

# 高速曲面胶印机橡皮滚筒动态特性分析

袁峰, 张翔

(郑州大学, 郑州 450000)

**摘要:**目的 在考虑轴承支承刚度的情况下,对橡皮滚筒进行模态分析和谐响应分析。方法 采用有限元分析软件Ansys对橡皮滚筒进行有限元建模。结果 分析得出其前五阶模态振型和固有频率,以及轴承支承刚度对橡皮滚筒固有频率的影响,通过谐响应分析得出橡皮滚筒在载荷冲击下的位移频率响应曲线。结论 分析结果表明,该型曲面胶印机橡皮滚筒动态特性良好,可有效保证印刷质量。

**关键词:** 橡皮滚筒; Ansys; 模态分析; 谐响应分析

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)07-0166-05

## Dynamic Characteristics of Blanket Cylinder of High Speed Surface Offset Press

YUAN Feng, ZHANG Xiang

(Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China)

**ABSTRACT:** This paper conducted a modal analysis and a harmonic response analysis on the blanket cylinder in consideration of the bearing stiffness. A finite element model of blanket cylinder was built by applying the finite element analysis software Ansys. The first five-order modal shape and the inherent frequency were obtained by the analyses and the influence of bearing stiffness on the inherent frequency was further analyzed. The frequency response curve of the amplitude under load impact was worked out through the harmonic response analysis. These analytical results above showed that the dynamic characteristics of blanket cylinder were fine and the printing quality can be assured.

**KEY WORDS:** blanket cylinder; Ansys; model analysis; harmonic response analysis

近年来,曲面胶印机日益向着高效率、高速度、高精度的方向发展<sup>[1-2]</sup>。曲面胶印机主要用于圆柱面、锥面、罐面等曲面承印物表面上图文的印刷,输墨系统将油墨均匀的涂抹在印版滚筒的柔性凸版上,柔性凸版上的预定图案转印到橡皮滚筒的橡皮布上,然后通过橡皮滚筒和承印物对滚,将图文信息转印至承印物表面<sup>[3]</sup>。以锥形承印物为例,其印刷速度由之前的200个/min达到现在的600个/min,随着印刷速度的提高,橡皮滚筒作为曲面胶印机的重要部件,必须具有良好的动态性能,才能保证高速工况下得到较好的印刷质量<sup>[4]</sup>,因此,对其进行模态分析是极其必要的。

有空挡,在和橡皮滚筒对滚时会有周期性的激振

力作用在大鼓轮上,引起橡皮滚筒的强迫振动,导致套色误差,从而不能保证印刷精度<sup>[5-6]</sup>。橡皮滚筒动力响应是评价其动态性能的一个重要指标,为此对橡皮滚筒进行了谐响应分析。

文中采用有限元分析软件Ansys,对橡皮滚筒进行了动态性能分析,为改善橡皮滚筒高速工况下的动态特性提供了一种研究方法。

### 1 有限元模型的建立

曲面胶印机工作示意图见图1。橡皮滚筒主要由大鼓轮、主轴、斜齿轮、轴承以及橡皮布组成见图2。

收稿日期: 2015-07-12

作者简介: 袁峰(1968—),男,河南新乡人,博士,郑州大学副教授,主要研究方向为工业装配自动化技术、机械产品创新设计等。

大鼓轮通过一对角接触球轴承S7213C支承在主轴上,主轴两端通过支撑法兰固定在主机架上,主轴和斜齿轮材料为45钢,大鼓轮材料为灰铸铁。有限元模型的建立直接影响到分析结果的准确性,为了得到较为精确的结果,文中在Ansys中建立橡皮滚筒模型。为方便在Ansys中网格划分能够顺利进行并且提高计算速度,对该模型进行简化,如驱动斜齿轮简化以及不考虑螺纹孔、过渡圆角、倒角等在承载过程中对橡皮滚筒的影响较小的特征。

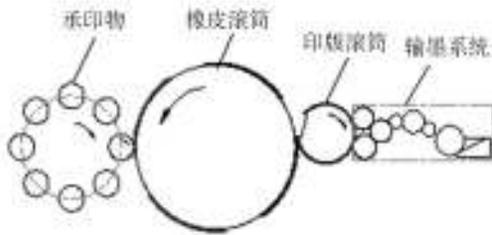


图1 曲面胶印机工作示意图

Fig.1 Operation sketch map of surface offset press

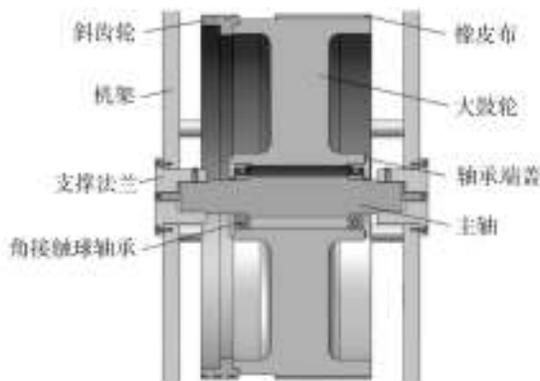


图2 橡皮滚筒结构

Fig.2 Structure sketch map of blanket cylinder

传统的研究一般把轴承看作刚性支承来研究,这样得到的结果会不准确。实际工作中,轴承的刚度对橡皮滚筒的动态性能也有一定影响。本次分析采用弹簧单元来模拟轴承支承,由于弹簧单元轴向的刚度对于主轴的轴向刚度影响非常小,可以忽略不计<sup>[7]</sup>,所以只考虑弹簧径向刚度的影响,建立与实际情况相符的有限元模型,为精确分析橡皮滚筒的动态性能提供了基础。

在建立有限元模型时,大鼓轮和主轴零件采用Solid45单元建立,而对于大鼓轮轴承支承部分有限元模型的建立见图3,在每个圆周截面上均布4个弹簧单元,弹簧单元的长度依据轴承的内外圈半径确定。弹簧单元采用Combin14单元,内、外圈节点都采用HardPT建立。由于模型较为复杂,所以大鼓轮和轴采

用手工控制单元尺寸的自由网格划分方法。为了避免弹簧单元振动对分析结果的影响,对弹簧单元进行网格划分时,必须保证每个弹簧单元的网格数目为1。根据实际情况,对主轴两端全约束,对弹簧单元的内外8个节点( $N_1-N_8$ )限制轴向自由度。施加约束后的有限元模型见图4。

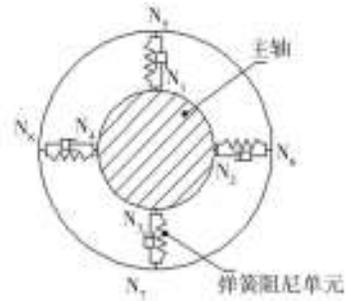


图3 弹簧阻尼单元分布图

Fig.3 The arrangement of spring damper elements



图4 橡皮滚筒有限元模型

Fig.4 The finite element model of blanket cylinder

## 2 模态分析

文中采用子空间法的模态提取方法。子空间法采用广义的Jacobi迭代算法,采用完整的质量、刚度矩阵,计算精度较高,适用于求解大型结构的特征值问题<sup>[8]</sup>。由于本次只分析橡皮滚筒的前五阶模态,故此方法较为适用。

模态分析前首先设置各单元的相关参数如下:

1) 主轴:弹性模量  $EX=2.05 \times 10^5$  MPa;泊松比  $\nu_{XY}=0.29$ ;密度  $DENS=7.85 \times 10^{-9}$  g/mm<sup>3</sup>。

2) 大鼓轮:弹性模量  $EX=1.4 \times 10^5$  MPa;泊松比  $\nu_{XY}=0.27$ ;密度  $DENS=7.2 \times 10^{-9}$  g/mm<sup>3</sup>。

依据轴承的相关参数计算可得<sup>[9-10]</sup>,弹簧刚度  $K=2.17 \times 10^5$  N/mm,通过模态分析得到橡皮滚筒的前5阶固有频率及振型见图5。

考虑轴承支承刚度情况下,橡皮滚筒的前5阶模

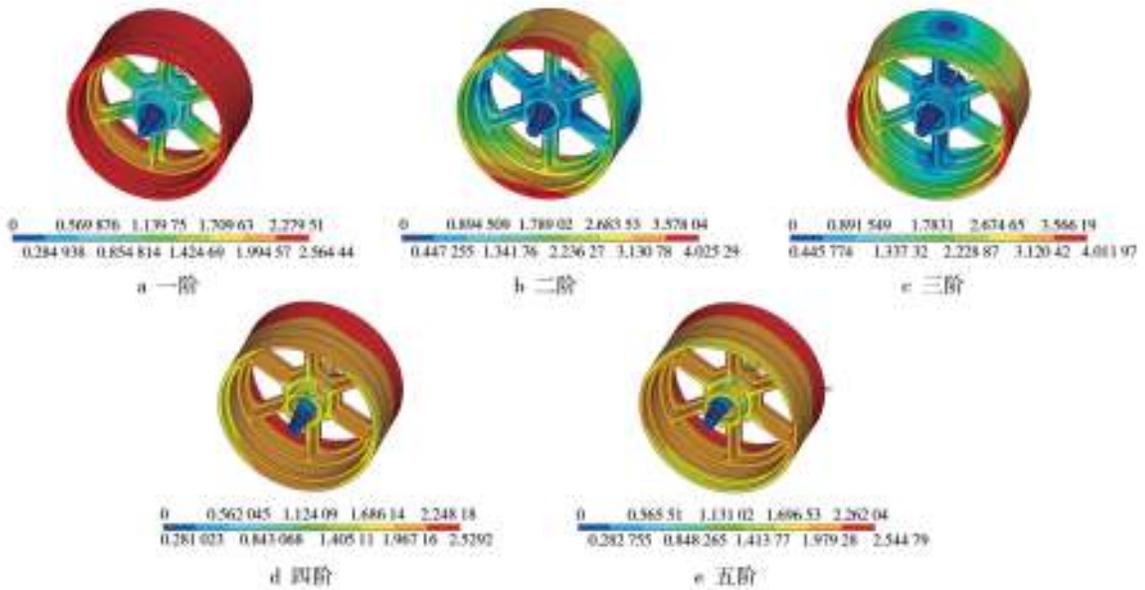


图5 橡皮滚筒的前五阶振型(mm)

Fig.5 The first five-order vibration modes of blanket cylinder

态的计算结果。从图5a,可以看出橡皮滚筒的一阶模态振形为绕z轴的扭转变形,一阶固有频率为0。图5b为橡皮滚筒二阶模态计算结果,从图中可知二阶固有频率为188.94 Hz,其模态振形主要表现为大鼓轮绕x方向的摆动。图5c为橡皮滚筒三阶模态计算结果,从图中可知三阶固有频率为189.45 Hz,其模态振形主要表现为大鼓轮绕y方向的摆动。图5d为橡皮滚筒四阶模态计算结果,从图中可知四阶固有频率为242.3 Hz,其模态振形主要表现为大鼓轮沿y方向的跳动。图5e为橡皮滚筒五阶模态计算结果,从图中可知五阶固有频率为244.04 Hz,其模态振形主要表现为大鼓轮沿x方向的跳动。从图5中可以看出,当考虑轴承支承刚度时,主轴作为心轴,其模态变形很小,几乎为零,橡皮滚筒的模态变形主要表现为大鼓轮的变形。该机型最高工作频率约为7 Hz,模态分析表明,橡皮滚筒最低阶频率为188.94 Hz时,可有效避开共振频率,保证印刷质量。

在模态分析时<sup>[11-13]</sup>,为了得到轴承支承刚度和橡皮滚筒固有频率的关系,文中以橡皮滚筒的二阶模态为例,通过改变弹簧的刚度,采集多组数据并绘制其关系曲线,见图6。

由图6可得,当考虑轴承的支承刚度时,橡皮滚筒的固有频率明显减小,并且随着弹簧刚度的增加,其固有频率也随之增大。当弹簧刚度足够大时,其固有频率的变化趋于稳定,且接近刚性支承时的固有频率。

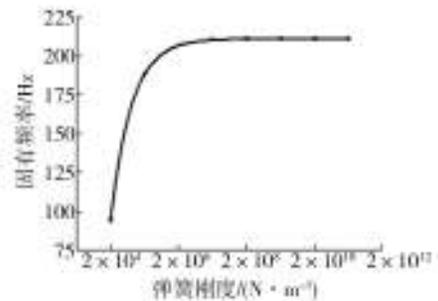


图6 固有频率和弹簧刚度的关系曲线

Fig.6 The relation curve of inherent frequency of blanket cylinder with bearing stiffness

### 3 谐响应分析

本次分析取印刷压力为100 N/cm<sup>2</sup>,压痕宽度为5 mm,即在大鼓轮沿y轴正向5 mm × 180 mm 表面区域施加1 MPa的径向激振力<sup>[14-15]</sup>,在0~200 Hz频率范围,分50步进行谐响应分析。由模态分析得到的二阶振型可知,共振时大鼓轮边沿的变形最大,因此在大鼓轮的边沿激振处拾振,当无阻尼时其位移响应见图7a。

由于阻尼比较复杂,在工程实际中,阻尼比一般取0.03~0.05,阻尼比为0.05时激振点的位移响应见图7b。

对比图7a和b可知,当激振频率较低时,径向和轴向的位移响应振幅都变化很小,振幅的大小受阻尼比影响较小;当激振频率接近共振频率时,振幅衰减较大,阻尼比对振幅的影响很大。

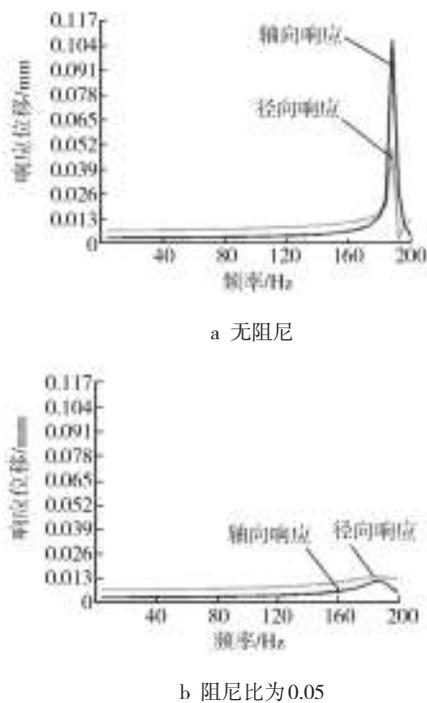


图7 激振处位移响应曲线

Fig.7 The frequency response curve of the amplitude

## 4 结语

通过对橡皮滚筒进行模态分析和谐响应分析得出如下结论:

1) 橡皮滚筒一阶模态是绕 $z$ 轴的转动,二三阶模态分别为绕 $x,y$ 方向的摇摆振动。四五阶模态分别为沿 $y,x$ 方向的跳动。考虑轴承支撑刚度时,主轴变形很小,模态变形主要表现为大鼓轮的变形。

2) 考虑轴承刚度时,橡皮滚筒的固有频率明显减小,且随轴承刚度的增加,其固有频率随之增大。当弹簧刚度足够大时,其固有频率的变化趋于稳定,且接近刚性支撑时的固有频率。

3) 当激振频率较低时,振幅的大小受阻尼比影响较小;当激振频率接近共振频率时,阻尼比对振幅的影响很大。

## 参考文献:

[1] 王仪明,蔡吉飞,赵吉斌. 高速胶印机关键技术研究现状及进展[J]. 中国机械工程, 2007, 18(10): 1255—1258.  
WANG Yi-ming, CAI Ji-fei, ZHAO Ji-bin. Research and Development of Key Technologies for High Speed Offset Press [J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18 (10) : 1255—1258.

[2] 王贤洵,乡碧云,王昌佑. 曲面印刷装备的现状与发展趋向

[J]. 现代制造工程, 2014(2): 1—3.

WANG Xian-xun, XIANG Bi-yun, WANG Chang-you. The Current Situation and Development Trend of Curved Surface Printing Equipment[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2014(2): 1—3.

[3] 钱军浩. 印刷机械[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.

QIAN Jun-hao. Printing Mechanism[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.

[4] GUAN J H, GUO H. Test and Analysis of the Vibration of the Printing Press[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2004, 30(1), 35—37.

[5] YANG J H, GUAN H, GUO N J. The Finite Element Analysis about the Vibration of the Printing Press[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006, 32(6): 489—492.

[6] 李文威, 陈南, 解鹏程. 胶印机整机有限元建模与综合分析[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 25—29.

LI Wen-wei, CHEN Nan, XIE Peng-cheng. Finite Element Modeling and Synthesis Analysis of offset Press[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 25—29.

[7] 詹磊. 印刷机橡皮滚筒的改进设计及动态特性的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2006.

ZHAN Lei. Modified Design and Dynamic Characteristic Research On Blanket Cylinder of Offset Press[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2006.

[8] 曾攀, 雷丽萍, 方刚. 结构的建模与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.

ZENG Pan, LEI Li-ping, FANG Gang. Modeling and Analysis of Structure[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.

[9] 许泉. 机床主轴静动态性能研究及优化设计[D]. 西宁: 广西大学, 2012.

XU Xiao. The Static and Dynamic Research of The Machine Tool Spindle System and Optimization[J]. Xining: Guangxi University, 2012.

[10] 方兵, 张雷, 曲兴田, 等. 角接触球轴承刚度理论计算与实验[J]. 吉林大学学报, 2012, 42(4): 840—844.

FANG Bing, ZHANG Lei, QU Xing-tian, et al. Theoretical and experimental research of Stiffness Of Angular Contact Ball Bearing[J]. Journal of Jilin University, 2012, 42(4): 840—844.

[11] 王芳, 张印辉, 赵美宁. 基于ANSYS的滚筒模态分析[J]. 包装工程, 2005, 26(4): 73—75.

WANG Fang, ZHANG Yin-hui, ZHAO Mei-ning. The Modal Analysis of Blanket Cylinder Based on ANSYS[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(4): 73—75.

[12] ZHAO Ji-bin, WANG Yi-ming, WU Shu-qin. Research on Testing Method of Dynamic Strain on the Wallboard of Printing Press[C]// International Technology & Innovation Conference IET, 2006: 576—580.

[13] WANG Yi-ming, PENG Ming, WANG Xin-zhu. Research on

- Dynamic Characteristic of Printing Press Paper Transferring System Based on Experimental Modal Analysis[C]// Proceedings of International Technology and Innovation Conference, 2009:1—6.
- [14] 冯彩霞. 基于有限元理论的滚筒空档冲击墨杠分析与滚筒优化[D]. 西安:西安理工大学, 2009.
- FENG Cai-xia. The Analysis of Streaks of Impression Cylinder Gap Impact and Optimization of Impression Cylinder Based On Finite Element Theory[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2009.
- [15] 张凯乐, 黄颖为, 薛凤梅. PZ1650 橡皮滚筒受力分析的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3):55—57.
- ZHANG Kai-le, HUANG Ying-wei, XUE Feng-mei. Force Analysis of Blanket Cylinder of PZ1650 Printing Machine[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3):55—57.

(上接第 160 页)

- (8):481—482.
- LI Wei, XU Hua, CHANG Yu-wen. Determination of 11 Kinds of Solvent Residues in Plastic Food Packing Material by Headspace Gas Chromatography[J]. Chemical Reagent, 2007, 29(8):481—482.
- [10] 熊中强, 王利兵, 李宁涛. 气相色谱法测定高分子食品包装材料中抗氧化剂的残留量[J]. 色谱, 2011, 29(3):273—276.
- XIONG Zhong-qiang, WANG Li-bing, LI Ning-tao. Determination of Antioxidant Residues in Polymer Food Package Using Gas Chromatography[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2011, 29(3):273—276.
- [11] ALIN J, HAKKARAINEN M. Type of Polypropylene Material Significantly Influences the Migration of Antioxidants from Polymer Packaging to Food Simulants During Microwave Heating[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 118(2):1084—1093.
- [12] ALIN J, HAKKARAINEN M. Migration from Polycarbonate Packaging to Food Simulants During Microwave Heating[J]. Polymer Degradation and Stability, 2012, 97(8):1387—1395.
- [13] ANDREEV Y A, CHERNOV' YANTS M S. Gas Chromatographic Determination of Polychlorophenols after Derivatization with Monochloroacetic Anhydride[J]. Journal of Analytical Chemistry, 2010, 65(10):1021—1028.
- [14] AZNAR M, CANELLAS E, NER N C. Quantitative Determination of 22 Primary Aromatic Amines by Cation-exchange Solid-phase Extraction and Liquid Chromatography-mass Spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2009, 1216(27):5176—5181.
- [15] LORENZINI R, FISELIER K, BIEDERMANN M, et al. Saturated and Aromatic Mineral Oil Hydrocarbons from Paperboard Food Packaging: Estimation of Long-Term Migration from Contents in the Paperboard and Data on Boxes from the Market[J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2010, 27(12):1765—1774.

(上接第 165 页)

- [12] 高建昌, 郭广君, 国艳梅, 等. 平台扫描仪结合 Image J 软件测定番茄叶面积[J]. 中国蔬菜, 2011(2):73—77.
- GAO Jian-chang, GUO Guang-jun, GUO Yan-mei, et al. Measuring Plant leaf Area by Scanner and Image J Software[J]. China Vegetables, 2011(2):73—77.
- [13] 冯爱芬, 张永久. 应用 Image J 软件进行图像处理统计织物孔隙率[J]. 针织技术, 2015(1):9—11.
- FENG Ai-fen, ZHANG Yong-jiu. Application of Image J Software for Image Processing and Fabric Porosity Analyzing[J]. Fabric Technology, 2015(1):9—11.
- [14] 刘智, 王玲玲, 周卫东, 等. 用 Image J 分析水稻胚乳淀粉粒表面几何特征的方法[J]. 电子显微学报, 2011, 30(4-5):466—471.
- LIU Zhi, WANG Ling-ling, ZHOU Wei-dong, et al. The Surface of the Geometric Characteristics Analysis for Rice Endosperm Starch Granules by Using Image J[J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2011, 30(4-5):466—471.
- [15] SHEN H, OPPENHEIMER S M, DUNAND D C, et al. Numerical Modeling of Pore Size and Distribution in Foamed Titanium[J]. Mechanics of Materials, 2006, 38(8-10):933—944.
- [16] MANDELBROT B B. The Fractal Geometry of Nature[M]. New York: W H Freeman and Company, 1982.