

一种新的网目印刷光谱预测模型

朱元泓¹

(1 深圳职业技术学院,深圳市西丽湖,518055)

摘要:在分析纽伦堡和克拉普光谱预测模型的基础上,提出了一种新的网目印刷光谱预测模型。实验结果表明,新光谱预测模型的光谱预测值与理想值的吻合度明显高于其他模型。

关键词:光谱预测模型;网目印刷;光谱预测值

中图法分类号:P288.2

早在 1937 年,纽伦堡提出了纽伦堡颜色预测模型和光谱预测模型^[1-3]。纽伦堡预测模型是以理想复制条件为出发点建立的,没有考虑实际印刷中诸多因素的影响,所以最初的纽伦堡预测模型的预测值与实际值之间有较大偏差。随后,诸多研究工作者在纽伦堡模型的基础上提出了一些修正。最有名的是尤尔-尼尔逊修正^[4,5],他考虑了色光在纸张内部的多重反射的影响,在纽伦堡方程的基础上引入了修正系数;桑得森在 Kubel-ka-Munk 定律^[6]的基础上考虑了由于折射率的不连续而发生的墨层内部多重内反射现象。Kubel-ka-Munk 定律只解释了油墨对光的散射和吸收作用;克拉普在桑得森的基础上综合考虑了各方面的影响因素,建立了克拉普光谱预测模型^[7,8],但该模型预测的颜色都比实际颜色要暗些。本文提出了一种新的网目印刷光谱预测模型。

1 新光谱预测模型的基础

1.1 纽伦堡光谱预测模型^[1-3]

在青、品红和黄三色网目叠印的印刷品上,每个面积元总是由 8 种纽伦堡色元构成,即青、品红、黄、红、绿、蓝、黑、白。因而在印刷品上,每个面积元也只包含以上 8 个色元。纽伦堡在面积元和色元的基础上,根据格拉斯曼色光混合定律,得出结论:印刷品上面积元的光谱反射率是各色元的光谱反射率之和。因为每个面积元内都是 8 个色元的组合,所以面积元的光谱反射率为:

$$R = (\lambda) = \sum_{j=1}^8 a_j \cdot R_j(\lambda) \quad (1)$$

式中, $R(\lambda)$ 是面积元(待测色)的光谱反射率; $R_j(\lambda)$ 是纽伦堡色元的光谱反射率; a_j 表示各纽伦堡色元在构成面积元时所占的比率。式(1)被称为纽伦堡光谱预测模型。

根据式(1),如果已知三原色和它们相互叠印的二次色、三次色所占的网点面积率以及 8 个色元的光谱反射率,就可以计算面积元(待测色)的总光谱反射率。各色元的网点面积率 a_j 可通过德密可网点叠印模型(式(2))计算。它是假设青、品红和黄三原色油墨叠印时,各自的网点面积率为 c 、 m 和 y ,面积元为 1 个单位,这样便可推算得到 8 个纽伦堡色元的网点面积率,依次为:

白	$a_1 = (1 - c)/(1 - m)(1 - y)$
青	$a_2 = c(1 - m)(1 - y)$
品红	$a_3 = m(1 - c)(1 - y)$
黄	$a_4 = y(1 - c)(1 - m)$
红(品红 + 黄)	$a_5 = my(1 - c)$
绿(青 + 黄)	$a_6 = cy(1 - m)$
蓝(青 + 品红)	$a_7 = cm(1 - y)$
黑(青 + 品红 + 黄)	$a_8 = cmy$

(2)

使用纽伦堡光谱预测模型预测叠印色的光谱反射率前,先要将三原色油墨及其二次色、三次色以实地面积印在纸张上,测量这 8 个实地色的光谱反射率,这 8 个实地色可作为式(1)中的 8 个纽

伦堡色元,即可将这 8 个实地色的光谱反射率作为式(1)中纽伦堡色元的光谱反射率。

1.2 克拉普光谱预测模型^[8]

克拉普光谱预测模型建立在 Kubelka-Munk 理论的基础上。Kubelka-Munk 理论说明了半透明油墨膜层的反射率是膜层的表面反射、吸收系数、膜层厚度和纸张反射率四个参数的函数。由于 Kubelka-Munk 理论中假设膜层内是均匀一致的,散射只发生在膜层表面与空气的交界面上,不会发生在膜层和纸张内部,所以对膜层内光的散射分析仍然不够。而在实际的网目印刷中,因为油墨并不是完全均匀地分布在纸张表面,即颜料粒子不是在纸张表面各处相等,这样由于纸张内部光散射的影响,光束可能从着墨区进入,而非着墨区射出。克拉普光谱预测模型一方面建立在 Kubelka-Munk 理论之上,同时又考虑纸张内部的光散射对最终反射率预测的影响。

首先假设在纸张上只是印有单色油墨的网点图像,所以只有两种油墨覆盖区域,即着墨区和非着墨区。面积元上着墨区的面积率为 a ,非着墨区的面积率则为 $1-a$ 。

如图 1 所示,当光线入射到油墨层后,经表面反射一部分光 r_s ,余下的部分进入墨层,其量为 $(1-r_s)(1-a-at)$ 。余下的部分再经纸张内部反射,得 $r_1=r_g(1-a+at)$,其中 r_g 是纸张内部的反射因数。 r_1 遇到墨层,有一部分被反射回来,其余部分穿过墨层射出,这样就得到各次的反射量:第一次反射量 $R_1=r_g(1-r_s)(1-r_i)(1-a-at)^2$,其中, r_i 是墨层内部的反射因数;第二次反射量 $R_2=r_g(1-r_s)(1-r_i)(1-a+at)^2 r_g r_i(1-a+at^2)$;依次类推,可得到第 n 次反射量 $R_n=r_g(1-r_s)(1-r_i)(1-a+at)^2 [r_g r_i(1-a+at^2)]^{n-1}$ 。对这些反射量求和,得到单色油墨印刷时的总反射量为:

$$R(\lambda) = r_s + \frac{r_g(1-r_s)(1-r_i)(1-a+at)^2}{1-r_g r_i(1-a+at^2)}$$

(3)

式(3)被称为克拉普光谱预测模型,是单色油墨的光谱预测模型。其中, $R(\lambda)$ 是总反射率; r_s 是空气与纸张界面的反射因数,当平行光以 45° 角入射时, $r_s=0.05$; r_g 是纸张内部的光谱反射系数,需要制作样张后计算而得到; r_i 是墨层内部的反射因数,根据 Judd 对漫射入射光的研究, $r_i=0.6$; t 是墨层的透过率,也需要制作样张后计算而得到; a 是墨层在单位面积上所占的比率。

将式(3)扩展到三色油墨叠印,这时克拉普模

型表示如下:

$$R(\lambda) = r_s + \frac{r_g(1-r_s)(1-r_i)(\sum_{j=1}^8 a_j t_j)^2}{1-r_g r_i(\sum_{j=1}^8 a_j t_j^2)}$$

(4)

式中各系数的意义同式(3),只是 a_j 是各色元在面积元上所占的比率,可根据德密可方程计算; t_j 是各色元的透过率。

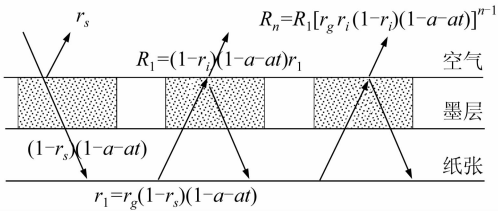


图 1 光传播的过程
Fig. 1 Light Spread

2 新光谱预测模型的建立

2.1 克拉普与纽伦堡光谱预测模型的缺陷

克拉普光谱预测模型虽然考虑的影响因素比较全面,但还是存在不足,利用该模型所预测的颜色往往比实际的要暗一些。通过分析,其原因在于它的假设前提。该模型认为光的散射距离远远大于网点之间的距离,亦即光射入墨层后,再从周围其他所有的颜色反射出去,而且反射出去的概率等于该色的网点面积率。但是实际情况并不完全相同。例如,光在铜版纸中穿过的最大厚度不超过 0.1 mm,所以在纸张内部的光传播并不全是长距进行的,沿短距传播的光仍占有一定的比例。也就是说,一束从某颜色进入墨层的光,它再从本颜色反射出去的概率要远远大于从其他颜色反射出去的概率。这种反射光中也包括了在纸张内部沿短程传播的一部分反射光。沿短程传播的反射光的作用是克拉普模型中未考虑的,这也就是克拉普光谱预测模型所预测的颜色往往比实际的要暗一些的原因(图 2 中“+”号组成的连线)。

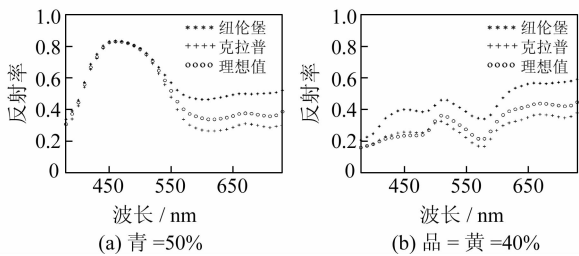


图 2 克拉普与纽伦堡光谱预测模型的缺陷
Fig. 2 Shortcoming of Clapper and Neugebauer Models

纽伦堡光谱预测模型虽然也考虑了具体油墨与纸张的特性,但是考虑的也不全面。如没有考虑油墨首层的表面反射、纸张内部的多重内反射、加网线数以及纸张的光渗现象等。因此,纽伦堡光谱预测模型所预测的颜色比实际的要亮一些(如图 2 中的“*”号组成的连线)。

$$R(\lambda) = m \left[K \cdot r_s + r_g(1 - r_s)(1 - r_i) \frac{\left(\sum_{j=1}^8 a_j t_j \right)^2}{1 - r_g r_i \sum_{j=1}^8 a_j t_j^2} \right] + (1 - m) \sum_{j=1}^8 a_j R_j(\lambda) \tag{5}$$

式中, K 为墨层的表面镜面反射比例,采用 $45^\circ/0^\circ$ 测量几何条件时, $K=0$; m 是引入的比例系数, $0 \leq m \leq 1$ 。这个比例系数将平衡纽伦堡模型对叠印色光谱值的过高预测和克拉普模型模型对叠印色光谱值的过低预测;其他各系数的意义同前。

3 光谱预测模型的预测精度比较

本文参与比较的三色印刷光谱预测模型有三个,即式(1)、式(4)和式(5)。三个模型中的共同参数 a 按照德密可方程式(2)确定。根据以上所述参数, $K=0, r_s=0.05, r_i=0.6$ 。关于 r_g 和 t_j 的确定需要较大篇幅,在此不作叙述。式(5)可采用最小二乘法原理,使测量值与计算值之间的误差最小而得,其值在 0 与 1.0 之间。本文中选定 157 g 铜版纸和韩国东洋油墨(青、品红、黄三色)进行每英寸 175 线网目印刷实验,通过计算取 $m=0.65$ 。

采用光谱比较方法,验证新光谱预测模型的光谱预测准确度。三个光谱预测模型的预测值都

2.2 新光谱预测模型的构成

通过对纽伦堡和克拉普光谱预测模型的分析,笔者提出了一个新的光谱预测模型,即结合式(4)与式(1)两种情况建立新的光谱预测模型,在两者之间引入一个比例系数。具体方程如下:

与用 GretagMacbeth SpectroEye 分光光度仪侧得的测量值(理想值)进行比较。测量条件为:不加物理滤色片,使用绝对标准白反射测量,测量时,使用两张 157 g 铜版纸(与印刷样品使用的纸张类型相同)作为被测样品的衬垫。分析图 3 可知,本文所提出的新光谱预测模型的光谱预测精度明显高于其他两种模型。单色印刷青色和品红的新模型的光谱预测值基本与理想值吻合(图 3(a)~3(d)),青、品红和黄都以 100% 实地印刷的混合色(图 3(g))的三种模型的光谱预测值都完全与理想值吻合,但是,当三基色的混合叠印比例都为 40% 时(图 3(f)),新模型的光谱预测值与理想值的吻合程度要比另外两个模型好得多。只有在单色黄印刷时(图 3(e)和图 3(f)),新模型的预测值与理想值的吻合度略低于克拉普模型,但高于纽伦堡模型。

4 结 语

因为纽伦堡光谱预测模型对网目印刷色的光

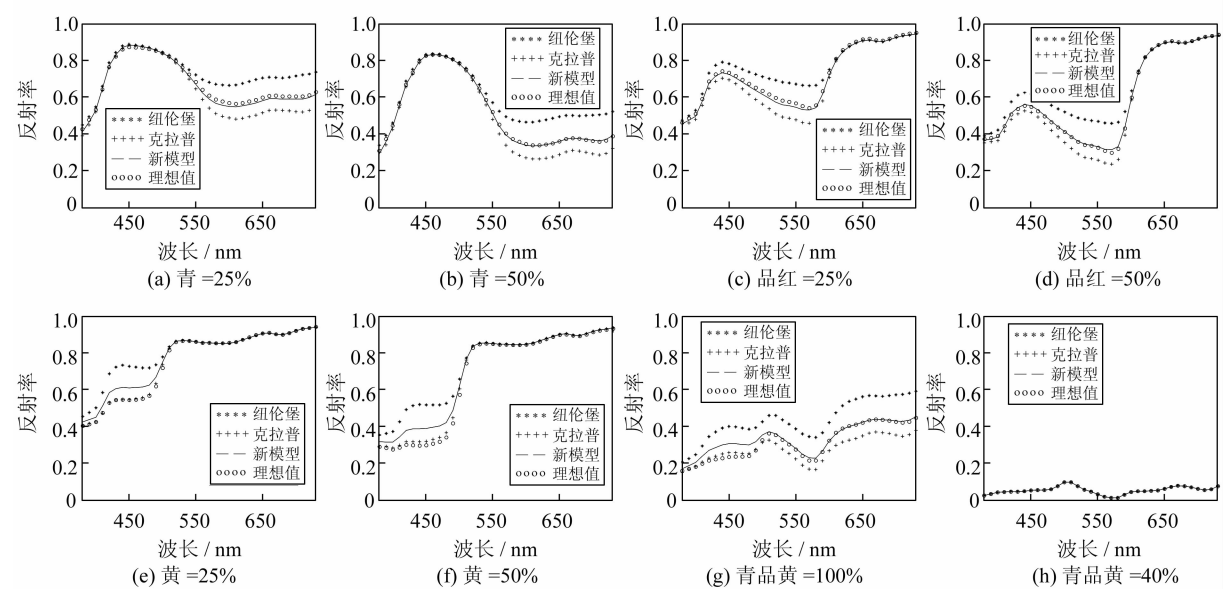


图 3 光谱预测值与测量值
Fig.3 Predicted and Measure Values

谱预测值过高,而克拉普光谱预测模型的光谱预测值又过低,本文自然地提出了在这两种模型的基础上建立新的光谱预测模型。虽然新模型增加了计算上的复杂程度,但是在光谱预测精度上有很大改善。对青、品红单色以及青、品红、黄网目叠印色,新模型的光谱预测精度都高于另外两个模型。各模型中的参数以及新模型中比例系数的确定应有严格的印刷条件和光谱反射率测量条件,如印刷油墨和纸张、测量滤色片、测量样品的衬垫等。只要这些条件之一发生变化,就应重新确定光谱预测模型中的参数和比例系数。

参 考 文 献

[1] Schlaepfer K. Farbmatrik in der Reproduktionstechnik und im Mehrfarbendruck [D]. Herausgeber: UGRA, 2002

[2] 日下秀夫. 彩色图像工程[M]. 北京:科学出版社, 2004

[3] 胡成发. 印刷色彩与色度学[M]. 北京:印刷工业出版社,1989

[4] Zhu Yuanhong, Wang Lijie, Kong Lingwang, et al. Color Correction Based on LMS and RGB Subspace [J]. SPIE, 2005, 6 043(3): 306-311

[5] 孔令罔,朱元泓. 色彩表示的宽带多光谱空间研究 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(9): 840-844

[6] Kubelka P, Munk F. Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche[J]. Tech Phys, 1931, 12:593-601

[7] Tzeng D Y, Roy S B. Spectral-Based Six-Color Separation Minimizing Metamerism[C]. The 8th Color Imaging Conference, Arizona, 2003

[8] Hersch R D, Collaud F, Crete F, et al. Spectral Prediction and Dot Surface Estimation Models for Halftone Prints[C]. IS&T/SPIE Electronic Imaging Symposium, Conference Imaging IX: Processing, Hardcopy and Applications, Muttentz, Switzerland, 2004

作者简介:朱元泓,教授。现从事色彩科学及应用研究。
E-mail:zyh551111@oa. szpt. net

A New Spectral Prediction Model for Halftone Prints

ZHU Yuanhong¹

(1 Shenzhen Polytechnic University, Xili Lake, Shenzhen 518055, China)

Abstract: A new model for spectral prediction of halftone prints based on the spectral Neugebauer equation and the Clapper-Yule model is developed. The experimental result indicates that the new spectral prediction model can give more accurate spectral predicted value than the other's.

Key words: spectral prediction model; halftone print; spectral predicted value

About the author: ZHU Yuanhong, professor. His research interest includes color science and its application.
E-mail: zyh551111@oa. szpt. net

下期主要内容预告

- 城区铅垂线辅助空中三角测量研究

► Gail Langran 时空数据模型的统一

► GNSS 电离层延迟模型的数学统一与方法扩展

► 中国南极长城站绝对重力基准的建立

► 利用航空重力确定局部大地水准面的精度分析

► 一种定量确定遥感融合图像空间分辨率的方法
- 张祖勋,等

舒 红,等

李征航,等

鄂栋臣,等

孙中苗,等

闫 利,等