



基于散纤维测色的混色棉条颜色预测模型

房安宁¹, 沈加加², 陈维国¹

(1. 浙江理工大学纺织科学与工程学院(国际丝绸学院), 杭州 310018; 2. 嘉兴学院材料与纺织工程学院, 浙江嘉兴 314001)

摘要: 针对色纺纱行业中有色纤维混合后颜色预测流程繁琐、精度低的问题, 在 Stearns-Noechel 模型的基础上, 探究基于散纤维直接测色的颜色预测公式。通过数理分析改进颜色预测模型中的 M 值计算方法, 提出 Model I 模型和 Model II 模型, 并与已有的 Model III 模型和 Model IV 模型进行对比。结果表明: 新建立的两种颜色预测模型较已有的两种模型在颜色预测的精度上都得到了不同程度的提高, 尤其是基于波长的 Model II 模型具有更高的精度。在 45 个混色样中, 平均色差仅为 1.4, 色差小于 3.0 的个数占样本总数的 100%, 这表明新提出的颜色预测模型可应用于混色棉条生产中的颜色初步预测。

关键词: 色纺纱; 混色棉条; Stearns-Noechel 模型; 色差; 颜色预测

中图分类号: TS 114

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2021) 07-0483-06

Color prediction models of mixed color cotton slivers based on loose fiber colourimetry

FANG Anming¹, SHEN Jiajia², CHEN Weiguo¹

(1. College of Textile Science and Engineering (International Institute of Silk), Zhejiang
Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. College of Materials and Textile Engineering, Jiaxing University, Jiaxing 314001, China)

Abstract: In view of the problems of the complex process and low accuracy of color prediction after colored fibers are mixed in the color spinning industry, based on the Stearns-Noechel model, the author probes into a color prediction formula based on the direct colourimetry of loose fiber. Through mathematical analysis, the M value calculation method in the color prediction model is improved, Model I and Model II are proposed and compared with the existing Model III and Model IV. The results show that compared with the two existing models, the two new color prediction models are improved to varying degrees in terms of the accuracy of color prediction. Model II based on wavelength, in particular, has higher accuracy. Among the 45 mixed color samples, the mean color difference is only 1.4, and the number of samples with a color difference of less than 3.0 account for 100% of the total number of samples. This suggests that the newly proposed color prediction models can be used for preliminary color prediction in the production of mixed color slivers.

Key words: color spinning; mixed color slivers; Stearns-Noechel model; color difference; color prediction

0 引言

色纺纱是按照一定配比将两种或者两种以上的有色纤维,经充分混合后纺制而成的具有独特风格的纱线^[1]。目前色纺企业多采用人工配色的方法,配色人员根据自身的配色经验对客户来样(标样)进行纤维种类和颜色的分析,并给出初始配方;然后根据配方将纤维纺制成织物,即拟合样;最后将拟合样与标样进行颜色对比与修正,直至符合客户要求。由于目前测色仪只能在纱线或者织物状态下对颜色进行精确测量,所以配色人员只有将纤维纺成纱再织片测色,才能完成对颜色的评估,从而对配方进行修正。若无需将混色纤维纺成织物小样便可预知混色织物的颜色,势必将大大提高配色效率并减少成本。

目前计算机配色涉及 Kubelka-Munk 双常数理论、Stearns-Noechel 模型、Friele 模型和神经网络算法等诸多内容^[2]。高新等^[3]通过二波段法将波段分为两部分,在不同波段确定 Stearns-Noechel 模型中的未知参数,结果显示,20 个两色样的拟合色差均小于 1.0,120 个三色样拟合色差均小于 2.0,但预测结果的好坏受波段分界点影响较大;张婷婷等^[4]以 Kubelka-Munk 双常数理论为基础,结合全光谱算法和最小二乘法,对 36 种环锭数码混色纱进行了颜色预测,色差小于 2.0 的样本占了 72.2%;杨瑞华等^[5]利用 Friele 理论建立了转杯多元基色混色纱的颜色预测模型,实验结果表明:当色差小于 3.0 时,二组分样本合格率达到 100%,三组分样本合格率达到 97%。此外,许佳艳等^[6]提出了一种新的单色纤维吸收系数 K 和散射系数 S 的计算方法,以 Kubelka-Munk 双常数理论为基础对涤棉黑白双组分混色织物进行配色,并取得很好的配色效果;沈加加等^[7-8]建立了基于 Friele 模型的全光谱配色方法,获得羊毛色纺纱参数 σ 为 0.093,棉色纺纱参数 σ 为 0.128,之后又在此基础上比较了 3 种配色模型的约束最小二乘法的配色效果,结果显示 Stearns-Noechel 模型计算得到的组分偏差和平均色差最小,配色准确性最高。以上研究都是基于纱线测色或者织物测色,基于散纤维测色进行颜色预测目前未见相关报道。

本文以棉纤维作为研究对象,在直接测量纤维颜色的基础上,利用 Matlab 求解 Stearns-Noechel 模型中的未知参数,建立颜色预测模型,从而简化有色纤维混色后颜色预测流程,提供更为精确的颜色

预测结果,提高生产效率。

1 Stearns-Noechel 模型

1941 年,Duntley^[9]认为混色纤维的反射率与组成该混色纤维的单色纤维的质量比和颜色有关,最早做出如下猜想:

$$f[R(\lambda)] = \sum_{i=1}^n c_i \times R_i(\lambda) \tag{1}$$

其中: $R(\lambda)$ 表示波长为 λ 时混色试样的反射率, $R_i(\lambda)$ 表示波长为 λ 时第 i 种组分的单色纤维的反射率, c_i 表示第 i 种组分的单色纤维在混色样中的质量比,其满足 $\sum_i c_i = 1$ 。

由于不同颜色纤维之间对光线吸收、散射影响不同,且单色样反射率与其组分比例之间是非线性关系,并不满足简单的加法混色或是减法混色,因此公式(1)并不成立。1944 年,Stearns 和 Noechel^[10]通过大量实验得出一个中间函数 $f[R(\lambda)]$,即:

$$f[R(\lambda)] = \frac{1 - R(\lambda)}{M \times [R(\lambda) - 0.01] + 0.01} \tag{2}$$

这便是 Stearns-Noechel 模型,式中 $R(\lambda)$ 表示波长为 λ 时的反射率, M 为未知参数。许多学者根据 Stearns-Noechel 模型对于不同种类纤维的最佳 M 值做了大量研究,研究结果如表 1 所示。

| 表 1 Stearns-Noechel 模型中不同纤维的最佳 M 值 | | |
|------------------------------------|------|--------|
| 参考文献 | 纤维种类 | M 值 |
| 文献[10] | 羊毛 | 0.1500 |
| 文献[11] | 棉 | 0.1542 |
| 文献[12] | 腈纶 | 0.2500 |
| 文献[13] | 黏胶 | 0.0900 |

由于 M 值受纤维种类、纤维状态、纤维配比、波长等因素的影响,目前只能通过大量实验,对特定品种、状态的纤维,确定不同求解方法下适用于企业生产的最佳 M 值,从而达到减小配色误差,提高配色效率的目的。

2 实验部分

2.1 实验材料及设备

实验主要材料:选用品红(M)、黄(Y)、青(C)、黑(K)和白(W)5 种颜色的单色棉纤维,其反射率及色度参数分别如图 1 和表 2 所示。

主要实验设备:梳棉机、电子天平、Datacolor SF800 型台式分光光度计。其中,梳棉机由青岛精佳纺织机械制造有限公司生产。

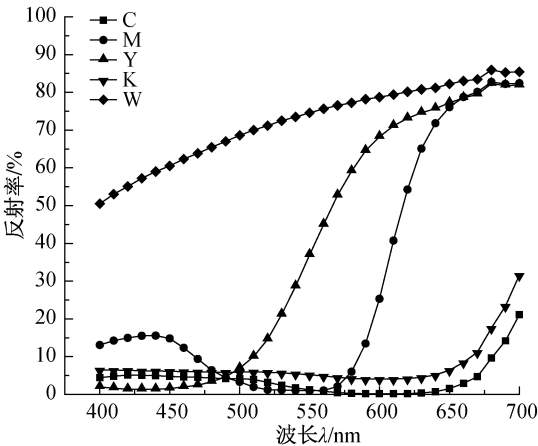


图 1 单色纤维的反射率曲线

表 2 四种单色纤维色度学参数

| 单色纤维 | <i>L</i> | <i>a</i> | <i>b</i> |
|------|----------|----------|----------|
| C | 14.27 | −9.11 | −20.21 |
| M | 39.25 | 64.15 | −4.84 |
| Y | 67.95 | 29.02 | 88.16 |
| K | 27.08 | −3.09 | −4.64 |
| W | 88.89 | −0.27 | 11.08 |

注：*L* 代表明亮度，*a* 代表红绿色，*b* 代表黄蓝色。

2.2 散纤维颜色直接测量方法

采用 Datacolor SF800 型分光光度计进行颜色的测量。首先将仪器预热 30 min 并进行校正,测色条件为 D65 标准光源、100% UV、10°观察角、大孔径(30 mm)。波长范围为 400~700 nm,间隔10 nm 取值。测色时在填充装置表面加装 N-FK58 型光学玻璃(由德国肖特集团生产)进行直接测色,该玻璃在可见光范围内的透射率均在 99.5%以上,从而可忽略光学玻璃对颜色测量结果的影响。每次称取 2.0 g 样品,取不同位置测量 10 次,结果取平均值。纤维填充装置设计如下:在装置的顶部配有一块光学玻璃且由一个可旋转盖固定,这样方便玻璃的拆装,测色时旋转盖拧至最紧;在装置的底部有一个向内凸起的可旋转配件,可用来调节纤维所受压力,取下该配件即可取出纤维。

2.3 样品制备

选取 C、M、Y、K、W 五种颜色的纤维,以两色和三色的混合形式制备 45 个样品。其中,两色样选用 K、W 两种单色纤维,三色样选用 C、M、Y 三种单色纤维进行混色,设组分之和为单位 1,间隔 0.1 个单位设置配方,具体配比分别如表 3 和表 4 所示。制备样品时,首先将每种单色纤维送入梳棉机梳理两次,然后按照配比称取单色纤维,手动混合、开松后送入梳棉机,前后共梳理 5 次,每次梳理完后都要进

行测色评估,使得不同部位两次测色的色差小于 0.3,色差公式为 CMC(2:1),以保证纤维混色均匀。

表 3 两色混合样配方

| 序号 | K | W |
|----|-----|-----|
| 1 | 0.1 | 0.9 |
| 2 | 0.2 | 0.8 |
| 3 | 0.3 | 0.7 |
| 4 | 0.4 | 0.6 |
| 5 | 0.5 | 0.5 |
| 6 | 0.6 | 0.4 |
| 7 | 0.7 | 0.3 |
| 8 | 0.8 | 0.2 |
| 9 | 0.9 | 0.1 |

表 4 三色混合样配方

| 序号 | C | M | Y |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0.1 | 0.1 | 0.8 |
| 2 | 0.1 | 0.2 | 0.7 |
| 3 | 0.1 | 0.3 | 0.6 |
| ... | ... | ... | ... |
| 34 | 0.7 | 0.1 | 0.2 |
| 35 | 0.7 | 0.2 | 0.1 |
| 36 | 0.8 | 0.1 | 0.1 |

3 参数 *M* 值的计算

3.1 不同样品的参数 *M* 值

正如 Stearns-Noechel 模型介绍中所述,*M* 值的大小受单色纤维种类和配比的影响。利用 Matlab 对 *M* 在 0~1 范围内,间隔 0.0001 进行赋值,当拟合反射率与实际反射率之间的色差最小时取相应的 *M* 值,45 个混色样对应的 *M* 值如表 5 所示。

由表 5 可知,45 组混色样中 *M* 值最大为 0.3789,最小为 0.0671,可见 *M* 值分布范围较广,难以找到一个理想的 *M* 值使得所有混色样都能得到一个最佳的预测结果。为了尽可能多地使得各种颜色达到较好的预测结果,选择所有试样的平均色差达到最小时的 *M* 值作为最佳 *M* 值,依此方法得到最优 *M* 值为 0.0888,此时的颜色预测模型记为 ModelI 模型。

3.2 参数 *M* 与波长的关系

由上述公式可知,同一样品不同波长时的 *M* 值也不相同。为了找出最优 *M* 值,满足任意颜色组合时都能实现拟合反射率与实际反射率之间的色差最小,假设拟合反射率和实际反射率相等,即可在已知单色样反射率、配比和混色样反射率的条件下得出

表5 45个混色样对应的M值

| 序号 | M 值 | 序号 | M 值 | 序号 | M 值 | 序号 | M 值 | 序号 | M 值 |
|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 0.2704 | 10 | 0.0671 | 19 | 0.0780 | 28 | 0.0850 | 37 | 0.0868 |
| 2 | 0.2171 | 11 | 0.0821 | 20 | 0.0834 | 29 | 0.0927 | 38 | 0.0885 |
| 3 | 0.1973 | 12 | 0.0810 | 21 | 0.0873 | 30 | 0.0853 | 39 | 0.0943 |
| 4 | 0.1981 | 13 | 0.0833 | 22 | 0.0854 | 31 | 0.0757 | 40 | 0.0822 |
| 5 | 0.1463 | 14 | 0.0924 | 23 | 0.1103 | 32 | 0.0811 | 41 | 0.0843 |
| 6 | 0.1342 | 15 | 0.0873 | 24 | 0.0889 | 33 | 0.1001 | 42 | 0.0983 |
| 7 | 0.1222 | 16 | 0.1063 | 25 | 0.0807 | 34 | 0.0953 | 43 | 0.0849 |
| 8 | 0.1158 | 17 | 0.1030 | 26 | 0.0843 | 35 | 0.1118 | 44 | 0.1037 |
| 9 | 0.3789 | 18 | 0.0819 | 27 | 0.0888 | 36 | 0.0830 | 45 | 0.0960 |

每个混色样在不同波长下的M值。经计算,45组混色样在不同波长下的M值分布如图2所示。

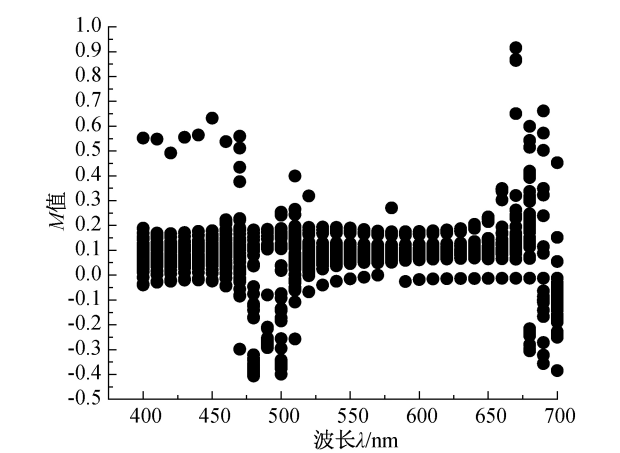


图2 不同波长下参数M值的散点分布图

由图2可知,M值的大小主要集中在0~0.2000之间,且在波长400~670nm范围内最集中,当波长大于670nm后,M值分布比较离散。为了探究M值与波长的关系,采用SPSS分析计算400~670nm各波长下的中位数,再经线性回归拟合得出M值关于波长λ的关系式如下:

$$M=0.0001\times(0.73\lambda+435.1)$$

(3)

其拟合相关指数为0.8821,这表明M值的大小与波长之间具有很好的相关性,此时的预测模型记为ModelⅡ模型。

3.3 评价指标

色差ΔE是评价颜色差异的综合指标,也是衡量颜色预测模型最重要的指标,故而本文选用CMC(2:1)色差公式作为评价模型好坏的指标。此外,不论M值是固定值还是随波长变化而变化的值,均无法对每一个混色样达到最佳的预测结果,故而引入色差值ΔE分布的概念,作为评价模型好坏的另一个指标,即当ΔE小于某一值时的样品数占总样品数的百分比。

4 结果与讨论

对颜色预测模型中未知参数M值的研究,得到了ModelⅠ模型和ModelⅡ模型,参考文献[11]中学者对参数M值的研究成果,记 $M_3=0.1542$, $M_4=0.001\times(0.45\lambda-137.98)$,即可得到ModelⅢ模型和ModelⅣ模型。然后将单色组分的反射率数值、配比和M值代入颜色预测模型,即可得到相应的混色样拟合反射率,最后根据CMC(2:1)色差公式计算色差ΔE。为了比较四种模型在颜色预测时的准确性,分别从平均拟合色差和色差分布两方面讨论,如表6和表7所示。

表6 四种模型平均拟合色差对比

| 模型 | 双组分样品 | 三组分样品 | 所有样品 |
|----------|-------|-------|------|
| ModelⅠ模型 | 2.8 | 1.8 | 2.0 |
| ModelⅡ模型 | 1.2 | 1.5 | 1.4 |
| ModelⅢ模型 | 1.3 | 8.1 | 6.8 |
| ModelⅣ模型 | 3.7 | 7.1 | 6.4 |

表7 四种模型拟合色差分布对比

| 模型 | $\Delta E\leq 1.0$ | $\Delta E\leq 1.5$ | $\Delta E\leq 2.0$ | $\Delta E\leq 2.5$ | $\Delta E\leq 3.0$ |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ModelⅠ模型 | 26.7% | 44.4% | 57.8% | 68.9% | 77.8% |
| ModelⅡ模型 | 35.6% | 55.6% | 73.3% | 93.3% | 100.0% |
| ModelⅢ模型 | 8.9% | 15.6% | 17.8% | 17.8% | 20.0% |
| ModelⅣ模型 | 0 | 0 | 2.2% | 4.4% | 8.9% |

表6分别从双组分混色样、三组分混色样和所有混色样的角度出发,对比四种模型颜色预测时的平均拟合色差。可以看出,相较于文献[11]得出的M值计算公式,本实验建立的ModelⅠ模型和ModelⅡ模型具有更高的颜色预测准确性,尤其是ModelⅡ模型,所有样品的平均拟合色差低至1.4。表7中设定5种拟合色差范围,计算某一色差范围内的样品数占总样品数的百分比,以此作为评价模型颜色预测准确性和稳定性的另一指标。由表7可知,不论是何种色差范围内的匹配百分率,ModelⅠ

模型和 Model II 模型都较后两种模型均有明显增加,尤其是 Model II 模型,其拟合色差 $\Delta E \leq 3.0$ 的占比为 100.0%,可见 Model II 模型颜色预测结果最好,这与表 6 的结果相吻合。

为了进一步验证上述结果,选取两个双色混色样和两个三色混色样进行反射率和色差的对比

比,结果如表 8 所示。四个样品分别为表 3 中的第 5 号和第 8 号样,表 4 中的第 9 号和第 27 号样,分别记为 KW5、KW8、CMY9 和 CMY27。这四个样品的配比包含了某一组分或某两组分占比相对较低和各组分之间占比相对一致的情况,具有一定的代表性。颜色预测结果如图 3 所示。

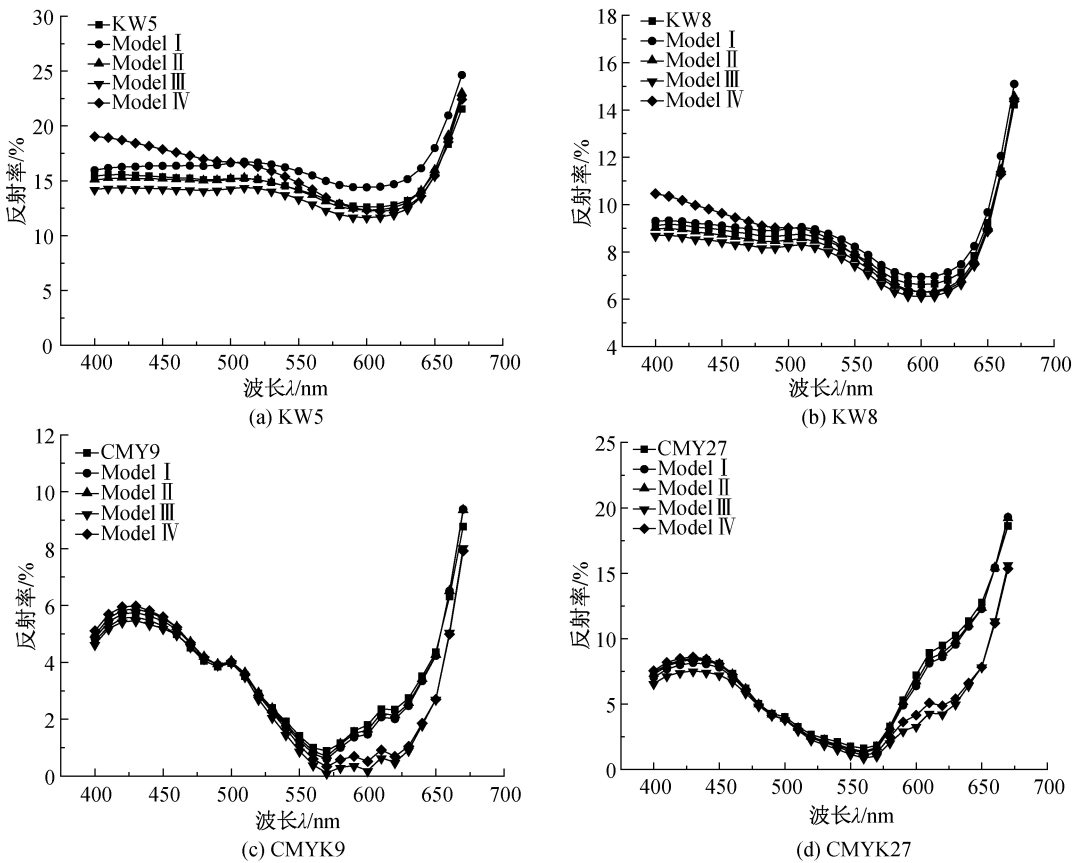


图 3 四种模型下 4 个混色样拟合反射率与标准反射率间的对比

| 表 8 四种模型下混色样拟合色差对比 | | | | |
|--------------------|-----|-----|------|-------|
| 模型 | KW5 | KW8 | CMY9 | CMY27 |
| Model I 模型 | 2.2 | 0.7 | 1.4 | 1.0 |
| Model II 模型 | 0.5 | 0.5 | 1.1 | 0.8 |
| Model III 模型 | 0.9 | 0.7 | 8.8 | 7.4 |
| Model IV 模型 | 4.6 | 2.7 | 7.0 | 6.5 |

从图 3 可以看出,Model I 模型和 Model II 模型预测的反射率与标准反射率在数值和曲线形状、走势上高度一致,而另外两个模型的预测结果相对较差,这是因为参数 M 值的大小受纤维规格、加工工艺、染色工艺等因素的影响,文献[11]中的实验材料虽然也是棉纤维,但若是将纤维加工成纱线后再进行测色,相对于散纤维而言,纤维的取向度、密度、相互作用力等相差较大,故而不适用于本实验中样本的颜色预测。结合表 8 中色差值的计算结果,再次证明 Model I 模型和 Model II 模型较其余两个

模型的颜色预测准确性更高,其中 Model II 模型的颜色预测结果最好。可见,本文提出的模型适用于棉条的颜色预测。

5 结 论

本文基于散纤维颜色测量结果,利用 Matlab 分析了 M 值与波长 λ 之间的关系,从而建立了 Model II 模型;从整体平均色差最小角度出发得到 Model I 模型;最后对比分析了 Model I 模型、Model II 模型和已有的 Model III 模型、Model IV 模型这四种颜色预测模型的优良性。结果表明本文提出的两种模型均大大提高了颜色预测的精度,尤其是 Model II 模型,预测的 45 个混色样的色差均小于 3.0,且平均拟合色差低至 1.4,更加适用于混色棉条的颜色预测,从而为纤维混色结果提供参考,提高纤维的配色效率。

参考文献：

[1] 钱爱芬. 色纺纱产品特点及调配色原理[J]. 棉纺织技术, 2010, 38(11): 66-68.

[2] 程璐. 色纺纱配色算法改进及计算机测配色系统开发[D]. 天津: 天津工业大学, 2018: 11-13.

[3] 高新, 潘如如, 高卫东. 采用改进 Stearns-Noechel 模型的混色棉纤维颜色预测[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2020, 46(4): 549-554.

[4] 张婷婷, 薛元, 贺玉东, 等. 环锭数码纱 Kubelka-Munk 双常数配色模型构建及其色彩预测[J]. 纺织学报, 2020, 41(1): 50-55.

[5] 杨瑞华, 徐亚亚, 韩瑞叶, 等. 多通道转杯纺混色纱的 Friele 配色模型[J]. 纺织学报, 2019, 40(3): 44-48.

[6] 许佳艳, 陈维国, 沈加加. 基于双常数理论的涤棉黑白双组分配色研究[J]. 浙江理工大学学报, 2012, 29(6): 799-803.

[7] 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.

[8] 沈加加, 陈维国, 刘伟. 基于约束最小二乘法的色纺纱配色方法[J]. 针织工业, 2015(6): 31-33.

[9] Duntley S.Q. The prediction and control of colored fiber blends by optical means [J]. American Dyestuff Reporter, 1941, 30: 689-700.

[10] Stearns E I, Noechel F. Spectrophotometric prediction of color of wool blends[J]. American Dyes, 1944, 33(9): 177-180.

[11] 白婧, 杨柳, 张毅, 等. 纯棉色纺纱配色中的 Stearns-Noechel 模型参数优化[J]. 纺织学报, 2018, 39(3): 31-37.

[12] Davidson H R, Taylor M. Prediction of the color of fiber blends [J]. Journal of the Optical Society of America, 1965, 55(1): 96-100.

[13] 李戎, 宋阳, 黄劲旭, 等. 有色纤维的配色方法研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2006(4): 83-87.

(责任编辑:刘国金)