

基于 ICC 阶调调整的陶瓷喷墨印刷颜色校正

付文亭¹, 梁立霖²

(1.中山火炬职业技术学院 包装学院, 广东 中山 528436; 2.珠海红塔仁恒包装股份有限公司, 广东 珠海 519000)

摘要: **目的** 为了解决不同批次陶瓷制品的颜色一致性问题, 提出一种基于 ICC 编辑的陶瓷喷墨制品颜色校正方法。**方法** 根据二分法原理, 通过实验测量, 找出网点阶调修正的颜色校正模型最佳校正参数 a 值, 计算并绘制各单色通道色彩调整曲线 S_i 。**结果** 应用经过 S_i 值网点补偿校正后的 ICC 特性曲线, 印刷并输出网点阶调测试色卡, 测量得出各通道网点百分比的阶调值与基准值的平均差值减小到 0.4%。**结论** 提出的基于 ICC 编辑的陶瓷喷墨印刷制品颜色校正方法有效解决了同一印前文件不同批次陶瓷制品颜色不一致的问题。

关键词: 陶瓷喷墨印刷; 阶调复制; 校正参数; ICC 编辑; 颜色校正

中图分类号: TS89 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)21-0194-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.21.027

Color Correction of Ceramic Inkjet Print Based on Gradations Editing of ICC

FU Wen-ting¹, LIANG Li-lin²

(1.School of Packaging, Zhongshan Torch Polytechnic, Zhongshan 528436, China;

2.Hongta Renheng Packaging Co., Ltd., Zhuhai 519000, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a color correction method of ceramic inkjet print based on ICC editing in order to solve the problem of color consistency in different batches of ceramic products. According to the dichotomy principle, the best correction parameter a of the color correction model for dot gradation editing was found out through the experimental measurement, and the color adjustment curve S_i of each monochrome channel was calculated and drawn. The ICC characteristic curve corrected by S_i dot compensation was applied to print and output the dot gradation test color card, and the average difference between the gradation value of each dot percentage of each channel and the reference value was reduced to 0.4%. The proposed color correction method for ceramic inkjet print based on ICC editing effectively solves the problem of inconsistent color of different batches of ceramic products in the same pre-press files.

KEY WORDS: ceramic inkjet print; gradation; correction parameter; ICC editing; color correction

喷墨印刷是继传统的丝网印花和辊筒印花技术之后, 陶瓷行业的第三次技术革命。伴随陶瓷喷墨印刷技术的普及, 为了解决色差频现、砖面效果不理想以及陶瓷企业追求稳定生产等现象, 陶瓷喷墨印刷色彩管理技术的研究和应用也接踵而至。

色彩管理技术的核心是国际色彩联盟 (International Color Consortium, ICC) 特性文件的制作, 是用来反映某个设备表现色彩的范围和特征, 以及设备各自的颜色值与设备无关的颜色值 (表示人们看到实际颜色的感觉) 进行转换的桥梁。基于色彩

收稿日期: 2021-04-21

基金项目: 广东省普通高校特色创新类项目 (2021KTSCX305)

作者简介: 付文亭 (1984—), 女, 副教授, 主要研究方向为印刷色彩管理技术

管理技术原理,通过制作陶瓷喷墨印刷机的 ICC 特性文件,从理论上可实现设计文件到分色文件(设备颜色值文件,如文中涉及的 C/M/Y/K/O/O₁ 多通道分色文件)直接转换,减少印前人员反复打样、调图环节。

任何色彩管理系统能有效实施的基础是瓷砖生产的稳定化、标准化。根据调研,在瓷砖生产行业要做到生产稳定和标准化非常难,一方面是原材料很难标准化,另一方面是瓷砖要经过窑炉高温烧制。由于原材料不同,为了得到符合质量的瓷砖(例如硬度、成型不卷边等质量要求),窑炉的温度、时长等各参数都会发生变化,颜色不可避免也会发生变化。利用色彩管理系统制作的 ICC 特性文件,经第一次分色打样、留样后,如果后面批次生产时出现色差频现、砖面效果不理想等,目前的陶瓷喷墨色彩管理系统无法起到很大作用,需要调图人员根据实际的瓷砖烧制颜色情况进行调图,这存在技术要求高、难度大等缺点^[1-2]。

为了有效解决瓷砖喷墨印刷色差频现、砖面效果不理想等问题,切实减少印前人员反复打样、调图等人员参与环节,提高陶瓷喷墨印刷数字化流程,首先要进行瓷砖喷墨印刷原材料控制;然后开发一系列陶瓷喷墨印刷过程控制手段,对瓷砖喷墨印刷色彩变化进行过程监控;其次针对瓷砖喷墨印刷色彩不可避免变化的现状,开发陶瓷喷墨制品颜色校正方法,解决同一印前文件的不同批次陶瓷制品颜色不一致的问题。

文中拟提出一种基于 ICC 编辑的陶瓷喷墨制品颜色校正方法,设计一组测试色块,利用陶瓷喷墨印刷机打印输出,并经过瓷砖生产工艺烧制后,使用爱色丽 eXact 分光密度仪测量各色块密度,总结分析颜色数据找出规律,并建立校正模型,然后将校正模型运用到 ICC 编辑软件曲线输出值调整中,再次打印测试色块,经烧制后测量颜色值检验效果。

1 理论分析

1.1 陶瓷喷墨印刷制品呈色原理

陶瓷喷墨印刷的打印原理与普通喷墨印刷的打印原理相似,两者都通过打印机的喷头将图案以网点的形式喷射在陶瓷坯体的表面。网点是陶瓷喷墨印刷再现颜色的基本单元。通过测量发现,同一印前文件相同阶调、不同批次的颜色不一致本质上是在不同烧制条件下陶瓷制品最终再现的印刷密度不一致。由玛瑞-戴维斯(Murray-Davies)公式可知,网点百分比与密度是函数关系,网点阶调的变化是造成不同批次颜色不一致的直接原因^[3-6]。

玛瑞-戴维斯(Murray-Davies)公式:

$$a = \frac{1-10^{-D}}{1-10^{-D_s}} \quad (1)$$

式中: a 为网点面积率; D 为网点密度; D_s 为网点的实地密度。

1.2 ICC 特性文件分析

设备的颜色值由设备的控制信号来描述,通常以 R/G/B, C/M/Y/K 数值或多通道数值(文中涉及的 C/M/Y/K/O/O₁)来表示,将这些颜色值传送给设备,设备就会产生出相应的颜色。与设备颜色值相对应的、与设备无关的颜色值代表了用设备值复制出的颜色感觉,用特性文件连接颜色空间(PCS)来表示,即用 CIE XYZ 或 CIE LAB 来描述。

利用设备 ICC 特征文件和色彩转换程序,在设备的色彩模式和设备独立的色彩空间(PCS 空间)之间进行彩色信息的映射转换,即用于描述设备的 R/G/B、C/M/Y/K 或多通道数值控制信号与这些信号所实际产生的颜色之间的关系。

设备 ICC 特性文件包含了描述设备运转状况的 3 个主要变量信息:色域,呈色剂(原色)的颜色和亮度值所确定的范围;密度动态范围,白场和黑场的颜色、亮度值;呈色剂的阶调复制特性,如网点阶调复制曲线、网点扩大信息等,Profile Maker 软件中 ICC 特性文件记录的网点阶调复制曲线和网点扩大曲线见图 1^[7-9]。

1.3 基于 ICC 编辑陶瓷喷墨印刷制品颜色校正方法的可行性

在实际生产中由于生产状态的不断变化,生产实际与理想复制条件之间存在差距,往往造成设备 ICC 特征文件在生产控制过程中需要不断调整,其中阶调调整是常见的 ICC 编辑手段。

阶调曲线决定了图像的输入与输出阶调之间的对比关系,即一个颜色的输入信号根据一定的对应关系与其输出信号相对应。如果输入信号与输出信号是一一对应的,则阶调曲线为线性。这种层次的转换可通过特征文件进行控制,对特征文件编辑时有 2 种方式可作用于阶调转换:对二次线性法调节(Post-linearization)和阶调曲线调整功能(Gradations)。

1) 阶调曲线调整功能。对于特征文件,其反映输出设备的彩色复制特性,阶调调整使图像的阶调范围适合于输出设备所能表现的阶调范围。调整阶调针对图像与设备的特性,对阶调曲线进行适当的调整,改变阶调曲线的形态,增大或降低图像中不同部位的反差和细节,以补偿图像复制过程的非线性变化,从而满足输出设备复制的要求。

2) 基于 ICC 编辑陶瓷喷墨印刷制品颜色校正方法。根据 1.1 节的分析,网点阶调的变化是造成不同批次陶瓷喷墨印刷颜色不一致的直接原因。通过测量、记录同一产品不同批次不同网点百分比下阶调变

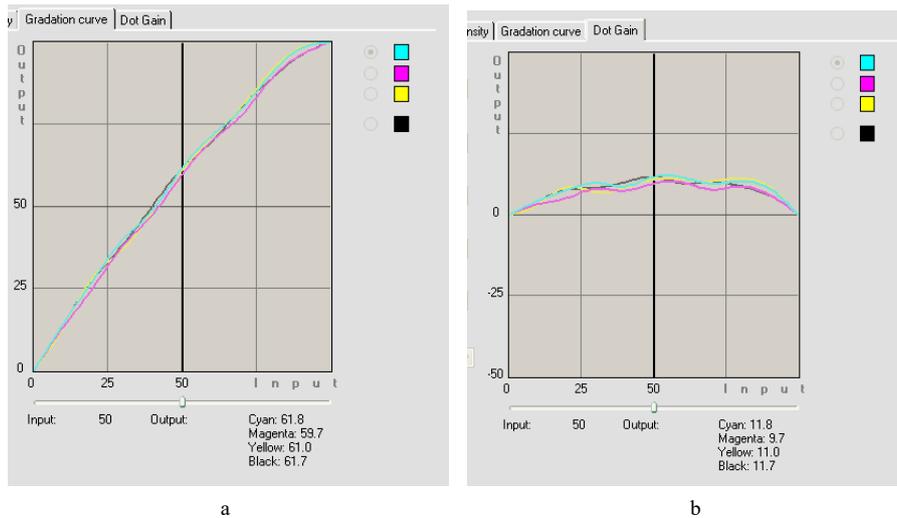


图1 Profile Maker 软件中 ICC 特性文件记录的网点阶调复制曲线和网点扩大曲线
Fig.1 Gradation curve and dot gain curve of ICC Profile in Profile Maker

化值,建立网点补偿校正模型,利用 ICC 编辑软件中的阶调曲线调整功能(Gradations),见图2,可对 ICC 特性文件中每个通道的网点阶调复制曲线进行编辑,对不同批次存在色差的阶调进行网点补偿,使网点再现尽可能达到一致,从而解决不同批次产品颜色不一致的问题。

厚抛釉仿古系列陶瓷砖;墨水,迈瑞思高温墨水;色序及墨色为 C, M, Y, K, O, O₁;印后工序,淋厚抛釉→烘干→烧成→抛光→纳米防污;测量仪器,爱色丽 eXact 分光密度仪(D50, 2 度视角);实验软件,Adobe Photo Shop CS5, Profile Maker5, Excel 2010, Word 2010。

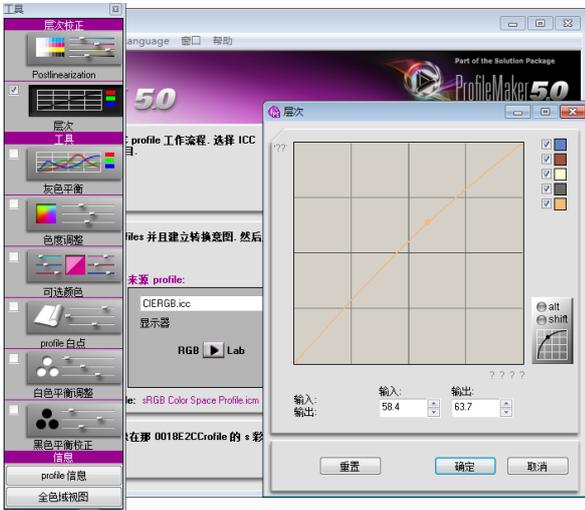


图2 Profile Editor 中显示的 ICC 特性文件记录的网点阶调复制曲线编辑面板
Fig.2 Editing panel of gradation curve of ICC Profile displayed by Profile Editor

2 基于 ICC 编辑的陶瓷喷墨印刷制品颜色校正实验

2.1 实验条件

实验条件:陶瓷喷墨印刷机,精陶陶瓷喷墨印刷机 D-1170,实验印刷分辨率为 300 dpi;陶瓷瓷砖,

2.2 网点阶调校正参数计算

2.2.1 网点阶调测试色卡设计

由于陶瓷墨水的发色特性,C/M/Y/K 四色陶瓷墨水发色后,色域非常小,远远达不到设计原稿的色域。为了拓宽陶瓷印刷制品的最终表现色域,陶瓷喷墨印刷机通常为 6 色或 6 色以上的多通道印刷设备。

针对陶瓷喷墨印刷机每个通道(C, M, Y, K, O, O₁)设计网点阶调测试色卡。设计内容:设计网点百分比分别为 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%, 100%的色块;考虑后期要使用分光光度计进行测量,根据测量的孔径,每个色块设计为 17 mm×17 mm。网点阶调测试色卡见图 3^[10-11]。

2.2.2 基于网点阶调修正的颜色校正模型

记录 ICC 特性文件制作条件下的各通道网点阶调值,或者直接调用 ICC 特性文件中记录各通道网点阶调值作为颜色校正基准,其数据记录为 D_{0i} ;假设第 N 批陶瓷印刷颜色需要校正,则印制网点阶调测试色卡,测量各通道网点阶调值,将其记录为 D_{Xi} ;校正模型见式(2)。

$$D_{Xi}' = D_{0i} + a(D_{Xi} - D_{0i}) \tag{2}$$

式中: D_{Xi} 为需要颜色校正批次陶瓷的各网点阶调测量值, $i=1\%, 3\%, \dots, 100\%$; D_{0i} 为 ICC 特性

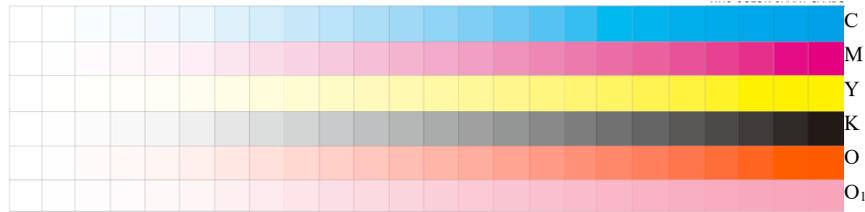


图 3 为网点阶调测试色卡
Fig.3 Test color card of dot gradation

文件制作状态下陶瓷的各网点阶调测量值； D_{Xi} 为通过校正计算后得到的网点百分比校正值； a 为校正参数，为了计算得到最佳修正值，需要在实验过程中通过数据计算得到， $0 \leq a \leq 1$ 。

2.2.3 校正参数 a 值的确定

已知校正参数 a 的取值范围是 $[0,1]$ ，最佳校正参数 a 值可通过二分法来确定。即取中点 $1/2$ ，然后 a 分别取 $0, 1/2, 1, 1/4, 3/4, 1/8, 7/8$ 等。根据测试色卡的网点百分比测量值，将 a 代入校正模型可以计算得到校正值。在印前流程中使用 Photo Shop 软件进行网点百分比值的校正，将校正后的测试色卡再次打印烧制并测量数据。总结测量的数据并进行比较分析，当测试色卡的测量值与基准值最接近时，校正参数 a 的值为最优值^[10-14]。

由于设备、材料误差对网点阶调复制的影响一致，为了确定 a 值，选择某一通道某网点值进行计算。实验选择 K 通道 $i=40\%$ 处网点值进行计算。

1) 记录 K 通道 $i=40\%$ 处网点阶调标准值为 $D_0=55\%$ 。

2) 为了模拟实验多批次色差较大的情况，特选择 7 批不同批次的瓷砖进行实验，用于校正参数确定计算的数据取 7 批瓷砖测量结果的平均值，为确保测量精度，每批次的测试色卡测量 5 次，见式 (3)。

$$D_X = \frac{D_{X1} + D_{X2} + \dots + D_{X7}}{7} \quad (3)$$

式中： D_{Xn} 为第 n 批瓷砖在 K 通道 $i=40\%$ 处网点值。根据“二分法”算法原理，校正参数 a 分别取 $0, 1/2, 1, 1/4, 3/4, 1/8, 7/8$ ，然后使用校正公式 (2) 计算得到 D_X' 值，即 K 通道 $i=40\%$ 处网点校正值。

3) 在 Photo Shop 软件中用曲线对黑色通道的输出值进行校正。再次印刷烧制测试色卡并测量经过校正后的网点百分比，记录数据结果。测量结果见表 2。

由表 1 可知，当校正参数 $a=7/8$ ，不同批次陶瓷烧制后在 K 通道 $i=40\%$ 处网点阶调与网点阶调标准差值最小。即可判定 $a=7/8$ 为校正模型参数的最优值。

2.2.4 基于网点阶调修正的 ICC 编辑校正模型

基于上述描述，当后批次生产的新砖相对于样砖发生色差时，可以利用网点阶调修正的颜色校正模型优化陶瓷喷墨印刷的 ICC 特性文件。

1) 计算各单色通道色彩调整曲线 S_i ，见式 (4)。

表 1 不同校正参数 a 值下网点修正测量结果
Tab.1 Dot correction measurement results with different correction parameters a %

a 值	网点阶调测量平均值	与网点阶调标准差值
0	67.9	12.9
1/8	66.4	11.4
1/4	64.88	9.88
1/2	61.76	6.76
3/4	57.32	2.32
7/8	55.26	0.26
1	55.88	0.88

$$S_i = 7/8(D_{Xi} - D_{0i}) \quad (4)$$

式中： S_i 为某单色通道网点百分比为 i 时的色块的调整值； D_{0i} 为样砖 ICC 特性文件中对应某单色通道的网点阶调数据； D_{Xi} 为新砖对应某单色通道的测量网点阶调数据； $7/8$ 为网点校正参数。

2) 在 ICC 编辑软件中，每个单色通道加载对应色彩调整曲线 S_i ，将生成的数据用于后续喷墨印刷生产中^[10]。

2.3 计算各单色通道色彩调整曲线 S_i

2.3.1 S_i 值的计算

调用 ICC 特性文件中记录的各通道网点阶调值作为颜色校正基准，记录为 D_{0i} ；测量并记录需要校正批次的各通道网点阶调值，将其记录为 D_{Xi} ；根据式 (4) 计算 S_i 校正曲线。计算的 S_i 值见表 2。

2.3.2 S_i 曲线绘制

根据表 2 中各通道 S_i ，绘制各通道网点阶调调整曲线，见图 4。该曲线可应用于 ICC 编辑软件，对每个单色通道进行阶调整。

3 结果

应用经过 S_i 网点补偿校正后的 ICC 特性曲线，在同一实验条件下，印刷并输出网点阶调测试色卡，测量得出各通道各网点百分比的阶调值与基准值的平均差值减小到 0.4%，有效地降低了同一印前文件不同批次陶瓷制品的色差，解决了不同批次陶瓷制品颜色不一致的问题。

表2 各通道色彩调整曲线 S_i
Tab.2 Color adjustment curve S_i value of each channel

网点阶调值/%	C通道 S_i	M通道 S_i	Y通道 S_i	K通道 S_i	O通道 S_i	O ₁ 通道 S_i
100	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
95	0.40	0.40	0.20	0.70	0.8	0.70
90	0.80	0.90	1.10	1.2	0.9	0.9
85	0.90	1.10	1.10	2.1	1.7	1.6
80	1.20	0.90	1.30	2.00	1.8	1.9
75	1.30	1.1	1.00	2.70	2.1	2.5
70	1.5	1.6	1.30	3.20	2.8	2.6
65	1.7	1.4	1.50	4.50	2.8	2.7
60	0.90	0.90	1.6	4.00	3.2	2.9
55	0.90	0.90	1.8	4.50	3.8	3.4
50	1.2	1.6	1.6	5.50	3.9	3.8
45	1.1	1.2	1.50	6.70	4.1	3.4
40	1.00	1.5	1.90	7.10	4.8	4.2
35	1.7	1.60	2.1	7.60	5.2	5.0
30	1.7	1.40	1.8	8.20	5.8	4.9
25	2.1	1.70	2.10	8.10	6.1	5.7
20	2.4	1.70	1.70	8.9	5.8	5.4
15	2.8	1.80	2.50	8.40	5.7	5.1
10	2.8	1.70	2.70	6.50	4.3	4.6
7	2.1	1.20	2.10	5.50	3.2	3.0
5	1.8	0.70	1.5	2.20	2.9	2.7
3	1.2	1.30	1.1	1.8	1.7	1.4
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

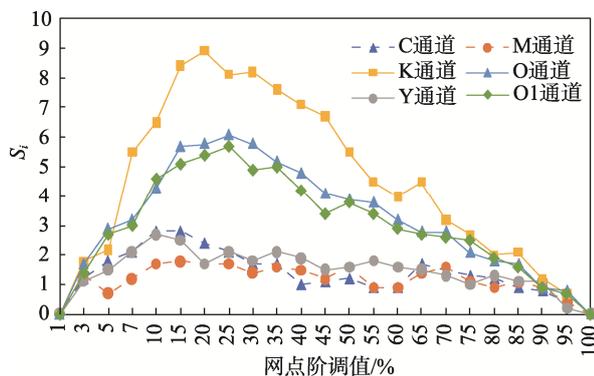


图4 各通道网点阶调调整曲线
Fig.4 Color adjustment curve of dot gradation of each channel

4 结语

建立的基于 ICC 编辑的陶瓷喷墨印刷制品颜色校正方法是基于网点阶调修正的颜色校正模型,其可

以用于计算蓝 (C)、棕 (M)、黄 (Y)、黑 (K) 等 4 色通道和专色通道的颜色校正。对于陶瓷企业实际生产中出现的同一印前文件不同批次陶瓷制品颜色不一致的问题,印刷技术人员可以使用模型计算各单色通道色彩调整曲线 S_i ,并在 ICC 编辑软件中应用该 S_i 色彩调整曲线,对每个单色通道进行阶调调整。实验结果表明,该方法可以降低不同批次陶瓷制品的色差,使不同批次陶瓷制品的颜色达到一致。

参考文献:

[1] 付文亭, 邓体俊. 陶瓷喷墨印刷与普通喷墨印刷呈色对比研究[J]. 陶瓷学报, 2016, 37(4): 409—412.
FU Wen-ting, DENG Ti-jun. Color Comparison between Ceramic Ink Jet Printing and Ordinary Ink Jet Printing[J]. Journal of Ceramics, 2016, 37(4): 409—412.

[2] 付文亭, 邓体俊. 瓷砖介质喷墨印刷色彩管理的研

- 究及实践[J]. 中国陶瓷, 2018, 54(9): 61—65.
FU Wen-ting, DENG Ti-jun. Research and Practice of Color Management in Ceramic Ink Jet Printing[J]. China Ceramics, 2018, 54(9): 61—65.
- [3] 朱明, 方恩印, 王冬远. 喷墨打印机驱动程序中的色彩控制应用[J]. 包装工程, 2017, 38(11): 181—186.
ZHU Ming, FANG En-yin, WANG Dong-yuan. Color Control of Ink-jet Printing Driver[J]. Packing Engineering, 2017, 38(11): 181—186.
- [4] 朱东彬, 楚锐清, 张晓旭, 等. 陶瓷喷墨打印机机理研究进展[J]. 机械工程学报, 2017, 53(13): 108—117.
ZHU Dong-bin, CHU Rui-qing, ZHANG Xiao-xu, et al. Progress in Mechanism of Ceramics Inkjet Printing[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(13): 108—117.
- [5] 蔡昊, 董春法, 张祥林. DOD 式压电喷墨打印系统液滴形成过程的数值模拟[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 113—117.
CAI Hao, DONG Chun-fa, ZHANG Xiang-lin. Numerical Simulation of the Droplet Formation Process in a DOD Piezoelectric Inkjet System[J]. Packing Engineering, 2014, 35(15): 113—117.
- [6] 李向亭, 刘真. 网点扩展与 Murray—Davies 公式两种校正形式[J]. 解放军测绘学院学报, 1996(3): 215—217.
LI Xiang-ting, LIU Zhen. The Dot Gain and Two Modified Methods of Murray-Davies Formula[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 1996(3): 215—217.
- [7] 唐耀存. 密度叠印率与色差之间关系的研究[J]. 包装工程, 2015, 36(23): 150—154.
TANG Yao-cun. The Relationship between Density Trapping Rate and Chromatic Aberration[J]. Packing Engineering, 2015, 36(23): 150—154.
- [8] 高静. 基于印前网点补偿的印版校正方法研究[J]. 包装工程, 2018, 39(23): 231—236.
GAO Jing. Plate Correction Method Based on Prepress Dot Compensation[J]. Packing Engineering, 2018, 39(23): 231—236.
- [9] 付文亭, 邓体俊. PhotoShop 中转换选项对印前分色的影响研究[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 131—135.
FU Wen-ting, DENG Ti-jun. Influence of Conversion Options in Photoshop on Pre-Press Colour Separation[J]. Packing Engineering, 2015, 36(5): 131—135.
- [10] 邓体俊, 付文亭. 颜色测量仪器的几何结构对陶瓷颜色测量的影响研究[J]. 陶瓷学报, 2015(4): 410—413.
DENG Ti-jun, FU Wen-ting. Effects of Geometric Structure of Color Measuring Instrument on Ceramic Color Measurement[J]. Journal of Ceramics, 2015(4): 410—413.
- [11] 付文亭, 邓体俊. 陶瓷喷墨印刷设备线性校准的研究[J]. 陶瓷学报, 2015, 36(6): 673—677.
FU Wen-ting, DENG Ti-jun. Linear Calibration of Ceramic Ink-Jet Printing Equipment[J]. Journal of Ceramics, 2015, 36(6): 673—677.
- [12] 郑仕达, 邓榕峰, 古汤汤, 等. 基于二分法的 PMSM 压缩机转速脉动抑制方法[J]. 电工技术, 2020(17): 138—142.
ZHENG Shi-da, DENG Rong-feng, GU Tang-tang, et al. Method for Suppressing Speed Ripples of PMSM Compressor Based on Dichotomy Algorithm[J]. Electric Engineering, 2020(17): 138—142.
- [13] 叶峰. 基于二分法的改进 Apriori 关联算法研究[J]. 电子设计工程, 2020, 28(16): 49—53.
YE Feng. Research on Improved Apriori Association Algorithm Based on Dichotomy[J]. Electronic Design Engineering, 2020, 28(16): 49—53.
- [14] 牟笑竹, 刘艳. 基于关键点检测的数字打样颜色质量控制方法研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2014, 4(6): 99—105.
MOU Xiao-zhu, LIU Yan. Research on Color Quality Control Method of Digital Proof Based on Key Color Spots Searching[J]. China Printing and Packaging Study, 2014, 4(6): 99—105.
- [15] MONTORSI M, MUGONI C, PASSALACQUA A, et al. Improvement of Color Quality and Reduction of Defects in the Ink Jet-Printing Technology for Ceramic Tiles Production: A Design of Experiments Study[J]. Ceramics International, 2016, 42(1): 1459—1469.
- [16] INUI M. Why is Color Gamut of Red Region of Adobe RGB also Wider Than That of sRGB?[J]. Journal of the Society of Photographic Science & Technology of Japan, 2011, 72(2): 85—87.
- [17] MOSCHIK, EPPICH C, HUBNER W. Possible Reasons for Colour Variations in Ceramic Printing[J]. CFI Ceramic Forum International, 2002, 79(10): 14—17.
- [18] RAHUL S H, BALASUBRAMANIAN K, VENKATESH S. Optimizing Inkjet Printing Process to Fabricate Thick Ceramic Coatings[J]. Ceramics International, 2017, 43(5): 4513—4519.
- [19] SONG J H, NUR H M. Defects and Prevention in Ceramic Components Fabricated by Inkjet Printing[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 155(1): 1286—1292.