油墨转移渗透对印品质量影响的模型研究

刘莹莹，钱军浩
（江南大学，无锡 214122）

摘要：介绍了油墨在纸张中的渗透行为对印刷质量的影响，分析了纸张性质、印刷条件与油墨转移渗透的关系。油墨在纸张中的渗透深度可以采用测量的方法得到，也可以通过模型进行计算预测，对比分析了目前各种渗透深度计算方法的优缺点。分析表明，通过确定各印刷条件、油墨和纸张的相关参数，就可以对印刷质量进行预测。最后提出了一种补充修正方法。

关键词：油墨渗透；印刷质量；渗透模型；K-M 理论
中图分类号：TS807；TS802　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2012)03-0117-04

Study of Print Quality Model Based on Ink Transfer and Penetration

LIU Ying-ying，*QIAN Jun-hao*
（Jiangnan University，Wuxi 214122，China）

Abstract：The influence of ink penetration on print quality was introduced. The relations among paper properties，printing conditions，and ink transfer were analyzed. The depth of ink penetration can be obtained by measurement and forecast model calculation；the advantages and disadvantages of current methods of calculating ink permeating depth were analyzed. It was concluded that printing quality can be forecast through determination of printing conditions and parameters of ink and paper. Finally a complementary process was proposed.

Key words：ink penetration；printing quality；permeating model；K-M theory

产品的印刷质量与纸张和油墨的接触性有很大关系。油墨主要表现为较强的吸收性，纸张主要再现为较强的散射性。油墨在纸张纤维孔隙中渗透后，如果渗透深度过大，会导致透印、墨迹不牢、起粉、色差大等问题；反之，会使油墨干燥速度太慢，引起印品背面蹭脏以及粘连现象[1-2]。纸张具有合适的油墨吸收性不但可以提高印刷品的光泽度、网点清晰度等，同时还能提高印刷机器的运转适性，提高生产效率[3]。掌握纸张的吸收性、油墨的渗透性，是合理制定印刷工艺、研究印刷机理、提高印刷品质量的重要方面[4]。

1　印刷条件与油墨转移渗透

当纸张进入压印区时，油墨首先在压力作用下完成加压渗透；纸张通过压印区后，油墨在纸张表面毛细管作用下进行自由渗透。渗透行为受到纸张表面性能、油墨特性、印刷速度以及印刷压力等因素的影响，渗透深度对印品的质量有着决定性的影响，其中自由渗透阶段更为重要[2]。

一般来说，油墨在胶版纸内的加压渗透深度要大于自由渗透深度，加压渗透占主导地位。纸的紧度、平滑度也会影响油墨的渗透，且二者是综合起作用的[5]。不同纸张的吸收情况不同，胶版纸吸墨性对压力的敏感性强于铜版纸，在相同条件下，铜版纸对印刷压力的要求相对较低。对同一种纸，在相同印刷条件下，印刷压力增大，油墨渗透深度先上升后下降，随着印刷速度的提高，油墨渗透深度逐渐降低。当然，多孔的纸张因毛细管作用明显，会使得油墨渗透快而干燥速度加快，可减少网点扩大。若考虑毛细管的分布情况，则吸收情况更为复杂。胡更生等人对纸张毛细管分布与油墨渗透的关系进行了研究[6-9]。

收稿日期：2011-09-14

作者简介：刘莹莹(1987－)，女，山东人，江南大学硕士生，主攻印刷质量的检测与控制。

2 油墨转移渗透

2.1 基于 K-M 理论的油墨渗透量化法

基于 K-M 理论，可通过测量印品对光的反射率量化计算油墨的渗透深度[12]。向阳、顾小平等人应用 K-M 理论推导计算了油墨的平均渗透深度。由 K－M 理论，通过测量各种印品的反射率，可以得到渗透深度的理论模型[10,13]为：

$$\frac{x_P}{x}=\ln\left[\frac{(1-R_xR_\infty)(1-R_q/R_\infty)}{(1-R_qR_\infty)(1-R_x/R_\infty)}\right]/\ln\left[\frac{(1-R_xR_\infty)(1-R_p/R_\infty)}{(1-R_pR_\infty)(1-R_x/R_\infty)}\right] \tag{1}$$

式中：x_P 为精确的平均深度；x 为纸张表面的微观平均高度；R_x 为单张纸覆盖在印品表面上时的反射值；R_∞ 为未印刷之前纸张的反射率；R_p 为印刷后的纸张衬以不透明纸垫的反射率；R_q 为印刷后的纸张的背面衬以不透明纸垫的反射率。

考虑到纸表面的均一性，一般先测量 x，然后得到 x_p 值。该方法不破坏纸张，但精确测量不同性能纸张的反射率存在困难。

2.2 动态接触角理论[14]的油墨转移

油墨渗透过程涉及气、液、固 3 相，又有静态渗透和动态渗透之分，印刷时的油墨转移多属于动态渗透过程。高速印刷过程中，三相线的位移及位移速度也不断变化，当其位移速度增加时，前进角 θ_a 增大，后退角 θ_r 变小，三相接触角示意图见图 1。

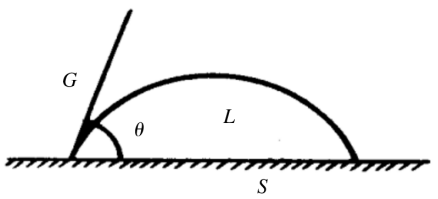

图 1 三相接触角

Fig. 1 Schematic diagram of three phases contact angle

研究表明，油墨黏度 η 的增加会引起接触角 θ 与润湿速度的增大。许多学者发现 θ 随着毛细准数 C_a 的增加而变大，其函数关系为：

$$\tan\theta=\alpha C_a=\alpha\left[\frac{\upsilon\eta}{\sigma}\right]^\beta \tag{2}$$

α，β 为经验常数。上式表明，印刷过程中，如用表面活性剂降低油墨的表面张力 σ，可减小接触角 θ；提高动态粘度 υ，可改善液体在固体表面上的动润湿性能。油墨在分裂过程中，受流变状态的影响产生拉丝回弹，根据各自边界条件下的线性稳定性分析可得到描述特征波数 n^* 的公式[15]：

$$n^*=\sqrt{\frac{2C_ax}{h^3(x,t)}} \tag{3}$$

在此方法中，$h(x,t)$是垂直于压印线分布的油墨厚度，转移的油墨层还会出现“粘性指进”现象[12]，这对油墨的附着渗透也会产生影响。

2.3 渗透模型的研究

2.3.1 渗透模型的建立

自由渗透模型的建立，可用 washburn 公式，但传统的 washburn 公式只使用静态接触角，分析实际过程中的动态油墨渗透就会产生较大的误差。一直使用的渗透深度计算式为毛细管模型简化后的 Olsson 方程[10－14]：

$$x=\sqrt{\frac{PR^2}{2\eta}t} \tag{4}$$

Olsson 公式没有考虑自由渗透的影响，实际中，纸张毛细管半径很难测量且分布不均，使公式的准确性及实用性受到了限制。考虑到实际渗透过程中毛细管中油墨的惯性力及高度很小，得到 Lucas-Washbum 方程：

$$x=\sqrt{\frac{\sigma R}{2\eta}\cos\theta t} \tag{5}$$

Martic，J. De Coninck 和 T. D. Blake 等人考虑了动态接触角 θ 在印刷过程中的不断变化，在对动态润湿方程的讨论中引入润湿线单位长度上的摩擦力系数 ζ。仍然考虑油墨渗透时的惯性力及液体高度很小的情况，得到油墨渗透深度方程[14]：

$$x=\frac{\sqrt{R^2\zeta^2+8R\sigma\cos\theta_0\eta t}-R\zeta}{4\eta} \tag{6}$$

刘福平等人利用渗流方程导出了印刷过程中，油墨在纸张中渗透深度随印刷压力和印刷速度的变化关系[10]：

$$x=\sqrt{\frac{2k}{\eta\phi}(P-P_i)t}+\sqrt{\frac{\sigma t}{2\eta}\sqrt{\frac{8k}{\phi}}} \tag{7}$$

式中：k 为油墨在纸张中的渗透率；ϕ 为纸张的孔隙度；P_i 为大气压。由式(7)可知，只要测量出 k/ϕ，就可直接估算一定印刷压力、一定速度和时间下的油墨渗透深度。式中不含毛细管半径，克服了 Olsson 公式的缺陷。

2.3.2　油墨渗透在立体空间中的补充修正

油墨渗透体系见图 2,渗透模型的研究大多数体

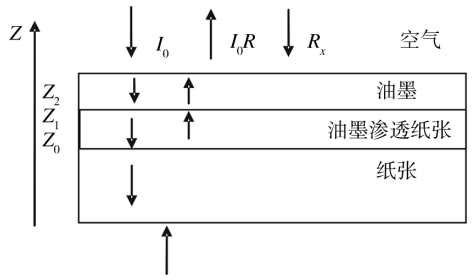

图 2　油墨渗透的体系

Fig. 2 Systematic diagram of ink penetration system

现在平面空间内,现在用推导计算的方法,在立体空间中加以补充。

在立体空间内,把向上下层光线的传播表示为:

$$-\frac{\mathrm{d}I_{\downarrow}}{\mathrm{d}Z}=-(k+s)I_{\downarrow}+sI^{\uparrow}$$

$$\frac{\mathrm{d}I_{\uparrow}}{\mathrm{d}Z}=-(k+s)I_{\uparrow}+sI^{\downarrow} \tag{8}$$

其中散射系数 s、吸收系数 k 分别表示为:

$$s=s_p+s_i\frac{Z-Z_0}{Z_1-Z_0},k=k_p+k_i\frac{Z-Z_0}{Z_1-Z_0} \tag{9}$$

那么:

$$d\begin{pmatrix}I_{\downarrow}\\I_{\uparrow}\end{pmatrix}=\begin{bmatrix}(k+s) & -s\\ s & -(k+s)\end{bmatrix}\begin{pmatrix}I_{\downarrow}\\I_{\uparrow}\end{pmatrix} \tag{10}$$

解方程(10)得:

$$\begin{bmatrix}(k+s)-A & -s\\ s & -(k+s)-A\end{bmatrix}=0$$

推出:$A=\pm\sqrt{k^2+2ks}$ (11)

则:$I_{\downarrow}=k_p\mathrm{e}^{Az}+s_p\mathrm{e}^{-Az}$;　$I_{\uparrow}=k_i\mathrm{e}^{Az}+s_i\mathrm{e}^{-Az}$ (12)

其中:s_p,s_k 分别为纸张吸收散射率;s_i,s_k 分别为油墨吸收散射率。

得出的式(12)联立式(1),微分后得渗透深度:

$$x=\ln\left[\frac{R_\infty-(K_pR_p-K_iR_x)\mathrm{e}^{AZ}R_\infty-(s_pR_q-s_iR_x)\mathrm{e}^{-AZ}R_\infty}{R_\infty-R_x-R_qR_\infty-(K_p\mathrm{e}^{AZ}-s_p\mathrm{e}^{-AZ})R_xR_\infty}\right]^{X_{av}} \tag{13}$$

以上计算式中的参数都可以在具体实验中得到,大多数渗透考虑范围在线性切面内,在立体空间内提出了一个解决方法,更加细化了 K-M 理论模型计算过程,减小了误差。

3　结论

通过以上各渗透模型可以看出,只要确立了印刷条件,如油墨黏度、表面张力、毛细管半径等纸张的相关参数,就可以通过渗透模型估算油墨转移渗透的效果。与 K-M 理论得到的渗透深度的理论模型联合求解,就可以求得印品反射率相关值,从而对印品质量作出预测。实际生产过程中的油墨渗透十分复杂,应对不同油墨和纸张建立不同条件下的参数库,在软件帮助下可实现印刷质量的快速预测。另外,提出的补充修正方法应用于渗透模型中,可以使得印刷流程控制更加精确。

参考文献:

[1]　董明达,王城. 纸张油墨的印刷适性[M]. 北京:印刷工业出版社,1993.
DONG Ming-da, WANG Cheng. The Printing Ability of Papers and Inks[M]. Beijing: Graphic Communications Press, 1933.

[2]　向阳,王杰先,齐晓堃. 印刷材料及适性[M]. 北京:印刷工业出版社,2000.
XIANG Yang, WANG Jie-xian, QI Xiao-kun. The Printing Materials and Ability[M]. Beijing: Graphic Communications Press, 2000.

[3]　HUSBAND J C, Preston MIOP J S. Paper Srufaces for Ptinting[J]. Professional Printer, 2003(2): 65－68.

[4]　骆光林,李莹. 纸张表面特性对印刷品质量的影响[J]. 印刷世界,2003(11):38－40.
LUO Guo-lin, LI Ying. The Influence of the Surface Characteristics of Paper to Printing Quality[J]. Print World, 2003(11): 38－40.

[5]　杨永刚,胡树花,彭光瑞. 胶版纸油墨渗透深度探讨[J]. 北京印刷学院学报,2010,18(4):38－40.
YANG Yong-gang, HU Shu-hua, PENG Guang-rui. Exploration on the Ink Penetration Depth in Offset Papers [J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2010, 18(4): 38－40.

[6]　卫延斌,史仪凯. 常用印刷纸张对油墨吸收特性的实验研究[J]. 陕西科技大学学报,2007,25(1):88－91.
WEI Yan-bin, SHI Yi-kai. Experimental Study of Printing Ink's Absorbing Characteristic to Common Printing

Paper[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology,2007,25(1):88－91.

[7] 张效林,王汝敏. 胶版纸表面油墨渗透行为的研究[J]. 中国印刷与包装研究,2010,11(2):321－323.
ZHANG Xiao-lin, WANG Ru-min. Study on the Ink Penetration Behavior of the Offset Paper Surface[J]. China Printing and Packaging Study,2010,11(2):321－323.

[8] 瞿茹云,唐正宁,杨松. 喷墨印刷网点扩大及补偿[J]. 包装工程,2007,28(2):61－63.
QU Ru-yun,TANG Zheng-ning,YANG Song. Dot Gain and Compensation in Ink-jet Printing[J]. Packaging Engineering,2007,28(2):61－63.

[9] 胡更生,张传香,马艳红,等. 纸张毛细管分布及油墨渗透的研究[J]. 武汉大学学报,2006,31(9):829－831.
HU Geng-sheng,ZHANG Chuan-xiang,MA Yan-hong, et al. Distribution of Paper Capillary and the Infiltration of Printing Ink[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2006,31(9):829－831.

[10] 刘福平,齐晓堃,王安玲. 油墨在纸张中渗透的研究方法[J]. 包装工程,2006,27(5):13－15.
LIU Fu-ping, QI Xiao-kun, WANG An-ling. Research Method for Permeating Depth of Printing Ink in Porous Papers[J]. Packaging Engineering,2006,27(5):13－15.

[11] 刘福平,齐晓堃,王安玲. 纸张毛细管半径测量的新方法[J]. 中国造纸学报,2006,21(4):81－84.
LIU Fu-ping, QI Xiao-kun, WANG An-ling. A New Measuring Method of Capillary Radius of Paper[J]. Transactions of China Pulp and Paper,2006,21(4):81－84.

[12] KUBELKA P,MUNK F. The Kubelka-Munk Theory of Reflectance[J]. Z Tech Phys, 1931(12):539.

[13] 顾小萍,唐正宁. 对喷墨印刷中油墨铺展和渗透的研究[J]. 包装工程,2005,26(5):98－100.
GU Xiao-ping,TANG Zheng-ning. Research on Ink Penetration and Spreading in Ink-jet Printing[J]. Packaging Engineering,2005,26(5): 98－100.

[14] 王莹,钱军浩,李娟娟. 油墨转移渗透效应对印刷品质量预测模型的研究[J]. 包装工程,2008,29(7):69－71.
WANG Ying,QIAN Jun-hao,LI Juan-juan. Research on Print Quality Forecast Model of Based on Ink Transfer and Penetration[J]. Packaging Engineering,2008,29(7):69－71.

[15] 张玉春,李飞. 胶印导电高分子油墨的性能研究[J]. 包装工程,2010,31(23):25－27.
ZHANG Yu-chun,LI Fei. Study on Performance of Offset Conductive Polymer Ink[J]. Packaging Engineering,2010,31(23):25－27.

·简讯·

第19届中国国际包装工业展/第16届中国国际饮料工业展

将于2012年3月7－9日在广州琶洲展馆举行的“第十九届中国国际包装工业展览会(简称中国国际包装展 Sino-Pack 2012)”和“第十六届中国国际啤酒、饮料及液态包装工业展览会(简称中国国际饮料展 China Drinktec 2012)”,有赖展会以往佳绩及在利好的市场环境下,参展展商热情高涨,在扩馆的前提下,展位已全部订满。

“2012中国国际包装/饮料工业展”展会面积超过30,000 m^2,并重磅推出“高端包装制品区”满足各个买家需求。近400家来自14个国家和地区的知名参展商将展出最新的设备及技术,广泛应用于通用包装、食品、日化、医药、饮料、瓶装水等终端生产企业。

将邀请6位国内外知名设计师亲临现场,为各位企业展示最新力作及提供现场咨询服务。现场不仅有“中国包装民间工艺体验馆”、“原创设计超市”、“从OEM迈向OSM-中国包装设计界高端论坛”、“中国包装与品牌创新大赛评选作品区”等精彩亮点。鉴于前两届活动的热烈反应,主办单位于2012年将延续举办“高端包装制品区”,而且规模再上一层,应用范围更为广泛。

“中国国际包装/饮料工业展”官方微博正式开通

为与参展厂商、观众进行更好的互动式交流,“中国国际包装/饮料工业展”官方微博已在新浪网正式开通。登陆新浪微博搜索“中国国际包装展”或键入“weibo.com/baozhuangzhan”,并点击“关注”即可实时收到展会最新动态,分享业界最新资讯,收集精彩终端设计案例等。

参观查询:(国内)刘水清小姐,电话:(86 755)8232 6251,传真:(86 755)8232 6252,电邮:vispro3@sz.adsale.com.hk;(海外) 杨雪华小姐电话:(852)2811 8897 传真:(852) 2516 5024,电邮:publicity@sz.adsale.com.hk。

如欲查询展会详情,欢迎联络雅式展览服务有限公司(国内)水玉平小姐,电话:(86 21)5187 9766＊299,传真:(86 21)6469 3665 ,(海外) 杜静娴小姐电话:(852) 2811 8897 传真:(852) 2516 5024,电邮:pfp@adsale.com.hk。网址:www. ChinaSinoPack.com; www.ChinaDrinktec.com