

文章编号:1006-1355(2009)05-0027-03

# 洗衣机滚筒的有限元动态分析

李晓川, 左言言

(江苏大学 振动噪声研究所, 江苏镇江 212013)

**摘要:** 滚筒洗衣机在高速脱水的工作过程中, 由于衣物随滚筒作高速旋转运动, 使得筒壁受压力载荷, 造成变形。本文针对某型号滚筒洗衣机的滚筒结构特点, 运用 Pro/E 软件和有限元软件 ANSYS 对滚筒及支架结构建立模型, 对洗衣机在高速脱水工况下进行结构动力分析, 并进行离心载荷作用下的模态分析, 得到受力和变形情况以及固有频率和振型。根据分析结果, 得出危险位置和临界转速, 并对滚筒组件提出了改进建议。

**关键词:** 振动与波; 滚筒洗衣机; 动力分析; 模态分析; 临界转速

中图分类号: TM925. 33; TB115 文献标识码: A

## Dynamic Finite Element Analysis of Washing Machine Drums

LI Xiao-chuan, ZUO Yan-yan

(Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

**Abstract:** The drum of a washing machine rotates at a high speed during dehydration work, while the clothes in the drum rotate together with the drum, yielding pressure on the drum wall which causes the drum to deform. With software Pro-E and ANSYS the finite element model of a washing machine drum with its support is established. Dynamic analysis of the drum structure in the case of dehydration work is carried out. The natural frequencies and vibration modes are obtained. The critical positions and the critical rotating speed are found. Some improvement suggestions for the washing machine drums are presented.

**Key words:** vibration and wave; drum washing machine; dynamic analysis; modal analysis; critical rotating speed

采用 ANSYS 对滚筒进行结构静力分析及有预应力模态分析, 得出应力分布、变形情况以及振动固有频率等特性。根据分析结果得出危险部位和临界转速, 为滚筒的结构改进提供了参考依据, 以避免滚筒变形过大或发生共振。

## 1 三维实体模型的建立

利用 Pro/E 的三维建模功能, 建立滚筒和支架模型。根据结构的实际装配关系建立三维模型, 如图 1 所示。

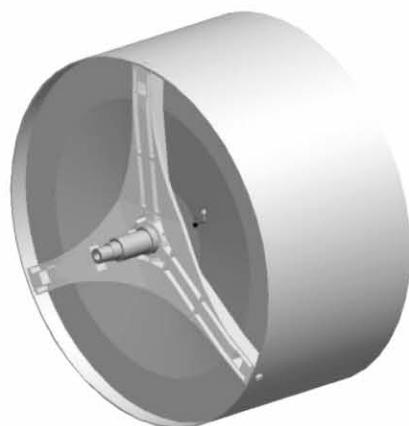


图 1 滚筒实体模型

Fig. 1 Solid model of a washing machine drum

收稿日期: 2009-03-09

作者简介: 李晓川(1982-), 男, 黑龙江省海林市人。汉族, 江苏大学

硕士研究生, 主要从事噪声与振动控制方面的研究

E-mail: lxc\_1982129@163.com

## 2 有限元建模

### 2.1 有限元模型简化

有限元模型简化与模态分析优化的思路是保证整体质量及其分布,保证网格的均匀。具体处理方法是:(1) 单元尺寸不能过小,否则会违背单元的厚度应远小于单元边长的壳单元理论基本假设。因此,对影响不大的螺栓孔、水孔和一些细小的附件等进行省略;(2) 省略对整机结构振动特性影响不大的部分圆角;(3) 将部分圆孔简化为方孔,以利于后续网格划分。

### 2.2 划分网格和定义材料属性

根据滚筒结构特点和力学性质,支架和轴结构均采用8节点六面体Solid45单元类型来划分网格,该单位类型有 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 三个方向自由度,单元具有塑性、蠕变、膨胀、应力强化、大应变等能力,便于施加载荷,且计算精度较高。

滚筒采用Shell63单元,Shell63单元具有弯曲和薄膜两种能力,可以承受平面内荷载和法向荷载,单元每个节点具有6个自由度:沿节点坐标系 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向的平移和沿节点坐标系 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 轴的转动。可以包括应力强化和大变形能力。各部件材料和力学性能具体见表1。

表1 各部件材料和力学性能

Tab. 1 Materials and mechanical properties of parts

部位	弹性模量/(MPa)	泊松比	密度/(kg·mm <sup>3</sup> )	单元类型
滚筒	2E+06	0.3	2.85E-6	Shell63
三角支架	2E+05	0.3	7.85E-6	Solid45
滚筒轴	2E+05	0.3	7.85E-6	Solid45

对轴和三角支架进行自由网格划分。对滚筒进行四边形面单元自由网格划分。

### 2.3 自由度耦合和约束

由于三角支架部分和滚筒部件之间连接关系是铆钉连接,在ANSYS中用自由度耦合来表示。自由度耦合:定义一组节点具有相同自由度值,被耦合组件相当于一个完全刚性约束,相对位移为0。

约束方面,在滚筒轴与轴承连接部位进行周向和轴向约束,来模拟轴与轴承的连接。

## 3 有限元计算分析

### 3.1 洗衣机滚筒的结构静力分析

对洗衣机滚筒在高速脱水的状态下进行静力分析,求出最大变形量以及应力集中部位。

#### a. 载荷分析:

滚筒主要受三种力:(1) 筒自身重力;(2) 筒旋转产生的惯性力:在ANSYS中施加角速度就可以模拟惯性力;(3) 衣物对滚筒的压力。

#### 1. 理论分析

衣物对滚筒的压力,可由滚筒对衣物的反作用力求得。

衣物主要受三个力作用,自身重力 $G$ ,滚筒对其的法向支持力 $N$ ,以及摩擦力。这三个力的合力等于衣物随滚筒旋转所需的向心力,即 $\sum F = F_{\text{向}}$ 。而 $F_{\text{向}} = m\omega^2 r$ ,其中 $m$ 为衣物的质量大约为9 kg(脱水前衣物总质量为5 kg,衣物一般会吸收自身重量的80%的水分,总质量为9 kg); $r$ 是滚筒半径,约为250 mm; $\omega$ 为滚筒的转动角速度, $\omega = 115 \text{ rad/s}$ 。

如图2,以衣物在滚筒最底部为例: $\sum F = N - G$ 则 $N = F_{\text{向}} + G$ 。由于高速旋转, $F_{\text{向}} \gg G$ ,所以 $N \approx F_{\text{向}}$ 。即滚筒所受的压力约等于衣物的向心力。由于甩干时衣物是均匀地分布在滚筒四周的,所以滚筒筒壁内表面受到法向均匀压力。

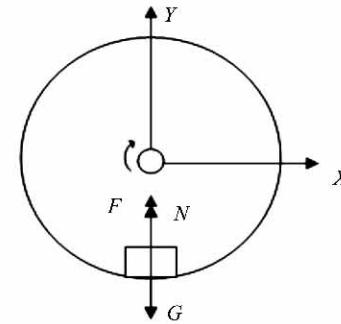


图2 衣物受力分析图

Fig. 2 Clothing and mechanical analysis chart

#### 2. 计算机模拟分析

ANSYS中模拟受力的法向均匀载荷如图3。

#### b. 分析结果

由位移云图(图4)可以看出,在滚筒旋转的任一瞬时变形情况:应变和应力集中较大的地方主要出现在滚筒升举筋部位以及三角支架与滚筒连接处。筒壳内部由于衣物压力作用普遍有一定程度的变形,最大应变出现在滚筒内侧升举架凸肩处,位移为0.36 mm。最大等效应力出现在滚筒升举架边缘处和三角支架与滚筒连接处的内侧,大小为20 MPa。这些位置是滚筒发生振动和变形的主要集中位置。在结构改进设计时应重点考虑。

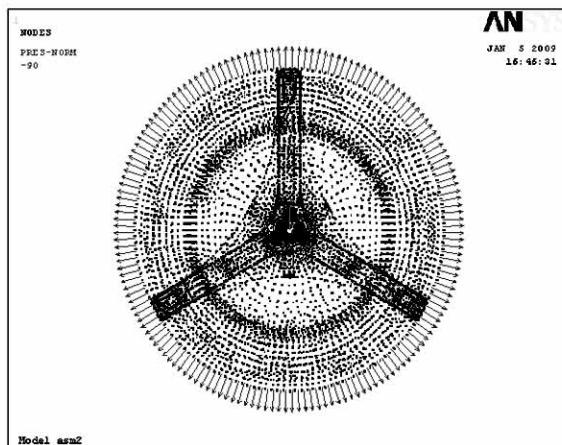


图3 载荷模拟

Fig. 3 Load simulation

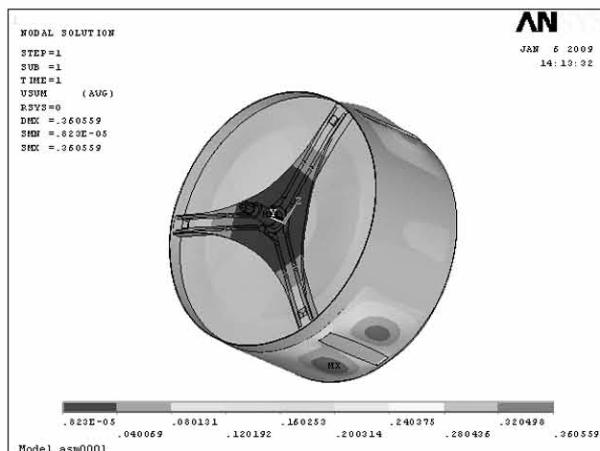


图4 滚筒位移分布云图

Fig. 4 Translation of washing drum

### 3.2 滚筒固有频率和临界转速分析

对旋转的滚筒系统进行模态分析时,由于高速旋转的结构受到离心力影响,其固有频率与完全静止时不同,需要考虑离心力对固有频率和振型的影响。ANSYS 中可以对有预应力的结构进行模态分析。

对滚筒结构进行模态分析时,需将静力分析部分计算出的应力作为预应力条件,来进行精确分析,并且由于滚筒结构复杂,模态较多,本文只取前5阶列于表2,并求得临界转速。

$$\text{临界转速计算公式: } n_c = 60f$$

式中,  $n_c$ —临界转速;  $f$ —固有频率。

由表2可知引起滚筒结构共振的最低临界转速是3 135.4 r/min,而滚筒的最高脱水转速为1 200 r/min,比最低临界转速小许多,因此不会发生共振,在设计改进时,无需校核临界转速。

表2 滚筒固有频率及临界转速

Tab. 2 the natural frequencies and critical speeds of the drum

阶数	固有频率/Hz	临界转速/(r/min)
1	52.256	3 135.4
2	65.583	3 965.0
3	87.460	5 247.6
4	120.96	7 257.6
5	132.90	7 974.0

一阶振型和五阶振型如图5。

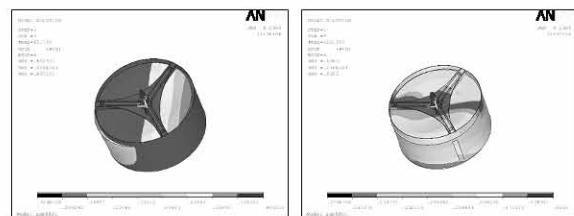


图5 一阶振型和五阶振型

Fig. 5 the fisrt and sixth order

## 4 结语

通过在稳态惯性力作用下的静力分析,模拟出滚筒在旋转过程中任一时刻的应力和变形情况,对洗衣机滚筒部分的改进具有一定的指导意义。对滚筒进行有预应力时的模态分析和临界转速分析,比较接近真实情况,对于确定洗衣机的工作转速和设计滚筒总成的悬吊系统有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 张方瑞. ANSYS 8.0 应用基础与实例教程 [M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
- [2] 肖 锋, 陈君若, 刘显茜. 基于 ANSYS 的高速轮盘动力学模态分析 [J]. 机械工程师, 2008(2):136–137.
- [3] 郑 穆, 赵国群, 孙 胜. 洗衣机振动过程的计算机模拟研究 [J]. 振动、测试与诊断, 2001(9):191–195.
- [4] 何泽夏, 李 峰, 孙 秦. 涡轮盘结构模态分析 [J]. 机械强度, 2006(6):927–930.
- [5] RobertD. Cook, David. Malkus, MichaelE. Plesha. Concepts and Applications of Finite Element Analysis [M]. XiAN Jiaotong University Press, 2007.
- [6] Bathe KJ, Wilson EL. Numerical Methods in Finite Element Analysis [M]. prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1976:353–386.
- [7] 朱 静, 左言言, 吴 爽, 等. 轻型客车车身的有限元模态分析 [J]. 噪声与振动控制, 2004(2):23–25.
- [8] 陈清华, 潘地林. 带式输送机传动滚筒的有限元分析及其优化设计 [J]. 煤矿机械, 2004(1):12–14.