

多通道转杯纺羊毛混色织物的 Friele 模型

杨瑞华, 王卓, 邓茜茜, 徐亚亚

(江南大学生态纺织教育部重点实验室, 江苏无锡 214122)

摘要:利用多通道转杯纺纱技术, 纺制出多组有色纤维比例不同、线密度相同的混色纱线, 并织成纬编针织平纹织物及梭织斜纹织物, 采用分光光度仪测量织物在不同波长下的光谱反射率。利用 Friele 模型对模型参数 σ 值在 0~1 区间内进行赋值, 取样本平均色差最小时的 σ 值作为最佳参数值, 分别建立不同组织结构下多通道转杯纺羊毛混色织物的 Friele 模型。将最佳参数作为常数对样本进行验证时, 针织样本的平均色差为 0.58, 梭织样本的平均色差为 0.83, 均小于 1, 说明 Friele 模型对多通道转杯纺羊毛混色织物的预测效果较好。

关键词: 多通道转杯纺; 针织物; 梭织物; 配色; Friele 模型

中图分类号: TS 101.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2020)01-0001-05

Friele Model of Color Mixing Wool Fabric Produced by Multi-Channel Rotor Spun Yarn

YANG Ruihua, WANG Zhuo, DENG Qianqian, XU Yaya

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

Abstract: Multi-channel rotor spinning technology is used to spin various mixed yarns with different proportions of colored fibers and the same linear density, further weft-knitted plan fabrics and woven twill fabrics were produced by there yarns respectively. The spectral reflectance of the fabrics at different wavelengths was measured using spectrophotometer. The Friele model was used by assigning the value of the model parameter σ in the range of 0~1. The σ value with the smallest average color difference of the sample was taken as the optimal parameter value. The Friele model of multi-channel rotor-spinning mixed fabric under different microstructures was established. When the best parameters were used as the constant value to verify the sample, the average color difference of the knitted samples was 0.58, and the average color difference of the woven samples was 0.83, both of which were less than 1, indicating that the Friele model has a good predictive effect on the multi-channel rotor-spinning mixed fabric.

Key words: multi-channel rotor spinning, knitted fabric, woven fabric, color matching, Friele model

为满足市场发展需求, 现代纺织技术不断革新, 大量新型纺纱技术应运而生, 纱线形式呈现出多样化趋势。在各种新型纱线中, 色纺纱线因其独特的外观、丰富的色彩, 加之其生产方法, 符合人们追求环保、个性时尚的消费理念, 深受消费者青睐^[1-2]。传统混色纺纱的生产是先在纺工序对有色纤维进行均匀混合, 然后再纺制成纱; 三通道转杯纺纱技术是将

转杯纺与复合纺纱相结合, 把不同颜色的粗纱条同时喂入转杯纺纱系统, 并均匀混合, 一步成纱, 不仅缩短了色纱生产流程, 还可小批量、多品种生产, 快速应对市场需求^[3]。转杯纺作为一种新的纺纱方式, 因其流程短、产量高、纤维适应性广, 可循环利用废弃的羊毛制品或下脚料, 在毛纺领域具有很好的发展前景^[4-5]。为将三通道转杯纺纱技术引入毛色纺产品的

收稿日期: 2019-10-25; 修订日期: 2019-12-03。

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项目(JUSRP51631A)。

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

生产,文中以有色毛纤维为原料,利用三通道转杯纺纱机生产羊毛混色纱线,并研究混色织物的混色规律,为未来三通道转杯毛纺产品在计算机测配色方向的发展提供理论依据。

计算机测配色技术以配色模型理论为依据,对来样进行辅助配色,从而解决工厂配色难、效率低等困难。目前,常用的纤维混色配色模型主要有 Kubelka-Munk 双常数模型^[6-7]、Stearns-Noechel 模型^[8-9]以及 Friele 模型^[10-11],其中 Friele 模型是唯一在光学理论上针对色纤维混合特征而提出的配色模型。文中利用 Friele 模型分别对三通道转杯羊毛混色针织物及梭织物的混色规律进行探究,并分析 Friele 模型是否适用于三通道转杯毛纺混色织物的测配色。

1 材料与方法

1.1 原料与仪器

1.1.1 原料 红、黄、蓝纯色羊毛粗纱,浙江兰宝毛纺集团有限公司生产。

1.1.2 仪器 Datacolor 650 分光光度仪,美国 Datacolor 公司制造。

1.2 实验方法

1.2.1 纺纱方法 利用多通道转杯纺纱机混与纺一体式的独特纺纱方法,将红、黄、蓝 3 色羊毛粗纱同时喂入由独立伺服电机控制的给棉罗拉中,通过给棉罗拉的给棉速度控制纤维混色比例,并在转杯纺纱机独有的分梳辊及转杯装置的高速运转下,将喂入的不同颜色的粗纱条进行分梳及均匀混合,纺制出一定比例混合均匀的混色纱线^[12]。

1.2.2 样品制备 纺制了红、黄、蓝 3 种纯色纱,并以质量比为 10% 的变化梯度将 3 种颜色两两混合纺制混色纱,共 30 个纱样,分别织成纬编针织平纹织物和梭织斜纹织物,用于求解不同织物结构下的最佳参数 σ 值。其中纱线线密度为 44.85 tex,纬编针织平纹织物的线圈密度为 108 个/cm²,梭织斜纹织物的经密为 306 根/dm、纬密为 192 根/dm。利用红、黄两色纤维混合制成的不同比例混色针织物及梭织物分别如图 1 和图 2 所示。由图 1 和图 2 可以看出,利用相同纱线不同织造形式织出的织物在颜色及视觉效果上稍有不同,针织物有较明显的色斑效果,而梭织物由于经纬纱交织,弱化了色斑,在纵向上呈条纹效应。

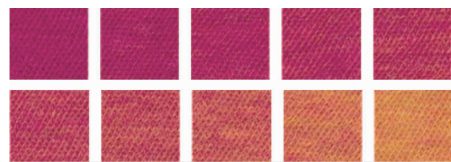


图 1 不同混色比例针织物

Fig. 1 Knitted fabrics of different color blending ratios



图 2 不同混色比例梭织物

Fig. 2 Woven fabrics of different color blending ratios

1.2.3 测试方法 织物样本采用分光光度仪测量其各波长下的光谱反射率。测量环境为:D65 标准光源,10°视场,30 mm 大孔径。为减少测量误差,测量时保证样本不透光,每个样本测量 10 次,取其平均值,波长取值范围为 380 ~ 700 nm,取点间隔为 10 nm,即每个样本共有 33 个波长下的光谱反射率值。

2 Friele 模型及参数 σ 计算

当不同颜色的单色纤维根据不同质量比进行混合时,其形成的混色样品反射率与单色纤维的反射率假设存在以下加和关系:

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

式中: $R_b(\lambda)$ 表示波长为 λ 时混色样品反射率; x_i 为混色样品中第 i 组分单色纤维的质量分数,且满足 $\sum x_i = 1$; $R_i(\lambda)$ 表示第 i 组分单色样品在波长为 λ 时反射率。

1952 年,Friele 在加和公式的基础上推出了一个关于反射率的函数式,即 Friele 模型,具体表示为

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

式中: $R(\lambda)$ 表示波长为 λ 时的反射率; σ 为 Friele 模型参数。

Friele 模型可用于有色纤维的混色研究。Friele 利用松散的羊毛纤维进行混色,推荐模型参数 σ 值为 0.3。由于 σ 的取值受到纤维种类、混合方式等诸多方面因素的影响,于是许多研究者对 σ 的取值展开了进一步探讨。PHILIPS 等^[13]对棉混色纱条的推荐 σ 值为 0.245;沈加加等^[14]对条子混色的棉和羊毛混色纱线的推荐 σ 值分别为 0.128,0.093。

由式(2)即可反推出预测样本的反射率

$$R_b(\lambda) = \frac{\sigma - \ln f[R_b(\lambda)] - \sqrt{(\sigma - \ln f[R_b(\lambda)])^2 - \sigma^2}}{\sigma} \quad (3)$$

文中通过多通道转杯纺纱机对有色纤维进行混色,并利用赋值法对 Friele 模型参数 σ 进行循环赋值(赋值范围为 0.001 ~ 1,赋值间隔为 0.001),分别求取针织样品和梭织样品平均色差最小时 σ 的取值作为最佳 σ 值,从而利用最优参数建立关于多通道转杯毛纺混色织物的 Friele 模型。文中色差计算均采用 CMC(2:1) 色差公式。不同赋值参数下样品平均色差的取值变化如图 3 所示。

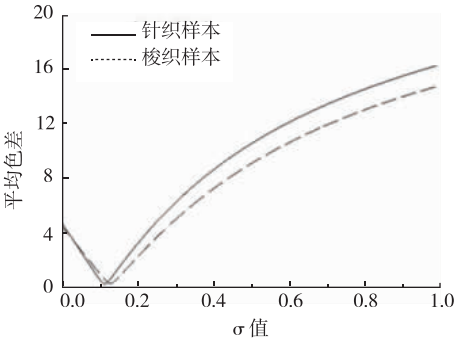


图 3 不同 σ 值对应织物样品平均色差
Fig. 3 Average color differences of fabric samples with different σ values

由图 3 可以看出,针织样品和梭织样品的平均色差随着 σ 值的增大,呈先减小后逐渐增大的趋势;当 σ 值在 0.1 ~ 0.2 范围内时,样品平均色差达到最小。为清楚地呈现出样本平均色差在 0.1 ~ 0.2 范围内的变化情况,在 0.1 ~ 0.2 区间内作平均色差变化图,具体如图 4 所示。由图 4 可以看出,两种织物样品的平均色差在此范围内因 σ 值的不同变化差异较大。当 σ 值为 0.125 时,针织样品的平均色差达到最小;当 σ 值为 0.141 时,梭织样品的平均色差达到最小。因此取针织物的 Friele 模型最优 σ 值为 0.125,梭织物的 Friele 模型最优 σ 值为 0.141。

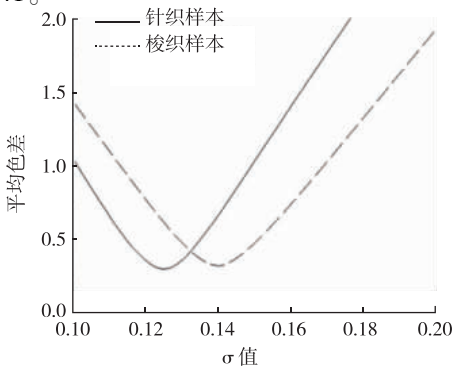


图 4 σ 值在 0.1 ~ 0.2 区间内的织物平均色差
Fig. 4 Average color differences with the value of σ in the range of 0.1 ~ 0.2

3 配方计算

根据求得的最优模型参数,利用全光谱配色法对样本进行配方预测,假设在预测配方下标准样反射率与配色样反射率无限接近,即满足^[15]

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

式中: $R^s(\lambda)$ 为各波长下标准样反射率, $R^m(\lambda)$ 为各波长下配色样反射率。

由式 (2) 可推得

$$f[R^s(\lambda)] \approx f[R^m(\lambda)] \quad (5)$$

对于 3 组分样品配色,由式 (1) 可得到

$$f[R^m(\lambda)] = x_1 f[R^1(\lambda)] + x_2 f[R^2(\lambda)] + x_3 f[R^3(\lambda)] \quad (6)$$

设

$$F^s = \begin{bmatrix} f(R_{380}^s) \\ f(R_{390}^s) \\ \dots \\ f(R_{700}^s) \end{bmatrix},$$

$$F = \begin{bmatrix} f(R_{380}^1) & f(R_{380}^2) & f(R_{380}^3) \\ f(R_{390}^1) & f(R_{390}^2) & f(R_{390}^3) \\ \dots & \dots & \dots \\ f(R_{700}^1) & f(R_{700}^2) & f(R_{700}^3) \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

可得到 $F^s \approx FX \quad (7)$

利用式 (7) 中的 33 个线性方程组求解 3 个未知数,则方程有解,且为多个解,因此利用最小二乘法求方程组的解,即使 $\Delta \rightarrow 0$

$$\Delta = \min \left\{ \sum_{380}^{700} [f(R^s(\lambda)) - x_1 f(R^1(\lambda)) - x_2 f(R^2(\lambda)) - x_3 f(R^3(\lambda))] \right\}$$

解得 $X = (F^T F)^{-1} F^T F^s \quad (8)$

利用最小二乘法求解出的预测配方使得匹配样与标准样之间反射率差异最小,但为保证各单色纤维预测配方和为 1,需对以上求得的配方进行归一化处理,作为最终的预测配方。

4 预测结果分析

根据求得的预测配方,即可预测混色样关于 Friele 模型的 $f[R_b(\lambda)]$,并利用式 (3) 可以计算出预测混色样的反射率 $R_b(\lambda)$,根据标准混色样与预测混色样的反射率,计算预测配方下预测样品的色差。

为验证预测配方的准确性,文中在针织样品和梭织样品中分别选取 10 种不同比例的 3 色混色样品,利用最优模型参数即式(8),对样品进行配方预测及预测配方下样品色差计算,其中 1~10 号验证样品为纬编针织平纹织物,11~20 号验证样品为梭织斜纹织物。各样品配色结果见表 1 和表 2。

表 1 针织混色样品配色结果
Tab. 1 Color matching results of knitted mixed color samples

样品编号	实际比例	预测比例	样品色度值			预测色度值			色 差
			<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
1	0. 1:0. 2:0. 7	0. 072:0. 183:0. 745	40. 12	- 17. 99	- 18. 06	40. 77	- 19. 67	- 18. 41	1. 09
2	0. 1:0. 6:0. 3	0. 083:0. 618:0. 299	48. 03	- 11. 61	5. 26	48. 45	- 13. 04	5. 46	1. 13
3	0. 2:0. 2:0. 6	0. 170:0. 194:0. 636	38. 36	- 10. 01	- 17. 41	38. 74	- 10. 98	- 17. 85	0. 77
4	0. 2:0. 6:0. 2	0. 187:0. 605:0. 208	46. 40	0. 86	5. 35	46. 72	0. 27	5. 38	0. 86
5	0. 3:0. 3:0. 4	0. 286:0. 303:0. 411	38. 60	0. 26	- 11. 40	38. 76	- 0. 26	- 11. 62	0. 68
6	0. 4:0. 3:0. 3	0. 385:0. 303:0. 312	38. 00	8. 26	- 9. 69	38. 16	8. 05	- 10. 01	0. 42
7	0. 5:0. 2:0. 3	0. 510:0. 191:0. 299	35. 58	14. 58	- 13. 08	35. 71	14. 59	- 13. 47	0. 31
8	0. 6:0. 2:0. 2	0. 590:0. 299:0. 101	36. 15	21. 52	- 10. 19	36. 27	21. 60	- 10. 49	0. 22
9	0. 7:0. 1:0. 2	0. 710:0. 090:0. 200	34. 43	26. 69	- 12. 91	34. 45	26. 69	- 13. 20	0. 19
10	0. 8:0. 1:0. 1	0. 802:0. 095:0. 103	36. 38	36. 21	- 7. 82	36. 32	36. 06	- 7. 98	0. 13

表 2 梭织混色样品配色结果
Tab. 2 Color matching results of woven mixed color samples

样品编号	实际比例	预测比例	样品色度值			预测色度值			色 差
			<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
11	0. 1:0. 2:0. 7	0. 080:0. 188:0. 732	42. 75	- 17. 78	- 17. 72	43. 31	- 19. 55	- 18. 10	1. 13
12	0. 1:0. 6:0. 3	0. 090:0. 598:0. 312	50. 12	- 11. 67	4. 36	50. 27	- 13. 01	4. 36	1. 05
13	0. 2:0. 2:0. 6	0. 179:0. 202:0. 619	41. 11	- 9. 43	- 17. 07	41. 30	- 10. 70	- 17. 34	1. 01
14	0. 2:0. 6:0. 2	0. 192:0. 601:0. 207	48. 93	1. 42	5. 55	48. 97	0. 53	5. 34	1. 25
15	0. 3:0. 3:0. 4	0. 280:0. 308:0. 412	41. 44	- 0. 08	- 11. 11	41. 42	- 0. 94	- 11. 33	1. 11
16	0. 4:0. 3:0. 3	0. 383:0. 309:0. 308	40. 86	8. 62	- 9. 42	40. 72	7. 92	- 9. 66	0. 80
17	0. 5:0. 2:0. 3	0. 487:0. 199:0. 314	38. 11	13. 20	- 12. 99	38. 27	12. 95	- 13. 61	0. 60
18	0. 6:0. 2:0. 2	0. 590:0. 202:0. 208	38. 97	22. 39	- 10. 18	38. 68	21. 70	- 10. 38	0. 49
19	0. 7:0. 1:0. 2	0. 690:0. 103:0. 207	37. 19	26. 33	- 12. 95	36. 91	25. 65	- 13. 23	0. 48
20	0. 8:0. 1:0. 1	0. 812:0. 086:0. 102	38. 03	35. 75	- 8. 19	38. 36	36. 52	- 8. 46	0. 41

由表 1 可知:当 $\sigma_1=0.125$,对针织样本进行配方预测时,有两个样品色差大于 1,其他均小于 1,平均色差为 0.58;当 $\sigma_2=0.141$,对梭织物进行配方预测时,其验证样品的色差在 1 左右,平均色差为 0.83。两种织物的平均色差均小于 1,且每个样品的色差均在 1 个色差单位左右,有效满足了行业内人眼识别的色差要求,预测效果相对较好,说明 Friele 理论能够较好地应用于多通道转杯毛纺混色织物的纤维混色配比及颜色预测的研究。

5 结 语

文中将 Friele 模型应用于三通道转杯羊毛混色织物的混色规律研究,利用赋值迭代法计算出适用于纬编针织平纹织物的模型参数 σ 为 0.125,适用于梭织斜纹织物的模型参数 σ 为 0.141。将求出的

模型参数进行配色,并计算色差,结果显示:样品色差均在 1 左右,平均色差小于 1,满足配色要求,预测效果相对较好。

多通道转杯纺纱技术能够将混色与纺纱一体化生产,在未来色纺领域具有较好的发展前景。计算机测配色技术是未来色纺发展的必然趋势,将多通道转杯纺纱技术与配色计算技术相结合,可为未来多通道转杯纺纯羊毛混色织物计算机配色软件的开发及应用提供一定的理论依据。

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. Production of color spinning products and technology development needs[J]. Cotton Textile Technology, 2012, 40(12): 65-

68. (in Chinese)
- [2] 桂亚夫. 色纺生产工艺流程与新型花式纱线开发[J]. 棉纺织技术, 2017, 45(5): 1-4.
GUI Yafu. Color spun production processing and new fancy yarn development [J]. Cotton Textile Technology, 2017, 45(5): 1-4. (in Chinese)
- [3] 杨瑞华, 徐亚亚, 巩浩晴, 等. 多通道转杯花色纱成纱规律[J]. 服装学报, 2019, 4(1): 1-4.
YANG Ruihua, XU Yaya, GONG Haoqing, et al. Study on rule of yarn formation of multi-channeled rotor spun multi-color yarn[J]. Journal of Clothing Research, 2019, 4(1): 1-4. (in Chinese)
- [4] 陈廷, 梁金茹. 转杯纺纱技术在毛纺中的应用[J]. 上海毛麻科技, 2006(2): 4-9.
CHEN Ting, LIANG Jinru. Application of rotor spinning technology in wool spinning[J]. Shanghai Wool and Jute Journal, 2006(2): 4-9. (in Chinese)
- [5] 周卫忠. 利用转杯纺技术开发高比例兔毛及其混色纺纱线[J]. 上海毛麻科技, 2015(4): 5-9.
ZHOU Weizhong. Development of high proportion rabbit hair and its mixed-color spinning yarn by rotor spinning technology [J]. Shanghai Wool and Jute Journal, 2015(4): 5-9. (in Chinese)
- [6] 车江宁, 陈东辉. 混色纤维双常数库贝尔卡-芒克理论绝对配色[J]. 染整技术, 2001, 23(6): 7-9.
CHE Jiangning, CHEN Donghui. Absolute colour matching of melange fibres using dual-constant kubelka-munk theory[J], Textile Dyeing and Finishing Journal, 2001, 23(6): 7-9. (in Chinese)
- [7] 周华, 王春燕, 罗来丽, 等. 基于 Kubelka-Munk 双常数理论的纬全显色提花织物配色算法[J]. 纺织学报, 2012, 33(5): 35-39.
ZHOU Hua, WANG Chunyan, LUO Laili, et al. Spectrophotometric color matching algorithm of jacquard fabric with all colored wefts based on Kubelka-Munk double constant theory[J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(5): 35-39. (in Chinese)
- [8] STEARNS E I, NOECHEL F. Spectrophotometric prediction of color of wool blends [J]. American Dyestuff Reporter, 1944, 33(9): 177-180.
- [9] 李戎, 宋阳, 顾峰. 基于 Stearns-Noechel 模型的纤维光谱配色算法[J]. 纺织学报, 2007, 28(1): 77-80.
LI Rong, SONG Yang, GU Feng. Spectrophotometric algorithm of pre-colored fiber based on Stearns-Noechel model[J]. Journal of Textile Research, 2007, 28(1): 77-80. (in Chinese)
- [10] FRIELE L F C. The application of color measurement in relation to fiber-blending[J]. Journal of Textile Institute, 1952, 43: 604-611.
- [11] 马崇启, 程璐, 王玉娟, 等. 基于 Friele 模型的彩色纤维混色配方算法[J]. 纺织学报, 2017, 38(12): 33-37.
MA Chongqi, CHENG Lu, WANG Yujuan, et al. Color fiber mixing formula algorithm based on Friele model[J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(12): 33-37. (in Chinese)
- [12] 邓茜茜, 杨瑞华, 徐亚亚, 等. 转杯纺混色棉纱的纤维混合均匀度[J]. 纺织学报, 2019, 40(7): 31-37.
DENG Qianqian, YANG Ruihua, XU Yaya, et al. Study on mixing uniformity of fibers in rotor-spun mixed yarns [J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(7): 31-37. (in Chinese)
- [13] 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.
- [14] 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. (in Chinese)
- [15] 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: 51-52.

(责任编辑: 邢宝妹)