

高保真多色分色模型中间色的设置

刘真^{1,2}, 周倩², 朱明²

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 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: 高保真印刷技术通过在 CMYK 的基础上增加其他原色的方法, 达到扩大色域的目的, 增加的原色与 CMYK 之间存在替代关系, 替代关系可以简化复杂的高保真多色分色模型, 并提高其精度。以 CMYKRGB 七色高保真模型中 R 为例, 设计了渐变测控条, 打印输出并测量了各级网点密度, 采用多项式回归算法, 拟合出了间色平衡曲线, 建立了 R 与 MY 的替代方程, 通过设置间色替代率, 获取了 R 与 MY 之间的颜色替代量, 最后设置了 4 组不同的间色替代率, 通过色差确定了合适的间色替代率的取值范围。实验结果表明: 确定的间色替代率在 0.2 左右, 可以提高分色模型的精度。

关键词: 高保真印刷; 间色; 颜色替代

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)15-0018-04

A Mid-color Setting Method for Hi-Fi Color Separation Model

LIU Zhen^{1,2}, ZHOU Qian², ZHU Ming²

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Jiangsu Provincial Key Lab of Pulp and Paper Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: By adding some original colors to CMYK, Hi-Fi printing technology can expand the gamut. The original colors added have substitution relation with CMYK. The substitution relation can simplify the complex Hi-Fi color separation model and improve precision. The R in CMYKRGB 7 colors Hi-Fi model was taken as an example, and gradient-type control trip was designed and printed. The density was measured. The mid-color balance curve was fitted by polynomial regression algorithm to build the alternative equation. The substitution between R and MY was obtained by setting the mid-color replacement rate. 4 groups of different mid-color replacement rate were set and ΔE was measured to determine the proper range of the mid-color replacement rate. The results showed that the accuracy of the separation model is improved by setting the mid-color replacement rate as 0.2.

Key words: Hi-Fi print; mid-color; color replacement

高保真印刷技术由于表现的色域广、色彩饱和度高, 已经成为业界的研究热点。高保真技术的实质是在 CMYK 4 个原色的基础上增加如 RGB 或 OG 等其他原色扩大色域, 提高色彩的饱和度^[1]。由于增加了额外的原色, 增加色与 CMYK 之间存在着间色替代关系。如红色可以由一定网点面积率的品红和黄色叠加得到, 在 CMYKRGB 的七色颜色模型中, 红色(R)品红(M)和黄色(Y)都为参加颜色合成的原色, 3 者之间在高保真分色过程中, 存在相互替代的关系, 若单独使用 R, 会造成图像的一些细微层次丢失, 如

全部使用 CM 的混合色表现 R 色, 一些高饱和度的红色不能被复制, 整体色域也将受到影响^[2-3]。所以需要一种方法确定高保真复制中额外增加的原色与 CMY 之间的替代关系。

1 间色

1.1 高保真多色分区理论

传统的印刷采用黄(Y)、品红(M)、青(C)色和黑(K)共 4 个颜色, CMY 为色料三原色, 印刷过程中通

收稿日期: 2011-05-12

作者简介: 刘真(1953—), 女, 江西人, 上海理工大学教授、博士生导师, 主要研究领域为色彩再现理论与应用(色貌模型与色彩管理)。

过控制这 3 种颜色的量以分别实现控制蓝、绿、红 3 种原色光的量,实现物体色的再现。然而 CMYK 印刷色的色域较小,已经较难满足现代对印品高质量追求,20 世纪 90 年代出现的超四色高保真复制技术,通过在 CMYK 的基础上增加如 RGB 等其他颜色扩大色域。传统四色分色过程在色空间转换时为一对一的映射关系,高保真多色分色时,由于设备色空间为超四色,色空间的转换由三维向多维转换,相对而言比较复杂^[4-5]。为了简化分色模型,在高保真的分色过程中,通常将多色色空间划分成多个子颜色空间,见图 1,每个子颜色空间由高保真多色中相邻的 2

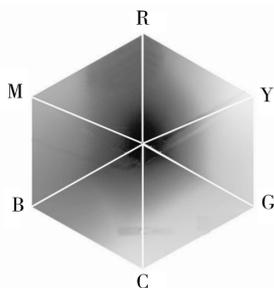


图 1 CMYKRGB 颜色空间
Fig. 1 CMYKRGB color space

个彩色基色与 K 组成。文中采用 CMYKRGB 七色分色模型,该模型可以分为 RKY, YKG, GKC, CKB, BKM, MKR 共 6 个分区,原稿中的任一颜色,根据色相角判断其所在的分区,分区中 K 值决定亮度,两彩色基色决定其色相^[6]。高保真多色分区理论将多维对三维的色空间转换简化为三维对三维的色空间转换,简化了分色模型。

1.2 间色的概念

高保真多色的组成原色及颜色数都没有严格的规定,一般常用的为 CMYKOG 六色或者 CMYKRGB 七色,以典型的高保真七色 CMYKRGB 颜色模型(见图 1)为例,高饱和度的 RGB 3 个颜色起到扩大色域的作用。多色颜色模型中某些低饱和度的 RGB 颜色可以由色料三原色 CMY 再现,如图 1 中一定网点面积率的 C 和 M 可以混合得到中间的 B 色。称高保真多色中除 CMYK 之外处于颜色模型中 CMY 两两之间的颜色为“间色(mid-color)”。CMYKRGB 模型中的 RGB,CMYKOG 模型中的 OG 就为间色。低饱和度的间色可以由一定比例的 CMY 混合得到,而饱和度高的间色又不能完全由 CMY 合

成,若单独使用间色,根据色料间色法原则,整体的色域将变小^[7]。所以需要一种间色和 CMY 之间替代关系的换算方法,将间色进行部分替代,使得高保真复制在保证色域的前提下简化分色模型。

2 间色替代

2.1 间色的生成方法

提出了一种高保真多色分色模型中间色替代量的确立方法^[8-9]。在 4 色 CMYK 颜色模型中,K 版与 CMY 之间存在灰成分替代关系,间色替代率的确定方法参照灰平衡曲线的确定。确定间色替代率的流程见图 2。打印输出设计的测控条,测量测控条中

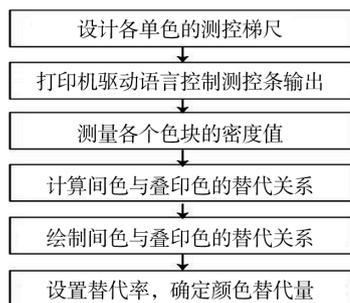


图 2 间色替代流程

Fig. 2 Flow chart of the mid-color replacement

各个色块的密度值,从而建立间色与 CMY 之间的方程并绘制间色替代曲线,确定间色替代方程后设置间色替代率,确定间色替代量。

2.2 间色替代方程数据的获取

以 CMYKRGB 分色模型中 MKR 分区中间色红色为例,建立一套间色设置的方法,获取 R 与 MY 之间的替代关系。为了得到 R 与 MY 的替代关系,设计 R, M, Y 的单色渐变测控条,以 5% 为步进,单位网点面积率从 0~100% 的渐变色块共 20 个,见图 3。

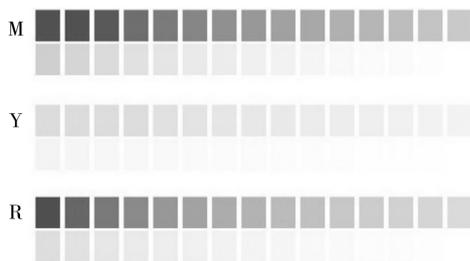


图 3 单色渐变色块

Fig. 3 Gradient color patch

HPZ3200 为 12 色喷墨打印机,包括蓝色、绿色、品红色、红色、黄色、灰色、照片黑色、亚光黑色、浅青色、浅灰色、浅品红色、光亮剂,为典型的高保真多色喷墨输出设备,通过打印机驱动控制语言 PCL3 GUI 控制打印机输出测控条。采用密度计测出在测控条每一梯在 G 滤色片、B 滤色片下的密度,部分结果见表 1。

表 1 各级网点面积率对应的密度值

Tab. 1 The density corresponding to all the dot area levels

网点面积率/%	M 密度值		Y 密度值		R 密度值	
	D_{MG}	D_{MB}	D_{YG}	D_{YB}	D_{eG}	D_{eB}
10	1.68	0.75	0.18	1.10	1.98	2.13
20	1.27	0.59	0.18	0.89	1.64	1.81
30	1.03	0.49	0.16	0.74	1.43	1.61
40	0.83	0.41	0.15	0.62	1.25	1.43
50	0.67	0.35	0.15	0.52	0.96	1.11
60	0.54	0.29	0.13	0.44	0.80	0.92
70	0.41	0.24	0.12	0.36	0.62	0.71
80	0.34	0.23	0.12	0.27	0.46	0.52
90	0.22	0.16	0.12	0.21	0.31	0.35
100	0.14	0.13	0.11	0.15	0.18	0.19

2.3 间色替代方程的确定

一定比例 M 和 Y 叠印可以得到 R,参照灰平衡方程的建立,类似的可以得到如下方程:

$$\begin{cases} \psi_{Ye} D_{YG} + \psi_{Me} D_{MG} = D_{eG} \\ \psi_{Ye} D_{YB} + \psi_{Me} D_{MB} = D_{eB} \end{cases} \quad (1)$$

式中: D_{eG} , D_{eB} 分别为绿、蓝滤色片所测得的 R 色的密度值; ψ_{Ye} , ψ_{Me} 为构成 R 密度时 Y 和 M 的比例系数; D_{YG} , D_{MG} 指 Y 和 M 在绿滤色片下的密度值; D_{YB} , D_{MB} 指 Y 和 M 在蓝滤色片下的密度值。

方程(1)中 ψ_{Ye} , ψ_{Me} 为待求系数,其余各值均为表 1 中已知数,因此可以求出梯尺各级比例系数 $(\psi_{Ye})_i$, $(\psi_{Me})_i$, 并将它们与对应的主密度相乘,从而得到构成各级 R 所需要的 M 和 Y 的密度。

$$\begin{cases} (D_{Ye})_i = (\psi_{Ye})_i (D_{YB})_i \\ (D_{Me})_i = (\psi_{Me})_i (D_{MG})_i \end{cases} \quad (2)$$

式中: $(D_{Ye})_i$, $(D_{Me})_i$ 为构成各级 R 所需要的 M 和 Y 的密度; $(D_{YB})_i$, $(D_{MG})_i$ 为构成各级 R 对应的 M 和 Y 的主密度。

在分色过程中,需要通过网点面积率确定间色的替代量,运用尤尔-尼尔森公式,取修正指数经验值 1.7,计算梯尺各级的网点面积率,部分结果见表 2。

根据表 2,在各级 R 的网点面积率下,相应的 M 和 Y 的网点面积率的曲线见图 4。

表 2 单色油墨密度及对应的网点面积率

Tab. 2 The density corresponding to the dot area levels

R 网点面积率/%	单色油墨密度		网点面积率%	
	M	Y	M	Y
10	0.1882	0.1449	17.18	20.77
20	0.2550	0.2700	24.38	35.71
30	0.3799	0.3941	38.8	48.23
40	0.5477	0.5119	51.51	58.31
50	0.6908	0.6115	62.06	65.67
60	0.9037	0.8220	69.30	78.30
70	1.1622	1.0177	81.39	87.22
80	1.2833	1.0934	87.20	90.08
90	1.5545	1.2275	92.22	94.49
100	1.8919	1.4392	100	100

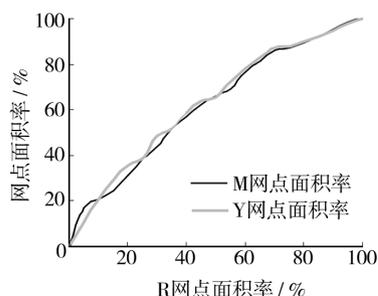


图 4 间色替代曲线

Fig. 4 Mid-color replacement curve

通过绘制的网点面积率曲线,采用多项式回归法确定 R 与 MY 之间关系。以 M, Y 的网点面积率为应变变量, R 的网点面积率为自变量,对网点面积率和密度建立多项式回归关系,一般情况下,二次模型已经足够精确,并且不会引起震荡,建立的多项式方程见式(3)^[3]。对多项式的求解采用一元多项式回归法,确定多项式的系数。

$$\begin{cases} M = a_0 + a_1 R + a_2 R^2 \\ Y = a_3 + a_4 R + a_5 R^2 \end{cases} \quad (3)$$

式中: M, R, Y 分别是品红、红、黄色的网点面积率。采用多项式回归算法解得最终的颜色替代方程(4)为:

$$\begin{cases} M = 0.0636 + 0.0146R - 0.0001R^2 \\ Y = 0.0466 + 0.0161R - 0.0001R^2 \end{cases} \quad (4)$$

2.4 间色替代

使用间色替代方程可以将 MY 替代为一定网点

面积率的 R 或者将 R 替代成一定网点面积率的 MY, 然而直接使用间色替代方程, 式中的 RMY 为最大替代时的等效颜色值。实际应用中, R 与 MY 之间存在的关系为部分替代, 如果 R 全部被 MY 叠色, 必然损失高饱和度的红色, 如果 MY 全部被 R 替代, 容易损失细节的层次感。所以在实际应用中, 根据原稿的需要确定间色替代率 α , 当 R 被 MY 部分替代, 替代率为 α , 被替代的 R 的颜色值为 R' , 运用式(4)得到替代率为 α 时等效的 MY 值 M', Y' 。

$$\begin{cases} R' = R\alpha \\ M' = 0.0636 + 0.0146(R \cdot \alpha) - 0.0001(R \cdot \alpha)^2 \\ Y' = 0.0466 + 0.0161(R \cdot \alpha) - 0.0001(R \cdot \alpha)^2 \end{cases} \quad (5)$$

颜色替代后, MKR 分区中 RMYK 的颜色值为 r, m, y, k , 经过计算后, 结合式(5)得出:

$$\begin{cases} r = R - R\alpha \\ m = M + 0.0636 + 0.0146(R \cdot \alpha) - 0.0001(R \cdot \alpha)^2 \\ y = Y + 0.0466 + 0.0161(R \cdot \alpha) - 0.0001(R \cdot \alpha)^2 \\ k = K \end{cases} \quad (6)$$

3 算法验证

通过色相角判断在 MKR 分区中任意取 80 个颜色, 并记录色块的 Lab 值及 CMYKRGB 的网点百分比, 设定间色替代率分别为 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 采用间色替代方程(6), 计算出这 80 个颜色被替代后的最终颜色值, 控制 HP Z3200 打印机分别打印输出未进行间色替代和间色替代后的色块, 测量二者的 Lab 值, 与原色块的 Lab 值计算色差, 计算结果见表 3。

表 3 色差分布情况

Tab.3 Color difference distribution

替代率	色差						平均 色差
	0~3	3~6	6~10	10~15	15~22	22~	
0(未替代)	21	28	16	10	3	2	4.66
0.2	22	37	12	5	2	2	3.54
0.4	19	33	15	6	4	3	5.07
0.6	15	16	29	8	7	5	8.29
0.8	7	10	18	26	9	10	16.34

结果表明, 当间色替代率为 0.2 时, 进行间色替代后, 平均色差降低; 并且色差在 $[10, \infty]$ 的色块数降低; 当替代率为 0.4 时, 替代前后平均色差变化较小。

实验结果表明, 在颜色替代率较低时, 采用间色替代的方法复制结果更加接近于原稿。间色替代率为 0.2 左右, 对 R 的网点面积率较高即高饱和度的间色影响较小, 间色能保证高保真多色的大色域与高饱和度。

4 结论

利用密度-网点面积率的方法获取了高保真多色间色替代关系, 并通过实验验证了采用间色替代原稿中颜色能够降低色差。间色替代率为 0.2 左右时, 色差较小, 该范围的间色替代率, 对高饱和度的间色影响较小。对高保真多色进行分色时, 进行间色替代, 降低了分色模型的复杂性, 并且在不降低颜色饱和度的情况下, 能够提高分色模型精度。

参考文献:

- [1] WANG Xiao-hua, XIU Xiao-jie, ZHU Wen-hua, et al. Color Control of the Multi-color Printing Device[J]. Journal of Zhejiang University SCIENCE A, 2006, 7(7): 1187-1192.
- [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.
- [3] 曹朝辉. 多色印刷分色模型研究[D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学, 2007.
- [4] ZENG T, BERNS R S. Spectral-based Six-color Separation Minimizing Metamerism[C]. Eighth Color Imaging Conference, 2000: 342-347.
- [5] CHEN Yong-da, BERNS R S. A Multi-Ink Color-Separation Algorithm Maximizing Color Constancy[C]. Eleventh Color Imaging Conference, 2003: 277-282.
- [6] 陈永利, 陈文霞. 灰平衡工艺数据规范的研究与分析[J]. 包装工程, 2004, 25(4): 26-28.
- [7] TAPLIN L A, BERNS R S. Spectral Color Reproduction Based on a Six-color Inkjet Output System[C]. Color Imaging Conference, 2001: 209-213.
- [8] WANG Shen-ge, LOCE R. Uniform-rosette Color Halftoning for N-color Moiré-free Printing[J]. Journal of Electronic Imaging, 2008, 17(2): 55-60.
- [9] 李文育, 周世生. 关于灰平衡数据的计算[J]. 包装工程, 2004, 25(1): 65-67