

基于 Friele 模型的转杯纺黏胶混色针织物测配色系统

杨瑞华, 王卓

(江南大学 生态纺织教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要:以红、黄、蓝3色原液着色黏胶短纤维为原料,采用多通道转杯纺技术,以质量比为10%的梯度纺制66种混色纱线,制备针织物样品,利用分光光度计测试其颜色特征。对 Friele 模型的关键参数 σ 在 $[0,1]$ 内进行赋值以预测样品色彩,计算得出 $\sigma=0.134$ 时双组分混色样品平均色差最小;取该值构建基于 Friele 模型的多通道转杯纺黏胶织物配色系统,利用全光谱配色法和所建模型预测3组分混色样品的配方比例,所得预测比例与实际比例间的平均比例误差为10.21%,平均色差为0.456 1。研究结果验证了所建 Friele 模型的准确性,并为完善多通道转杯纺黏胶混色纺织品智能配色系统提供了依据。

关键词: Friele 模型;多通道转杯纺;黏胶纤维;混色纱;测配色

中图分类号: TS 182.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2023)01-0031-06

Color Matching Model of Viscose Color Blended Fabric Based on Friele Model

YANG Ruihua, WANG Zhuo

(Key Laboratory of Eco-Textile, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: 66 kinds of color blended yarns were produced by using red, yellow and blue dope dyeing viscose fiber on the multi-channel rotor spinning frame with a gradient of 10%. Knitting sample fabrics were made of blended yarn and then the color were measured with a spectrophotometer. In this paper, the model parameter σ of Friele model was assigned in $[0, 1]$, and the value of σ 0.134 was taken as the optimal value with the minimum average chromatic aberration of two-component mixed color samples, and a color matching system based on Friele model was constructed. Besides, the optimal σ value was verified by full spectrum color matching method. The error of average proportion between the tested value and the predicted value of the three-component mixed color samples was 10.21%, and the value of average chromatic aberration was 0.456 1. The result shows that the parameter of Friele model obtained in this paper have good prediction effect. It provides a basis to set the intelligent color matching system of viscose blended yarn in multi-channel rotor spinning.

Key words: Friele model, multi-channel rotor spinning, viscose fiber, color blended yarn, color matching

随着全球经济飞速发展,消费不断升级,人们对中高端纺织品的需求进一步增加。色纺纱因其具有独特的质感和风格,加工方式环保,产品个性时尚,近年来深受消费者喜爱^[1]。再生纤维素纤维产品以天然植物纤维为原料,纯天然材质,自然生

物降解、无添加、无重金属、无有害化学物质,对皮肤亲和,无刺激,是一种性能优良的环保型“绿色”纤维^[2]。原液着色纤维因生产方式节能减排、色牢度高、着色剂利用率高等优点引起了研究者的广泛关注^[3]。原液着色再生纤维素纤维混色纱的开发

收稿日期:2021-12-28; 修订日期:2022-08-30。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(52273034);江苏省自然科学基金面上项目(BK20181350)。

作者简介:杨瑞华(1981—),女,教授,博士生导师。主要研究方向为纺织技术。Email: yangrh@jiangnan.edu.cn

符合可持续发展理念。

传统色纺产品多在开清棉^[4]、并条阶段^[5]进行混合,流程长、用工多、批量大,不能满足色纺纱小批量生产的需求;同时存在包混混合比例精度受限,手混生产效率过低的问题。此外,也有小部分色纺纱利用赛络纺技术^[6],在细纱阶段进行混合,然而因其采用股线的形式完成两股纤维的混合,最终混色纱的色彩效果纵向呈现螺旋状两色混合,横向为 AB 色,且用于混色的单色数量受到限制,色彩不够丰富。数码转杯纺技术是一种新型色纺纱生产技术,它结合了转杯纺与数码纺的成纱特点,既具有转杯纺技术高速高效、原料适用性强、纺纱流程短的特点,也具有数码纺纱智能化、个性化、多样化的优势^[7];同时,在数码转杯纺成纱过程中,通过分梳辊的纤维在转杯内重新混合、集聚、加捻,各色纤维都会出现由外向内、再由内向外反复变换多次位置的情况,因此混色纱中纤维总体分布均匀,显色均匀性好^[8]。目前,已有学者针对棉纤维^[9]和毛纤维^[10]的数码转杯纺混色纱进行研究,并建立了相关模型,但混色受到纺纱方法及纤维种类的影响,现有的测配色系统无法适用于黏胶数码转杯纺产品的配色。因此,文中主要针对黏胶纤维进行配色模型研究,旨在扩大数码转杯纺智能化配色系统的应用范围。

混色纱的混色效果多取决于配色精确度,为提高配色精度并提升工厂生产效率,计算机配色技术已逐渐取代人工配色。目前,常用的纤维配色模型有 Stearns-Noechel 模型^[11]、Kubelka-Munk 模型^[12]、Friele 模型^[13]等,其中 Friele 模型是唯一在光学理论上针对有色纤维混合特征而提出的配色模型。文中利用 Friele 模型针对数码转杯纺原液着色黏胶纤维进行研究,通过分析不同有色纤维比例混色纱制成的混色针织物颜色,确定有效的模型参数并对其进行验证。

1 材料与方法

1.1 原料与仪器

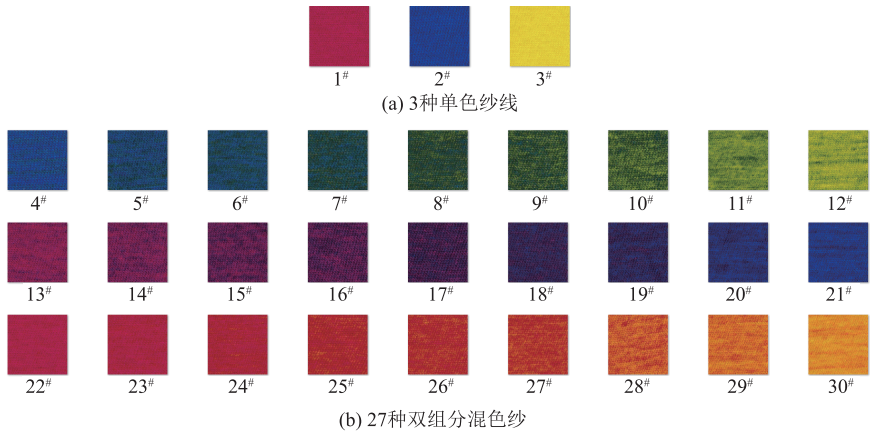
1.1.1 原料 洋红色 (Spunshades 9818)、明黄色 (Spunshades 4274)、湛蓝色 (Spunshades 2925) 原液着色型黏胶棉型短纤维 (纤维长度 38 mm, 细度 1.33 dtex), 博拉经纬纤维有限公司生产。

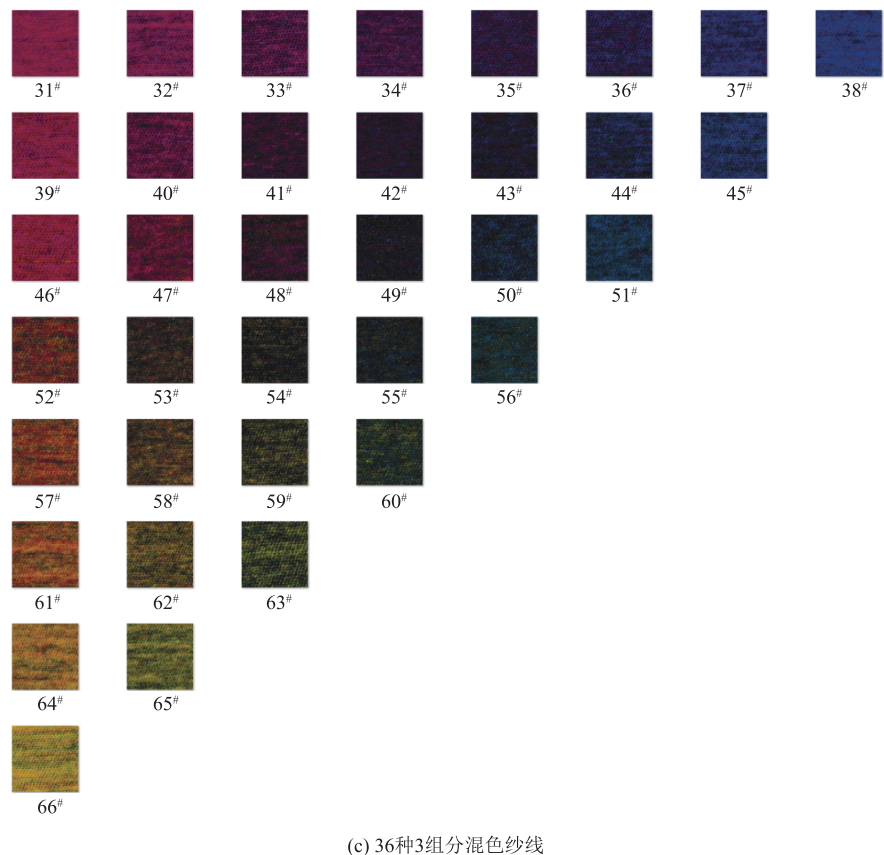
1.1.2 仪器 FA016 型混棉机, 江苏金昇实业股份有限公司制造; A186G 型梳棉机, 青岛永佳纺织机械制造有限公司制造; FA320A 型并条机, 南通宝成精密设备有限公司制造; THC2015 型粗纱机, 同和纺织机械制造有限公司制造; TR-1 型多通道转杯纺细纱机, 自制; HC21K 型小型针织圆纬机, 无锡天翔针织机械有限公司制造; Datacolor 650 分光光度计, 美国 Datacolor 公司制造。

1.2 实验方法

1.2.1 纺纱方法 根据原料特点, 选择合适的机器型号和工艺参数, 经梳棉、并条、粗纱工序将 3 种颜色的黏胶短纤分别制成粗纱, 再将红、黄、蓝 3 种颜色的粗纱分别在 3 个独立罗拉的控制下同/异步喂入数码转杯纺细纱机, 通过控制各个罗拉在同一时间内的喂入量 (即喂入速度), 实现纱线混纺比例的调控, 进而经集棉器和给棉罗拉进入分梳辊梳理, 转杯高速旋转进行并合、加捻, 最终形成混合均匀的混色彩纱。

1.2.2 样品制备 将红、黄、蓝 3 种颜色黏胶纤维以质量比为 10% 的梯度进行纺制, 制成捻度为 720 捻/m、线密度为 44.85 tex 的混色纱线, 共计 66 种。其中: 3 种单色纱线 (1[#]~3[#]); 27 种双组分混色纱 (4[#]~30[#]); 36 种 3 组分混色纱线 (31[#]~66[#])。将制备好的混色纱利用针织小圆机制成纬平纹针织物样品, 得到对应混色针织样品共 66 个, 针织物线圈密度为 112 个/cm²。样品实物示意如图 1 所示。





(c) 36种3组分混色纱线

图 1 混色纱线实物示意

Fig. 1 Physical image of blended yarns

1.2.3 颜色测量 利用分光光度计测量针织样品在可见光谱 360 ~ 700 nm 下的反射率及各色 Lab 值,取值间隔为 10 nm,可得到共 35 种波长下的光反射率。每个样品测 10 次,取平均值。测试环境: D65 标准光源、10°视场、30 mm 孔径。

文中选用色差及比例误差两项指标对模型精确度进行评价,其中色差均采用 CMC(2:1) 色差公式。

2 Friele 模型原理

1941 年,DUNTLEY S Q^[14] 经研究得知,在纤维的物理混合中,混色纱反射率与单色纤维反射率必然存在某种加和关系,即

$$f[R_b(\lambda)] = \sum_i x_i f[R_i(\lambda)]$$
 (1)

式中: $R_b(\lambda)$ 为一定波长下混色织物的理论反射率; $R_i(\lambda)$ 为一定波长下单色织物的实际反射率; $f[R_b(\lambda)]$ 为混色织物关于反射率的函数; $f[R_i(\lambda)]$ 为组成混色纱的单色纤维织物关于反射率的函数; x_i 为对应单色纤维混合质量比,且 $\sum_i x_i = 1$ 。

但简单地直接加和无法解释实际现象,因而必

然存在中间函数可以使这一规律成立。1952 年, FRIELE L F C^[13] 在大量实验的基础上确定了中间函数的一种经验公式,即 Friele 模型,其表达式为

$$f[R(\lambda)] = e^{-\sigma[1-R(\lambda)]^2 \cdot 2R(\lambda)}$$
 (2)

式中: $R(\lambda)$ 为特定波长下的反射率; σ 为可变常量,它的取值与纤维颜色、纤维种类、混合方式、织物组织结构等有关。

式(2)中仅有 σ 一个未知量,因此利用 Friele 模型所得的混色织物理论反射率只与 σ 有关。由此可以推出,必然存在一个 σ 值,使得利用 Friele 模型所预测的混色织物理论反射率与实际反射率差异最小,这个 σ 值称为最优 σ 值。

3 模型最优 σ 值计算

根据相关研究进行估计^[15], Friele 模型的最优 σ 值一般在 0 ~ 1 之间,因此文中采用赋值法求解 σ 值,在 [0, 1] 范围内对 σ 进行赋值,赋值间隔为 0.001。在 σ 已知情况下,根据式(1)和式(2)可求得预测混色织物的理论反射率,通过色度空间转换处理可得到预测混色织物的理论 Lab 值,将其与混

色针织物实测 Lab 值进行对比,可得到色差 ΔE ,其中 ΔE 最小时的 σ 值,即为最优 σ 值。

为了提高预测结果的准确性,对 σ 进行赋值,分别计算 27 个双组分混色织物的平均色差,不同 σ 值与对应织物平均色差的关系如图 2 所示。取织物平均色差最小时对应的 σ 值作为最优 σ 值。

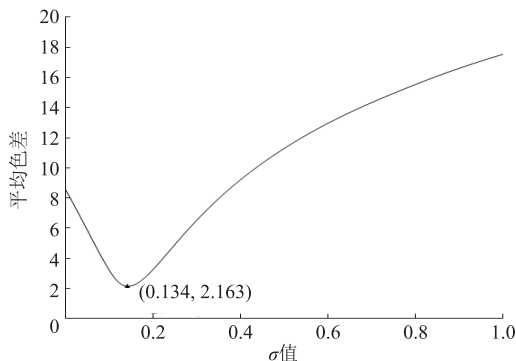


图 2 双组分混色织物的平均色差与 σ 值的关系

Fig.2 Relationship between mean color difference and σ value of the two-component mixed-color fabric sample

由图 2 可以看出,在 $[0, 1]$ 范围内双组分混色织物样品的平均色差随 σ 值的增大,呈现出先减小后增大的趋势;当 σ 值为 0.134 时,样品的平均色差达到最小,为 2.163。因此,最终取 $\sigma = 0.134$ 为 Friele 模型的最优 σ 值。

4 模型最优 σ 值验证

4.1 基于 Friele 模型的配色算法

根据所得最优 σ 值,利用全光谱配色法^[10]对 3 组分混色针织物样品进行配方预测。假设 3 组分混色针织物样品采用 Friele 模型计算得到的理论反射率和实际反射率无限接近,即 3 组分混色针织物样品预测颜色和实际颜色色差趋近于零时,利用最小二乘法可求出各单色纤维的质量占比,即混色样本的预测比例配方。此外为了保证各单色纤维预测配方和为 1,需对预测配方进行归一化处理。具体计算方法如下:

对于 3 组分混色织物,式(1)可变换为

$$f[R^m(\lambda)] = x_1 f[R^1(\lambda)] + x_2 f[R^2(\lambda)] + x_3 f[R^3(\lambda)] \quad (3)$$

式中: $R^m(\lambda)$ 为各个波长下混色样品的理论反射率; x_1, x_2, x_3 分别为红、黄、蓝 3 色纤维所占比例,且 $x_1 + x_2 + x_3 = 1$; $R^1(\lambda), R^2(\lambda), R^3(\lambda)$ 分别为红、黄、蓝 3 种单色样品在各个波长下的反射率。

假设理论反射率和实际反射率无限接近,则由式(2)推得

$$f[R^m(\lambda)] \approx f[R^s(\lambda)] \quad (4)$$

式中: $R^s(\lambda)$ 为各个波长下混色样品的实际反射率。

设

$$\mathbf{F}^s = \begin{bmatrix} f(R_{360}^s) \\ f(R_{370}^s) \\ \vdots \\ f(R_{700}^s) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} f(R_{360}^1) & f(R_{360}^2) & f(R_{360}^3) \\ f(R_{370}^1) & f(R_{370}^2) & f(R_{370}^3) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f(R_{700}^1) & f(R_{700}^2) & f(R_{700}^3) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

由式(3)~式(5)可推得

$$\mathbf{F}^s \approx \mathbf{F}\mathbf{X} \quad (6)$$

根据最小二乘法求解可得

$$\mathbf{X} = (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^T \mathbf{F}^s \quad (7)$$

由于矩阵 \mathbf{F}, \mathbf{F}^s 中均为已知量,故代入即可求得矩阵 \mathbf{X} 的多个解,从而得到预测比例配方。

4.2 配色结果评价指标

通常情况下,可通过比例误差评价预测配方的优劣,比例误差越小,则预测配方越精确。比例误差的计算方法为

$$\Delta r = \sum_i |x_i - x'_i| \quad (8)$$

式中: Δr 为比例误差; x_i 为实测样品中第 i 个有色纤维的占比; x'_i 为预测样品中第 i 个有色纤维的占比。

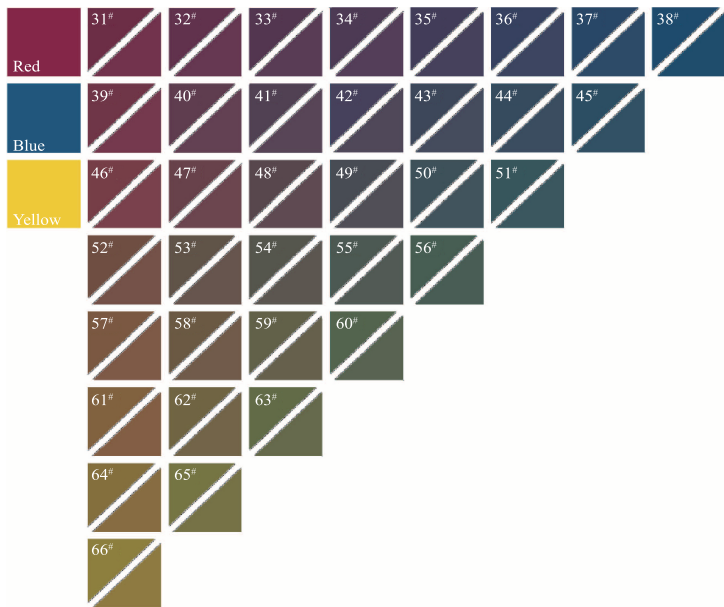
4.3 配色结果及分析

在求得最优值 $\sigma = 0.134$ 的基础上,将 3 组分混色针织物样品根据全光谱配色算法进行比例配方预测,并计算实测样品与预测样品之间的比例误差以及色差,预测结果见表 1。混色样品的预测色度值与实际色度值对比如图 3 所示。

由表 1 可知,3 组分混色织物样品的平均比例误差为 10.21%,平均色差为 0.456 1,且每个样本的预测色差都小于 1;另外,由图 3 可以看出,3 种颜色的实际颜色与预测颜色的色差都在肉眼可接受范围内,这表明 $\sigma = 0.134$ 时 Friele 模型对数码转杯纺黏胶混色针织物的配方预测效果较好,能够基本满足生产需求。

表 1 Friele 模型配色比例预测结果
Tab. 1 Color ratio results predicted by the Friele model

样品编号	实际配色比例/%			预测配色比例/%			ΔR	ΔE_{CMC}
	红	黄	蓝	红	黄	蓝		
31 [#]	0.8	0.1	0.1	0.839 0	0.048 2	0.063 2	0.127 6	0.457
32 [#]	0.7	0.1	0.2	0.756 4	0.048 7	0.169 7	0.138 0	0.479
33 [#]	0.6	0.1	0.3	0.640 0	0.053 4	0.282 3	0.104 3	0.223
34 [#]	0.5	0.1	0.4	0.568 4	0.052 1	0.365 0	0.151 3	0.127
35 [#]	0.4	0.1	0.5	0.447 2	0.045 7	0.486 0	0.115 5	0.112
36 [#]	0.3	0.1	0.6	0.322 1	0.047 5	0.605 9	0.080 5	0.293
37 [#]	0.2	0.1	0.7	0.196 7	0.045 0	0.736 1	0.094 3	0.344
38 [#]	0.1	0.1	0.8	0.085 4	0.044 7	0.837 5	0.107 5	0.349
39 [#]	0.7	0.2	0.1	0.755 7	0.135 4	0.086 3	0.134 0	0.402
40 [#]	0.6	0.2	0.2	0.623 3	0.150 9	0.226 7	0.099 1	0.280
41 [#]	0.5	0.2	0.3	0.500 4	0.156 2	0.335 0	0.079 3	0.145
42 [#]	0.4	0.2	0.4	0.405 5	0.157 5	0.427 6	0.075 5	0.293
43 [#]	0.3	0.2	0.5	0.298 0	0.153 0	0.536 7	0.085 8	0.663
44 [#]	0.2	0.2	0.6	0.186 0	0.156 9	0.632 8	0.090 0	0.717
45 [#]	0.1	0.2	0.7	0.109 4	0.162 1	0.714 8	0.062 1	0.634
46 [#]	0.6	0.3	0.1	0.679 9	0.237 7	0.081 2	0.161 1	0.352
47 [#]	0.5	0.3	0.2	0.569 9	0.254 5	0.172 0	0.143 5	0.486
48 [#]	0.4	0.3	0.3	0.443 6	0.268 0	0.286 1	0.089 5	0.261
49 [#]	0.3	0.3	0.4	0.294 8	0.273 9	0.420 7	0.052 0	0.577
50 [#]	0.2	0.3	0.5	0.169 5	0.270 3	0.556 3	0.116 4	0.664
51 [#]	0.1	0.3	0.6	0.064 4	0.284 4	0.643 7	0.094 9	0.532
52 [#]	0.5	0.4	0.1	0.392 8	0.456 2	0.116 1	0.179 5	0.178
53 [#]	0.4	0.4	0.2	0.301 3	0.446 2	0.236 2	0.181 2	0.530
54 [#]	0.3	0.4	0.3	0.236 2	0.429 4	0.326 2	0.119 3	0.609
55 [#]	0.2	0.4	0.4	0.150 7	0.421 6	0.418 2	0.089 2	0.711
56 [#]	0.1	0.4	0.5	0.048 2	0.444 5	0.484 7	0.111 6	0.539
57 [#]	0.4	0.5	0.1	0.334 2	0.550 0	0.100 1	0.115 9	0.316
58 [#]	0.3	0.5	0.2	0.270 0	0.533 0	0.181 1	0.081 9	0.735
59 [#]	0.2	0.5	0.3	0.162 0	0.565 0	0.275 8	0.127 2	0.520
60 [#]	0.1	0.5	0.4	0.068 3	0.540 6	0.395 9	0.076 4	0.629
61 [#]	0.3	0.6	0.1	0.275 8	0.620 1	0.090 8	0.053 5	0.550
62 [#]	0.2	0.6	0.2	0.170 3	0.633 1	0.193 8	0.069 0	0.465
63 [#]	0.1	0.6	0.3	0.066 0	0.635 5	0.299 3	0.070 2	0.412
64 [#]	0.2	0.7	0.1	0.153 5	0.733 5	0.097 2	0.082 9	0.611
65 [#]	0.1	0.7	0.2	0.067 0	0.730 4	0.194 8	0.068 5	0.515
66 [#]	0.1	0.8	0.1	0.074 4	0.817 3	0.094 7	0.048 2	0.710



注:有标记的为实测颜色;未标记为相应的预测颜色。

图 3 3 组分混色织物实测与预测颜色对比色卡

Fig. 3 Measured and predicted color contrast color card of three-component mixed-color fabric

5 结 语

文中基于 Friele 模型针对数码转杯纺黏胶混色针织物的混色规律进行了研究,利用赋值法求出最优模型参数值 $\sigma = 0.134$,并将其用于配色模型的构建;利用全光谱配色算法对所得模型参数进行了配方比例预测验证。结果表明,实验样品的平均比例误差为 10.21%,平均色差为 0.456 1,且均小于 1,预测精确度较好,能够满足基本配色要求。

数码转杯纺技术高速高效、绿色环保、比例可控、混色均匀,且能够与智能计算机配色技术有机结合,提升传统纺织设备智能化程度,因而在色纺纱领域具有较好的发展前景。文中针对数码转杯纺混色纱的研究方法具有普适性,未来可以通过改变织物组织结构、改变混色比例梯度、增加黑白混色、改变分梳辊速度等方法,探究这些变量对 Friele 配色模型参数取值的影响,不断扩大数码转杯纺技术的适用范围,加快数码转杯纺产品生产的智能化进程。

参考文献:

[1] 景慎全. 中国色纺纱行业的技术进步和发展趋势[J]. 纺织导报, 2020(6): 22-24, 26.
JING Shenquan. Technological progress and development trend of China's colored spun yarn industry[J]. China Textile Leader, 2020(6): 22-24, 26. (in Chinese)

[2] 孙芮, 程新雅. 再生纤维素纤维定性鉴别的微观研究

[J]. 轻纺工业与技术, 2020, 49(7): 112-113.

SUN Rui, CHENG Xinya. Microscopic study on qualitative identification of regenerated cellulose fiber[J]. Light and Textile Industry and Technology, 2020, 49(7): 112-113. (in Chinese)

[3] 刘稀, 王冬, 张丽平, 等. 低折射率树脂对原液着色黏胶纤维结构和性能的影响[J]. 纺织学报, 2020, 41(7): 9-14.

LIU Xi, WANG Dong, ZHANG Liping, et al. Effect of low refractive resin on structure and properties of spundyed viscose fibers[J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(7): 9-14. (in Chinese)

[4] 李世雄, 张生辉, 樊争科, 等. 原液着色涤纶多组分混纺纱的生产[J]. 棉纺织技术, 2018, 46(8): 59-61.

LI Shixiong, ZHANG Shenghui, FAN Zhengke, et al. Production of mass coloration polyester viscose multicomponent blended yarn[J]. Cotton Textile Technology, 2018, 46(8): 59-61. (in Chinese)

[5] 沈加加, 张志强, 陈燕兵, 等. 基于 Stearns-Noechel 模型的混色毛条颜色预测[J]. 纺织学报, 2008, 29(11): 61-66.

SHEN Jiajia, ZHANG Zhiqiang, CHEN Yanbing, et al. Match prediction for blended-color wool tops based on Stearns-Noechel model[J]. Journal of Textile Research, 2008, 29(11): 61-66. (in Chinese)

[6] 余谦. 赛络纺技术在混色纱中的实践及应用[J]. 现代纺织技术, 2001, 9(4): 32-33.

YU Qian. Practice and application of siro spinning technology in mixed color yarn[J]. Advanced Textile Technology, 2001, 9(4): 32-33. (in Chinese)