

凹印刮墨刀工作性能模拟分析

苗红涛, 宋卫生

(河南牧业经济学院, 郑州 450046)

摘要: **目的** 预测凹版印刷刮墨刀最佳安装位置和使用要求。**方法** 应用分析软件, 分别建立油墨流体模型和刮墨刀固体模型, 并进行液固耦合分析。**结果** 刮墨刀在油墨冲击影响下, 随着安装角度的增加, 其刀锋处产生的位移变化率明显下降; 随着刮墨刀厚度的增加, 刀锋处位移逐渐减少。验证出在软包装印刷过程中, 刮刀的最佳安装角度为 $55^{\circ}\sim 65^{\circ}$, 易选用厚度为 0.15 mm 刮墨刀, 在伸长量为 5~6 mm 时, 才能使刮刀处于最佳刮墨状态。**结论** 文中的研究为合理地选用和设计刮墨刀提供了参考, 同时采用液固耦合分析凹版印刷过程的方法, 对量化分析印刷过程具有一定的实际和理论意义。

关键词: 刮墨刀; 液固耦合; 凹版印刷; 模拟分析

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)09-0228-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.09.038

Simulation and Analysis of the Working Performance of the Gravure Scraper

MIAO Hong-tao, SONG Wei-sheng

(Henan Institute of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450046, China)

ABSTRACT: The work aims to predict the optimal installation and usage requirements of gravure scraper. Liquid-solid coupling analysis was carried out by respectively establishing ink fluid model and scraper solid model with the analysis software. Under the influence of ink impact, with the increase of installation angle, the displacement change rate of the blade was obviously decreased, and the blade displacement gradually decreased with the increase of the scraper thickness. It was verified that, in the printing process of the flexible package, the optimal installation angle of the scraper was $55^{\circ}\sim 65^{\circ}$, and the 0.15 mm thick scraper was easily selected. When the elongation was 5~6 mm, the scraper could be in the best scraping state. The proposed study provides a reference for the rational selection and design of the scraper; at the same time, the method of liquid-solid coupling analysis of the gravure printing process has some practical and theoretical significance for the quantitative analysis of printing process.

KEY WORDS: scraper; liquid-solid coupling; gravure printing; simulation analysis

人们对各种软包装商品的需求越来越大, 商品软包装的印刷质量影响着产品的销售, 就对软包装印刷技术提出了更高要求。在软包装印刷过程中, 刮墨刀安装角度、刮墨刀技术指标、刮刀往复窜动、刮墨刀安装压力、刮墨刀弯曲变形等因素直接影响印刷质量。为设置合理的刮墨刀安装位置, 进一步优化刮墨刀片的选择与使用, 拟采用流固耦合的方法, 分析油墨冲击对刮墨刀的影响, 为进一步优化软包装印刷效果起到一定作用。

1 刮墨刀刮墨基本原理

正常印刷时凹版印版的三分之一浸入墨斗中, 油

墨随印版高速旋转。在刮墨刀的作用下, 一部分油墨被填充入网穴, 多余部分被刮去。在刮刀与版面的接触点作在刮刀与版面的接触点作一条切线, 当这条切线与刮刀架的中心线之间的角度即为刮刀角度 θ , 见图 1^[1-2]。

由于油墨为不可压缩流体, 印刷时油墨试图从刮刀刀口处通过, 受到刮刀的压力, 同时受到印版对油墨的粘附力 F 。实际生产中, 为保证油墨能较好地填充进入网穴, 刮刀上会施加一个压力 N 。刮刀的压力 N 在刮刀接触点的切线方向上的分压力 $N_1=N\sin\theta$, N_1 的主要作用是抵御粘附力 F , 当 $N_1>F$ 时, 油墨才能被刮去; $N_2=N\cos\theta$, 为刮墨刀施加到印版上的正压

力,主要作用是将油墨填充到网穴里。

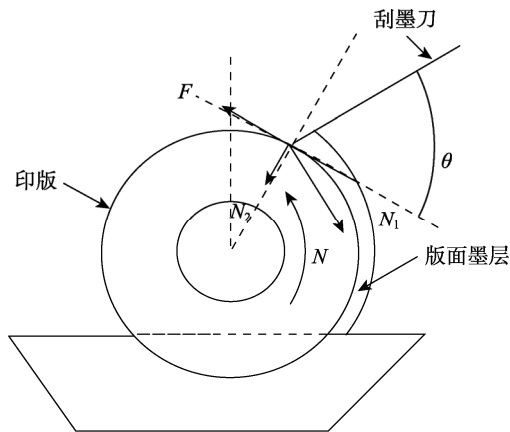


图1 刮墨过程
Fig.1 Scraping process

2 流固耦合分析方法

流固耦合的分析方法有2种:单向流固耦合和双向流固耦合。单向流固耦合适用于流体作用于固体后固体变化不大的情况,双向流固耦合适用于固体变形很大又反过来影响流体形貌的情况。刮墨刀在油墨压力的作用下变化不大,比较符合单向流固耦合的适用条件。油墨为粘性不可压缩流体,计算模型选用纳维-斯托克斯方程,简称N-S方程^[3-4]。它的矢量形式为:

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\nabla p + \rho \mathbf{F} + \mu \Delta \mathbf{v} \quad (1)$$

在直角坐标中,它可写成:

$$\begin{cases} \rho \frac{d_u}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho X + \mu \Delta u \\ \rho \frac{d_v}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho Y + \mu \Delta v \\ \rho \frac{d_w}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho Z + \mu \Delta w \end{cases} \quad (2)$$

式中: Δ 为拉普拉斯算子; ρ 为流体密度; p 为压力; u, v, w 为流体在 t 时刻,在点 (x, y, z) 处的速度分量; X, Y, Z 为外力的分量; 常数 μ 为动力粘性系数。

3 刮墨刀工作过程有限元分析

刮墨过程中,印版高速旋转,油墨由于粘附力随着印版旋转。在这种情况下,数值模拟时可以假设印版不动,油墨以恒定速度撞击刮墨刀^[5]。其分析过程主要包括:流场仿真分析和结构仿真分析,流场分析是结构分析准备的前提,求解过程是先求解流场,将流场结果施加给结构仿真分析,再求解结构分析结果^[6]。为准确获得油墨对刮刀冲击的各种数据,模拟分析过程暂不设定在刮墨刀上施加的压力。进行具体有限元分析时,在Ansys Workbench中利用Fluent与DS进行流固耦合计算。

3.1 流体模型的建立

为研究油墨对刮墨刀产生的应力,设定印版在耦合过程中与刮墨刀之间缝隙为零,且不存在作用力。印刷过程中,可以看作油墨从墨斗中油墨表面出发,沿着一个通道冲击刮墨刀,使刮墨刀产生变形。故油墨流体通道模型宽度等于印版宽度,流体通道模型内圆弧半径等于印版滚筒半径,流体通道模型厚度为印版表面墨层厚度。

通道模型参数变化会极大影响实验结果,因此在Workbench软件中,参考软塑包装印刷常用参数,建立流体模型。设定流体通道模型(印版宽度)宽度为1000 mm,流体通道模型内圆弧半径(印版滚筒半径)为100 mm,根据文献[12]中公式计算得出流体通道模型厚度(印版表面墨层厚度)为2.4 mm。如图2所示, A 为压印点, B 为刮墨刀安装位置,设定 AB 弧长为40 mm, OB 为印版滚筒半径, CD 为墨斗液面, BE 为油墨与刮墨刀接触线,故流体模型圆弧 BC 弧长经计算设定为378.66 mm^[7]。

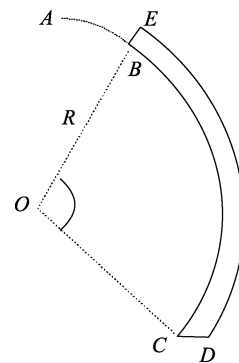


图2 流体模型
Fig.2 Fluid model

3.2 刮墨刀模型的建立

刮墨刀的有限元模型结合实际进行简化,简化的刮墨刀模型是由刮墨刀刀片和刮墨刀垫板组成。如图3所示, A 为刮墨刀伸出刀垫的长度, B 为刀垫长度。由于固体模型参数变化,同样会极大地影响实验结果,故刮墨刀将依据印刷企业中典型的设置数据,其中刮墨刀厚度为0.15 mm,刀垫厚度为1 mm,刮墨刀伸出刀垫长度为5 mm,刀垫长度为15 mm。

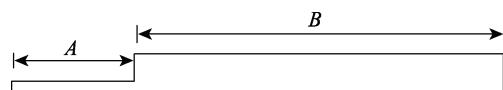


图3 刮墨刀模型
Fig.3 Scraper model

3.3 组合模型的建立

组合模型的建立时设定刮墨刀与油墨紧密接触,并保证刮墨刀刀垫向上进行安装,见图3。

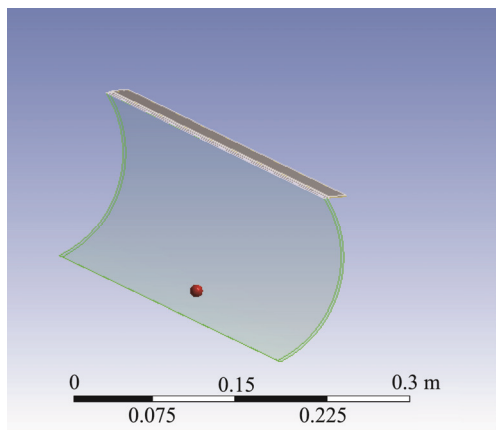


图4 组合模型
Fig.4 Combination model

3.4 边界条件加载与求解

采用单向流固耦合分析油墨对刮墨刀的影响,流体分析和固体结构边界分析的边界条件需分别单独加载,流体分析时禁用固体模型,固体分析时禁用流体模型,并将流体分析结果导入固体结构分析中进行耦合计算。由于油墨流体介质属于具有一定粘度的流体,其粘度、密度和表面张力,以及刮墨刀的材质变化对分析数据会产生一定影响,但是对研究刮墨刀刀锋处平均位移和平均应力的变化规律影响不大。为简化实验过程,拟固定流体和固体的材料属性研究,仅研究刮墨刀刀锋平均位移和应力的变化规律。实验时所使用材料的具体参数见表1^[8-9]。

表1 流体与固体材料属性参数设置
Tab.1 Parameter settings of fluid and solid materials

模型类型	参数	数值
流体(油墨)	密度	1012.98 kg/m ³
	动态粘度	0.1 Pa·s
	表面张力	0.05 N/M
	钢弹性模量	206 GPa
固体(刮墨刀与刀垫)	泊松比	0.3
	密度	7800 kg/m ³
	抗拉强度	1950 ~ 2150 Pa (1860 N/mm ²)
	硬度	500 ~ 600 kg/m ²

对固体模型刮墨刀底部进行固定。流体部分油墨速度入口在图5中C处,油墨与印版有着近似相同的线速度,并设定油墨以不同的恒定速度运行,冲击刮墨刀。

耦合设置方法是将流体压力出口处压力加载到固体结构分析中。在固体结构分析中,指定刮墨刀与油墨接触的区域,并将流体分析的出口压力加载到接触面上进行耦合计算。

为分析刮墨刀受力变形情况,记录刀锋处应力、

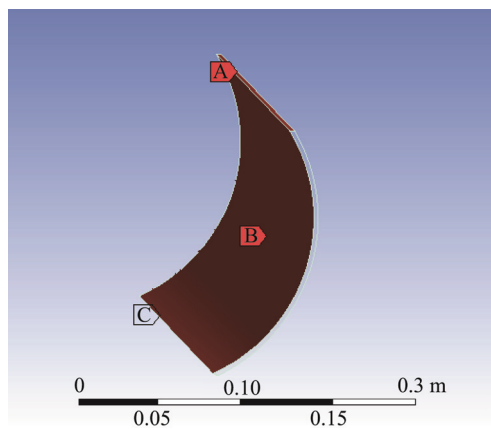


图5 流体模型边界条件加载示意
Fig.5 Schematic diagram of boundary condition loading for fluid model

冲击方向平均位移。可以在 Mechanical 界面中,右键单击 Model 选项,在弹出的对话框中选择 Insert 按键,然后选择并生成 Construction Geometry,右键单击新生成的 Construction Geometry,在弹出的对话框中选择 Insert 选项,然后选择 Path 选项,并屏幕左下角的 Path 属性中将刀锋线添加到 geometry 中。求解并导出上述指定 Path 上所有节点的应力和位移,即可求解并记录刀锋处应力、冲击方向平均位移^[10]。

4 实验结果与分析

4.1 最佳安装角度范围测定

分别设置印刷速度为 2000, 3600, 7200, 10 000, 15 000 r/h, 记录刮墨刀在不同安装角度(30°~90°)情况下刀锋平均位移并绘制相应曲线。为保证曲线可观察性,绘制位移差值-安装角度曲线,其中位移差值指在速度相同情况下各角度位移与最小位移的差值,见图6。

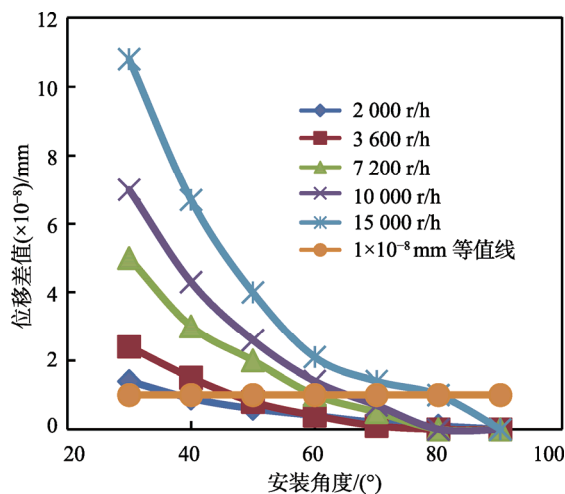


图6 位移差值-安装角度曲线
Fig.6 Displacement difference-installation angle curve

通常情况下,位移差值降低一个数量级即小于

10^{-8} mm,则表示刀锋位移将无明显变化^[11]。为便于观察,图6中绘制 10^{-8} mm等值线。

1) 随着印刷速度的提高,当刀锋位移无明显变化时,所需的安装角度也随之增大。印刷速度为2000 r/h时,安装角度需大于 40° ,刀锋处位移无明显变化;印刷速度为10 000 r/h时,安装角度需大于约 65° ,刀锋处位移无明显变化。

2) 安装角度越大,刮墨刀所能适应的印刷速度范围越广。当刮墨刀安装角度在 80° 时,则能保证印刷速度低于15 000 r/h情况下,随着印刷速度的提高,刀锋位移变化最小,能够有效地刮除印版表面油墨。

虽然安装角度大,刮刀刮除印版表面油墨效果好,但是实际生产中安装角度越小,刮刀将油墨填充到网穴中的效果越好^[12],因此安装角度不宜过大或过小。若选择安装角度为 45° 时,图6中可以看出,印刷速度不宜超过3600 r/h,否则影响其生产效率。通常为保证生产效率,印刷速度设置在6000~10 000 r/h范围内较合理,对应的安装角度范围为 55° ~ 65° 。最佳效果为刮墨刀安装角度取中间值 60° ,对应印刷速度为7200 r/h,这样既能保证印刷质量,又能提高生产效率。

4.2 刮刀轴向往复移动距离测定

在刮墨刀厚度为0.15 mm、伸长为5 mm、安装角度为 60° 等相关参数一定的情况下,分别设置印刷速度为2000, 3600, 7200, 10 000, 15 000 r/h,记录刀锋处各点承受应力,并绘制应力-位置曲线。

如图7所示,横坐标代表刮墨刀长度方向刀锋处各点位置,纵坐标为各位置点承受应力。沿着刮墨刀长度方向,虽然印刷速度不断变化,但总是分别在0~0.0714 m和0.094~1 m长度范围内,刮刀受到的应力明显大于其他部分,最大应力随速度提升而逐渐增大。为提高刮墨刀使用寿命,必须使其沿轴向往复移动^[13-14]。对于长度为1 m的印版滚筒,应设置刮墨刀移动距离的最小值为7.14 cm。

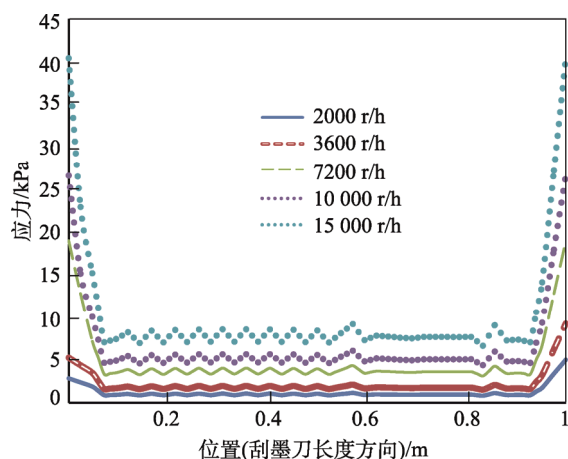


图7 应力-长度位置曲线

Fig.7 Stress-length position curve

4.3 最佳刀片厚度测定

在安装角度均为 60° ,伸长量为5 mm等条件固定的情况下,改变刮墨刀厚度和印刷速度,记录刀锋平均位移^[15]。如图8所示,不同印刷速度条件下,刀片位移随着刀片厚度的增加迅速减少;刀片厚度超过0.15 mm时,随着印刷速度增加,刀锋处位移变化不大。最佳刀片厚度应选择为0.15 mm,不仅刮墨效果好,并且能够在一定程度上节约制刀原材料。

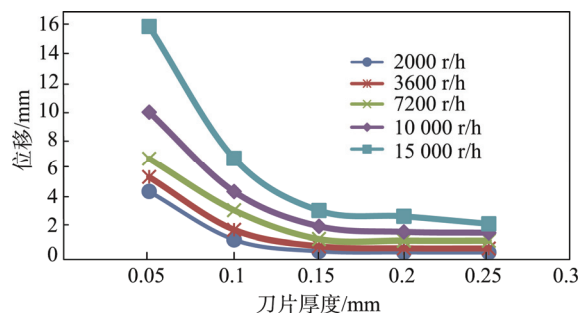


图8 位移-刀片厚度曲线

Fig.8 Displacement-blade thickness curve

5 结语

文中采用的液固耦合分析凹版印刷过程的方法,为分析其他印刷方式和印刷过程提供了一定参考。

定量地确定出凹版印刷中刮墨刀的最佳安装角度范围为 55° ~ 65° 。当印刷速度为7200 r/h,并且刮墨刀安装角度为 60° 时,既能保证印刷质量,又能提高生产效率。考虑刮墨刀上需施加一定的应力,将使刮墨刀产生大约 3° 的弯曲变形,在7200 r/h的印刷速度下,安装角度最好为 57° ,这与实际印刷时设置的角度基本一致。

印刷时刮墨刀应沿轴向往复运动,对于长为1 m的印版滚筒,刮刀移动距离最小值为7.14 cm,避免了同一位置长时间受较大应力损坏刮墨刀。在印刷时刮墨刀不宜选择刀片厚度低于0.15 mm的刮墨刀,否则会造成刀锋位移过大,影响刮墨效果,这也是在实际生产时选用的刮墨刀在0.15 mm以上的原因。

参考文献:

- [1] 刘东红. 凹版印刷机刮墨刀的动态特性分析[D]. 西安: 西安理工大学, 2012.
LIU Dong-hong. Analysis of Dynamic Characteristics of Squeegee for Gravure Press[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2012.
- [2] 金琳, 李艳, 王仪明, 等. 基于测试的凹印机能效分析[J]. 包装工程, 2014, 32(6): 43—48.
JIN Lin, LI Yan, WANG Yi-ming, et al. Energy Efficiency Analysis of Gravure Press Based on Test[J]. Packaging Engineering, 2014, 32(6): 43—48.

- [3] 陈锋, 王春江, 周岱. 流固耦合理论与算法评述[J]. 空间结构, 2012, 12(15): 22—26.
CHEN Feng, WANG Chun-jiang, ZHOU Dai. Fluid Structure Coupling Theory and Algorithm Review[J]. Spatial Structure, 2012, 12(15): 22—26.
- [4] 张亮, 何环宇, 张学伟, 等. 垂直轴水轮机单向流固耦合数值研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2014, 6(12): 61—67.
ZHANG Liang, HE Huan-yu, ZHANG Xue-wei, et al. Numerical Study on Fluid Structure Interaction of Vertical Axis Hydraulic Turbine[J]. Journal of Hua Zhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2014, 6(12): 61—67.
- [5] 毕菲菲, 郭亚丽, 沈胜强, 等. 液滴撞击固体表面铺展特性的实验研究[J]. 物理学报, 2012, 8(16): 49—53.
BI Fei-fei, GUO Ya-li, SHEN Sheng-qiang, et al. Droplet Impacting on Solid Surface Spreading Characteristics of Experimental Study[J]. Journal of Physics, 2012, 8(16): 49—53.
- [6] 汪焰恩, 周金华, 秦琰磊, 等. 液滴撞击固体球面行为特性的数值研究[J]. 振动与冲击, 2012, 10(19): 61—66.
WANG Yan-en, ZHOU Jin-hua, QIN Yan-lei, et al. Numerical Study of Droplet Impacting Solid Spherical Behavior[J]. Vibration and Impact, 2012, 10(19): 61—66.
- [7] 李维仲, 朱卫英, 权生林, 等. 液滴撞击水平固体表面的可视化实验研究[J]. 热科学与技术, 2016, 6(11): 29—35.
LI Wei-zhong, ZHU Wei-ying, QUAN Sheng-lin, et al. Visualization Experiment of Droplet Impacting on Horizontal Solid Surface[J]. Thermal Science and Technology, 2016, 6(11): 29—35.
- [8] JASON P, SHELDON A. Hybridizable Discontinuous Galerkin Method for Modeling Fluid-Structure Interaction[J]. Journal of Computational Physics, 2016, 8(15): 37—41.
- [9] DAN G. Basis Enrichment and Solid-Fluid Coupling For Model-reduced Fluid Simulation[J]. Virtual Worlds, 2015, 2(3): 35—41.
- [10] 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(3): 18—24.
XIA Xue, TANG Zheng-ning. Influence of Gravure Offset Ink Transfer Process on Printing Quality[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 18—24.
- [11] 初红艳, 沈瑞卿, 蔡力钢. 胶印机供墨系统中两墨辊运动的动力学仿真[J]. 北京工业大学学报, 2016, 7(13): 975—981.
CHU Hong-yan, SHENG Rui-qing, CAI Li-gang. Dynamic Simulation of The Movement of Two Ink Rollers in Offset Printing Ink Supply System[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2016, 7(13): 975—981.
- [12] 初红艳, 张笑林, 蔡力钢. 胶印机着墨过程影响因素分析[J]. 北京工业大学学报, 2015, 6(3): 53—58.
CHU Hong-yan, ZHANG Xiao-lin, CAI Li-gang. The Printing Machine Inking Process Analysis on the Influencing Factors[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2015, 6(3): 53—58.
- [13] SAKET P. Towards Positivity Preservation for Monolithic Two-way Solid-fluid Coupling[J]. Journal of Computational Physics, 2016, 2(3): 10—15.
- [14] 初红艳, 赵丕乐, 蔡力钢. 微尺度下速度滑移对油墨流动特性的影响[J]. 北京工业大学学报, 2017, 5(10): 17—22.
CHU Hong-yan, ZHAO Pi-le, CAI Li-gang. The Micro Scale Velocity Slip Effect on the Flow Characteristic of the Ink[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2017, 5(10): 17—22.
- [15] DAVID F. Fluid-structure Interaction in Straight Pipes: Friction Coupling Mechanisms[J]. Computers and Structures, 2016, 6(11): 26—32.