

DOI: 10.13475/j.fzxb.20180202405

多通道转杯纺混色纱的 Friele 配色模型

杨瑞华, 徐亚亚, 韩瑞叶, 薛元, 高卫东

(生态纺织教育部重点实验室(江南大学), 江苏 无锡 214122)

摘要 为探究多通道转杯纺的混色效果,利用 Friele 理论建立转杯多元基色混色纱的配色模型。将红、黄、蓝 3 种颜色纤维条纺制二组分和三组分样本,计算关于转杯混色纱的 Friele 理论模型参数,分别得到二组分和三组分的模型参数,并将其与其他研究者计算的模型参数进行比较。结果显示,无论是二组分还是三组分样本,通过实验计算得到的 4 种模型参数均比其他研究者推荐的模型参数对多通道多元基色转杯混色纱预测结果的准确性有所提高;其中与赋值法计算的模型参数相比,与波长相关的模型参数预测二组分和三组分的样本色差均值分别减少了 0.42 和 0.48,容差范围为 1 时,样本合格率分别提高了 33% 和 50%,在各波长下计算得到的模型参数能更好地预测多通道转杯纺多元基色混色纱的颜色。

关键词 多通道转杯纺; 多元基色混色纱; Friele 模型; 混合色彩; 模型参数

中图分类号: TS 101.2 文献标志码: A

Friele color matching model of multi-channel rotor-spun mixed color yarn

YANG Ruihua, XU Yaya, HAN Ruiye, XUE Yuan, GAO Weidong

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

Abstract In order to explore the blending effect of multi-channeled rotor spun, the color matching model was established by Friele theory. Model parameters of the Friele model of digital mixed color mixed yarn was calculated by the reflection of the two-component and three-component samples spun by roving of red, yellow and blue, respectively, two-component and three-component model parameters were obtained and compared with model parameters calculated by other researchers. The results show that the four model parameters calculated by this experiment are better to predict the color characteristics of multi-channeled rotor spun color-blended yarn than those recommended by the other researchers for both the two-component and three-component samples. Among them, compared with the model parameters calculated by the assignment method, the model parameters related to wavelengths for predicting the average color difference value of two-component and three-component samples reduce by 0.42 and 0.48, respectively. When the tolerance range is 1, the sample qualification rate is improved by 33% and 50%, respectively. It is concluded that the model parameters calculated at various wavelengths could better predict the color of multi-channeled rotor spun color-blended yarn.

Keywords multi-channeled rotor spun; color-blended yarn of multi-primary-color; Friele model; blended color; model parameter

混色纺纱线可将不同颜色的纤维丰富地呈现在纱线表面,用它做成的面料色彩饱满、色光柔和,具有特定的外观色彩风格,提高了产品的附加值^[1-3]。多通道转杯色纺纱利用转杯纺特殊的成纱机制将混色与成纱同步进行,缩短了色纱生产的工艺流

程^[4-6]。为快速地适应市场需求,生产出工厂所需的纱线颜色,采用计算机智能配色,需要合适的理论模型对有色纤维进行混色配色预测研究^[7]。

纤维混色原理既不符合加法原理,也不符合减法原理,类似于空间混色范畴,目前用于纤维混色的

收稿日期: 2018-02-06 修回日期: 2018-12-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51403085); 江苏省自然科学基金面上项目(BK20181350); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(JUSRP51631A); 江苏高校品牌专业建设工程资助项目(PPZY2015B147)

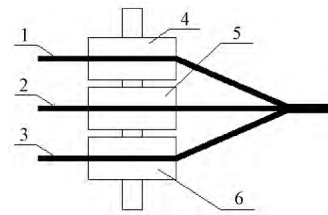
第一作者: 杨瑞华(1981—),女,副教授,博士。主要研究方向为纺织技术。E-mail: yangrh@jiangnan.edu.cn。

配色模型有 K-M 双常数理论模型、Stearns-Noechel 模型以及 Friele 模型。K-M 双常数理论模型是根据光学理论推导出的相对简单理论,最开始应用于染料配方的计算,随后有研究者将其应用于纤维的混色效果预测^[8]; Stearns-Noechel 模型是在大量的纤维混色实验基础上,根据实验数据推导得出的经验公式^[9]; Friele 模型是在光学理论上针对有色纤维混合色彩的显现特征,结合实验数据推导出来的理论模型^[10],在纤维混配色方面更有优势。Philips 等^[11]利用 Friele 模型对棉纤维混色进行了研究,取得较好的结果;沈加加等^[12]根据 Friele 模型分别利用棉、毛纤维对色纺纱进行了光谱配色研究。本文利用 Friele 模型对多通道转杯纺多元基色混色纱的混配色效果进行研究,分析判断用 Friele 模型预测多通道转杯纺混色纱的颜色准确性。

1 数码转杯纺纱原理

数码转杯纺是对传统转杯纺纱机的喂入部分和控制系统进行改进的纺纱方式,图 1 为多通道喂入部分示意图。数码转杯纺纱机的喂入机构含有 3 个组合式给棉罗拉 4、5、6,3 个给棉罗拉绕同一轴心转动,但每个给棉罗拉都有独立的伺服电动机驱动,可单独控制每个给棉罗拉的喂给速度,改变喂入粗纱

1、2、3 的喂入量,可改变混纺纤维的混纺比。喂入的不同颜色的纤维经过分梳辊的开松、梳理作用,分梳成单纤维状并在输棉通道得到均匀混合,在转杯的高速运转下,不同颜色的纤维得到再一次均匀混合。利用异步喂入及转杯纺成纱特性,可以纺制出任意比例的转杯混色纱^[4-6]。



1、2、3—喂入粗纱;4、5、6—组合式给棉罗拉。

图 1 转杯纺纱机多通道喂入部分示意图

Fig.1 Drawing of multi-feeding part of rotor spun machine

2 样品制备

选用浙江省常山纺织有限公司生产的红、黄、蓝 3 种颜色的棉粗纱作为实验原料,以不同的比例分别纺制二组分及三组分多通道转杯纺混色纱,具体颜色配比如表 1 所示。其中粗纱定量为 4 g/(10 m),转杯转速为 20 000 r/min,分梳辊转速为 5 000 r/min。

表 1 样本颜色配比

Tab.1 Color ratio of samples

样本编号	$m_{\text{红}}:m_{\text{黄}}:m_{\text{蓝}}$	样本编号	$m_{\text{红}}:m_{\text{黄}}:m_{\text{蓝}}$	样本编号	$m_{\text{红}}:m_{\text{黄}}:m_{\text{蓝}}$	样本编号	$m_{\text{红}}:m_{\text{黄}}:m_{\text{蓝}}$	样本编号	$m_{\text{红}}:m_{\text{黄}}:m_{\text{蓝}}$
1	1:0:0	12	9:1:0	23	0:2:8	34	5:1:4	45	1:2:7
2	0:1:0	13	1:0:9	24	0:3:7	35	4:1:5	46	6:3:1
3	0:0:1	14	2:0:8	25	0:4:6	36	3:1:6	47	5:3:2
4	1:9:0	15	3:0:7	26	0:5:5	37	2:1:7	48	4:3:3
5	2:8:0	16	4:0:6	27	0:6:4	38	1:1:8	49	3:3:4
6	3:7:0	17	5:0:5	28	0:7:3	39	7:2:1	50	2:3:5
7	4:6:0	18	6:0:4	29	0:8:2	40	6:2:2	51	1:3:6
8	5:5:0	19	7:0:3	30	0:9:1	41	5:2:3	52	5:4:1
9	6:4:0	20	8:0:2	31	8:1:1	42	4:2:4	53	4:4:2
10	7:3:0	21	9:0:1	32	7:1:2	43	3:2:5	54	3:4:3
11	8:2:0	22	0:1:9	33	6:1:3	44	2:2:6	55	2:4:4
								56	1:4:5
								57	4:5:1
								58	3:5:2
								59	2:5:3
								60	1:5:4
								61	3:6:1
								62	2:6:2
								63	1:6:3
								64	2:7:1
								65	1:7:2
								66	1:8:1

注: $m_{\text{红}}:m_{\text{黄}}:m_{\text{蓝}}$ 为不同颜色粗纱质量比。

将纺制成的混色纱用 HC21 K 染色试验编织机织成线圈密度为 120 个/cm² 的纬平针织物,并保持布面平整。用 Datacolor650 测色仪测量在各波长下有色织物的光谱反射率 R 。样本测色过程为:将待测样折叠 4 层使样本不透光,测试条件为 D65 光源、10° 视场,测量孔径为 30 mm,在样本的不同位置进行测量至平均色差小于 0.2 个 CIELAB 色差单位,并将测量均值作为测量结果。测量波长范围为

360~700 nm,选取波长间隔为 10 nm。

3 Friele 模型参数及样本预测

3.1 Friele 模型

混色织物的反射率与单色纤维的反射率及单色纤维在混色织物中所占质量比之间存在一定的加和关系^[7-8]:

$$f[R_{blend}(\lambda)] = \sum_i^n x_i f[R_i(\lambda)]$$

式中: $R_{blend}(\lambda)$ 表示波长为 λ 时混色织物的反射率; x_i 表示混色织物中第 i 组分单色纤维所占的质量比; $R_i(\lambda)$ 表示波长为 λ 时单色纤维的反射率。

1952 年 Friele 在加和公式的基础上提出了 Friele 模型,它是在光学理论上通过数学计算推导得到的,可对有色纤维混色进行颜色预测,其表达式^[8]如下:

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

式中 σ 为模型参数。

Friele 模型表达式中模型参数 σ 需要通过实验来确定,一般在 0~1 范围内。有关研究人员利用 Friele 模型对棉纤维混色的 σ 值进行了研究,其中 Philips 推荐的棉纤维模型参数为 0.245^[11],文献^[12]推荐的色纺纱模型参数为 0.128。

3.2 赋值法的模型参数

本文实验利用二组分和三组分数码转杯棉纺纱混色织物,根据 Friele 模型在 0~1 范围内以 0.001 的增量变化对 σ 进行赋值,预测各波长下每个 σ 值的样本的光谱反射率,并计算样本在所有波长下的预测光谱反射率与实际光谱反射率差的绝对值之和 $\Sigma \Delta R$ 。 $\Sigma \Delta R$ 越小,则表示在该 σ 值下模型预测效果越好。计算得到的各 σ 值下二组分与三组分样本的 $\Sigma \Delta R$ 如图 2 所示。

由图 2 可知:所有样本的 σ 值在 0~1 范围内取值时,随着 σ 值的增大, $\Sigma \Delta R$ 值先增大后减小。当 σ 取值在 0.2 附近时, $\Sigma \Delta R$ 值较小,当 σ 值分别为 0.175 和 0.178 时,二组分和三组分样本的 $\Sigma \Delta R$ 最小,即在该模型参数下, Friele 模型对多通道转杯纺多元基色混色纱的预测效果最好。

3.3 波长与模型参数关系

为研究数码转杯纱的 Friele 模型参数与波长间关系,确定波长对 Friele 模型预测能力的影响程度,根据以上计算过程,在每个波长取点处确定 1 个最佳的模型参数 σ ,结果如图 3 所示。

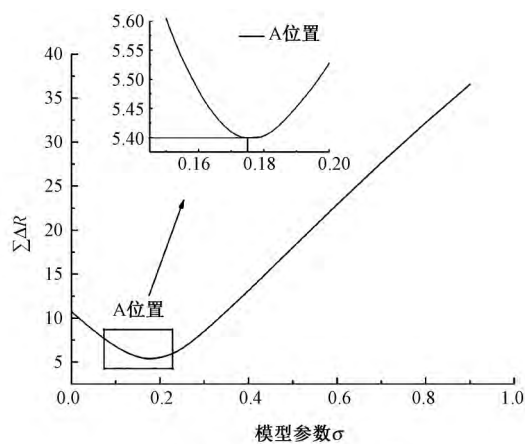
由图 3 可知,随着波长的改变,二组分和三组分样本的最佳模型参数 σ 值的变化。在 450~580 nm 之间,随着波长的增大,模型参数先增大后逐渐减小,受波长因素的影响较大。

3.4 色差计算及预测结果分析

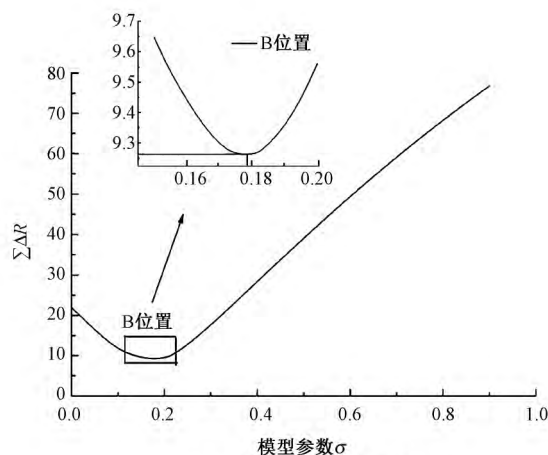
采用不同方法求得的 Friele 模型参数预测样品颜色,并与前人推荐的模型参数进行色差对比,比较各参数的预测效果。

3.4.1 色差计算

将计算得到的 Friele 模型参数代入 Friele 模型,



(a) 二组分样本 σ 值对应的值



(b) 三组分样本 σ 值对应的值

图 2 σ 值与 $\Sigma \Delta R$ 值的关系

Fig.2 Relationship between σ values and $\Sigma \Delta R$.

(a) $\Sigma \Delta R$ of two component sample σ value;

(b) $\Sigma \Delta R$ of three component sample σ value

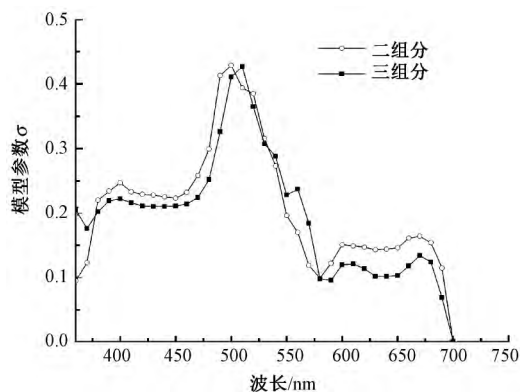


图 3 各波长下的模型参数 σ

Fig.3 Model parameters σ at each wavelength

求得预测的光谱反射率,计算样本预测值与实际测量值之间的色差,评价 Friele 模型对多通道转杯纺多元基色混色纱的颜色预测效果。本文采用的色差式为 $CMC_{(L,c)}$ 色差式^[13]:

$$\Delta E_{CMC} = \left[\left(\frac{\Delta L}{L_S} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{cS_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$

式中: ΔE_{CMC} 为样本预测值与实际值之间的色差; ΔL 、 ΔC 、 ΔH 分别为明度差、饱和度差、色相差; S_L 、 S_C 、 S_H 分别为 ΔL 、 ΔC 、 ΔH 的加权系数; l 、 c 在进行样品间色差可接受性判断时分别取 2、1。

3.4.2 结果分析

本文共计算得出 Friele 模型的 4 种参数。当不考虑波长因素时,取二组分混色纱的模型参数为 $\sigma_1=0.175$ 、三组分混色纱的模型参数为 $\sigma_2=0.178$;当考虑波长因素时,取各波长下二组分混色纱的模型参数为 σ_3 、三组分混色纱的模型参数为 σ_4 (见图 3)。将这几种模型参数分别代入 Friele 模型,预测样本反射率。并将其他研究者的模型参数 $\sigma_5=0.245$ 及 $\sigma_6=0.128^{[9-10]}$ 也用来预测本文实验样本的反射率,比较以上模型参数的预测效果。不同参数下样本预测值与实际测量值之间的色差见表 2~3。

表 2 二组分样本实际与预测样本之间的色差

Tab.2 Color difference between actual and predicted two-component sample

模型参数	样本色差均值	不同允差范围内样本合格率/%		
		$\Delta E_{CMC}<1$	$\Delta E_{CMC}<2$	$\Delta E_{CMC}<3$
σ_1	1.37	37	89	93
σ_3	0.95	70	93	100
σ_5	1.45	26	81	93
σ_6	1.79	33	59	81

表 3 三组分样本实际与预测样本之间的色差

Tab.3 Color difference between actual and predicted three-component sample

模型参数	样本色差均值	不同允差范围内样本合格率/%		
		$\Delta E_{CMC}<1$	$\Delta E_{CMC}<2$	$\Delta E_{CMC}<3$
σ_2	1.52	22	83	97
σ_4	1.04	72	89	97
σ_5	2.10	8	58	83
σ_6	1.53	14	89	97

由表 2、3 可知:模型参数分别为 σ_1 、 σ_2 的二组分样本和三组分样本的色差均值分别为 1.37 和 1.52;色差小于 3 的样本合格率分别为 93% 和 97%;色差小于 1 的样本合格率分别为 37% 和 22%;当容差要求范围较小时,符合样本的个数较少,模型的预测效果不是很理想。

模型参数分别为 σ_3 、 σ_4 的二组分样本和三组分样本的色差均值分别为 0.95 和 1.04,与 σ_1 、 σ_2 相比,色差均值分别降低了 0.42 和 0.48;当容差范围为 3 时,二组分样本的合格率达到 100%,三组分样本的合格率为 97%,当容差范围小至 1 时,样本合格率比 σ_1 、 σ_2 分别提高了 33% 和 50%。

综上所述,在不同波长下分别求得的模型参数 σ_3 、 σ_4 的预测能力更强;且无论是色差均值还是不

同容差范围合格率,二组分样本的预测结果均比三组分样本的预测结果要好,说明 Friele 模型对不同组分的样本的预测能力不同,样本组分越少,模型的预测能力越强。 σ_5 、 σ_6 分别为其他研究者的模型参数,无论是应用于二组分还是三组分样本,其样本色差均值均小于本文实验中计算所得的模型参数的色差均值,容差范围较小时,样本的合格率较小,预测效果不理想,说明传统色纺纱的混色规律与多通道转杯混色纺纱的混色规律不同,Friele 模型参数的适用性也不同。

4 结 论

本文利用 Friele 模型对多通道转杯纺多元基色混色纱的混色效果进行预测,并利用样本色差对预测效果进行分析,根据分析结果得出以下结论。

1) 在不考虑波长因素下计算得到的模型参数虽然比其他研究者推荐的模型参数的预测结果要好,但是仍不能很好地预测多通道转杯纺多元基色混色纱的颜色;各波长下的模型参数对多通道转杯纺多元基色混色纱的预测效果较好,说明波长对模型的预测能力影响较大;混色纱中有色纤维组分越少,Friele 模型的预测能力越好。

2) 在各波长下所得的模型参数虽然能够较好地预测多通道转杯纺多元基色混色纱的颜色,但由于纤维空间混合而产生的对光反射和折射的复杂性,仍不能满足要求精度较高的情况,还需对多通道转杯纱中多元基色的混色规律做深入研究,进一步优化模型,提高预测精度。 FZXB

参考文献:

- [1] 金亚琪,邹专勇,许梦露,等.色纺纱产品开发现状及技术发展需求[J].棉纺织技术,2012,40(12):65-68.
JIN Yaqi, ZOU Zhuanyong, XU Menglu, et al. Development status and technology development demands of colored spun yarn [J]. Cotton Textile Technology, 2012, 40(12): 65-68.
- [2] 杨兴华.色纺纱吸引你了吗?[N].中国纺织报,2015-12-14(6).
YANG Xinghua. Did the colored yarn attract you? [N]. China Textile News, 2015-12-14(6).
- [3] 钱爱芬.色纺纱线优势与技术发展方向[J].中国检验检疫杂志,2007(12):45-46.
QIAN Aifen. Color spinning yarn advantage and technology development [J]. China Inspection and Quarantine, 2007(12): 45-46.
- [4] YANG Ruihua, XUE Yuan, GAO Weidong. Structure and performance of color blended rotor spun yarn

produced by a novel frame with asynchronous feed rollers[J]. Textile Research Journal , 2017 , DOI: 10.1177/0040517517748493.

[5] 杨瑞华,薛元,郭明瑞,等. 数码转杯纺成纱原理及其纱线特点[J].纺织学报,2017,38(11):32-35.
YANG Ruihua ,XUE Yuan ,GUO Mingrui ,et al. Mechanism and characteristics of digital rotor spun yarn[J].Journal of Textile Research ,2017 ,38(11):32-35.

[6] 薛元,高卫东,杨瑞华,等. 三棉条异步输入和多级分梳的转杯纺纱方法及装置: 105063821A [P]. 2015-11-18.
XUE Yuan , GAO Weidong , YANG Ruihua , et al. Method and device for rotor spinning of three tampon asynchronous input and multi - stage carding: 105063821A [P]. 2015-11-18.

[7] 许佳艳. 涤棉双组份纤维混色计算机辅助配色的研究[D]. 杭州: 浙江理工大学,2013: 62-63.
XU Jiayan. The study on computer aid matching for colored fiber blends of polyester and cotton [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University 2013: 62-63.

[8] WALOWIT E. An algorithm for the optimization of Kubelka - Munk absorption and scattering coefficients

[J]. Color Research and Application , 1987 , 12(6) : 340-343.

[9] STEARNS E I , NOECHEL F. Spectrophotometric prediction of color of wool blends[J].American Dyestuff Reporter ,1944 ,33(9) : 177-180.

[10] FRIELE L F C.The application of color measurement in relation to fiber-blending [J]. Journal of The Textile Institute ,1952 ,43: 604-611.

[11] PHILIPS-INVERNIZZI B , DUPONT D , CAZE C. Formulation of colored fiber blends from Friele’s theoretical model [J]. Color Research and Application , 2002 27(3) : 191-198.

[12] 沈加加,胡英杰,刘伟,等.基于Friele模型的色纺纱光谱配色研究[J]. 针织工业,2013(5):32-36.
SHEN Jiajia , HU Yingjie , LIU Wei , et al. Study of spun-dyed yarns spectral color matching based on Friele model [J].Knitting Industries 2013(5) : 32-36.

[13] 董振礼,郑宝海,钗桂芬,等. 测色与计算机配色[M]. 北京: 中国纺织出版社,2017: 54-58.
DONG Zhenli ,ZHENG Baohai ,HU Guifen ,et al. Color Measurement & Its Matching Computer [M]. Beijing: China Textile & Apparel Press ,2017: 54-58.

(上接第 43 页)

[10] 薛元,高卫东,杨瑞华,等. 双组份异同步二级牵伸纺制多彩竹节纱的方法及装置: 201510140954.7 [P]. 2015-03-27.
XUE Yuan ,GAO Weidong ,YANG Ruihua , et al. The method and device of dual components different synchronization secondary draft to spinning colorful slub yarn: 201510140954.7 [P]. 2015-03-27.

[11] 魏晓婷,薛元,郭明瑞,等. 三通道数码细纱机纺制竹节纱的原理及其性能[J]. 纺织学报,2017,38(7):39-43.
WEI Xiaoting , XUE Yuan , GUO Mingrui , et al. Principle and properties of slub yarns spun by three - channel digital ring spinning [J]. Journal of Textile Research ,2017 ,38(7) : 39-43.