包装技术与工程

基于 ANSYS 的胶印机匀墨系统动态仿真

严晓飞，初红艳，蔡力钢，于海辉
(北京工业大学，北京 100124)

摘要：在胶印机匀墨系统中，串墨辊在串墨机构带动下在轴向做往复运动，同时在驱动作用下做周向转动，通过摩擦力带动匀墨辊转动。利用 ANSYS 软件建立了串墨辊和匀墨辊模型，添加不同的边界条件，进行了仿真，得到了匀墨辊的应力和变形以及运动情况。结果表明：匀墨辊受到大小相同、方向不断变化的剪切应力，匀墨辊和串墨辊之间存在相对滑动，匀墨辊在接触区存在压应力，在接触区附近存在拉应力。为进一步研究油墨在轴向和周向的打匀以及油墨的传递特性提供参考依据。

关键词：串墨辊；匀墨辊；应力；变形；运动
中图分类号：TS803.6　**文献标识码：**A　**文章编号：**1001-3563(2012)03-0001-04

Dynamic Simulation of Ink-average System of Offset Machine Based on ANSYS

YAN Xiao-fei, *CHU Hong-yan*, *CAI Li-gang*, *YU Hai-hui*
(Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In the ink-average system of offset machine, the reciprocating motion of ink vibrator was supplied by the oscillating ink mechanism; ink vibrator does axial motion, and at the same time turns around its central axis, driving the ink distributing roller through friction. The model of ink distributing roller and ink vibrator was built by using ANSYS and different boundary conditions were added. The simulation was carried out to acquire the stress, deformation and movement of the ink distributing roller. The result showed that the magnitude of shear stress is constant, but its direction changes frequently; there is relative sliding between ink vibrator and ink distributing roller; and there is pressure stress in contact area and pulling stress near the contact area. The purpose was to provide reference for study of ink-average process and ink flow.

Key words: ink vibrator; ink distributing roller; stress; deformation; movement

匀墨系统是印刷机的重要组成部分，它的作用是将从墨斗辊传出的条带状的油墨，从周向和轴向 2 个方向打匀[1]。在匀墨系统中，串墨辊和匀墨辊在安装时处于相互挤压状态，串墨机构带动串墨辊在轴向做往复运动，通过摩擦力将油墨在轴向打匀。串墨辊在做轴向串动的同时还做周向转动，并通过摩擦力带动匀墨辊转动，油墨的周向打匀是依靠墨辊之间的挤压和旋转完成的。匀墨系统性能的好坏，会对最终的印刷品的质量产生重要的影响。

笔者利用 ANSYS 软件建立串墨辊和匀墨辊的有限元模型，分析匀墨辊的应力、变形以及运动情况，为进一步研究油墨和墨辊的流固耦合提供参考依据。

1　数值分析模型

针对北人集团 BR624 胶印机，建立串墨辊和匀墨辊的有限元模型。在本胶印机匀墨系统中，串墨辊是硬塑料辊，几乎不发生变形；匀墨辊是橡胶辊，存在较大的变形。

1.1　橡胶材料弹性理论

ANSYS 非线性有限元程序一般采用 Mooney-Rivlin 模型分析和计算橡胶材料的力学性能，橡胶材

收稿日期：2011-11-03
基金项目：国家自然科学基资助项目(51105009)；北京市教委科研计划项目(KM200910005006)
作者简介：严晓飞(1986－)，男，河北人，硕士，北京工业大学硕士生，主攻印刷机匀墨系统的仿真和研究。

料的应变能密度函数 W 是变形张量 I_1, I_2, I_3 的函数[2]，即：

$$W = W(I_1, I_2, I_3) \tag{1}$$

根据橡胶材料的体积不可压缩性，$I_3 = 1$，W 可以用 Rivlin 推导的变形张量级数形式[3]表示：

$$W = \sum_{i+j=1}^{N} C_{ij}(I_i - 3)^i (I_j - 3)^j \tag{2}$$

式中：C_{ij} 是力学性能常数。

不可压缩橡胶材料的 Mooney-Rivlin 模型为：

$$W = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) \tag{3}$$

式中：C_1, C_2 为 Mooney-Rivlin 模型系数；I_1, I_2 为第一、第二应变张量不变量。该模型能很好地描述变形小于 150%的橡胶材料的力学性能，完全能满足橡胶材料实际应用的性能计算需要。

对于橡胶材料，在小应变时，其弹性模量 E_0、剪切模量 G 和材料常数 C_1 和 C_2 有下述关系：

$$G = \frac{E_0}{3} = 2(C_1 + C_2)$$

$$E_0 = 6C_1\left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right) \tag{4}$$

根据橡胶材料 IRHD 硬度 H_r 与 E_0 的实验数据[4]，经拟合得：

$$\lg E_0 = 0.019\,8H_r - 0.543\,2 \tag{5}$$

本胶印机的匀墨辊 H_r 是 40 度，代入式(5)得 $E_0 = 1.773$，根据实验数据[5]得橡胶 H_r 为 40 度时，$C_2/C_1 = 0.1$，代入式(4)得：$C_1 = 0.27$，$C_2 = 0.027$。

1.2 选择单元类型、定义材料属性

串墨辊和匀墨辊会发生大角度的周向转动，串墨辊还会发生轴向的串动。此外，由于串墨辊和匀墨辊之间存在相互挤压，匀墨辊发生变形并依靠与串墨辊之间的摩擦力转动。按照 ANSYS 要求，此类分析属于大变形范畴，因此，必须选用恰当的大变形单元。

考虑到模型计算的准确性，匀墨辊模型选用 20 节点构成的 solid186 单元。solid186 单元自身不支持大的转动，为了使匀墨辊模型能够绕着中心轴转动，还要选取 mpc184 单元建立相应的转动副[6]。匀墨辊的中心轴为钢轴，表面包裹着一层橡胶，为建立模型方便，匀墨辊只建立橡胶部分模型，考虑到刚体轴对仿真的影响，需添加 mass21 节点加载钢轴的质量和转动惯量。匀墨辊的材料为橡胶，选用 Mooney-Rivlin 模型，参数同前，$C_1 = 0.27$，$C_2 = 0.027$。

串墨辊几乎不发生变形，可以看作刚体辊，但串墨辊存在大的周向转动和轴向串动。另外，为模拟与匀墨辊之间的相互挤压，串墨辊还存在向下的运动。综上考虑，串墨辊模型选用 8 节点构成的 shell281 单元。串墨辊材料选用塑料，弹性模量为 4 000 MPa，泊松比为 0.33。

1.3 划分网格并建立接触对

串墨辊和匀墨辊有限元模型见图 1，串墨辊为圆

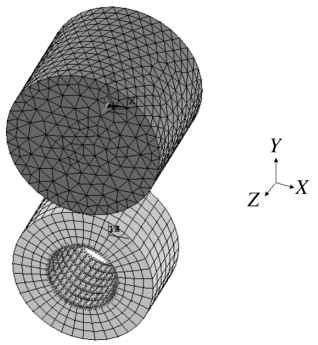


图 1 串墨辊和匀墨辊的有限元模型

Fig. 1 The finite model of ink vibrator and ink distributing roller

柱面，网格形状为三角形，网格大小为 5 mm，采用自由网格划分形式；匀墨辊为空心圆柱体，网格形状为六面体，每 1/4 圆弧划分为 10 段，采用扫掠网格划分形式。

共建立 2 对接触对：一是串墨辊表面和匀墨辊表面之间的接触对；二是匀墨辊内表面和中心 polot 节点之间的接触对，内表面为刚性面，它的运动是通过 polot 节点给定的位移来确定的。

1.4 边界条件施加

在匀墨系统中，串墨辊在轴向串动的同时在周向转动，并依靠摩擦力带动匀墨辊在周向转动。根据串墨机构的运动仿真可知，串墨辊的轴向位移和速度曲线近似为正余弦曲线[7]。串墨辊工作条件见表 1—2。

表 1 串墨辊串动条件

Tab. 1 Movement conditions for ink vibrator

串动位移函数	振幅/mm	角频率/(rad·s^{-1})	周期/s	频率/s^{-1}	轴向串动量/mm
$10\sin[\pi(t-1)]$	10	π	2	0.5	20

表 2 串墨辊滚动条件

Tab. 2 Rolling conditions for ink vibrator

转动角速度/(rad·s^{-1})	周期/s	频率/s^{-1}
2π	1	1

为了保证求解收敛以及求解结果准确，选择大变形瞬态选项和采用多载荷步形式进行求解[8]。每次仿真都分 2 个载荷步完成，每个载荷步作用时间为 1 s。在匀墨系统中，串墨辊和匀墨辊在安装时处于相互挤压状态；但在仿真分析时，串墨辊和匀墨辊初始时处于相切状态，没有发生相互挤压，所以在 3 次仿真中，载荷步 1 都是在串墨辊两端中心节点施加 Y 方向 -0.5 mm 的位移，使串墨辊和匀墨辊处于挤压状态；在载荷步 2 中，为分析串动引起的剪切力随时间变化的规律，假设串墨辊只串动不转动，串动速度函数为 $20\pi\cos[\pi(t-1)]$；为分析匀墨辊的运动状态，假设串墨辊只转动不串动，转动速度为 2π/s；最后分析了串墨辊处于既串动又转动工作状态下匀墨辊的受力和变形，串动速度和转动速度同前，所施加的边界条件见表 3。匀墨辊是被动辊，中心的 mpc184 转动副只允许匀墨辊绕其中心转动，不施加其他边界条件。

表 3　有限元分析边界条件*

Tab. 3 Boundary conditions for the finite element analysis

	载荷步 1		载荷步 2	
	边界条件	加载方式	边界条件	加载方式
串动	Y 方向 -0.5 mm	斜坡加载	Z 方向串动速度函数 $10\pi\cos[\pi(t-1)]$	阶跃加载
转动	Y 方向 -0.5 mm	斜坡加载	绕 Z 轴转动速度 2π/s	阶跃加载
串动＋转动	Y 方向 -0.5 mm	斜坡加载	Z 方向串动速度函数 $10\pi\cos[\pi(t-1)]$ 绕 Z 轴转动速度 2π/s	阶跃加载

*：X 方向为墨辊切线方向，Y 方向为上下方向，Z 方向为墨辊的轴向方向（见图 1 中坐标系）

2　ANSYS 数值仿真结果与分析

2.1　串动结果分析

匀墨辊 XZ 方向剪切应力随时间变化的曲线见图 2，在前 1 s 串墨辊只是向下移动，没有 Z 方向的位移，所以 XZ 方向剪切应力为 0；在 1 s 到 2 s 时间内，串墨辊在 Z 方向存在运动，其速度函数为余弦函数。由表 1 可知，在 1 s 到 1.5 s 时间内，串动速度为正值，XZ 方向剪切应力在 0.11 MPa 附近波动；在 1.5 s 到 2 s 时间内，串动速度为负值，XZ 方向剪切应力在 -0.11 MPa 附近波动。因此，将串动速度和 XZ 方向剪切应力比较可得，XZ 方向剪切应力只与串动方向有关，与串动速度无关；此外，从图 2 可知，在 1 s 和 1.6 s 附近，当串动开始和串动方向改变时，剪切应力存在较大的波动。

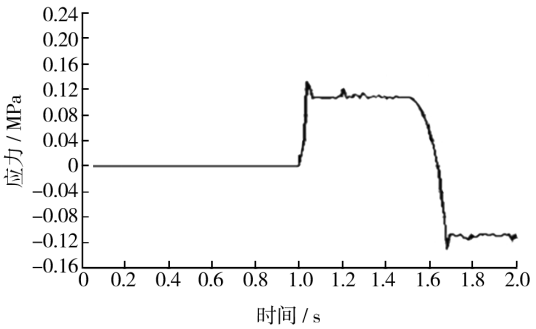


图 2　匀墨辊 XZ 方向剪切应力变化曲线

Fig. 2 The curve of XZ direction shear stress for ink distributing roller

2.2　转动结果分析

串墨辊和匀墨辊的角位移和角速度随时间变化的曲线见图 3。曲线 1 和 2 分别为串墨辊和匀墨辊的角位移曲线，对它们进行求导，得到串墨辊和匀墨辊的角速度曲线，见曲线 3 和 4。匀墨辊是被动辊，依靠串墨辊的摩擦力转动，由图 3 中可以看出，当串墨辊以 2π/s 匀速转动时，匀墨辊也近似匀速转动，但存在微小波动。串墨辊的半径是 0.03 m，匀墨辊的半径是 0.027 5 m，从图 3 中可知，匀墨辊的转速是 6.83 rad/s，因此串墨辊的线速度是 $v_1 = 0.03 \times 2\pi =$

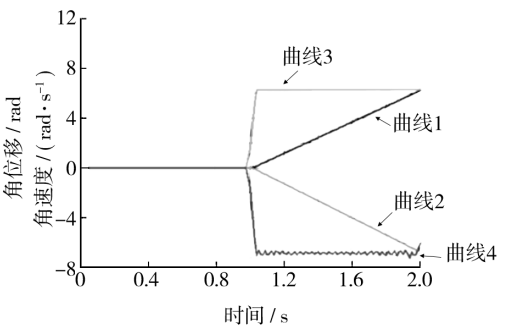


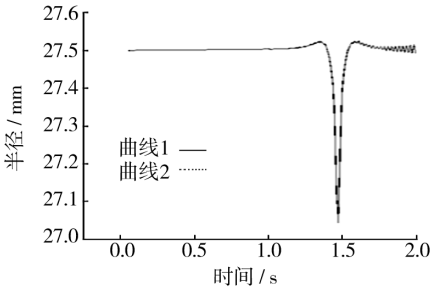
图 3　串墨辊和匀墨辊角位移和角速度曲线

Fig. 3 The curve of angular displacement and angular velocity of ink vibrator and ink distributing roller

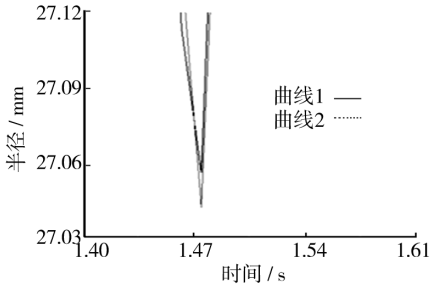
0.188 4 m/s,匀墨辊的线速度 $v_2=6.83\times0.027\ 5=0.187\ 8$ m/s。比较 v_1 和 v_2 可知,串墨辊和匀墨辊在转动的过程中存在相对滑动,串墨辊的线速度比匀墨辊的线速度大一些。

2.3 串动加转动结果分析

匀墨辊半径变化见图 4,为分析匀墨辊的半径随



a 匀墨辊半径变化整体图



b 匀墨辊半径变化局部放大图

图 4 匀墨辊半径变化情况

Fig. 4 Radius variation of ink distributing roller

时间变化的规律,图 4 中 2 曲线所选择的节点初始时刻都位于匀墨辊 Y 方向最低处,其中曲线 1 为串墨辊只转动没有串动情况下,匀墨辊半径随时间变化的曲线,曲线 2 为串墨辊即转动又串动情况下,匀墨辊半径随时间变化的曲线。由图 4 中可以看出,当串墨辊和匀墨辊发生挤压时,匀墨辊半径迅速下降,但是由于橡胶体积的不可压缩性,在即将进入接触区和刚离开接触区位置的匀墨辊的半径稍微增大。另外,由图 4 可以得到,2 种条件下匀墨辊半径随时间变化的趋势相同,但在发生挤压时,串墨辊即串动又转动时匀墨辊的半径减小量,比串墨辊只转动时的减小量要大一些。这是因为串墨辊在转动时,匀墨辊的变形主要来源于串墨辊的挤压;而串墨辊即串动又转动时,匀墨辊的变形不仅受串墨辊挤压的影响,还受到串墨辊串动的影响,所以变形量要大一些。

匀墨辊 Y 方向应力随时间变化曲线见图 5,图 5 中曲线对应于初始时刻匀墨辊和串墨辊相切处的节点,在前 1 s 时间内,串墨辊下降,匀墨辊该节点压应

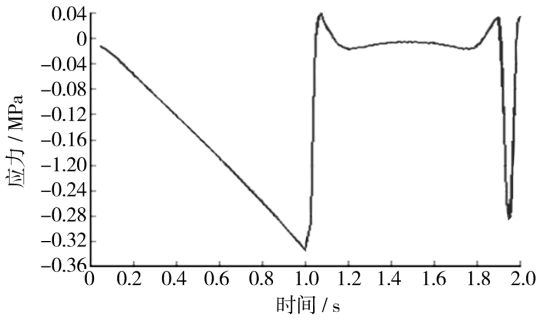


图 5 匀墨辊 Y 方向应力随时间变化的曲线

Fig. 5 The curve of Y direction stress of ink distributing roller

力呈线性增加;在 1～2 s 时间内,串墨辊发生转动和串动,在 1～1.1 s 和 1.8～1.9 s 时间内,该节点分别处于刚离开接触区和将进入接触区的位置,存在一定的拉应力;1.1～1.8 s 时间内,匀墨辊该节点转离接触区,Y 方向应力逐渐减小到 0。在 1.9 s 时,该节点再次进入接触区,压应力呈线性增加;另外,由图 5 可知,匀墨辊转速比 2π/s 稍大,所以再次接触时,时间是 1.9 s。将图 4 和图 5 进行比较可知:在即将进入接触区和刚离开接触区的位置,存在拉应力,匀墨辊半径增大;在接触区存在压应力,匀墨辊半径减小,两图结论相符。

3 结论

以 BR624 胶印机匀墨系统为例,采用计算机仿真的办法,得出了匀墨辊的受力和变形以及运动状况。

1) 匀墨辊轴向剪切应力和串墨辊串动方向有关,与串动速度无关。不同厚度的油墨层在大小相同、方向不断变化的剪切应力作用下,在相邻墨区之间达到均匀的墨层厚度,为进一步研究油墨在轴向的流动提供了参考。

2) 当串墨辊匀速转动时,匀墨辊也近似匀速转动,但线速度比串墨辊的稍小,两辊之间存在相对滑动。正是由于串墨辊和匀墨辊之间的相对滚动和滑动,才使油墨在周向打匀,为进一步研究油墨在周向的流动提供了参考。

3) 匀墨辊的半径在与串墨辊接触时迅速减小,在接触区附近稍微增大;匀墨辊在接触区存在压应力,在接触区附近存在拉应力。它们对油墨的流动均存在一定的影响,为进一步研究油墨的传递特性提供

(下转第 9 页)

Line of the Aluminum Plastics Pipe[J]. Automation & Instrumentation,2001(5):36－38.

[2] 李诗龙. FX12 型旋盖机的设计[J]. 包装工程,2000,21(3):24－26.
LI Shi-long. Design of Screw-closure Capper of Model FX12[J]. Packaging Engineering,2000,21 (3):24－26.

[3] 储茂兵,石恩琪,蔡锦达. 高速注肩机自动控制系统的设计[J]. 包装工程,2006,27(2):113－115.
CHU Mao-bing,SHI En-qi,CAI Jin-da. Design of Autocontrol System of High-speed Tube Heading Machine [J]. Packaging Engineering,2006,27(2):113－115.

[4] 王挺. 全自动高速注肩机控制系统的研制[D]. 上海:上海理工大学,2005.
WANG Ting. Research of Autocontrol System of High-speed Tube Heading Machine [D]. Shanghai: University of Shanghai for Science and Technology,2005.

[5] 付翔. 制肩机控制系统关键技术的研究[D]. 上海:上海理工大学,2010.
FU Xiang. The Research of the Key Technology of Automatic Shoulder-Injecting Machine [D]. Shanghai: University of Shanghai for Science and Technology,2010.

[6] Panasonic Electric Works China Co. ,Ltd. FP-X User's Manual (added edition)[K]. Shanghai: Panascnic Electric Works China Co. , Ltd,2009.

[7] Panasonic Electric Works China Co. ,Ltd. VF100 Instrucion Manual[K]. Shanghai: Panascnic Electric Works China Co. , Ltd,2010.

[8] 松下电工(中国)有限公司. 交流伺服马达-驱动器 MINAS A5 系列使用说明书(综合篇)[K]. 上海:松下电工(中国)有限公司,2010.
Panasonic Electric Works China Co. , Ltd. Minas-A5 Manual [K]. Shanghai: Panascnic Electric Works China Co. , Ltd,2010.

[9] 梁铁军. 基于伺服及 PLC 的收卷张力控制系统[J]. 伺服控制,2010(4):114－117.
LIANG Tie-jun. Winding Tension Control System Based on Servo and PLC[J]. Servo Control, 2010(4): 114－117.

(上接第 4 页)

了更为准确的边界条件。

参考文献:

[1] 余节约,刘真. 胶印机串墨性能的仿真研究[J]. 包装工程,2009,30(11):66－68.
YU Jie-yue,LIU Zhen. Simulation the Effects of Vibrator Oscillation of Offset Printing [J]. Packaging Engineering,2009,30(11):66－68.

[2] 危银涛,杨挺青,杜星文. 橡胶类材料大变形本构关系及其有限元方法[J]. 固体力学学报,1999,20(4):281－289.
WEI Yin-tao, YANG Ting-qing, DU Xing-wen. On the Large Deformation Rubber Link Marterials: Con-structive Laws and Finite Element Method[J]. Acta Mechanica Solida Sinica,1999,20(4):281－289.

[3] 特雷劳尔 L R G. 橡胶弹性物理力学[M]. 王梦蛟,王培国,薛广智,译. 北京:化学工业出版社,1982.
TRELOAR L R G. Elastic Physical Mechanics[M]. WANG Meng-jiao, WANG Pei-guo, XUE Guang-zhi, Translate. Beijing: Chemical Industry Press,1982.

[4] 弗雷克利 K,佩恩 P K. 橡胶在工程中应用的理论与实践[M]. 杜成泽,唐宝华,罗东山,等,译. 北京:化学工业出版社,1985.
FRED C K,PENN P K. The Theory and Practice about the Applying of Rubber in Engineering [M]. DU Cheng-ze,TANG Bao-hua,LUO Dong-shan, Translate. Beijing: Chemical Industry Press,1985.

[5] 郑明军,王文静,陈政南,等. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型力学性能常数的确定[J]. 橡胶工业,2003,50(8):462－465.
ZHENG Ming-jun,WANG Wen-jing,CHEN Zheng-nan, et al. Determination for Mechanical Constants of Rubber Mooney-Rivlin Model[J]. Rubber Industry,2003,50(8): 462－465.

[6] 高耀东,刘学杰,周可璋. ANSYS 机械工程应用精华 30 例[M]. 第 2 版. 北京:电子工业出版社,2010.
GAO Yao-dong,LIU Xue-jie,ZHOU Ke-zhang. The 30 Applied Cases of ANSYS in Mechanical Engineering [M]. Second Edition. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2010.

[7] 王忠于,成刚虎,代春英. 胶印机串墨辊轴向速度的分析[J]. 轻工机械,2007,25(4):41－43.
WANG Zhong-yu,CHENG Gang-hu,DAI Chun-ying. Analysis of Offset Vibrating Rolling Axial Velocity[J]. Light Industry Machinery,2007,25(4):41－43.

[8] 胡国良,任继文. ANSYS11.0 有限元分析入门与提高[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
HU Guo-liang, REN Ji-wen. ANSYS11.0 Introduction and Improvement of Finit-element Analysis[M]. Beijing: National Defense Industry Press,2009.