

文章编号 : 0253-9721(2007)01-0077-04

# 基于 Stearns- Noechel 模型的纤维 光谱配色算法

李戎, 宋阳, 顾峰

( 东华大学 国家染整工程技术研究中心, 上海 201620)

**摘 要** 为了研究有色纤维的配色算法, 使用红、黄、蓝 3 种单色粘胶纤维按一定质量比例混合得到混色纤维, 并对混色纤维的颜色进行了测量。通过对 Stearns- Noechel 模型的分析应用, 结合光谱配色算法, 对 36 个混色粘胶纤维的处方进行了匹配, 配色结果显示最大色差为 1.03 CIELAB 单位, 最小色差为 0.10 CIELAB 单位。结果表明此算法可以应用于有色纤维的配色。

**关键词** 配色; Stearns- Noechel 模型; 有色纤维; 光谱配色

中图分类号: TS193.13 文献标识码: A

## Spectrophotometric algorithm of pre-colored fiber based on Stearns- Noechel model

LI Rong, SONG Yang, GU Feng

( National Research Engineering Center for Dyeing and Finishing of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract** In order to find a good recipe to reproduce a target color for pre-dyed fibers, three primary samples, red, yellow and blue viscose, were used to prepare 36 fibre blends. A spectrophotometric color matching algorithm based on Stearns- Noechel model is used to predict recipes for 36 viscose blends. The results indicate that the maximum color difference is 1.03 CIELAB units, and the minimum, 0.10 CIELAB units. This demonstrates that the algorithm is suitable for color matching of fiber blends.

**Key words** color matching; Stearns- Noechel model; pre-colored fiber; spectrophotometric algorithm

计算机配色技术<sup>[1]</sup>在纺织印染工业中的应用与仪器配色技术的发展几乎是同时开始的, 它是计算机辅助设计在纺织印染中应用的一个重要组成部分。计算机配色技术的研究及其在工业控制中的应用极大地提高了生产效率和工业色彩控制的质量。目前, 计算机配色技术已经朝着网络化、集成化、数字化、实时化方向发展。

计算机配色技术已经成功应用于织物的印染加工。但关于单色纤维按一定质量比混合成混色纤维的配色技术的研究较少, 目前只有美国 Datacolor International 公司在 2004 年推出了商业软件<sup>[2]</sup>, 然而其核心算法没有公开, 国内还没有相关商业化软件

面世。现在混色纤维在工业生产中应用十分广泛, 如应用于地毯、花色纱等, 因此对它的配色技术的研究有重要的理论意义和实际应用价值。本文旨在研究基于 Stearns- Noechel 模型的纤维光谱配色算法, 为国产商业软件的开发奠定基础。

### 1 Stearns- Noechel 模型的应用

$$f(R) = (1 - R) / [ M(R - 0.01) + 0.01 ] \quad (1)$$

式中,  $R$  为反射率,  $M$  为常数。文献[3]将经验公式(1)应用于羊毛纤维的配色, 分别讨论了此公式对黑色和白色、黄色和蓝色羊毛纤维以相同质量比例

收稿日期: 2005-07-07 修回日期: 2005-11-01

基金项目: 东华大学校基金资助项目

作者简介: 李戎(1975—), 女, 副教授, 博士。主要研究领域为计算机测配色技术、计算机辅助设计在纺织印染中的应用等。

E-mail: lirong@dhu.edu.cn.

混合的应用情况。文献[3]推荐的常数  $M=0.15$ 。

在此之后,文献[4]应用 Stearns- Noechel 模型研究了黑白两色腈纶纤维以不同质量比例混合的情况,认为  $M=0.25$ 。文献[5]认为对于尼龙纤维,  $M=0.11$ 可以得到最佳的匹配结果。文献[6]研究了黑白两种颜色的涤纶纤维以不同比例编织成织物后的配色情况,认为  $M=0.189$  比较合适。文献[7]应用数理统计的方法,认为对于棉纤维,  $M$ 值是一个与波长有关的函数,具体见式(2)。

$$M = \frac{1}{1\ 000}(0.12\lambda + 42.75) \quad (2)$$

式中  $\lambda$  为波长。

上述各研究重点仅仅着眼于不同纤维  $M$  值的大小,对于如何将 Stearns- Noechel 模型应用到数值计算中,从而得到利于程序编写的算法并未涉及。

## 2 纤维配色的光谱配色算法

### 2.1 光谱配色算法

以不同质量比、不同颜色混合的纤维,假定在特定波长下,有以下等式成立:

$$f(R_{s,\lambda}) = \sum a_i f(R_{i,\lambda}) \quad (3)$$

其中:  $R_{s,\lambda}$  表示波长为  $\lambda$  时混色纤维的反射率,也就是标样的反射率;  $R_{i,\lambda}$  表示波长为  $\lambda$  时  $i$  组分单色纤维的反射率;  $a_i$  表示  $i$  组分单色纤维的质量比例,  $\sum a_i = 1$ 。

要达到色彩的光谱匹配,就是计算样(匹配样)的光谱反射率与标样相同,即式(4)成立:

$$f(R_{m,\lambda}) = f(R_{s,\lambda}) \quad (4)$$

其中,  $R_{m,\lambda}$  表示波长为  $\lambda$  时计算样的反射率。

实际计算中,式(4)左右两边可能会出现微小差异,应用数学上最小二乘法求极小值,并且以3种不同颜色的单色纤维混合为例,波长范围由测色仪器 Gretag Macbeth Color Eye 7000 A 的测试范围决定,即为 360 ~ 700 nm, 波长间隔为 10 nm, 由此可得到公式(5)。

$$\Delta = \min \left| \sum_{\lambda=360}^{750} [f(R_{s,\lambda}) - a_1 f(R_{1,\lambda}) - a_2 f(R_{2,\lambda}) - a_3 f(R_{3,\lambda})]^2 \right| \quad (5)$$

令列向量  $F_s$  代表标样的  $f(R_{s,\lambda})$  值;列向量  $A$  代表不同颜色的单色纤维的比例;矩阵  $\Phi$  代表单色纤维的  $f(R_{i,\lambda})$  值:

$$F_s = \begin{pmatrix} f(R_{s,360}) \\ f(R_{s,370}) \\ \vdots \\ f(R_{s,750}) \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$A = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\Phi = \begin{pmatrix} f(R_{1,360}) & f(R_{2,360}) & f(R_{3,360}) \\ f(R_{1,370}) & f(R_{2,370}) & f(R_{3,370}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f(R_{1,750}) & f(R_{2,750}) & f(R_{3,750}) \end{pmatrix} \quad (8)$$

将式(3),(5)转化为矩阵形式表达,得到式(9)和(10):

$$F_s = A \cdot \Phi \quad (9)$$

$$\Delta = \min [(F_s - A\Phi)^T (F_s - A\Phi)] \quad (10)$$

矩阵  $(F_s - A\Phi)^T$  为  $(F_s - A\Phi)$  的转置矩阵。因  $\Delta$  趋于极小,它对比例  $a_1, a_2, a_3$  的偏导数均为 0, 所以式(11)成立:

$$\Phi^T \cdot \Phi \cdot A = \Phi^T \cdot F_s \quad (11)$$

故求得式(12):

$$A = (\Phi^T \cdot \Phi)^{-1} \Phi^T \cdot F_s \quad (12)$$

计算时,  $f(R_{i,\lambda})$  的值由式(1)得到。经过计算机多次运用式(12)可以显著提高处方准确性。

### 2.2 色差计算

求得单色纤维的质量比例后,再次应用式(3),求得匹配样的  $f(R_{m,\lambda})$  值,利用式(1)的逆运算,既可求出匹配样的反射率。

在印染行业中,用色差评价配色的准确度。按照 GB 8424-1989<sup>[8]</sup> 的规定, CIELAB 总色差小于 1.3 表示肉眼能感觉色差,但色差很小,即能符合要求。

三刺激值的计算公式如下:

$$\begin{aligned} X &= k \cdot \Delta \lambda \cdot \sum_{\lambda=360}^{750} \bar{x}_{\lambda} \cdot R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \\ Y &= k \cdot \Delta \lambda \cdot \sum_{\lambda=360}^{750} \bar{y}_{\lambda} \cdot R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \\ Z &= k \cdot \Delta \lambda \cdot \sum_{\lambda=360}^{750} \bar{z}_{\lambda} \cdot R_{\lambda} \cdot E_{\lambda} \end{aligned} \quad (13)$$

其中:  $k$  为常数,可查表得到;  $\bar{x}_{\lambda}, \bar{y}_{\lambda}, \bar{z}_{\lambda}$  为标准色度观察值,可查表得到;  $\lambda$  为波长 (nm);  $R_{\lambda}$  为物体分光反射率;  $E_{\lambda}$  为标准光源能量分布,可查表得到;  $X, Y, Z$  为样品的三刺激值。

CIELAB 色差公式为

$$L^* = 116( Y/ Y_0 )^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500[ ( X/ X_0 )^{1/3} - ( Y/ Y_0 )^{1/3} ] \quad (14)$$

$$b^* = 200[ ( Y/ Y_0 )^{1/3} - ( Z/ Z_0 )^{1/3} ]$$

式中:  $X_0$ 、 $Y_0$ 、 $Z_0$  为理想白色物体的三刺激值,可查表得到;  $X/ X_0$ 、 $Y/ Y_0$ 、 $Z/ Z_0$  任何一个都不能小于 0.008 856,否则按式(15)计算  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值:

$$L^* = 903.3( Y/ Y_0 )$$

$$a^* = 3 893.5[ ( X/ X_0 ) - ( Y/ Y_0 ) ] \quad (15)$$

$$b^* = 1 557.4[ ( Y/ Y_0 ) - ( Z/ Z_0 ) ]$$

$$\Delta E = [ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 ]^{1/2} \quad (16)$$

其中: $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$  分别表示标样与样品之间的亮度差、红绿轴分色差、黄蓝轴分色差; $\Delta E$  表示总色差。在  $10^\circ$  标准观察, D65 光源条件下计算色差。

### 3 试验部分

红、黄、蓝 3 种单色粘胶纤维按一定质量比用梳棉机混合而成混色纤维,其质量比见表 1。

表 1 红、黄、蓝纤维的质量比

Tab.1 Components of blends

样品序号	红	黄	蓝	样品序号	红	黄	蓝
1	1	8	1	19	3	3	4
2	1	7	2	20	3	2	5
3	1	6	3	21	3	1	6
4	1	5	4	22	4	5	1
5	1	4	5	23	4	4	2
6	1	3	6	24	4	3	3
7	1	2	7	25	4	2	4
8	1	1	8	26	4	1	5
9	2	7	1	27	5	4	1
10	2	6	2	28	5	3	2
11	2	5	3	29	5	2	3
12	2	4	4	30	5	1	4
13	2	3	5	31	6	3	1
14	2	2	6	32	6	2	2
15	2	1	7	33	6	1	3
16	3	6	1	34	7	2	1
17	3	5	2	35	7	1	2
18	3	4	3	36	8	1	1

用测色仪器测量单色纤维和混色纤维的反射率,带入自行编制的软件 CCMfibmix 中验证算法的准确性。由于不是单根散纤维,而是均匀地混成了团状,所以测色时,不用任何辅助装置,通过将压力调整到最小状态来减小样品在测色窗口处的突出。应用最大测量孔径 25.4 mm 测色。每个样品测量 10 次,直到样品的平均测量色差小于 0.2 CIELAB 色

差单位,每个样品总质量为 10 g。

计算中, $M$ 值取 0.09。表 2 为样品的颜色匹配结果。图 1 为色差最大的 3 号样的原样和匹配样的反射率曲线。

表 2 颜色匹配结果

Tab.2 Color matching results

样品序号	红	黄	蓝	$\Delta E$ CIELAB	样品序号	红	黄	蓝	$\Delta E$ CIELAB
1	1.10	7.89	1.01	0.10	19	2.77	3.07	4.16	0.50
2	0.82	7.08	2.10	0.58	20	2.92	2.41	4.67	0.64
3	0.84	5.64	3.52	1.03	21	2.77	1.11	6.12	0.24
4	0.77	5.26	4.97	0.65	22	3.98	4.98	1.04	0.72
5	0.85	3.85	5.30	0.49	23	3.72	4.04	2.24	0.56
6	0.85	3.24	5.91	0.52	24	3.45	3.60	2.95	0.59
7	0.86	2.29	6.85	0.73	25	3.57	2.33	4.10	0.41
8	1.07	1.18	7.75	0.25	26	3.71	1.10	5.19	0.26
9	1.69	7.11	1.20	0.38	27	4.51	4.06	1.43	0.43
10	1.76	5.96	2.28	0.45	28	4.62	3.05	2.33	0.64
11	1.77	4.99	3.24	0.93	29	4.62	1.96	3.42	0.64
12	1.88	4.16	3.96	0.64	30	4.79	1.11	4.10	0.55
13	1.86	3.17	4.97	0.43	31	5.74	3.06	1.20	0.61
14	1.81	2.15	6.04	0.48	32	5.35	2.37	2.28	0.80
15	2.21	1.31	6.48	0.21	33	5.71	1.13	3.16	0.45
16	2.67	5.83	1.50	0.52	34	6.38	2.27	1.35	0.44
17	2.74	4.76	2.50	0.66	35	6.94	0.95	2.11	0.47
18	2.68	4.28	3.04	0.54	36	7.78	1.11	1.11	0.39

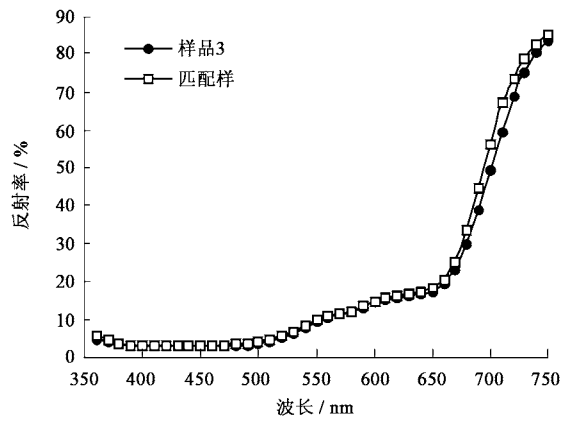


图 1 样品 3 及其匹配样的反射率

Fig.1 Reflectance curves of sample 3 and its match

### 4 结果讨论

从表 2 看出,36 个匹配样的色差都小于 1.3,说明计算结果满足要求。从而证明,本文研究的纤维配色算法,可以用于商业软件中。

从图 1 看出,原样和匹配样的反射率在波长为 350 ~ 650 nm 范围内重合的很好,只有在波长大于 650 nm 后,才出现差异。该差异也是 3 号样品及其

匹配样 CIELAB1976 色差达到 1.03 的原因。

## 5 结 论

将 Stearns- Noechel 模型应用于纤维的配色中,应用光谱配色算法编制纤维的配色软件。通过红、黄、蓝 3 种单色纤维以不同的比例混合成 36 个混色样品,验证了本文提出算法的准确性。结果表明,所有 36 个样品的匹配样和原样的色差最大为 1.03,均能满足印染行业的色差要求。 FZXB

### 参考文献:

[ 1 ] McDonald R. Colour physics for industry[ M]. Bradford: The Society of Dyers and Colourists, 1997:209.  
[ 2 ] The Manuscripts of Blend [ Z]. Datacolor International

Co., Ltd. 2004.

- [ 3 ] Stearns E I, Noechel F. Spectrophotometric prediction of color of wool blends [ J]. American Dyestuff Reporter, 1944, 33(9):177 - 180.
- [ 4 ] Davidson H R, Taylor M. Prediction of the color of fiber blends[ J]. J Opt Soc Am, 1965, 55(1):96 - 100.
- [ 5 ] Aspland J R, Zhou M. Influence of blending on color appearance of black and whiter fiber blends[ J]. Textile Chemist and Colorist and American Dyestuff Reporter, 2000, 32(10):47 - 51.
- [ 6 ] Burlone D A. Theoretical and practical aspects of selected fiber blend color formulation functions[ J]. Color Research and Application, 1984, 9(4):213-219.
- [ 7 ] Philips B, Dupont D, Jolly A, et al. Color formulation by fiber blending using the Stearns- Noechel model[ J]. Color Research and Application, 2002, 27(2):100 - 107.
- [ 8 ] GB 8424 —1989, 纺织品颜色和色差的测定方法[ S].