

## 不同配比值的专色油墨的光谱密度分布预测

陈晨

(深圳职业技术学院, 广东 深圳 518055)

**摘要:** **目的** 提出一种预测专色油墨任意配比值的光谱密度分布曲线。**方法** 根据密度相加性原理, 专色原色与冲淡后的专色原色的光谱密度分布曲线之间不会相互交错, 而是随专色比例增大平行移动(所测量的光谱密度均为实地密度)。根据 Lambert 理论, 分析了不同浓淡层次的光谱密度, 计算光谱密度系数后, 使用专色 NZSR 与透明冲淡剂制成专色配比值 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 的专色色样, 并测量最终结果。**结果** 测量结果显示, 相同专色配比值的光谱密度曲线, 其预测曲线与测量曲线之间的差别微小。**结论** 理论与实验证明, 所提方法的预测精度较高。同时也提出了光谱密度与光谱反射率之间, 相对测量与绝对测量光谱数据之间的转换方法。为了获得最佳的预测效果, 还提出了最大配比值的概念和测量光谱密度分布的技术要求。

**关键词:** 专色; 透明冲淡剂; 配比值; 光谱密度

中图分类号: TS802.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)17-0243-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.17.035

## Prediction for Spectral Density Distribution of Spot Color Ink with Different Match Ratios

CHEN Chen

(Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

**ABSTRACT:** The work aims to propose a spectral density distribution curve to predict the random proportion of spot color ink. According to the principle of density additivity, the spectral density distribution curves of the primary color of spot color and the diluted primary color would not be intertwined, but move parallel to each other with the increase of spot color proportion (the measured spectral density was solid density). According to Lambert theory, the spectral densities of different concentration were analyzed. After the spectral density coefficient was calculated, the spot color samples with the proportions of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 were made with spot color NZSR and transparent diluents, and the final results were measured. The measured results showed that, the spectral density curve of the same spot color proportion had little difference between the predicted curve and the measured curve. Theoretical and experimental results show that, the proposed method has high prediction accuracy. At the same time, conversion methods between spectral density and spectral reflectance, relative measurement and absolute measurement of spectral data are proposed. To obtain the optimal prediction effect, the concept of maximum proportion and the technical requirements for measuring spectral density distribution are also proposed.

**KEY WORDS:** spot color; transparent diluents; proportion; spectral density

收稿日期: 2018-11-13

作者简介: 陈晨(1988—), 男, 博士, 深圳职业技术学院博士后创新实践基地博士后, 主要研究方向为数字印刷、3D 打印及三维数字化。

随着人们对包装印刷的质量要求越来越高,以专色印刷为主的包装装潢印刷对专色配色的自动化和精度要求也自然提升。目前的专色配色体系常常基于 Kubelka-Munk 理论<sup>[1-7]</sup>,即通过测量光谱反射率来计算吸收比  $K_\lambda$ 和反射比  $S_\lambda$ 之比值  $(K/S)_\lambda$ ,进而计算油墨的单位浓度  $(k/s)_\lambda$ ,从而达到预测光谱反射率的目的。这种专色配色体系虽然可以通过制作少量色样就可实现预测混合色的光谱反射率,但是,基于 Kubelka-Munk 理论的配色方法建立在单色原色色样的测量数据基础上,导致预测精度不够高。文中将针对该缺陷,采取对混合色色样的测量数据拟合求解光谱密度系数,建立光谱密度函数,预测专色配色的光谱密度分布。此方法虽然也需要计算,但是建立在混合色色样的测量数据基础之上,与建立在单色原色色样基础上的 Kubelka-Munk 方法明显不同,并且从理论上具有更高的预测精度。虽然暂限于将该方法用于专色原色与透明冲淡剂相混合的专色配方中,但后续研究也可尝试使用该方法验证其是否适合进行原色与原色混合的预测。

## 1 实验

### 1.1 不同浓淡层次的光谱密度分析

根据 Lambert 理论,厚度与透射率(透射密度)之间存在非线性关系,Beer 发现浓度也与透射率呈指数关系<sup>[8-12]</sup>。平版印刷中,要求墨层厚度保持不变,也就是专色的浓淡层次仅依赖油墨层中颜料的浓度变化。测量专色油墨反射率的过程,实际上就是测量入射光首先穿过油墨层到达纸张表面,然后从纸张表面反射,再一次穿过油墨层之后的反射光通量的比例。油墨的反射率是入射光 2 次透过油墨层和一次经纸张表面反射后的结果。纸张表面的反射是个常量,这样,油墨的反射率(反射密度)就是入射光 2 次透过油墨层后的结果。和透射密度一样,反射密度与浓度  $c$  也呈非线性关系。光谱反射密度  $D_\lambda$ 也具有相同关系,即:

$$D_\lambda = f(c) \quad (1)$$

将某一种专色油墨与透明冲淡剂,取不同的配比混合后,限定墨量(墨层厚度),印刷在白纸上,得到不同浓淡层次的颜色,测量这些颜色的光谱密度值,作波长与光谱密度的分布曲线(见图 1)。可以发现,专色与透明冲淡剂的不同配比值的光谱密度分布曲线之间不会相互交错,而是随着专色比例的增大会产生平行移动。这种现象是由密度的相加性决定<sup>[13-15]</sup>,随着专色比例的增大,光谱密度也增大。这就提示为了得到任意级的专色浓淡层次,无需制

作很多不同配比值的色样,只需制作少量配比值的色样,建立专色配方比值与光谱密度之间的函数模型,通过函数模型就可实现无限级专色浓淡层次的光谱密度的内插。

因为光谱密度具有相加性,可以预测光谱密度  $D_\lambda$ 是不同配比值专色浓度  $c$  的多项式函数。这样,将式(1)写为:

$$D_\lambda = a_n c^n + a_{n-1} c^{n-1} + \dots + a_1 c + a_0 \quad (2)$$

由于密度的相加性,式(2)可以用二次曲线代替,二次曲线就可以很好地模拟其走势。式(2)的二次曲线形式:

$$D_\lambda = a_2 c^2 + a_1 c + a_0 \quad (3)$$

式(2)的直线形式:

$$D_\lambda = a_1 c + a_0 \quad (4)$$

式(1—4)中: $D_\lambda$ 为光谱密度; $c$ 为得到该光谱密度所需的专色配比值; $a_i$ ( $i=0, 1, 2 \dots n$ )称为光谱密度系数; $\lambda$ 为可见光的波长。密度具有可加性,理论上用直线形式就可以得到较理想的预测结果,但是由于入射光进入墨层散射和吸收的不同,因此直线形式在某些波段上预测结果稍差,一般利用二次曲线预测有令人满意的结果。实际应用中可对部分波段使用二次曲线预测,而其他波段用直线预测。

### 1.2 光谱密度系数的确定

通过式(3)或(4)进行多项式回归分析,就可以解得光谱密度系数  $a_2, a_1, a_0$ 。因为密度的可加性,专色的不同浓淡层次的光谱密度曲线彼此不重叠,因此只需几个不同层次的色样便可得到这些光谱密度系数的值。下面具体讨论光谱密度系数的求解过程。首先从光谱密度分布(见图 1)上,任意选取一个光谱波长,例如 480 nm。然后选取该波长对应的各曲线的光谱密度和专色配比值,见表 1。

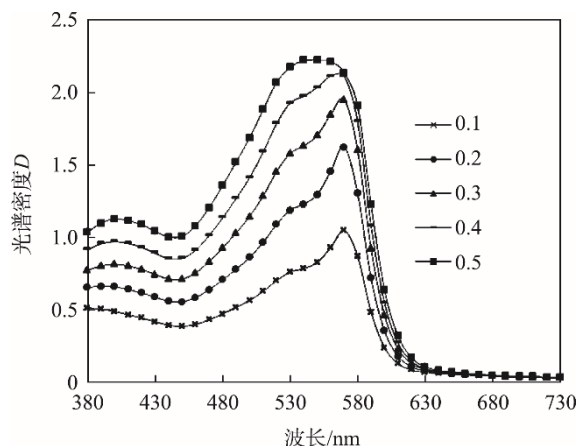


图 1 测量的专色 NZSR 不同配比的光谱密度曲线  
Fig.1 Measured spectral density curves of spot color NZSR with different proportions



### 1.3 实验过程

实验过程就是建立专色配比值与光谱密度关系的过程。首先制作专色色样,然后进行色样光谱反射率或光谱反射密度的测量,最后建立专色配比值的光谱密度函数。

色样制作:首先要确定专色原色的色相,从而确定用墨量,一般需使用专门展色仪进行。然后将专色与透明冲淡剂按不同比例混合,即配比值。配比为0.5,即专色成分占50%,透明冲淡剂占50%;配比为0.1,即专色占10%,透明冲淡剂占90%。混合墨取制作专色原色色相时确定的用墨量(文中不讨论),在展色仪上将该混合色印制在纸张上成为色样。将专色和透明冲淡剂按不同配比混合后印制,得到该专色的不同浓度层次的色样。要求色样的颜色均匀一致、无条痕、无污物等。

实验中最小专色配比值选为0.05,有的为0.1,中间值配比选有0.2,0.3,0.4,最大专色配比选为0.5,有的最大配比为0.6。为了达到更高的光谱内插精度,可将最小配比选得更小,即制作更小配比的色样,但至少要有3个不同的中间配比的色样。最大专色配比值根据原色(不加透明冲淡剂)而定。对较稠的原色,须降低最大配比值,相反可加大最大配比值。最小和最大专色配比值的选取、中间配比值数量的选取,将关系到以后配色应用的精度,也关系到预测精度。

不同配比值的色样具有相同形状的光谱密度曲线,但是原色(不加透明冲淡剂)的光谱密度分布曲线在形状上有一定差别。这是因为原色色样中没有透明冲淡剂的参与,其他专色配比值的色样中有透明冲淡剂,就是透明冲淡剂影响了光谱密度分布曲线的形状。图3中的曲线“原色”是专色原色NZSY的光谱密度分布,其他曲线是其与透明冲淡剂不同配比值的光谱密度分布。原色与其他配比值色样的光谱密度曲线形状的不同不会影响其应用。最大专色配比值的色样作为专色层次的最高光谱密度曲线使用,对于实际应用应该尽可能找到最大专色配比值。在图3中配比为0.5的曲线(用“0.5测量”标识)已经与原色的曲线(用“原色”标识)很接近,所以取0.5为最大专色配比值。

数据测量:待色样充分干燥后测量其光谱反射率或光谱反射密度,至少需在色样中3个不同位置进行测量,取其平均光谱测量数据。测量白基准可以采用纸张白(Pap)或绝对白(Abs),不过测量时最好使用相同的白基准。基于纸张白基准和绝对白基准的光谱密度数据可以通过式(6)相互转换:

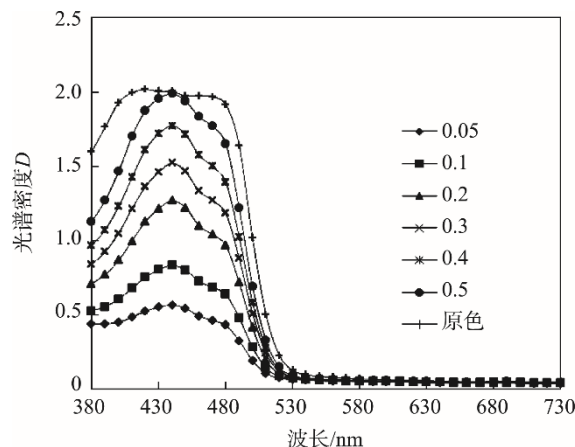


图3 原色与其他配比值色样的光谱密度曲线  
Fig.3 Spectral density curves of primary colors and color samples with different proportions

$$D_{\text{Pap}} = D_{\text{Abs}} - D_{\text{PW}} \quad (6)$$

式中: $D_{\text{Pap}}$ 是相对于纸张白为基准白测量(亦称相对测量)的光谱密度值; $D_{\text{Abs}}$ 是基于绝对白测量(亦称绝对测量)的光谱密度值,该值包含有纸张的密度; $D_{\text{PW}}$ 是纸张本身相对于绝对白的密度值。而基于纸张白基准和绝对白基准的光谱反射率数据可以通过式(7)相互转换:

$$\rho_{\text{Abs}} = \rho_{\text{Pap}} \cdot \rho_{\text{PW}} \quad (7)$$

式中: $\rho_{\text{Abs}}$ 为基于绝对测量的光谱反射率; $\rho_{\text{Pap}}$ 是基于相对测量的光谱反射率; $\rho_{\text{PW}}$ 是纸张本身相对于绝对白的反射率。因此,只需知道纸张的光谱数据,就可以进行绝对测量与相对测量之间的光谱数据转换。

## 2 结果

将专色NZSR与透明冲淡剂制成专色配比为0.1,0.2,0.3,0.4,0.5的专色色样,用分光光度仪测量其光谱密度分布,见图1。再将专色配比值代入NZSR与透明冲淡剂配比的光谱密度函数式(5)中,预测各专色配比的光谱密度分布。上述5个专色配比值的预测光谱密度分布见图2。比较图1与图2中相同专色配比值的光谱密度曲线,预测曲线与测量曲线差别甚微。对其他几个专色进行了类似的配方、色样制作、光谱密度测量、光谱密度系数计算、光谱密度分布预测等过程,同样得到了令人满意的预测结果(见图4)。其中图4a是专色NZSY不同配比值的色样,用分光光度仪测量得到的光谱密度分布和其预测光谱密度分布;图4b是专色G的光谱密度分布测量值和预测值;图4c是专色QC的光谱密度分布测量值和预测值。

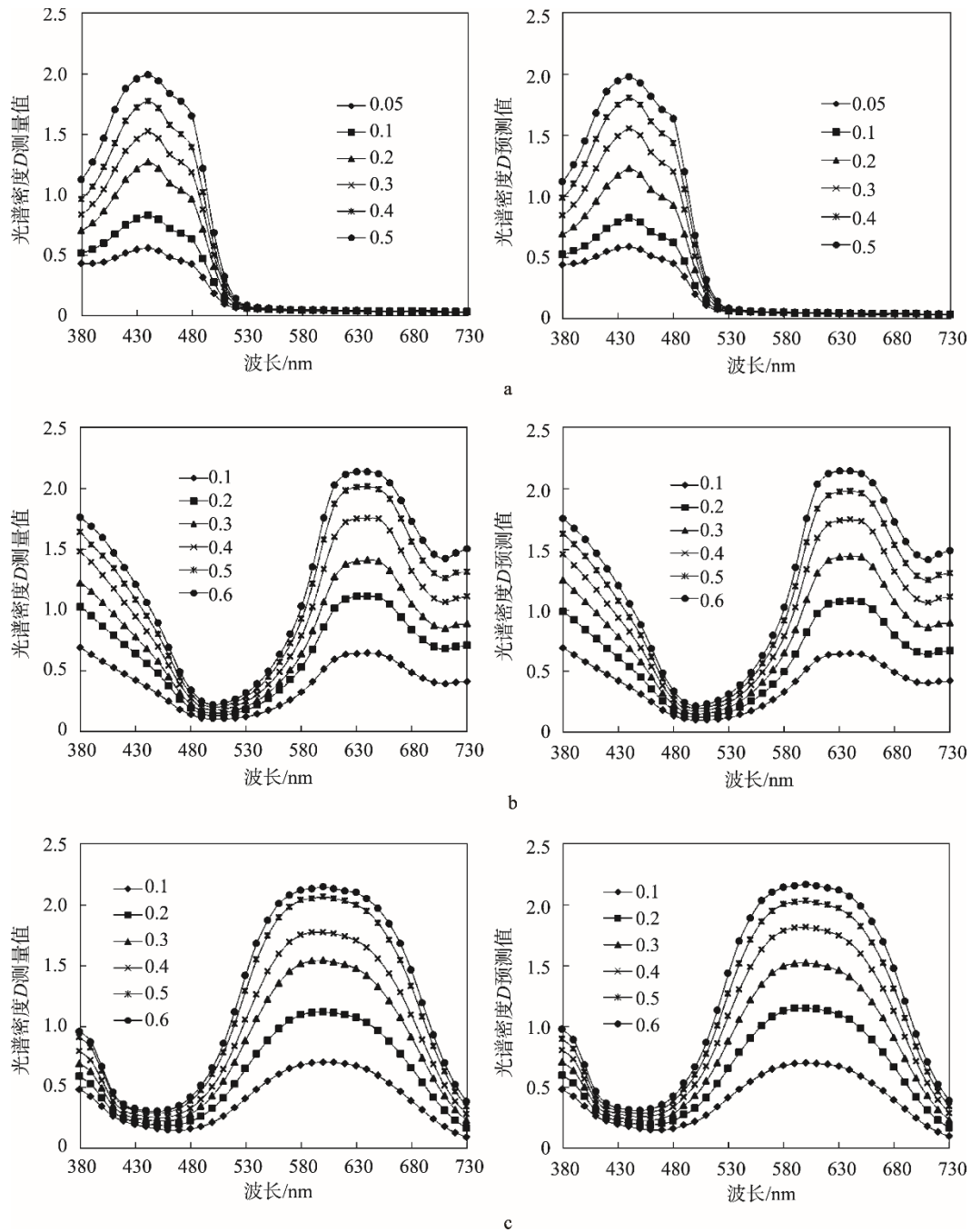


图 4 专色与透明冲淡剂不同配比值的测量与预测光谱密度分布

Fig.4 Measured and predicted spectral density distribution for different proportions of spot color and transparent diluents

### 3 结语

为了能够充分使用专色的最大色域,最好能够通过色样的制作找到最大配比值。最大配比值不会是 1.0,即不会是原色(未加入透明冲淡剂),所以最大配比值一般小于 1。由于透明冲淡剂并不是完全中性,与原色混合后的颜色光谱分布形状发生改变,所以专色原色不能参与所述的光谱密度分布的预测。最小配比值根据需要可以取得更小。色样的质量和数量对光

谱密度的预测起到关键作用。要求每个色样一定要配比精确、混合均匀、用墨量准确、颜色均匀一致。在最小和最大配比值范围内需均匀分布至少 3 个配比值的色样,也就是说,至少有 5 条以上的测量光谱密度分布曲线用于光谱密度系数的计算,才能获得最佳的预测效果。另外,相同色相而不同浓淡层次的测量光谱密度分布曲线一定具有相加趋势,亦即每条测量曲线光滑,不能出现突变,曲线之间不能出现交错。如果曲线波动过大,一定是色样制作出现了问题。另外,所采用的方法仅适用于专色原色与透明冲淡剂相

混合的专色配方,对由多色油墨调配专色油墨的情况是否适用未做研究。

#### 参考文献:

- [1] SCHABBACH L M, BONDIOLI F, FREDEL M C. Color Prediction with Simplified Kubelka-Munk Model in Glazes Containing  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{ZrSiO}_4$  Coral Pink Pigments[J]. *Dyes and Pigments*, 2013, 99: 1029—1035.
- [2] HU Xing-xue, ANDY B, WILLIAM M. Interfacial Corrections of Maxillofacial Elastomers for Kubelka-Munk Theory Using Non-contact Measurements[J]. *Dental Materials*, 2009, 25(9): 1163—1168.
- [3] MAJID M, SAEED B, ALI J. Influence of Silane Structure on Curing Behavior and Surface Properties of Sol-gel Based UV-curable Organic-inorganic Hybrid Coatings[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2014(1): 1191—1199.
- [4] ZORICA C O, MARTA K G, BORIS O. Application of the Kubelka-Munk Theory for the Determination of the Optical Properties of Solar Absorbing Paints[J]. *Progress in Organic Coatings*, 1997, 30(1): 59—66.
- [5] HE Yan, ZHANG Xiong, ZHANG Yong-juan. Kubelka-Munk Revised Theory for High Solar Reflectance and High Long-wave Emissivity Coatings Designing[J]. *Journal of Wuhan University of Technology(Materials Science)*, 2016, 31(1): 100—107.
- [6] BONHAM J S. Fluorescence and Kubelka-Munk Theory[J]. *Color Research and Application*, 1986(11): 223—230.
- [7] 李小梅. 颜色技术原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 211—246.
- LI Xiao-mei. Principle of Color Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 211—246.
- [8] İCELLI Orhan, YALCIN Zeynel, VATAN Ilgaz, et al. The Spectral Applications of Beer-Lambert Law for Some Biological and Dosimetric Materials[J]. *AIP Conference Proceedings*, 2014, 1611: 199—203.
- [9] GU Xiao-he, ZHANG Jing-cheng, YANG Gui-jun, et al. Inversion of Paddy Leaf Area Index Using Beer-Lambert Law and HJ-1/2 CCD Image[P]. 2013.
- [10] KIM Sung-Chul, KIM Hyuck-Soo, SEO Byoung-Hwan, et al. Phytoavailability Control Based Management for Paddy Soil Contaminated with Cd and Pb: Implications for Safer Rice Production[J]. *Geoderma*, 2016, 270: 83—88.
- [11] NORIUSDIANA M Y, FARRAH M M. The Use of Multi-Temporal Landsat Imageries in Detecting Seasonal Crop Abandonment[J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(9): 11974—11991.
- [12] 陈怡. 纯的和 not 纯的碱性染料对比尔: 朗伯定律的一致性[J]. *印染译丛*, 1991(4): 86—91.
- CHEN Yi. Comparison of Pure and Impure Alkaline Dye: Consistency of Lambert's Law[J]. *Printing and Dyeing Translations*, 1991(4): 86—91.
- [13] 朱元泓. 一种新的网目印刷光谱预测模型[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2007, 32(7): 654—657.
- ZHU Yuan-hong. A New Mesh Printing Spectral Prediction Model[J]. *Wuhan University (Information Science Edition)*, 2007, 32(7): 654—657.
- [14] 朱元泓. 印刷色彩[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 46—50.
- ZHU Yuan-hong. *Printing Chromatics*[M]. Beijing: Chinese Light Industry Press, 2013: 46—50.
- [15] SCHLAEPFE K. *Farbmetrik in der Reproduktion und im Mehrfarbendruck*[M]. UGRA, 2000: 123—129.