

油墨红外光谱相似度与计算机配色精度的关系研究

万 星, 吕新广*

暨南大学包装工程研究所, 产品包装与物流重点实验室, 广东 珠海 519070

摘 要 为了获得高精度的配色样品, 提出了一种配色方法—成分分析配色法。该方法将化学分析法与计算机配色相结合, 其核心是选取与目标色成分最接近的油墨进行配色, 从而实现高精度的色彩匹配, 为计算机配色发展提供新的思路。与目标色成分相近的油墨配色效果验证: 使用某种油墨印制目标色, 并用相同的油墨进行配色, 以实现目标色成分与配色色样成分的一致性。使用三个不同品牌的油墨对目标色进行配色, 比较配色精度及效率。使用泗联牌三种颜色油墨以任意比例通过印刷适性仪 IGT-CI(荷兰)印制目标色, 这些目标色包括间色和复色, 各3个色样; 使用配色软件 X-Rite color master(美国)建立泗联、东洋、牡丹三个品牌油墨的配色基础数据库, 并对不同目标色进行配色。结果表明使用与目标色相同的泗联油墨的配色精度远高于东洋、牡丹两个品牌的油墨, 配色色差整体都很小, 校正1~2次就能得到小于1.0的色差, 最小达到0.36, 几乎实现了目标色的同色同谱匹配。实验验证了成分分析配色法的核心“选取与目标色成分最接近的油墨进行配色, 可以实现高精度色彩匹配”的可行性。判别目标色与配色油墨在成分上区别的化学分析工具探讨: 为了判别目标色色料与配色油墨在成分上有区别, 尝试使用“红外光谱相似度”作为判别的分析工具。使用红外光谱仪 Thermo Nicolet 6700(美国)测出泗联、东洋、牡丹三个品牌的三种颜色油墨的红外光谱图, 使用 OMNIC 软件中的相关性算法得到它们与目标色油墨的红外光谱相似度, 并计算出平均相似度; 将各品牌油墨的红外光谱相似度与其配色实验的精度进行对比分析, 评价红外光谱相似度作为化学分析判别工具的有效性。结果表明泗联牌油墨与目标色的平均红外光谱相似度为100%, 东洋的为86.53%, 牡丹的为64.63%。当校正次数相同时, 泗联油墨配色色差最小, 配色精度最高; 东洋次之, 是泗联油墨配色色差的2倍左右; 牡丹最差, 是泗联油墨配色色差的3倍以上。配色结果与其红外光谱相似度的规律是一致的, 目标色油墨与配色油墨之间的红外光谱相似度越高, 越容易得到高精度的配色样品。实验证明了用成分分析配色法获得高精度的色彩匹配是可行的, 使用红外光谱相似度作为目标色与配色油墨在成分上的分析工具对判别配色精度是有效的。今后的工作将探讨红外光谱相似度与配色精度间的相关性数值关系, 以及进一步寻求更为有效的化学分析方法来判断目标色色料与配色油墨之间的成分关系。

关键词 计算机配色; 油墨; 色差; 光谱

中图分类号: TS801.1

文献标识码: A

DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)03-0711-06

引 言

如今四色印刷已经无法满足市场上高质量、防伪印刷品的要求, 需要使用专色来增加颜色的多样性, 而不准确的专色颜色匹配会引起经济损失, 特别是对一些防伪产品。计算机配色具有效率、准确度较高的特点, 现已应用到印刷、涂料、纺织、木材、塑料、纸张等行业^[1-2]。但对于高精度的修复和色彩再现, 有时却较难实现。寻求一种方法来提高颜色

匹配是众多研究者的主要方向。

红外光谱技术是一种无损快捷的研究物质定性或定量的分析方法, 现已广泛用于化工、农业、食品、司法检测等领域, 其优点是分析速度快, 不受样品形态限制^[3]。近年来, 国外已有将红外光谱技术用于检验油墨成分的研究。红外光谱技术有用于油墨的定量和定性分析, 将红外光谱技术与其他分析工具联合使用可以很好地分析蓝色油墨及颜料, 单独使用红外光谱分析黑色印刷油墨的化学成分并区分不同黑色油墨的印刷品, 或辨别同一厂家同色相的油墨^[4-8]; 可以使

收稿日期: 2018-01-11, 修订日期: 2018-04-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(11702112), 珠海市教育局项目(包装工程优势学科, 产品包装与物流重点实验室)资助

作者简介: 万 星, 1992年生, 暨南大学包装工程研究所硕士研究生 e-mail: wans8606@stu2015.jnu.edu.cn

* 通讯联系人 e-mail: Tluguang@jnu.edu.cn

用聚类分析、主成分分析、谱图检索等其他方法对样品进行判断品种和来源^[9-11]。

为了获得高精度的配色样品,提出了一种配色方法—成分分析配色法。将化学分析法与计算机配色相结合,其核心是选取与目标色成分最接近的油墨进行配色,从而实现高精度的色彩匹配,为计算机配色发展提供新思路。首先,通过实验验证与目标色成分相近的油墨配色效果。使用某种油墨印制目标色,并用相同油墨进行配色,以实现目标色成分与配色色样成分的一致性。其次,探讨判别目标色与配色油墨在成分上区别的化学分析工具。本工作尝试使用“红外光谱相似度”作为判别分析工具,将各品牌油墨的红外光谱相似度与其配色实验的精度进行对比分析,评价红外光谱相似度作为化学分析判别工具的有效性。

1 实验部分

印刷适性仪: IGT-CI(荷兰 IGT 公司);印刷盘: 402.081(荷兰 IGT 公司);油墨定量仪: 408.000.044.D.000,精度 0.01 mL(荷兰 IGT 公司);配色软件: X-Rite color master 8.6.0(美国 X-Rite 公司);分光光度计: X-Rite SP64(美国 X-Rite 公司);电子天平: AR224CN,精度 0.000 1 g(奥豪斯仪器上海有限公司);红外光谱仪: Thermo Nicolet 6700(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)。

东洋油墨: TGS-419 天蓝、TGS-238 中黄、TGS-139 洋红、冲淡墨;泗联油墨: SL-3200 天蓝、SL-2402 中黄、SL-1400 洋红、冲淡墨;牡丹油墨: 05-32 天蓝、05-28 中黄、05-14 洋红、冲淡墨;纸张: 128 g·m⁻²激光铜版纸 jgtbz-001(北京易利丰公司)。

印刷速度: 0.3 m·s⁻¹;印刷压力: 200 N;温度: (25±2) °C;相对湿度: 50%±10%。

2 配色过程

使用三个不同品牌的油墨对目标色进行配色,比较配色精度。使用泗联油墨以不同比例印制目标色;建立三个品牌油墨的配色基础数据库,并使用这些油墨对目标色进行配色。

2.1 配色的数据库建立

将基色油墨按照一定的比例与冲淡墨混合成 5 g 后,在印刷适性仪上制作样条,基色油墨与冲淡墨的质量百分比为 2%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 55%, 70%, 90% 和 99.99%。等到样条彻底干燥后,通过分光光度计对样条进行数据采集。测量条件是 D65/10°, 包含镜面反射, 每张样条测量三次后求平均值。

2.2 目标色

在实验中使用泗联油墨制作的色样作为目标色。使用基色油墨和冲淡墨按不同重量比例(表 1)混合,印制成 6 个目标色。按照建立数据库的方法制样,分别使用三个品牌油墨制作 Cyan, Magenta, Yellow, Cyan+Yellow, Cyan+Ma-

genta, Magenta+Yellow 的色样,利用 Matlab(V7.8)作出三个品牌油墨的色域(图 1)。

表 1 目标色中油墨与冲淡墨的比例

Table 1 Ink and dilute agent at different proportions of target colors

油墨颜色	目标色	目标色	目标色	目标色	目标色	目标色
	A	B	C	D	E	F
SL-1400 洋红	0	1	2	1	3	1
SL-2402 中黄	1	0	1	2	2	1
SL-3200 天蓝	1	1	0	1	1	2
冲淡墨	0	1	1	0	1	1

表 2 三种品牌油墨的配色色差

Table 2 The color difference of all samples for different brands of printing inks

	目标色 A			目标色 B			目标色 C		
	泗联	东洋	牡丹	泗联	东洋	牡丹	泗联	东洋	牡丹
配色	3.81	6.12	6.28	1.22	1.76	2.11	2.02	2.63	3.6
校正 1	2.1	/	/	0.52	1.07	1.42	1.17	1.94	/
校正 2	0.71	/	/	0.36	0.87	/	0.99	1.88	/

	目标色 A			目标色 B			目标色 C		
	泗联	东洋	牡丹	泗联	东洋	牡丹	泗联	东洋	牡丹
配色	1.25	1.37	3.37	1.57	2.17	3.95	0.83	1.79	3.43
校正 1	0.48	1.08	1.49	0.78	0.7	1.74	0.43	0.81	1.54

注: “/”表示此配方无法校正

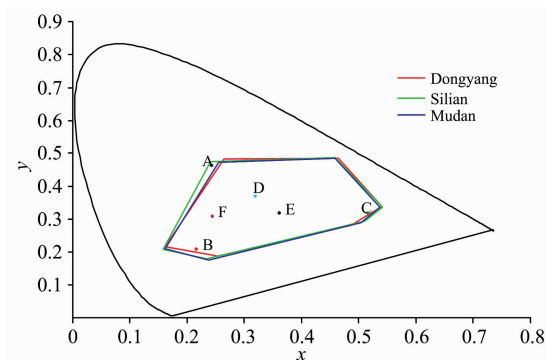


图 1 三种品牌油墨的色域范围及目标色分布

Fig. 1 The color gamut of three brands of printing inks and the distribution of target colors in the gamut

表 3 目标色 A 的三种油墨的配色配方百分比(%)

Table 3 The percentage of recipes of test samples from three brands of printing inks for target color A

油墨颜色	泗联			东洋		牡丹
	配色	校正 1	校正 2	配色	配色	配色
天蓝	35.918 8	37.378 5	38.315 5	53.352 4		50.021 3
中黄	34.948 8	38.765 8	39.755 5	27.848 6		33.201 6
洋红	1.320 4	0.796 7	0.530 9	0		0
冲淡墨	27.812	23.158 9	21.398	18.799		16.777 1

表 4 目标色 B 的三种油墨的配色配方百分比 (%)

Table 4 The percentage of recipes of test samples from three brands of printing inks for target color B (%)

油墨颜色	泗联			东洋			牡丹	
	配色	校正 1	校正 2	配色	校正 1	校正 2	配色	校正 1
天蓝	21.489 7	23.321 0	24.883 6	27.225	30.171 5	30.804 8	24.011 5	27.207 0
中黄	0	0	0	0	0	0	0.318 8	27.264 4
洋红	25.047 4	26.070 5	26.647 3	23.080 5	24.233 1	23.369 7	26.004 2	0.430 1
冲淡墨	53.462 9	50.608 5	48.469 0	49.697 0	45.595 4	45.825 5	49.665 4	45.098 4

表 5 目标色 C 的三种油墨的配色配方百分比 (%)

Table 5 The percentage of recipes of test samples from three brands of printing inks for target color C (%)

油墨颜色	泗联			东洋			牡丹
	配色	校正 1	校正 2	配色	校正 1	校正 2	配色
天蓝	0	0	0	0	0	0	0.095 0
中黄	18.265 2	20.114 1	21.005 7	14.058 4	15.482 9	16.371 4	17.453 9
洋红	37.573 4	38.735 8	40.053 7	32.862 6	35.006 1	37.047 9	41.816 6
冲淡墨	44.161 4	41.150 1	38.940 6	53.079 0	49.511 0	46.580 7	40.634 5

表 6 目标色 D 的三种油墨的配色配方百分比 (%)

Table 6 The percentage of recipes of test samples from three brands of printing inks for target color D (%)

油墨颜色	泗联		东洋		牡丹	
	配色	校正	配色	校正	配色	校正
天蓝	18.657 0	19.792 2	23.754 5	24.310 0	22.758 6	23.739 8
中黄	32.844 3	36.572 3	24.238 6	26.404 7	31.389 0	36.954 3
洋红	19.680 9	20.585 9	17.780 3	18.349 1	20.467 9	20.338 8
冲淡墨	28.817 7	23.049 5	34.226 5	30.936 1	25.384 6	18.967 2

表 7 目标色 E 的三种油墨的配色配方百分比 (%)

Table 7 The percentage of recipes of test samples from three brands of printing inks for target color E (%)

油墨颜色	泗联		东洋		牡丹	
	配色	校正	配色	校正	配色	校正
天蓝	11.817 6	12.505 6	14.908 1	15.360 0	13.660 4	15.196 2
中黄	22.017 0	24.358 2	16.237 7	17.531 6	20.430 6	24.670 8
洋红	32.254 8	35.810 4	29.760 9	32.916 5	35.141 8	38.681 1
冲淡墨	33.910 5	27.325 7	39.093 3	34.191 9	30.767 2	21.451 9

表 8 目标色 F 的三种油墨的配色配方百分比 (%)

Table 8 The percentage of recipes of test samples from three brands of printing inks for target color F (%)

油墨颜色	泗联		东洋		牡丹	
	配色	校正	配色	校正	配色	校正
天蓝	26.376 4	27.235 0	33.638 9	37.534 1	32.488 4	34.672 8
中黄	14.291 8	14.974 4	10.591 1	11.163 0	13.398 5	15.275 6
洋红	15.938 1	16.235 3	14.355 69	14.468 2	15.961 4	16.062 6
冲淡墨	43.393 7	41.555 3	41.413 2	36.834 7	38.151 7	33.989 0

2.3 配色过程及结果

选择色差最小的配方, 将所出的配方百分比在电子天平

上准确称量, 均匀混合后按照上述建立数据库的过程进行制样、测量及配方校正。6 个目标色的配色配方质量百分比分

别见表 3—表 8。使用三个品牌油墨对 6 个目标色进行配色及校正配色的色差结果见表 2。

3 油墨的红外光谱相似度

为了判别目标色色料与配色油墨在成分上的区别,选取软件中的相关性算法检索来判断三个品牌油墨之间的相似性,使用“红外光谱相似度”作为判别的分析工具,这种方法直观地显示出红外光谱的相似性,量化了三个品牌油墨与目标色之间的差别。

对于印在基材上的油墨,可直接采用 Attenuated Total Reflection(ATR)进行测量。对于半流态的油墨,可选择 ATR 附件或压片涂抹法。涂抹法是将溴化钾压片,扫描空白溴化钾片,再将油墨均匀涂抹在刚扫描过的空白溴化钾片上测量。扫描范围为 $4\ 000\sim 400\ \text{cm}^{-1}$,分辨率 $4\ \text{cm}^{-1}$,样品和背景扫描次数为 32 次,采样增益为 1。所有谱图(图 2)使用

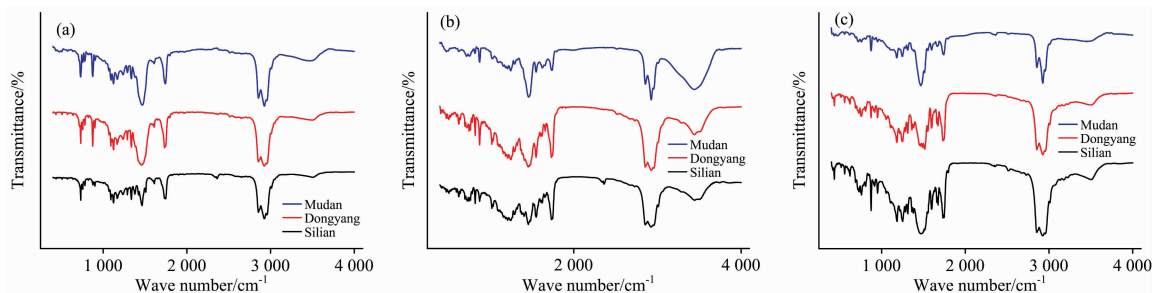


图 2 三种品牌天蓝(a)、洋红(b)、中黄(c)油墨的红外谱图

Fig. 2 Infrared spectra of cyan (a), magenta (b) and yellow (c) from three brands of printing inks

4 结果与讨论

本研究配色过程是为了先验证与目标色油墨成分相近的油墨的配色效果,然后再探讨判别目标色与配色油墨成分上区别的化学分析工具,综合两部分实验,结果分析如下:

(1) 由表 2 可以看出,使用与目标色相同的洒联油墨的配色精度远高于东洋、牡丹两个品牌的油墨,配色色差整体都很小,校正 1~2 次就能得到小于 1 的色差,最小达到 0.36,几乎实现了目标色的同色同谱匹配。实验验证了成分分析配色法的核心“选取与目标色成分最接近的油墨进行配色,可以实现高精度色彩匹配”的可行性。

(2) 由色域图(图 1)可知,目标色 A 超出了东洋牌和牡丹牌的色域范围,东洋牌配色的色差为 6.12,牡丹牌配色色差为 6.28(表 2)。根据国标要求在实际生产中,一般产品的色差不大于 4.0,而东洋牌和牡丹牌都超过这个限定值,色样属于问题匹配,且无法校正。一般来说,若目标色位于基色油墨色域之外,则这种油墨是很难做到与目标色精确匹配的。洒联牌配色色差符合要求,并且校正后色差为 0.71。

(3) 使用三个品牌油墨分别对五个目标色 A, B, C, D 和 F 配色,由表 2 可以看出,当校正次数相同时,洒联牌油墨配色的色差是最小的,配色精度最高;东洋次之,是洒联

软件 OMNIC(V8.2)进行自动基线校正与平滑,及相似匹配度的判断。将目标色油墨的谱图作为标准建立检索谱库,使用相关性检索得到它们与目标色的红外光谱相似度,并计算出平均相似度(表 9)。将各品牌油墨的红外光谱相似度与其配色实验的精度进行对比分析,评价红外光谱相似度作为化学分析判别工具的有效性。

表 9 各油墨品牌的红外光谱相似度

Table 9 Similarities of infrared spectra of printing inks	洋红	天蓝	中黄	平均
洒联(目标色油墨)	100%	100%	100%	100%
洒联(配色油墨)				
东洋(目标色油墨)	87.94%	81.94%	89.70%	86.53%
东洋(配色油墨)				
牡丹(目标色油墨)	65.96%	61.10%	66.82%	64.63%
牡丹(配色油墨)				

油墨配色色差的 2 倍左右;牡丹最差,是洒联油墨配色色差的 3 倍以上,无法校正的次数最多,有的已经超过限定值。洒联牌油墨与目标色的平均红外光谱相似度为 100%,东洋的为 86.53%,牡丹的为 64.63%。配色结果与其红外光谱相似度的规律是一致的,目标色色料与配色油墨之间的红外光谱相似度越高,越容易得到高精度的配色样品。使用红外光谱相似度作为目标色与配色油墨在成分上的分析工具对判别配色精度是有效的。

(4) 对于目标色 E,校正后,东洋牌的配色色差比洒联牌小(表 2),这可能是实验过程中油墨搅拌不均匀导致的。

5 结论

分别使用三种品牌油墨对 6 个不同颜色的目标色进行计算机配色,结果表明:当校正次数相同时,使用与目标色相同的洒联油墨的配色精度远高于东洋、牡丹两个品牌的油墨,东洋次之,牡丹最差,实验证明用成分分析配色法获得高精度的色彩匹配是可行的。

使用红外光谱技术分别测出洒联、东洋、牡丹三种品牌油墨的红外光谱,以洒联油墨样条作为目标色,给出目标色与三种配色油墨的红外光谱相似度,洒联油墨与目标色成分相同,光谱相似度为 100%,东洋有很高的相似度 86.53%,

牡丹的相似度最低 64.63%。配色结果与其红外光谱相似度的规律是一致的,目标色色料与配色油墨之间的红外光谱相似度越高,越容易得到高精度的配色样品。使用红外光谱相似度作为目标色与配色油墨在成分上的分析工具对判别配色精度是有效的。

实际应用中,经常会为了高精度的匹配而盲目尝试不同品牌油墨来配色,成分分析配色法减少了这种困扰。今后的工作将探讨红外光谱相似度与配色精度间的相关性数值关系,及进一步寻求更为高效的方法来判断目标色油墨与配色油墨之间的关系。

References

- [1] HU Wei-jie, TANG Shun-qing, ZHU Zheng-fang(胡威捷, 汤顺青, 朱正芳). Modern Color Science and Application(现代颜色技术原理及应用). Beijing: Beijing Institute of Technology Press(北京: 北京理工大学出版社), 2007.
- [2] DONG Zhen-li(董振礼). Color Measurement and Computer Color Matching(测色与计算机配色). Beijing: China Textile Press(北京: 中国纺织出版社), 2007.
- [3] WENG Shi-fu(翁诗甫). Fourier Transform Infrared Spectroscopy Analysis(傅里叶变换红外光谱分析). Beijing: Chemical Industry Press(北京: 化学工业出版社), 2010.
- [4] Williamson R J. Qualitative Analysis for the characterization and Discrimination of Printing Inks. Miami: FIU Electronic Theses and Dissertation, 2016.
- [5] Vila A, Ferrer N, García J F. Analytica Chimica Acta, 2007, 588(1): 96.
- [6] Vila A, Ferrer N, García J F. Analytica Chimica Acta, 2007, 591(1): 97.
- [7] Williamson R J, Raeva A, Almirall J R. Journal of Forensic Sciences, 2016, 61(3): 706.
- [8] Trejos T, Torrión P, Corzo R, et al. Journal of Forensic Sciences, 2016, 61(3): 715.
- [9] PAN Yuan-bin, WANG Lian-ming, WANG Yuan-feng(潘远彬, 王连明, 王元凤). Chinese Journal of Forensic Sciences(中国司法鉴定), 2015, (6): 65.
- [10] NIU Fan, HUANG Jian-tong, HE Sen(牛凡, 黄建同, 何森). Physical Testing and Chemical Analysis Part B(Chemical Analysis)(理化检验·化学分册), 2016, (12): 1478.
- [11] SHI Xiao-fan, WANG Yan-ji, WANG Wei-hua, et al(史晓凡, 王彦吉, 王卫华, 等). Physical Testing and Chemical Analysis Part B(Chemical Analysis)(理化检验·化学分册), 2009, (4): 394.

Study on the Relationship between the Infrared Spectra Similarity of Inks and the Accuracy of Computer Color Matching

WAN Xing, LÜ Xin-guang*

Packaging Engineering Institute of Jinan University, Key Laboratory of Product Packaging and Logistics of Guangdong Higher Education Institutes, Zhuhai 519070, China

Abstract To acquire the high-accuracy of samples from the computer color matching, a novel color matching method was proposed in this paper which combines chemical component analysis with computer color matching. The kernel of this method is to select the inks that are most similar to the printing inks of target colors, thus the high-accuracy color matching is achieved. This method can provide a new referential direction for future development of computer color matching. The verification of color matching effects was conducted using inks that were similar to target colors in composition. The target colors were firstly printed by printing inks, and then the color matching was carried out using the same printing inks to maintain the consistency between target colors and test colors of printing inks. In this paper, three different brands of printing inks were used to match colors with target colors, and the accuracy and efficiency of computer color matching from those printing inks were compared intuitively. The target colors were printed using three different colors Silian ink in arbitrarily proportions and volume, and they were obtained by using IGT-C1 printability tester (IGT Inc., Netherlands), and these target color ranges included secondary and tertiary colors, with each color range having three samples, respectively. Three primary printing inks Cyan, Magenta and Yellow of three brands of printing inks—Silian, Dongyang and Mudan were used as basic inks to establish the fundamental database by X-Rite color matching software (X-Rite Inc., America), and then different target colors were matched with foundational database of three brands of printing inks respectively. The results showed that the color matching accuracy of the Silian ink outperformed the other two brands of printing inks because of the fact that Silian ink was used as the printing inks of target colors, and the holistic color differences of Silian ink were the smallest among the three brands of printing inks and the color differences less than

1.0 were achieved just after one or two corrections. The smallest color difference was acquired even 0.36 and from the spectrum matching, which implied that Silian ink almost achieved isomeric match with the target color. This experiment has verified the feasibility of the emphasis of component analysis—computer color matching method, which picks the most similar inks to the printing inks of target colors so that we can achieve a high-precision color matching. The chemical analytical tool assessing the difference between printing inks of target colors and color-matching test colors. To distinguish the printing inks of target colors and color-matching test colors from the component levels, the infrared spectral similarity was used as an analytical tool in this paper. The spectra of printing inks of three colors of the three brands were measured by the Thermo Nicolet 6700 Fourier transform infrared spectrometer (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, USA), and the infrared spectral similarities of the printing inks of target colors and color-matching were all obtained and then their average similarities were also calculated by the OMNIC software. Through the comparison between the infrared spectral similarities of different brands of printing inks and the precision of computer color matching experiment, the rationality and validity of the infrared spectra as a chemical analytical discriminant tool to evaluate similarity between inks of target colors and color-matching colors was verified. The results indicated that the similarity between spectra of Silian inks and printing inks of target colors was the highest and even reached 100%, while Dongyang inks offered a high similarity of 86.53%, and Mudan inks provided the lowest similarity of 64.63%. The results showed that when the number of correction was the same, taking color difference as the criteria of judgment, the color differences of color matching for Silian ink were the smallest and it meant this ink provided the highest accuracy of color matching; and Dongyang ink took the second place, and its color differences were about twice as large as Silian ink; and the Mudan ink showed the highest color differences, and its color differences were three times more than those of the Silian ink. The result of computer color matching experiment was consistent with infrared spectral similarities results, and the principle suggested that the higher the infrared spectral similarity between printing inks of target colors and test colors was, the easier high precision color matching sample could be received. Conclusion and Prospect: The feasibility of the new color matching method which combines the component analysis and computer color matching to gain the high-accuracy color-matching samples was proved by experiments and result analysis. Use the infrared spectral similarity as an analysis tool to distinguish the difference in components between the printing inks of target colors and test colors is feasible, which can be an effective criterion for determining the color matching accuracy. Future research will focus on probing into the correlative numerical relationship between infrared spectral similarity and color-matching precision, and further seeking more effective chemical analytical method to estimate the component relationship between printing inks of target colors and color-matching test colors.

Keywords Computer color matching; Printing inks; Color differences; Spectra

(Received Jan. 11, 2018; accepted Apr. 25, 2018)

* Corresponding author