

# 喷墨印刷多级控制对颜色再现的影响研究

杨晟炜<sup>1</sup>, 刘真<sup>1,2</sup>, 吴明光<sup>3</sup>, 张桢杰<sup>2</sup>

(1. 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; 2. 上海理工大学, 上海 200125; 3. 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046)

**摘要:** 喷墨印刷多级控制技术通过控制微小墨滴的大小和落点, 实现多级输出, 会对颜色再现过程产生影响。设计色靶并利用不同级别控制输出, 从色域和层次 2 个方面对多级控制产生的影响进行了分析。研究表明: 级别越高, 形成的色域越大; 在亮调区域, 级别越低, 可以表现的颜色层次越多; 在中暗调区域, 级别越高, 可以表现的颜色层次越多。

**关键词:** 多级控制; 颜色再现; 色域; 层次

**中图分类号:** TS801.3; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)05-0086-04

## Research on Influence of Ink-jet Printing Multi-level Control on Colour Reproduction

YANG Sheng-wei<sup>1</sup>, LIU Zhen<sup>1,2</sup>, WU Ming-guang<sup>3</sup>, ZHANG Zhen-jie<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Provincial Key Lab of Pulp and Paper Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China; 3. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** Multi-level control technology of inkjet printing achieves multi-level output by controlling the size and placement of tiny ink droplets. It has influence on the color reproduction process. Color target was designed and different levels output were carried out. The influence of multi-level output was analyzed from the aspects of color gamut and color gradation. The results showed that the higher the level, the larger the gamut; the lower the level, the more levels of the color in the bright tone area; the higher the level, the more levels of the color can be reproduced in the middle and dark tone area.

**Key words:** multi-level control; color reproduction; color gamut; color gradation

近年来, 多级控制技术在喷墨打印机上应用日益广泛, 它们通过高寻址技术或者特殊的打印头设计等方法来控制微小墨滴的落点, 从而实现多级输出。多级喷墨方式通常有以下 2 种实现方式<sup>[1]</sup>: 通过在承印物同一位置喷射多个墨点实现多级控制, 例如采用热泡式技术的 HP 系列喷墨打印机; 通过控制喷射墨点的大小实现多级控制, 例如采用压电式技术的 EPSON 系列喷墨打印机和采用奥西 DigiDot 喷墨技术的喷墨打印机。2 种方式都会对网点的大小和墨层厚度产生影响, 从而对颜色再现过程中的色域和层次产

生影响。笔者设计色靶并利用不同的级别控制打印机输出, 分析多级控制对颜色再现的影响。

## 1 实验设备

打印输出设备: HP Designjet Z3200 (CMYKRGB 七色, 支持 0, 1, 2, 3 四级控制)。打印介质: EasiColor EP520 210 g/m<sup>2</sup> 半亮面打样纸。颜色测量设备: GretagMacbeth i1iO。

**收稿日期:** 2013-01-05

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (41271446); 江苏省研究生科研创新计划 (CXZZ11\_0517); 苏州市科技局科技支撑项目 (SG201102)

**作者简介:** 杨晟炜 (1984-), 男, 江苏人, 南京林业大学在读博士生, 主要从事色彩再现理论与应用方面的研究。

## 2 样本选取

1) 色靶 1。根据颜色区域划分理论选择 6 个分区<sup>[2-3]</sup>, 分别为 *KMB, BCK, CGK, GYK, YRK, RMK*, 见图 1。在每个分区形成的三维空间表面进行均匀取样。

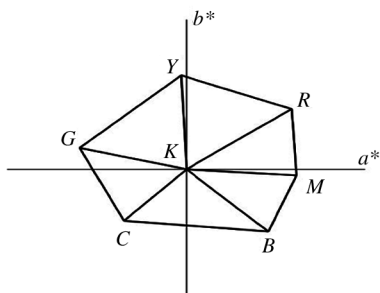


图 1 颜色区域划分  
Fig. 1 Subarea figure of primary color

以 *CGK* 分区为例, 分别取 *CGK* 中的某一基色等于 0 或 100, 其余 2 个基色按照网点面积率 0, 10, 20, ..., 100 排列组合形成色块。由于前期实验发现  $K=100$  时颜色在 *Lab* 空间内集中于很小范围, 几乎无法分别, 因此不采集  $K=100$  面上的点, 每个分区共  $5 \times 11 \times 11 = 605$  个色块组成色靶。

2) 色靶 2。将网点面积率 100 均分 30 级, 制作 *CMYKRGB* 7 个基色的单色梯尺色靶。

## 3 输出流程

由于纸张只能承受一定的墨量, 过多的油墨会导致各色块间没有明确界限、墨水堆墨、墨水覆盖不均匀等问题, 同时由于干燥时间变长, 易引起背面蹭脏、糊版等现象<sup>[4]</sup>, 因此需要对设计的色靶进行预处理:

$$I_j = \begin{cases} I_j & (\sum I_j \leq I_{\max}) \\ I_j \times \frac{I_{\max}}{\sum I_j} & (\sum I_j > I_{\max}) \end{cases} \quad (j = 1, 2, 3) \quad (1)$$

其中:  $I_j$  为第  $j$  个基色的墨量;  $I_{\max}$  为最大总墨量, 即恰不溢墨时所有基色墨量之和。

第  $j$  个基色的墨量  $I_j = a_j \times ink_{ij}$ , 其中  $a_j$  为网点面积率,  $ink_{ij}$  为基色  $j$  的喷头以  $i$  级控制输出 1% 网点面积率的色块所需墨量, 当  $i$  为 1 时以喷头的最小墨量

所得的  $ink_{ij}$  为一个标准单位。

将处理后的样本数据制作成 *CMYK* 模式的连续调 *TIFF* 图, 包含 *RGB* 3 个专色通道, 并按照图 2 中流

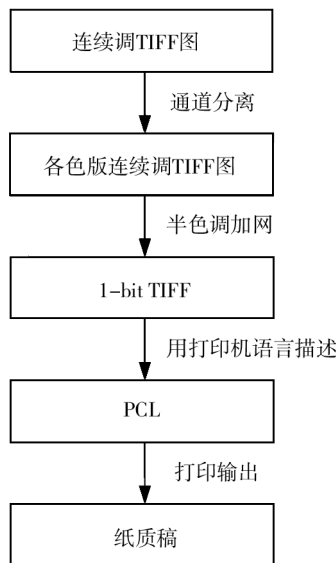


图 2 输出流程示意图  
Fig. 2 Printing flow

程进行输出, 晾干 2 h 后测量样本的 *Lab* 值。在将 1-bit *TIFF* 进行 *PCL* 语言解释<sup>[5]</sup> 的过程中, 将 1-bit *TIFF* 中的 (0, 1) 对应四级控制中的 (0, 1), (0, 2), (0, 3) 级分别进行输出。同一个 1-bit *TIFF* 输出的 3 个样张上喷墨点的位置相同, 喷墨量和喷墨点的大小不同, 同时每张样张上单个基色的喷墨点的喷墨量和大小相同 (*HPZ3200* 各基色的最小喷墨量不同)。

## 4 数据分析

### 4.1 色域分析

由于使用 (0, 3) 级打印叠印色块总墨量较大, 且经过预处理后并集严重, 对色域的影响不大, 因此色靶 1 仅使用 (0, 1) 级和 (0, 2) 级控制输出。将测量得到的数据利用 *ProfileMaker* 制作 *ICC*, 观察其色域<sup>[6-7]</sup>, 以 *CGK* 分区为例, 见图 3。

从图 3 可以看出, 在亮调部分, (0, 1) 级形成的色域略大于 (0, 2) 级形成的色域, 在中暗调部分, (0, 2) 级形成的色域则比 (0, 1) 级形成的色域大不少。

进一步将数据在 *Matlab* 中进行分析, 将  $L$  值从 0 ~ 100 均分为 10 个等级, 由于  $L$  值位于 0 ~ 9 和 90 ~ 100 之间的点数量较少, 因此将这 2 个等级与 10 ~ 19

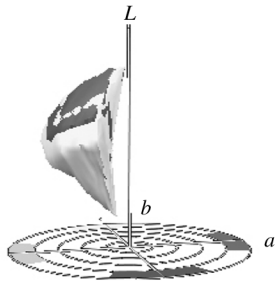


图3 CGK分区色域比较

Fig.3 Gamut comparison of CGK subarea

和 80 ~ 89 合并,共 8 个等级,其对比见图 4。

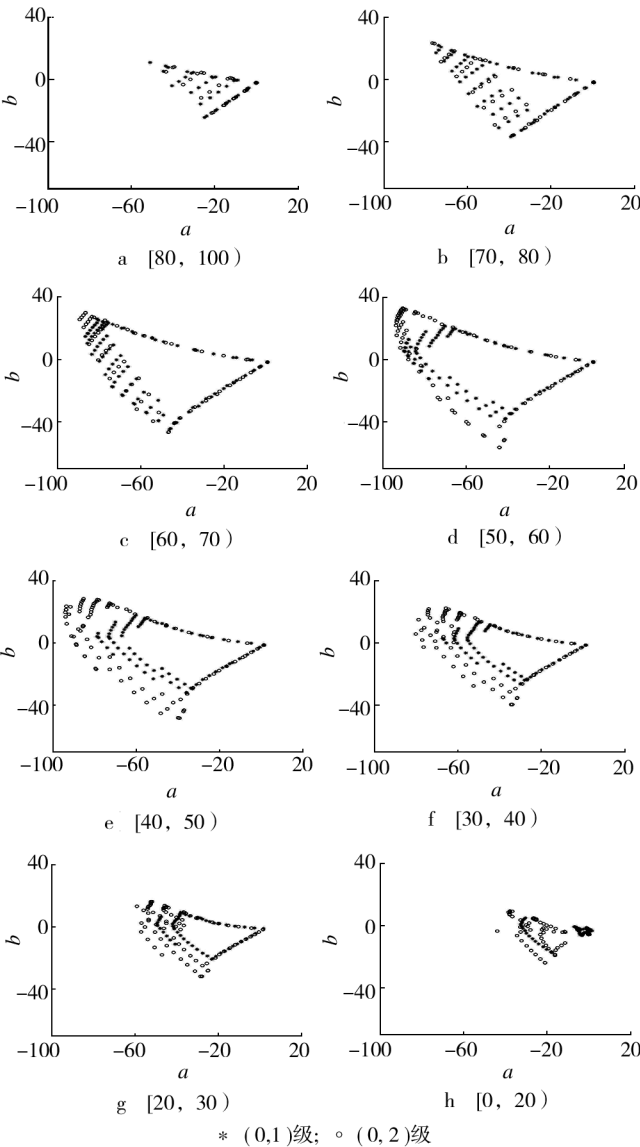


图4 CGK分区色域分级比较

Fig.4 Gamut comparison of CGK subarea in level gradation

图 4 中(0,1)级和(0,2)级形成的色域外围轮廓,也就是当前亮度下的饱和度范围基本一致,部分

区域(0,1)级的饱和度更大;其余的图中,明显看出(0,2)级形成的色域外围轮廓更大,饱和度范围更广。

计算各等级内样本点的个数,并根据  $C = \sqrt{a^2 + b^2}$  计算最大饱和度,结果见表 1。

表 1 不同亮度级别的最大饱和度

Tab.1 Max Chroma of each luminance level

| L 值     | (0,1)级 $C_{\max}$ | (0,2)级 $C_{\max}$ |
|---------|-------------------|-------------------|
| 80 ~ 99 | 52.15             | 43.64             |
| 70 ~ 79 | 77.08             | 80.37             |
| 60 ~ 69 | 87.95             | 93.01             |
| 50 ~ 59 | 90.13             | 96.98             |
| 40 ~ 49 | 78.92             | 96.55             |
| 30 ~ 39 | 67.42             | 80.47             |
| 20 ~ 29 | 49.45             | 60.61             |
| 0 ~ 19  | 32.69             | 44.11             |

从表 1 可知,(0,1)级在 70 以上的亮调区域可以比(0,2)级表现更高或基本一致的饱和度,在中间调和暗调区域(0,2)级表现的饱和度更高。

4.2 层次分析

将测量得到的(0,1),(0,2),(0,3)级色靶 2 的数据,根据 Murray-Davis 公式计算网点面积率,并计算相邻 2 个色块之间的色差。其中青色梯尺的数据见表 2。

表 2 青色梯尺网点面积率和色差

Tab.2 Dot area and color difference of Cyan

| L     | 面积率/%<br>(0,1) | 面积率/%<br>(0,2) | 面积率/%<br>(0,3) | $\Delta E_{76}$<br>(0,1) | $\Delta E_{76}$<br>(0,2) | $\Delta E_{76}$<br>(0,3) |
|-------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0     | 0.00           | 0.00           | 0.00           | 0.00                     | 0.00                     | 0                        |
| 3.33  | 11.89          | 16.36          | 19.44          | 5.38                     | 8.41                     | 11.39                    |
| 6.67  | 21.43          | 29.77          | 34.25          | 4.87                     | 7.63                     | 10.13                    |
| 10    | 29.22          | 41.06          | 44.11          | 4.40                     | 7.04                     | 9.89                     |
| 13.33 | 35.74          | 49.77          | 53.85          | 3.71                     | 5.90                     | 8.01                     |
| 16.67 | 42.37          | 57.80          | 62.01          | 4.06                     | 5.94                     | 8.32                     |
| 20    | 47.38          | 63.89          | 67.14          | 3.11                     | 4.87                     | 6.59                     |
| 23.33 | 52.42          | 69.22          | 74.41          | 3.16                     | 4.55                     | 6.01                     |
| 26.67 | 57.12          | 74.18          | 81.33          | 3.12                     | 4.55                     | 5.89                     |
| 30    | 61.53          | 78.14          | 85.27          | 3.05                     | 3.99                     | 4.73                     |
| 33.33 | 65.11          | 81.45          | 87.85          | 2.61                     | 3.44                     | 3.01                     |
| 36.67 | 68.70          | 84.32          | 89.74          | 2.71                     | 3.22                     | 2.34                     |
| 40    | 71.49          | 86.59          | 91.05          | 2.15                     | 2.61                     | 2.10                     |
| 43.33 | 74.24          | 88.63          | 92.27          | 2.23                     | 2.47                     | 1.78                     |
| 46.67 | 77.03          | 90.54          | 93.06          | 2.33                     | 2.40                     | 1.75                     |
| 50    | 79.71          | 92.30          | 94.79          | 2.36                     | 2.24                     | 1.84                     |
| 53.33 | 81.68          | 93.56          | 95.28          | 1.71                     | 1.74                     | 1.42                     |
| 56.67 | 83.78          | 94.76          | 96.19          | 1.94                     | 1.77                     | 1.33                     |

| $L$   | 面积率/%  | 面积率/%  | 面积率/%  | $\Delta E_{76}$ | $\Delta E_{76}$ | $\Delta E_{76}$ |
|-------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
|       | (0,1)  | (0,2)  | (0,3)  | (0,1)           | (0,2)           | (0,3)           |
| 60    | 85.67  | 95.71  | 96.96  | 1.77            | 1.46            | 1.37            |
| 63.33 | 87.35  | 96.44  | 97.44  | 1.62            | 1.29            | 1.05            |
| 66.67 | 89.12  | 97.16  | 97.88  | 1.83            | 1.33            | 0.98            |
| 70    | 90.40  | 97.54  | 98.25  | 1.23            | 0.68            | 1.03            |
| 73.33 | 91.59  | 98.02  | 98.79  | 1.28            | 1.18            | 1.14            |
| 76.67 | 92.72  | 98.50  | 99.03  | 1.33            | 1.16            | 1.22            |
| 80    | 93.62  | 98.83  | 99.19  | 1.30            | 0.96            | 0.75            |
| 83.33 | 94.64  | 99.12  | 99.34  | 1.18            | 0.96            | 0.89            |
| 86.67 | 95.73  | 99.40  | 99.58  | 1.36            | 1.09            | 0.98            |
| 90    | 96.74  | 99.57  | 99.77  | 1.24            | 0.97            | 1.01            |
| 93.33 | 97.55  | 99.74  | 99.89  | 0.85            | 0.91            | 1.22            |
| 96.67 | 98.84  | 99.92  | 99.97  | 1.38            | 1.01            | 0.75            |
| 100   | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 1.14            | 0.86            | 0.94            |

由表 2 可以看出,尽管实验未进行线性化造成网点扩大很大,但可以看出,随着理论网点面积率增大,在亮调部分,级别越高,相邻 2 个色块之间的实际网点面积率的跃变幅度越大,色差越大;同时,级别越大,网点面积率并集的速度也越快。

将色靶 1 按照划分的亮度等级统计样本的分布状态,结果见表 3。

表 3 不同亮度级别的样本数分布

Tab.3 Sample distribution of each luminance level

| $L$     | (0,1)级样本数 | (0,2)级样本数 |
|---------|-----------|-----------|
| 80 ~ 99 | 45        | 34        |
| 70 ~ 79 | 68        | 49        |
| 60 ~ 69 | 110       | 66        |
| 50 ~ 59 | 100       | 88        |
| 40 ~ 49 | 83        | 96        |
| 30 ~ 39 | 74        | 85        |
| 20 ~ 29 | 61        | 84        |
| 0 ~ 19  | 64        | 103       |

由表 3 可以看出,在  $L$  值为 50 以上的区域,(0,1)级的样本数更多,50 以下的区域,(0,2)级的样本数更多。结合表 2 的数据可以说明,在亮调部分,低级别可以表现出更多的层次,在暗调部分,高级别可以表现更多的层次。

5 结论

级别越高,形成的色域越大;尤其在中暗调区域,

可复制的颜色饱和度更高。在亮调区域,级别越低,可以表现的颜色层次越多;在中暗调区域,级别越高,可以表现的颜色层次越多。结论为喷墨印刷多级控制在分色和加网算法上的研究奠定了基础。

参考文献:

[1] 刘长鑫. 喷墨打印多级调频加网模块的研发[D]. 南京: 南京林业大学,2012.  
LIU Chang-xin. The Research on the Model of Multi-level Frequency Modulated Screening Based on Ink-jet Printing [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2012.

[2] 史瑞芝,曹朝辉. 基于 7 色高保真彩色印刷的颜色分色模型[J]. 测绘科学,2007,32(5):58-60.  
SHI Rui-zhi, CAO Zhao-hui. Separation Model Based on 7 Hi-Fi Color Printing[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(5):58-60.

[3] 朱明,刘真,陈广学. 基于分区组阶堡方程的 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 Serapation Model Based on Subarea Nergebauer Equations[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(7):289-298.

[4] 陈丽娜,刘真. 喷墨打印输出设备墨量控制的研究[J]. 包装工程,2011,32(19):11-17.  
CHEN Li-na, LIU Zhen. Study on Ink Metering Control for Ink-jet Printer[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19):11-17.

[5] 许天亮. 六色打印机彩色特性检测与校正技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2008.  
XU Tian-liang. Research on Detecting Color Characteristics and Color Correction Techonology of Six-ink Printer[D]. Xi'an: Xi'an University, 2008.

[6] 黄灵阁,李辉,吕新广,等. 包装印刷的原真色彩域分析[J]. 包装工程,2004,25(6):80-83.  
HUANG Ling-ge, LI Hui, LYU Xin-guang, et al. Analysis of Hi-Fi Color Gamuts in Package Printing[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(6):80-83.

[7] 司占军. 喷墨打印机颜色显色性的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(6):202-205.  
SI Zhan-jun. Study on the Color Reappearance Ability of Ink-jet Printer[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6):202-205.