

# 三刺激值配色和全光谱配色的比较

王喜昌 周丰昆 禹秉熙 龙科慧

(中国科学院长春光学精密机械研究所应用光学国家重点实验室 长春 130022)

**摘要** 通过三刺激值配色和全光谱配色的比较,将最小二乘法应用于三刺激值配色中,并将三刺激值配色的基本思想变化为使匹配色和标准色的色差趋于最小,同时,给出了配方的具体表达式。计算机配色的预测结果表明此方法能够较好地满足配色要求。

**关键词** 三刺激值配色 全光谱配色

## 1 引言

目前,虽然有各种形式的计算机配色方法,但总的来说,可以分为两种模式:三刺激值配色和全光谱配色。

三刺激值配色是指通过几种染料的组合匹配标准色的三刺激值,使匹配色和标准色的三刺激值的差别达到最小。全光谱配色是匹配标准色的光谱,使得到的光谱曲线与标准色的光谱曲线的差别达到最小。

自从Allen和Micginnis使用三刺激值配色<sup>[1]</sup>和全光谱配色方法<sup>[2]</sup>以来,才开始了现代计算机配色的发展,虽然有人对计算机配色加以改进<sup>[3,4]</sup>,但计算机配色总的形式没有变化。

三刺激值配色的基本思想是使匹配色和标准色的三刺激值相同。本文通过三刺激值配色和全光谱配色的比较,将最小二乘法应用于三刺激值配色,深化了三刺激值配色的基本思想,建立了具体的配方表达式,并按照此方法进行计算机配色,给出了预测配方和预测结果。

## 2 两种基本配色方法

### 2.1 三刺激值配色方法

Allen发明了三刺激值配色方法,使计算机配色广泛地应用于工业领域。Allen的三刺激值配色方法为:

$$C = (TED\Psi)^{(-1)}TED(f^{(s)} - f^{(t)}) \quad (1)$$

其中,  $C(3 \times 1)$  代表三种染料浓度列矢量;

$T(3 \times 16)$  代表 CIE 标准观察者颜色匹配函数矩阵;

$E(16 \times 16)$  代表 CIE 标准照明体能量分布矩阵, 各波长对应数值置于对角线上, 其它元素为零的对角矩阵;

$D(16 \times 16)$  代表标准色各个波长的  $[dR/df(R)]$  值置于对角线上, 其余元素为零的方阵;

$Y(16 \times 3)$  代表染料 1、2 和 3 的单位浓度的 (K/S) 值的矩阵;

$f^{(s)}(16 \times 1)$  代表标准色的 Kubelka-Munk 函数值列矢量;

$f^{(t)}(16 \times 1)$  代表基底的 Kubelka-Munk 函数值列矢量。

## 2.2 全光谱配色方法

在三刺激值配色发展的同时, 也同时进行全光谱配色的研究。全光谱匹配方法努力去匹配标准色的光谱曲线而不是匹配标准色的三刺激值, 虽然这种方法不能保证标准色和匹配色的色度学相等, 但是全光谱配色更直观。全光谱配色算法如下:

$$C = (P^T P)^{-1} P^T W D (f^{(s)} - f^{(t)}) \quad (2)$$

其中,  $P = W D Y$ ;

$W(16 \times 16)$  为不同波长处的权重因子置于对角线上, 而其余数为零的方阵;

$Y(16 \times n)$  代表染料 1, 2, ...,  $n$  的单位浓度的 (K/S) 值的矩阵;

## 3 三刺激配色和全光谱配色的比较

通过比较三刺激值配色和全光谱配色两种算法的数学形式, 从而深化三刺激值配色的基本思想。

在建立三刺激值配色方法的过程中, 有一个中间过程, 其公式为

$$TED\Psi C = TED[f^{(s)} - f^{(t)}] \quad (3)$$

在上式中, 如果令  $TE = W$ , 其数学形式变化为:

$$W D \Psi C = W D [f^{(s)} - f^{(t)}] \quad (4)$$

其中  $W$  为  $(3 \times 16)$  阶矩阵; 而在建立全光谱配色方法的过程中, 也一个中间过程, 其公式为

$$W D \Psi C = W D (f^{(s)} - f^{(t)}) \quad (5)$$

比较 (4) 和 (5) 式, 这两种算法的数学形式是一致的, 唯一的区别是: 在式 (5) 中,  $W$  为  $(16 \times 16)$  阶矩阵, 而在式 (4) 中,  $W$  为  $(3 \times 16)$  阶矩阵。

通常情况下, 三刺激值配色方法只有三个方程, 来匹配标准色的三刺激值, 三刺激值配色可以简化为下面的形式:

$$\begin{aligned} X_{\text{Std}} - X_{\text{mix}} &= 0 \\ Y_{\text{Std}} - Y_{\text{mix}} &= 0 \\ Z_{\text{Std}} - Z_{\text{mix}} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

其中,  $X, Y, Z$  表示三刺激值;

std 表示标准色;

mix 表示匹配色。

式(6)用最小二乘法处理,可以变化为下面的形式:

$$(X_{\text{Std}} - X_{\text{mix}})^2 + (Y_{\text{Std}} - Y_{\text{mix}})^2 + (Z_{\text{Std}} - Z_{\text{mix}})^2 = 0 \quad (7)$$

从式(7)可以看出,三刺激值配色的基本思想可以变化为使匹配色和标准色的色差趋于最小。对于三种染料的三刺激值配色,由于有三个方程,求解三个浓度值,因而可以看作使用最小二乘法的特殊形式。对于小于三种染料的三刺激值配色,由于有三个方程,求解一个或两个浓度值,因而可以应用最小二乘法进行求解。

从式(4)和式(5)的比较中,可以看出,如果应用最小二乘法,三刺激值配色和全光谱配色的数学形式基本一致。

如果令  $P = TED\Psi$ , 应用最小二乘法,三刺激值配色的数学形式应为:

$$C = (P^T P)^{-1} P^T T E D (f^{(s)} - f^{(t)}) \quad (8)$$

由此,通过三刺激值配色和全光谱配色的比较,深化了三刺激值配色方法的基本思想,并给出了具体的配方表达式。

## 4 实 验

为验证上述基本思想,我们用分散性染料建立基础数据库。在大量预测配方中,我们用分散红 3B 和分散黄 RGFL 两种染料匹配一咖啡色为例进行说明,用计算机给出预测配方,并进行实验验证,其预测结果如下(浓度单位:克/升):

Table 1 Recipe of matching standard sample and color difference

3B	RGFL	$\Delta E$
concentration	Concentration	color difference
5.33	5.21	0.83

从上表中可以看出,这两种染料的三刺激值配色完全满足配色要求。按照上表给出的配方进行印染,一次就匹配了标准色,从而证明深化的三刺激值配色方法具有较好的配色效果。

## 5 总 结

1. 简要地介绍了计算机配色的两种方法,三刺激值配色和全光谱配色。

2. 通过全光谱配色和三刺激值配色的比较和分析,将最小二乘法应用于三刺激值配色,将三刺激值配色的基本思想变化为使匹配色和标准色的色差趋于最小,并给出了描述此思想的具体表达式。

3. 计算机配色的预测和实验结果表明深化的三刺激值配色具有较好的配色效果。

### 参 考 文 献

- 1 Allen E. Basic Equations Used in Computer Color Matching. J Opt Soc Am, 1966, 56: 1256 ~ 1259
- 2 McGinnis P H. Spectrophotometric Color Match with the Least Squares Technique. Color Eng, 1967, 22 ~ 27

- 3 Belanger P R. Linear-programming approach to color- recipe formulations. J Opt Soc Am, 1974, 64: 1541 ~ 1544
- 4 Cogno J A, Jungman D, Conno J C. Linear and Quadratic Optimization Algorithms for Computer Color Matching. Color Res App, 1988, 13: 40 ~ 42

## **Comparison of Tri-stimulus and Spectrophotometric Algorithms for Computer Color Matching**

WANG Xi-Chang, ZHOU Feng-Kun, YU Bing-Xi, LONG Ke-Hui

*(State-key Lab. of Applied Optics,  
Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022)*

### **Abstract**

The least-squares curve fitting is used at tri-stimulus algorithm by comparison of tri-stimulus and spectrophotometric algorithms. Thus, the idea of tri-stimulus values color matching is to make color difference between matching color and standard color minimize. Computer color matching shows the idea has good results.

**Key words:** Tri-Stimulus matching, Spectrophotometric matching

王喜昌 男, 1992年毕业于哈尔滨师范大学物理系, 曾在黑龙江省八一农垦大学任教, 1996年在春光机所取得硕士学位, 现长春光机所博士研究生。