

水性丝印荧光油墨色彩再现研究

王立立, 张婉, 黄蓓青, 王卉, 魏先福, 熊晓桐, 张露
(北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: **目的** 为了更好地研究加色法成像机理, 改善红色水性荧光丝印油墨的荧光性能, 进而对三色荧光油墨的呈色性能进行研究。**方法** 通过改变不同红色荧光材料的含量研究红色水性荧光丝印油墨的荧光性能, 接着在此基础上, 得出红、绿、蓝三色荧光油墨的色域, 比较不同呈色方式对三色油墨荧光性能的影响, 并探讨 2 种不同的承印物对三色油墨呈色性能的影响。**结果** 当荧光粉质量分数为 6% 时, 红色水性丝印荧光油墨的荧光强度最好。三色荧光油墨的色域范围比 sRGB 范围略小, 可以满足色彩再现的研究需要。丝印时, 网点并列比网点叠合更有利于荧光油墨彩色信息的真实再现。不含荧光剂的承印物有利于荧光油墨的色彩再现, 纸张比 pc 膜色调再现能力好。**结论** 最终制备的水性丝印荧光油墨具备优良的荧光性能, 可以再现 sRGB 色域内的大部分色彩。

关键词: 丝印荧光油墨; 荧光强度; 呈色方式

中图分类号: TS802.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0229-05

Color Reproduction of Water-based Fluorescent Screen Printing Ink

WANG Li-li, ZHANG Wan, HUANG Bei-qing, WANG Hui, WEI Xian-fu, XIONG Xiao-tong, ZHANG Lu
(Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: The work aims to better study the imaging mechanism of the additive color method, improve the fluorescence performance of the red fluorescent screen printing ink, and then study the coloration performance of the three-color fluorescent ink. The fluorescence performance of red water-based fluorescent screen printing ink was studied by changing the content of red fluorescent material. Based on that, the color gamut of red, green and blue fluorescent ink was obtained. The effects of different coloration methods on the fluorescence performance of three-color ink were compared and the effects of two different substrates on the coloration performance of three-color ink were investigated. When the phosphor content was 6%, the fluorescence intensity of red water-based fluorescent screen printing ink was the best. The color gamut range of three-color fluorescent ink was smaller than sRGB, but it could meet the needs of color reproduction research. For screen printing, compared with dot superposition, the dot coordination was more favorable to the true representation of fluorescent ink color information. The substrate containing no fluorescent agent was in favor of color reproduction of the fluorescent ink. The paper was better than PC film in hue reproduction ability. The water-based fluorescent screen printing ink finally prepared has excellent fluorescence performance and can reproduce most of the colors in sRGB color gamut.

KEY WORDS: fluorescent screen printing ink; fluorescence intensity; coloration mode

紫外荧光油墨是一种在紫外光 (200 ~ 400 nm) 照射下发出可见光 (400 ~ 800 nm) 的特种油墨^[1-2]。其印刷品在紫外线作用下, 可激发出荧光, 具有实施

简单、成本低、隐蔽性好、色彩鲜艳、检验方便等特点^[3]。荧光油墨采用加色法成像, 与减色法成像不同的是, 随混合量的增加, 加色混合光的颜色明度是增

收稿日期: 2016-12-12

基金项目: 北京印刷学院校级资助项目 (20190116002/043); 北京印刷学院博士启动基金 (27170116005/052)

作者简介: 王立立 (1992—), 女, 北京印刷学院硕士生, 主攻先进油墨及流变学。

通讯作者: 魏先福 (1963—), 男, 北京印刷学院教授, 主要研究方向为印刷材料的制备及产业化。

加的,当混合比例不同时,得到的色相不同。目前,荧光油墨主要选用丝网版、凹版及柔性版等传统印刷方式进行印刷^[4],但是仅局限于一些简单的图文印刷,在色彩再现上没有形成完善的控制体系,随着功能性包装业的快速发展,荧光油墨具有较大的市场潜力,这也对其色彩再现能力提出了更高要求^[5]。

1 实验

为了研究荧光油墨的色彩再现能力,文中首先改善红色荧光油墨的荧光性能,主要改变红色有机荧光粉的含量制备荧光油墨,并考察荧光粉含量对荧光强度、色域、表面张力等性能的影响^[6]。从而得出三色荧光油墨的色域,评价其是否符合色彩再现能力的基本要求。选用网点并列与网点叠合 2 种呈色方式分别进行三色油墨的印刷,通过对印刷样张荧光性能的比较,得出最佳的网点呈色方式。最后选用道林纸和 pc 膜 2 种不含荧光剂的承印物进行三色油墨的印刷,研究承印物不同性能参数对三色油墨色彩再现能力的影响^[7]。

1.1 原料

原料:有机水性荧光粉(东莞金艺工艺颜料有限公司)、树脂 624、定量为 100 g/m² 的道林纸(米白)、pc 薄膜、去离子水。

1.2 仪器

主要仪器:刮板细度计(天津材料试验机厂)、静态表面张力仪 K100(德国)、荧光光谱仪 RF-5301PC(日本岛津)、光谱辐射度计 PR-655(Photo Research, Inc)、Judge II 标准对色光源灯箱(广州理宝实验室检测仪器有限公司)、丝网印刷机。

1.3 测试样张的制备

在 Photoshop 软件 RGB 模式下,绘制网点百分比 0~100%梯度变化的 21 级梯尺(大小为 2 cm×2.5 cm)。采用 2 种分色方法进行分色加网,一种是用 Photoshop 得到网点叠合方式的分色片;另一种是利用 rgbhalftone.exe 程序进行分色加网,得到网点并列方式的分色片。选用加网线数 150 线/英寸(1 英寸=2.54 厘米)、圆形网点的网目调,将其存储为位图。

1.4 荧光强度的检测

将样张放置在标准对色光源灯箱的固定位置,调节光谱辐射度计,保持合适的焦距,测量并记录每个采样点在紫外灯下的荧光强度。

1.5 三色荧光油墨色域图的绘制

通过荧光光谱仪测量 RGB 三色样张的荧光强度曲线,直接将样条固定于荧光光谱仪的测试槽中,调

整位置使油墨对准光源进行测试,激发波长设定在 365 nm 左右,发射波长范围为 400~700 nm,激发和发射的狭缝宽度均为 1.5 nm,扫描速度设为“中”,灵敏度设为“高”。从荧光强度曲线中读出光谱数据,与 CIE1964 标准三刺激值 $X(\lambda)$, $Y(\lambda)$, $Z(\lambda)$, 对应波长分别相乘后累加,得出三刺激值 X , Y , Z ^[5]。然后,计算色坐标 $x=X/(X+Y+Z)$, $y=Y/(X+Y+Z)$, 把三色油墨的色坐标绘制成封闭图形即色域图。

1.6 表面张力及干燥时间测试

在室温条件下,采用静态表面张力仪用平板法测量油墨的表面张力,用刮板细度计采用彻干法测量油墨干燥时间,每种油墨各测 5 次,取平均值。

2 结果与讨论

2.1 红色荧光油墨性能研究

通过对市场上的三色水性荧光丝印油墨进行性能测试,发现荧光油墨色域较小,尤其是红色油墨荧光强度低,呈色能力差,因此,文中对红色荧光油墨的荧光性能进行改善。

2.1.1 不同比例荧光粉对红色荧光油墨性能研究

荧光油墨是在荧光颜料中加入一定比例的高分子树脂连结料、填充料、稳定剂和干燥剂,经研磨或三辊研磨机加工而成。文中按照 $m_{\text{树脂}}:m_{\text{去离子水}}=10:1$ 的比例,加入不同比例的荧光粉,充分搅拌使其均匀,配制荧光油墨。

荧光粉是丝印荧光油墨中最重要的组分,其含量对荧光强度有至关重要的影响。为了探讨荧光粉含量对荧光油墨发光性能的影响,固定油墨其他组分,选用不同含量的荧光粉配制丝印油墨并测定其荧光强度^[8],得到荧光粉含量对液体和印刷墨膜 2 种状态下荧光油墨荧光强度的影响,见图 1。荧光油墨稳定性见图 2。

由图 1a 可知,随荧光粉含量的增加,丝印荧光油墨的液体荧光强度逐渐增加,荧光强度范围为 14~100,峰值为 99.282,发射主波长没有蓝移或红移。由图 1b 可知,随着荧光粉含量的增加,丝印印刷墨膜荧光强度先增加后减小,荧光强度范围为 30~125,峰值为 123.533,发射主波长没有蓝移或红移。当荧光粉质量分数为 6%时,固体荧光强度达到最大值,随后荧光粉含量继续增加,荧光强度均比 6%时强度低。也就是说,随着荧光粉含量的增加,荧光物质发生了自淬灭现象^[9],从而降低了荧光油墨的发光强度,因此,荧光粉的用量并非越多越好,制备红色荧光油墨加入荧光粉的最佳比例是 6%。为了比较液体油墨印刷后发射波长是否会发生蓝移或红移现象,将 6%的液体和印刷墨膜荧光强度归一处理进行比较。

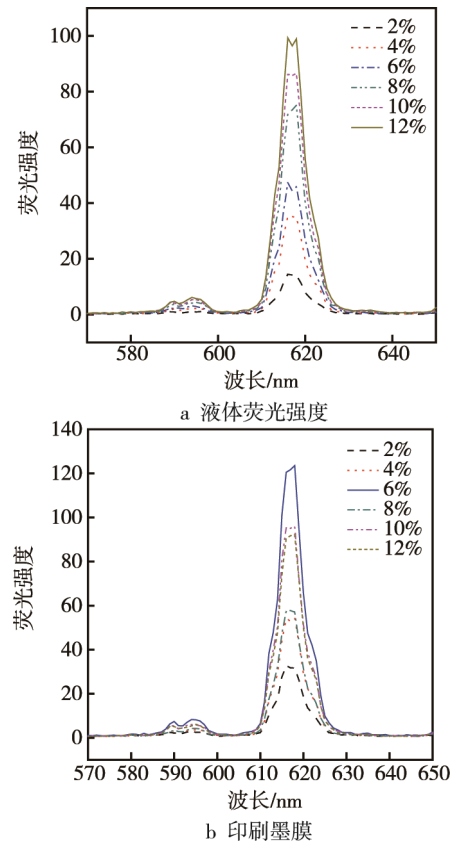


图 1 荧光粉质量分数对 2 种状态下荧光强度的影响
Fig.1 Effect of phosphor content on the fluorescence intensity in two states

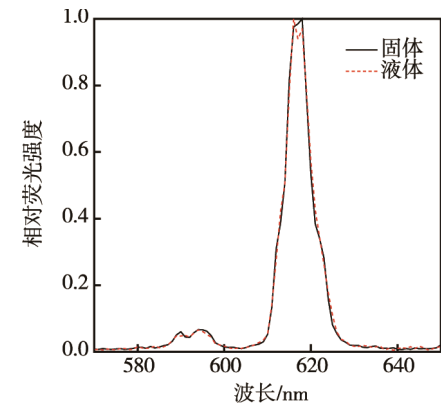


图 2 油墨荧光强度稳定性
Fig.2 The fluorescence intensity stability of ink

由图 2 可知, 归一后的液体油墨荧光强度和印在纸张上的印刷墨膜荧光强度 2 条曲线几乎完全重合, 发射主波长没有出现蓝移或红移现象, 所以该油墨的荧光稳定性很好。

2.1.2 红色荧光油墨其他性能研究

油墨的表面张力关系到油墨的转移性能和印迹在承印面上的稳定性, 表面张力的变化会影响油墨的流平, 表面张力低的油墨流平较好。油墨对基材的润湿程度会影响与印刷基材的附着力, 油墨的表面张力越低, 对印刷基材的润湿程度越好, 合适的表面张力

是保证印刷质量的关键。丝印油墨的干燥问题也是很重要的。如果丝网印刷油墨干燥太慢的话就会造成印刷品干燥不良, 还会影响叠印效果, 造成印刷品质量问题。丝网印刷油墨干燥太快又会转印不良, 易造成堵版。水性丝印荧光油墨的稳定性、表面张力和干燥时间的关系见表 1。

表 1 荧光粉质量分数对油墨的表面张力和干燥时间的影响
Tab.1 The effect of phosphor content on the surface tension and drying time of ink

荧光粉质量 分数/%	油墨表面张力/ ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$)	油墨干燥 时间/s
2	26.69	254
4	26.17	263
6	26.56	283
8	22.58	262
10	20.59	291

由表 1 可知, 随荧光粉含量逐渐增加, 油墨表面张力逐渐减小。由 2.1.1 节可得制备红色荧光油墨加入荧光粉的最佳质量分数为 6%。由实际印刷效果, 此时的表面张力符合要求, 可以润湿纸张和 pc 膜, 随着荧光粉含量继续增加, 油墨表面张力过低, 油墨对纸张和 pc 膜的附着性变差。由表 1 可知, 荧光粉含量对油墨干燥时间影响不大。

2.2 三色荧光油墨呈色性能研究

2.2.1 三色荧光油墨的色域

色域是指某种颜色模式能表达的颜色数量所构成的区域范围, 也指具体介质所能表现的颜色范围^[10]。为了描述丝印荧光油墨的色域范围, 使用红 (上述实验所得)、绿、蓝三色油墨进行丝网印刷, 对样本点信息进行采集^[11], 可得出色域, 见图 3。图 3 中将所获得的色域 (目标设备空间) 与 sRGB 色域 (源设备空间) 进行了对比, 可以看出, 自制丝印荧光油墨与 sRGB 的色域图形状相似, 前者的色域相对较小, 即目标空间色域略小于源空间色域。总体来看, 丝印荧

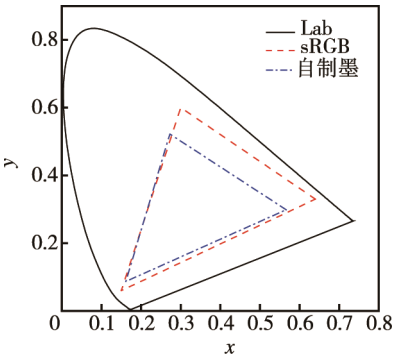


图 3 色域
Fig.3 Color gamut

光油墨色域与 sRGB 色域很接近,可以再现出大部分色彩,色彩再现能力好。也就是说,丝印荧光油墨能呈现的颜色, sRGB 都能显示出来。相反, sRGB 中显示的颜色,丝印荧光油墨绝大部分可以真实再现,因此,此三色荧光油墨可以满足荧光色彩再现能力研究的需要。

为了精确比较 sRGB 与丝印荧光油墨色域的大小,可以计算二维区域的面积 S_{sRGB} 和 S 。通过计算, $S_{\text{sRGB}} : S \approx 3 : 2$,由此表明, sRGB 包含的颜色范围是丝印荧光油墨的 1.5 倍左右。

2.2.2 不同网点呈色方式下荧光强度评价

网点呈色方式分为网点叠印和网点并列 2 种^[12],网点叠合呈色的原理是叠合网点对入射白光进行选择吸收后透过的色光经承印物发射后形成的颜色^[13]。网点并列呈色的原理是并列网点对入射白光进行选

择性吸收后剩余色光又进行加色法混合^[14]。

如图 4 所示,以红色、绿色和蓝色三色荧光油墨印刷为例,网点叠合的呈色方式下油墨网点互相遮盖,三原色网点大部分重叠,叠印面积越大呈色越差,上层油墨会影响下层油墨的发光强度,而网点并列的油墨网点彼此互不影响,因此,丝网印刷时,网点并列比网点叠合的明度更高,呈色均匀性更好,色彩更饱满。选用网点并列的方式进行印刷。

2.3 不同承印物上荧光性能研究

荧光剂的存在严重影响荧光油墨色彩再现。同样,承印物的其他性能参数也会影响荧光油墨印刷质量^[15]。为了探讨承印物对荧光油墨印刷的影响,选用道林纸和 pc 膜 2 种不含荧光剂,但表面性能完全不同的承印物,测试不同网点百分比的荧光强度并绘制曲线,见图 5。

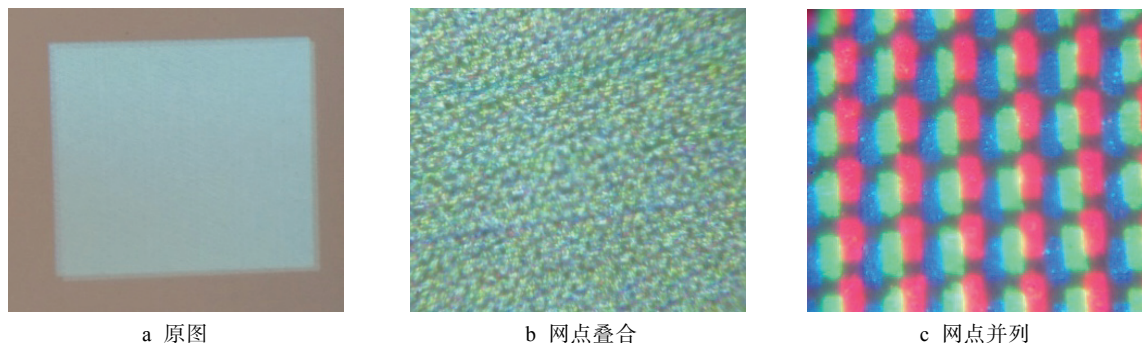


图 4 网点叠合与网点并列

Fig.4 Dot superposition and dot coordination

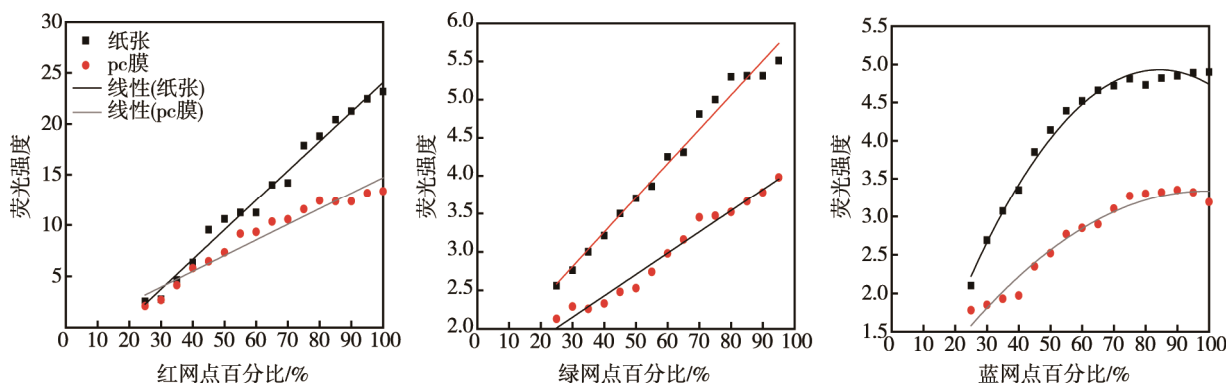


图 5 红、绿、蓝三色荧光油墨网点百分比与荧光强度的关系

Fig.5 The relationship between the percentage of red, green and blue fluorescent ink dots and the fluorescence intensity

由图 5 可知,由于油墨对纸张的附着力明显优于 pc 膜,所以纸张的色调再现能力较好,其在紫外灯的照射下,网点百分比与荧光强度的曲线呈现很强的线性关系,层次再现分明,可辨别的亮度级数多,能再现的阶调较宽。另外,由于 pc 膜本身亮度很大,导致荧光强度变弱,层次损失严重,色调层次再现差。pc 膜表面光滑,吸水性差,导致印在上面的荧光油墨隐形效果差,因此,应选用不含荧光剂、吸水性好

的纸张作为荧光油墨印刷的承印物。从图中还可以看出,红、绿、蓝三色荧光油墨的色调再现能力有差异,红色墨和绿色墨的荧光强度随网点百分比的增加显著增强,阶调再现能力好。对于蓝色墨,当网点百分比高于 70% 时,其继续增加对荧光强度的影响不大,亮调部分的层次出现损失。

3 结语

荧光丝印油墨的发光性能与荧光粉含量有显著

关系,液体油墨荧光强度随荧光粉含量逐渐升高,印刷墨膜荧光强度随荧光粉含量增加先升高后降低。当荧光粉质量分数为6%时,水性丝印荧光油墨的发光性能最佳。

水性丝印荧光油墨的色域图与sRGB形状很接近,可以再现出大部分色彩,色彩再现能力好。也就是说,水性丝印荧光油墨能呈现的颜色,sRGB都能显示出来。相反,sRGB中显示的颜色,水性丝印荧光油墨绝大部分可以真实再现。sRGB包含的颜色范围是水性丝印荧光油墨的1.5倍左右。

紫外荧光丝印油墨色彩再现过程中,应采用网点并列呈色。红、绿、蓝三色荧光油墨的色调再现能力有差异,蓝色墨亮调部分出现并级,造成亮调层次损失。承印物的不同也会影响荧光性能,应尽量选择不含荧光剂、吸水性好的纸张作为承印物进行荧光油墨的色彩再现。

参考文献:

- [1] ROGER D, HERSCH P D, SYLVAIN C. Color Images Visible under UV Light[J]. ACM Transactions on Graphics, 2007, 26(3): 75.
- [2] 李志杰. 常见的几种防伪油墨在防伪技术中的应用[J]. 广东印刷, 2009(1): 45—47.
LI Zhi-jie. The Common Application of Several Kinds of Anti Fake Ink in Anti Fake Technology[J]. Guang Dong Yin Shua, 2009(1): 45—47.
- [3] 王德海, 江赟. 紫外光固化材料-理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
WANG De-hai, JIANG Ling. UV Curable Materials-theory and Applications[M]. Beijing: The Science Publishing Company, 2001.
- [4] 齐成. 荧光油墨在网版印刷中的应用[J]. 丝网印刷, 2005(8): 18—21.
QI Cheng. Application of Fluorescent Ink in Screen Printing[J]. Screen Printing, 2005(8): 18—21.
- [5] 虞峰, 周清河. 使用无色荧光油墨印刷彩色防伪图像的方法: 中国, 102514408A[P]. 2012-06-27.
YU Feng, ZHOU Qing-He. The Method of Printing Anti-fake Color Image with Colorless Fluorescent Ink: China, 102514408A[P]. 2012-06-27.
- [6] 杨玲, 魏先福, 黄蓓青, 等. 助剂对紫外荧光喷墨油墨发光性能的影响[J]. 包装工程, 2013, 34(23): 111—115.
YANG Ling, WEI Xian-fu, HUANG Bei-qing, et al. Effect of Additive on Luminescence Property of UV Fluorescent Inkjet Ink[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(23): 111—115.
- [7] 孙中华. 纸张性能对印刷品颜色再现影响的SPSS统计分析[J]. 包装工程, 2009, 30(12): 83—87.
SUN Zhong-hua. SPSS Statistical Analysis of the Influence of Paper Performance on Its Color Reproduction[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(12): 83—87.
- [8] MORI S, MATSUMOTO. Water-based Fluorescent Ink Composition: United States, 7789954[P]. 2010-09-07.
- [9] Life Technologies Corporation. Fluorescent Ink Compositions Comprising Functionalized Fluorescent Nanocrystals: United States, B241765B2[P]. 2011-05-05.
- [10] 刘浩学. 印刷色彩学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
LIU Hao-xue. Graphic Arts Chromatology[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008.
- [11] 史瑞芝, 曹朝辉, 任晓波, 等. 基于色空间转换与色域映射的跨媒体颜色传输[J]. 测绘科学技术学报, 2008(2): 79—82.
SHI Rui-zhi, CAO Zhao-hui, REN Xiao-bo, et al. Cross Media Color Transfer Based on Color Space Conversion and Color Gamut Mapping[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2008(2): 79—82.
- [12] 王琪, 周小凡, 张琳, 等. 基于网点排布状态的色彩再现差异性研究[J]. 包装工程, 2011, 32(7): 89—111.
WANG Qi, ZHOU Xiao-fan, ZHANG Lin, et al. Research on Differences of Color Reproduction Based on Dots Distribution State[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7): 89—111.
- [13] WYBLE D R, BERNIS R S. A Critical Review of Spectral Models Applied to Binary Color Printing[J]. Journal of Color Research and Application, 2000, 25(1): 4—19.
- [14] WYSZECKI G, STILES W S. Color Science(2nd Ed)[M]. Wiley, 1982.
- [15] VAN RENESSE R L. Optical Document Security[M]. London: Artech House, 1994.