

胶印配色光学常数求解方法优化

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2022.04.002

史太川 吕伟

深圳劲嘉集团股份有限公司
广东 深圳 518105

摘要: 建立计算机配色数据库时,基墨色调阶梯选取不当易导致配色光学常数求解不准确,进而影响配色效率、颜色预测精度。为构建基于K-M单常数理论配色模型的基墨数据库,分析基墨混合样本配比与吸收散射比之间的关系,提出一阶导色调阶梯法、误差排序色调阶梯法求解光学常数。测试结果表明:将基墨混合样本配比个数缩减至6个时,一阶导及误差排序两种色调阶梯法的颜色预测精度的最大光谱误差为0.0137,最大色差为1.73。

关键词: 配色数据库;光学常数;吸收散射比;色调阶梯法

中图分类号: TS827; TS89

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2022)04-0011-09

引文格式: 史太川,吕伟.胶印配色光学常数求解方法优化[J].包装学报,2022,14(4):11-19.

0 引言

越来越多的印刷企业采用计算机配色软件进行专色油墨配色,以提高配色的准确性与效率。计算机配色的关键是建立准确的、与模型相匹配的配色基础数据库。大部分配色模型是以 Kubelka-Munk 理论(K-M 理论)为依据^[1]。构建基于 K-M 单常数理论配色模型的基础数据库时,配色光学常数(吸收系数 K 和散射系数 S)的求解会直接影响配色效率、颜色预测精度。目前,基墨配色光学常数求解方法主要有基墨色调阶梯法和数学算法^[2]。

基墨色调阶梯法是将制备于不透明基底上的基墨纯色样本的光谱反射率 R 代入 K-M 理论简化方程即 $K/S=(1-R)^2/(2R)$,或将制备于透明薄膜(假设透射率为 1)的基墨纯色样本分别背衬黑白的的光谱反射率 R 、 R_0 及白背衬的光谱反射率 R_g 代入公式^[3-4] $\alpha=1+K/S=1/2[R+(R_0-R+R_g)/(R_0R_g)]$,求得基墨光学常数。但多数纯色基墨光吸收能力强、反射率相对较低,导致基墨光学常数求解结果误差较大。Cairns 色调

阶梯法^[5]通过制备多组不同质量配比的基墨与冲淡剂混合样本,使用最小二乘法^[6-7]求解基墨光学常数。因基墨混合样本的质量配比与吸收散射比的关系用 Duncan 色料混合光学模型的线性加和定律描述不准确,故常选取 8~12 个色调阶梯^[8-9],以降低各质量配比所求光学常数的差异对配色精度的影响。此外,根据样本配比与吸收散射比的关系曲线,可选取少量曲线特征点求解光学常数,但目前特征点的选取并无量化依据^[10]。

数学算法是对线性显著的低配比段进行线性内插求解光学常数^[11],或将各配比段所求光学常数的均值代入非线性拟合关系函数得到初步配比,再对初步配比的相邻两基准配比段的光学常数进行内插,得到接近实际的光学常数^[12]。前者预测精度不高,后者仅理论上成立。两种算法得到的光学常数难以综合表征基墨在质量配比范围内的光学特性。此外,随着质量配比的增加,曲线振荡越大^[13]。

针对基墨色调阶梯法中色调阶梯选取不当、建库工作量大等问题,本研究拟先分析胶印配色数据

收稿日期:2022-01-04

作者简介:史太川(1993-),男,安徽宿州人,深圳劲嘉集团股份有限公司助理工程师,主要研究方向为印刷包装技术,

E-mail:2430500822@qq.com

库中基墨混合样本的质量配比与吸收散射比的关系,再用两种色调阶梯法选取色调阶梯,缩减制样数量,提高配色建库效率。

1 K-M 单常数理论和光学常数求解

1.1 K-M 单常数理论

K-M 单常数理论由 K-M 理论和色料线性加和定律组成。任一波长处,混合色料膜层的吸收系数 K 与散射系数 S 适用线性加和定律,即将各单组份色料光谱间复杂的非线性关系转换为吸收与散射系数间简单的线性关系(见公式(1))。若色料混合介质膜层不透明,通过 Saunderson 修正^[4]光谱反射率,再求吸收散射比。

$$\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda = \frac{(1-r_\lambda)^2}{2r_\lambda} = \frac{k_{p,\lambda} + \sum_{i=1}^n c_i k_{i,\lambda}}{s_{p,\lambda} + \sum_{i=1}^n c_i s_{i,\lambda}}, \quad (1)$$

式中: $\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda$ 为色料混合膜层在波长 λ 处的吸收散射比; r_λ 为色料混合膜层在波长 λ 处的光谱反射率; $k_{i,\lambda}$ 、 $s_{i,\lambda}$ 分别为第 i 种单组份色料的吸收系数与散射系数; $k_{p,\lambda}$ 、 $s_{p,\lambda}$ 分别为基底吸收系数与散射系数; c_i 为第 i 种单组份色料的浓度,满足 $c_i \geq 0$ 且 $\sum c_i = 1$ 。

部分情况下(如印刷呈色),色料以分子形态附着于基底表面,其尺寸远小于可见光波长,故其对光的散射作用可忽略不计。基于此,色料配比变化对 S 影响不大, S 可视为基底散射系数。将 $\frac{k_{i,\lambda}}{s_{p,\lambda}}$ 记为 $\left(\frac{k}{s}\right)_{i,\lambda}$, 式(1)可简化为

$$\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda = \frac{k_{p,\lambda} + \sum_{i=1}^n c_i k_{i,\lambda}}{s_{p,\lambda}} = \left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda} + \sum_{i=1}^n c_i \left(\frac{k}{s}\right)_{i,\lambda}, \quad (2)$$

式中: $\left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda}$ 为基底在波长 λ 处的吸收散射比;

$\left(\frac{k}{s}\right)_{i,\lambda}$ 为第 i 种单组份色料在波长 λ 处的吸收散射比。

1.2 光学常数

基于 K-M 单常数理论的光谱配色模型中,光学常数即为单组份基墨的吸收散射比。多数纯色基墨的光吸收能力强、反射率相对不高,导致光学常数的求解结果误差较大。为解决此问题,将基墨与冲淡剂混合以减弱纯色基墨的光吸收能力。已知混合样本的基底在波长 λ 处的吸收散射比 $\left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda}$, 则混合样本的吸

收散射比为

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix},\lambda} = c \left(\frac{k}{s}\right)_\lambda + \left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda}, \quad (3)$$

式中: c 为基墨质量配比; $\left(\frac{k}{s}\right)_\lambda$ 为单组份基墨在波长 λ 处的吸收散射比。

通过单个混合样本求解光学常数,易受制备工艺误差影响,且混合样本的配比与吸收散射比并非理想线性关系。因皮,根据式(3),利用多组不同配比的混合样本联立方程组求解光学常数,即

$$\begin{cases} c_1 \left(\frac{k}{s}\right)_\lambda = \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix},\lambda,1} - \left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda}, \\ c_2 \left(\frac{k}{s}\right)_\lambda = \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix},\lambda,2} - \left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda}, \\ \vdots \\ c_m \left(\frac{k}{s}\right)_\lambda = \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix},\lambda,m} - \left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda}. \end{cases} \quad (4)$$

式中: m 为混合样本个数; c_m 为第 m 个混合样本的基墨质量配比; $\left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix},\lambda,m}$ 为第 m 个混合样本在波长 λ 处的吸收散射比; $\left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda}$ 为混合样本的基底在波长 λ 处的吸收散射比。

式(4)为多个方程对应一个未知变量(单组份基墨吸收散射比)的超定方程组,故可通过线性最小二乘法求解。

令

$$A = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix},\lambda,1} - \left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda} \\ \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix},\lambda,2} - \left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda} \\ \vdots \\ \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix},\lambda,m} - \left(\frac{k}{s}\right)_{p,\lambda} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

则波长 λ 处单组份基墨的吸收散射比为

$$\left(\frac{k}{s}\right)_\lambda = (A^T A)^{-1} A^T B. \quad (6)$$

2 色调阶梯实验

2.1 混合样本制备及其光谱获取

混合样本中胶印基墨的质量配比为 5%~100%,

间隔为 5%，即为基础配比。实验均在恒温恒湿环境（温度为 22~24 ℃；相对湿度为 50%~55%）下进行，承印物为金太阳定量 200 g/m² 单面涂布白卡纸，无

荧光效果；基墨为盛威科耐折系列黄（Y）、红（M）、蓝（C）、黑（K）。实验主要仪器如表 1 所示。

表 1 实验仪器

Table 1 Experimental apparatus

实验设备	厂家	型号	精度	用途
印刷适性仪	IGT	Amsterdam		模拟胶印打样
高速匀墨试验仪	IGT	HSIU4		将油墨均匀铺展在印刷盘表面
水浴箱	IGT	Accel250LC		控制匀墨辊温度
紫外固化试验仪	IGT	Aktiprint Mini 2-1		UV 光照快速固化色样上油墨
分光光度计	X-Rite	Ci6x	$\Delta E_{ab}=0.05$	D65/2° SPIN 下获取光谱信息
色彩质量控制软件	X-Rite	Color iQC		将光谱信息导入计算机
分析天平	OHAUS	Adventurer	$\pm 0.0001\text{g}$	称油墨质量

在不同的打样速度、打样压力及上墨量下，用印刷适性仪打印黑色样张。经密度测量，得到当打样条件为：打样速度 0.2 m/s、打样压力 500 N、上墨量 0.08 g 时，黑色样张的密度能达到胶印实地密度控制标准，且与胶印印张基色黑色标密度匹配。故不同浓度梯度的基墨混合样本均是在此打样条件下制备，如图 1 所示。

为确保基墨混合样本光谱反射率的测量结果有

效，测量时采用自体背衬（若干张相同白卡纸）^[14]。以一半的印刷样张为例，其光谱反射率如图 2 所示。

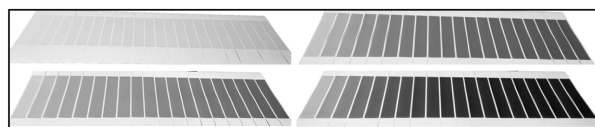
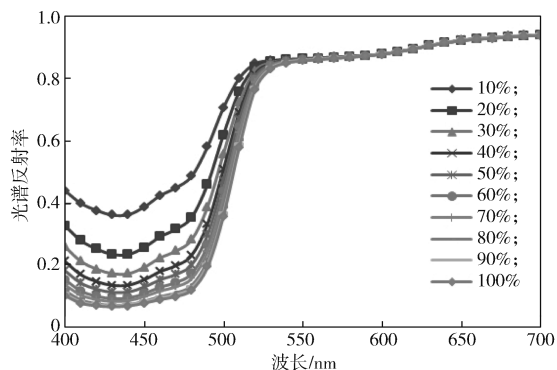


图 1 印刷样张

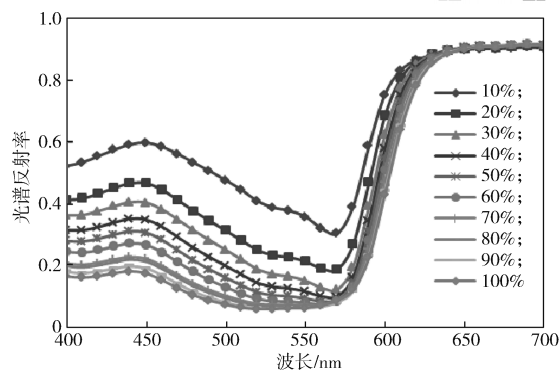
Fig. 1 Printing proofs



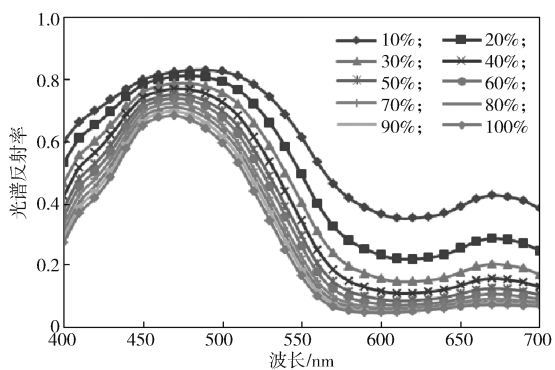
彩图



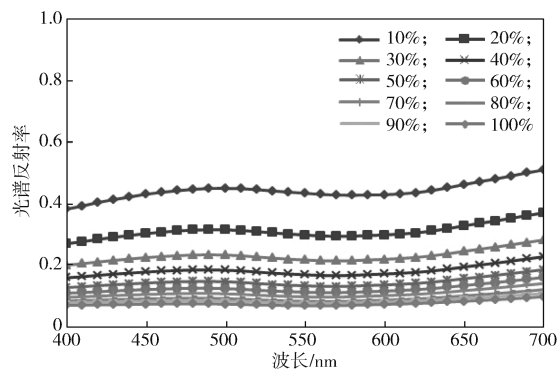
a) 黄墨混合样本



b) 红墨混合样本



c) 蓝墨混合样本



d) 黑墨混合样本

图 2 印张光谱反射率

Fig. 2 Spectral reflectivity of printing proofs



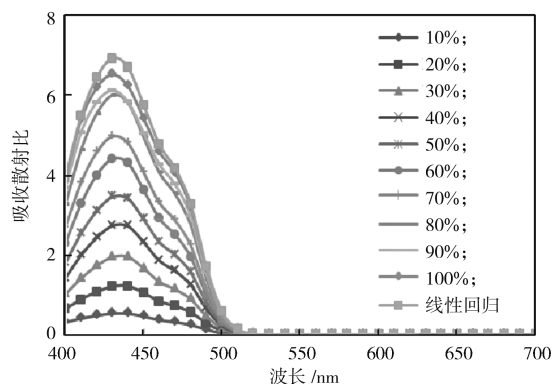
彩图

2.2 样本配比与吸收散射比的关系

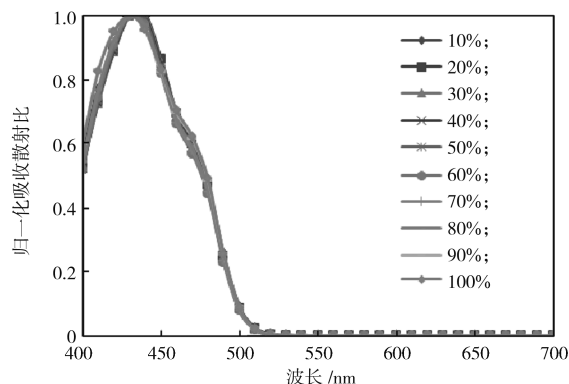
用 Saunderson 修正光谱反射率后, 利用公式 (1) 得到基墨混合样本及基底的吸收散射比, 并利用公式 (3) 得到单组份基墨混合样本的吸收散射比。以混合样本中半数为例, 通过线性最小二乘法求解单组份基墨吸收散射比, 并将其进行极差归一化变换, 结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出, 随波长的增加, 各基墨混合样

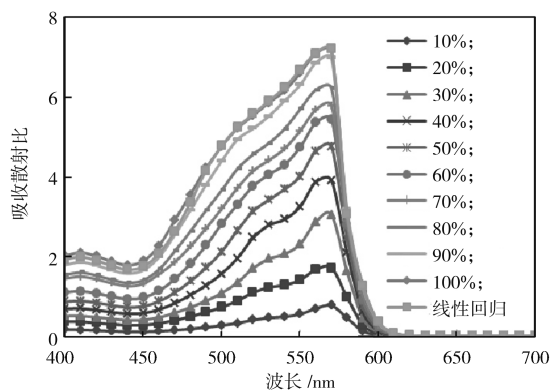
本的吸收散射比与光谱反射率的变化趋势相反。理论上, 任一质量配比的基墨混合样本中单组份基墨散射吸收比应相同, 但实际却存在一定偏差; 基墨混合样本吸收散射比归一化后的曲线应完全重合, 但实际上除黄墨混合样本外, 其他三种基墨混合样本的归一化曲线并未完全重合, 亦即吸收散射比与质量配比呈非线性关系。因此, 选择合适的质量配比基墨混合样本是提高配色模型光谱预测精度的关键。



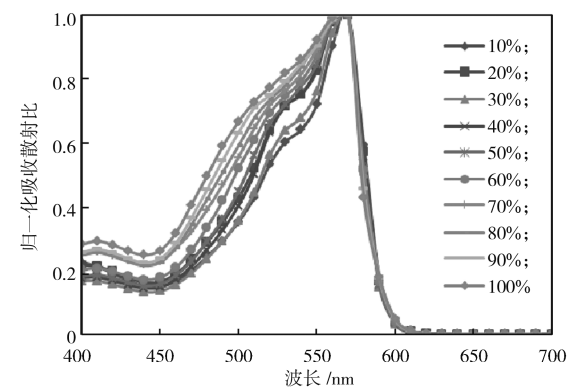
a) 黄墨混合样本的吸收散射比



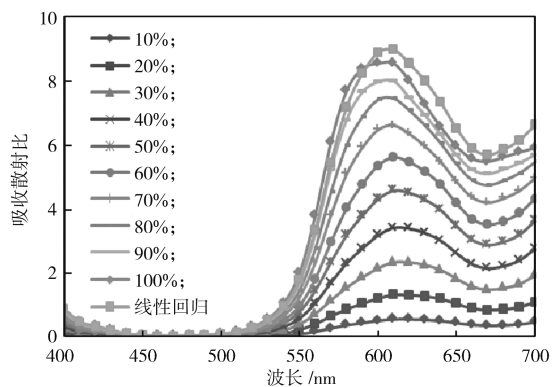
b) 黄墨混合样本的归一化



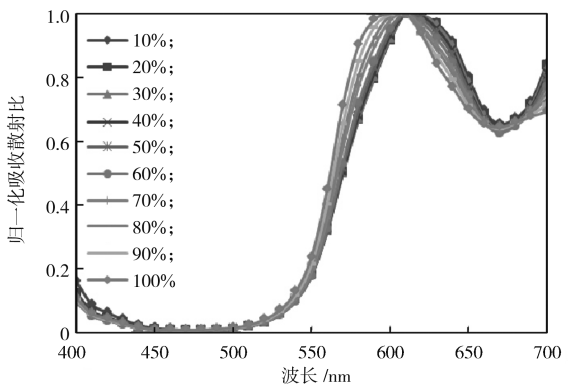
c) 红墨混合样本的吸收散射比



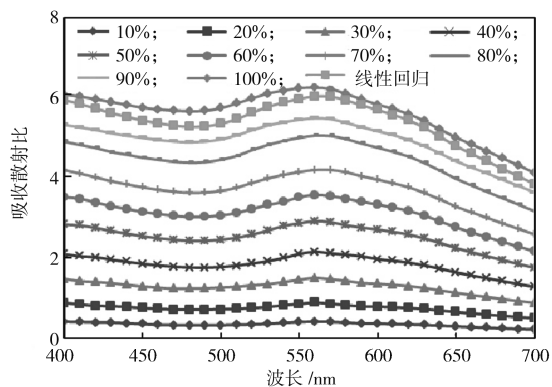
d) 红墨混合样本的归一化



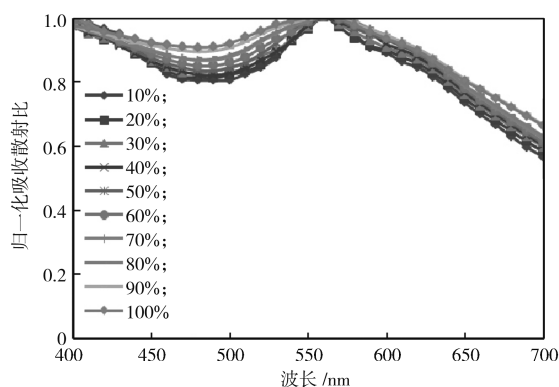
e) 蓝墨混合样本的吸收散射比



f) 蓝墨混合样本的归一化



g) 黑墨混合样本的吸收散射比



h) 黑墨混合样本的归一化

图3 印张吸收散射比与其归一化图

Fig. 3 The absorption and scattering ratios of printing proofs and its normalization



彩图

2.3 求解光学常数的样本数量优化

基墨混合样本的吸收散射比峰值与光谱反射率谷值相对应, 此处波长对基墨混合样本吸收散射性能的影响较大, 故称之为**主吸收波长**。因此, 本研究分析主吸收波长处基墨混合样本的质量配比与吸收散射比的关系。

将主吸收波长处基墨混合样本的质量配比与吸收散射比进行非线性最小二乘法拟合, 即

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda} = f(c) = \sum_{i=1}^m a_i c_i, \quad (7)$$

式中: a_i 为待定系数, 具体数值见表2; m 为多项式最高次数, $m=3$ 。

拟合结果见表3。由表可知, 和方差 (sum of squares for error, SSE) 与均方根误差 (root mean square error, RMSE) 皆接近0, 决定系数 (R -square, R^2) 与校正决定系数 (adjusted R -square) 皆接近1。可见, 当 $m=3$ 时, 4种基墨混合样本的拟合优度最佳。

表2 4种基墨混合样本的多项式拟合系数 a_i Table 2 Polynomial fitting coefficient a_i of 4 based ink mixed samples

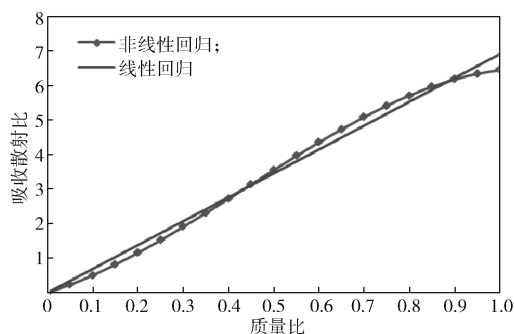
基墨	$i=1$	$i=2$	$i=3$
黄墨	4.162	9.449	-7.168
红墨	5.924	8.557	-7.864
蓝墨	4.043	16.12	-11.860
黑墨	2.751	8.071	-4.770

表3 4种基墨混合样本的多项式拟合优度

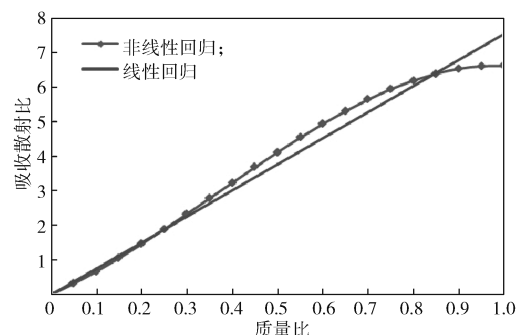
Table 3 Polynomial goodness of fit of 4 based ink mixed samples

基墨	SSE	RMSE	R^2	Adjusted R -square
黄墨	0.234 15	0.117 33	0.9972	0.9969
红墨	0.129 13	0.087 16	0.9986	0.9984
蓝墨	0.130 64	0.087 64	0.9991	0.9995
黑墨	0.092 98	0.073 95	0.9987	0.9986

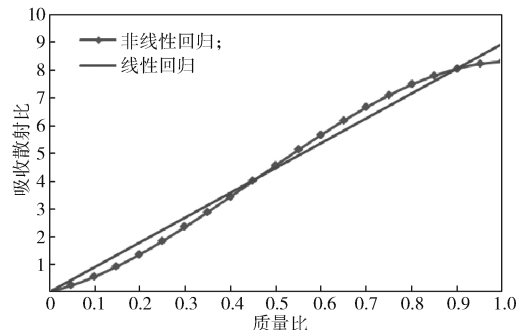
分别用线性最小二乘法和非线性最小二乘法对主吸收波长处基墨混合样本的质量配比与吸收散射比进行拟合, 结果如图4所示。



a) 黄墨混合样本



b) 红墨混合样本



c) 蓝墨混合样本

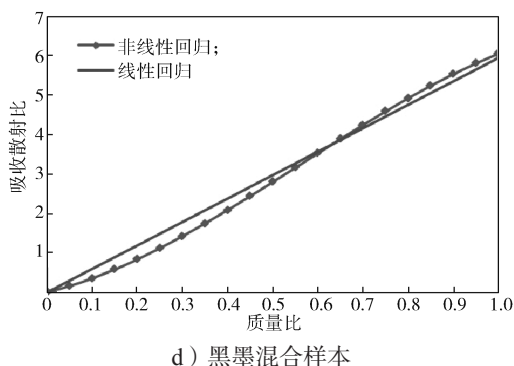


图4 4种基墨混合样本的拟合结果图

Fig. 4 Fitting result of 4 based ink mixed samples

图4中,黄墨、红墨、蓝墨、黑墨的线性回归直线斜率分别为其在主吸收波长处的吸收散射比,即6.91, 7.54, 8.96, 5.95。因去除了基底光学特性,故线性回归直线过坐标原点。用线性回归直线与非线性回归曲线交点处的质量配比求解光学常数,此配色模型的光谱预测精度最好。因而求解光学常数的质量配比只需1~2个。但实际上,若仅选1~2个质量配比求解光学常数,则样本制备工艺误差易导致光学常数求解不准,故需增加求解光学常数的质量配比数量。在保证正反向预测模型精度前提下,本研究提出用一阶导数和误差排序两种色调阶梯法分别优化求解光学常数的质量配比数量。

1) 一阶导色调阶梯法

基墨混合样本的线性回归直线与非线性回归曲线的位置关系(见图4)符合拉格朗日中值定理几何意义,故求式(7)一阶导数(见式(8)),并选取一阶导数与线性回归直线斜率最接近的两个质量配比及其左右相邻的质量配比各1(见表4)。各基墨混合样本均选取6个质量配比,用带约束的线性最小二乘法求解单组份基墨吸收散射比。

$$\left(\frac{K}{S}\right)'_{\lambda} = f'(c) = \sum_{i=1}^m a_i c_{i-1} \approx \left(\frac{k}{s}\right)_{\lambda} \quad (8)$$

表4 基墨混合样本非线性回归曲线的一阶导数表

Table 4 First derivative of nonlinear regression curve of based ink mixed samples

基墨	质量配比	0.15	0.20	0.25	0.65	0.70	0.75
黄墨	一阶导数	6.51	7.08	7.54	7.36	6.85	6.24
红墨	质量配比	0.05	0.10	0.15	0.55	0.60	0.65
红墨	一阶导数	6.72	7.40	7.96	8.20	7.70	7.08
蓝墨	质量配比	0.15	0.20	0.25	0.65	0.70	0.75
蓝墨	一阶导数	8.08	9.07	9.88	9.97	9.18	8.21
黑墨	质量配比	0.20	0.25	0.30	0.80	0.85	0.90
黑墨	一阶导数	5.41	5.89	6.31	6.51	6.13	5.69

2) 误差排序色调阶梯法

计算基墨混合样本在线性回归直线与非线性回归曲线中同一质量配比对应的吸收散射比绝对误差,并将其从小到大进行排序。综合来看,各基墨混合样本的较小绝对误差值主要位于较小质量配比、中等质量配比及较大质量配比处。为降低样本制备工艺误差的影响,进一步选取与此3种质量配比差异最小的配比各1个,则每种基墨各选出绝对误差较小的前6个质量配比(见表5)。将6个质量配比进行带约束的线性最小二乘法拟合,求解单组份基墨吸收散射比。

$$\min \Delta \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda} = \left| \sum_{i=1}^m a_i c_i - c \left(\frac{k}{s}\right)_{\lambda} \right| \quad (9)$$

表5 基墨混合样本线性与非线性回归曲线的绝对误差表

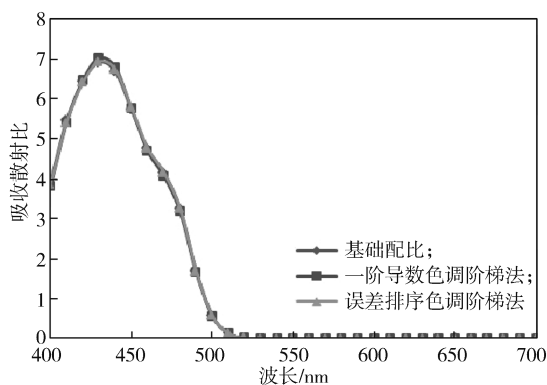
Table 5 Absolute error of linear and nonlinear regression curve of based ink mixed samples

基墨	质量配比	0.35	0.40	0.45	0.50	0.85	0.90
黄墨	绝对误差	0.11	0.05	0.02	0.09	0.09	0.04
红墨	质量配比	0.05	0.15	0.20	0.25	0.30	0.85
红墨	绝对误差	0.06	0.08	0.04	0.01	0.07	0.02
蓝墨	质量配比	0.40	0.45	0.50	0.55	0.85	0.90
蓝墨	绝对误差	0.15	0.03	0.09	0.20	0.19	0.01
黑墨	质量配比	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	1.00
黑墨	绝对误差	0.11	0.04	0.02	0.08	0.13	0.10

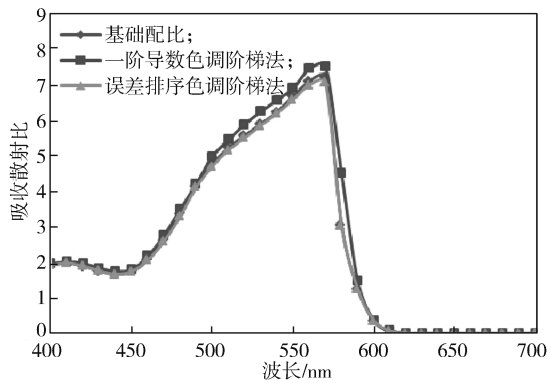
3 结果与分析

3.1 光学常数

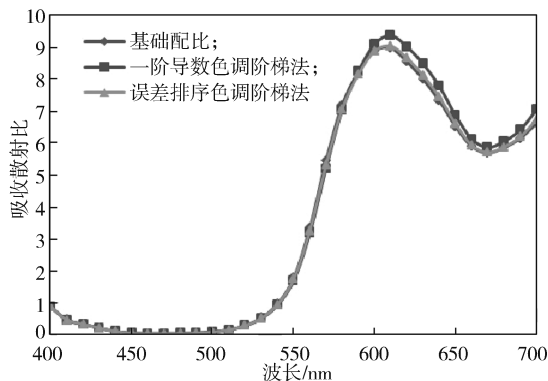
为验证一阶导色调阶梯法与误差排序色调阶梯法的合理性与准确性,将色调阶梯法与混合样本基础配比分别得到的单组份基墨吸收散射比进行比较,如5图所示。



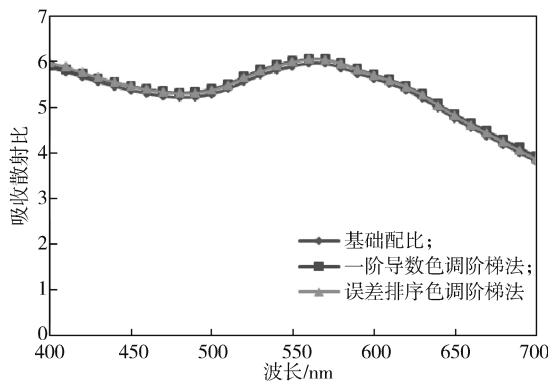
a) 黄墨混合样本



b) 红墨混合样本



c) 蓝墨混合样本



d) 黑墨混合样本

图5 3种方法所得吸收散射比比较

Fig. 5 Comparison of the absorption and scattering ratios calculated by 3 methods

从图5可以看出,各波长处黄墨和黑墨混合样本由色调阶梯法得到的单组份基墨吸收散射比均与基础配比得到的单组份基墨吸收散射比较为接近;而对于红墨和蓝墨混合样本而言,在主吸收波长附近,用误差排序色调阶梯法得到的单组份基墨吸收散射比与基础配比得到的单组份基墨吸收散射比更接近,但两种色调阶梯法求解效果的差异不显著。

3.2 颜色预测精度

根据光学常数分析结果,选取胶印印张中三拼色专咖啡与双拼色专红两个目标色(见图6)进行颜色预测精度验证分析。已知专咖啡的基墨配比 $m_{\text{黄}}:m_{\text{红}}:m_{\text{黑}}=0.5563:0.3042:0.1395$,专红的基墨配比 $m_{\text{黄}}:m_{\text{红}}=0.3356:0.6644$,分别用一阶导色调阶梯法和误差排序色调阶梯法色阶求解的基墨光学常数,对两个目标色进行正向光谱预测和反向配比预测,并分析预测的配比差、光谱误差及色差。

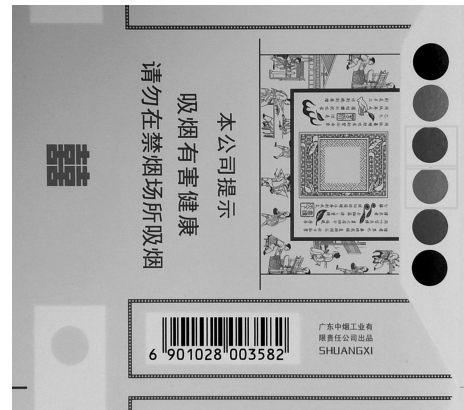


图6 胶印印张专咖啡与专红色标

Fig. 6 Brown and red spot color batches of offset printed sheet

正向光谱预测模型建立了从单组份基墨的配比到输出光谱反射率之间的预测模型,而反向配比预测模型是在已知复制光谱反射率的前提下,反向求解各单组份基墨配比。由于正向光谱预测模型通常无法求解反函数,故常视反向配比预测模型为带约束的非线性优化问题。通过带约束优化问题函数对目标函数进行迭代寻优,即寻找最小光谱匹配误差。目标函数为预测光谱 r_{pre} 与目标色混合样本光谱 r_{tar} 的误差,即

$$\min f(c'_1, c'_2, \dots, c'_n) = \|r_{\text{pre}} - r_{\text{tar}}\|_2^2, \quad (10)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^n c'_i = 1, c'_i \geq 0.$$

式中 c'_i 为混合样本中各基墨的质量配比。

分别用一阶导色调阶梯法、误差排序色调阶梯法的光学常数预测目标色,并与基础配比的光学常数预测目标色的结果进行比较,配比差(欧几里得距离)、光谱误差(RMSE)及色差(D65/2°条件下 ΔE_{ab})如表6所示。

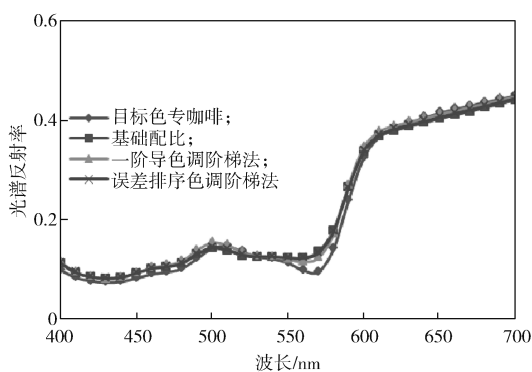
由表6可知,一阶导色调阶梯法、误差排序色调阶梯法及基础配比混合样本的光学常数对专咖啡的预测,在配比差、光谱误差及色差上均差异不大;三

者对专红的预测，光谱误差与色差差异不大，但一阶导色调阶梯法的配比差明显大于另外二者。

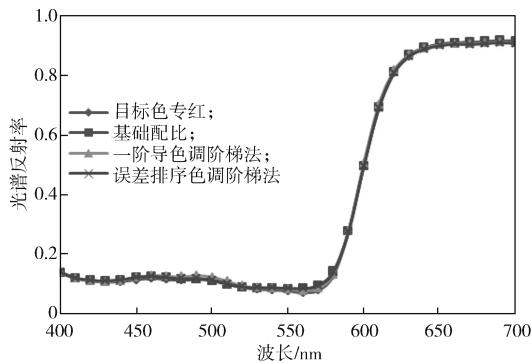
表 6 两种色调阶梯法的预测结果
Table 6 Predictions of two tint ladder methods

指标	专咖啡			专红		
	基础配比	一阶导	误差排序	基础配比	一阶导	误差排序
Recipe E	5.9936	6.6143	6.5392	1.3591	5.1097	0.7861
RMSE	0.0146	0.0128	0.0137	0.0061	0.0061	0.0060
ΔE_{ab}	1.6466	1.7273	1.6760	0.9769	1.3309	1.4133

3种配比样本光学常数对两个目标色的预测光谱如图7所示。



a) 专咖啡



b) 专红

图 7 3种配比样本光学常数的预测光谱与目标色光谱图
Fig. 7 Prediction spectrum of the 3 ratio samples optical constants and target color spectrum

由图7可知，一阶导色调阶梯法、误差排序色调阶梯法及基础配比混合样本的光学常数对专咖啡的预测光谱较接近，但与目标色光谱存在一定偏差；三者对专红的预测光谱也较接近，且与目标色光谱较为吻合。

4 结论

为构建基于K-M单常数理论的胶印配色数据库，

本研究选取胶印基墨与冲淡剂混合样本，基墨质量配比在5%~100%之间，间隔为5%，对基墨质量配比与吸收散射比之间的关系进行理论与实验分析，并提出了一阶导和误差排序两种色调阶梯法，以选择适量的质量配比求解光学常数。通过基础配比混合样本、一阶导色调阶梯法及误差排序色调阶梯法建立的数据库进行颜色预测，结果表明：两种色调阶梯法的颜色预测精度（最大光谱误差为0.0137，最大色差为1.73）均满足实际生产应用需求。可见，本研究所提配色光学常数求解法可在保证颜色预测精度前提下，提高配色数据库建立效率，对印刷包装企业应用计算机配色具有一定指导意义。

参考文献:

- [1] 雷江胜, 补雅晶. Kubelka-Munk理论及其在混合矿物颜料配色中的应用[J]. 包装学报, 2017, 9(1): 28-33. LEI Jiangsheng, BU Yajing. Kubelka-Munk Theory and Its Application in Color Matching of Mixed Mineral Pigments[J]. Packaging Journal, 2017, 9(1): 28-33.
- [2] 林 剑. 仿生优化算法在平版印刷专色配色及油墨预置中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013. LIN Jian. Application of Bionic Optimization Algorithms to the Spot Color Matching and Ink Preset in Offset Printing[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [3] ALLEN E. Basic Equations Used in Computer Color Matching, II. Tristimulus Match, Two-Constant Theory[J]. Journal of the Optical Society of America, 1974, 64(7): 991-993.
- [4] SAUNDERSON J L. Calculation of the Color Pigmented Plastics[J]. JOSA, 1942, 32(12): 727-736.
- [5] 李 亨. 颜色技术原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 238-241. LI Heng. Color Technology Principle and Application[M]. Beijing: Science Press, 1994: 238-241.
- [6] WALOWIT E, MCCARTHY C J, BERNS R S. An Algorithm for the Optimization of Kubelka-Munk Absorption and Scattering Coefficients[J]. Color Research & Application, 1987, 12(6): 340-343.
- [7] WALOWIT E, MCCARTHY C J, BERNS R S. Spectrophotometric Color Matching Based on Two-Constant Kubelka-Munk Theory[J]. Color Research & Application, 1988, 13(6): 358-362.
- [8] 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: 123-125. XUE Zhaohua. Color Science and Computer Color

- Matching Practical Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 123-125.
- [9] 胡威捷, 汤顺青, 朱正芳. 现代颜色技术原理及应用: 光学工程 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 279-298.
HU Weijie, TANG Shunqing, ZHU Zhengfang. Modern Color Science and Application[M]. Beijing: Beijing Insitute of Technology Press, 2007: 279-298.
- [10] 虞波. 测配色基础数据库的简化 [J]. 印染, 2008, 34(12): 24-26.
YU Bo. Simplification of Basic Database of Color Measuring and Matching[J]. Dyeing & Finishing, 2008, 34(12): 24-26.
- [11] 鲍蓉, 赵德方. 光泽度对镀铝纸光谱预测模型的影响 [J]. 中国造纸, 2017, 36(8): 13-19.
BAO Rong, ZHAO Defang. Influence of High Gloss on Color Prediction Model of Aluminized Paper[J]. China Pulp & Paper, 2017, 36(8): 13-19.
- [12] 刘昕, 郑文军, 谢天宝. 计算机反射光谱法配色的研究 [J]. 印刷质量与标准化, 1997(2): 15-18.
LIU Xin, ZHENG Wenjun, XIE Tianbao. Study on Computer Color Matching by Reflectance Spectrometry[J]. Printing Quality & Standardization, 1997(2): 15-18.
- [13] 金福江, 汤仪平. 计算机配色中活性染料单位浓度 K/S 值研究 [J]. 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版), 2008, 30(1): 83-85.
JIN Fujiang, TANG Yiping. Study on the K/S Value of Reactive Dyes in Computer Color Matching[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Information & Management Engineering), 2008, 30(1): 83-85.
- [14] WIGHTMAN T E, GRUM F. Low-Reflectance Backing Materials for Use in Optical Radiation Measurements[J]. Color Research & Application, 1981, 6(3): 139-142.

(责任编辑: 邓彬)

Optimization of Solving Method for the Optical Constant of Offset Color Matching

SHI Taichuan, LÜ Wei

(Shenzhen Jinjia Group Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518105, China)

Abstract: Improper selection of based ink tint ladder often leads to inaccurate solution of color matching optical constant when establishing the computer color matching database, which further affects the efficiency and accuracy of color prediction. To build the based ink database of K-M single constant theory color matching model, proposes first derivative and error sorting two tint ladder methods are proposed by analyzing the relationship between the ratio of based ink mixed samples and their absorption and scattering ratios. The test results show that the maximum spectrum difference is 0.0137, and the maximum color difference is 1.73 in the color prediction accuracy of the two tint ladder methods, while the number of based ink mixed samples ratios shrink to only 6.

Keywords: color matching database; optical constant; absorption and scattering ratios; tint ladder method