

# 背衬对计算机配色精度的影响

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2019.05.011

牟竞晓<sup>1</sup> 吕伟<sup>2</sup>

1. 武汉大学

印刷与包装系

湖北 武汉 430072

2. 深圳劲嘉集团股份有限公司

广东 深圳 518105

**摘要:**在具有一定不透明度的纸张上建立配色数据库及预测配方时,选取不同的背衬会得到不同颜色测量结果,影响配色模型的参数,进而得到不同的配色精度。因此,为保证配色的准确性,需规范测色背衬的选取。在计算机配色过程中,使用符合 ISO 13655—2017 规定的常用标准黑背衬和标准白背衬进行对比研究,分析在黑、白不同背衬下,几种常见印刷介质上的配色精度。研究表明,在3种介质上配方与目标色的平均色差,垫黑时为2.575,垫白时为3.553,因此计算机配色在标准黑背衬条件下展现出更加优越的配色精度,建议在配色过程中选用黑色背衬。

**关键词:**背衬; 配色精度; 色差; 白卡纸; 铜版纸; 硫酸纸

**中图分类号:** TS801.8; O436.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2019)05-0076-09

**引文格式:** 牟竞晓, 吕伟. 背衬对计算机配色精度的影响[J]. 包装学报, 2019, 11(5): 76-84.

## 1 研究背景

计算机配色技术集光学、色度学、精密机械、计算机技术于一体,利用高精度的分光光度计和智能化的计算机辅助技术,测定目标色、基墨的颜色性能,筛选基墨并得到最终配方,是近年来迅速发展的技术。但是建立配色基础数据库和测量目标色、配方色的过程中,往往忽略了背衬的影响,人为引入了不稳定的测量误差,从而造成了在不同背衬上配色结果的差异性。

近年来,国内外积极开展关于背衬的研究,在标准 ISO 13655—2017 *Graphic Technology-Spectral Measurement and Colorimetric Computation for Graphic Arts Images*<sup>[1]</sup> 定义背衬的种类和属性的基础上,美国图像技术标准委员会(Committee for Graphic Arts Technology Standards, CGATS)研究了背衬对不同不透明度纸张光谱反射率测量的影响,并由此推荐了

背衬选用标准。徐咏驰<sup>[2]</sup>基于单色实地印刷品可以看作是由多个平行层相互叠加而成的多层结构,探究了几种不透明背衬对纸张和单色实地印刷品光谱反射率的影响,最终提出了一种背衬条件下的单色实地印刷品光谱反射率的预测模型。汤学黎<sup>[3]</sup>通过测量在黑、白背衬上的纸张密度差值,探究背衬对颜色测量值的影响,最后结合标准 ANSI CGATS.5—2009 *Graphic Technology-Spectral Measurement and Colorimetric Computation for Graphic Arts Images*<sup>[4]</sup>,给出了背衬选用建议 and 对应原因。孔玲君<sup>[5-6]</sup>在不同不透明度纸张上印刷了 IT 8.7/3 颜色块,并进行测量系统噪声估计后,通过色差度量背衬对颜色测量值的影响,最后分析不透明度和色差之间的关系,提出了利用色度信息进行高品质印刷品质量检测中背衬使用的注意事项。

现阶段关于背衬的研究主要集中于背衬对颜色测量的影响,鲜有关于背衬对专色油墨配色精度影响

收稿日期: 2019-08-11

作者简介: 牟竞晓(1996-),女,山东烟台人,武汉大学硕士生,主要研究方向为颜色科学,

E-mail: 2018202170008@whu.edu.cn

的研究。基于上述不足, 本文以 3 种不同基材上的颜色在标准黑、白背衬下, 测量得到的光谱为研究对象, 探究测色背衬对基于 Kubelka-Munk 单常数理论配色模型的配色精度影响规律, 以期规范配色时测色背衬选取提供参考。

## 2 基本原理

### 2.1 背衬种类和属性

在颜色测量过程中, 放置在被检测样张之下的材料称为背衬<sup>[6]</sup>。根据标准 ISO 13655—2017, 背衬主要有 2 大类: 黑色背衬和白色背衬, 它们具有特殊的属性<sup>[1]</sup>。

标准黑背衬符合以下特点:

1) 具有光谱非选择吸收特性, 即以相同波长间隔在 400~700 nm 波长范围内, 测得的反射密度不超过在该范围内的平均密度的 5%。

2) 具有漫反射, 即在典型的办公室照明条件下, 以任意角度观察时没有明显的镜面反射。

3) 具有不透明性。

4) ISO 标准视觉密度范围为 1.3~1.6。

标准白背衬符合以下特点:

1) 具有非荧光性, 并且其光谱反射率  $\rho(\lambda)$  应该在图 1 所规定上下限范围内。

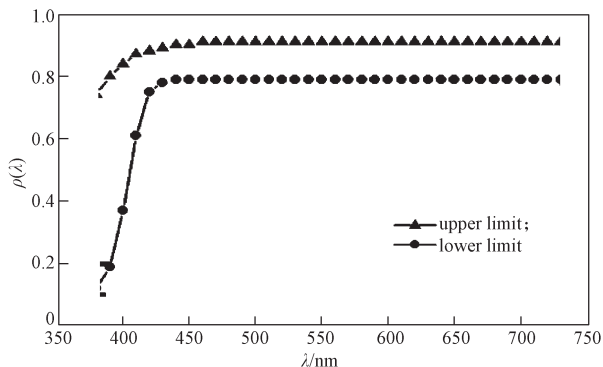


图 1 标准白背衬光谱反射率范围

Fig. 1 Spectral reflectance range of standard white backing

2) 应当不透明 (如陶瓷、塑料或纸), 不透明度不小于 99, 在标准 ISO 13655—2017 中, 其计算公式为

$$O_B = (Y_b/Y_w) \times 100. \quad (1)$$

式中:  $O_B$  是背衬的不透明度, 不同于 GB/T 1543—2005 纸张不透明度的测定方法<sup>[7]</sup>中对物理量的描述;  $Y_b$  是在标准黑背衬上测量计算的 CIE  $Y$  值;  $Y_w$  是在自体背衬 (自体背衬: 利用至少 3 张相同材料作为

背衬, 以保证不透明性) 下测量计算的 CIE  $Y$  值。其中测量条件为 D50 光源、0°/45°照明观察条件、10°视场。

3) 具有漫反射, 即在典型的办公室照明条件下, 以任意角度观察时, 没有明显的镜面反射。

4) 饱和度  $C^*$  值不超过 3。

### 2.2 配色理论

#### 2.2.1 Kubelka-Munk 理论

基于如下假设条件:

1) 样品界面上的折射率无变化。

2) 光线在介质内必须被充分地散射, 以致成为完全扩散的状态。

3) 光线在介质内的运动方向或称通道只考虑两个, 一个朝上、一个朝下, 并且垂直于界面。

P. Kubelka 和 F. Munk 推出了较简单的 Kubelka-Munk 理论: 入射光  $I$  射到厚度为  $dx$  的物体上, 部分被散射 ( $I \cdot S \cdot dx$ )、部分被吸收 ( $I \cdot K \cdot dx$ )、部分被透射 [ $I \cdot (1 - S - K) \cdot dx$ ], 对厚度为  $x$  的薄层其光谱反射率  $\rho$  可以用式 (2) 表示<sup>[8-11]</sup>,

$$\rho = \frac{1 - \rho_g (a - b \coth bSx)}{a - \rho_g + b \coth bSx}. \quad (2)$$

式中:  $\rho$  为样品的光谱反射率;

$\rho_g$  为基底的光谱反射率;

$a = 1 + K/S$ , 其中  $K$  为吸收系数,  $S$  为散射系数, 两者都是波长的函数;

$b = (a^2 - 1)^{1/2}$ ;

$\coth bSx$  为  $bSx$  的双曲余切。

Kubelka-Munk 理论有单常数和双常数理论两种。其中, 双常数算法一般用于油漆、塑料、涂料等工业中, 而单常数算法主要用于印刷和纺织品印染工业中<sup>[12]</sup>。在单常数算法中, 由于油墨透明其散射性质与基材的散射性质相比可忽略不计, 故  $S$  为常数,  $K/S$  就可作为一个数来处理。

对某一波长  $\lambda$ , 混合后油墨的  $K/S$  值与其质量分数 (或体积分数) 存在着如下线性关系。

$$(K/S)_{\text{mix}, \lambda} = (K/S)_{w, \lambda} + c_1(K/S)_{1, \lambda} + \dots + c_n(K/S)_{n, \lambda}, \quad (3)$$

式中:  $(K/S)_{\text{mix}, \lambda}$  为混合后油墨的吸收和散射系数;

$(K/S)_{w, \lambda}$  为基材的吸收和散射系数;

$(K/S)_{n, \lambda}$  为第  $n$  种基墨的吸收和散射系数;

$c_n$  为第  $n$  种基墨的质量分数 (或体积分数), 且

$$c_1 + c_2 + \dots + c_n = 1^{[8]}.$$

本文中配色实验测色波长范围为 400~700 nm,

测量间隔为 10 nm 一个点, 所以公式(3)有 31 个式子, 将其联立得

$$\begin{cases} (K/S)_{\text{mix},400} = (K/S)_{\text{w},400} + c_1(K/S)_{1,400} + \cdots + c_n(K/S)_{n,400}, \\ (K/S)_{\text{mix},410} = (K/S)_{\text{w},410} + c_1(K/S)_{1,410} + \cdots + c_n(K/S)_{n,410}, \\ \vdots \\ (K/S)_{\text{mix},700} = (K/S)_{\text{w},700} + c_1(K/S)_{1,700} + \cdots + c_n(K/S)_{n,700} \end{cases} \quad (4)$$

另外, 由于理论上的缺陷和其它原因, 实际中的  $K/S$  与  $c$  呈非线性关系<sup>[13]</sup>。有学者认为是由于材料表面反射而引起的非线性<sup>[14-15]</sup>, 因而本文采用 Saunderson 修正方法<sup>[16]</sup>, 通过修正光谱反射率值来提高配色模型的线性程度。

### 2.2.2 光谱匹配算法

光谱匹配算法又称绝对配色<sup>[17]</sup>, 其原理是使目标色的光谱反射率与配方的光谱反射率在各个波长上尽可能匹配, 其数学表达式为

$$R_{s,\lambda} = R_{m,\lambda}, \quad (5)$$

式中:  $R_{s,\lambda}$  为目标色光谱反射率;  $R_{m,\lambda}$  为配方光谱反射率。

设有  $n$  种基墨, 将光谱反射率曲线分为 31 段(从 400 nm 到 700 nm, 间隔 10 nm), 目标色和配方的光谱反射率矢量分别为  $\mathbf{r}^{(s)}$  和  $\mathbf{r}^{(m)}$ , 可得

$$\mathbf{r}^{(s)} - \mathbf{r}^{(m)} = \mathbf{D}(\mathbf{f}^{(s)} - \mathbf{f}^{(p)} - \Phi\mathbf{C}), \quad (6)$$

式中:  $\mathbf{D}$  为各波长的  $d_\lambda$  值置于对角线上, 其余元素

$$\text{为 } 0 \text{ 的对角方阵, 即 } \mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{400} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & d_{410} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & d_{700} \end{bmatrix}, \text{ 其}$$

中  $d_\lambda = [d\rho/d(K/S)]_\lambda = -2\rho_\lambda^2/(1-\rho_\lambda^2)$ ;

$$\mathbf{f}^{(s)} = \begin{bmatrix} (K/S)_{400}^{(s)} & (K/S)_{410}^{(s)} & \cdots & (K/S)_{700}^{(s)} \end{bmatrix}^T, \text{ 其}$$

中  $(K/S)_\lambda^{(s)}$  表示目标色在质量分数(或体积分数)为 100% 时, 波长  $\lambda$  处的吸收散射比;

$$\mathbf{f}^{(p)} = \begin{bmatrix} (K/S)_{400}^{(p)} & (K/S)_{410}^{(p)} & \cdots & (K/S)_{700}^{(p)} \end{bmatrix}^T, \text{ 其}$$

中  $(K/S)_\lambda^{(p)}$  表示基底在波长  $\lambda$  处的吸收散射比;

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_{1,400} & \Phi_{2,400} & \cdots & \Phi_{n,400} \\ \Phi_{1,410} & \Phi_{2,410} & \cdots & \Phi_{n,410} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \Phi_{1,700} & \Phi_{2,700} & \cdots & \Phi_{n,700} \end{bmatrix}, \text{ 其中 } \Phi_{i,\lambda} \text{ 表示第}$$

$i$  种基墨在其质量分数(或体积分数)为 100% 时, 波长  $\lambda$  处的  $K/S$  值;

$\mathbf{C} = [c_1 \ c_2 \ \cdots \ c_n]^T$  为  $n$  种基墨各自的质量分数(或体积分数)。

配方求解的目标是  $\mathbf{r}^{(s)} - \mathbf{r}^{(m)} = \mathbf{0}$ , 则式(6)可写为

$$\mathbf{D}(\mathbf{f}^{(s)} - \mathbf{f}^{(p)} - \Phi\mathbf{C}) = \mathbf{0}. \quad (7)$$

通常情况下  $n < 31$ , 方程(7)的个数大于未知量个数, 此时用最小二乘法解得配方中各个基墨的质量分数(或体积分数)为

$$\mathbf{C} = [(\mathbf{D}\Phi)^T(\mathbf{D}\Phi)]^{-1}(\mathbf{D}\Phi)^T[\mathbf{D}(\mathbf{f}^{(s)} - \mathbf{f}^{(p)})]. \quad (8)$$

考虑到标准白背衬和标准黑背衬对配色结果的影响, 用下标  $w$ 、 $b$  分别表示在标准白背衬和标准黑背衬上测量计算得到的值, 由此可得垫白和垫黑的表达式分别为:

$$\mathbf{C}_w = [(\mathbf{D}_w\Phi_w)^T(\mathbf{D}_w\Phi_w)]^{-1}(\mathbf{D}_w\Phi_w)^T[\mathbf{D}_w(\mathbf{f}_w^{(s)} - \mathbf{f}_w^{(p)})], \quad (9)$$

$$\mathbf{C}_b = [(\mathbf{D}_b\Phi_b)^T(\mathbf{D}_b\Phi_b)]^{-1}(\mathbf{D}_b\Phi_b)^T[\mathbf{D}_b(\mathbf{f}_b^{(s)} - \mathbf{f}_b^{(p)})]. \quad (10)$$

## 3 实验部分

### 3.1 实验材料与仪器

主要实验材料与仪器: 200 g/m<sup>2</sup> 白卡纸、100 g/m<sup>2</sup> 铜版纸、80 g/m<sup>2</sup> 硫酸纸、盛威科油墨(耐折四色蓝、耐折四色红、耐折四色黄和耐折四色黑)、盛威科冲淡剂、X-Rite Color iControl 软件、IGT Amsterdam 印刷适性仪、IGT HSIU4 高速匀墨试验仪、IGT Aktiprint Mini 12-1 紫外固化试验仪、分析天平(精度 0.000 1 g)、X-Rite Ci64 分光光度计、刮墨刀、陶瓷碗。

### 3.2 实验方案

为探究背衬对光谱匹配法配色精度的影响, 首先模拟满足标准 ISO 13655—2017 的黑、白背衬; 然后参考标准 ANSI CGATS.5—2009, 选择了 3 种不同不透明度的基材; 再进行基于背衬条件下的配色实验, 使用光谱匹配算法计算得到不同背衬条件下目标色的初始配方; 最后测量并分析数据, 从色差 ( $\Delta E_{ab}^*$ ) 和谱差 ( $RMSE$ ) 两方面比较配色结果。具体流程如图 2 所示。

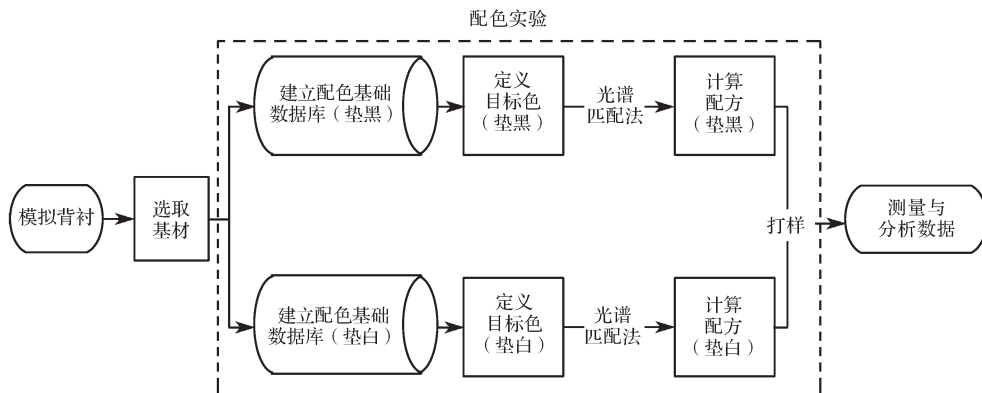


图2 实验流程图

Fig. 2 Schematic diagram experiment

### 3.2.1 标准背衬制备

为模拟标准黑背衬, 参考徐咏驰<sup>[2]</sup>制备黑背衬的方法, 探究在  $200 \text{ g/m}^2$  白卡纸上模拟标准黑背衬的最佳打样条件。经过大量实验得到, 上墨量为  $0.08 \text{ g}$ , 打样速度为  $0.2 \text{ m/s}$ , 打样压力为  $200 \text{ N}$  时, 样条满足:

1) 样条四周及中心共 9 个点的密度均符合标准黑背衬的密度要求, 如图 3 所示;

2) 在自体背衬条件下光谱反射率曲线在波长范围内较为均匀一致, 具有光谱非选择吸收特性, 如图 4 所示;

3) 具有漫反射, 以任意角度观察时没有明显的镜面反射;

4) 具有不透明性。

因此, 打样得到的黑背衬满足标准 ISO 13655—2017 中的要求, 可以选用该样条来模拟标准黑背衬。

UP	1.50	1.51	1.50	DOWN
	1.49	1.50	1.50	
	1.50	1.51	1.50	

图3 模拟标准黑背衬的密度

Fig. 3 Density of simulative standard black backing

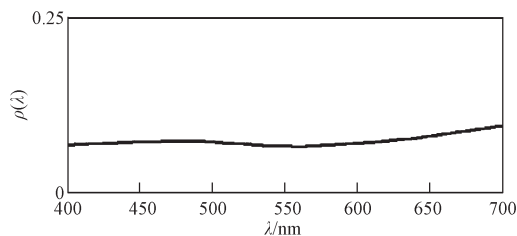


图4 模拟标准黑背衬的光谱反射率曲线

Fig. 4 Spectral reflectance of simulative standard black backing

为模拟标准白背衬, 选取若干张相同的  $200 \text{ g/m}^2$

白卡纸 (自体背衬), 在 D50 光源、 $0^\circ/45^\circ$  照明观察条件、 $10^\circ$  视场下, 使用 Ci64 分光光度计进行测量。该背衬满足:

1) 若干张白卡纸叠加保证模拟白背衬具有不透明性;

2) 具有漫反射, 以任意角度观察时没有明显的镜面反射;

3) 饱和度  $C^* = 2.3 < 3.0$ ;

4) 具有非荧光性, 并且其光谱反射率在规定范围内, 如图 5 所示。

因此, 若干张上述白卡纸叠加满足标准 ISO 13655—2017 中的要求, 可以选用一叠  $200 \text{ g/m}^2$  的白卡纸作为标准白背衬。

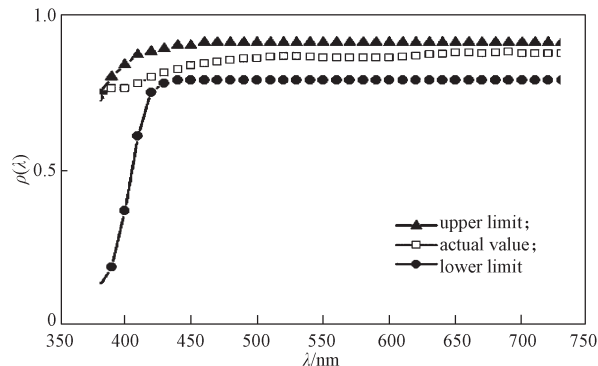


图5 模拟标准白背衬的光谱反射率曲线

Fig. 5 Spectral reflectance of simulative standard white backing

### 3.2.2 基材选取

考虑样品反面图文透印对测色的影响, CGATS 在标准 ANSI CGATS.5—2009 中推荐<sup>[4]</sup>:

1) 基材不透明度不小于 99%, 测色不受背衬影响;

2) 不透明度为 95%~99% 时, 应使用黑背衬;



3) 不透明度小于 95 % 时, 应使用白背衬。

基材不透明度不小于 99 % 时, 测色不受背衬影响, 表明在此类基材上配色建库及颜色预测亦不受背衬影响。因此, 依据现有条件选择在其它两类不透明度范围内的 3 种纸张。

根据标准 ISO 13655—2017 中纸张不透明度的计算方法, 在标准黑背衬和自体背衬上测量并计算 200 g/m<sup>2</sup> 白卡纸、100 g/m<sup>2</sup> 铜版纸、80 g/m<sup>2</sup> 硫酸纸的纸张不透明度, 结果如表 1 所示。然后建立基于背衬的配色数据库, 以便后期探究背衬条件对配色精度影响的规律。

表 1 纸张不透明度  
Table 1 Opacity of paper %

纸张种类	CIE $Y_b$	CIE $Y_w$	$O_B$
白卡纸	88.68	90.01	98.52
铜版纸	78.40	83.54	93.85
硫酸纸	27.62	80.99	34.10

### 3.2.3 基于背衬的配色数据库配色实验

#### 1) 配色数据库建立

考虑到印刷条件<sup>[18-19]</sup>对专色油墨配色的影响, 通过实验确定最佳印刷条件: 印刷压力 500 N、印刷速度为 0.2 m/s、上墨量为 0.08 g。在选取纸张类型的基础上, 分别在白卡纸、铜版纸、硫酸纸上将基墨与盛威科冲淡剂分别以 5%, 10%, 20%, 30%, 50%, 65%, 90%, 95% 的质量比在 IGT 印刷适性仪上打样。选用盛威科耐折四色蓝、耐折四色红、耐折四色黄和耐折四色黑 4 种基墨, 每种基墨的不同质量比打出 2 条, 筛选出打样质量较好的样条, 如图 6 所示。

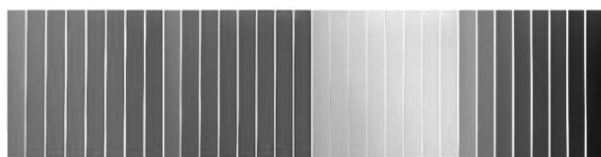


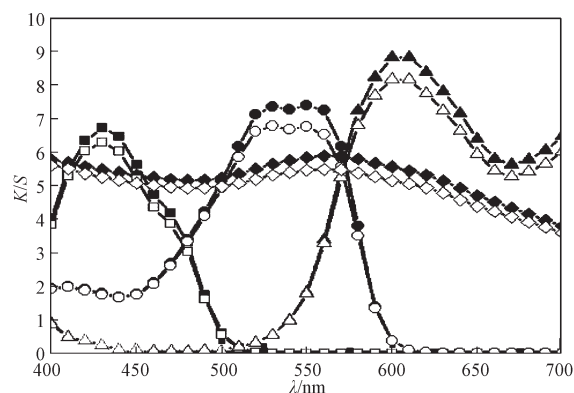
图 6 四种基墨的基础色样示意图

Fig. 6 Proofs of four basic inks

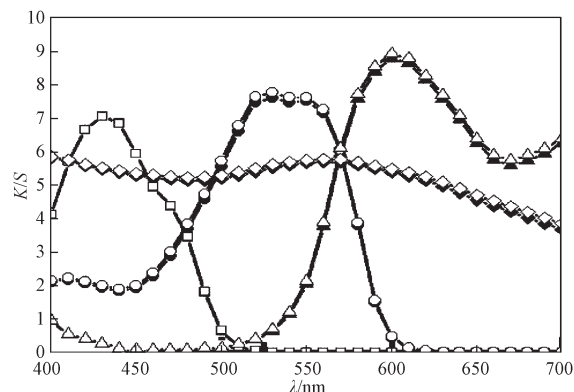


彩图

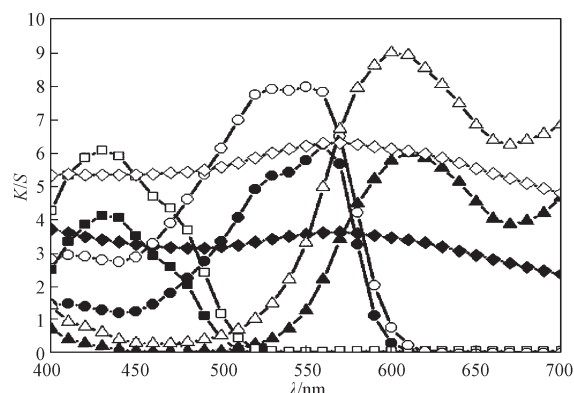
在 Color iControl 软件中设置测量次数为 3 以记录样条 3 次光谱测量的平均值; 然后使用 Ci64 分光光度计分别测量基础样条在标准黑背衬和标准白背衬上的光谱反射率; 最后通过 Kubelka-Munk 理论计算 4 种基墨的  $K/S$  值, 以此得到垫黑、垫白情况下的基墨数据库。所得结果如图 7 所示, 图例中 Y、M、C、K 分别代表耐折四色黄、耐折四色红、耐折四色蓝和耐折四色黑 4 种基墨。



a) 白卡纸



b) 铜版纸



c) 硫酸纸

—  $Y_w$ ; —  $M_w$ ; —  $C_w$ ; —  $K_w$ ;  
—  $Y_b$ ; —  $M_b$ ; —  $C_b$ ; —  $K_b$

图 7 3 种纸张上 4 种基墨的吸收散射比

Fig. 7  $K/S$  of four basic inks on three kinds of paper

#### 2) 目标色测量

专色蓝属于深色, 专色黄属于浅色, 且蓝色和黄色位于色相环的两端, 故选择专色蓝和专色黄作为目标色。通过企业调研获得实际生产中某种专色蓝和专色黄品配方 (如表 2 所示), 用盛威科耐折四色系列调配出该专色黄和专色蓝, 然后使用 IGT 印刷适性仪分别在白卡纸、铜版纸、硫酸纸上打样 (如

图 8 所示), 经过 UV 固化干燥后, 依次在标准白背衬和标准黑背衬下测量样条的光谱反射率, 共得到 6 个垫黑的目标色和 6 个垫白的目标色。

表 2 专色黄与专色蓝配方

Table 2 Formula of target spot color yellow and cyan

目标色	基墨质量分数 /%			
	耐折四色蓝	耐折四色红	耐折四色黄	耐折四色黑
专色黄	0	0.96	98.91	0.13
专色蓝	71.43	28.57	0	0

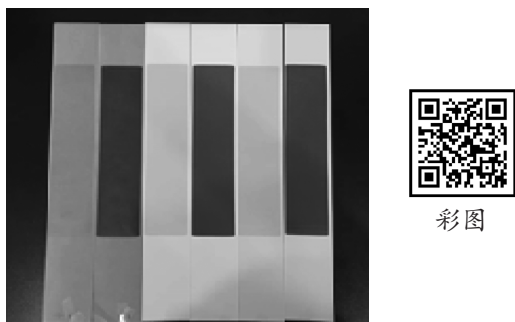


图 8 3 种纸上的专色黄与专色蓝

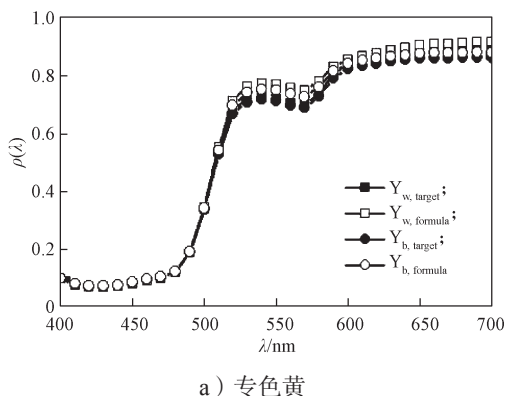
Fig. 8 Spot color yellow and cyan on three types of paper

### 3) 配方计算

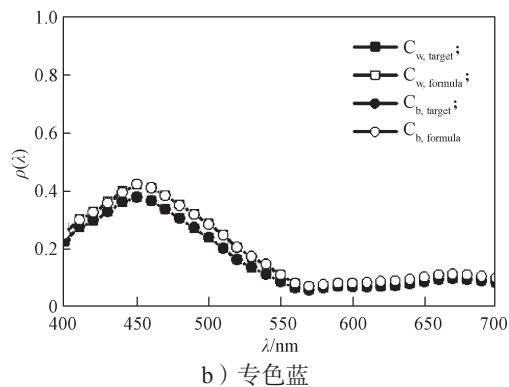
通过上文中描述的光谱匹配算法, 计算出 3 种不同纸张上的专色黄、专色蓝分别在垫白与垫黑情况下的配方。由于配色结果从色差 ( $\Delta E_{ab}^*$ ) 和谱差 ( $RMSE$ ) 两方面进行评价, 需要在打样后使用 Ci64 分光光度计, 测量配方分别在标准白背衬和标准黑背衬上的光谱反射率曲线, 所有测量值取墨色均匀部位 3 点测量的平均值。

## 4 结果与分析

通过上述实验, 计算所得结果如图 9~11 所示, Y 和 C 分别代表专色黄与专色蓝, 下标 formula、target 分别代表配方色和目标色。

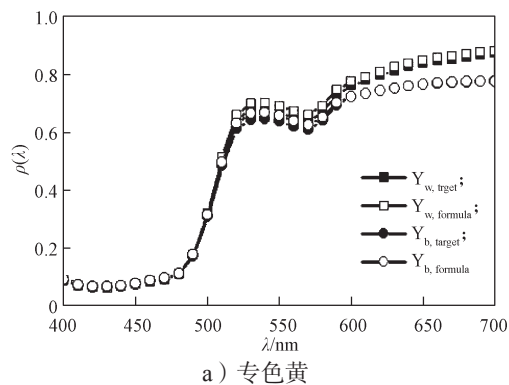


a) 专色黄

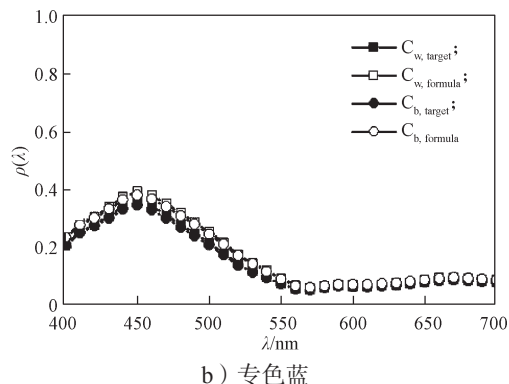


b) 专色蓝

图 9 白卡纸上目标色和配方的光谱反射率  
Fig. 9 Spectral reflectance of target color and formula on white card paper

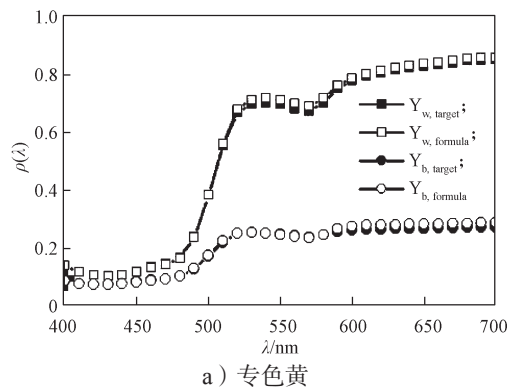


a) 专色黄

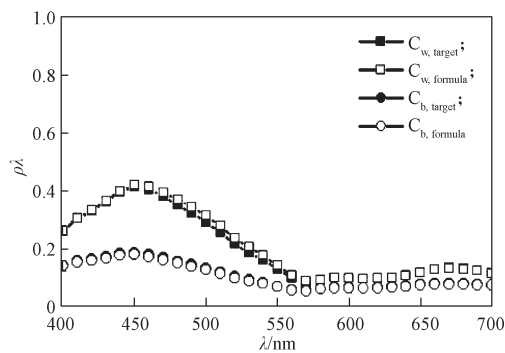


b) 专色蓝

图 10 铜版纸上目标色和配方的光谱反射率  
Fig. 10 Spectral reflectance of target color and formula on coated card paper



a) 专色黄



b) 专色蓝

图 11 硫酸纸上目标色和配方的光谱反射率

Fig. 11 Spectral reflectance of target color and formula on parchment paper

将 3 种纸张上目标色与配方光谱反射率分别代入 D65 光源、10° 视场下的 CIE1976Lab 色差公式，通过计算得到的 3 种纸张的目标色与配方间的色差与谱差，分别如表 3 和表 4 所示。

表 3 专色黄配方与目标色之间的色差与谱差

Table 3  $\Delta E_{ab}^*$  and RMSE between the target spot color Yellow and the formula

纸张类型	背衬种类	$\Delta E_{ab}^*$ /NBS	RMSE
白卡纸	白	3.52	0.009 23
	黑	2.09	0.009 19
铜版纸	白	1.97	0.024 67
	黑	1.29	0.019 88
硫酸纸	白	1.60	0.013 05
	黑	1.50	0.009 22

表 4 专色蓝目标色与配方间色差与谱差

Table 4  $\Delta E_{ab}^*$  and RMSE between the target spot color Cyan and the formula

纸张类型	背衬种类	$\Delta E_{ab}^*$ /NBS	RMSE
白卡纸	白	5.60	0.010 53
	黑	5.25	0.003 77
铜版纸	白	4.84	0.029 08
	黑	4.65	0.028 93
硫酸纸	白	3.79	0.024 02
	黑	0.67	0.023 71

比较表 2 和表 3 中数据可知：

1) 在白卡纸、铜版纸和硫酸纸上，专色黄在标准黑背衬下配色得到的色差分别为 2.09, 1.29, 1.50，谱差分别为 0.009 19, 0.019 88, 0.009 22，均小于标准白背衬下配色得到的色差 3.52, 1.97, 1.60 和谱差 0.009 23, 0.024 67, 0.013 05。

2) 在白卡纸、铜版纸和硫酸纸上，专色蓝在标

准黑背衬下配色得到的色差分别为 5.25, 4.65, 0.67，谱差分别为 0.003 77, 0.028 93, 0.023 71，也小于标准白背衬下配色得到的色差 5.60, 4.84, 3.79 和谱差 0.010 53, 0.029 08, 0.02402。

在标准黑背衬上对目标色进行配色，得到的色差和谱差均低于在标准白背衬下配色得到的色差和谱差，即标准黑背衬下的配色精度更高。

造成在标准白背衬和标准黑背衬上配色结果差别的原因主要在于基墨数据库建立、目标色测量和配色结果测量过程的差异：

1) 在标准黑背衬和标准白背衬上测量得到的基墨光谱反射率不同，进而导致计算得到的  $K/S$  值不同（参见图 7）。因为垫黑时计算得到的  $K/S$  曲线线性化程度更高，所以由此进一步计算得到的  $K/S$  值的准确性更高。

2) 基于标准黑背衬的目标色的明度和饱和度均低于标准白背衬上的目标色（参见表 5~6），又因为油墨混合属于色料减法，油墨越混越深黯，一些饱和度、明度较高的目标色往往难以通过基墨混合得到，因此垫黑情况下的目标色更易于得到匹配程度较高的配方。

表 5 目标色的明度

Table 5  $L^*$  of target spot colors

纸张类型	背衬种类	明度	
		专色蓝	专色黄
白卡纸	白	42.544	84.642
	黑	42.491	84.162
铜版纸	白	40.772	82.126
	黑	40.430	80.506
硫酸纸	白	48.141	83.704
	黑	36.076	55.404

表 6 目标色的饱和度

Table 6  $C^*$  of target spot colors

纸张类型	背衬种类	饱和度	
		专色蓝	专色黄
白卡纸	白	38.486	79.011
	黑	38.070	77.949
铜版纸	白	38.865	76.939
	黑	38.091	74.572
硫酸纸	白	34.331	66.924
	黑	22.121	32.379

## 5 结语

基于背衬对 Kubelka-Munk 单常数理论配色模型

的配色精度存在影响, 以 2 种不同专色作为目标色, 在 3 种不同不透明度的纸张上的进行了配色实验。研究表明: 在计算机配色中, 选用标准黑背衬得到的配色精度高于选用标准白背衬, 且此结论在各种不透明纸张条件下均成立。因此, 在专色油墨调配过程中推荐选用标准黑背衬, 以提高配色精度并减少测量过程中背面图案的影响。此外, 在本实验开展过程中, 基材不透明度跨度较大, 目标色仅选择两个具有代表性的专色, 而且没有探讨自体背衬对配色精度的影响。在下一步的研究中, 需要探讨自体背衬对专色油墨调配的影响, 并扩充基材和目标色的数量, 以提高结论的普适性。

#### 参考文献:

- [1] International Organization for Standardization. Graphic Technology-Spectral Measurement and Colorimetric Computation for Graphic Arts Images: ISO 13655—2017 [S]. Geneva: ISO, 2017: 16–19.
- [2] 徐咏驰. 印刷品颜色预测模型的基础研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2014.  
XU Yongchi. Preliminary Studies on Color Prediction Model for Prints [D]. Xi' an: Xi' an University of Technology, 2014.
- [3] 汤学黎. 浅谈背衬对印品测量的影响 [J]. 印刷世界, 2007(5): 43–44.  
TANG Xueli. The Effect of Backing on the Measurement of Printed Matter[J]. Print World, 2007(5): 43–44.
- [4] American National Standards Institute. Graphic Technology-Spectral Measurement and Colorimetric Computation for Graphic Arts Images: ANSI CGATS.5—2009[S]. Richmond: ANSI, 2009: 26–29.
- [5] 孔玲君. 论衬底对颜色测量的影响 [J]. 出版与印刷, 2003(4): 35–39.  
KONG Lingjun. Effect of Backing on Color Measurement [J]. Publishing & Printing, 2003(4): 35–39.
- [6] 孔玲君. 谈印刷品颜色检测中衬底的选用 [J]. 包装工程, 2005, 26(1): 85–86.  
KONG Lingjun. Selection of Sample Backing in Color Measurement[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1): 85–86.
- [7] 全国造纸工业标准化技术委员会. 纸和纸板 不透明度 (纸背衬) 的测定 (漫反射法): GB/T 1543—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 1–3.  
China National Paper Industry Standard Technology Association. Paper and Board-Determination of Opacity (paper backing)-Diffuse Reflection Method: GB/T 1543—2005[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006: 1–3.
- [8] 胡威捷, 汤顺青, 朱正芳. 现代颜色技术原理及应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 279–282.  
HU Weijie, TANG Shunqing, ZHU Zhengfang. Modern Color Science and Application[J]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2007: 279–282.
- [9] 徐海松. 计算机测色与配色新技术 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 1999: 84–91.  
XU Haisong. New Technology of Computer Color Measurement and Matching[M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 1999: 84–91.
- [10] 薛朝华. 颜色科学与计算机测色配色实用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 111–115.  
XUE Zhaohua. Color Science and Computer Color Measurement and Matching Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 111–115.
- [11] 郑志成, 汪斌荣, 徐海江, 等. 计算机测配色在印染小样系统中的应用 [J]. 染整技术, 2015, 37(3): 51–53.  
ZHENG Zhicheng, WANG Binrong, XU Haijiang, et al. Application of Computer Color Matching Technology in Printing and Dyeing Hand Sample System[J]. Textile Dyeing and Finishing Journal, 2015, 37(3): 51–53.
- [12] 赵德方, 黄新国. 基于 Kubelka-Munk 理论的光谱配色算法研究 [J]. 包装学报, 2017, 9(1): 46–52.  
ZHAO Defang, HUANG Xinguo. Research of Spectral Color Matching Algorithm Based on Kubelka-Munk[J]. Packaging Journal, 2017, 9(1): 46–52.
- [13] 王喜昌, 华臻, 宫严军, 等. 基于线性数据库的色差权重因子计算机配色 [J]. 光学学报, 2004, 24(9): 1224–1228.  
WANG Xichang, HUA Zhen, GONG Yanjun, et al. Color Difference Weight Computer Color Matching Based Linear Database[J]. Acta Optica Sinica, 2004, 24(9): 1224–1228.
- [14] 李婵, 万晓霞, 吕伟. 油墨组分比例预测模型与方法 [J]. 发光学报, 2019, 40(5): 674–679.  
LI Chan, WAN Xiaoxia, LÜ Wei. Model and Method of Ink Components Proportion Prediction[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2019, 40(5): 673–679.
- [15] SAUNDERSON J L. Calculation of the Color of Pigmented Plastics[J]. Journal of the Optical Society of America, 1942, 32(12): 727–736.
- [16] 王美娟, 邢洁芳. 基于双常数 Kubelka-Munk 理论光谱配色模型的研究 [J]. 北京印刷学院学报, 2017, 25(2): 61–66.



- WANG Meijuan, XING Jiefang. Mathematical Model of Spectral Color Matching Based on the Theory of Double Constant Kubelka-Munk[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2017, 25(2): 61-66.
- [17] 于蒙蒙. 专色油墨配色系统的研究: 新双常数 Kubelka-Munk 理论配色模型研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- YU Mengmeng. The Research of Computer Color Matching System of Spot Color Ink: The Research of Coloring Model Based on New Two-Constant Kubelka-Munk Theory[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [18] 于蒙蒙. 专色油墨配色的影响因素分析 [J]. 印刷杂志, 2010(7): 60-62.
- YU Mengmeng. The Influence Factors of the Color Matching of Spot-Color Ink [J]. Printing Field, 2010(7): 60-62.
- [19] 余节约, 田培娟. 印刷速度变化对颜色再现的影响 [J]. 包装工程, 2007, 28(8): 106-108.
- YU Jieyue, TIAN Peijuan. Influence of Printing Speed Variation on Color Reappearance[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 106-108.
- (责任编辑: 邓光辉)

## Effect of Backing on Spot-Color Ink Matching Accuracy

MOU Jingxiao<sup>1</sup>, LÜ Wei<sup>2</sup>

( 1. Printing and Packaging Department, Wuhan University, Wuhan 430072, China;  
2. Shenzhen Jinjia Group Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518105, China )

**Abstract:** When color matching database was established and formulation was predicted on the paper with certain opacity, different measurement results were obtained by selecting different color backing, which affected the parameters of color matching model and color matching accuracy. Therefore, in order to ensure the accuracy of color matching, it was necessary to standardize the selection of backing. The color matching accuracy on some common substrates such as white card paper, coated card paper and parchment paper was analyzed on ISO 13655 standard black backing and standard white backing. The results showed that the color matching results on standard black backing were more accurate on substrates, among which the average color difference between the formulation and the target color was 2.575 on black backing, and 3.553 on white backing. It was recommended to match the color on the black backing.

**Keywords:** backing; color matching accuracy; color difference; white card paper; coated card paper; parchment paper