

照明与观察几何条件对镀铝纸颜色测量的影响

何成栋¹, 万晓霞¹, 黄新国^{1,2,3}, 陈华培⁴, 欧立国⁴, 杨瑞平¹, 赵德方¹

(1.武汉大学, 武汉 430079; 2.湖南工业大学, 株洲, 412007;

3.时代出版传媒股份有限公司, 合肥 230071; 4.常德金鹏印务有限公司, 常德 415000)

摘要:目的 分析不同照明/观察条件下镀铝纸的色度与光谱值,从而优化不同几何条件在镀铝纸颜色测量中的应用。方法 使用 45°/0°, SCE, SCI 等 3 种测量条件获取不同镀铝纸的颜色信息,并针对镀铝纸配色和镀铝纸颜色心理属性一致性对其进行对比分析。结果 45°/0° 和 SCE 条件下的测量数据不符合镀铝纸配色要求;同一样张测得反射率、亮度与色度值大小规律为:SCI>SCE>45°/0°,不同样张在 SCE 条件下测得的亮度差(ΔL^*)、色度差(Δa^* , Δb^*)以及色差(ΔE)均介于 SCI 与 45°/0° 之间,这是由于 SCE 测量颜色成分中包含了部分镜面反射光。结论 45°/0° 和 SCE 不可作为镀铝纸配色中颜色测量条件,45°/0° 较 SCE 更适合作为镀铝纸表观色测量条件,更符合颜色视觉评价,不同镀铝纸在 SCI 条件下测量数据差与在 45°/0° 条件下测量数据差同时较小时,说明两者一致性好。

关键词:照明/观察; 镀铝纸; 颜色测量

中图分类号: TS801.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)15-0007-05

The Influence of Illuminant/Geometric Observation Conditions on Color Measurement of Silver-foiled Paper

HE Cheng-dong¹, WAN Xiao-xia¹, HUANG Xin-guo^{1,2,3}, CHEN Hua-pe⁴, OU Li-guo⁴,
YANG Rui-ping¹, ZHAO De-fang¹

(1.Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2.Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China;

3.Time Publishing and Media Co., Ltd., Hefei 230071, China; 4.Changde Jinpeng Printing Co., Ltd., Changde 415000, China)

ABSTRACT: In order to analyze the chroma and spectra of silver-foiled paper under different Illuminant/geometric observation conditions and further to optimize the application of different geometric conditions in color measurement of silver-foiled paper, color data on silver-foil paper were obtained under three geometric conditions: 45°/0°, SCI and SCE, and then the data were analyzed in computer color matching and the consistency of color psychometric attributes on silver-foiled paper. The spectral reflectance data of silver foil paper under 45°/0° and SCE did not meet the requirement of computer color matching. The descent order of the reflectance, lightness and chroma of the same sheet of silver-foiled paper was: SCI>SCE>45°/0°. The value of ΔL^* , Δa^* , Δb^* and ΔE under SCE was between that under SCI and 45°/0°, resulting from the remnant specular light in the measured light. In conclusion, 45°/0° and SCE is infeasible as the measurement condition of silver foil paper in computer color matching. 45°/0° is a better measuring geometry and matches well with the visual assessment for the silver-foiled paper compared to SCE. The consistency of different sil-

收稿日期: 2016-05-11

基金项目: 国家自然科学基金(61275172); 安徽省博士后研究人员科研活动经费(2015B060)

作者简介: 何成栋(1990—), 男, 湖北仙桃人, 武汉大学硕士生, 主攻颜色科学。

通讯作者: 万晓霞(1965—), 女, 湖北广水人, 武汉大学教授、博导, 主要研究方向为基于光谱的色彩复制、色彩视觉感知。

ver-foiled papers is better when the D-value of lightness and chroma is smaller respectively under 45°/0° and SCI.

KEY WORDS: illuminant/observation; silver-foiled paper; color measurement

镀铝纸因其具有金属高光泽度的效果,从而被广泛地应用于烟包等包装产品中。在实际生产中,一款烟包产品上同种颜色所使用的油墨与镀铝纸可能来自不同的生产厂家,纸张与油墨的光学特性直接影响测量的结果^[1-2]。为了使颜色的测量与计算都标准化,国际照明委员会(CIE)规定了4种标准照明/观察几何条件:45°/垂直(45°/0°)、垂直/45°(0°/45°)、漫射/垂直(d/0°)、垂直/漫射(0°/d)用于颜色测量^[3]。Konica Minolta定义相同材质光泽差异的样品,在包含镜面反射(SCI)状态下测量结果应该是一致的,这时其反映的是材质本身的颜色,称之为真实色;在排除镜面反射(SCE或45°/0°)状态下,样品间的差异会比较大,数据反映的是材质和表面物理状况的综合变化,称之为表观色^[4]。目前,用于高光基材计算机配色获取配方时,需获得物体的真实颜色信息,通常使用积分球包含镜面反射几何结构;在印刷质量控制中,对表观色测量一般选择定向照明与观察(如45°/0°),或者使用积分球中排除镜面反射几何结构,以此来保持颜色视觉上的一致性^[5]。

基于此,文中主要使用45°/0°, SCE, SCI等3种测量条件对不同镀铝纸样张进行光谱色度测量,并针对镀铝纸配色和镀铝纸颜色心理属性一致性对其进行对比分析,同时通过颜色心理属性检测不同镀铝纸颜色一致性。

1 基本理论

1.1 照明/观察几何条件

实验中选择了X-Rite SpectroEye分光光度计和X-Rite ColorEye 7000A积分球式分光光度计。SpectroEye采用45°/0°照明与观察几何条件。7000A采用d/8°照明与观察几何条件,并采用光阱将测量条件分为包含镜面反射与排除镜面反射等2种。

SpectroEye中采用环形光束照明,照明光束与样品表面的法线呈45°,观察方向与样品的法线呈0°,见图1a。光源以45°入射样本表面,镜面反射光以法线对称的方向反射,而0°方向的漫反射光被接收器接收。其中环形光束照明主要为了减小样本表面的不均匀反射对测量稳定性的影响^[4]。

7000A中采用积分球式漫射光照明,球壁内涂有较理想的白色漫射材料(漫射系数接近于1,常用材料为硫酸钡与氧化镁等),使入射光源经过球内壁反射后变成漫射光;积分球开孔的总面积不能超过积分球总面积的10%,观察方向(接收光轴)与样品的法线呈8°,见图1b。由积分球的光阱开/闭控制测量中的镜面反射成分,当光阱打开时,镜面入射光被光阱吸收得到排除镜面反射(SCE)的反射率;当光阱关闭时,镜面入射光线由样本反射被接收器接收得到包含镜面反射(SCI)的反射率^[6-10]。

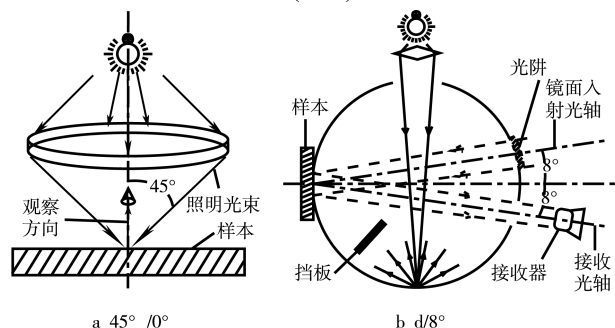


图1 分光光度计几何条件

Fig.1 Geometry of different spectrophotometers

1.2 颜色基本理论

计算机配色中,K-M理论用粒子的光吸收系数 K 和光散射系数 S 描述了光的反射或透射,广泛用于颜料配色^[11-12]。

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda} = \frac{(1 - \rho(\lambda))^2}{2\rho(\lambda)} \quad (1)$$

式中: $\rho(\lambda)$ 为样本波长(λ)的反射率; $(K/S)_{\lambda}$ 为给定波长(λ)吸收系数 K 与散射系数 S 的比值。

油墨作为透明材料,其散射性质与底基的散射性质相比可忽略不计,故 S 为常数, K/S 可作为一个数来处理^[13-14]。混合油墨的 K/S 值与浓度 c 存在着线性关系,可表示为:

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{mix}} = \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{Sub}} + \sum_{i=1}^n c_i \Phi_{\lambda, i} \quad (2)$$

式中: $(K/S)_{\lambda, \text{mix}}$ 为混合油墨波长(λ)的吸收系数 K 与散射系数 S 的比值; $(K/S)_{\lambda, \text{Sub}}$ 为基底波长(λ)的吸收系数 K 与散射系数 S 的比值; c_i 为第 i 种油墨的浓度; $\Phi_{\lambda, i}$ 为第 i 种油墨波长(λ)的单位浓度 K/S 值。

由式(1)可以看出 $(K/S)_{\lambda}$ 与 $\rho(\lambda)$ 成反比,且由

式(2)可知, $(K/S)_{\lambda, \text{mix}} \geq (K/S)_{\lambda, \text{Sub}}$ 。由此, 可推出满足计算机配色反射率数据要求之一为:

$$\rho_{\text{sub}}(\lambda) \leq \rho_{\text{mix}}(\lambda)$$

(3)

式中: $\rho_{\text{sub}}(\lambda)$ 为基材波长(λ)的反射率; $\rho_{\text{mix}}(\lambda)$ 为混合油墨波长(λ)的反射率。

CIE1976 $L^*a^*b^*$ 是目前印刷质量评价中应用最广的颜色空间之一, L^* 与 a^* , b^* 均为颜色的心理属性, 心理明度 L^* 代表均匀色空间中相应的明度坐标; 心理彩度 a^* , b^* 代表均匀色空间中, 等明度面内某色点位置的 2 个坐标。在 D65 与 10° 视场角条件下, L^* , a^* , b^* 可确定色域内某一颜色^[15]。在分析不同镀铝纸颜色心理属性一致性中, 所需颜色公式如下:

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L_1^* - L_2^* \\ \Delta a^* &= a_1^* - a_2^* \\ \Delta b^* &= b_1^* - b_2^* \\ \Delta E^* &= \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \end{aligned}$$

(4)

2 实验设计

2.1 设备与材料

该实验使用 IGT G1-5 凹印印刷适性仪来模拟印刷机打样, 为研究不同几何条件对镀铝纸颜色测量的影响, 故使用 X-Rite SpectroEye 分光光度计和 X-Rite ColorEye 7000A 分光光度计测量镀铝纸的光谱反射率以及色度值。同时为了比较不同镀铝纸颜色属性的一致性, 选取了 2 种镀铝纸作为实验对象, 分别命名为镀铝纸 1、镀铝纸 2。2 种镀铝纸分别在 $45^\circ/0^\circ$, SCE 与 SCI 条件下的心理明度与心理彩度值见表 1。

表 1 实验中不同镀铝纸亮度与色度信息
Tab.1 The lightness and chroma value of different experiments of silver-foil paper

几何条件	心理属性	镀铝纸 1	镀铝纸 2
$45^\circ/0^\circ$	L^*	41.32	43.60
	a^*	-1.39	-0.97
	b^*	-1.59	-0.90
SCE	L^*	50.34	52.05
	a^*	-0.49	-0.16
	b^*	-1.2	-0.88
SCI	L^*	89.17	90.03
	a^*	-0.35	-0.18
	b^*	1.19	1.03

2.2 方法

分别使用 X-Rite SpectroEye 分光光度计和 X-Rite ColorEye 7000A 分光光度计获取镀铝纸 1 基材以及打印后的光谱反射率数据, 以 K-M 理论以及反射系数与散射系数中的加和性为依据, 分析比较 $45^\circ/0^\circ$, SCE 和 SCI 等 3 种几何条件下镀铝纸基材和打印后镀铝纸反射率数据, 分析 3 种几何条件下测量数据是否符合计算机配色要求。同时, 比较 3 种几何条件测量数据之间的大小关系。

针对镀铝纸的特殊结构, 为比较不同镀铝纸颜色心理属性, 使用 IGT G1-5 凹印印刷适性仪来模拟印刷机打样, 获得不同墨层厚度的镀铝纸样张, 分别使用 $45^\circ/0^\circ$, SCE 和 SCI 等 3 种几何条件测量同一厚度条件下不同镀铝纸的心理明度 L^* 与心理彩度 a^* , b^* 值, 从镀铝纸基材和印墨后的镀铝纸两方面对镀铝纸的一致性进行分析评价。

3 实验结果与分析

3.1 配色数据与几何条件关系

镀铝纸 1 未打印油墨和打印油墨后镀铝纸在 $45^\circ/0^\circ$, SCE 和 SCI 等 3 种几何条件下的反射率曲线见图 2。由式(3)可知, 打印油墨后的镀铝纸反射率应小于镀铝纸基材的反射率, 由图 2 可知, 在 $45^\circ/0^\circ$, SCE 等 2 种几何条件下测量的 600~700 nm 之间反射率大小为: 打印油墨后大于基材, 即不符合计算机配色数据要求。由此可推出, 在制作基础数据库时, 也会出现打印油墨后反射率大于基材反射率的现象。 $45^\circ/0^\circ$, SCE 不能作为镀铝纸计算机配色数据获取的几何条件。从图 2 还可看出, 该样张反射率规律为: $\text{SCI} > \text{SCE} > 45^\circ/0^\circ$; 还可得出其心理明度 L^* 与心理彩度 a^* , b^* 也存在这样的规律。

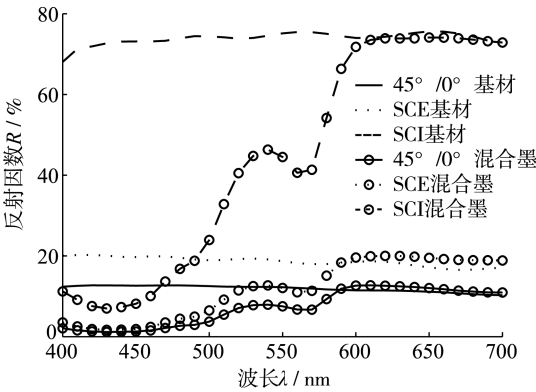


图 2 3 种几何条件镀铝纸反射率
Fig.2 Reflectance of silver-foiled papers under three geometries

3.2 颜色心理属性一致性与几何条件关系

不同镀铝纸在3种几何条件下心理明度差 ΔL^* 、心理彩度差 Δa^* 、 Δb^* 以及色差 ΔE 的关系见图3,同时在不同墨层厚度下也进行了比较。由图3可知,在SCI条件下,2种镀铝纸的心理明度差 ΔL^* 、心理彩度差 Δa^* 、 Δb^* 以及色差 ΔE 最小,并且差值在

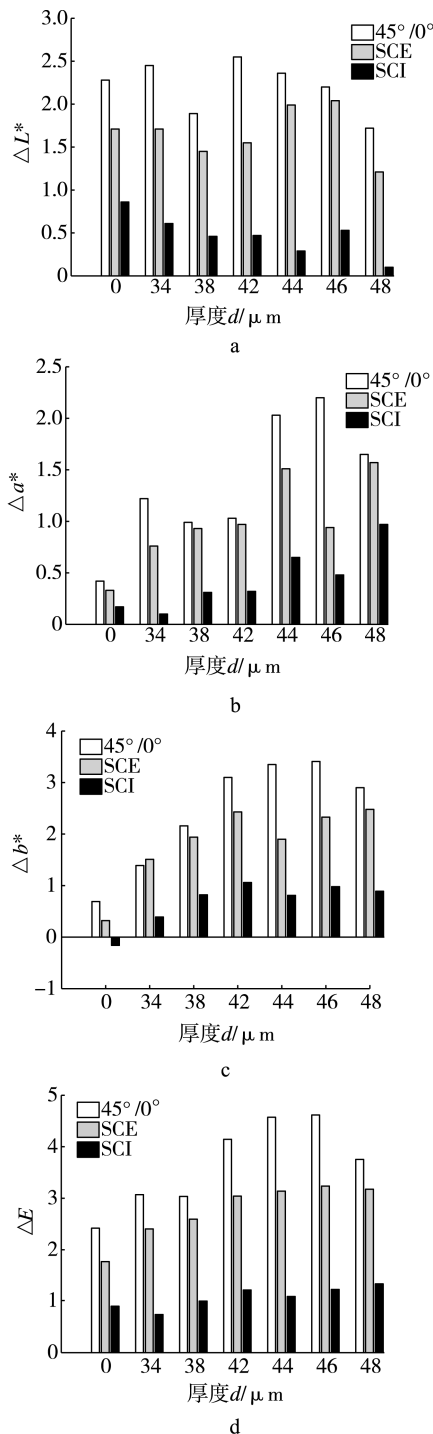


图3 不同镀铝纸在3种几何条件下心理明度差 ΔL^* 、彩度差 Δa^* 、 Δb^* 以及色差 ΔE 的关系

Fig.3 The silver-foiled papers of ΔL^* , Δa^* , Δb^* and ΔE under three geometries

1 上下波动;在 $45^\circ/0^\circ$ 条件下,心理明度差 ΔL^* 、心理彩度差 Δa^* 、 Δb^* 以及色差 ΔE 明显比在SCI条件下要大,并且色差值可达到4以上,说明真实色一致时,表观色也会有较大差异。虽然 $45^\circ/0^\circ$ 、SCE 差值比较相似,但也存在着一定的关系: SCE条件下测量差值介于SCI与 $45^\circ/0^\circ$ 之间。这是因为在SCE测量条件下去测量光亮的镀铝纸时,测量值中会包含少部分的镜面反射光,故 $45^\circ/0^\circ$ 与视觉评价更匹配。由此,在以颜色心理属性 L^* 与 a^* 、 b^* 来评价不同镀铝纸的一致性时,需要不同镀铝纸在SCI条件下测量数据差与在 $45^\circ/0^\circ$ 条件下测量数据差同时相差较小。

4 结语

使用 $45^\circ/0^\circ$ 、SCE与SCI等3种测量条件对不同镀铝纸张样进行了光谱色度测量,并针对镀铝纸配色和镀铝纸颜色心理属性一致性进行了对比分析。实验结果表明, $45^\circ/0^\circ$ 和SCE条件下的测量数据不符合镀铝纸配色要求,故 $45^\circ/0^\circ$ 和SCE不可作为镀铝纸配色中颜色测量条件;不同样张在SCE测得的亮度差 ΔL^* 、色度差 Δa^* 、 Δb^* 以及色差 ΔE 均介于SCI和 $45^\circ/0^\circ$ 之间。这是由于SCE测量颜色成分中包含了部分镜面反射光,即 $45^\circ/0^\circ$ 较SCE更适合作为镀铝纸表观色测量条件,更符合颜色视觉评价。不同镀铝纸在SCI条件下测量数据差与在 $45^\circ/0^\circ$ 条件下测量数据差同时较小时说明两者一致性好。

参考文献:

- [1] 李莹. 纸张表面特性对印刷色彩再现的影响[J]. 包装工程, 2010, 31(7): 25—28.
LI Ying. Influence of Surface Characteristics of Paper on Printing Color Reproduction[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7): 25—28.
- [2] 王学美, 唐万有, 陈婧. 墨层厚度与实地密度关系的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 93—95.
WANG Xue-mei, TANG Wan-you, CHEN Jing. Study of the Relationship between Ink Thickness and Solid Density[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 93—95.
- [3] 丁莹琨. 金银及镭射卡纸印刷色的颜色度量方法研究[D]. 北京: 北京印刷学院, 2013.
DING Ying-kun. Study on the Color Measurement Methods of Printed Colors on the Gold and Silver Paper and the Laser Paper[D]. Beijing: Beijing Institute

- of Graphic Communication, 2013.
- [4] 马煜, 陈苹, 林弋戈. CIE 新推荐的应用于色度学的几何条件[J]. 照明工程学报, 2007, 18(4): 13—15.
MA Yu, CHEN Ping, LIN Yi-ge. The CIE New Comendation of Geometry Condition for Colorimetry[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2007, 18(4): 13—15.
- [5] 邓体俊, 付文亭. 颜色测量仪器的几何结构对陶瓷颜色测量的影响研究[J]. 陶瓷学报, 2015, 36(4): 410—413.
DENG Ti-jun, FU Wen-ting. Effects of Geometric Structure of Color Measuring Instrument on Ceramic Color Measurement[J]. Journal of Ceramics, 2015, 36(4): 410—413.
- [6] YUAN K, YAN H, JIN S. A Type of Spectrophotometer with Both SCI and SCE Measurement Structures[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 124(17): 4672—4677.
- [7] 袁琨, 严惠民, 金尚忠, 等. 基于 D/8 条件的颜色测量仪器 SCE 测量光泽修正模型的设计[J]. 光学学报, 2013, 33(11): 1—7.
YUAN Kun, YAN Hui-min, JIN Shang-zhong. Gloss Modification Model Design of SCE Measure Based on D/8 Condition Color Spectrophotometer[J]. ACTA OPTICA SINICA, 2013, 33(11): 1—7.
- [8] MA J, XU H S, LUO M R. Color Appearance and Visual Measurements for Color Samples with Gloss Effect[J]. Chinese Optics Letters, 2009, 7(9): 869—872.
- [9] PALUMBO P A, WEBER W L. Novel Spectrophotometer for the Measurement of Color and Appearance [J]. Analytica Chimica Acta, 1999, 380: 243—261.
- [10] 张更建. 颜色测量仪器的几何结构及其数据关联性分析[J]. 涂料技术与文摘, 2011, 30(9): 28—36.
ZHANG Geng-jian. Geometry Structure and Data Correlation Analysis of Color Measurement Instruments[J]. Coatings Technology & Abstracts, 2011, 30(9): 28—36.
- [11] VARGAS W E, NIKLASSON G A. Applicability Conditions of the Kubelka-Munk Theory[J]. Applied Optics, 1997, 36(22): 5580—5586.
- [12] FURFERI R, CARFAGNI M. An As-Short-as-Possible Mathematical Assessment of Spectrophotometric Color Matching[J]. J Applied Sci, 2010, 10(18): 2108—2114.
- [13] 郝文静, 赵秀萍. Kubelka-Munk 单常数配色理论与实践[J]. 中国印刷与包装研究, 2009, 1(3): 43—47.
HAO Wen-jing, ZHAO Xiu-ping. Study on Kubelka-Munk Theory with Single Constant and Practice of Computer Color Matching[J]. China Printing and Packaging Study, 2009, 1(3): 43—47.
- [14] 金福江, 汤仪平. 计算机配色中活性染料单位浓度 K/S 值研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2008, 30(1): 83—85.
JIN Fu-jiang, TANG Yi-ping. Study on the K/S Value of Reactive Dyes in Computer Color Matching[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Information & Management Engineering), 2008, 30(1): 83—85.
- [15] 胡威捷, 汤顺青, 朱正芳. 现代颜色技术原理及应用[M]. 北京: 北京科文图书业信息技术有限公司, 2007: 279—281.
HU Wei-jie, TANG Shun-qing, ZHU Zheng-fang. Principle and Application of Modern Color Technology [M]. Beijing: Beijing science and Technology Co, Ltd, 2007: 279—281.