

文章编号: 1673-3851 (2012) 06-0799-05

基于双常数理论的涤棉黑白双组分配色研究

许佳艳¹, 陈维国¹, 沈加加²

(1. 浙江理工大学材料与纺织学院, 杭州 310018; 2. 嘉兴学院, 浙江嘉兴 314000)

摘 要: 提出了一种以双常数理论为基础的求解涤、棉单色纤维的吸收系数和散射系数的方法——相对值法。根据单色纤维的吸收系数和散射系数对 5 个涤棉目标样进行反射率曲线拟合, 拟合反射率曲线和仪器测量反射率曲线重合性较好, 且计算得到的拟合色差在 2.0 (以 CIE1976Lab 为单位) 以内。采用全光谱配色法对涤棉目标样进行了配方预测, 实际混色样与计算出的预测配方之间的 CIE1976Lab 色差满足配色要求。

关键词: 双常数理论; 涤棉混色样; 相对值法; 吸收系数; 散射系数; 色差

中图分类号: TS193.13 **文献标识码:** A

0 引 言

色纺织物具有色泽柔和丰满、层次感强及特有的麻点效果等特殊风格, 符合时尚、环保要求, 因此深受消费者的喜爱。目前, 色纺织物生产存在的最大问题是配色问题, 大部分企业采用手工配色, 这种方法费时、费料, 还受配色人员的心理因素的影响^[1]。色纺织物的计算机配色已经成为一种必然的趋势, 越来越多的颜色工作者开始研究色纺织物的计算机配色。

色料、涂料的计算机配色均以 Kubelka-Munk 理论为基础, 但是色纺织物的配色并不完全属于减法混色, 有人称色纺织物的配色属于混合混色, 既包含加法混色又包含减法混色, 其配色模型主要有 Stearns-Noechel^[2-3]模型和 Friele^[4-5]模型。这两个模型都包含一个可变参数, 需要通过大量的混色样来确定这个参数, 才可以进行下一步的配色运算。

Burlone 研究发现传统的 Kubelka-Munk 单常数理论一般用于单组份纤维混色不能得到精确结果, Kubelka-Munk 双常数理论用于单组份纤维能得到较好的结果^[6]。

上述各研究均对单组份纤维的混色配色进行了

研究, 并未对双组份纤维的混色配色进行研究, 本文以 Kubelka-Munk 双常数理论为基础对涤棉双组份纤维的混色配色进行研究。

1 双常数求解方法

求解单色纤维的吸收系数和散射系数有两种方法: 一种是绝对值法^[7], 车江宁^[8]在对棉纤维的配色研究中就使用了最小二乘法求解出单色棉纤维的 K 和 S , 并用其对混色样进行配方预测, 得到较好的结果; 另一种是相对值法^[9], 设定一种纤维的吸收系数和散射系数, 求得另一种有色纤维的吸收系数和散射系数, 其并非该有色纤维的真实吸收系数和散射系数。Burlone^[6]用该方法计算出 9 种有色尼龙纤维的 K 和 S , 并对 42 种尼龙混色样进行配色。

本文用相对值法计算涤、棉各单色色纤维的吸收系数 K_A 和散射系数 S_A 。采用 Datacolor 公司生产的 Datacolor600 测色仪测得混色样的反射率值, 利用公式(1)计算得到织物的 K/S 值。

$$K/S = \frac{(1+R)^2}{2R} \quad (1)$$

根据 Kubelka-Munk 双常数理论, 混色织物的 K/S 值:

收稿日期: 2012-05-23

基金项目: 国家自然科学基金(51173168); 科技部“科技人员服务企业行动计划”(2009GJC20037); “现代纺织科技”嘉兴市创新团队开放基金项目(MTC2011-002)

作者简介: 许佳艳(1987-), 女, 河南焦作人, 硕士研究生, 主要从事色纺织物的计算机测配色技术的研究。

通讯作者: 陈维国, E-mail: wgchen62@126.com

$$(K/S)_M = \frac{\sum_{i=1}^n C_i K_i}{\sum_{i=1}^n C_i S_i} \tag{2}$$

对于黑白纤维混色：

$$\omega_M = \frac{K_M}{S_M} = \frac{C_A K_A + C_W K_W}{C_A S_A + C_W S_W} \tag{3}$$

式(3)中 ω_M ：含两种纤维混合制备的混色织物的 K/S 值； K_M 、 S_M ：分别是混色纤维的吸收系数和散射系数； C_A 、 C_W ：分别为混色织物中黑色纤维所占的比例和白色纤维所占的比例； K_A 、 K_W ：分别是黑色纤维和白色纤维的吸收系数； S_A 、 S_W ：分别是黑色纤维和白色纤维的散射系数。

公式(3)右边的分子分母同时除以 $C_W S_W$ 得到

$$\omega_M = \frac{K_M}{S_M} = \frac{\frac{C_A K_A}{C_W S_W} + \frac{K_W}{S_W}}{\frac{C_A S_A}{C_W S_W} + 1} \tag{4}$$

由于公式(4)比较复杂，可以引入公式(5)代替 K/S 值， ω_M 、 ω_A 和 ω_W 分别代表混色织物、纯黑色织物、纯白色织物的 K/S 值

$$\omega_M = \frac{K_M}{S_M} \quad \omega_A = \frac{K_A}{S_A} \quad \omega_W = \frac{K_W}{S_W} \tag{5}$$

公式(4)可以简化为

$$\omega_M = \frac{\frac{C_A K_A}{C_W S_W} + \omega_W}{\frac{C_A K_A}{C_W S_W} + 1} \tag{6}$$

解得

$$\frac{C_A K_A}{C_W S_W} = \omega_A \left(\frac{\omega_M - \omega_W}{\omega_A - \omega_M} \right) \tag{7}$$

由公式(8)可以解得单色纤维的吸收系数

$$K_A = \frac{C_W S_W \omega_A (\omega_M - \omega_W)}{C_A (\omega_A - \omega_M)} \tag{8}$$

进而求得单色纤维的散射系数

$$A = \begin{bmatrix} K_{1,360} - (K/S)_{360}^{(s)} S_{1,360} & K_{2,360} - (K/S)_{360}^{(s)} S_{2,360} & \cdots & \cdots & K_{n,360} - (K/S)_{360}^{(s)} S_{n,360} \\ K_{1,370} - (K/S)_{370}^{(s)} S_{1,370} & K_{2,370} - (K/S)_{370}^{(s)} S_{2,370} & \cdots & \cdots & K_{n,370} - (K/S)_{370}^{(s)} S_{n,370} \\ \vdots & \vdots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \ddots & \vdots \\ K_{1,700} - (K/S)_{700}^{(s)} S_{1,700} & K_{2,700} - (K/S)_{700}^{(s)} S_{2,700} & \cdots & \cdots & K_{n,700} - (K/S)_{700}^{(s)} S_{n,700} \\ 1 & 1 & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{36 \times n}$$

$$C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad t = \begin{bmatrix} 0_{360} \\ 0_{370} \\ \vdots \\ 0_{700} \\ 1 \end{bmatrix}_{36 \times 1}$$

$$S_A = \frac{K_A}{\omega_A} \tag{9}$$

设定白色纤维散射系数 $S_W=1$ ，通过公式(8)和公式(9)可以解得黑色纤维的吸收系数 K_A 和散射系数 S_A 。理论上选用一个黑白混色样就可以求出黑色纤维的吸收系数 K_A 和散射系数 S_A ，但是为了更加准确得到黑色纤维吸收系数 K_A 和散射系数 S_A ，可以选用几个混色样进行求解，再取平均值。

2 全光谱配色算法

理想的全光谱配色，就是配色样的反射率曲线和标准样的反射率曲线完全重合，从360~700 nm每隔10 nm取1个点，总共取35个点，使得配色样的反射率值和标准样的反射率值相等。

$$R_{\lambda}^{(s)} = R_{\lambda}^{(m)} \tag{10}$$

$$(K/S)_{\lambda}^{(s)} = (K/S)_{\lambda}^{(m)} \tag{11}$$

$$(K/S)_{\lambda}^{(s)} = (K/S)_{\lambda}^{(m)} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i K_{i,\lambda}}{\sum_{i=1}^n C_i S_{i,\lambda}} \tag{12}$$

公式(10~12)中：

$R_{\lambda}^{(s)}$ 、 $R_{\lambda}^{(m)}$ ：分别代表标准样和配色样的反射率； $(K/S)_{\lambda}^{(s)}$ 、 $(K/S)_{\lambda}^{(m)}$ ：分别代表标准样和配色样的 K/S 值； C_i ：第 i 种单色纤维占混色样总纤维的比例； $K_{i,\lambda}$ ：特定波长 λ 下第 i 种单色纤维的吸收系数； $S_{i,\lambda}$ ：特定波长 λ 下第 i 种单色纤维的散射系数。

将公式(12)右边的分母乘到左边，移项化简得到，

$$\sum_i (K_{i,\lambda} - (K/S)_{\lambda}^{(s)} S_{i,\lambda}) C_i = 0 \tag{13}$$

显然，混色样中各单色纤维的比例之和应满足下面条件

$$\sum_i C_i = 1 \tag{14}$$

所以可以定义系数矩阵和向量如下

$$AC = t \tag{15}$$

对公式(16)采用最小二乘法，计算得到混色样中各单色纤维的比例

$$C = (A^T \times A)^{-1} \times A^T \times t \tag{16}$$

用最小二乘法虽然可以预测出混色样的配方,但是通常预测出的配方中,各单纤维比例之和不等于 1,于是采用归一法限定预测配方中单色纤维的比例之和为 1。

3 试验部分

3.1 试验材料与仪器

材料:涤纶黑色,涤纶白色,棉黑色,棉白色 4 种纤维(浙江上虞华孚色纺公司)。

仪器:振动式开松梳棉机(江阴市恒远机械制造有限公司),Y301B 型条粗测长器(常州纺织仪器厂有限公司 TYPE),A272F 并条机(沈阳纺织机械厂),A456E 粗纱机(中国人民解放军第五七零一厂),FA506 环锭细纱机(晋中市禾田机械制造有限公司),Datacolor 600 plus 测色配色仪(Datacolor 公司)。

3.2 纤维样品制备及样品的测色

将黑色涤纶和白色棉、黑色棉和白色棉、黑色涤纶和白色涤纶、黑色棉和白色涤纶纤维分别以质量比例 1 : 9、3 : 7、5 : 5、7 : 3、9 : 1 混合,经三道梳棉、一道并条,纺成粗纱,再纺成线密度为 19.67tex 的细纱,经圆机织成斜纹组织,再经皂洗烘干,制成共 20 个混色样,每个样为 50 g。

用 Datacolor 600 测色配色仪在 D65 光源 10°视角下测量,测试口径为 20 mm,将制备的混色样以 4 层折叠,确保其不能透光,每个样品不同部位测量 3 次,从 360~700 nm 每间隔 10 nm 取点,得到 35 个波长下的反射率值。

3.3 求解单色纤维的吸收系数 K 和散射系数 S

设定各个波长下白色棉纤维的 $S=1$,采用前面提出的相对值法,用 5 个棉黑白混色样求出 5 组黑色棉纤维的 K 和 S ,再求平均 K 和 S 。

同样方法,通过 5 个涤纶黑棉白混色样和 5 个涤纶黑白混色样,分别计算出黑色涤纶纤维和白色涤纶纤维的 K 和 S 。

由于 K/S 具有加和性,可以通过计算得到的黑色棉、白色棉、黑色涤纶、白色涤纶纤维的 K 和 S ,对未参与计算的 5 个棉黑涤白混色样(黑色棉纤维和白色涤纶纤维混合)进行反射率曲线进行拟合(用公式 2 和公式 1 计算),进而求出拟合反射率和仪器测量反射率之间的色差(用等间隔波长法^[10]求出拟合反射率的三刺激值 X 、 Y 、 Z ,进而求出拟合色度值 L 、 a 、 b ,采用 CIE1976Lab 色差公式^[10]计算色差)。

4 结果与讨论

4.1 涤纶、棉单色纤维的 K 和 S

利用前面提出的相对值法计算出各单色纤维在各个波长下的平均吸收系数 K 和散射系数 S , K 和 S 曲线如图 1 所示。

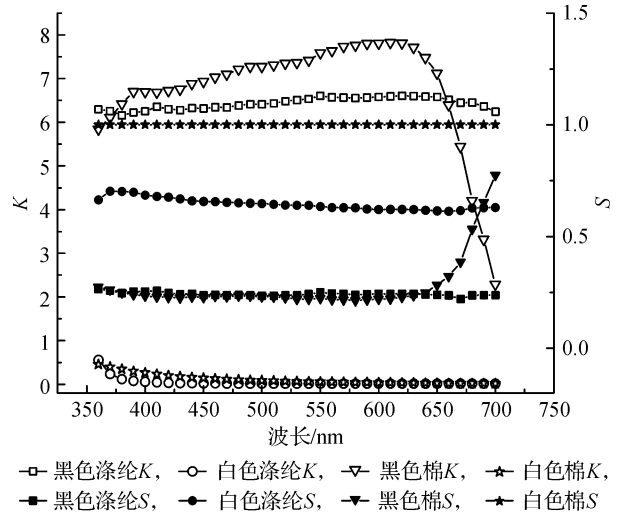


图 1 4 种单色纤维的 K 和 S 曲线

根据计算得到的单色纤维的 K 和 S ,由于 K/S 的加和性,对 5 个棉黑涤白目标样进行反射率曲线(用公式 2 和公式 $R=1+(K/S)-((K/S)^2+2(K/S))^{1/2}$ 计算)进行拟合,目标样的实际色度值和拟合曲线的色度值及两者之间的色差如表 1 所示,其拟合曲线如图 2 所示。

表 1 实际混色样和拟合曲线的色度值及二者之间的色差

混色样(棉黑 : 涤纶白)	实际色度值			拟合色曲线色度值			拟合色差 ΔE_{10}
	L_{10}	a_{10}	b_{10}	L_{10}	a_{10}	b_{10}	
1(1 : 9)	54.59	-0.06	-2.66	55.06	-0.12	-2.54	0.49
2(3 : 7)	36.59	0.28	-2.85	36.58	0.16	-2.68	0.20
3(5 : 5)	28.94	0.37	-2.37	27.17	0.36	-2.38	1.77
4(7 : 3)	20.90	0.70	-2.17	20.51	0.57	-2.04	0.43
5(9 : 1)	15.37	1.14	-1.84	14.98	0.83	-1.68	0.53

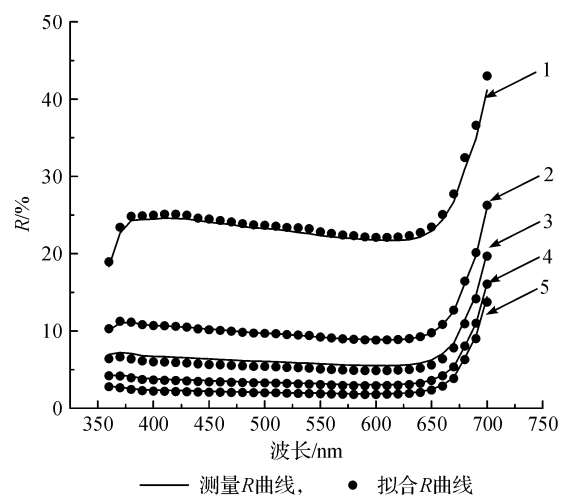


图2 涤棉混色样的实际反射率曲线和拟合反射率曲线

从表1可以看出,5个涤棉目标样中,除了目标样3的明度值与拟合曲线的明度值相差超过1,色

表2 目标样的实际比例与预测比例以及两者之间的色差

目标样		目标样组份		D65			
		黑色棉	白色涤纶	ΔL_{10}	Δa_{10}	Δb_{10}	ΔE_{10}
1	实际比例	1	9	-0.074 1	-0.052 1	0.100 2	0.135 1
	预测比例	0.103 5	0.896 5				
2	实际比例	3	7	-0.039 1	-0.114 4	0.166 1	0.205 4
	预测比例	0.300 2	0.699 8				
3	实际比例	5	5	-0.0749 8	-0.055	0.084 2	0.125 3
	预测比例	0.456 9	0.543 1				
4	实际比例	7	3	-0.028 6	-0.149 9	0.101 8	0.183 5
	预测比例	0.686 8	0.313 2				
5	实际比例	9	1	-0.032	-0.342 8	0.134 6	0.358 6
	预测比例	0.883 5	0.116 5				

由表2可以看出,用全光谱法对这5个涤棉目标样在D65光源下的预测色差都在2.0以内,符合配色的精确度,但是目标样3的预测色差虽然较小,预测比例与实际比例相差却较大,这可能是样品制作过程中人为误差造成的,同时,也必然包括纤维混色不匀的原因,其他四个涤棉目标样的预测比例与实际比例都比较接近。

5 结 论

本文提出了一种求解单色纤维吸收系数K和散射系数S的计算方法,并以单色纤维的吸收系数和散射系数为基础数据,对5个涤棉目标样反射率曲线进行拟合,且拟合色差均在2.0(以CIE1976Lab为单位)以内,又采用全光谱配色算法来预测5个涤棉双组份黑白混合织物配方,并计算实际目标样和预测配方样之间的色差(D65光源10°

差较大。这可能是混色样制备不准确造成的误差,其余4个目标样的拟合曲线色度值与实际目标样的色度值相差很小,色差均小于0.6。从图2的反射率曲线可以看出,目标样3反射率曲线重合度不高,其余4个目标样的反射率曲线重合性都较好。

4.2 涤棉两组份混色样的配色结果

根据单色纤维的K和S,采用全光谱配色法,对5个棉黑涤白目标样进行配方预测,得到混色样中单色纤维的预测比例,并计算出预测配方的反射率(用公式2和公式 $R=1+(K/S)-((K/S)^2+2(K/S))^{1/2}$ 计算),预测在D65光源10°观察视角下预测配方与目标样之间的色差(用等间隔波长法^[10]求出预测配方的三刺激值X、Y、Z,进而求出预测配方的色度值L、a、b,采用CIE1976Lab色差公式^[10]计算色差),预测结果如表2所示。

视角下CIE1976Lab色差)在2.0以内,满足配色精确度。结果表明,以Kubelka-Munk双常数理论为基础的 全光谱配色方法对涤棉黑白双组份混色织物有很好的配色效果。

参考文献:

[1] 扈炳正,李东军. 色纺纱手工配色的操作工艺[J]. 纺织导报, 2003(6): 130-131.

[2] Davidson H R, Taylor M. Prediction of the color of fiber blends[J]. Opt Soc Am, 1965, 55(1): 96-100.

[3] Burlone D A. Theoretical and practical aspects of selected fiber-blend color formulation functions[J]. Color Research and Application, 1984, 9(4): 213-219.

[4] Friele L F C. The application of color measurement in relation to fiber-blending[J]. Journal of Textile Institute, 1952, 43(8): 604-611.

[5] Philips-Invemizzi B, Dupont D, Caze C. Formulation of colored fiber blends from Frieles theoretical model[J].

Color Research and Application, 2002, 27(3): 191-198.

[6] Burlone DA. Formulation of blends of precolored nylon fiber[J]. Color Research and Application, 1983, 8(2): 114-120.

[7] Walowit. An algorithm for the optimization of Kubelka-Munk absorption and scattering coefficients[J]. Color Research and Application, 1987, 12(6): 340-343.

[8] 车江宁, 陈东辉. 混色纤维配色方法探索[J]. 印染, 2001, 10(6): 11-13.

[9] Roderick McDonald. Colour Physics for Industry[M]. Bradford: Staples Printers Rochester Ltd. 1997: 308-312.

[10] 董振礼, 郑宝海, 钭桂芬, 等. 测色与计算机配色[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2007: 38-54.

Color Matching of Polyester and Cotton Blends Based on the Two-Constant Theory

XU Jia-yan¹, CHEN Wei-guo¹, SHEN Jia-jia²

- (1. School of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2. Jiaxing University, Jiaxing 314000, China)

Abstract: In this paper, a relative value method that can solve absorption coefficients and scattering coefficients of each colored polyester and cotton fiber based on the two-constant theory is proposed. The absorption coefficients and scattering coefficients of each colored fiber are used to fit the reflectance curve of five polyester and cotton target blends, and good results are obtained. The algorithm of spectrophotometric color matching is run to predict the recipes for the five polyester and cotton target blends, and the color differences between the original target blends and the calculated ones are expressed in CIE1976Lab units. As a result, the color differences can meet color-matching requirements.

Key words: two-constant theory; polyester and cotton blended fabric; relative value method; absorption coefficient; scattering coefficient; color difference

(责任编辑: 许惠儿)