

## 纸张荧光增白剂对色彩复制的影响研究

付文亭<sup>1</sup>, 邓体俊<sup>1</sup>, 孙春鹏<sup>2</sup>, 彭乙轩<sup>2</sup>

(1. 中山火炬职业技术学院 包装学院, 广东 中山 528436; 2. 广东启博智能科技有限公司, 广州 510000)

**摘要:** **目的** 探究纸张荧光增白剂含量(OBA)对色彩复制的影响, 有利于准确测量颜色并实现色彩在不同设备间正确转换, 准确复制颜色。**方法** 选择含较多荧光增白剂、含少量荧光增白剂、不含荧光增白剂3种类型的纸张, 分别基于M1/M2的观察条件, 测量纸白、CMYK线性色表以及IT8.7/4色表, 分析M1/M2观察条件下 $\Delta b^*$ 、 $\Delta E^*$ 值以及ICC曲线变化趋势。**结果** 在M1和M2观察条件下测量纸张基色 $b^*$ 值的差值绝对值可以确定基材中的OBA的含量, 且OBA含量对颜色测量数据的影响与阶调值相关, 基本呈负线性关系; 在M1观察条件下测量数据生成ICC色彩特性文件, 整体线性偏移蓝色, 即 $b^*$ 值往负值线性偏移。**结论** 基于M1观察条件的色彩管理流程, 需进一步研究荧光增白剂含量对 $b^*$ 值进行线性补偿校正的影响, 从而减少纸张荧光增白剂对色彩管理的影响, 使纸张上的颜色复制达到理想状态。

**关键词:** M观察条件; 荧光增白剂; 色彩管理; 纸张; 色彩复制

中图分类号: TS801.3; TS802.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2022)21-0187-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.21.024

## Effect of Optical Brightening Agent on Color Reproduction

FU Wen-ting<sup>1</sup>, DENG Ti-jun<sup>1</sup>, SUN Chun-peng<sup>2</sup>, PENG Yi-xuan<sup>2</sup>

(1. School of Packaging, Zhongshan Torch Polytechnic, Guangdong Zhongshan 528436, China;  
2. Guangdong Qibo Intelligent Technology Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

**ABSTRACT:** The work aims to explore the effect of optical brightening agent (OBA) content on color reproduction so as to help precise color measurement, realize correct color conversion between different devices, and accurately reproduce color. Three types of paper with more OBA, little OBA and without OBA were selected. Paper whiteness, linear color code and IT8.7/4 color code were measured respectively based on M1/M2 observation conditions. Then, the change trend of  $\Delta b^*$ ,  $\Delta E^*$  and ICC curve under M1/M2 observation conditions was analyzed. The OBA content in the substrate could be determined by measuring the absolute value of the difference of  $b^*$  value under M1 and M2 observation conditions. The effect of OBA content on color measurement data was related to step value, which was in negative linear relation. The data were measured under M1 observation conditions to generate ICC color characteristic file. The overall linear offset was blue, indicating that the value of  $b^*$  was linearly offset to the negative value. The color management process based on M1 observation conditions needs further research on the linear compensation and correction of  $b^*$  value for the content of OBA, so as to reduce the effect of OBA on color management and make the color reproduction on paper reach an ideal state.

**KEY WORDS:** M measurement conditions; optical brightening agent; color management; paper; color reproduction

收稿日期: 2022-02-09

基金项目: 广东省普通高校重点领域专项; 中山市社会公益科技研究项目(2019B2081)

作者简介: 付文亭(1984—), 女, 硕士, 副教授/高级工程师, 主要研究方向为色彩管理技术。

纸张是常见的印刷承印物材料,为了使纸张产生理想的复制效果,大部分纸张都添加了荧光增白剂(Optical Brightening Agents, OBA)。荧光增白剂可吸收波长低于400 nm的不可见紫外光辐射,并通过电物理变化,释放波长约为400~450 nm的蓝色可见光。这种光从含增白剂的纸张中释放之后,在含有大量紫外光的照明光源照射下,产生一种比白色更白的色泽,增加纸张亮度与白度,增强油墨的色彩特性<sup>[1-2]</sup>。

从色彩管理的原理可知,进行颜色匹配时需要通过各种软硬件工具测量色样色彩数据,并生成设备的ICC色彩特性文件,记录设备的色域特征。目前印刷颜色复制系统中所使用的测量仪器与标准灯箱虽然都尽可能地统一并模拟标准光源,但如果印刷用纸张含有荧光增白剂,荧光增白剂的光学特性对基于标准照明光源的颜色测量也会产生影响,从而影响色彩管理的准确性<sup>[3-4]</sup>。综上,探究荧光增白剂含量对印刷色彩测量的影响,有利于准确测量颜色,并实现色彩在不同设备间正确转换,准确复制颜色。

## 1 理论分析

在2013年之前,所有色彩管理和色彩目标都在没有考虑荧光增白剂(OBA)的情况下制定,以前的标准和数据如ISO 12647—2和GRACoL2006,也是建立在不含荧光增白剂的承印物基础上,因此,由于荧光增白剂的光学特性,这些印刷标准只适用于不含荧光增白剂的印刷或打样承印物。当印刷或打样承印物中含有荧光增白剂时,基于这些印刷标准数据制作ICC特性文件进行色彩转换时,视觉上颜色就会明显地不匹配。

为了解决荧光增白剂的光学特性对色彩管理的影响,ISO 13655标准中规定了M1和M2这2种观察条件,用以解决因荧光增白剂的光学特性导致仪器之间测量结果的变化,规范仪器之间的色度数据交换。其中,M1定义了测定样本照明光源的光谱功率分布应与CIE照明光源D50光谱功率分布匹配(见图1),若测量荧光增白纸,定义仅需在调整部件数量(光谱区低于400 nm)时使用补偿性方法,纠正纸张中荧光增白剂荧光的影响;M2定义为通过过滤器过滤400 nm以下紫外光,使测定样本照明光源的光谱功率分布仅包含波长范围在400 nm以上的辐射功率,以排除因荧光增白剂的荧光导致仪器之间测量结果的变化。

在2013年新发布的国际标准GRACOL2013、SWOP2013、更新版ISO 12647—2:2013及G7数据库系列(CGATS21)中,数据均使用M1观察条件测量<sup>[5-7]</sup>。

研究荧光增白剂对色彩测量的影响,对以色彩管理为核心的色彩复制具有重要的研究意义,国内

外学者对此也开展了相关研究。李易蔚等<sup>[8]</sup>经过对比M1/M2条件下输出出色块色差,分析荧光增白剂对不同阶调和墨层厚度的色块的输出影响,发现使用UV-cut滤镜对荧光增白剂进行校正后纸张上输出色块的色差减小,有利于准确地纸张上进行颜色再现,该研究结果与理论分析是一致的;田全慧等<sup>[9-10]</sup>找出彩色复制图像受荧光增白剂影响最大的区域与特征,且证实通过色度转换方法校正与补偿荧光增白剂对色彩特性数据的影响,有助于印刷色彩的正确匹配,该研究结果对基于M1为观察条件的色彩管理工作流程实施研究有较大价值;Chaikovsky等<sup>[11]</sup>通过实验探究发现荧光增白剂纸张对色彩管理中黑色和黄色的影响较大。Hersch等<sup>[12]</sup>通过使用新的颜色预测模型来探究荧光增白剂对颜色预测的影响。

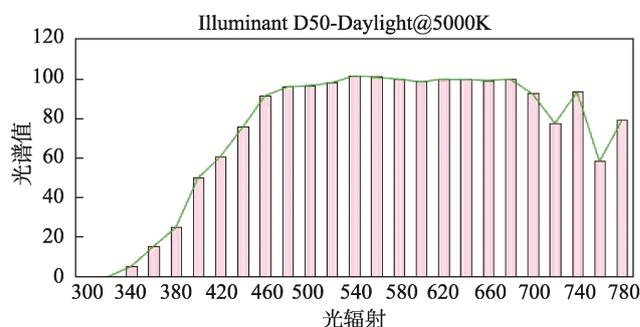


图1 光源D50光谱功率分布  
Fig.1 Illuminant D50 spectral power distribution

文中选择荧光增白剂含量不同(含较多荧光增白剂、含少量荧光增白剂、不含荧光增白剂)的3种类型纸张,分别基于M1/M2观察条件,测量纸白、CMYK线性色表以及IT8.7/4色表,分析M1/M2观察条件 $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 、 $\Delta E^*$ 值以及ICC曲线变化趋势,以探究荧光增白剂含量对色彩复制的影响。

## 2 荧光增白剂含量对彩色印刷复制效果影响分析

### 2.1 实验条件

测量对象:定量为160 g/m<sup>2</sup>的神马印材双胶纸(含较多荧光增白剂);定量为157 g/m<sup>2</sup>的百乐数码铜版纸(含少量荧光增白剂);定量为120 g/m<sup>2</sup>的神马印材米白纸(不含荧光增白剂)。

测量设备:FUJI Xerox Iridesse Production Press 数码印刷机;爱色丽i1分光光度计(带UV-Cut镜头);爱色丽Exact分光光度计(带UV-Cut镜头)。

相关软件:CHROMIX ColorThink3.03; ColorMeasurementUtility(FUJI Xerox Iridesse Production Press 数码印刷系统);Microsoft Excel。

## 2.2 荧光增白剂含量对纸白测量的影响分析

### 2.2.1 实验方法

为了研究荧光增白剂对色彩印刷复制效果的影响,文中首先选择 3 种含不同荧光增白剂成分的纸张(见表 1),使用爱色丽 Exact 分光光度计,分别基于 M1/D50/2°、M2/D50/2° 2 种观察条件下,测量含较多荧光增白剂(A 纸)、含少量荧光增白剂(B 纸)、不含荧光增白剂(C 纸)3 种类型的纸张的色度值,并计算 M1 和 M2 观察条件下  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$  和  $\Delta E^*$  的值,具体见表 2,探究荧光增白剂含量对纸白测量的影响,有助于分析荧光增白剂对颜色测量的影响。

### 2.2.2 实验结果

从表 1 数据可以看出,在 M1 和 M2 观察条件下,荧光增白剂含量对纸白测量数据影响很大,且荧光增白剂含量越大,其差异值越大,其中,  $b^*$  值影响最大,  $L^*$  值影响最小;纸张色度值中的  $b^*$  值正负特性与纸张荧光增白剂的含量相关,含荧光增白剂的纸张基色  $b^*$  值为负值,且荧光增白剂含量越大,其负值绝对值越大;纸白测量的  $\Delta b^*$  值是由 M1 和 M2 数值之间的  $b^*$  值差异计算得出的,荧光增白剂含量越大,  $\Delta b^*$  的绝对值越大。

### 2.2.3 结果分析

由于 M1 定义的照明光源的光谱功率分布与 CIE 照明光源 D50 光谱功率分布匹配,包含 310~400 nm 的光谱成分。在 M1 观察条件下测量的纸白光谱反射,包含因荧光增白剂发出的蓝光,因此,含荧光增白剂的纸张基色偏蓝色,测得的  $b^*$  值为负值,且荧光增白剂含量越大,其负值绝对值越大;而由于 M2 定义的照明光源的光谱功率分布过滤了 400 nm 以下的光谱成分,因为在 M2 观察条件下测量的纸白光谱反射减少了 400 nm 以下的光谱成分引发的蓝光,所以在 M2 观察条件下测量的  $b^*$  值绝对值远小于 M1 观察条件下测量的  $b^*$  值绝对值;然而,针对不含荧光增白剂的纸张,在 M1/M2 观察条件下测量纸白光谱反射不含蓝光,因此,其  $b^*$  值为正值。综上所述,可以使用纸张基色的  $b^*$  值大小与正负情况估计纸张 OBA 的含量。

$\Delta b^*$  值是由 M1 和 M2 数值之间的  $b^*$  值差异计算

得出的,该值直接反映了 D50 标准光源中 UV 成分(400 nm 以下波长的光)引发的  $b^*$  值差异,因此,其绝对值可以确定基材中的 OBA 的含量。爱色丽 Exact 分光光度计“增白剂指数”选项,其值定义为  $\Delta b^*$  值的绝对值,即  $|\Delta b^*|$ ,ISO 15397 中以此为依据来确定基材中的 OBA 含量,有助于分析纸张荧光增白剂含量对颜色测量的影响。

## 2.3 荧光增白剂含量对线性色表测量的影响分析

### 2.3.1 实验方法

为了研究荧光增白剂对印刷颜色复制的影响,文中在相同印刷状态下使用 3 种含不同荧光增白剂成分的纸张(具体见表 1)输出 C、M、Y、K 线性色表;使用爱色丽 i1 分光光度计,分别基于 M1/D50/2°、M2/D50/2° 这 2 种观察条件,测量含较多荧光增白剂(A 纸)、含少量荧光增白剂(B 纸)、不含荧光增白剂(C 纸)3 种类型的纸张上的线性色表,计算在 M1 和在 M2 观察条件下  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$  和  $\Delta E^*$  的值,绘制色差值与网点百分比的变化趋势图(见图 2),并进行数据趋势拟合(见表 2),探究荧光增白剂含量对线性色表测量的影响,有助于分析荧光增白剂对彩色印刷复制的影响。

### 2.3.2 实验结果

从图 3 可以看出,在 M1 和 M2 观察条件下,纸张荧光增白剂含量对 C、M、Y、K 线性色表颜色测量值影响很大,且荧光增白剂含量越大,同一色块测量值差异越大,其中,  $\Delta b^*$  最大,  $\Delta L^*$  最小;对不含荧光增白剂的纸张,分别在 M1 和 M2 观察条件下测量 C、M、Y、K 线性色表的  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$  和  $\Delta E^*$  的值基本为 0;对含有不同荧光增白剂成分的 A、B 2 类纸张,测量 C、M、Y、K 线性色表的  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$  和  $\Delta E^*$  值的数据曲线趋势基本保持一致,且随着网点百分比的增大而减少,说明荧光增白剂含量对颜色测量数据的影响与色相关系较小,但是与阶调值关系较大,基本呈负线性关系;其中,  $\Delta b^*$  和  $\Delta E^*$  值的数据曲线基本重合,再次说明  $b^*$  值差异是引起 M1/M2 观察条件下产生  $\Delta E^*$  值的主要原因。

表 1 M1/M2 观察条件下纸张色度值  
Tab.1 Color value of paper under M1/M2 measurement conditions

| 色度值        | 160 g/m <sup>2</sup> 双胶纸 A (多荧光) |       |      | 157 g/m <sup>2</sup> 铜版纸 B (少荧光) |       |      | 120 g/m <sup>2</sup> 双胶米白纸 C (无荧光) |       |      |
|------------|----------------------------------|-------|------|----------------------------------|-------|------|------------------------------------|-------|------|
|            | M1                               | M2    | 差值   | M1                               | M2    | 差值   | M1                                 | M2    | 差值   |
| $L^*$      | 92.4                             | 91.98 | 0.42 | 92.12                            | 92.18 | 0.06 | 94.78                              | 94.75 | 0.03 |
| $a^*$      | 2.92                             | 0.3   | 2.62 | 0.67                             | -0.34 | 1.01 | -0.87                              | -0.9  | 0.03 |
| $b^*$      | -14.15                           | -4.81 | 9.34 | -3.9                             | -0.51 | 3.39 | 3.06                               | 3.08  | 0.02 |
| $\Delta E$ | —                                | —     | 9.71 | —                                | —     | 3.54 | —                                  | —     | 0.05 |

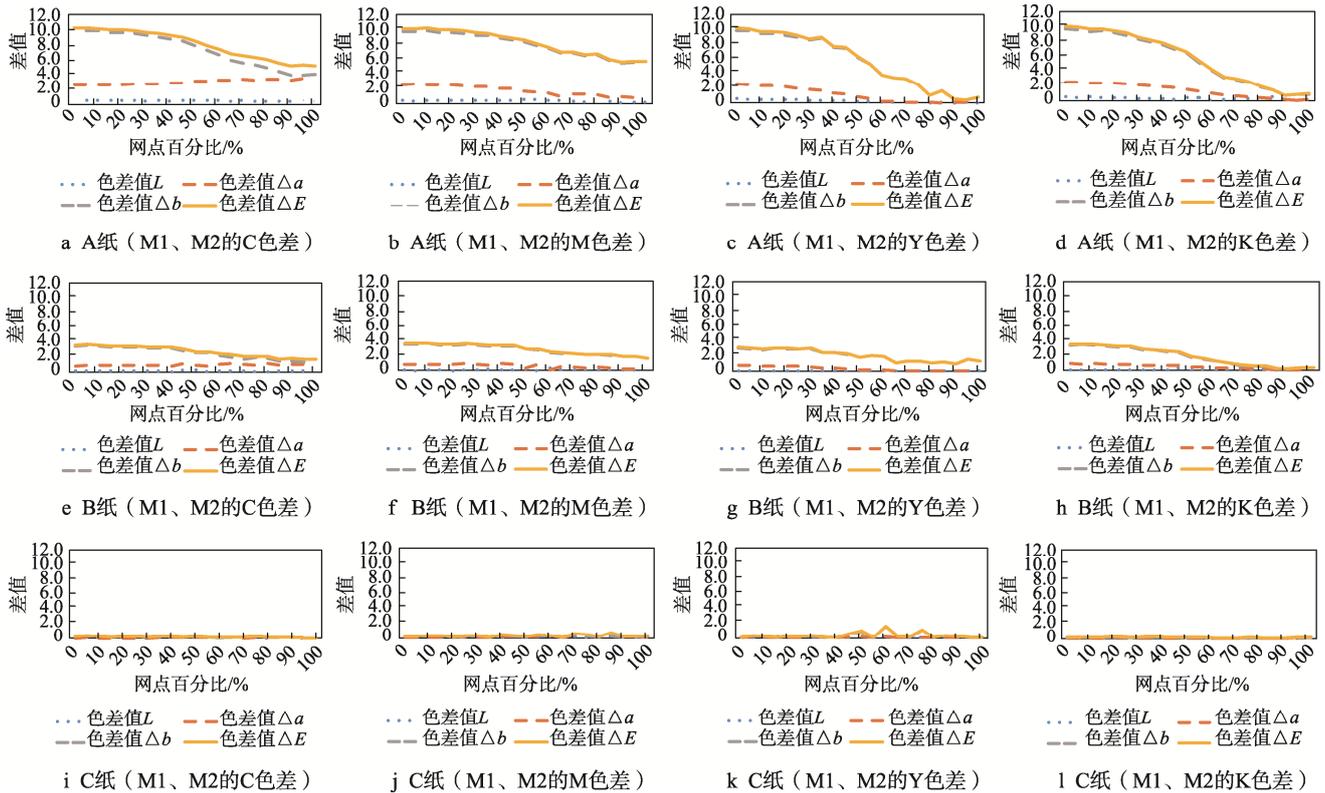


图2 M1/M2下观察条件下线性色表 $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 和 $\Delta E^*$ 色差值曲线(A/B/C纸)  
Fig.2  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$  and  $\Delta E^*$  value of linear color chart under M1/M2 condition (A/B/C paper)

表2  $\Delta b^*$ 和 $\Delta E^*$ 值数据趋势拟合  
Tab.2 Trend fitting of data  $\Delta b^*$  and  $\Delta E^*$

| 纸张类型         | 差值           | 色相  |   |   |   |
|--------------|--------------|---|---|---|---|
|              |              | C   | M   | Y   | K   |
| 含较多荧光增白剂(A纸) | $\Delta E^*$ | $y = -0.3171x + 11.813$<br>$R^2 = 0.9546$ | $y = -0.2762x + 11.518$<br>$R^2 = 0.9583$ | $y = -0.5918x + 12.386$<br>$R^2 = 0.955$  | $y = -0.5728x + 12.226$<br>$R^2 = 0.962$  |
|              | $\Delta b^*$ | $y = -0.3697x + 11.674$<br>$R^2 = 0.9523$ | $y = -0.2578x + 11.095$<br>$R^2 = 0.9569$ | $y = -0.5717x + 12.043$<br>$R^2 = 0.9514$ | $y = -0.5548x + 11.83$<br>$R^2 = 0.9616$  |
| 含较少荧光增白剂(B纸) | $\Delta E^*$ | $y = -0.1172x + 4.1101$<br>$R^2 = 0.943$  | $y = -0.1134x + 4.1732$<br>$R^2 = 0.9364$ | $y = -0.1412x + 3.706$<br>$R^2 = 0.9399$  | $y = -0.204x + 4.1973$<br>$R^2 = 0.9554$  |
|              | $\Delta b^*$ | $y = -0.1312x + 4.0619$<br>$R^2 = 0.9407$ | $y = -0.1083x + 4.0437$<br>$R^2 = 0.9385$ | $y = -0.1351x + 3.6032$<br>$R^2 = 0.9348$ | $y = -0.1983x + 4.0682$<br>$R^2 = 0.9549$ |

表2是针对含有不同荧光增白剂成分的A、B 2类纸张,分别计算 $\Delta b^*$ 、 $\Delta E^*$ 值与网点百分比数据趋势拟合公式。表2中的趋势拟合公式全部呈负线性函数,且 $R^2 > 0.9$ ;对比C、M、Y、K拟合公式,Y、K自变量系数绝对值大于C、M自变量系数,且荧光增白剂含量越大,其差值越大,可以判断荧光增白剂含量对黄色和黑色的影响较大,这一研究结果与Chaikovsky等<sup>[11]</sup>的实验结论一致。

### 2.3.3 结果分析

综上所述,含荧光增白剂的印品色彩在M1观察条件下,其测量值受荧光增白剂的影响较大,因此,

在进行颜色匹配,色度数据交换过程中,为了避免纸张OBA含量的不同而带来的颜色偏差,需要通过测量纸张的基色色度值来确定统一纸张的OBA含量或根据OBA含量进行相应的数据补偿。

## 2.4 荧光增白剂含量对色彩管理的影响分析

### 2.4.1 实验方法

为了研究荧光增白剂对印刷颜色复制的影响,文中在相同印刷状态下使用3种含不同荧光增白剂成分的纸张(具体见表1)输出IT8.7/4色表;使用爱色丽i1分光光度计,分别基于M1/D50/2°、M2/D50/2°

2 种观察条件, 测量含较多荧光增白剂 (A 纸)、含少量荧光增白剂 (B 纸)、不含荧光增白剂 (C 纸) 3 种类型的纸张上的 IT8.7/4 色表, 并制作 ICC 特性文件; 利用 CHROMIX ColorThink3.03 对 3 种类型纸张的 ICC 特性文件进行分析。

### 2.4.2 实验结果

从图 3 可以看出, 在 M1 和 M2 观察条件下, 相同印刷状态下制作的同一纸张 ICC 色彩特性文件的色域表现是有区别的, 其中, 针对 A 纸制作的 ICC 色彩特性文件区别最明显, 在 M1 观察条件下的测量值较 M2 观察条件下的测量值在  $b$  轴整体有明显的线性偏移, 偏蓝色; 针对 B 纸制作的 ICC 色彩特性文件略有区别, 在 M1 观察条件下的测量值较 M2 观察条件下的测量值在  $b$  轴整体略有线性偏移, 偏蓝色; 针对 C 纸制作的 ICC 色彩特性文件整体几乎重合。

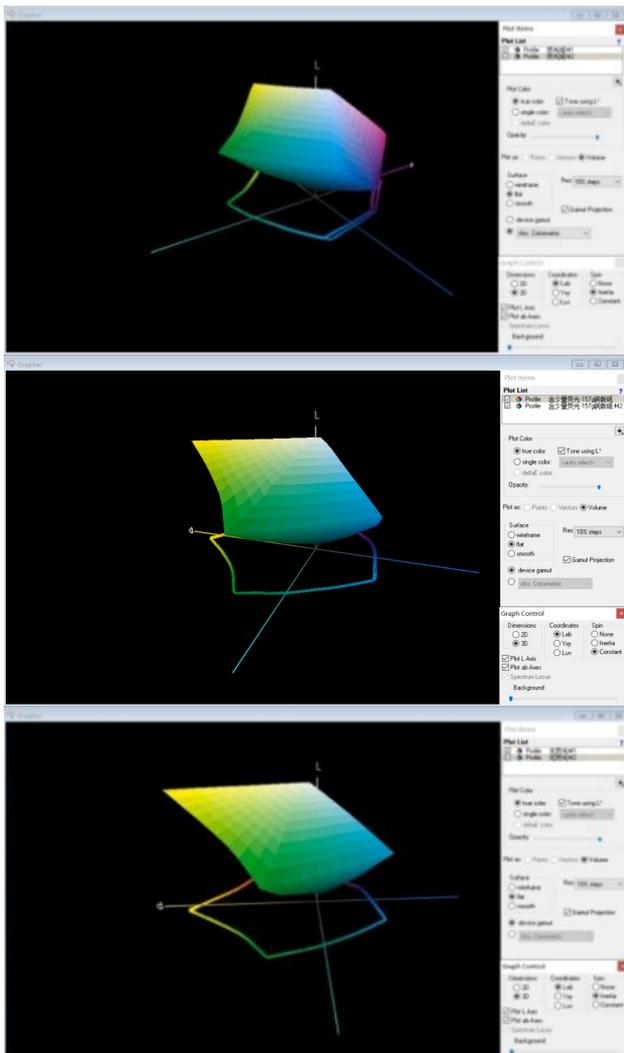


图 3 M1/M2 观察条件下 ICC 特性文件色域分析 (A\B\C 纸)

Fig.3 Color gamut analysis of ICC characteristic file under M1/M2 observation conditions (A\B\C paper)

### 2.4.3 结果分析

综上所述, 纸张添加的荧光增白剂的光学特性, 会导致基于 M1 观察条件下测量的数据生成 ICC 色彩特性文件整体偏移蓝色, 即  $b^*$  值往负值线性偏移。根据色彩管理的原理, 在色彩转换过程中, 若使用上述 ICC 色彩特性文件, 转换结果会增加  $b^*$  值偏移的相反色, 即黄色的补偿结果, 造成印刷品色彩偏黄。为了解决该问题, 可根据荧光增白剂含量对  $b^*$  值进行线性补偿校正。

## 3 结果与讨论

文中分别从 OBA 含量对纸白测量的影响分析, OBA 含量对线性色表测量的影响分析以及 OBA 含量对色彩管理的影响分析 3 个维度来分析 OBA 含量对色彩复制的影响。发现分别在 M1 和 M2 观察条件下测量纸张基色  $b^*$  值的差值, 直接反映了 D50 标准光源中 UV 成分 (400 nm 以下波长的光) 引发的  $b^*$  值差异, 其绝对值可以确定基材中的 OBA 的含量, 其绝对值越大, 说明纸张中含荧光增白剂越多; 同时, 通过荧光增白剂含量对线性色表测量的影响研究分析发现, 荧光增白剂含量对颜色测量数据的影响与阶调值相关, 基本呈负线性关系, 且荧光增白剂含量对黄色和黑色的影响相对较大; 通过荧光增白剂含量对色彩管理的影响实验分析可以看出, 纸张添加的荧光增白剂的光学特性, 会使 M1 观察条件测量数据生成 ICC 色彩特性文件, 整体线性偏移蓝色, 即  $b^*$  值往负值线性偏移, 且荧光增白剂含量越大,  $b^*$  值偏移更大。

色彩测量的准确性是色彩管理有效实施的基础, 基于 M1 观察条件的色彩管理流程, 需进一步根据荧光增白剂含量  $|\Delta b^*|$  值, 进行线性补偿校正方面研究, 从而减少纸张荧光增白剂对色彩管理的影响, 减少因纸张荧光增白剂引起色彩复制出现偏差, 使纸张上的颜色准确复制。

## 4 结语

文中经过研究, 发现纸张的荧光增白剂含量不同, 在 M1/M2 观察条件下色度测量值不同, 因此, 为了准确复制颜色, 在统一标准光源的基础上, 还需规范测量仪器的观察条件以及根据荧光增白剂含量对  $b^*$  值进行线性补偿, 减少纸张荧光增白剂对色彩测量的影响, 准确测量颜色, 并实现色彩在不同设备间正确转换, 准确复制颜色。

### 参考文献:

- [1] 马晓思, 白卫国, 景宜, 等. 荧光增白剂对颜色复制影响的研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2011(3): 27-32.

- MA Xiao-si, BAI Wei-guo, JING Yi, et al. Study on Effect of Optical Brightening Agent of Paper on Color Reproduction[J]. *China Printing and Packaging Study*, 2011(3): 27-32.
- [2] 孙若端, 张喆民, 马煜, 等. 白光 LED 照明荧光增白剂失效及色度测量方法[J]. *照明工程学报*, 2019(2): 8-14.
- SUN Ruo-duan, ZHANG Zhe-min, MA Yu, et al. Fluorescent Whitening Failure under White LED Lighting and Colorimetric Measurement Method[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2019(2): 8-14.
- [3] 赵蜀燕, 格林菲尔. 紫外光对荧光增白剂衰减的影响研究[J]. *中国印刷与包装研究*, 2011(5): 50-52.
- ZHAO Shu-yan, GE L. Effect of Ultraviolet Radiation on Attenuation of Fluorescent Whitening Agents[J]. *China Printing and Packaging Study*, 2011(5): 50-52.
- [4] 严伟, 张美云, 陆赵情. 荧光增白剂(OBA)应用于铜版纸生产中调色方案的研究[J]. *湖南造纸*, 2009(3): 23-25.
- YAN Wei, ZHANG Mei-yun, LU Zhao-qing. Study on the Application of Optical Brightening Agent (OBA) for Color Modulation in Making Coated Paper[J]. *Hunan Papermaking*, 2009(3): 23-25.
- [5] 陈广学, 王海文, 李杰. 光谱颜色信息高效重建的新方法研究[J]. *中国印刷与包装研究*, 2010, 11(2): 52-55.
- CHEN Guang-xue, WANG Hai-wen, LI Jie. Study on New Efficient Reconstruction Method of Spectral Color Information[J]. *China Printing and Packaging Study*, 2010, 11(2): 52-55.
- [6] 王海文, 李杰, 陈广学. 多光谱颜色复制技术若干关键问题的研究[J]. *中国印刷与包装研究*, 2010, 11(2): 112-115.
- WANG Hai-wen, LI Jie, CHEN Guang-xue. Key Issues Study on Multi-Spectral Color Reproduction Technique[J]. *China Printing and Packaging Study*, 2010, 11(2): 112-115.
- [7] 戚永红, 郑元林. ISO 13655 M 系列条件的应用分析[J]. *印刷技术*, 2013(15): 44-45.
- QI Yong-hong, ZHENG Yuan-lin. Application Analysis of ISO 13655 M Series Conditions[J]. *Printing Technology*, 2013(15): 44-45.
- [8] 李易蔚, 陈广学. 纸张荧光增白剂对印刷色彩管理的影响探究[J]. *包装工程*, 2016(3): 160-164.
- LI Yi-wei, CHEN Guang-xue. Influence of Optical Brightening Agents on Color Management[J]. *Packaging Engineering*, 2016(3): 160-164.
- [9] 田全慧, 刘真. 纸张荧光增白剂对印刷色彩管理影响的评价与控制[J]. *中国印刷与包装研究*, 2010(6): 21-27.
- TIAN Quan-hui, LIU Zhen. Evaluation and Control of Effect of Paper Containing Optical Brightening Agents on Color Management[J]. *China Printing and Packaging Study*, 2010(6): 21-27.
- [10] 田全慧, 钟. 罗伯特. 荧光增白剂校正方法的研究[J]. *中国印刷与包装研究*, 2010, 11(2): 315.
- TIAN Quan-hui, CHUNG R. A Study of Optical Brightening Agents(OBA) Correction Methods[J]. *China Printing and Packaging Study*, 2010, 11(2): 315.
- [11] CHAIKOVSKY S. Effects of Optical Brightening Agents on Color Reproduction in Digital Printing[D]. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 2012.
- [12] HERSCH R D. Spectral Prediction Model for Color Prints on Paper with Fluorescent Additives[J]. *Applied Optics*, 2008, 47(36): 6710-6722.
- [13] STANIC M, LOZO B, SVETEC D G. Colorimetric Properties and Stability of 3D Prints[J]. *Rapid Prototyping Journal*, 2012, 18(2): 120-128.
- [14] HENSLEY BRITTANY D F J A. Colorimetric Characterization of a 3D Printer with a Spectral Model[J]. *Color and Imaging Conference*, 2013, 2013(1): 160-166.

责任编辑: 曾钰婵