

光学变色防伪油墨的颜色预测模型

徐遵燕, 张逸新, 陈杰, 史公程

(江南大学, 无锡 214122)

摘要:为更好地研究光学变色油墨的显色性能,加大其在半色调印刷品防伪领域的应用,在分析光学变色油墨变色原理的基础上,着重分析了光变油墨中的薄膜理论,由此建立了一个统一的光学油墨半色调印刷品的光谱反射率预测模型。模型能够很好地预测防伪印刷品和油墨的颜色变化,从而为光变油墨的光谱分析提供了很好的理论依据,能更好地控制防伪油墨的颜色变化。

关键词:光学变色油墨;光学变色颜料;光谱预测;防伪;薄膜干涉

中图分类号:TS802.3;TS807 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3563(2011)05-0094-03

Color Prediction Model of Optically Variable Anti-forgery Ink

XU Zun-yan, ZHANG Yi-xin, CHEN Jie, SHI Gong-cheng

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Color change theory of OVI was analyzed with emphases on the film theory of OVI. A general spectral reflectance prediction model for halftones prints of OVI was established based on the analysis. The model can better predict the color of anti-forgery printed matter and ink, so as to provide a theoretical criterion for spectral analysis of OVI and to better control the color change of anti-forgery ink.

Key words: optically variable ink; optically variable pigment; spectral analysis; anti-forgery; film interference

随着经济的快速发展,防伪印刷在产品保护中的作用也就显得越来越重要了,光学变色油墨就是众多防伪材料中防伪油墨的一种。光学变色油墨(简称光变油墨)是20世纪90年代问世的科技含量高而原理简单、制造技术极其复杂的反射型油墨。这种油墨具有珠光和金属效应,因此彩色复印机以及电子扫描仪等仪器都不能复制出来。用光变油墨印刷的图文信息,在不同的角度下观察能看到不同的颜色。经过一定的设计,在 0° 左右正视以及 60° 左右斜视角下观察,将呈现出一对固定的迥然不同的色彩,如品红-蓝、绿-蓝、青-绿等^[1]。这个明显的特点使大众在5 min之内即可用人眼准确识别出变色颜色信息,因此成为一线防伪工具。由于只有当印刷品上的墨层较厚时才能呈现明显的色转移现象,所以光变油墨的印刷特征是其余任何一种油墨和印刷方式不能够伪造的。光变油墨至今仍是各国识别货币真伪的最有效以及最直接的防伪手段。分析和研究光变油墨印刷品的呈色过程有助于从本质上提高印刷图像的质量,因此预测

光变油墨印刷品的色彩就显得十分重要。

1 光学变色颜料

光变油墨的主要核心技术是油墨中使用的光变颜料。它是一种结构特殊、制造复杂的颜料,颜料粒子为极薄片状体,可以通过光学薄膜的粉碎、分级、表面化等处理而合成,因此具有较好的粒度分布。所以每个确定的膜系都具有特定的反射光谱,并随观察角的变化而改变。这种变色颜料继承了光学薄膜的全部化学特性,在墨层表面就极易形成平行排列状态,故遮盖力极强^[2]。这种光学薄膜的平行性是印刷表面具有特定颜色的原因,只要观察的角度以及光线入射角不同,印刷层就会表现出不同的颜色变化。因此,只要准确地运用这种光干涉技术,就可以精确地控制油墨的颜色变化。这正是光学变色油墨用于防伪的关键所在。

目前较理想的光干涉颜料膜系为5层对称式结

收稿日期:2010-10-13

作者简介:徐遵燕(1985—),女,山东济南人,江南大学硕士生,主攻光学变色防伪油墨的印刷特性和色彩预测。

构^[3-4],见图1。膜系厚度在 $1\ \mu\text{m}$ 左右,为了使颜料

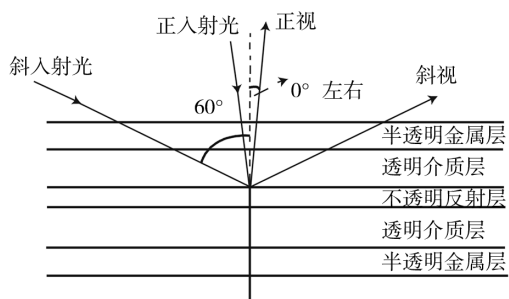


图1 光干涉颜料膜系的结构

Fig. 1 Film structure of optically variable pigment

膜片上下两面具有相同的干涉颜色,颜料膜系的两边是对称的透明无色介质层和部分反射的半透明金属层,而中间是不透明的完全反射层。介质层材料是低折射率的,折射率一般小于 1.65,而这里的反射层和半透明层是仅对于可见光波长而言的(波长约 $400\sim 700\ \text{nm}$)。改变透明介质层的厚度,就能改变膜系的颜色,以获得各种颜色变化的光干涉颜料。

光干涉颜料根据人的观察角度的不同而发生颜色变化,当观察角度改变时,入射光经光学薄膜的平行界面发生反射、折射以及干涉等物理现象。界面折射率差别越大,色彩变化就会越明显。当光学薄膜层的厚度为 $1/4$ 波长的奇数倍时,发生反射光的最大相消干涉,而当薄膜层为厚度的 $1/4$ 波长的偶数倍时,发生反射光的最大相长干涉^[5],从而实现颜色的变化。

2 光变油墨印刷品呈色模型

根据光变油墨的结构,变色油墨是具有波长选择性的多层反射膜,见图2,设纸张的体反射(即表面反

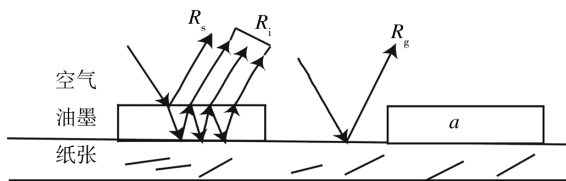


图2 印刷品的反射过程

Fig. 2 Reflection process of prints

射率)为 R_g , R_i 为油墨实地时的反射率, a 为油墨的网点面积率,由 Murry-Davis 模型可知,半色调印刷品的光谱反射率为: $R(\lambda) = (1-a)R_g + aR_i(\lambda)$ 。考虑

到光线在纸张内的横向反射率效应,引入 Yule-Nielsen 修正,现在 Murry-Davis 方程改写为^[6]:

$$R^n(\lambda) = (1-a)R_g^n + aR_i^n(\lambda) \quad (1)$$

这里的 n 是考虑网点光学扩大效应而引入的 Yule-Nielsen 修正系数。

3 油墨多光束干涉模型

把光变油墨中光变颜料的半透明层与透明反射层等价于薄膜层,见图3。由薄膜两表面反射或透射

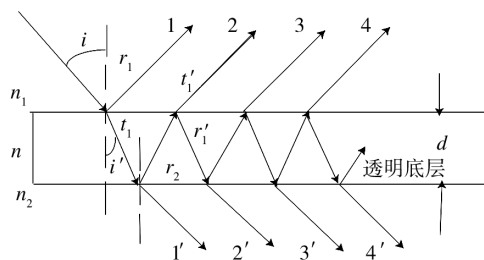


图3 分振幅的多光束干涉

Fig. 3 Multi-beam interference of sub-amplitude

出去的光所产生的干涉,称为薄膜干涉。这种由于薄膜表面的反射和折射将一束光分成 2 束(或多束)相干光的方法称为分振幅法。

见图3,设在折射率为 n_2 的纸张上镀有折射率为 n 、厚度为 d 的一层薄膜,放在折射率为 n_1 的介质中。一束光入射到薄膜上,经膜两表面反射和折射产生多束相干的反射光(1, 2, 3, ...)和透射相干多束光(1', 2', 3', ...);由透镜聚焦而实现相干叠加,分别形成反射干涉场和透射干涉场。

为了计算多光束干涉强度,应先讨论诸相干光束的振幅和相位。设入射光以角度 i 入射到薄膜上,在膜内的折射角为 i' ,相邻两束光的相位差为:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} n d \cos i'$$

令光束从周围介质进入薄膜时的振幅反射系数为 r_1 ,振幅透射系数为 t_1 ;光束从薄膜进入周围介质时的振幅反射系数为 r_2 ,透射系数为 t_2 ;如果入射光振幅为 A ,则从薄膜反射回来的光束 1, 2, 3, ... 的振幅依次为^[7]:

$$r_1 A, t_1 t_1' r_2 A e^{i\delta}, t_1 t_1' r_1' r_2' A e^{2i\delta}, \dots$$

这里: (r, t) 是入射角为 i 时光在界面 n_1/n 的复振幅反射系数和透射系数; (r', t') 是入射角在 i' 时光在界面 n/n_2 的复振幅反射系数和透射系数;角 i 和 i'

满足 $n \sin i' = n_1 \sin i$, 其中 $r = -r'$, $tt' + r^2 = 1$ 。由薄膜理论^[8], 可以得出墨层的振幅反射系数为:

$$r = \frac{(\eta_1 - \eta_2) \cos \delta + i(\eta_1 \eta_2 / \eta - \eta) \sin \delta}{(\eta_1 + \eta_2) \cos \delta + i(\eta_1 \eta_2 / \eta + \eta) \sin \delta} \quad (2)$$

式中: η, η_1, η_2 是引入的有效导纳。 $\eta = n \cos i'$, $\eta_1 = n_1 / \cos i'$, $\eta_2 = n_2 / \cos i'$, 其中: n_1 是空气的折射率 ($n_1 = 1$); n_2 是纸张的折射率; n 是油墨层的折射率。所以, 能量反射率为:

$$R_i = r \cdot r^* = \frac{(\eta_1 - \eta_2)^2 \cos^2 \delta + (\eta_1 \eta_2 / \eta - \eta)^2 \sin^2 \delta}{(\eta_1 + \eta_2)^2 \cos^2 \delta + (\eta_1 \eta_2 / \eta + \eta)^2 \sin^2 \delta} \quad (3)$$

把(3)式代入(1)式, 可得印刷品最终的光谱反射率为:

$$R_i^{\frac{1}{n}}(\lambda) = (1-a)R_i^{\frac{1}{n}} + a \cdot \left[\frac{(\eta_1 - \eta_2)^2 \cos^2 \delta + (\eta_1 \eta_2 / \eta - \eta)^2 \sin^2 \delta}{(\eta_1 + \eta_2)^2 \cos^2 \delta + (\eta_1 \eta_2 / \eta + \eta)^2 \sin^2 \delta} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

由(4)式可知, 对于一个确定的墨层来说, 墨层的反射率 R 是各墨层折射率 n 、纸基折射率 n_2 和相位差 δ 的函数。当膜层的材料 n 、厚度 d 以及入射介质 n_1 均确定以后, 油墨所显示的彩色仅是入射角 i 的函数。只要确定入射角 i , 满足 $\delta = 2\pi$, 就可以得到该膜系在这一自设条件下的最亮显示颜色(波长)。入射角 i 不同, 印刷品的光谱反射率也就随着入射角 i 的变化而变化, 从而得到印刷品的光谱反射率曲线。

4 实验模拟

为了验证模型的准确性, 用 MATLAB 软件模拟新模型式(4)中入射角 i 与光谱反射率 R 的关系。由于受实验条件的限制, 模型中所需要的数据均参考文献[9], 通过 MATLAB 软件进行数据模拟的结果见图 4。

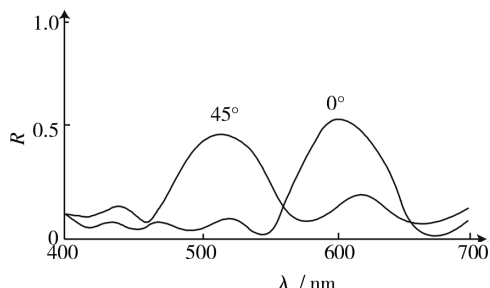


图 4 半色调印品的光谱反射率曲线

Fig. 4 Reflectance curves of color prediction model for halftone image

从图 4 可以看出, 入射角不同, 光谱反射率大小也不同, 但在满足 $\delta = 2\pi$ 时, 反射率会在 0° 或 45° 达到最大, 从而显示出印品的颜色变化, 达到防伪的目的。

5 结论

本文在光学变色油墨变色原理的基础上, 详加分析了油墨中光学薄膜的变色理论, 从而在此理论上建立了一个考虑变色角度以测量光变油墨印刷品和油墨的光谱反射率的预测模型。因为每个确定的膜系都具有特定的反射光谱, 并随着入射角 i 的变化而变化。所以可通过这个模型来分别测量光变油墨在不同角度下的反射率, 从而更加明确地控制光变油墨颜色变化, 大大提高印刷品的防伪作用; 对半色调印刷品反射与透射预测模型的修正具有重要的意义, 进而可提高半色调印刷品和防伪油墨的预测精度。

参考文献:

- [1] 李江. 光学变色油墨[J]. 丝网印刷, 2002(3): 22-24.
- [2] 王荇. 光干涉变色油墨[J]. 烟草科技, 2001(12): 41-42.
- [3] PHILLIPS R W, BLEIKOLM A F. Optical Coatings for Document Security[J]. Applied Optics, 1996, 35(28): 5529-5534.
- [4] BLEIKOLM A F. New Design Opportunities with OVI[J]. SPIE, 1998, 3314: 223-230.
- [5] 朱世琴, 朱为宏, 沈永嘉. 变色颜料[J]. 染料工业, 2001, 38(4): 8-11.
- [6] 张彦, 唐正宁. 基于 Yule-Nielsen 的半色调印刷品的光谱预测模型[J]. 包装工程, 2008, 29(3): 81-83.
- [7] 尹中文, 轩爱华. 光学薄膜反射率的计算[J]. 南阳师范学院学报, 2007, 3(6): 24-27.
- [8] 唐晋发, 顾培夫, 刘旭. 现在光学薄膜技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006.
- [9] PHILLIPS R W. Paired Optically Variable Article with Paired Optically Variable Structures and Ink, Paint and Foll Incorporating the Same and Method; US, 5766738 [P]. 1998-06-16.