

文章编号: 1006-4710(2013)03-0343-04

胶印油墨铺展过程的 Fluent 模拟

席瑛, 曹从军, 夏卫民

(西安理工大学 印刷包装工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 以胶印油墨由橡皮滚筒向纸张转移这一过程为研究对象, 分析了油墨粘度特性以及这一转移过程的力学和运动特性, 建立了油墨铺展模型, 通过 Fluent 数值模拟软件模拟了油墨粘度、网点大小、印刷速度、压力等因素对网点增大的影响, 分析了各因素的影响机理及网点变化规律。模拟结果符合实际印刷过程网点增大的一般规律, 表明 Fluent 模拟方法可用于油墨转移微观过程研究。

关键词: Fluent; 胶印; 油墨粘度; 油墨转移

中图分类号: TS825 **文献标志码:** A

Simulation of Ink Spreading Process of Offset Printing by Fluent

XI Ying, CAO Congjun, XIA Weimin

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

Abstract: With the transferring process of offset printing ink from the blanket cylinder to paper as the research objective, the ink viscosity features and the mechanical and motion behaviors of the transferring process are analyzed, and the ink spreading model is established. Such factors as ink viscosity, dot sizes, and printing pressure offsetting dot gains are simulated via Fluent numerical simulation software, also, influencing mechanism of each factor and dot varying laws are analyzed. This model is able to simulate the micro-process of ink transferring. Accordingly, the simulated results are found to be in coincidence with the general laws of dot gains in the real printing process, whereby indicating that Fluent simulation method can be used in studying ink transferring micro-process.

Key words: Fluent; offset printing; ink viscosity; ink transfer

油墨由橡皮滚筒转移到承印物上的时间很短并且受外界影响因素很多, 一般不能直接测量或检测这一转移过程。传统测试和研究方法只能在印刷完成后检测印品质量, 无法揭示油墨转移过程的微观机理, 也无法做到实时检测和闭环控制。而数值模拟可以模拟任意短时间的复杂过程, 不仅可以直观地展示这一过程, 而且可以获得压力、形变等无法直接测量的物理量。目前数值模拟在凹印^[1-4]、喷墨打印^[5]、胶印方面都有应用^[6-7]。而在胶印中, 由橡皮滚筒向纸张转移过程研究较少, 所以本文针对油墨从橡皮滚筒向承印物这一转移过程, 选用 Fluent 流体模拟软件进行数值模拟。

1 油墨转移过程分析

胶印过程中, 油墨由橡皮滚筒转移到承印物之

上是一个瞬时过程, 在这一过程中油墨受到橡皮滚筒和承印物直接的挤压, 在压力、表面张力、重力等多种作用力复合作用下在承印物表面铺展。然后在橡皮滚筒与承印物分离过程中发生油墨分离。本文主要对油墨在承印物上铺展这一物理过程进行研究, 在这一过程中油墨在印刷压力作用下快速在承印物表面铺展, 其中印刷压力远大于其他作用力, 为主要铺展动力。实际胶印生产过程中印刷压力控制在一个合理的区间, 而油墨在一定压力下的铺展过程中主要受到其内部阻力也就是粘度的影响。所以本文采用控制变量法模拟了油墨粘度、印刷压力等多个因素对油墨铺展过程的影响。网点单元是着墨区域, 每个网点对应的橡皮滚筒和纸张的面积很细微, 那么就可以忽略墨辊的曲率和纸张的形变, 可以认为墨滴在两块平板之间铺展, 本文将油墨在承印

收稿日期: 2013-04-27

基金项目: 广东省与教育部产学研合作重大专项(2012A090300009); 陕西省自然科学基金资助项目(2013JM6004); 陕西省教育厅自然科学基金资助项目(12JK0441)。

作者简介: 席瑛, 女, 硕士生, 主要研究方向为印刷质量与控制。E-mail: xiyingxiyingzi@163.com。

曹从军, 女, 教授, 研究方向为色彩管理与印刷流程控制、印刷新材料与新工艺。E-mail: caocongjun@xaut.edu.cn。

物上铺展这一物理过程简化为墨滴在压力作用下的铺展模型。这一模型的假设条件是油墨在铺展前为球形,并且忽略了油墨乳化以及纸张粗糙度的影响。

针对上述模型,球形油墨在铺展过程中向各方向保持同性,所以可将这一三维模型简化为二维模型,以减小计算量。

2 胶印油墨粘度特性分析

胶印油墨为非牛顿流体,其粘度随着剪切速率的变化而变化。图1为实验测得的油墨粘度与剪切速率的关系,从图1可以看出,随着剪切速率的增大粘度不断降低,呈现典型的非牛顿流体特性^[8]。

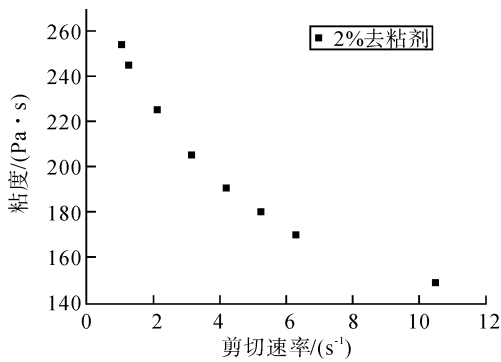


图1 油墨粘度与剪切速率关系

Fig.1 Dependence of ink viscosity on shear rate

将实验室测得的数据结果采用幂律公式^[9]在Matlab中拟合, η 为油墨粘度, S 为剪切速率,如图2所示,拟合结果为:

$$\eta = 259.8 \times S^{0.7761-1} = 259.8 \times S^{-0.2239} \quad (1)$$

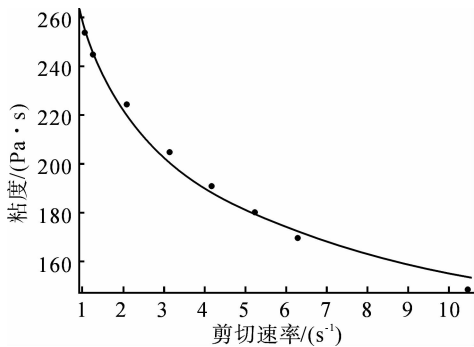


图2 油墨粘度与剪切速率幂律拟合情况

Fig.2 The fitted curve of ink viscosity dependence on shear rate

由上述分析可知,胶印油墨粘度与具体的实际运动状态有关,所以首先要分析胶印过程中的剪切速率状态。油墨从橡皮滚筒向纸张转移过程如图3所示。橡皮滚筒直径为300 mm,网点尺寸 $a = 0.145$ mm,橡皮滚筒线速度 $v = 2\,068$ mm/s。纸张和橡皮滚筒在水平方向速度相同,在垂直纸张方向

存在速度梯度,本文以垂直方向的速度梯度作为剪切速率,计算如下。

$$v_2 = \frac{v \cdot a}{R} \quad (2)$$

剪切速率:

$$S = \frac{dv}{dx} = \frac{v_2}{a} = \frac{v}{R} = 13.79 \text{ (s}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

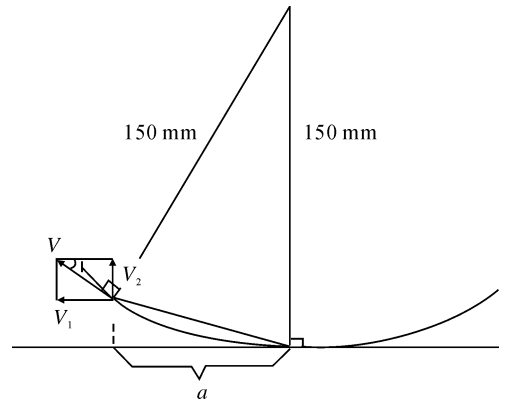


图3 油墨运动状态示意图

Fig.3 Diagram of ink movement

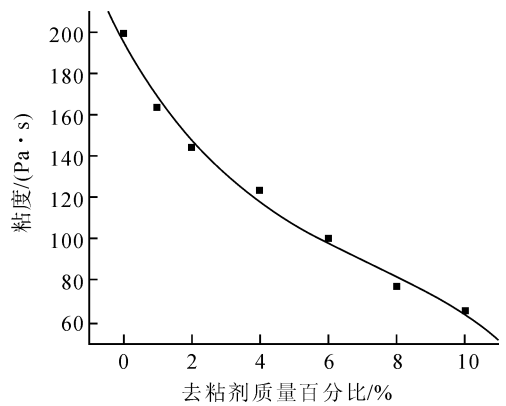


图4 油墨粘度与去粘剂质量比例关系图

Fig.4 Dependence of ink viscosity on its tack reducer percentage

获得胶印油墨转移时的剪切速率后,即可将其带入式(1)中计算出此去粘剂比例下的油墨粘度。采用同样方式即可计算出不同比例去粘剂时的油墨粘度与剪切速率关系式,具体结果如表1所示。

表1 胶印油墨粘度结果

Tab.1 Ink viscosity of offset printing

去粘剂质量百分比/%	拟合公式	胶印时粘度/(Pa·s)
0	$\eta = 447.8 \times S^{0.6905-1}$	198.79
1	$\eta = 292.7 \times S^{0.7774-1}$	163.21
2	$\eta = 259.8 \times S^{0.7761-1}$	144.37
4	$\eta = 198.3 \times S^{0.8189-1}$	123.29
6	$\eta = 172.4 \times S^{0.7935-1}$	100.28
8	$\eta = 154.9 \times S^{0.7349-1}$	77.26
10	$\eta = 151.5 \times S^{0.6836-1}$	66.04

为了获得胶印时粘度与去粘剂百分比之间的关系,本文在 Origin 软件中采用三次多项式对原始数据点拟合,拟合效果如图 4 所示,可以看出拟合匹配度较高。拟合公式为:

$$\eta = -0.139x^3 + 2.98x^2 - 28.94x + 194.61 \quad (4)$$

3 参数确定

本文确定网线数为 175 线,采用方形网点,由此确定网点单元为 0.145 mm。在企业进行实验时,包衬厚度 $\sigma = 2.0 \text{ mm}$, $E = 1.62 \times 10^6 \text{ Pa}$,经验常数 $n = 0.45$,最大压缩量 $\lambda_{\max} = 0.3 \text{ mm}$ 。

首先将弹性模量转换为工程单位:

$$E = 1.62 \times 10^6 \times \frac{1}{9.8 \times 10^4} = 16.53 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (5)$$

式中 f 为工程力。

由此计算压印面上的最大压力 $p_{\max}^{[10]}$ 为:

$$p_{\max} = \sqrt[n]{E \times \frac{\lambda_{\max}}{\sigma}} = \sqrt[0.45]{16.53 \times \frac{0.3}{2}} = 7.53 \text{ kg} \times \frac{f}{\text{cm}^2} = 7.37 \times 10^5 \text{ Pa} \quad (6)$$

根据橡皮滚筒线速度 $v = 2068 \text{ mm/s}$,可以计算一个网点上压力持续时间为:

$$T = 0.145 / 2068 = 7.01 \times 10^{-5} \text{ s} \quad (7)$$

本文以墨滴铺展后最大横截面的面积与网点单元面积之比作为网点百分比。同时,本文根据企业所用网点补偿曲线对模拟前墨滴尺寸进行修正。

4 Fluent 模拟过程

本文利用 Fluent 前处理软件 Gambit 建立了油墨铺展模型,其中上界面选择为压力入口,两侧壁设置为压力出口,底边为纸张,不考虑油墨渗透。本文

设置为 Wall 边界条件,图 5 为将 Gambit 建立模型后导入 Fluent 软件,在模型中心区域赋值一个圆形墨滴的结果,图中圆形区域为胶印油墨,其余区域为空气。由于油墨在空气中铺展,涉及到油墨和空气两种流体,所以本文选用适合于多相流体的 VOF 模型。本文需要监测油墨铺展动态过程,所以选用适合于瞬时过程的 PISO 算法进行计算。

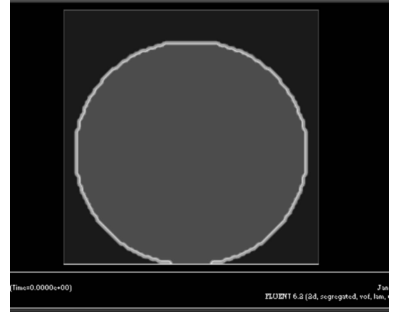


图 5 墨滴铺展模型

Fig. 5 The ink droplets spread model

5 模拟结果

5.1 粘度对网点增大影响

图 6 为 Fluent 模拟后不同粘度下,50% 网点大小,油墨最终铺展图像结果。从图 6 可以看出油墨铺展后基本保持轴对称,去粘剂添加比例越大,油墨粘度越小,铺展效果越明显。

本文以墨滴铺展后的最大横截面积与网点单元面积之比作为网点百分比,计算的网点百分比与设定的网点百分比之差则为网点增大值。

图 7 为网点增大与油墨粘度之间的模拟结果,从图可以看出,油墨粘度越小,网点增大越大。这是因为粘度表征了流体变形时内部阻力的大小,粘度越小这一阻力越小,变形越容易,所以网点增大越明显。墨滴铺展越明显则其厚度越小,如图 8 所示。

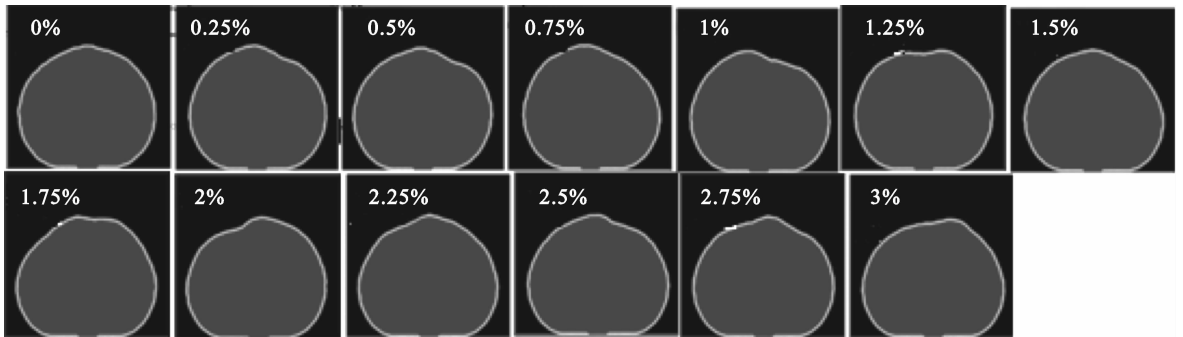


图 6 不同去粘剂百分比墨滴铺展后结果

Fig. 6 Ink spreading result with different percentages of tack reducer

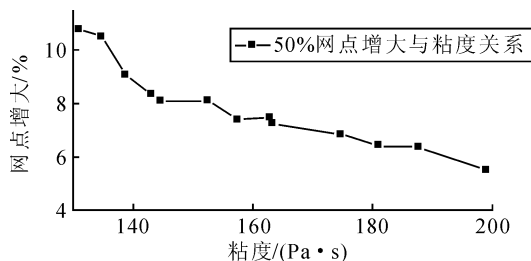


图7 网点增大与油墨粘度模拟结果

Fig. 7 Dependence of ink viscosity on dot gain

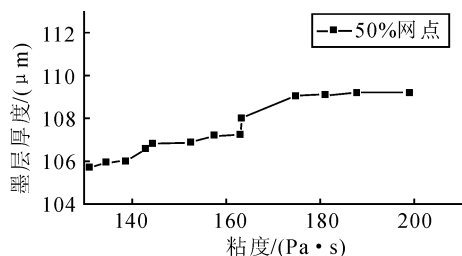


图8 墨层厚度与油墨粘度关系

Fig. 8 Dependence of ink viscosity on ink thickness

5.2 网点大小与网点增大模拟关系

图9为1%去粘剂时,不同网点比例下的墨滴铺展结果。从图9可以看出,随着网点百分比的增大,网点增大呈现先增后减的趋势,在50%左右网点增大特别明显。这是因为,随着网点百分比的增大,墨滴周长越大,铺展增大面积则越大,但是对于方形网点,当网点面积大于一定值时,网点扩大后会与其他网点发生粘连,造成网点增大逐渐减小。

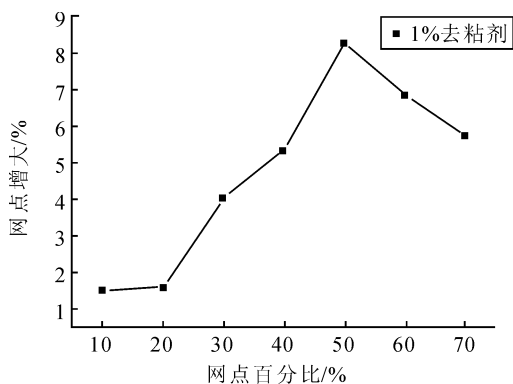


图9 网点增大与网点百分比关系

Fig. 9 Dependence of dot percentages on dot gain

5.3 印刷压力与网点增大关系

印刷压力作为油墨铺展的主要动力,其大小对网点增加具有重大意义。图10为在实际使用的印刷压力范围内,网点增大与印刷压力模拟结果。从图10可以看出,随着印刷压力的增大,网点增大越明显,特别是在印刷压力大于 8×10^5 Pa时,网点增大趋势更为明显。

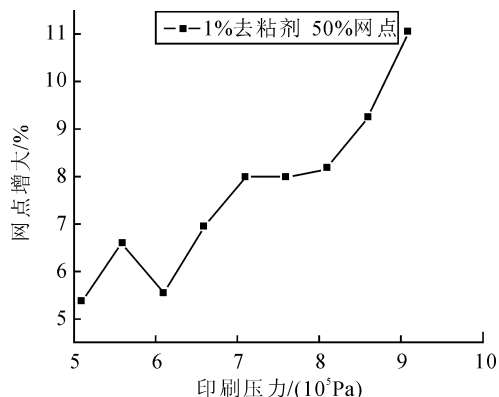


图10 网点增大与印刷压力关系

Fig. 10 Dependence of printing press on dot gain

6 结语

本文通过理论分析和 Fluent 模拟得到了油墨粘度、印刷压力、网点百分比对油墨网点增大的影响,模拟结果基本可以反映各因素的影响规律,说明本 Fluent 数值模拟模型基本可以模拟油墨由橡皮滚筒向纸张铺展这一过程。该模型为研究油墨铺展微观过程提供了新的方法,为全面、准确模拟胶印油墨转移过程提供一定基础。本文主要获得以下结论。

1) 胶印油墨为非牛顿流体,其粘度与剪切速率满足指数模型。

2) 随着去粘剂的添加比例在 0% ~ 10% 不断增加,油墨粘度不断降低,同一条件下,网点增大更为明显,墨层厚度则相应降低。

3) 在实际应用印刷压力范围内,印刷压力对油墨铺展过程具有显著影响,随着印刷压力的增大,网点增大越明显。

4) 不同网点百分比情况下,油墨的网点增大程度不同,在 50% 左右网点百分比情况下油墨网点增大最为明显。

参考文献:

- [1] Ahmed D H, Kang H W, Sung H J. Non-Newtonian effect on ink transfer for gravureoffset printing [C]// IEEE International Symposium in Assembly and Manufacturing (ISAM), 2009.
- [2] Ahmed D H, Sung H J, Kim D S. Simulation of non-Newtonian ink transfer between two separating plates for gravure-offset printing [J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2011, 32(1): 298-307.