 8 个具有不同纤维长度的样本进行联合色度学指标特征提取与差异性判别分析, 结果如表 3 所示。

表 3 原色纤维长度差异与显著性判别分析

Tab.3 Character difference of primary-color fibers and significant analysis of colorimetry index

样本编号	样本类间距离	样本类内距离	S_i 值	说明
17012#		0.919 1		
17015#	3.469 2	0.499 4	1	大红: 38 mm
17020#		0.805 1		黑色: 38 mm
17026#	1.875 9	0.617 5	1	黑色: 51 mm
17025#		0.647 9		黑色: 38 mm
17028#	1.519 7	1.364 2	0	黑色: 51 mm
17024#		1.135 3		黑色: 38 mm
17027#	3.249 6	0.688 5	1	黑色: 51 mm

对于不同的原色纤维, 其性状差异(纤维长度分别为 38 与 51 mm) 会导致其色纺织物色度学指标的改变, 而且这种变化具有显著性。部分测试样本间的光谱反射率曲线如图 2 所示。

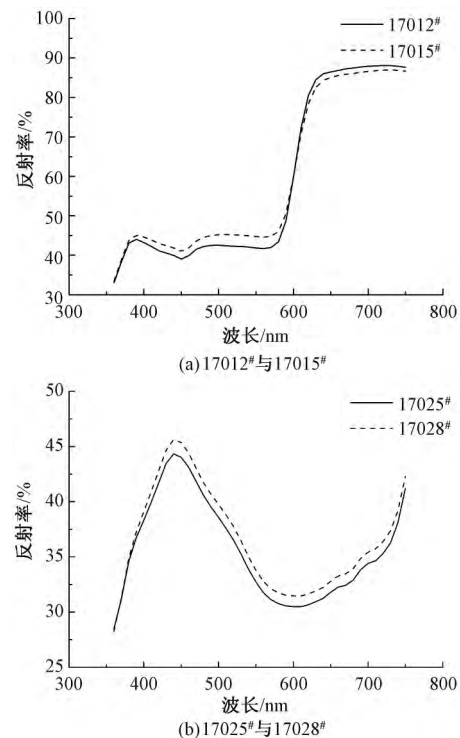


图 2 原色纤维性状差异与色纺织物光谱反射率曲线

Fig.2 Character difference of primary-color fibers and significant analysis of colorimetry index.

(a) 17012# and 17015#; (b) 17025# and 17028#

值得注意的是,虽然 17025[#]与 17028[#]样本间的色度学指标特征的“类间距离”大于“类内距离”,具有差异性,但根据 2.3 色度学指标差异性判别准则,测试样本间的色度学指标的差异不具备显著性。进一步分析表明,测试样本间的光谱反射率曲线存在可分辨差异性(见图 2),但 Lab 色差值 $\Delta E_{cmc}(2:1)$ 为 0.686,小于经验阈值 0.8。综上,本文所建立的色度学联合表征模型与差异性判别准则可充分结合光谱反射率曲线与色差分析模型的颜色表征能力,具有理想的稳定性与自适应性。

3.3 纤维种类对色度学指标的影响

与纤维性状特征对色纺织物色度学指标影响的机制相同,染色纤维的种类同样是其色纺产品色度学指标变化的影响因素之一。对 2 份不同纤维种类的色纺产品进行联合色度学指标特征提取与差异性判别分析,结果如表 4 所示。可知采用细绒棉与长绒棉制备的 2 种织物,在其他配比及织造参数均保持一致的情况下,原色纤维种类的差异会对色纺织物的色度学指标产生显著影响。

表 4 原色纤维种类差异与显著性判别分析

Tab.4 Type difference of primary-color fibers and significant analysis of colorimetry index

样本编号	样本类间距离	样本类内距离	S_i 值	说明
17016 [#]	9.088 3	0.497 0	1	细绒棉
17017 [#]		0.667 8		长绒棉

3.4 捻系数对织物色度学指标的影响

根据纤维成纱机制与过程,色纱捻系数的差异会导致染色纤维在色纺织物表面聚集、堆叠以及分布的变化,也是其呈色特性主要影响因素之一。对 4 种具有不同捻系数的样本进行分析,结果如表 5 所示。可知,当捻系数差异为 10 和 20 时,色纺织物色度学指标将发生显著变化。

表 5 原色纤维捻系数差异与显著性判别分析

Tab.5 Twisting coefficients difference of primary-color fibers and significant analysis of colorimetry index

样本编号	样本类间距离	样本类内距离	S_i 值	说明
17029 [#]	2.444 9	1.276 7	1	捻系数差为 20
17032 [#]		0.446 1		
17030 [#]	2.259 5	0.605 7	1	捻系数差为 10
17031 [#]		0.819 5		

3.5 异常结果分析

在部分单项测试分析中,出现了数据异常和波动的情况,如:原色纤维配比质量差异分析实验中的 17004[#]与 17012[#]样本;原色纤维性状差异分析实验中的 17025[#]与 17028[#]样本。通过对测试样本的颜

色与纹理结构进行分析发现,在这些样本中均出现不同程度的染色纤维异常聚集的情况,即因为质量控制和织造工艺而引起的色度学指标特征波动。部分色纺织物异常结构如图 3 所示。

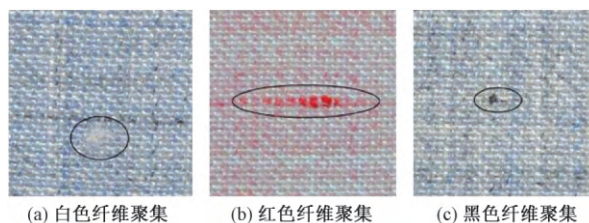


图 3 原色纤维异常聚集与异色纤维团

Fig.3 Abnormal aggregation and heterogeneous fibrous mass of primary-color fibers. (a) White fiber aggregation; (b) Red fiber aggregation; (c) Black fiber aggregation

4 结 论

本文以原色纤维混配色织物的呈色特性为研究内容,重点分析其色度学指标的主要影响因素。针对色纺织物特殊的呈色机制与过程,建立了基于离散 Fréchet 距离准则与色差分析公式的色纺织物联合色度学指标分析模型;同时,以聚类分析理论为基础,构建基于“类内距离”与“类间距离”的色度学指标差异性判别准则,可根据测试样本的色度学指标动态调整判别阈值,具有自适应性。对 27 个具有不同配比参数及特性的色纺织物进行实验分析,结果如下:

- 1) 原色纤维的质量配比差异会导致其色纺织物色度学指标的改变,并且当配比差异达到 1% 以上时,色度学指标差异具有显著性,同时,色度学指标差异的显著性与纤维配比总体差异呈现正向相关性;
- 2) 纤维性状差异会导致其色纺织物色度学指标的显著改变,当采用 2 种长度(分别为 38 mm 与 51 mm)的棉纤维时,色纺织物的色度学指标差异显著,仅有 1 对测试样本间由于织造工艺瑕疵导致测试结果异常;
- 3) 原色纤维的种类,如精梳细绒棉和精梳长绒棉,以及捻系数差异同样能够对其色纺织物的色度学指标产生显著影响。

本文研究结果对最终建立原色纤维混配色预测模型以及色纺企业的实践生产均具有积极指导作用。针对色纺针织物呈色影响因素展开定量分析及建立色纺产品表面颜色表征模型将是本文下一步研究的重点。

FZXB

参考文献:

- [1] 严旭新, 黄玉强, 于文菡, 等. 新型色纺精细混棉工艺流程研究 [J]. 棉纺织技术, 2015, 43(6): 49 - 52.
YAN Xuxin, HUANG Yuqiang, YU Wenhan, et al. New fine blending process procedure study of colored spinning [J]. Cotton Textile Technology, 2015, 43(6): 49 - 52.
- [2] 程璐, 马崇启, 王玉娟, 等. 麻灰纱中色纤维混合模型运用 [J]. 纺织学报, 2017, 38(7): 44 - 48.
CHENG Lu, MA Chongqi, WANG Yujuan, et al. Application of colored fiber mixed models in gray spun yarn [J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(7): 44 - 48.
- [3] 刘东升, 万震, 吴爱儿. 混和方式对色纺纱质量和织物风格的影响 [J]. 棉纺织技术, 2017, 45(3): 41 - 43.
LIU Dongsheng, WAN Zhen, WU Aier. Influence of blending method on colored spun yarn quality and fabric style [J]. Cotton Textile Technology, 2017, 45(3): 41 - 43.
- [4] 王玉娟, 马崇启, 刘建勇, 等. 应用改进 Stearns-Noeche 模型的色纺纱配色技术 [J]. 纺织学报, 2017, 38(10): 25 - 31.
WANG Yujuan, MA Chongqi, LIU Jianyong, et al. Matching color technology of color blended yarn based on modified Stearns-Noeche model [J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(10): 25 - 31.
- [5] 赵玉. 基于原色纤维混配色织物的呈色规律研究 [D]. 上海: 东华大学, 2015: 31 - 50.
- ZHAO Yu. Study on fabric coloring law based on primary-color fibers blending [D]. Shanghai: Donghua University, 2015: 31 - 50.
- [6] WEI Chunao, WAN Xiaoxia, LI Junfeng. Color prediction model for pre-colored fiber blends based on modified Stearns-Noeche function [J]. Dyes and Pigments, 2017(147): 544 - 551.
- [7] COOK Atlas F, DRIEMEL Anne, SHERETTE Jessica, et al. Computing the Fréchet distance between folded polygons [J]. Computational Geometry: Theory and Applications, 2015, 50: 1 - 16.
- [8] 高孝杰, 简季, 戴晓爱, 等. 基于 Fréchet 距离的光谱曲线匹配应用分析 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2016, 41(3): 408 - 414.
GAO Xiaojie, JIAN Ji, DAI Xiaoi, et al. Spectral curve matching application analysis based on Fréchet distance [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2016, 41(3): 408 - 414.
- [9] LI Qizheng, ZHU Chengyan. Comparison of color measuring methods for yarn dyed woven fabrics [J]. Advanced Materials Research, 2012, 441: 651 - 655.
- [10] 李启正, 金肖克, 张声诚, 等. 数码测色法在织物颜色评价中的应用 [J]. 印染, 2014(17): 17 - 22.
LI Qizheng, JIN Xiaoke, ZHANG Shengcheng, et al. Application of digital color measuring methods to color evaluation of textiles [J]. China Dyeing & Finishing, 2014(17): 17 - 22.
- [11] LU Yuzheng, GAO Weidong, LIU Jihong. Color separation for colored fiber blends based on the fuzzy C-means cluster [J]. Color Research & Application, 2012, 37(3): 212 - 218.