

# 均匀小色差色块阵列样张的制备方法

冯璐, 高泽莹, 胡梦, 蔡圣燕  
(天津科技大学, 天津 300222)

**摘要:** **目的** 研究均匀小色差色块阵列样张高效精确的制备方法, 以期实现高效精确的制备。**方法** 通过设定样张各列间和各行间的色度差值生成样张, 经过主观色差评价实验后, 依据目标色差值所对应的色度差值来调整相邻列和相邻行之间的色度差值。经过2轮的调整得到3轮样张。最后3轮样张通过接近程度和均匀性2个方面的评价, 择优选用。**结果** 经过该方法调整后, 第2轮和第3轮样张都得到了改善, 而且不相上下。样张色差接近目标的评价结果, 第2轮和第3轮分别为1.75和1.90。样张色差均匀性的评价结果第2轮和第3轮分别为0.73和0.98。**结论** 该方法基于主观色差评价结果, 根据目标色差值所对应的色度差值调整各列和各行间的色度差值来制备样张, 工作量适当, 所得实验样张能满足要求。

**关键词:** 小色差; 匀色色块; 样张; 制备; 主观评价

中图分类号: TS801.3; TS807 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)05-0225-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.05.032

## Method to Prepare Samples with Uniform and Small Colour Differences among Colour Patches

FENG Lu, GAO Ze-ying, HU Meng, CAI Sheng-yan

(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

**ABSTRACT:** The paper aims to study an effective and precise method of preparing samples with uniform and small color differences among color patches to achieve effective and precise preparation. Firstly, samples were created by assigning the  $\Delta a^*$  values between each adjacent columns and  $\Delta b^*$  values between adjacent lines of each sample. Then visual experiment was executed to evaluate color differences between adjacent columns and adjacent lines. According to the  $\Delta a^*$  values between adjacent columns and  $\Delta b^*$  values between adjacent lines of the desired color difference, the  $\Delta a^*$  between adjacent columns and  $\Delta b^*$  values between adjacent lines were adjusted. After two rounds of adjustments, the third round samples for each color center were gotten. At last, the best sample for each color center was selected in terms of two evaluation index. After two rounds of adjustment, the samples of the second and the third rounds were improved and had similar results. Their evaluation results for accuracy were 1.75 and 1.90. The evaluation indexes for uniformity were 0.73 and 0.98. The method adjusts the  $\Delta a^*$  values between each adjacent columns and  $\Delta b^*$  values between adjacent lines of sample in terms of the algorithm based on visual results. The workload is appropriate and the samples are qualified.

**KEY WORDS:** small color difference; uniform color patch; sample; prepare; subjective evaluation

收稿日期: 2018-11-05

基金项目: 天津科技大学大学生实验室创新基金(1706A201)

作者简介: 冯璐(1995—), 女, 天津科技大学硕士生, 主攻颜色科学与技术。

通信作者: 蔡圣燕(1973—), 女, 博士, 天津科技大学副教授, 主要研究方向为颜色科学与技术、印刷图像质量检测。

在颜色科学领域,如色差公式研究、对应色数据集采集实验中<sup>[1-7]</sup>,经常需要用到均匀小色差色块阵列样张。所谓均匀小色差色块阵列样张是指 $n \times m$ ( $n, m$ 通常为奇数)的匀色色块阵列,相邻色块之间具有一定范围且尽可能均匀的色差。色差根据实际需要而定,通常是恰可分辨的色差或小色差范围。

均匀小色差色块阵列样张的色块颜色变化可以按明度和彩度等颜色视觉属性进行递增变化,也可以按CIELAB色空间中的某一个色平面,如 $a^*b^*$ 平面内的颜色变化规律(即从左到右各色块的 $a^*$ 值逐渐增大,从下到上各色块的 $b^*$ 逐渐增大,所有色块的 $L^*$ 值相同)。样张通常采用数码打样系统进行制备<sup>[8-9]</sup>,但制备难度较大,原因如下所述。

1) 样张制备过程中,为了使相邻色块的色差保持在既定范围内,需要反复调整色块的色度值,而调节任何一个色块,都会影响到该色块和周围色块之间的色差。

2) 在CIE LAB色空间内设定色块颜色值时,由于CIE LAB色空间的均匀性不够,使得设定的各色块之间的色差不够均匀,因此还需要依据色差公式计算的色差结果调节各色块的色度值。但目前色差公式和人眼的视觉色差之间也还存在一定偏差<sup>[10-12]</sup>。

3) 由于样张所要求的色差比较小,实际打印误差已经达到或超过色块间的色差,给样张的制备带来了很大的困难,需要反复调节和打印才能得到较理想的效果。

4) 由于样张包含较多数量的色块,色块阵列周边高彩度的颜色容易超出打印色域,无法准确再现。

基于上述原因,均匀小色差色块阵列样张的制备难度较大。目前采用的方法大致有2类。第1类,色块阵列样张文件制作后打印,召集少量观察者对样张行和列之间的色差进行主观评价,判断过大、过小还是恰当,然后实验者依据经验对色块的颜色值进行调节,修改后打印重新进行主观评价,这样反复多次,直至满意<sup>[13-14]</sup>。这种方法主要基于主观评价实验结果,完全根据主观经验调节,效率较低。第2类,打印出一定范围内不同颜色的匀色色块,测量色块的 $L^*a^*b^*$ 值,然后将色块裁剪下来,按样张要求进行色块排序,最后粘贴在纸上<sup>[3,12,15]</sup>。这种方法避免了反复调节颜色的麻烦,降低了难度,但是需要打印出大量相近颜色的色块,从中挑选,导致工作量大且随机性较大。

文中在多次对应色数据集采集实验样张制备的基础上<sup>[13,14,16]</sup>,摸索出一套样张制备的定量的方法,替代之前仅靠主观判断调整色块颜色的方法。实验按照 $a^*b^*$ 平面内颜色变化的规律来改变色块的颜色,即样张上的各个色块从左到右 $a^*$ 递增,从下到上 $b^*$ 值递增,所有色块的 $L^*$ 值一致。实验制备的样张为 $5 \times 5$ 的色块阵列,色块间的色差为恰可分辨的色差范围。

## 1 实验准备

由于样张制备过程需要用到数码打样系统和主观评价实验,所以首先进行打印机的校准和确定合适的主观评价实验条件。

### 1.1 打印机校准

实验采用EPSON 4880c彩色喷墨打印机(八色墨水)、190 g/m<sup>2</sup>卷筒数码打样纸,在EFI Fiery XF 5.2数码打样软件中打印,使用X-Rite Eye-one Pro分光光度计进行颜色测量<sup>[17]</sup>。

首先在EFI Fiery XF软件中完成打印机的基本线性化,然后打印IT8.7/3色标,在ProfileMaker 5.0中创建打印机的ICC Profile文件,再在Fiery中将两者捆绑,创建打印工作流程,并进行了4次优化,最后平均色差是1.92,见图1。

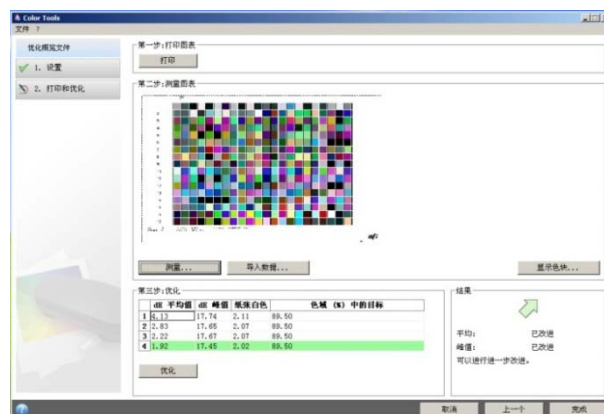


图1 Fiery软件经过优化后的打印精度

Fig.1 Printing precision after optimization in Fiery

### 1.2 打印精度检验

利用上述创建的打印工作流程将实验要用到的5个颜色中心进行打印,以检验打印精度。5个颜色中心分别选自 $a^*b^*$ 平面的4个象限(红、绿、黄、蓝),以及靠近 $a^*b^*$ 原点的颜色——浅粉色。经过打印测量计算,打印色差结果见图2。

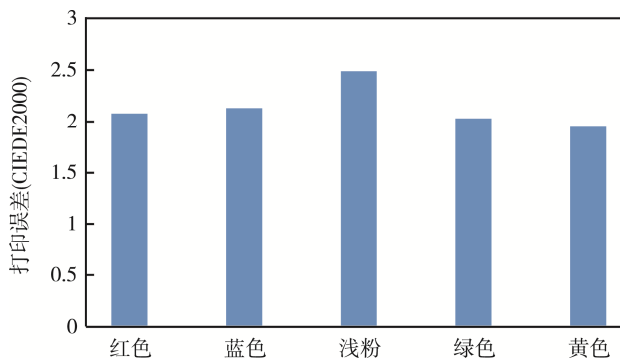


图2 5个颜色中心的打印色差

Fig.2 Color differences of printing for 5 color centers

其中 4 个颜色的色差在 2 个 CIEDE2000 色差单位左右, 浅粉色的色差达到 2.5 个 CIEDE2000 色差单位。对于实验样张的精度要求来说, 此打印误差过大, 给样张的制备带来了很大难度, 但这是目前所能达到的打印精度极限, 只能在此基础上进行样张制备。

### 1.3 观察条件确定

主观评价实验采用千明 LED View ultimate 标准光源灯箱, 照明/观察几何条件为  $45^\circ/0^\circ$ ,  $2^\circ$  视角。样张尺寸为  $32\text{ cm}\times 32\text{ cm}$ , 色块尺寸为  $2.6\text{ cm}\times 2.6\text{ cm}$ , 色块间隔为  $2.6\text{ cm}$ , 样张边缘留白尺寸为色块的 1.5 倍, 即  $3.9\text{ cm}$ 。观察者眼睛和样张的垂直距离约  $75\text{ cm}$ 。在此观察条件下, 样张受照均匀, 没有眩光。

## 2 样张制备过程

在打印精度不够理想的情况下, 制备小色差色块阵列样张需要反复实验。该实验需要制备 3 轮样张, 最后通过评价挑选最优样张。样张制备过程如下所述。

1) 在 Matlab 中编写代码, 分别生成 5 个颜色中心的色块阵列, 经过反复调整后生成样张文件。实验按照  $a^*b^*$  平面内的颜色变化设定阵列色块的颜色值, 即样张同一行的色块具有相同的  $b^*$  值, 同一列的色块具有相同的  $a^*$  值, 因此确定中心颜色后, 通过设定各行与中心行之间的  $\Delta b^*$  值和各列与中心列之间的  $\Delta a^*$  值就可以确定所有色块的  $a^*b^*$  值。首先需要初步设定各行与中心行之间的  $\Delta b^*$  值和各列与中心列之间的  $\Delta a^*$  值, 然后利用 CIEDE2000 色差公式计算各行间和各列间相邻色块之间的色差, 再根据色差结果调整  $\Delta b^*$  值和  $\Delta a^*$  值, 使相邻色块之间的色差都尽可能接近 1.5 个 CIEDE2000 色差 (由于打印误差的存在, 设定为稍大于恰可分辨的色差)。这个过程需要反复多次, 才能达到较满意的结果。最后 Matlab 程序根据  $\Delta b^*$  值和  $\Delta a^*$  值自动生成样张的 TIFF 图像文件, 用于打印。

打印样张文件。将生成的 TIFF 图像文件通过 Fiery 中的打印工作流程打印。

组织观察者对 5 个颜色的样张进行色差主观评价。由于实验是样张制备方法的研究, 仅组织了 5 名观察者, 均为印刷工程专业的学生, 有色彩学课程背景, 无色弱色盲, 平均年龄为 21 岁。主观评价实验过程如下所述。

1) 打开灯箱中的 D65 光源, 预热 5 min。

2) 观察者穿戴白大褂和白手套, 调节座椅高度使眼睛和样张保持垂直, 距离约为  $75\text{ cm}$ , 适应光源 2 min。

3) 观察者判断各行和各列间的色差, 在答案纸上记录。色差评价标准见表 1。实验的主观色差评价基于相邻的行和列进行, 即判断行间的整体色差和列间的整体色差, 而非逐对色块比较, 这样可以大大降

低工作的复杂度和工作量。因为色块色度值的设定基于行和列, 即同一行色块具有相同的  $b^*$  值, 同一列色块具有相同的  $a^*$  值, 那么相邻 2 行对应位置的色块具有相同的  $a^*$  值, 且各对色块之间的  $\Delta b^*$  值都相同, 因此可进行基于行的整体色差判断。

表 1 色差评价标准

Tab.1 Evaluation standard of color difference

色差级别	色差感觉
0	无色差
1	轻微可觉察
2	可觉察
3	较明显差别
4	明显差别

4) 完成一个样张后休息 30 s 再进行下一样张的观察, 直至完成 5 个样张的实验。

根据主观色差评价结果调节色块的  $a^*b^*$  值。首先找出各观察者对各列间色差评价结果为 1 (实验的目标, 人眼恰可分辨的色差) 所对应的列间的  $\Delta a^*$  值, 求出平均值  $\overline{\Delta a}$ , 此平均值意味着相邻列之间要达到人眼恰可分辨的色差所需要的平均  $\Delta a^*$  值。以此值为依据对其他色差评价结果不为 1 的列间的  $\Delta a^*$  值进行调节, 调节算法见式 (1)。

$$\Delta a_2 = \Delta a_1 + \overline{\Delta a_1} \times (1 - \Delta V_1) \quad (1)$$

$\Delta a_1$  为当前样张某相邻列之间的  $\Delta a^*$  值,  $\Delta a_2$  为下一轮样张该相邻列之间的  $\Delta a^*$  值,  $\overline{\Delta a_1}$  为各观察者对当前样张中所有相邻列间色差评价结果为 1 所对应的列之间的平均  $\Delta a^*$  值,  $\Delta V_1$  为各观察者对当前样张该相邻列主观色差评价的平均结果。通过此公式对样张某相邻列之间的  $\Delta a^*$  值进行调节, 使相邻列之间的主观色差评价都尽可能接近人眼恰可分辨的色差。对各相邻行之间的  $\Delta b^*$  值的调整方法类似。最后根据调整后的  $\Delta a^*$  值和  $\Delta b^*$  值生成第 2 轮样张文件。

打印第 2 轮样张文件, 再次进行主观评价实验, 依据评价结果再次调整各列间的  $\Delta a^*$  值和各行间的  $\Delta b^*$  值, 生成第 3 轮样张, 最后进行第 3 轮样张的主观评价实验。

对 3 轮样张进行评价, 择优作为实验样张。

## 3 结果与讨论

### 3.1 样张色块的色度值和主观评价结果

下面以黄色样张为例, 说明 3 轮样张色度值的设定结果和主观色差评价结果。

黄色样张中心色块的  $L^*a^*b^*$  值预设 (78.18, 0.69, 57.22)。3 轮黄色样张各列与中心列之间的  $\Delta a^*$  值见表 2, 各相邻列之间的主观色差评价结果见图 3。

表2 3轮黄色样张各列与中心列之间的  $\Delta a^*$  值  
 Tab.2  $\Delta a^*$  values between each column and the center column of the third round yellow samples

轮次	第1列	第2列	第3列	第4列	第5列
第1轮	-4.90	-2.40	0	2.40	4.90
第2轮	-1.45	0.56	0	0.92	1.45
第3轮	-2.24	-0.03	0	1.51	2.24

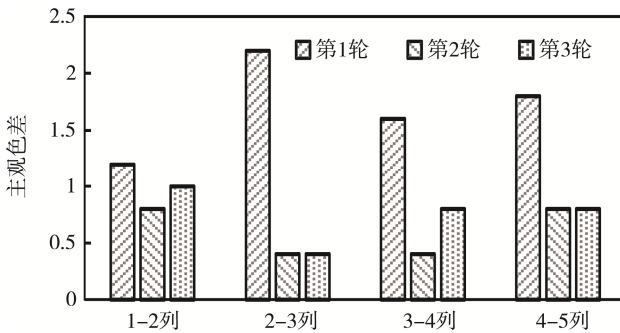


图3 3轮黄色样张各相邻列之间的主观色差评价结果  
 Fig.3 Color difference evaluation results between adjacent columns of the third round yellow samples

从图3可看出,第1轮样张各相邻列间的主观色差评价结果偏大,经过调节后,第2轮样张第1,2列、第4,5列之间的色差都比较接近目标值1,但是第2,3列、第3,4列之间的色差偏小,未及0.5。第3轮样张的色差情况比第2轮又有了一些改善,其中第1,2列、第3,4列之间的色差比较理想,但第2,3列、4,5列之间的色差基本没有变化。

分析第2,3列的原因,第1轮样张其  $\Delta a^*$  值为-2.40,主观色差值为2.2。第1轮样张目标色差值1所对应的列间平均  $\Delta a^*$  值即  $\overline{\Delta a}$  为-2.46,根据式(1)调节后,第2轮样张的  $\Delta a^*$  值为0.56。左边色块的  $a^*$  值应该比中心色块小,应该为负值。出现正值的原因是第1轮样张的主观色差评价结果较大,导致校正力度过大所致。主观色差评价结果偏大,可能是打印的问题,也可能是主观评价的问题。经过再次调节后,第3轮样张中第2,3列之间的  $\Delta a^*$  值降低为-0.03,但主观色差结果基本没有变化。

3轮黄色样张各行与中心行之间的  $\Delta b^*$  值见表3,各相邻行之间的主观色差评价结果见图4。

从表3和图5可看出,通过逐渐降低  $\Delta b^*$  值,第2,3行之间的色差不断接近目标值1;第3,4行、4,

表3 3轮黄色样张各行与中心行之间的  $\Delta b^*$  值  
 Tab.3  $\Delta b^*$  values between each line and the center line of the third round yellow samples

轮次	第1行	第2行	第3行	第4行	第5行
第1轮	12.30	5.90	0	-5.50	-10.60
第2轮	7.75	3.62	0	-6.64	-10.60
第3轮	8.69	2.68	0	-8.53	-16.27

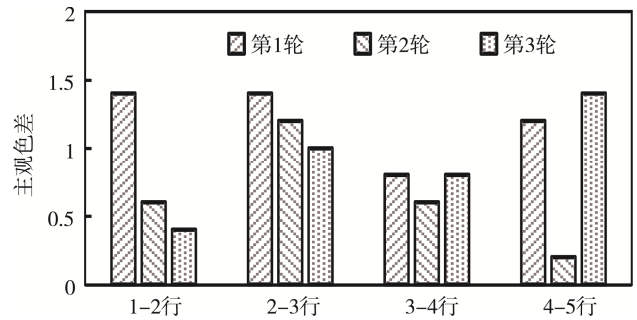


图4 3轮黄色样张各相邻行之间的主观色差评价结果  
 Fig.4 Color difference evaluation results of adjacent lines for the third round yellow samples

5行之间的色差,第2轮降得过低,第3轮得到了提高;第1,2行之间的色差调节不太理想,第1轮偏大,第2轮偏小,第3轮更低。

分析第1,2行的情况,第1轮它们之间的  $\Delta b^*$  值为6.40,色差为1.4,色差目标值1所对应的  $\overline{\Delta b}$  为5.69。根据式(1)将  $\Delta b^*$  值降低到4.12,但是经过第2轮打印、色差评价后,色差降为0.6,而第2轮样张色差目标值1所对应的  $\overline{\Delta b}$  也降为4.72,此时根据式(1)将  $\Delta b^*$  值再次提高到6.01,但打印、评价后得到的色差却更小。究其原因,打印、色差主观评价等因素都可能影响到最后结果。另外校正公式未考虑行或列所在的位置也可能是导致校正失灵的原因。

### 3.2 样张评价方法

通过对3轮黄色样张色差评价结果的分析,可看到经过多轮校正后,样张部分行和列之间的色差不断逼近目标值,但还有部分距目标结果有一定距离。另外各个颜色的样张结果显示,第2轮样张和第3轮样张的效果不相上下。该方法对样张进行优化的思路是追求相邻行和相邻列之间的色差都趋于某个固定值,因此不管第几轮校正,每一轮应该都趋于理想情况,而非迭代效应,即第3轮不一定会比第2轮更理想,因此需要通过优化后的2轮样张进行评价,从中择优选用。对样张的评价包括2个方面:样张整体接近目标色差的程度以及整体色差的均匀性。

#### 3.2.1 样张色差接近目标的程度

为评价样张色差与目标主观色差值1的接近程度,用各相邻列和相邻行之间的主观色差评价结果与目标值1差值的平方和  $I_1$  值来表示,即式(2)。该值越小,说明样张整体色差越接近目标色差,理想值为0。各颜色3轮样张的  $I_1$  值见图5。

$$I_1 = \sum (\Delta V_{ij} - 1)^2 \tag{2}$$

$\Delta V_{ij}$  为某颜色样张各相邻列和相邻行之间的主观色差评价结果,共8组数据。

从图5可看出,5个颜色第2轮和第3轮样张的整体色差都比第1轮显著降低,第2轮和第3轮效果

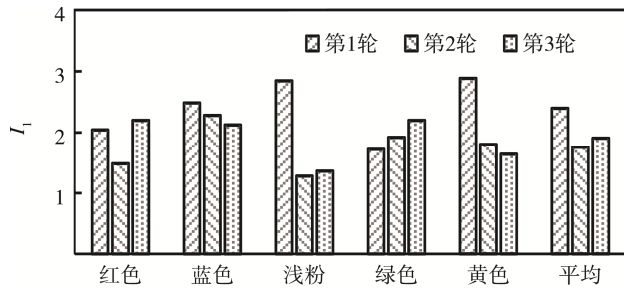


图5 各颜色样张色差接近目标的程度

Fig.6 Degree of color difference of each color sample approaching the desired result

不相上下, 其中第2轮5色样张  $I_1$  的平均值为 1.75, 第3轮为 1.90。5色样张中, 蓝色和黄色的第3轮样张比第2轮样张更好, 红色和绿色的第2轮比第3轮更好, 浅粉则相差不大。

### 3.2.2 样张色差均匀性的评价

为评价样张整体色差的均匀性, 将各相邻列和相邻行之间的主观色差和该样张所有相邻列和相邻行之间的平均色差求差值, 然后求平方和, 见式(3)。该值越小, 表示样张各列和各行间的色差均匀性越好, 理想值为0。各颜色3轮样张的结果见图6。

$$I_2 = \sum (\Delta V_{ij} - \overline{\Delta V})^2 \quad (3)$$

$\Delta V_{ij}$  为某颜色样张各相邻列和相邻行之间的主观色差评价结果, 共8组数据;  $\overline{\Delta V}$  为该样张所有相邻列和相邻行之间主观色差评价结果的平均值。

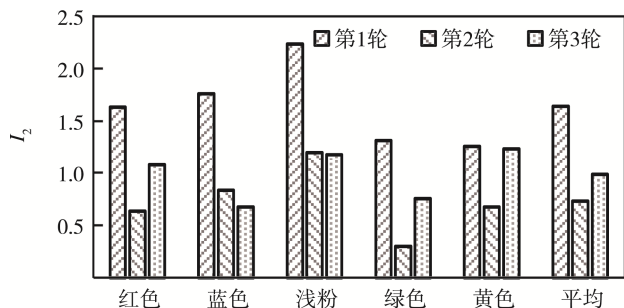


图6 各颜色样张色差的均匀性评价

Fig.6 Uniformity of color differences of 5 color samples

从图6可看到, 各颜色样张后2轮的均匀性都比第1轮有了显著提高。第2轮5色样张  $I_2$  的平均值为 0.73, 第3轮为 0.98。5色样张中, 蓝色样张的第3轮更好, 红色、绿色和黄色第2轮更好, 浅粉则相当。

### 3.2.3 实验样张的选取

根据上述2个评价指标, 选择最优的样张作为实验样张。蓝色选择第3轮作为最终实验样张; 浅粉的第2轮和第3轮样张基本没有差别, 都任意选; 红色、绿色和黄色选择第2轮样张作为实验样张。

## 4 结语

均匀小色差色块阵列样张是颜色科学研究中常

用的一种样张, 要求色块间的色差较小且均匀, 制备难度较大。该方法通过设定样张各列和各行间的色度差值来生成样张色块, 进行主观色差评价实验, 依据目标色差评价结果所对应的色度差值来调整相邻列和相邻行之间的色度差值。经过2轮的调整得到3轮样张, 最后3轮样张通过接近程度和均匀性2个方面的评价, 择优选用。

该方法通过设定和调节各列间和各行间的色度差值来生成样张, 工作量适当, 所得实验样张精度能满足实验要求。由于打印误差、主观评价误差等因素的存在, 样张的色差不可能达到完全均匀一致的效果。后续研究中需要增加色块数量以验证制备方法的可靠性(如增加不同色相、不同明度的色块), 考虑其他影响因素(如行和列的位置)对校正公式进一步优化。

### 参考文献:

- [1] LUO M R, RIGG B. Chromaticity-Discrimination Ellipses for Surface Colours[J]. Color Research & Application, 2010, 11(1): 25—42.
- [2] 郑元林, 杨淑蕙, 周世生, 等. CIE 1976LAB 色差公式的均匀性研究[J]. 包装工程, 2005, 26(2): 52—53. ZHENG Yuan-lin, YANG Shu-hui, ZHOU Shi-sheng. Research on Uniformity of CIE 1976 LAB Color Difference Formula[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 52—53.
- [3] 黄敏, 刘浩学, 廖宁放. 印刷样品恰可察觉小色差辨色阈值的研究 I: 目视评价实验数据分析[J]. 光学学报, 2009, 29(5): 1431—1436. HUANG Min, LIU Hao-xue, LIAO Ning-fang. Study on Just-Noticeable Color Difference Discrimination Threshold by Using Printed Samples I: Analysis of Visual Evaluation Experimental Data[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(5): 1431—1436.
- [4] 赵秀萍, Phil Green. 彩色印刷复制中色差公式加权系数的计算和可接受阈值的评价[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(9): 814—817. ZHAO Xiu-ping, GREEN P. Evaluating Acceptability Threshold and Weighting for Color Difference on Gloss Paper Reproduction[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(9): 814—817.
- [5] 郭娟娟, 赵秀萍. 基于不同饱和度颜色的3种色差公式对比研究[J]. 包装工程, 2010(19): 87—90. GUO Juan-juan, ZHAO Xiu-ping. Comparative Study of 3 Color Difference Formulae Based on Different Saturation Colors[J]. Packaging Engineering, 2010(19): 87—90.
- [6] 李文育, 张二虎, 刘宏昭. 数码打样机小色差样张色差评价研究[J]. 机械科学与技术, 2013, 32(6): 153—156.

- LI Wen-yu, ZHANG Er-hu, LIU Hong-zhao. Research on Small Color-difference Evaluation of Digital Proofing Machine[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2013, 32(6): 153—156.
- [7] 黄敏, 刘浩学, 廖宁放. 基于匀色色块的色差主、客观评价[J]. 包装工程, 2007, 28(2): 69—71.  
HUANG Min, LIU Hao-xue, LIAO Ning-fang. Subjective and Objective Evaluation of Color Difference Based on Uniform Color Patches[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(2): 69—71.
- [8] 梁静, 张立辉. 数码打样色彩管理系统的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(2): 115—116.  
LIANG Jing, ZHANG Li-hui. Research of Digital Proof Color Management System[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 115—116.
- [9] 刘容, 王强, 戴俊平. 数码打样色彩质量评价方法的研究[J]. 包装工程, 2014(1): 120—123.  
LIU Rong, WANG Qiang, DAI Jun-ping. Research of the Digital Proofing Color Quality Evaluation Method[J]. Packaging Engineering, 2014(1): 120—123.
- [10] ROBERTSON A R. The CIE 1976 Color-difference Formulae[J]. Color Research & Application, 1977, 2(1): 7—11.
- [11] LUO M R, CUI G, RIGG B. The Development of the CIE 2000 Colour-difference Formula: CIEDE2000[J]. Color Research & Application, 2001, 26(5): 340—350.
- [12] HUANG M, CUI G, MELGOSA M, et al. Power Functions Improving the Performance of Color-difference Formulas[J]. Optics Express, 2015, 23(1): 597.
- [13] CAI S, CHEN Q, WANG H. A New Method to Evaluate a Corresponding Colors Dataset Based on Its Two Derived Transforms[J]. Color Research & Application, 2016, 42(2): 150—155.
- [14] CAI S, FAIRCHILD M D. Bidirectional Individual Corresponding Colors Data[J]. Color Research & Application, 2018, 43(5): 1—12.
- [15] 黄敏, 王丽丽, 刘浩学. 不同光泽印刷样品的微小色差评价研究[J]. 光学学报, 2010, 30(6): 1851—1856.  
HUANG Min, WANG Li-li, LIU Hao-xue. Research on Small Color Difference of Printings with Different Gloss[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(6): 1851—1856.
- [16] CAI S, FAIRCHILD M D. Individual Corresponding Colors Data and Chromatic Adaptation Transforms [C]// Color and Imaging Conference, 2016.
- [17] 洪亮, 段珊珊. 基于 Fiery XF 的打印机色彩管理[J]. 广东印刷, 2018(3): 35—43.  
HONG Liang, DUAN Shan-shan. Printer Color Management Based on Fiery XF[J]. Guangdong Printing, 2018(3): 35—43.