

凹版胶印油墨转移的数值模拟

刘孟才, 唐正宁, 吴琰嘉

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 应用流体体积法, 对非牛顿流体油墨的凹版胶印油墨转移的第2阶段进行了数值模拟, 以研究油墨在网穴与橡皮布之间的转移。通过模拟结果, 分析了油墨与平板及梯形槽壁的接触角、网穴深度对油墨转移率的影响, 并提出了可获得最大油墨转移率的接触角组合。

关键词: 凹版胶印; 油墨转移; 流体体积法; 非牛顿流体

中图分类号: TS853 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)17-0118-04

Numerical Simulation of Ink Transfer for Gravure Offset Printing

LIU Meng-cai, TANG Zheng-ning, WU Yan-jia

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Fluid volume method was applied to simulate non-newtonian ink transfer in the second stage of gravure offset printing to study ink transfer from ink cell to rubber blanket. According to the simulation results, the influence of ink cell wall contact angle, plate contact angle and ink cell depth on ink transfer rate was analyzed. The contact angle combinations for the largest ink transfer rate were put forward.

Key words: gravure offset printing; ink transfer; VOF method; non-newtonian fluid

凹版胶印是一种通过凹版先将油墨转移到橡皮布, 再通过橡皮布转移到承印物上的印刷技术。凹版胶印油墨转移可分为3个阶段: 油墨填充到网穴; 油墨从网穴转移到橡皮布; 橡皮布将油墨转移到承印物^[1-2]。

目前, 数值模拟在凹版胶印研究中的应用还比较少。Powell等人使用拉格朗日有限元方法模拟了液体从梯形槽转移到平板的过程^[3]。Huang等人使用流体体积法(VOF)模拟了凹版胶印过程中墨丝断裂和卫星液滴的产生^[4]。他们的研究都是基于牛顿流体的, 然而油墨含有高浓度的固体颗粒, 一般为非牛顿流体, 具有明显的剪切稀化效应^[5]。

使用VOF方法对于非牛顿流体油墨的凹版胶印油墨转移的第2阶段进行数值模拟, 以研究油墨在网穴与橡皮布之间的转移。Carreau模型用于处理油墨的剪切稀化效应。通过模拟结果, 分析接触角, 网穴深度对于油墨转移率的影响并提出了可获得最大油墨转移率的接触角组合。该研究对于提高凹版胶印过程中的油墨转移率有指导意义。

1 数值模拟

为了研究凹版胶印过程中的油墨转移, 使用一个简化的几何模型: 1个梯形槽和1个平行于槽底的平板(见图1)。梯形槽相当于网穴, 平板相当于橡皮

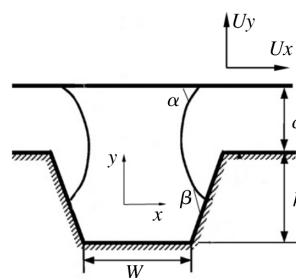


图1 几何模型

Fig. 1 Geometric model

布。梯形槽固定, 平板以恒定的水平和竖直速度匀速移动。这样设定相较于只具有竖直方向速度的平板,

收稿日期: 2012-06-08

作者简介: 刘孟才(1987—), 男, 河北沧州人, 江南大学硕士生, 主攻凹版胶印技术。

更接近于油墨转移的实际情形。 α 和 β 分别表示油墨与平板和梯形槽壁的接触角。这里定义油墨转移率为油墨转移到平板上的比例,即转移率=平板上的墨量/总墨量。

在该研究中,研究对象是既包括液体(油墨)也包括气体(空气)的两相流体,守恒方程如下:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla(\rho u \times u) = -\nabla P + \nabla(\mu \nabla \times u) +$$

$$F_g + F_s \quad (1)$$

$$\nabla(\rho u) = 0 \quad (2)$$

式中: ρ 表示密度; t 表示时间; u 表示速度向量; P 表示压力; μ 表示动态粘度; F_g 和 F_s 分别表示重力和表面张力。

重力的影响可以忽略不计^[6]。表面张力 F_s 的表达式如下:

$$F_s = \sigma \kappa n \quad (3)$$

式中: σ 表示表面张力系数; κ 表示自由表面曲率; n 表示自由面的单位法向量:

$$n = \frac{\nabla F}{|\nabla F|} \quad (4)$$

$$\kappa = -(\nabla n) \quad (5)$$

式中: ∇ 表示垂直于自由表面方向的梯度算子。

VOF 方法用以记录每一个计算单元的体积分数。Scardovelli 和 Zaleski 的研究表明使用 VOF 方法可以精确处理自由面问题^[7]。VOF 方法中液体的体积分数由 F 表示,其定义为: $F=1$ 表示位于液相中; $0 < F < 1$ 表示位于自由表面上; $F=0$ 表示位于气相中。

输运方程为:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + (u \cdot \nabla) F = 0 \quad (6)$$

自由面由二阶分段线性界面结构(PLIC)构建。自由面流体的密度 ρ 和动态粘度 μ 是通过下式计算得出:

$$\rho = F\rho_i + (1-F)\rho_a \quad (7)$$

$$\mu = F\mu_i + (1-F)\mu_a \quad (8)$$

下标“i”和“a”分别表示油墨和空气。

该研究使用 Carreau 模型描述油墨的剪切稀化效应,表达如下:

$$\mu_i = \mu_{0,i} [1 + (\lambda \epsilon)^2]^{\frac{n-1}{2}} \quad (9)$$

式中: $\mu_{0,i}$ 表示剪切率为 0 时油墨粘度; λ 表示持续时间; n 表示 Carreau 指数;剪切率 ϵ 定义为:

$$\epsilon = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \quad (10)$$

该研究中, $\mu_{0,i} = 0.33$, $\lambda = 0.7$, $n = 0.72$ 。用于计算的其他物理参数和几何参数见表 1。

表 1 物理和几何参数

Tab.1 Physical and geometrical parameters

参数	数值
油墨密度/(kg·m ⁻³)	2000
表面张力系数/(N·m ⁻¹)	0.03
空气密度/(kg·m ⁻³)	1.22
平板水平方向速度/(m·s ⁻¹)	0.1
平板竖直方向速度/(m·s ⁻¹)	0.1
油墨的初始粘度/(Pa·s)	0.23
油墨体积/ μm^2	100
平板与梯形槽的初始距离/ μm	2

对于平板和梯形槽的壁面采用无滑动边界条件,左右边缘都定义为压力出口。自由面与平板和梯形槽壁接触并可以在其上自由移动,且在自由面重建过程中接触角保持不变。

平板的移动会造成计算区域的变形。为了解决这一问题,水平方向必须有足够数量(68 以上)的网格,竖直方向上只有紧挨着平板的网格拉伸。当这些网格的高度大于初始值时,便分裂为 2 个网格。计算网格见图 2。上述控制方程由有限体积法求解,计算

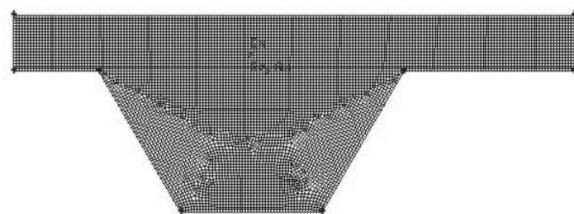


图 2 计算使用的网格

Fig. 2 Grids for computation

时间步距为 1×10^{-9} s。

2 结果和讨论

2.1 不同网穴深度对油墨转移率的影响

网穴深度是凹版胶印的重要参数。该研究中,为了保证网穴的容量不变,随着网穴深度的变化,网穴开口大小也将随之变化。3 种不同网穴深度条件下的油墨体积分数见图 3。不同网穴深度条件下的油

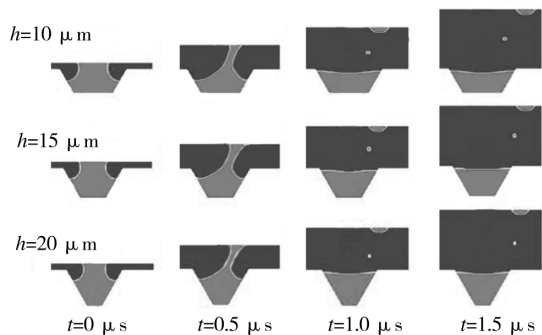


图3 不同网穴深度油墨转移过程中瞬时油墨体积分数分布

Fig. 3 Instantaneous distribution of volume fraction of ink transfer for various groove depths

墨转移率见图4。油墨转移率随着网穴深度的增加而减小。

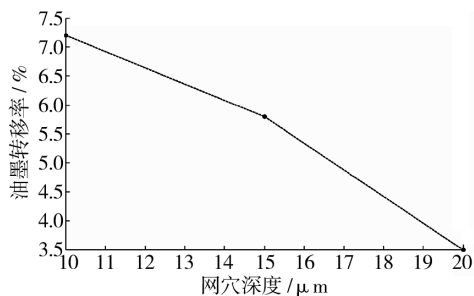


图4 不同网穴深度条件下的油墨转移率

Fig. 4 Change of ink transfer ratio with groove depths

2.2 不同平板接触角对于油墨转移率的影响

油墨与平板的接触角是描述平板表面性能的决定性的参数。不同时间点上,不同平板接触角情况下的液体体积分数见图5。当 $t=0$ 时,对于不同的接触

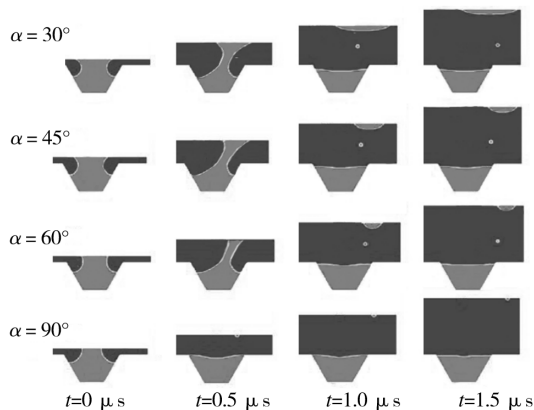


图5 不同平板接触角下油墨转移过程中瞬时油墨体积分数分布

Fig. 5 Instantaneous distribution of volume fraction of ink transfer for various plate contact angles

角,网穴内的润湿区域面积是相同的,但是,较小的接触角情况下,平板上的润湿区域较大。不同平板接触角情况下的油墨转移率见图6,随着平板接触角的增加,油墨转移率随之减小。

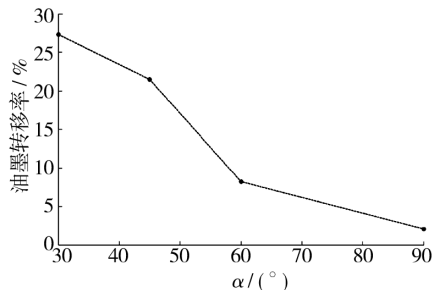


图6 不同平板接触角条件下的油墨转移率

Fig. 6 Change of ink transfer ratio with plate contact angles

2.3 不同梯形槽壁接触角对于油墨转移率的影响

油墨与梯形槽壁的接触角 β 分别为 30° 、 45° 、 60° 和 90° 时的油墨体积分数见图7。根据图7得到了油

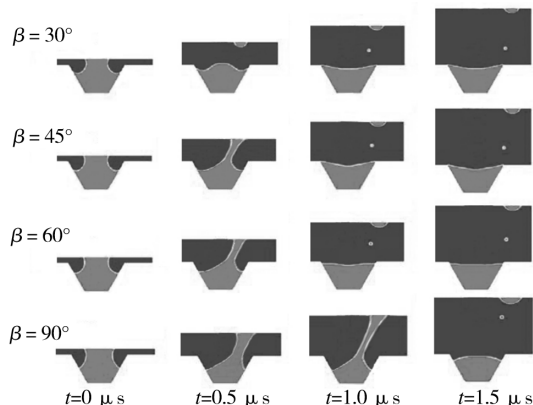


图7 不同梯形槽壁接触角油墨转移过程中瞬时油墨体积分数分布

Fig. 7 Instantaneous distribution of volume fraction of ink transfer for various groove wall contact angles

墨的转移率与 β 的关系。图8显示油墨的转移率随 β 的增加而增加。

2.4 最优接触角组合

通过对上述模拟结果的比较,得出了可以获得最大油墨转移率的最优接触角组合为 $\alpha = 30^{\circ}$ 、 $\beta = 90^{\circ}$ 。上述研究中采用的网穴深度为 $10 \mu\text{m}$ 。几个比较有代表性的接触角组合条件下的油墨转移率比较见图9,在最优接触角组合的情形下所获得的油墨转移率为96.3%。

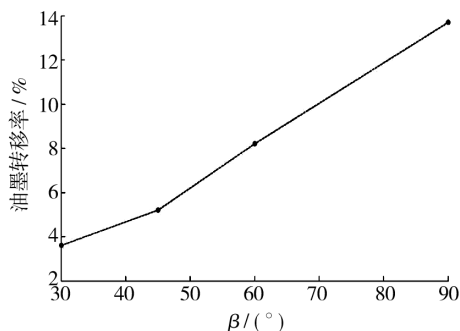


图8 不同梯形槽壁接触角条件下的油墨转移率

Fig. 8 Change of ink transfer ratio with groove wall contact angles

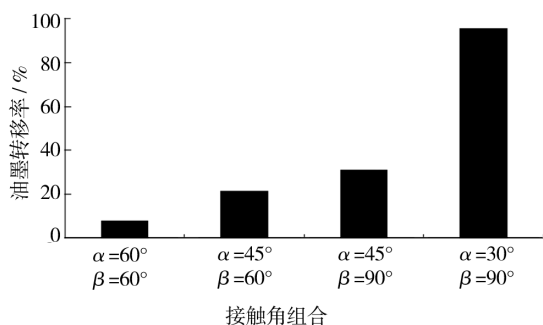


图9 不同接触角组合条件下的油墨转移率比较

Fig. 9 Comparison of transfer ratios under various contact angle combinations

3 结论

对凹版胶印油墨转移过程的第2阶段进行了数值模拟,并进行了合理的分析,得出以下结论:(1)油墨转移率随着网穴深度的增加而减小;(2)油墨转移率随着平板接触角的增加而减小;(3)油墨转移率随着梯形槽壁接触角β的增加而增大;(4)可以获得最大油墨转移率的接触角组合为 $\alpha=30^\circ, \beta=90^\circ$;(5)在

网穴深度 $h=10\mu\text{m}$ 时油墨转移率可达96.3%。以上结论对于提高凹版胶印生产中的油墨转移率提供了重要的依据。

参考文献:

- [1] PUDAS M, HAGBERG J, LEPPAVUORI S. Printing Parameters and Ink Components Affecting ultra-fine-line Gravure-offset Printing for Electronics Applications[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2004, 24: 2943-2950.
- [2] 夏雪, 唐正宁. 凹版胶印油墨传递过程对印品质量的影响[J]. 包装工程, 2009, 30(2): 82-84.
XIA Xue, TANG Zheng-ning. Influence of Ink Transfer Process of Gravure Offset Printing on Print Quality[J]. Package Engineering, 2009, 30(2): 82-84.
- [3] POWELL C A, SAVAGE M D, GUTHRIE J T. Computational Simulation of the Printing of Newtonian Liquid from a Trapezoidal Cavity[J]. International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, 2002, 12(4): 338-355.
- [4] HUANG W X, LEE S H, SUNG H J, et al. Simulation of Liquid Transfer between Separating Walls for Modeling Micro-gravure-offset Printing[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008, 29: 1436-1446.
- [5] PUDAS M, HAGBERG J, LEPPAVUORI S. Gravure Offset Printing of Polymer Inks for Conductors[J]. Prog Progress in Organic Coatings, 2004, 49: 324-335.
- [6] ZHANG X. Dynamics of Drop Formation in Viscous Flows[J]. Chemical Engineering Science, 1999, 54: 1759-1774.
- [7] SCARDOVELLI R, ZALESKI S. Direct Numerical Simulation of Free-surface and Interfacial Flow[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1999, 31: 567-603.

(上接第108页)

- [8] 陈永利, 赵达尊, 张静方, 等. 影响灰平衡模型精度的工艺参数研究[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 143-145.
CHEN Yong-li, ZHAO Da-zun, ZHANG Jing-fang, et al. Study on Printing Process Parameters Influencing Gray Balance Model Precision[J]. Packaging Engineer-

ing, 2006, 27(4): 143-145.

- [9] 胡成发. 印刷色彩与色度学[M]. 北京: 印刷工业出版社, 1993.
HU Cheng-fa. Printing Color and Colorimetric[M]. Beijing: Printing Industries Press, 1993.