

基于半色调实地的纽介堡方程修正方法

郭凌华^{1a,1b,2,3}, 孙栗媛^{1a,1b,2,3}

(1.陕西科技大学 a.轻工科学与工程学院 b.轻化工程国家级实验教学示范中心,
西安 710021; 2.中国轻工业纸基功能材料重点实验室, 西安 710021;
3.陕西省造纸技术及特种纸品开发重点实验室, 西安 710021)

摘要: **目的** 从网点墨量与实地墨量不同的角度出发, 构建基于半色调实地三刺激值的纽介堡方程修正模型, 从而提高纽介堡方程的计算精度。 **方法** 以符合 G7 认证的印刷标准文件为研究对象, 从网点墨量与实地墨量不同的角度出发, 通过求解半色调实地三刺激值, 构建基于半色调实地三刺激值的纽介堡方程修正模型, 利用色差法对该修正模型进行精度验证。 **结果** 验证结果表明, 修正模型色差精度最大可以提高 2.2 NBS, 平均色差精度可以提高 1.0 NBS。 **结论** 基于半色调实地三刺激值的纽介堡方程修正模型能够有效提高方程精度, 研究结果对于印刷分色具有重要意义。

关键词: 纽介堡方程; 半色调实地三刺激值; 分色

中图分类号: TS801.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)13-0216-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.13.035

Neugebauer Equation Correction Model Based on Halftone Solid Tristimulus Values

GUO Ling-hua^{1a,1b,2,3}, SUN Li-yuan^{1a,1b,2,3}

(1.Shaanxi University of Science & Technology a.College of Bioresources Chemical and Materials Engineering b.National Demonstration Center for Experimental Light Chemistry Engineering Education, Xi'an 710021, China; 2.Key Laboratory of Paper Based Functional Materials of China National Light Industry, Xi'an 710021, China; 3.Shaanxi Provincial Key Laboratory of Papermaking Technology and Specialty Paper Development, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The work aims to construct the Neugebauer equation correction model based on halftone solid tristimulus values according to the fact that the halftone area ink volume is different from the solid area ink volume, thus improving the calculation precision of Neugebauer equation. The standard printing documents conforming to the G7 certification were taken as the research object. Based on the fact that the halftone area ink volume was different from the solid area ink volume, a Neugebauer equation correction model based on halftone solid tristimulus values was constructed through the solution to the halftone solid tristimulus values. The color difference method was adopted to verify the accuracy of the correction model. The verification results showed that the color difference accuracy of correction model could be improved by 2.2 NBS, and the average color difference accuracy could be improved by 1.0 NBS. The Neugebauer equation correction model based on the halftone solid tristimulus values can effectively improve the equation precision. The research results are of great significance for the color separation of printing.

KEY WORDS: Neugebauer Equation; halftone solid tristimulus values; color separation

随着印刷技术的飞速发展, 人们对高端印刷品的需求与日俱增, 对印刷品的复制精度也提出了更高的要求, 因此印刷分色技术的意义和价值逐渐体现出

来。纽介堡方程作为印刷分色算法中的一种重要方法, 在印刷复制中占有重要的地位^[1]。在实际应用中, 纽介堡方程精度不高且存在一定误差^[2-4]。对于纽介

收稿日期: 2017-12-12

基金项目: 2017 年陕西省大学生创新创业训练计划 (1306, 109); 西安市科技计划 (2017068CGRC031 (SXKD008)); 陕西省科技厅工业公关项目 (2016GY-017, 2016GY-079); 宝鸡市科技计划 (16KJHZI-2, 16GYGG4-2)

作者简介: 郭凌华 (1970—), 女, 博士, 陕西科技大学教授, 主要研究方向为防伪印刷和颜色科学。

堡方程的修正有很多方法, 如网点扩大修正法^[5], n 指数修正法等^[6-7], 目前的纽介堡方程修正方法存在以下问题: 网点扩大修正法虽然得到了一定分色效果, 但难以满足分色精度的要求; n 指数修正法虽然使得方程精度有一定提高, 但与修正前的方程相比色差并未明显降低, 并且修正指数的确定增加了工作难度, 使得工作量增大。

为了解决上述问题, 文中在对印刷工艺进行研究和实验的基础上, 从纽介堡方程固有参数三刺激值出发, 分析比较半色调实地墨量与实际大面积实地墨量之间的差异, 提出一种基于半色调实地三刺激值的纽介堡方程修正方法, 对实际生产应用有着重要的指导意义。

1 纽介堡方程基本理论

纽介堡方程是以印刷网点模型为基础推导出来的印刷网点呈色数学模型, 在彩色印刷分色以及复制中占有重要的地位。纽介堡方程是印刷品颜色计算的最基本公式之一^[8]。纽介堡方程见式(1)。

$$\begin{aligned} X &= f_w X_w + f_c X_c + f_m X_m + \cdots + f_{bk} X_{bk} \\ Y &= f_w Y_w + f_c Y_c + f_m Y_m + \cdots + f_{bk} Y_{bk} \\ Z &= f_w Z_w + f_c Z_c + f_m Z_m + \cdots + f_{bk} Z_{bk} \end{aligned} \quad (1)$$

式中: X, Y, Z 为标准样品三刺激值; $[X_w, Y_w, Z_w], [X_y, Y_y, Z_y] \dots [X_{bk}, Y_{bk}, Z_{bk}]$ 分别为白、黄、品红、青、红、绿、蓝、黑等 8 种颜色的实地色块三刺激值; $f_w, f_y \dots f_{bk}$ 分别为 8 个原色油墨网点面积率, 又称德米切尔系数^[9]。

纽介堡方程作为目前主流的分色算法之一, 在已知所需要复制颜色的三刺激值 X, Y, Z 条件下, 通过纽介堡方程求解印刷品所需要的黄、品红、青三原色网点面积率 y, m, c 来完成分色过程^[10-11]。

纽介堡方程组中, 实地三刺激值为网点面积是 100% 时所对应的三刺激值, 但在实际计算中, 不同阶调所对应的实地区域与 100% 大实地区域并不相同, 因此不同阶调的实地三刺激值并非网点面积 100% 处实地三刺激值。不同网点面积处半色调实地区域见图 1。

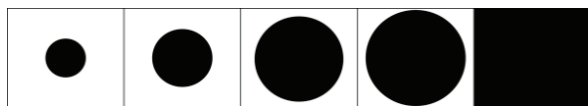


图 1 不同网点面积半色调实地区域
Fig.1 Different dot area halftone solid area

例如, 50% 处的网点对应实地比 100% 处网点对应实地小, 因而 50% 处实地应为此处网点对应的实地区域, 此时三刺激值也应为该区域的网点实地三刺激值, 文中定义为半色调实地三刺激值。

文中将从半色调实地三刺激值出发, 得到基色与叠色半色调实地三刺激值, 进行纽介堡方程修正方法的研究。

2 半色调实地纽介堡方程修正方法的构建

2.1 G7 认证的印刷标准文件设计与输出

根据 G7 印刷彩色标准化要求, 印刷输出符合条件的标准文件。以网点面积率差值 10% 为步长, 选取样本训练, 进行采样输出得到基础数据样图测试版。该样图测试色靶用于获得各基本色元三刺激值的数据。

利用 X-RITE 528 分光密度计在 D50 光源, 2° 视场条件下, 获取相关基色数据, 基础数据样图见图 2。

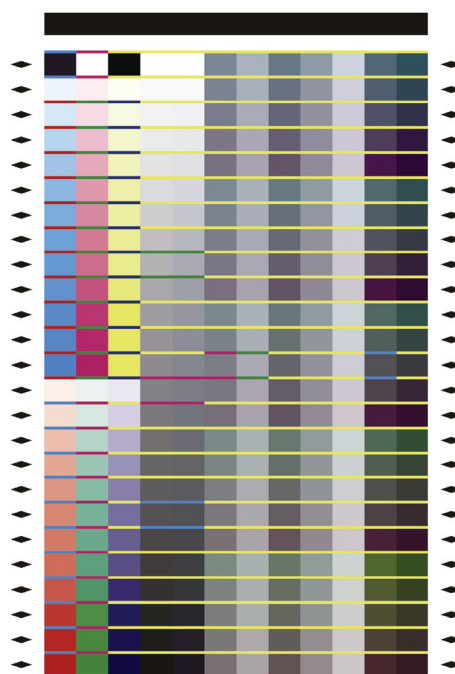


图 2 基础数据样图测试版
Fig2 Test version of asic data sample image

2.2 半色调实地三刺激值纽介堡模型的建立

2.2.1 基色纽介堡方程修正算法构建

1) 构建基色纽介堡方程组。构建基色纽介堡方程组算法见式(2), 然后根据基色方程组计算求解基色半色调实地三刺激值:

$$\begin{aligned} X &= f_w X_w + f_i X_i \\ Y &= f_w Y_w + f_i Y_i \\ Z &= f_w Z_w + f_i Z_i \end{aligned} \quad (2)$$

式中: X, Y, Z 为基色标准样品三刺激值; $[X_w, Y_w, Z_w]$ 为纸白实地三刺激值; $[X_i, Y_i, Z_i]$ 为某基色的实地三刺激值; f_i 为基色网点面积率^[12]。

2) 构建半色调实地三刺激值参数。文中提出纽介堡方程在计算时半色调实地三刺激值与实地三刺激

激值之间存在差异,不同网点面积率的实地三刺激值并非代入网点面积率为 100%时的实地三刺激值。其他网点面积率处的网点比 100%处网点小,因而其他网点面积率处实地应为此处网点所对应的实地区域,此时三刺激值也应为该区域网点的三刺激值,即为半色调实地三刺激值参数。

3) 求解基色半色调实地三刺激值。基色半色调实地三刺激值算法的构建是利用基色组介堡方程组逆向求解匹配得到,将基色三刺激值 XYZ 样本集合与网点面积率样本集合组合,解锁半色调实地三刺激值组,得到不同阶调半色调实地三刺激值,基色半色调实地三刺激值见表 1。

表 1 CMY 基色半色调实地三刺激值
Tab.1 Halftone solid tristimulus value of CMY basic color

基色	不同网点面积处的三刺激值											
	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%
青 X	19.7	19.5	19.9	19.8	19.8	18.9	19.0	18.3	18.5	18.1	17.9	17.5
青 Y	30.2	29.3	29.1	28.7	28.4	27.4	27.1	26.0	25.8	25.1	24.7	24.1
青 Z	70.6	76.7	76.0	75.2	74.7	73.8	73.2	72.2	71.5	70.7	70.2	69.9
品 X	30.7	31.5	32.0	31.5	30.6	30.8	30.2	29.5	28.9	28.5	28.4	28.2
品 Y	11.5	14.1	15.1	15.0	14.3	14.8	14.6	14.0	13.6	13.6	13.7	13.7
品 Z	35.9	33.1	30.3	28.3	25.9	25.2	23.5	21.7	20.2	19.1	18.7	18.0
黄 X	59.3	60.3	61.2	62.0	62.2	62.2	62.8	62.8	62.8	62.5	62.6	62.5
黄 Y	70.8	71.3	72.0	72.6	72.7	72.6	73.0	72.6	72.3	71.8	71.9	71.7
黄 Z	4.1	5.0	5.0	5.7	5.2	5.3	5.6	5.9	5.7	6.3	6.1	6.3

采用函数逼近方法对得到的半色调实地三刺激值的离散点进行描述,然后进行曲线拟合^[13]。文中以不同阶调的网点面积率为自变量,以半色调实地三刺激值为因变量,进行变量间分析,最终建立关系。利用 Matlab 软件对其进行编程,调用 polyfit (x, y, n) 函数编写程序算法,构建函数^[14-15]。所构建的 CMY 基色半色调实地三刺激值算法分别见式(3—5)。

$$\begin{cases} X=(0.14x^8-0.60x^7+1.09x^6-1.09x^5+0.65x^4-0.23x^3+0.05x^2-0.004x+0.002)\times 10^4 \\ Y=(0.28y^8-1.23y^7+2.23y^6-2.19y^5+1.27y^4-0.44y^3+0.09y^2-0.009y+0.003)\times 10^4 \\ Z=(-0.13z^8+0.61z^7-1.18z^6+1.25z^5-0.78z^4+0.29z^3-0.06z^2+0.007z+0.0005)\times 10^5 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} X=(0.44x^8-1.97x^7+3.58x^6-3.43x^5+1.83x^4-0.53x^3+0.07x^2-0.003x+0.003)\times 10^4 \\ Y=(0.93y^8-4.28y^7+7.33y^6-5.45y^5+0.98y^4+0.97y^3-0.60y^2+0.12y+0.007)\times 10^3 \\ Z=(0.55z^8-2.56z^7+4.87z^6-4.94z^5+2.88z^4-0.98z^3+0.19z^2-0.02z+0.004)\times 10^4 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} X=(-0.50x^8+2.06x^7-3.51x^6+3.15x^5-1.62x^4+0.48x^3-0.08x^2+0.008x+0.006)\times 10^4 \\ Y=(-0.37y^8+1.46y^7-2.36y^6+1.99y^5-0.94y^4+0.25y^3-0.04y^2+0.003y+0.007)\times 10^4 \\ Z=(-0.61z^8+2.56z^7-4.42z^6+4.05z^5-2.13z^4+0.65z^3-0.11z^2+0.01z+0.0001)\times 10^4 \end{cases} \quad (5)$$

式中: X, Y, Z 为基色半色调实地三刺激值; x, y, z 为网点面积率。

2.2.2 叠色组介堡方程修正算法构建

1) 构建叠色组介堡方程组。叠色组介堡方程组算法构建见式(6)。

$$\begin{cases} X=f_wX_w+f_iX_i+f_jX_j+f_{ij}X_{ij} \\ Y=f_wY_w+f_iY_i+f_jY_j+f_{ij}Y_{ij} \\ Z=f_wZ_w+f_iZ_i+f_jZ_j+f_{ij}Z_{ij} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $[X_i, Y_i, Z_i], [X_j, Y_j, Z_j]$ 为叠加的 2 个基色的半色调实地三刺激值; $[X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}]$ 为叠色的实地三刺激值; f_i 为基色网点面积率; f_{ij} 为叠色网点面积率。

2) 求解叠色半色调实地三刺激值。叠色半色调实地三刺激值算法构建同样是利用方程组逆向求解匹配得到,将叠色三刺激值 XYZ 样本集合与网点面积率样本集合组合,解锁半色调实地三刺激值组,得到不同阶调半色调实地三刺激值,叠色半色调实地三刺激值见表 2。

表 2 中列出了叠色 BGR 在不同采样点处的半色调实地三刺激值组。与基色类似,采用函数逼近的方法,编写程序算法,所构建的 BGR 叠色半色调实地三刺激值算法分别见式(7—9)。

$$\begin{cases} X=(0.17x^8-0.80x^7+1.55x^6-1.63x^5+1.02x^4-0.38x^3+0.08x^2-0.01x+0.005)\times 10^6 \\ Y=(0.15y^8-0.70y^7+1.35y^6-1.42y^5+0.89y^4-0.34y^3+0.07y^2-0.009y+0.0004)\times 10^6 \\ Z=(0.16z^8-0.71z^7+1.36z^6-1.42z^5+0.87z^4-0.32z^3+0.07z^2-0.008z+0.0004)\times 10^6 \end{cases} \quad (7)$$

表 2 BGR 叠色半色调实地三刺激值
Tab.2 Halftone solid tristimulus value of BGR stack color

叠色	不同网点面积处三刺激值											
	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%
蓝 X	141.6	32.7	11.2	10.1	7.7	6.8	5.3	4.6	5.0	5.0	4.9	4.8
蓝 Y	134.4	34.3	11.0	9.0	6.2	5.4	3.6	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0
蓝 Z	129.5	44.3	29.1	27.1	24.7	25.2	22.3	20.8	19.7	19.4	19.1	18.7
绿 X	144.7	18.2	11.6	8.1	7.7	6.1	5.5	5.3	6.5	6.6	6.4	6.5
绿 Y	149.6	37.6	28.2	23.9	22.6	20.4	18.7	17.9	18.5	18.1	17.6	17.3
绿 Z	124.6	1.3	5.1	1.8	2.7	2.7	4.2	4.8	4.9	5.6	5.6	6.1
红 X	15.6	34.8	32.8	30.3	28.2	27.9	26.9	26.1	26.1	26.1	26.2	26.1
红 Y	16.2	24.7	20.7	17.3	15.2	15.1	13.7	12.8	13.0	13.3	13.6	13.5
红 Z	-43.7	-1.3	7.2	4.7	3.5	2.9	2.5	1.9	1.5	1.8	1.8	2.0

$$\left\{\begin{aligned} X &= (0.28x^8 - 1.27x^7 + 2.42x^6 - 2.51x^5 + 1.53x^4 - \\ &\quad 0.56x^3 + 0.12x^2 - 0.01x + 0.0005) \times 10^6 \\ Y &= (0.24y^8 - 1.09y^7 + 2.08y^6 - 2.15y^5 + 1.31y^4 - \\ &\quad 0.48y^3 + 0.10y^2 - 0.01y + 0.0005) \times 10^6 \\ Z &= (0.31z^8 - 1.40z^7 + 2.66z^6 - 2.75z^5 + 1.67z^4 - \\ &\quad 0.60z^3 + 0.12z^2 - 0.01z + 0.0005) \times 10^6 \end{aligned}\right. \quad (8)$$

$$\left\{\begin{aligned} X &= (-0.38x^8 + 1.74x^7 - 3.37x^6 + 3.57x^5 - 2.24x^4 + \\ &\quad 0.84x^3 - 0.18x^2 + 0.02x - 0.0005) \times 10^5 \\ Y &= (-0.14y^8 + 0.69y^7 - 1.40y^6 + 1.56y^5 - 1.03y^4 + \\ &\quad 0.41y^3 - 0.09y^2 + 0.01y - 0.0001) \times 10^5 \\ Z &= (-0.53z^8 + 2.48z^7 - 4.89z^6 + 5.27z^5 - 3.38z^4 + \\ &\quad 1.31z^3 - 0.30z^2 + 0.04z - 0.002) \times 10^5 \end{aligned}\right. \quad (9)$$

式中：X、Y、Z 为双色半色调实地三刺激值；x、y、z 为网点面积率。

3 基于半色调实地纽介堡修正模型验证

按照测评目标对模型进行横向和纵向 2 个维度的评价^[16]。纵向评价：主要用于验证文中修正模型的技术可行性。横向评价：在模型可行的基础上，验证模型精度是否有所提高。

文中利用双维度评价方法进行评价，在评价时使用 CIE1976 L*a*b* 色差公式，见式（11）。

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (11)$$

3.1 基色修正模型验证

1) 纵向评价。利用文中基色修正模型运行计算半色调实地三刺激值，并将其代入方程得到样品三刺激值结果，将该结果与测量三刺激值比较求色差 ΔE_1 ，结果见表 3。

2) 横向评价。将 100% 实地三刺激值代入未修正纽介堡方程得到样品三刺激值 $X_1Y_1Z_1$ ，并对 $X_1Y_1Z_1$

与测量三刺激值求色差 ΔE_2 。计算 ΔE_1 与 ΔE_2 两者差值，并求平均值，结果见表 4。

表 3 基色纵向评价色差分布
Tab.3 Longitudinal evaluation of basic color difference distribution

网点面积/%	ΔE_1		
	C	M	Y
5	1.2	1.7	1.1
10	0.9	1.8	1.2
20	1.0	1.7	1.0
30	1.0	1.4	0.8
40	0.9	1.5	0.9
50	1.1	1.4	0.8
60	0.6	1.6	0.7
70	0.5	1.8	0.8
80	0.7	1.7	0.5
90	0.5	1.5	0.6
95	1.0	1.0	0.9
100	0.0	0.0	0.0
平均色差	0.8	1.6	0.8

表 4 基色横向评价色差分布
Tab.4 Horizontal evaluation of basic color difference distribution

基色 横向色差	半色调平均 色差 ΔE_1	实地平均 色差 ΔE_2	最大 差值
C 单色	0.8	1.3	0.9
M 单色	1.6	2.3	1.8
Y 单色	0.8	1.4	1.2

3.2 叠色修正模型验证

1) 纵向评价。叠色模型评价色差 ΔE_3 结果见表 5。

2) 横向评价。叠色模型色差为 ΔE_4 ，计算 ΔE_3 与 ΔE_4 两者差值，并求平均值，结果见表 6。

表 5 叠色纵向评价色差分布
Tab.5 Longitudinal evaluation of stack color difference distribution

网点面积/%	ΔE_3		
	CM	CY	MY
5	0.8	0.7	0.4
10	0.7	1.0	0.5
20	0.7	1.7	0.5
30	1.0	3.2	0.5
40	1.1	4.4	0.5
50	2.0	5.7	0.6
60	1.9	5.6	1.2
70	2.2	6.0	2.5
80	1.9	6.0	2.5
90	1.8	4.1	1.7
95	0.6	3.0	1.3
100	0.0	0.0	0.0
平均色差	1.2	3.5	1.0

表 6 叠色横向评价色差分布
Tab.6 Horizontal evaluation of stack color difference distribution

叠色横 向色差	半色调平 均色差 ΔE_3	实地平均 色差 ΔE_4	最大 差值
CM 叠色	1.2	2.1	1.9
CY 叠色	3.5	4.5	2.1
MY 叠色	1.0	2.0	2.2

3.3 结果分析

CMY 基色纵横向不同维度评价的色差分布情况见表 3 和表 4, BGR 叠色纵横向维度评价的色差分布情况见表 5 和表 6。从结果可以看出, 利用半色调实地模型运行计算时色差明显降低, 其中色差差值最大可以降低 2.2 NBS, 平均色差差值最大降低 1.0 NBS, 并且随着网点面积率的变化, 当采样点逐渐接近 100% 时, 色差接近 0, 说明该修正模型的构建有效提高了方程的精度。

4 结语

文中从组介堡方程固有参数出发, 提出了一种基于半色调实地三刺激值修正组介堡方程的方法, 并得出了以下结论。

1) 在所构建的组介堡方程修正模型中, 半色调实地三刺激值随着不同阶调的变化而变化, 当网点面积逐渐接近 100% 时, 半色调实地三刺激值也在接近 100% 实地三刺激值, 最终达到一致。

2) 对组介堡方程修正模型进行验证评价, 利用半色调实地三刺激值修正后的模型运行结果与现有模型运行结果相比, 色差有一定的降低, 色差精度最

大可以提高 2.2 NBS, 平均色差精度最大可以提高 1.0 NBS。

结果表明, 利用该方法所建立的半色调实地三刺激值组介堡方程修正模型使得运行结果的色差明显降低。该模型在一定程度上提高了方程计算精度, 取得了较高的计算准确度, 对实际生产有一定的指导意义, 在今后研究中能够准确预测未知颜色, 进一步在印刷分色中实现小色靶代替大色靶的分色目标。

参考文献:

- [1] 周世生. 印刷色彩学[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2015.
ZHOU Shi-sheng. Printing Color Science[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2015.
- [2] SI L, LI J, JIANG W. Neugebauer Model of a Four-color Inkjet Printer[C]// Image and Signal Processing: CISP'09, IEEE, 2010: 1—5.
- [3] SI L L, LIU Z, LIU H X. Researches on Neugebauer Equation Correction[C]// ICISH'2008: International Conference on Imaging Science and Hardcopy, 2007: 67—69.
- [4] 成刚虎, 熊康鹏. 组介堡方程的理论价值及其局限性分析[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(5): 24—28.
CHENG Gang-hu, XIONG Kang-peng. The Theoretical Value and Limit Analysis of the Neugebauer Equation, 2010, 2(5): 24—28.
- [5] 刘浩学, 袁宇霞, 杨文杰. 组介堡方程的网点扩大量修正法[J]. 北京印刷学院学报, 2010, 7(4): 19—23.
LIU Hao-xue, YUAN Yu-xia, YANG Wen-jie. The Dot Gain Correction of Neugebauer Equation[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2010, 7(4): 19—23.
- [6] 成刚虎, 张鸿. 组介堡方程指数修正方法的理论剖析[J]. 西安理工大学学报, 2015, 31(1): 72—77.
CHENG Gang-hu, ZHANG Hong. The-oretical Analysis of the Method of Co-rrecting the Method of Neugebauer Equation Index[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2015, 31(1): 72—77.
- [7] 刘世昌, 于开龙. 组介堡方程组及尤耳-尼尔森公式中修正系数 n 值的检验与计算[J]. 中国印刷, 2011(32): 39—45.
LIU Shi-chang, YU Kai-long. The Test and Calculation of the Value of the Correction Factor N in the Equation of Neugebauer and the Euler-Nielsen Formula[J]. China Printing, 2011(32): 39—45.
- [8] 胡成发. 印刷色彩与色度学[M]. 北京: 印刷工业出版社, 1993.
HU Cheng-fa. Printing Color and Chroma Science[M]. Beijing: Printing Industry Press, 1993.
- [9] IOVINE L, WESTLAND S, CHEUNG T L V. Application of Neugebauer-Based Models to Ceramic Printing[J]. IS&T/SID Twelfth Color Imaging Conference,

- 2004, 30(11): 256—267.
- [10] 刘浩学. 印刷色彩学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.
- LIU Hao-xue. Printing Color Science[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011.
- [11] 李志会, 唐万有, 于治国. XYZ 到 CMY 颜色空间转换的研究[J]. 包装工程, 2010, 31(7): 96—98.
- LI Zhi-hui, TANG Wan-you, YU Zhi-guo. Research on the Transformation from XYZ to CMY Color Space[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7): 96—98.
- [12] 严爱国. 基于双分区修正的组介堡方程多色分色研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- YAN Ai-guo. The Research on Neugebauer Multi-color Separation Based on Double Subarea Modification[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2012.
- [13] CHEN Guang-xue, CHEN Qi-feng, TAI Jing-lei, et al. Halftoning Method and Reproduction of Color Gamut in Digital Image Output[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 421: 138—143.
- [14] 张铮, 倪红霞, 苑春苗, 等. 精通 Matlab 数字图像处理与识别[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- ZHANG Zheng, NI Hong-xia, YUAN Chun-miao, et al. Proficient Digital Image Processing and Recognition in Matlab[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2013.
- [15] 张德丰. 小波分析与工程应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- ZHANG De-feng. Wavelet Analysis and its Application in Matlab Platform[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2008.
- [16] 朱明, 刘真, 陈广学. 基于分区组介堡方程的 6 色印刷分色模型研究[J]. 光学学报, 2011, 31(7): 289—298.
- ZHU Ming, LIU Zhen, CHEN Guang-xue. Research on Six-color Separation Model Based on Subarea Neugebauer Equations[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(7): 289—298.