

# 基于 Workbench 的模切机印刷滚筒的模态分析及优化设计

张庆山, 刘其洪

(华南理工大学, 广州 510640)

**摘要:**应用 Workbench 工具软件对模切机印刷滚筒进行模态分析, 得到其动态特性和固有频率, 并提取模型的主要尺寸参数作为设计变量进行优化设计分析, 对印刷滚筒的质量进行优化, 在减轻质量的条件下改善并提高其动态特性和刚度。

**关键词:**印刷滚筒; 模态分析; 设计变量; 优化设计; 刚度

**中图分类号:** TS803.6; TH12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)03-0060-03

## Modal Analysis and Optimum Design of Die Cutting Machine Printing Cylinder Based on Workbench

ZHANG Qing-shan, LIU Qi-hong

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Modal analysis was carried out on printing cylinders using Workbench software to get dynamic features and natural frequency. The main dimensions parameters of model were extracted to be design variables for optimization analysis. The dynamic features and stiffness of the printing cylinders were optimized in condition of reducing weight.

**Key words:** printing cylinder; modal analysis; design parameter; optimum design; stiffness

随着国民经济的迅速发展,我国已逐渐成为世界上第 5 大包装机械生产国和第 2 大包装机械进口国,其中印刷模切机占包装机械产品 60% 以上的份额<sup>[1-2]</sup>。印刷滚筒是印刷机械的重要部件,其质量直接关系到印刷效果和生产效率。笔者通过 Ansys Workbench 对广东省某印刷厂的模切机印刷滚筒进行模态分析和质量的优化设计,在减轻质量的条件下,改善其刚度和动态性能。

为了提高印刷设备在高速高精环境下的设备稳定性,世界上著名的胶印机制造企业在胶印机的动态测试及设计方面进行了大量基础理论和应用研究。海德堡公司进行了胶印机振动的数学分析及实验研究,并对胶印机墙板进行了有限元分析。他们建立了胶印机振动分析的数学模型,确定了胶印机的振动性态,分析了各构件的振动特征对印刷品质量的影响。

通过实验研究,得出了激励和动态响应之间的传递函数,提出了结构加固措施,保证了胶印机的运转稳定性。

目前国内一些高校也在做印刷设备的设计、优化工作,主要有西安理工大学和广东工业大学,但和国外相比仍有较大差距。Ansys Workbench 是新一代的 CAE 分析环境和应用平台,将设计、仿真、优化集成于一体,包括 Design Modeler 建模工具、Design Simulation 分析工具和 Design Xplorer 优化分析工具<sup>[1]</sup>,可以进行模态分析、谐响应分析等多种动力学分析和多物理场耦合分析<sup>[3]</sup>。

### 1 建模与加载边界条件

印刷滚筒主要有内轴、外筒和加强筋 3 部分构

**收稿日期:** 2010-10-08

**基金项目:** 广东省科技厅 2009 年重大专项(2009A080202004)

**作者简介:** 张庆山(1986—),男,河南新乡人,华南理工大学硕士生,主攻数字制造及计算机应用。

**通讯作者:** 刘其洪(1966—),男,江西南康人,华南理工大学副教授,主要研究方向为数字制造及计算机应用、计算机数控技术、现代检测与监控技术。

成,各部分均焊接在一起,且各部件的材料不同。在不影响分析又便于建模的情况下,将内轴、加强筋与外筒通过 add material 为一个整体,其有限元模型见图 1。赋予印刷滚筒 solid45 单元,solid45 是三维八

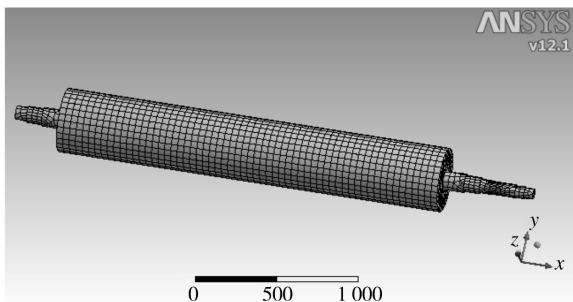


图 1 印刷滚筒的有限元模型(mm)

Fig. 1 Finite element model of the printing cylinder

节点单元,每个节点具有  $x, y$  和  $z$  三个方向的自由度,具有塑性、蠕变、应力强化、大变形等特征<sup>[4]</sup>。滚筒的弹性模量  $E$  为  $2.1 \times 10^{11}$  Pa,密度  $\rho$  为  $7\ 850$  kg/ $m^3$ ,泊松比为  $0.3$ 。

在 Ansys 的模态分析中,只能施加零位移约束,即使施加了非零位移约束,程序将以零约束代替。印刷滚筒两端通过轴承约束,因此可以将印刷滚筒简化为简支梁,约束  $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}, R_y$  和  $R_z$ ,只允许绕  $x$  轴的转动。

## 2 模态分析

机器结构的固有频率和振型是承受动态载荷结构中的重要参数,因此对印刷滚筒进行模态分析可了解其动态特性,为印刷滚筒的设计提供依据。通过模态分析提取得到模切机印刷滚筒的前 6 阶频率,见表 1。滚筒内轴和外筒沿长度方向上的变形量见图 2。

表 1 滚筒的前 6 阶频率

Tab. 1 6-order frequency of printing cylinder

频率/Hz					
1 阶	2 阶	3 阶	4 阶	5 阶	6 阶
94.118	94.147	117.34	234.85	240.35	240.44

从表 1 可知,印刷滚筒各阶频率不断增大,说明其刚度特性不断提高。第 1 阶固有频率为  $94.118$  Hz,而印刷滚筒的最高转速为  $200$  r/min,因此,滚筒不会共振。

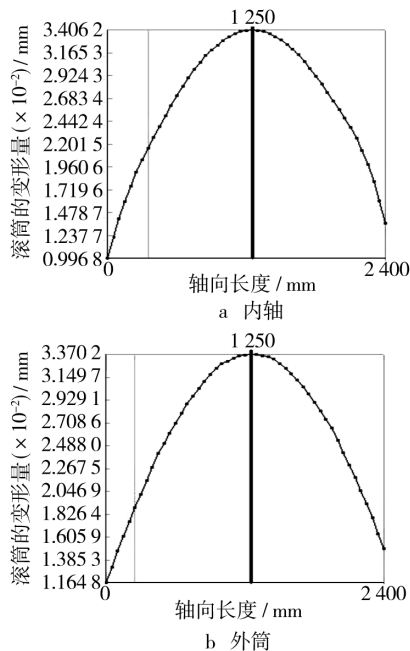


图 2 滚筒在长度方向上的变形

Fig. 2 The deformation curve of the outer tube in length direction

从图 2 可知,内轴的最大变形量为  $3.4062 \times 10^{-2}$  mm,而外筒的最大变形量为  $3.3702 \times 10^{-2}$  mm,因此内轴的刚度对印刷滚筒的影响更大,可通过改变内径的尺寸来改善其刚度。

## 3 优化设计

滚筒外筒的外径和挂印刷版是配合的,因此可通过改变内径的尺寸大小来减轻外筒的质量,从而降低整体的质量;同时通过调整加强筋之间的间距来保证印刷滚筒的整体刚度。在 DM 建模过程中,选取外筒的内径  $x_1$ 、内轴半径  $x_2$  和加强筋之间的间距  $x_3$  与  $x_4$  为 Design parameters,其中  $x_3$  与  $x_4$  见图 3。



图 3 滚筒的简化模型

Fig. 3 Simplified model of the printing cylinder

该印刷滚筒的优化数学模型可表示为:

$$\min F(x) = F(x_1) + F(x_2) =$$

$$\left[ \frac{\pi}{4} (x_1^2 - x_2^2) l + \frac{\pi}{4} (R^2 - x_1^2) L \right] \rho + f \quad (1)$$

$$\text{s. t. } g(x_1) = x_1 < 380 \quad (2)$$

$$g(x_2) = x_2 < 62 \quad (3)$$

$$g(x_3) = x_3 < 550 \quad (4)$$

$$g(x_4) = x_4 < 550 \quad (5)$$

$$x_1 > 360 \quad (6)$$

$$x_2 > 580 \quad (7)$$

$$x_3 > 450, x_4 > 450 \quad (8)$$

式中: $F(x)$ 为目标函数,表示滚筒的整体质量; $f$ 代表内轴的质量; $g(x_i)$ 为状态变量; $\rho$ 为滚筒材料的密度; $R$ 为外筒的外半径<sup>[5]</sup>。

利用 AWB 的 DX 优化模块对印刷滚筒进行分析,得到加强筋优化后的间距、内轴的半径和外筒内径,还有其前 6 阶频率,分别与优化前的结果进行了对比,见表 2 和 3。

表 2 滚筒优化前后的间距、质量和挠度对比

Tab. 2 Comparison of spacing, quality, and deflection before and after optimization

	质量 /kg	总变形 /mm	间距 $x_3$ /mm	间距 $x_4$ /mm	外筒内径 $x_1$ /mm	内轴径 $x_2$ /mm
优化前	815.53	0.034 082	500	500	363.4	60
优化后	795.92	0.033 630	451.5	522	364	58

表 3 滚筒优化前后的频率对比

Tab. 3 Comparison of frequency before and after optimization

	频率/Hz					
	1 阶	2 阶	3 阶	4 阶	5 阶	6 阶
优化前	94.118	94.147	117.34	234.85	240.35	240.44
优化后	94.78	94.81	118.31	231.11	240.55	240.68

得到的外筒内径、内轴径与挠度和质量的关系见图 4—7。

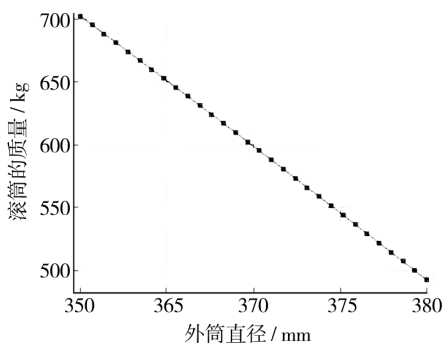


图 4 外筒直径与质量的关系

Fig. 4 Relation between outer tube diameter and mass

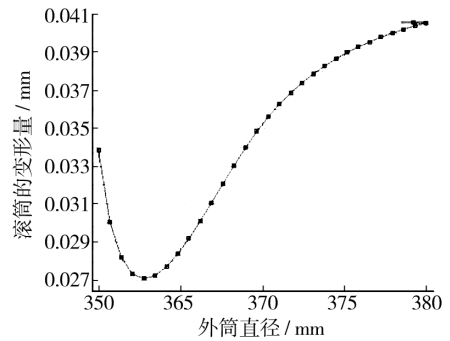


图 5 外筒直径与挠度的关系

Fig. 5 Relation between outer tube diameter and deflection

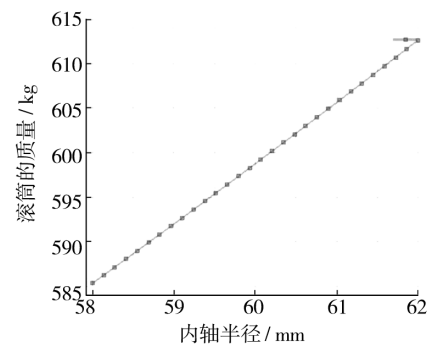


图 6 内轴半径与质量的关系

Fig. 6 Relation between inner axis radius and mass

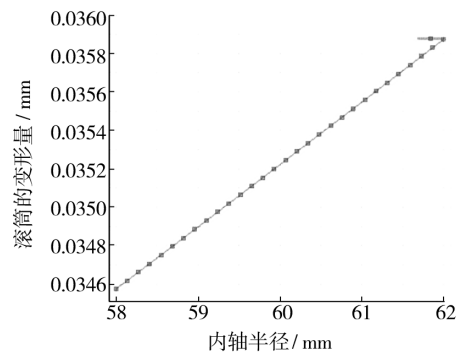


图 7 内轴半径与挠度的关系

Fig. 7 Relation between inner axis radius and deflection

了,其刚度和各阶频率得到了提高,因此其动态性能有了提升。

从图 4 知,随着外筒直径的增大,印刷滚筒的质量将下降;图 5 显示,滚筒的挠度变形随着外筒内径的增大先减小后增大,在 363.5 mm 处为极小值,为便于加工制造,取外筒直径为 364 mm。由图 6 和 7 可知,滚筒的质量和挠度均与内轴径成正比例关系。

(下转第 91 页)

由表 2 和 3 可知,经过优化后的滚筒的质量下降

表 2 柴油馏分主要物性检测结果

Tab.2 Test results of the properties of diesel oil fraction

项目	质量指标	检测结果	试验方法
硫质量分数/%	不大于	0.2	GB/T 380
酸度 (mg KOH·(100mL) <sup>-1</sup> )	不小于	7	GB/T 258
水体积分数/%	不大于	痕迹	GB/T 260
机械杂质	无	无	GB/T 511
运动黏度(20℃)/(mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	3.0~8.0	7.1	GB/T 265
凝点/℃	不高于	0	GB/T 510
闪点(闭口)/℃	不低于	55	GB/T 261
十六烷值	不小于	45	GB/T 386
馏程:			
50%蒸发温度/℃	不高于	300	265
90%蒸发温度/℃	不高于	355	330
95%蒸发温度/℃	不高于	365	347
密度(20℃)/(kg·m <sup>-3</sup> )	实测	780.2	GB/T 1884

### 3 结论

1) 废弃聚丙烯催化改质反应中,催化改质温度、催化剂种类及用量是影响反应的重要因素。本实验得到的最佳催化剂是将高岭土、ZSM-5 分子筛和磷酸以 10:3:2(质量比)的比例均匀混合,经 500℃焙烧制得的 PZSM-5 催化剂。当此催化剂用量为 8%,催化改质温度为 300℃时,燃料油得率最高,为 82.94%。对燃料油进行蒸馏所得汽油和柴油的主要物性进行了测定,均达到国标要求。

2) 塑料是重要的石油制品之一,因此废塑料裂解重新将其回归为石油产品,是废塑料回收的重要手段之一。本工艺投资小、操作简便、收效快,可以实现

(上接第 62 页)

### 4 结论

通过对模切机印刷滚筒进行模态分析和多目标优化设计,改善了滚筒的动态性能。这为印刷滚筒的设计或结构改造提供了一种新的可行的方法,并可缩短开发周期及节约成本。

#### 参考文献:

[1] 陈文革,蒋文燕,黄学林.我国凹版印刷机的现状及发展方向[J].包装工程,2008,29(4):169-171.

废旧塑料的再利用,真正做到变废为宝,既满足了循环经济的要求,又创造了良好的经济效益和社会环境效益。

#### 参考文献:

- [1] 包永忠,朱慧芳.废塑料的回收利用[J].化工环保,2000,20(3):11-15.
- [2] 丁言行.我国塑料工业现状和发展[J].当代石油化,2002,10(1):15-18.
- [3] 杨俊辉.废弃 PET 的化学降解与回收研究[J].包装工程,2008,29(4):27-29.
- [4] 梁世强,傅和青.生物降解包装塑料研究进展[J].包装工程,2006,27(2):16-17.
- [5] 胡爱武,傅志红.塑料包装废弃物的回收处理途径[J].包装工程,2002,23(3):94-95.
- [6] AUDET C, LANGLET B. Plastic Waste Management: Disposal, Recycling, and Reuse [M]. Marcel Dekker, 1993.
- [7] KAJDAS C. Major Pathways for Used Oil Disposal and Recycling[J]. Tribo Test, 2000, 7(1):61-74.
- [8] 苟进胜,郭婷婷,常建民.包装废塑料热解特性实验研究[J].包装工程,2008,29(12):62-63.
- [9] SCOTT D S, MAJERSKI P, PISKORZ J. Production of Liquid Fuels from Waste Plastics[J]. Canadian Journal of Chemical Engineering, 1999, 77(5):1021-1027.
- [10] ZAGGOUT F R. Catalytic Degradation of High Density Polyethylene Using Zeolites[J]. Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 2001, 36(2):163-175.

- [2] CHANG Zong-yu, YANG Yu-hu, ZHANG Ce, et al. Analysis and Measurement of Dynamic Properties of Die Cutting Machine[C]//International Symposium on Test and Measurement (ISTM/2005);20050316-18;Dalian, 2005.
- [3] 李兵,何正嘉,陈雪峰. ANSYS WORKBENCH 设计、仿真与优化[M].北京:清华大学出版社,2008.
- [4] 黄颖为,薛凤梅.印刷机滚筒动态性能的研究[J].包装工程,2007,28(8):34-39.
- [5] 黄平.最优化理论与方法[M].北京:清华大学出版社,2009.