

基于纽介堡方程的同心圆网点呈色模型研究

王琪, 王晓博

(南京林业大学 江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室, 南京 210037)

摘要 目前对纽介堡方程常用的修正方法大多针对圆形、方形等实心网点, 然而针对同心圆网点这一新型空心网点的数学建模少有研究。本研究分析了四色胶印中同心圆加网印刷呈色模型的建立问题。自行设计同心圆加网测试版, 在印刷样张上选择建模色块和检验色块并测量其颜色值, 通过对纽介堡方程进行一阶线性回归完成建模, 利用 SAS 软件计算确定建模系数, 而后用二次曲线回归法对呈色模型系数进行再次修正, 最后通过检验色块计算其预测精度。实验结果证明, 二次回归后的数学模型精度满足真实再现原稿的要求。

关键词 同心圆网点; 纽介堡方程; 线性回归

中图分类号 TS801.8

文献标识码 A

文章编号 1674-5752(2013)03-29-06

Study on the Color Reproduction Model of Concentric Dot Based on Neugebauer Equation

WANG Qi, WANG Xiao-bo

(Jiangsu Provincial Key Lab of Pulp and Paper Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract There are many studies on correcting methods of Neugebauer equation aiming to research the solid dots such as round dots and square dots mostly. But the concentric dot which is hollow dot hasn't been modeled. In this study, the establishment of color model for four-color offset printing of concentric screening was analysed. Firstly, the concentric screening test plate was designed. The modeling color blocks and the testing color blocks were chosen from the printing samples to measure their color values. Secondly, the color reproduction model was developed by the 1st order linear regression for the Neugebauer equation. Then, SAS software was used to calculate the coefficient of the color reproduction model and it was modified again by the quadratic curve regression method. Finally, the prediction accuracy of the color reproduction model was calculated by the testing color blocks. The experiment confirmed that the accuracy of the mathematical model through the 2nd order regression can meet the requirements of high quality reproduction.

Key words Concentric dot; Neugebauer equation; Linear regression

0 引言

目前, 在印刷图像复制领域中对颜色预测的数学模型探索已有不少: 纽介堡方程、蒙版方程、经典的 Clapper - Yule 模型及其改进模型^[1-2]、Kubelka - Munk 方程

等。其中, 纽介堡方程理论简单易懂, 在实际印刷生产中应用广泛, 但它是在色元面积率和色元色度值相对稳定的条件下建立的, 而印刷复制过程中变化的因素过多, 对纽介堡方程的精度影响很大, 故在实际应用中, 纽介堡方程都需经过修正后使用。

目前, 对纽介堡方程进行修正的方法主要有: Yule

-Nielsen 指数修正、Cellular 分段法修正、网点增大修正等^[3-5]。这些方法能在一定程度上改进方程的计算精度,但是这些修正方法大多基于圆形、方形等实心网点,尚未对同心圆网点这一新型空心网点进行过数学建模。网点从实心到圆环的变化必会影响模型的建立,与实心网点相比,同心圆网点在细节和颜色再现上优于传统实心网点,尤其在饱和度再现上有显著的优越性;在实际印刷中,同心圆网点的着墨底基面积小,能承载的油墨量少,使印刷表面平滑,且节省油墨,更有利于实现较细致的颜色再现,因此,目前对同心圆加网的应用也越来越多。本研究针对胶印四色印刷,采用回归分析法对基于纽介堡方程的同心圆网点呈色模型的建立进行探究。

1 纽介堡方程

在单位面积上网点面积率大的地方,油墨的选择性吸收强,颜色饱和度高;单位面积上网点面积率小的地方,油墨选择性吸收弱,颜色饱和度低。因此,印刷品各处颜色的浓淡与该处油墨的网点面积率有一定比例关系。照此原理,根据某处各色油墨网点面积率的比例,可以计算出该处经“并列”与“叠印”后的混合色的三刺激值 X 、 Y 、 Z ,此即为纽介堡方程的原理^[6]。从颜色理论上讲,若三原色油墨是理想油墨,则三色印刷应当可以呈现在其色域范围内的所有颜色,但在实际上却往往达不到理想的效果。其原因是多方面的,诸如分色时的系统误差、印刷时的套印不准、油墨纯度不足及纸张性能不理想等,这些原因会导致印刷图像模糊、层次丢失、饱和度降低。尤其是黄、品红、青三色叠印后的中性灰色不平衡,使印刷图像暗调部分黑度不够,密度太低,造成图像模糊不清。因此,实际印刷时增加一个黑色版,通过四色印刷来弥补图像暗调的不足。实际生产中,大多都是采用四色印刷(C、M、Y、K),四色印刷纽介堡方程如式(1)^[7]。

$$\begin{cases} X = \sum_{i=1}^{16} f_i X_i \\ Y = \sum_{i=1}^{16} f_i Y_i \\ Z = \sum_{i=1}^{16} f_i Z_i \end{cases} \quad (1)$$

其中: X 、 Y 、 Z 为混合色的 CIE1931 三刺激值; X_i ,

Y_i 、 Z_i 为各色元的 CIE1931 三刺激值; f_i 为各色元在单位面积上所占的比例。

2 同心圆网点特性分析

同心圆网点是在调幅加网的基础上,将调幅网点分成同心圆环而形成的。同心圆网点不仅在微观形态上与调频调幅网点存在差异,其更具有优越的印刷特性。同心圆网点的内部结构如图 1 所示。

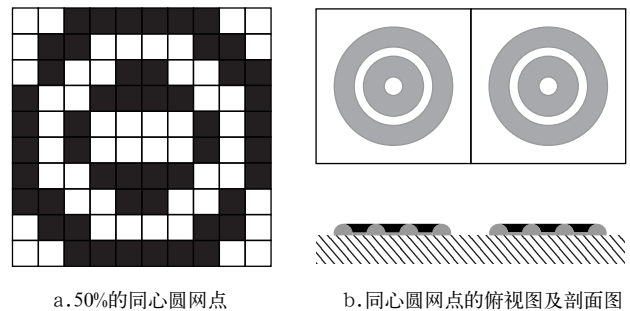


图 1 同心圆网点结构图
Fig.1 Structure of concentric dot

完整再现的二环同心圆网点由两个同心圆环组成,着墨区域称为条,空白区域称为空,从而形成条和空相间的结构(如图 1a)。调幅网点的曝光点聚集在一起,形成一定面积率的实心点;调频网点的曝光点则是随机分布,每个网点独立存在。同心圆网点兼具调幅和调频网点两种传统网点的形态特征,从网格中心向四周生长且有形态规则度,这是调幅网点的特性;同时又具有调频网点规则排列的特点,具有可控的随机性。

同心圆网点的俯视和剖面效果如图 1b 所示。在相同印刷条件下,调幅网点和同心圆网点比较可知,同心圆网点微观结构的条空分布会使着墨底基缩小,印刷着墨量降低,无须像实心网点形成油墨层堆积,就能够实现良好的印刷效果。根据实际印刷经验,同心圆网点在印刷中能够节省油墨。同心圆网点的着墨底基面积小,能承载的油墨量少,从而印刷品表面比较平滑,有利于实现较精细的色彩再现;同心圆网点底基小,无法形成厚墨层,着墨形态相对平整,加上其条空相间的环状结构,使漫反射特征明显而镜面反射减少,所以同心圆网点的结构能使复制的颜色具有较高的颜色饱和度,从而有助于更高品质的印刷复制。

3 基于同心圆网点用回归法修正纽介堡方程

3.1 实验条件

实验设备：海德堡 CTP 制版机；海德堡 SM74 印刷机。

实验仪器：X-Rite530 分光密度仪，2° 视场，D₆₅ 光源。

实验软件：统计分析系统 Statistics Analysis System 软件 (SAS)。

实验材料：157g/m² 铜版纸；东洋胶印油墨；富士 CTP 版材。

测试样张：自行设计的同心圆加网测试版，由 ES-KO 公司的 Concentric Screening 进行加网 (本实验所用样张的同心圆网点均为二环)，加网线数 175 线/英寸，记录分辨率为 2540dpi，最后印刷输出样张。

3.2 实验方法

考虑到测试颜色应在颜色空间均匀排布的要求，实验样本应体现多样性，单色、双色、三色和四色叠加的色块都要有所体现。在此原则下选择 100 个建模色块和 10 个检验色块 (本实验用的 10 个检验色块的色相角基本都分布在第一、第二象限)。

对印刷样张进行准确的数据测量，本实验需要测量的数据包括：样张上建模色块和检验色块的三刺激值及相应色块的网点面积率、16 色元的三刺激值。

由于 CIEXYZ 不是均匀的颜色空间，无法正确评价颜色色差，因而所有的色差评估都需要将 CIEXYZ 颜色空间换算到 CIELAB 颜色空间进行。

1) 将测得的数据直接代入未修正的纽介堡方程中进行计算，得到检验色块的三刺激值，再计算得到相应的 $L^* a^* b^*$ 值；

2) 由检验色块实际测量的三刺激值得到相应的 $L^* a^* b^*$ 值。

3.3 实验结果

经上述方法最后用色差公式得出检测色块的计算 $L^* a^* b^*$ 值和实际测量 $L^* a^* b^*$ 值的色差为：

$$\Delta \bar{E}_{ab}^* = 14.71$$

在颜色复制质量要求上，国家标准局颁布的装潢印

刷品质量标准——《GB7705 - 87 平版装潢印刷品》

《GB7706 - 87 凸版装潢印刷品》《GB7707 - 87 凹印版装潢印刷品》中，彩色装潢印刷品的同批同色色差要求为：一般产品 $\Delta E_{ab}^* \leq 5.00 \sim 6.00$ ，精细产品为 $\Delta E_{ab}^* \leq 3.00 \sim 4.00$ ^[8]。由上述国标可以看出，在没有对纽介堡方程进行修正前，实际生产中不能直接用纽介堡方程进行计算，必须对其进行修正以提高方程精度。

3.4 纽介堡方程的一阶线性回归

3.4.1 线性回归系数的确定

多元线性回归模型就是建立线性回归模型表达、分析、模拟、预测和控制的一种数学模型。它是分析描述一个因变量与两个或多个自变量的数学关系的方法。多元线性回归方程如式(2)。

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (2)$$

其中， b_0 为常数， b_1, b_2, \dots, b_k 被称为回归系数。回归系数 $b_i (i=1, 2, \dots, k)$ 的意义是：当其他自变量 $x_j (j \neq i)$ 都固定时，自变量 x_i 每变化一个单元而使因变量 y 平均改变的数值。

在式(1)中，令 $X_i = U_i(X_i)$ ， $Y_i = V_i(Y_i)$ ， $Z_i = W_i(Z_i)$ ，根据多元线性回归分析法，纽介堡方程可表示如下：

$$\begin{cases} X = \sum_{i=1}^{16} f_i U_i \\ Y = \sum_{i=1}^{16} f_i V_i \\ Z = \sum_{i=1}^{16} f_i W_i \end{cases} \quad (3)$$

式中， U_i, V_i, W_i 为分别对应于三刺激值的各色元面积率的回归系数。

由于建模色块数 $n=100$ ，基色元为 $i=16$ ，故需利用最小二乘法来确定回归系数^[9]。以 X 值为例，令：

$$P = \sum_{j=1}^n [X_{mj} - \sum_{i=1}^{16} U_i f_{ij}]^2 \quad (4)$$

其中： X_{mj} 为测量得到的三刺激值， $j=1, 2, 3, \dots, n$ ， f_{ij} 为 j 色块对应的色元面积率。根据平方和最小原则，当 P 取最小值时，即 $\partial P / \partial U_i = 0$ ，可得：

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial U_1} = -2 \sum_{j=1}^n (X_{mj} - \sum_{i=1}^{16} U_i f_{ij}) f_{1j} = 0 \\ \frac{\partial P}{\partial U_2} = -2 \sum_{j=1}^n (X_{mj} - \sum_{i=1}^{16} U_i f_{ij}) f_{2j} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial P}{\partial U_{16}} = -2 \sum_{j=1}^n (X_{mj} - \sum_{i=1}^{16} U_i f_{ij}) f_{16j} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

方程组(5)经整理得:

$$\sum_{j=1}^n f_{1j}f_{ij}U_1 + \sum_{j=1}^n f_{2j}f_{ij}U_2 + \dots + \sum_{j=1}^n f_{16j}f_{ij}U_{16} = \sum_{j=1}^n f_{ij}X_{mj} \quad (6)$$

解方程(6)可得到 $U_i (i=1,2,\dots,16)$, 同理, 可得到 V_i 和 W_i 。利用 SAS 软件计算出一次线性回归系数^[10-11], 见表1。

表1 一次线性回归系数
Tab.1 The 1st order linear regression coefficients

<i>i</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>W</i>	<i>i</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>W</i>
1	77.51	80.73	69.05	9	-2.86	-2.83	-2.58
2	10.16	21.38	52.91	10	-0.03	-0.09	-0.84
3	25.26	7.27	12.83	11	0.81	1.30	1.03
4	57.77	63.53	0.08	12	-1.32	-1.41	1.05
5	22.69	9.66	1.28	13	2.20	2.24	0.94
6	4.33	15.43	5.62	14	1.73	1.73	0.89
7	4.94	4.09	17.28	15	0.99	0.36	-0.14
8	3.04	2.11	1.95	16	1.05	0.99	1.04

3.4.2 回归方程的相关性和有效性检验

确定回归方程之后, 需要进行相关性和有效性检验, 保证该回归方程描述的各因素间相关关系的可靠性和预测的有效性。

根据回归分析理论^[12-13], 回归方程的回归平方和 S_r 与残差平方和 S_e 的比值 (即 F 值) 越大, 线性回归越显著。此外, 根据回归方程得到的复相关系数平方 R^2 越接近于 1, 则线性回归得到的方程越可靠。利用 SAS 软件分析得到的三刺激值 X 、 Y 、 Z 回归方程的复相关系数平方 R^2 和 F 值见表2。从表2中可看出三刺激值 X 、 Y 、 Z 的一阶回归方程均为线性显著相关。

表2 三刺激值 X 、 Y 、 Z 一阶回归方程的 R^2 和 F 值
Tab.2 R^2 and F - Value of the 1st order regression equations about tristimulus $X/Y/Z$

	R^2	F
X 一阶回归方程	0.9945	1885.70
Y 一阶回归方程	0.9950	2060.96
Z 一阶回归方程	0.9955	2283.44

回归方程经相关性检验后, 再利用 10 个检验色块进行颜色预测, 考察其有效性。先利用回归方程预测得到检验色块的三刺激值 X 、 Y 、 Z , 然后将其转换成 $L^*a^*b^*$ 值, 最后计算得到检验色块的实际测量值和预测值之间

的色差。检验色块的实际测量值和预测值及其色差见表3。

表3 检验色块 $L^*a^*b^*$ 的实际测量值、预测值和色差
Tab.3 Actual measurement values, predicted values and color difference of $L^*a^*b^*$ about the test color blocks

	预测 L^*	预测 a^*	预测 b^*	实际 L^*	实际 a^*	实际 b^*	ΔE_{ab}^*
1	29.01	-45.13	22.28	27.87	-34.32	20.60	4.00
2	25.15	44.90	28.48	24.80	37.46	26.08	2.71
3	45.36	-8.76	12.56	40.59	-11.72	14.36	5.03
4	43.94	11.10	18.70	38.22	13.10	16.12	5.89
5	82.23	6.79	32.60	81.64	10.96	34.96	3.02
6	59.81	41.07	20.57	57.29	51.66	19.75	4.71
7	86.19	-3.51	32.10	87.50	-7.19	37.68	3.25
8	83.29	0.14	59.10	83.99	2.07	64.54	1.92
9	35.80	77.67	43.02	43.39	64.80	45.17	8.19
10	29.61	102.64	-12.98	41.52	68.60	3.95	13.41

利用表3 可以计算出检验色块的实际测量值和预测值之间的平均色差值为 5.21, 与未经回归修正组介堡方程的 14.71 相比, 已有很大幅度的提高。

3.5 纽介堡方程的二次曲线回归

由一次线性回归后色差降低, 可以看出用回归法修正纽介堡方程以提高精度的方法是可行的, 要进一步提高精度可采取增加系数的方式。本研究采用增加二次项的方法来提高其精度, 所得到的方程如式(7)所示。

$$\begin{cases} X = \sum_{i=1}^{32} f_i U_i \\ Y = \sum_{i=1}^{32} f_i V_i \\ Z = \sum_{i=1}^{32} f_i W_i \end{cases} \quad (7)$$

其中: $f_{17} = f_1^2, f_{18} = f_2^2, f_{19} = f_3^2, f_{20} = f_4^2, f_{21} = f_5^2, f_{22} = f_6^2, f_{23} = f_7^2, f_{24} = f_8^2, f_{25} = f_9^2, f_{26} = f_{10}^2, f_{27} = f_{11}^2, f_{28} = f_{12}^2, f_{29} = f_{13}^2, f_{30} = f_{14}^2, f_{31} = f_{15}^2, f_{32} = f_{16}^2$ 。根据最小二乘法原理求出回归系数, 见表4。同理, 对得到的纽介堡二阶回归方程进行相关性和有效性的验证, 其结果见表5和表6。

结合回归分析理论及表5 中的数据可以得到: 纽介堡方程二阶回归后的方程相关性显著, 且与一阶回归相比, 其复相关系数平方 R^2 及 F 值均有不同程度的提高, 说明二阶回归能够更好地拟合曲线, 得到的各色元面积率之间的相关性更显著。

表4 二阶回归系数

Tab.4 The 2nd order regression coefficients

<i>i</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>W</i>	<i>i</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>W</i>
1	58.25	54.20	106.09	17	23.95	31.00	-34.01
2	9.79	36.91	16.74	18	7.50	-11.97	35.04
3	26.82	7.85	-38.06	19	5.70	8.75	53.75
4	65.59	80.98	-57.97	20	-1.23	-11.90	64.82
5	5.11	-12.53	53.48	21	24.30	28.46	-50.67
6	-8.99	-6.78	48.27	22	18.77	26.56	-40.63
7	4.78	4.32	64.98	23	2.09	-0.51	-50.78
8	10.38	15.35	-50.58	24	-5.24	-11.82	53.91
9	-1.64	5.24	-56.12	25	5.15	-1.71	59.03
10	1.75	-10.13	30.85	26	-0.28	11.38	-29.40
11	-3.27	3.24	57.90	27	5.57	-1.64	-57.23
12	-24.84	-36.62	61.36	28	27.14	39.11	-60.38
13	16.18	23.75	-51.25	29	-13.99	-22.06	52.04
14	16.17	25.43	-42.59	30	-14.97	-24.05	43.58
15	1.72	1.94	-48.10	31	-0.49	-1.12	48.93
16	-6.95	-11.83	51.25	32	8.09	12.91	-50.63

表5 三刺激值 *X*、*Y*、*Z* 二阶回归方程的 R^2 和 *F* 值Tab.5 R^2 and *F* - value of the 2nd order regression equations about tristimulus *X*/*Y*/*Z*

	R^2	<i>F</i>
<i>X</i> 二阶回归方程	0.9986	3337.84
<i>Y</i> 二阶回归方程	0.9986	3283.91
<i>Z</i> 二阶回归方程	0.9980	2288.59

表6 二阶回归后检验色块 $L^* a^* b^*$ 值的实际测量值、预测值和色差Tab.6 Actual measurement values, predicted values and chromatic aberration of $L^* a^* b^*$ about the test color blocks after 2nd order linear regression

	预测 L^*	预测 a^*	预测 b^*	实际 L^*	实际 a^*	实际 b^*	ΔE_{ab}^*
1	30.35	-42.14	24.11	27.87	-34.32	20.60	3.46
2	25.61	41.52	28.43	24.80	37.46	26.08	1.61
3	40.65	-7.67	9.99	40.59	-11.72	14.36	3.95
4	39.75	5.54	10.83	38.22	13.10	16.12	7.03
5	80.79	7.39	34.84	81.64	10.96	34.96	2.74
6	55.96	47.27	17.50	57.29	51.66	19.75	1.93
7	85.94	-5.33	35.06	87.50	-7.19	37.68	1.80
8	83.28	0.01	61.87	83.99	2.07	64.54	1.53
9	43.05	66.98	44.42	43.39	64.80	45.17	1.06
10	41.94	69.21	0.82	41.52	68.60	3.95	1.41

从表6中可计算得到组介堡方程二阶回归后检验色块的平均色差为2.65,这与未修正前的组介堡方程的14.71相比,其颜色预测精度提高了455%,且已达到国际上对精细产品的色差要求。

4 结论

本研究基于组介堡方程的修正讨论建立同心圆网点印刷呈色模型问题。首先应用最小二乘法根据样本数据,求出组介堡方程三刺激值的各色元面积率的一阶回归系数;利用SAS软件分析得到的三刺激值*X*、*Y*、*Z*回归方程的复相关系数平方 R^2 和*F*值(回归平方和*S_r*与残差平方和*S_e*的比值),验证所得系数的准确性,再通过测量色差的方法检测一阶线性回归方法的有效性。为了进一步提高模型的计算精度,利用二阶曲线回归实现了对组介堡方程的二次修正,最终得到了比较准确的呈色模型。

由结果分析可知印刷复制传递过程中影响组介堡方程预测准确性的因素众多,仅用简单的线性关系进行描述并不准确,增加二次项能更好地拟合曲线,同时更加符合同心圆网点实际的呈色效果,进而达到更精确的预测结果。

同心圆网点特殊的内部结构使其在印刷复制中的色彩表现力优于其他非同心圆网点。本实验基于同心圆网点修正组介堡方程得到的呈色模型与其他非同心圆呈色模型相比具有更高的颜色预测精度,能更好地实现原稿的真实复制。不足之处在于验证用的10个色块的色相角基本都分布在第一、第二象限,而没有考虑到第三、四象限,对此今后可做进一步研究。

参考文献

- [1] HERSCH R D, EMMEL P. Spectral Reflection and Dot Surface Prediction Model for Color Halftone Prints [J]. Electronic Imaging, 2005, 14(3): 1-12.
- [2] 景翠, 张二虎. 基于 Clapper - Yule 模型的半色调印品颜色预测[J]. 包装工程, 2008, 29(7): 75-77. JING Cui, ZHANG Er-hu. Prediction of the Halftone Printing Color Based on the Clapper - Yule Model [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7): 75-77.
- [3] HERSCH R D, CRÉTÉ Frederique. Improving the Yule - Nielsen Modified Spectral Neugebauer Model by Dot Surface Coverages Depending on the Ink Superposition Conditions [C]// Proceedings of Conference on Color Imaging X: Processing, Hardcopy, and Applications. Bell-

- ingham, USA: SPIE, 2005: 434 - 445.
- [4] SI Li-li, LIU Zhen, LIU Hao-xue. Researches on Neugebauer Equation Correction [C]//Proceedings of ICISH2008: The 6th International Conference on Imaging Science and Hardcopy. Springfield, USA: IS&T, 2008: 77 - 80.
- [5] 张琳, 杨旭. 纽介堡方程计算精度的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(11): 73 - 74.
ZHANG Lin, YANG Xu. Research on Precision of Neugebauer Equation [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11): 73 - 74.
- [6] 刘武辉, 胡更生, 王琪. 印刷色彩学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 216 - 219.
LIU Wu-hui, HU Geng-sheng, WANG Qi. Printing Color [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 216 - 219.
- [7] 刘浩学. 印刷色彩学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 185 - 186.
LIU Hao-xue. Printing Color [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008: 185 - 186.
- [8] 张瑞, 周世生. 基于纽介堡方程的柔版印刷呈色模型探讨[J]. 包装工程, 2010, 31(5): 96 - 98.
ZHANG Rui, ZHOU Shi-sheng. The Discuss of Flexographic Process Color Model Based on Neugebauer Equation [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5): 96 - 98.
- [9] 塞伯 G A F. 线性回归分析[M]. 方开泰, 张永光, 冯士雍, 译. 北京: 科学出版社, 1987: 46 - 50.
SAIB G A F. Linear Regression Analysis [M]. FANG Kai-tai, ZHANG Yong-guang, FENG Shi-yong, Translated. Beijing: Science Press, 1987: 46 - 50.
- [10] 黄平, 梁满发. 统计分析与 SAS 软件[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2005: 71 - 74.
HUANG Ping, LIANG Man-fa. Statistical Analysis and SAS Software [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2005: 71 - 74.
- [11] 何宁, 吴黎兵. 统计分析系统 SAS [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005: 191 - 193.
HE Ning, WU Li-bing. Statistical Analysis System SAS [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2005: 191 - 193.
- [12] 赵颖. 应用数理统计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2008: 176 - 178.
ZHAO Ying. Application of Statistical [M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 2008: 176 - 178.
- [13] 孙建军, 成颖. 应用数理统计[M]. 南京: 东南大学出版

社, 2007: 172 - 174.

SUN Jian-jun, CHENG Ying. Application of Statistical [M]. Nanjing: Southeast University Press, 2007: 172 - 174.

- [14] 成刚虎, 蒋艳丽, 周薇. 基于纽介堡方程的加网误差分析[J]. 中国印刷与包装研究, 2012, 4(1): 20 - 24.
CHENG Gang-hu, JIANG Yan-li, ZHOU Wei. Screening Error Analysis Based on Neugebauer Equation [J]. China Printing and Packaging Study, 2012, 4(1): 20 - 24.

主要作者

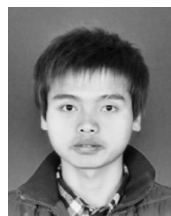


王琪 (1971 年 -), 硕士, 副教授, 硕士生导师; 主要研究方向为数字化印前、色彩控制技术。

Associate professor WANG Qi, born in 1971.

She has got the master degree and now is the master student supervisor. Her main research interests include digital prepress and color control technologies.

E-mail: wangqi_3639@163.com



王晓博 (1988 年 -), 硕士研究生; 主要研究方向为数字化印前。

WANG Xiao-bo, born in 1988. He is a master student and his research interest is digital prepress.

E-mail: 15339245891@126.com