

## 基于颜色并列与叠加模型的专色油墨光谱反射率预测算法

林朝荣, 徐军飞, 徐锦林

(浙江工贸职业技术学院, 温州 325003)

**摘要:** 专色油墨的光谱预测一直以来都是色彩研究领域中的难题, 分别采用颜色并列与叠加模型处理 Clapper-Yule 模型, 简化专色油墨光谱反射率预测模型, 通过实验验证了该简化方式具有一定的实际应用价值, 并且对于一般性印刷品的专色颜色预测, 完全可以达到要求, 最主要的是该简化极大地减小了计算难度。此外, 还比较了颜色并列模型与叠加模型简化专色油墨光谱预测模型的精确性, 结果表明, 颜色叠加模型在简化专色油墨光谱预测模型时精确性较高。

**关键词:** 颜色并列; 颜色叠加; 专色光谱预测; Clapper-Yule 模型

**中图分类号:** TS805.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0024-03

### Prediction Algorithm of Spectral Reflectance of Spot Color Ink Based on Color Parallel and Superposition Model

LIN Chao-rong, XU Jun-fei, XU Jin-lin

(Zhejiang Industry & Trade Vocational College, Wenzhou 325003, China)

**Abstract:** Spectral prediction of spot color ink has always been a difficult problem in the field of color research. Color parallel and superposition models was applied to deal with the Clapper-Yule model and to simplify the prediction model of spectral reflectance of spot color ink. Experimental verification showed that the simplified method has a certain practical application value, which can meet the requirement of spot color prediction of general presswork. The simplification can largely reduce the computational difficulty. The accuracy of color parallel model was compared with the superposition model. The result showed that the color superposition model has higher accuracy in simplifying the spectral prediction model of spot color ink.

**Key words:** color parallel; color superposition; spot color spectral prediction; Clapper-Yule model

随着人们对印刷品色彩效果需求的不断提高, 传统的人工专色油墨配色已经不能满足市场发展的要求。近年来, 随着计算机控制和测配色仪器的发展, 计算机油墨配色系统应运而生并逐渐走向成熟, 具有精度高、速度快和简单方便的计算机油墨配色系统渐渐的成为高质量印刷的最优选择。目前, 应用于专色油墨配色的算法模型主要是以 Kubelka-Munk 理论和蒙版方程为主, 在文献[1]中采用了双常数 Kubelka-Munk 模型专色油墨配色算法, 其配色结果虽然可以满足基本配色要求但是计算较复杂难度较大。文献[2]中采用了蒙版方程应用于专色油墨配色, 结果显示其配色结果不太理想, 得到的配比难以满足配色要求。此两种算法并未考虑到油墨的呈色规律。S.

Westland 等针对胶印油墨配色提出了一种基于三层 MLP 神经网络的 ANN-KM 模型<sup>[3]</sup>, 采用神经网络实现着色剂矢量  $C$  和反射矢量  $R$  间的映射, 为计算机油墨配色提供了一条新的思路。该模型将人工神经网络和 K-M 理论有机结合起来, 简化了配色过程, 但是实验表明 ANN 模型的平均色差是 8.23, 精度比较低, 不能满足精细印刷品对颜色质量的要求。也有学者针对上述情况, 采用回归法修正纽介堡方程, 在此基础上建立了油墨配色模型, 文献[4]中认为纽介堡方程是在面积元和色元色值两个假设条件下建立的, 而印刷复制条件千变万化, 这就使得其精度很低。笔者也曾考虑采用纽介堡方程建立数学模型求解配方, 但在研究中发现实际上该法最大的不足在于计算相当复

**收稿日期:** 2011-11-25

**作者简介:** 林朝荣(1977—), 男, 浙江温州人, 硕士, 浙江工贸职业技术学院讲师, 主要研究方向为印刷包装工程。

杂,特别是修正指数  $n$  值的确定,本身就是一个存在争议的难题。

为了避免配色算法的复杂性又能达到基本的配色要求,文中试图将几种组分油墨混合的专色油墨简化为组分油墨之间的并列和叠加,采用经典的 Clapper-Yule 模型进行专色油墨的光谱预测,并比较这两种简化方式在专色油墨颜色预测中的精确性,为专色油墨的颜色预测提供另一条捷径。

## 1 Clapper-Yule 模型

1953年,F. Clapper 和 J. Yule 在 Yule-Nielsen 方程的基础上,对光线在半色调印刷品内部的传播作了一个更合理的模拟,从而建立了经典的 Clapper-Yule 模型<sup>[5]</sup>:

$$R_s = Kr_s + \frac{(1-r_s)R_g(1-r_i)(1-a+aT)^2}{1-R_g r_i(1-a+aT^2)} \quad (1)$$

式中: $R_s$  为光谱反射率,波长的函数; $K$  为表面的镜面反射比例,对于 45/0 度测量几何条件而言, $K=0$ ;  $a$  为着墨点的表面面积率; $T$  为油墨透射率,波长的函数; $R_g$  为纸张内部光谱反射率,波长的函数; $r_s$  为空气-纸张界面的表面反射系数,取决于空气和纸张的折射率,根据 Fersnel 方程,平行光在以 45 度角入射时, $r_s=0.05$ <sup>[5]</sup>;  $r_i$  为墨层内部反射率,根据文献<sup>[5]</sup>,对各个方向的反射光量进行积分得  $r_i=0.6$ 。

$$R_g = \frac{R_p}{(1-r_s)(1-r_i) + R_p r_i} \quad (2)$$

$$T(\lambda) = \sqrt{\frac{R_s(\lambda)}{(1-r_s)(1-r_i)R_g(\lambda) + R_s(\lambda)R_g(\lambda)r_i}} \quad (3)$$

式中: $R_p$  为纸基反射率。

## 2 颜色并列模型

1936年 Murray 和 Davies 提出了网点面积率求解模型,即 Murray-Davies 公式,描述了半色调信息总反射率  $R$  与网点反射率  $R_i$ 、纸基反射率  $R_p$  之间的线性关系,网点面积率和基材面积率分别为  $f$  和  $1-f$ <sup>[6]</sup>。

$$R_{MD} = R_i f + R_p(1-f) \quad (4)$$

并列模型基于 Murray-Davies 思想建立,在并列模型专色油墨配色的算法中,对经典的 Murray-Davies 公式作了一个重要的假设:假设 Murray-Davies

公式中的网点面积率为该专色预测模型中的配比(墨量比例),反射率的相加被修正为透射率的相加。实际上,在专色油墨配色中油墨是混合的,形成的专色色块是实地。所以把 Murray-Davies 公式思想推广为并列模型求解透射率:

$$T_{bs} = T_1 x + T_2 y + T_3 z + \dots + T_m n \quad (5)$$

式中: $T_{bs}$  为配制后的专色的透射率; $T_1, T_2, T_3, \dots, T_m$  为专色各基色的透射率; $x, y, z, \dots, n$  为各专色基色的配比。

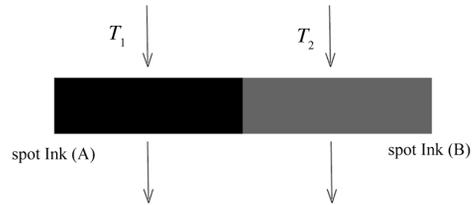


图1 颜色并列模型简化专色光谱预测模型

Fig. 1 Schematic diagram of spot color prediction model simplified by color parallel model

颜色并列模型简化 Clapper-Yule 专色油墨光谱反射率算法为:

$$R_{ds} = \frac{(1-r_s)R_g(1-r_i)(T_1 x + T_2 y + T_3 z + \dots + T_m n)^2}{1-R_g r_i(T_1 x + T_2 y + T_3 z + \dots + T_m n)^2} \quad (6)$$

## 3 颜色叠加模型

在此模型中将几种组分油墨的混合抽象为组分油墨的依次叠加,各层油墨都为实地印刷,墨层厚度则决定于配色的墨量比,但不考虑油墨叠印色序,即不考虑油墨叠印率的影响。

设第 1 层油墨的透射率  $T_1$  为:

$$T_1 = \frac{\phi_1}{\phi_0} \quad (7)$$

则第 2 层油墨的透射率  $T_2$  为:

$$T_2 = \frac{\phi_2}{\phi_1} \quad (8)$$

2 种油墨合成后的透射率为:

$$T = \frac{\phi_2}{\phi_0} = \frac{\phi_1}{\phi_0} \times \frac{\phi_2}{\phi_1} = T_1 \times T_2 \quad (9)$$

根据朗伯定律,墨层厚度为  $\rho$  ( $0 \leq \rho \leq 1$ ) 时,透射率为  $T = T_0^\rho$ ,则多种油墨配色时的透射率定义为:

$$T_{ds} = T_1^\rho \times T_2^\rho \times T_3^\rho \times \dots \times T_m^\rho \quad (10)$$

式中: $T_{ds}$  为专色油墨叠加后的透射率。

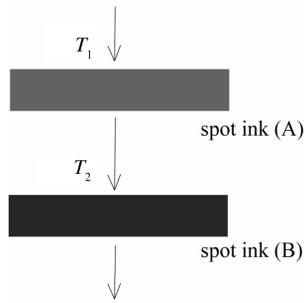


图2 颜色叠加模型简化专色光谱预测模型

Fig. 2 Schematic diagram of spot color prediction model simplified by color superposition model

颜色叠加模型简化 Clapper-Yule 专色油墨光谱反射率算法为:

$$R_{ds} = \frac{(1-r_s)R_g(1-r_i)(T_1^r \times T_2^y \times T_3^z \times \dots \times T_m^n)^2}{1-R_g r_i (T_1^r \times T_2^y \times T_3^z \times \dots \times T_m^n)^2} \quad (11)$$

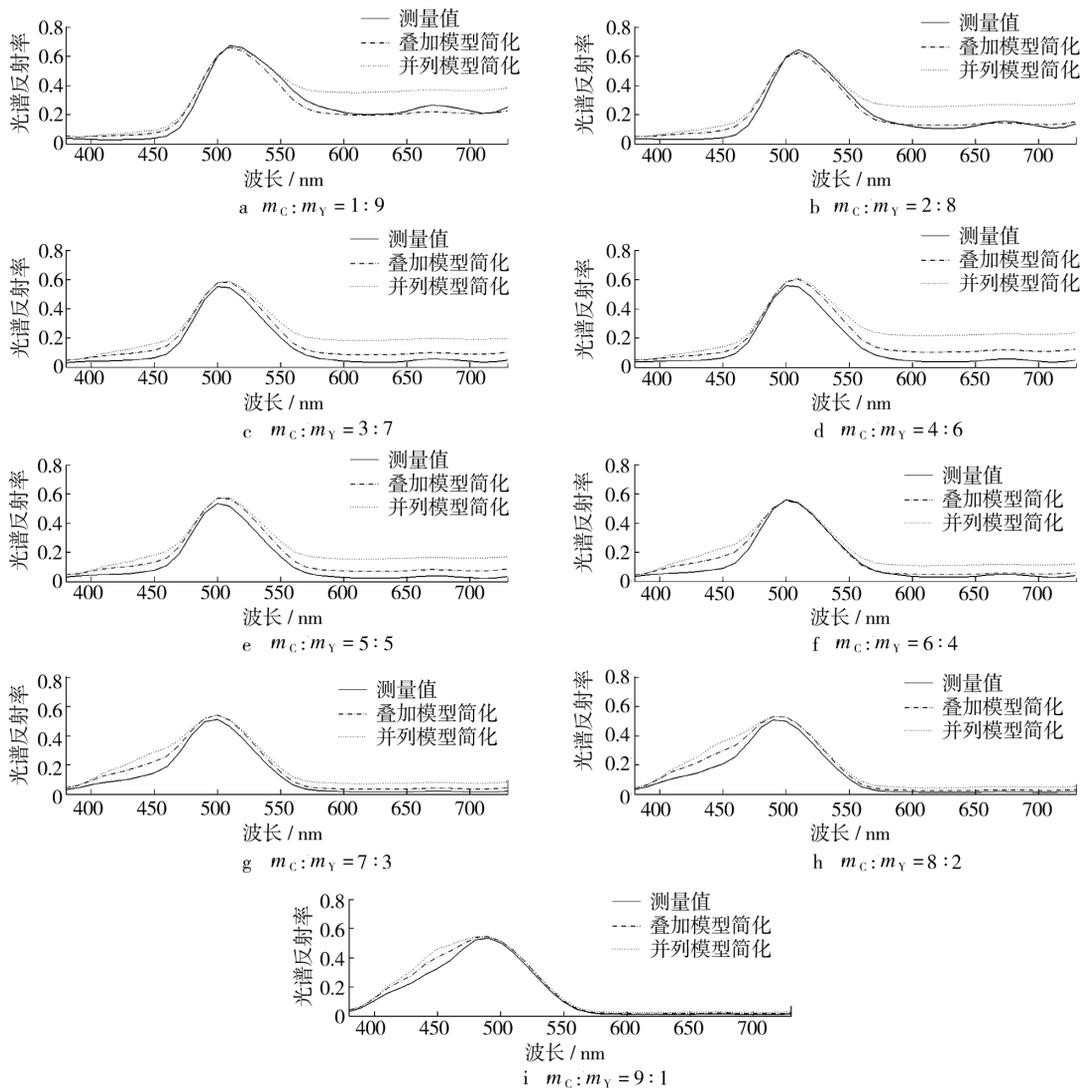


图3  $m_C : m_Y$  混合专色的预测光谱反射率与实测光谱反射率对比

Fig. 3 Comparison of predicted spectral reflectance and measured spectral reflectance of  $m_C : m_Y$  mixed spot color

## 4 实验

### 4.1 实验及分析

首先采用 IGTC1 取墨器量取定量体积的油墨称量,计算油墨的密度,使用 IGTC1 印刷适性仪,打印牡丹油墨 C(天蓝)100%、M(品红)100%、Y(柠檬黄)100%,按  $m_C : m_M = (1 : 9) \sim (9 : 1)$ ,  $m_C : m_Y = (1 : 9) \sim (9 : 1)$ ,  $m_M : m_Y = (1 : 9) \sim (9 : 1)$  的专色实验样条共 30 张(印刷压力 400 N)。利用 Gretag-Macbeth 公司的 Color Quality 软件和 SpectroEye 分光光度计检测印刷样条在波长 380~730 nm 范围(间隔 10 nm)内的光谱反射率数据(实测值),采用文中算法计算光谱反射率数据。

采用 subplot 函数绘制出颜色并列模型和颜色叠

加模型预测的光谱反射率曲线和实测曲线比较图,且计算两模型预测光谱反射率曲线与实测光谱反射率曲线的光谱反射率加权标准误差(WRMS)和光谱反射率曲线近似度(GFC)及色差 $\Delta E_{2000}$ 。在此仅绘制出 $m_C : m_Y = (1 : 9) \sim (9 : 1)$ 的混合专色(共9个)实测曲线和预测曲线图,其余的样张也类似。

## 4.2 实验评估

综合人眼视觉系统的特性,可对测量值与预测值之间的标准偏差进行加权处理<sup>[7]</sup>,加权的标准偏差为:

$$WRMS = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{36} (R_m - R_p)^2 w(\lambda)}}{36} \quad (12)$$

其中: $R_m$ 是测量得到的光谱反射率值; $R_p$ 是预测的光谱反射率值; $w(\lambda)$ 是权重。 $w(\lambda)$ 定义为:

$$w(\lambda) = \frac{1}{R_m(\lambda)} \quad (13)$$

采用 Cauchy-Schwarz (柯西-许瓦兹) 不等式 $(\mathbf{X}^T \mathbf{Y}) \leq (\mathbf{X}^T \mathbf{X})(\mathbf{Y}^T \mathbf{Y})$ ,对光谱反射率曲线进行近似程度评估:理论上,当 $GFC=1$ 时,就认为2条光谱反射率曲线是完全一致的<sup>[8]</sup>。

$$GFC = \frac{|\sum_{i=1}^{36} R_m R_p|}{\sqrt{\sum_{i=1}^{36} (R_m)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{36} (R_p)^2}} \quad (14)$$

## 5 结论

根据颜色的并列模型和叠加模型将几种组分油墨的混合抽象为组分油墨的依次并列和叠加。并根据 Clapper-Yule 模型,建立专色油墨光谱反射率简化模型。结果表明,由颜色的并列模型和叠加模型根据 Clapper-Yule 模型建立的专色油墨光谱反射率简化模型得到的预测光谱与实测光谱基本吻合。从两简化模型的实验结果可以看出,颜色叠加模型应用于专色油墨预测的光谱反射率较颜色并列模型准确,光谱反射率加权标准误差(WRMS)更小,光谱反射率曲线

近似度(GFC)更大,色差更小。也可以看出两模型在越靠近纯色比例时预测得到的数据也越精确。

## 参考文献:

- [1] 于蒙蒙,唐正宁. 新双常数 Kubelka-Munk 理论专色油墨配色算法研究[J]. 包装工程,2010,31(7):104-107.  
YU Meng-meng, TANG Zheng-ning. Research on Color Matching Algorithm for Spot Color Ink Based on New Two constant Kubelka-Munk Theory[J]. Packaging Engineering,2010,31(7):104-107.
- [2] 郭凌华. 蒙版方程在配墨中的应用研究[J]. 包装工程,2004,25(3):36-37.  
GUO Ling-hua. The Research of Color Matching Based on Masking Equation[J]. Packaging Engineering,2004,25(3):36-37.
- [3] WESTLAND S, IOVINE L, BISHOP J M. Kubelka-Munk or Neural Networks for Computer Colorant Formulation [C]//9th Congress of the International Color Association Proceeding of SPI,2002.
- [4] 元辉,刘昕. 胶印专色油墨配色的研究[J]. 包装工程,2008,29(3):72-74.  
QIU Hui, LIU Xin. Study of Color Matching of the Offset Spot Ink[J]. Packaging Engineering,2008,29(3):72-74.
- [5] CLAPPER F R, YULE J A C. The Effect of Multiple Internal Reflections on the Densities of Halftone Prints on Paper[J]. J Opt Soc Am,1953,43:600-603.
- [6] MURRAY A. Monochrome Reproduction in Photoengraving [J]. J Franklin Institute,1936:221:721-724.
- [7] KARBASI A, MORADIAN S, ASIABAN S. The Use of Two Constant Kubelka-Munk Theory in Spectrophotometric Color Matching[C]//In Proceedings of ICE2007,2007.
- [8] 韦晓磊. 基于光谱的多基色色彩再现模型[D]. 武汉:武汉大学,2006.  
WEI Xiao-lei. Spectral-based Multi-Primary Color Reproduction Model[D]. Wuhan: Wuhan University,2006.