

文章编号: 1006-4710(2012)01-0067-05

尤尔-尼尔逊公式的理论误差探悉

成刚虎, 王文杰

(西安理工大学 印刷包装工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 默里-戴维斯公式以及尤尔-尼尔逊公式都可以确定网点密度与网点面积率的关系,常在计算网点面积率、分析网点扩大、进行工艺参数识别(制版时的曝光控制、印刷时的压力调节等)与优化等工艺实践中应用广泛。实践中人们更趋于应用后者,认为其结果更接近现实。针对这一认识误区,通过理论分析和仿真实验,揭示了尤尔-尼尔逊公式存在理论误差,在不考虑工艺因素影响下,该公式只在极少数密度点无计算误差,在其余点均存在非线性误差。

关键词: 网点密度; 网点面积率; 尤尔-尼尔逊公式; 默里-戴维斯公式

中图分类号: TS801.3, TP3

文献标志码: A

Probing into Yule-Nielsen Formula's Theoretical Errors

CHENG Ganghu, WANG Wenjie

(Faculty of Printing and Packaging Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Murray-Davies and Yule-Nielsen formula can confirm the relationship between the dot density and dot area ratio, it is used widely to formulate dot area ratio, analyze dot gain, distinguish the technological parameter(exposure control in plate making, express pressure adjustment in printing)and optimizing. In practice, the people prefer to the latter and regard the result as the reality. But this paper via theoretical analysis and simulated experiment reveals that there exist theoretical errors in Yule-Nielsen formula, and in the case of non-considering the technological element influence, there exist no calculation errors in only a few density dots, and there exist the nonlinear errors in the rest of other dots.

Key words: dot density; dot area ratio; Yule-Nielsen formula; Murray-Davies formula

网点呈像原理与网点组织色彩原理是现代彩色印刷的主要理论基石^[1-4]。网点是印刷的最小单位,网点大小的确定是印刷品成像质量的前提保证^[1-2]。

颜色的密度学体系最早被人们所认识并加以运用,关于网点密度与网点面积率的关系研究,1927年出现了赫赫有名的默里-戴维斯公式,后来考虑工艺误差影响,50年后又发展出了众所周知的尤尔-尼尔逊公式。

但是,长期以来的实践表明,在运用尤尔-尼尔逊公式时总是存在处理误差^[5-6],于是围绕公式中 n 值的确定^[6-8],人们又做了很多实验研究,发表了众多相关论文。客观地说,这些研究,都取得了有价值的成果,但总是存在不支持这些研究结论的事实。

本文通过深入分析,揭示了尤尔-尼尔逊公式本身就存在理论误差。

1 网点密度与网点面积率的关系

以不同程度群集起来的网点,凭借吸收与反射所形成的光学效应,使人产生视觉上的差异,从而得到印刷图像画面的明暗阶调。

不同程度群集起来的网点所产生的视觉上的明暗变化,可以用网点面积率度量。所谓网点面积率,就是指在单位面积上群集的所有网点面积之和与总面积之比。度量群集的网点面积率的多少,业界认为,最有效的方法就是密度测量法。

网点面积率与网点反射(透射亦然)密度之间的关系推导,经历了以下四个发展阶段。

收稿日期: 2011-09-25

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划研究项目(2010JK706)。

作者简介: 成刚虎(1962-),男,陕西西安人,教授,研究方向为印刷机械理论与应用及系统仿真设计、机械动力学。

E-mail: chengao@xaut.edu.cn。

1.1 理想模型阶段

所谓理想模型,就是对纸张和油墨做了理想的简化,认为油墨印刷网点的吸收密度为无穷大(不射光),而承印物(如纸张)空白部分则全部反射(不吸收)。在这一简化模型下,印刷网点的反射密度 D_r 与其网点面积率 a 之间的关系为:

$$D_r = \lg \frac{1}{1-a} \quad (1)$$

即:

$$a = 1 - 10^{-D_r} \quad (2)$$

式中, $1-a = \rho$ 为对应的群集网点的密度值(简称网点密度)。

因此,要计算反射网点面积率 a ,只要测知 D_r 即可。

1.2 计入油墨实地密度阶段

实际印刷品上,油墨的吸收密度受纸张、墨层厚度及颜色等因素的影响,使印刷油墨的实地密度 D_s 通常只有1.00~1.60。因此,印刷品的反射网点密度 D_r 将受到实地密度 D_s 的影响。

对于不同的实地密度 D_s (与之对应的反射率为 ρ_s),其网点部分的反射率应为 $a \times \rho_s$,如图1所示。因此,其网点总反射率 ρ 为:

$$\rho = (1-a) + (a \times \rho_s) \quad (3)$$

所以,印刷网点面积率为 a 的反射密度 D_r 为:

$$D_r = \lg \frac{1}{\rho} = \lg \frac{1}{1-a(1-\rho_s)} \quad (4)$$

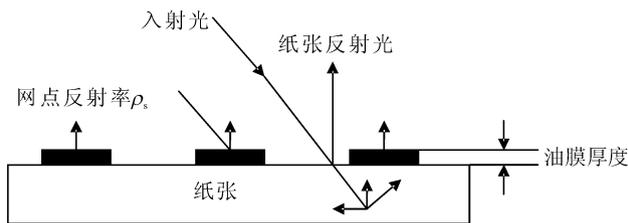


图1 印刷网点反射示意图

Fig.1 Diagram of printing dot reflection

由 $D_s = \lg \frac{1}{\rho_s}$ 可知 $\rho_s = 10^{-D_s}$,将其代入公式(4)可得:

$$D_r = \lg \frac{1}{1-a(1-10^{-D_s})} \quad (5)$$

即:

$$a = \frac{1 - 10^{-D_r}}{1 - 10^{-D_s}} \quad (6)$$

式中, a 为所测印刷样品的网点面积率; D_r 为所测印刷样品的网点反射密度; D_s 为所测印刷样品的实地反射密度。

式(6)即为最原始的默里-戴维斯(Murray-

Davis)公式,是网点面积率与密度换算的一般公式。对任意群集网点,测知其反射密度 D_r ,则可依据式(6)换算成印刷品的网点面积率。

1.3 默里-戴维斯公式的改良阶段

对于默里-戴维斯公式的计算结果与实际情况发生偏离这一问题,人们认为其影响因素主要来源于各种现实工作条件,包括:①纸张的光渗效应;②进入纸张内的光线的多重反射;③网屏线数。

由于这些条件的影响,尤尔(J. A. C. Yule)和尼尔逊(W. J. Nielsen)引入补偿修正系数 n ,对默里-戴维斯公式(6)进行了指数修正:

$$a = \frac{1 - 10^{-\frac{D_r}{n}}}{1 - 10^{-\frac{D_s}{n}}} \quad (7)$$

式(7)即为尤尔-尼尔逊公式。较之于默里-戴维斯公式,尤尔-尼尔逊公式自提出以后,受到了更多业界人士的认可,从而其应用更加频繁,只是 n 值要根据实验来确定,比较麻烦。但许多学者对此进行了专门的研究,得出了一些很有参考价值的 n 值数据^[1]。

1.4 同时计入纸张影响和油墨实地密度影响阶段

默里-戴维斯公式的推导过程中,考虑了油墨(实地密度)的影响,但是并没有考虑纸张空白区域的密度影响,仍然认为“纸张空白部分是全反射(不吸收)的”。这显然有失偏颇。纸张的空白密度肯定存在的,而且不同类型的纸张差异很大。

如果考虑纸张影响,借助于图1,便可以取得另一种形式的网点密度关系式。

对于不同的纸张密度 D_0 (对应反射率 ρ_0),空白区域的面积为 $(1-a)$,由此产生的反射率为 $(1-a) \times \rho_0$;对于实地密度 D_s (对应反射率 ρ_s),由此产生的反射率为 $a \times \rho_s$,这两部分之和就是总反射率 ρ ,即:

$$\rho = (1-a) \times \rho_0 + (a \times \rho_s) \quad (8)$$

所以,印刷网点面积率为 a 的反射密度 D_r 为:

$$D_r = \lg \frac{1}{\rho} = \lg \frac{1}{(1-a) \times \rho_0 + (a \times \rho_s)} \quad (9)$$

由此可得:

$$a = \frac{10^{-D_0} - 10^{-D_r}}{10^{-D_0} - 10^{-D_s}} \quad (10)$$

式中, D_0 为所测印刷承印纸张的空白区域反射密度,其余符号意义同前。

对任意群集网点,能测知其反射密度 D_r ,则可依据式(10)计算印刷品的网点面积率。这也是我国新闻出版行业标准“平版印刷品质量要求及检验方

法”(CY/T-1999)中规定采用的网点面积率计算公式,本文姑且称之为标准计算式。

2 尤尔 - 尼尔逊公式的理论误差探悉

2.1 理论分析

为分析尤尔 - 尼尔逊公式(Yule-Nielsen),这里将式(10)进行恒等变换,可得:

$$a = \frac{1 - 10^{-(D_r - D_0)}}{1 - 10^{-(D_s - D_0)}} \quad (11)$$

比较式(7)和式(6)可以看出,由于一般情况下 n 值总是大于1的,因此,尤尔 - 尼尔逊公式的计算结果总是小于默里 - 戴维斯公式的,而且二者之间的偏差是变化的。

比较式(7)和式(11)不难发现,二者形式很接近,但还是有些许差异。他们都是网点密度的指数函数,在给定的印刷条件下,纸张密度、油墨实地密度保持常数, n 值选定后,两个公式中的分母部分均为

常数,而分子部分都是随网点密度而变化的,而且在一定的密度(纸张密度和油墨实地密度之间)范围内,二者都是单调增长的。但是,考察二者的指数部分(或通过求导计算)可知,他们在增长速度上存在较大差异。更有说服力的是,即使精心选择了 n 值,如果联立求解两个方程,就会发现二者只有两个交点,其中一个交点在实地密度点,这一交点很稳定,不随 n 值的选择而变化;另一个交点随 n 值的选择而变化, n 值较大时,它位于靠前位置, n 值较小时,它位于靠后位置。这就是说,尤尔 - 尼尔逊公式只在两个点无计算误差,其余密度下的计算均含有非线性误差。

2.2 仿真分析

将公式(6)、(7)、(10)三者的计算结果放在同一坐标系上,通过如图2所示的仿真曲线可以对它们进行直观比较。

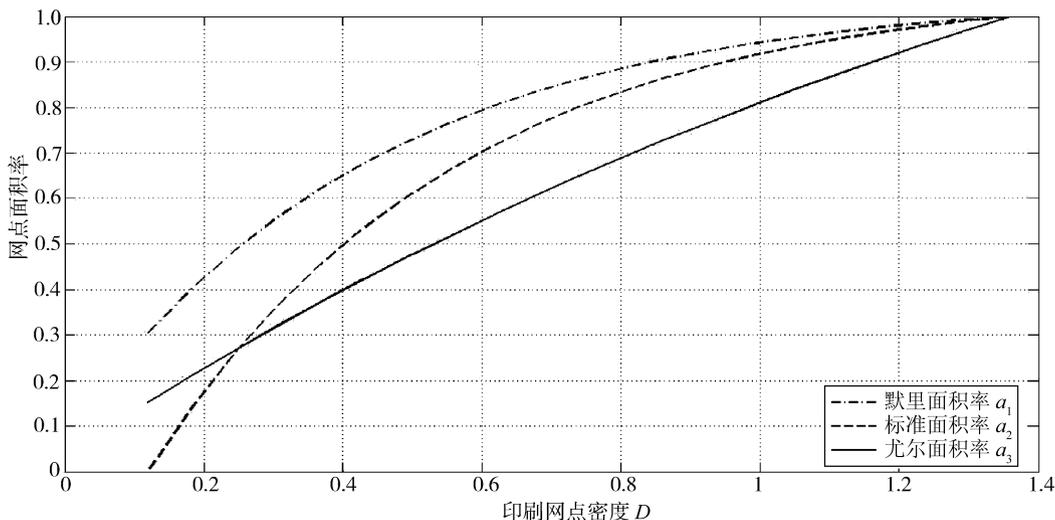


图2 三种面积率 - 网点密度关系曲线比较示例

Fig. 2 The curves comparison on three kinds of area ratio and dot density

为了进一步揭示尤尔 - 尼尔逊公式对默里 - 戴维斯公式的“改良”效果,这里做一点简单的数值分析。假设 D_0 (即纸张密度)的范围为0.12 ~ 0.18,根据文献[1]可知,油墨实地密度 D_s 一般为1.00 ~ 1.60,这里取 $D_s = 1.36$, n 值随加网线数增大,可取1.2 ~ 5,那么,部分条件下面积率与网点密度之间的关系示于图3,图中小括号内的三个参数对应于 (D_0, n, D_s) 。

由于其理想化的假设,较之于标准公式计算值,默里 - 戴维斯公式计算的网点面积率全部偏大;而且亮调部分误差较大,暗调误差较小。

以标准计算值为参考,可以分析尤尔 - 尼尔逊公式的改良作用和相对误差:尤尔 - 尼尔逊公式计

算的网点面积率总是小于默里 - 戴维斯公式的计算结果。在 n 值较小($n = 1.2$)时,在网点密度从纸张密度到实地密度的全密度范围内,尤尔 - 尼尔逊公式确有对默里 - 戴维斯公式的改良作用,面积率计算值减小且更接近理论值;随着 n 值的增大,这种改良作用逐渐减弱,在 $n = 2$ 时,多数密度范围已经出现矫枉过正现象,但是只有少数情况会产生更大的误差,这表明,此时尤尔 - 尼尔逊公式仍有部分的改良作用,只是其作用大小已经在逐渐减弱;当 $n = 4$ 时,多数密度范围的面积率计算出现的计算误差已经很大了,有的密度下误差甚至超过20%,反而超过了默里 - 戴维斯公式的误差。这种情况下显然已不再是改良了。

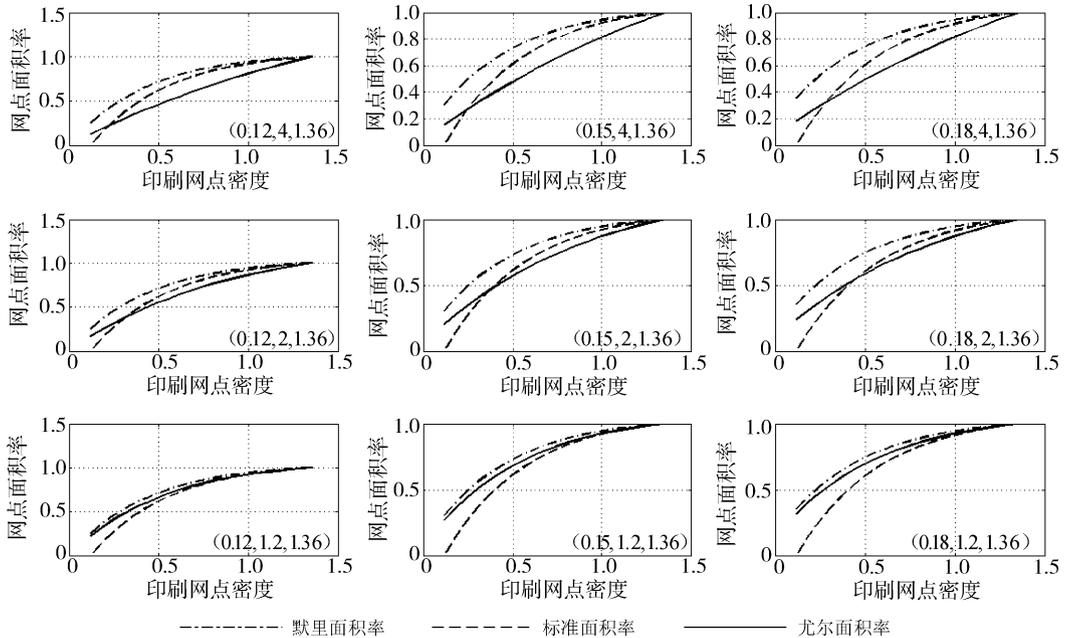


图3 面积率 - 网点密度关系仿真曲线

Fig. 3 The simulation curves of the relationship between area rate and dot density

比较标准计算值和分析尤尔 - 尼尔逊公式的计算值可以看出,在全密度范围内,二者之间基本上存在着误差,而且误差的大小是变化的,只是极少数密度下,无误差或者误差很小。

2.3 分析与讨论

前面进行了理论分析,并且只做了部分条件下的仿真分析,但是从中还是可以发现具有共性的东西。

相对于标准计算(也有人认为是相对密度计算)结果,(原始的)默里 - 戴维斯公式计算结果总是偏大,而尤尔 - 尼尔逊公式计算结果则不然。因为相对于默里 - 戴维斯公式,尤尔 - 尼尔逊公式计算结果总是较小,而且有的条件下,可能会更接近理论标准值,因此,似乎有改良作用。这也是长期以来给人们造成错觉的原因。但是,相对于标准计算结果,尤尔 - 尼尔逊公式还是存在较大误差,有的密度时结果(方向)偏大,有的密度时结果偏小,有时误差大,有时误差小。在印刷复制精度要求日益提高的今天,这是一种潜在威胁。

3 结论

本文在不计工艺误差(工艺过程误差、测量误差等)基础上,仅仅从理论角度考察了网点密度与网点面积率的三种计算公式,对尤尔 - 尼尔逊公式的应用误差进行了理论分析和仿真讨论,取得了如

下研究结论:

1) 相对于最原始的默里 - 戴维斯公式,在一定的条件下,尤尔 - 尼尔逊公式确有改良作用,但是,理论分析与数值仿真均表明,这种改良效果是很有限的;

2) 无论如何精心选择 n 值,相对于标准计算公式,尤尔 - 尼尔逊公式的误差都是不可忽略的,在全密度范围(纸张密度和油墨实地密度之间)内只在极少数点没有误差;

3) 尤尔 - 尼尔逊公式存在理论误差,不存在包含全色调范围的最佳 n 值选择问题,使用时需要谨慎,充分考虑其影响。对于高精度印刷,建议不要使用。

参考文献:

- [1] 胡成发. 印刷色彩与色度学[M]. 北京:印刷工业出版社,1993.
- [2] 张亚萍. 应用色彩学解释彩色印刷品的网点成色[J]. 印刷世界,2006,(8):16-19.
Zhang Yaping. Application of color science to explain the dot fineness of color print[J]. Print World, 2006,(8): 16-19.
- [3] 成刚虎,熊康鹏. 纽堡方程的理论价值及其局限性分析[J]. 中国印刷与包装研究,2010,2(5):24-28.
Cheng Ganghu, Xiong Kangpeng. Study on theoretical value and limitations of Neugebauer equation[J]. China Printing and Packaging Study, 2010,2(5): 24-28.

- [4] 成刚虎, 王西珍. 纽介堡方程应用误差的理论探析[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(1): 74-78.
Cheng Ganghu, Wang Xizhen. Application error analysis to Neugebauer equation[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(1): 74-78.
- [5] 唐正宁, 张逸新, 周春霞. 非涂料纸印刷网点尤尔-尼尔逊效应的理论研究[J]. 无锡轻工大学学报, 1999, 18(4): 80-86.
Tang Zhengning, Zhang Yixin, Zhou Chunxia. Yule-Nielsen effect of noncoated paper for printing dot[J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 1999, 18(4): 80-86.
- [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.
Zhang Yan, Tang Zhengning. Spectral prediction model for half tone prints based on Yule-Nielsen equation[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 81-83.
- [7] 郑元林, 曹从军, 戚永红. 网点密度和网点面积率转换时 n 值的确定[J]. 印刷世界, 2004, (9): 32-34.
Zheng Yuanlin, Cao Congjun, Qi Yonghong. The determination of n value in the conversion of the dot density and dot area[J]. Print World, 2004, (9): 32-34.
- [8] 李向亭, 刘真. 网点扩展与 Murray-Davies 公式两种修正形式[J]. 测绘学院学报, 1996, (3): 215-217.
Li Xiangting, Liu Zhen. The dot gain and two modified methods or Murray-Davies formula[J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 1996, (3): 215-217.

(责任编辑 王卫勋)