

# Fault Diagnosis and Modal Analysis of Deep Groove Ball Bearing

Hai WANG

Institute of Machine Electricity and Vehicle Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, CHINA

**Abstract:** The deep groove ball bearing 6205-2RS did modeling by using three-dimensional software Pro – E, and the failure frequency conducted theoretical calculation. Then a set of data acquisition of fault signal did Fourier transform by Matlab, and using the analysis of the failure frequency results compared with the theoretical calculation results to verify the accuracy of the deep groove ball bearing parts failure. At the same time, it turned out Matlab in the analysis of fault diagnosis effectiveness. Using ANSYS modal analysis was carried out on the deep groove ball bearings to determine the vibration characteristics of bearing, making the design of the bearing can be more reasonable and more long service life.

**Keywords:** Natural frequency; Fourier transform; Fault diagnosis; Deep groove ball bearing; Deep groove ball bearing

## 深沟球轴承的故障诊断与模态分析

汪海

重庆交通大学机电与汽车工程学院, 重庆, 中国, 400074

**摘要:** 利用三维软件 Pro-E 对深沟球轴承 6205-2RS 进行建模, 并对其出现故障的频率进行理论计算。然后用 Matlab 对一组采集的故障信号数据进行傅立叶变换, 用分析的故障频率结果与理论计算结果进行对比, 来验证深沟球轴承零件出现故障的准确性, 同时验证 Matlab 在故障诊断分析中的有效性。并用 ANSYS 对深沟球轴承进行模态分析, 来判断轴承的振动特性, 使设计的轴承能够更加合理, 使用寿命更加长久。

**关键词:** 固有频率; 傅里叶变换; 故障诊断; 深沟球轴承; 模态分析

### 1 引言

滚动轴承故障诊断方法有多种, 如振动法、声发射方法、油液分析法和温度监测法等。球轴承具有极限转速高及噪声小等优点, 广泛应用于航空航天、高速机床、精密仪表等领域中。随着传动系统向高可靠性、高速、静音方向的发展, 对轴承的动力学接触特性和振动特性提出越来越高的要求[1]。深沟球轴承结构简单、使用方便, 是生产批量最大、应用范围最广的一类轴承。现代工业通用机械[2]都大量地装配了滚动轴承。一般说来, 滚动轴承是机器中最精密的部件。但是, 由于各种原因, 只有 10%到 20%的轴承能达到它们的设计寿命。本文采集轴承振动特征信号, 通过 Matlab 计算仿真的方法分析滚动轴承的固有频率问题, 完成故障诊断。并对深沟球轴承的外圈做了模态分析, 了解轴承外圈的固有频率和振型。这些工作都是用来监测滚动轴承的状态, 早期发现轴承故障, 监测跟踪其发展趋势, 并知道何时需更换轴承。

其轴承的分析过程如图 1 所示:

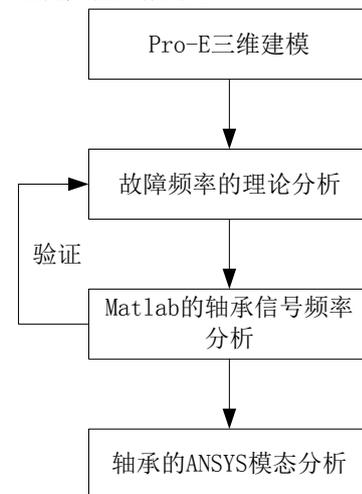


图 1. 滚动轴承的分析过程

### 2 基于轴承的 Pro-E 三维建模

轴承作为标准件, 都有相应的标准的尺寸规定。

本文以驱动端深沟球轴承 6205-2RS 为例, 对它进行 Pro-E 三维建模[3-4]。其相应的尺寸如表 1。

表 1. 深沟球轴承尺寸 (单位: mm)

名称	外圈 R	内圈 r	厚度 B	球直径 d	轴承节径 D
尺寸	52	25	15	8	39

根据这些尺寸, 在 Pro-E 中建立三维模型, 过程如下:

首先, 按规定尺寸在 Right 平面画深沟球轴承的内、外圈草图, 并对其进行拉伸和倒角操作, 如图 2 所示。

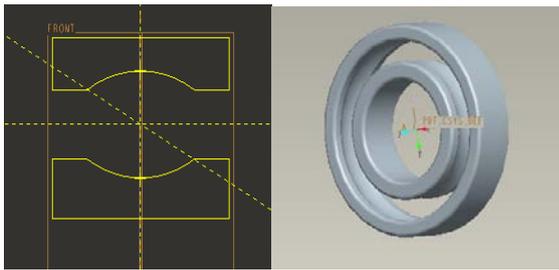


图 2. 轴承内外圈

接着对深沟球轴承的滚珠进行建模, 如图 3 所示。

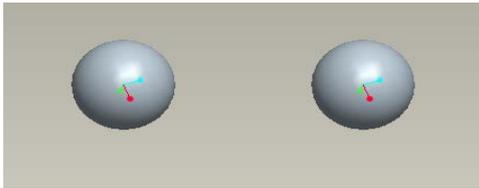


图 3. 滚珠

然后对保持架建模和组装, 如图 4 所示。

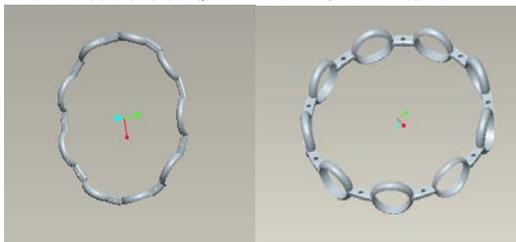


图 4. 保持架

建立组件, 用轴约束和面约束对滚珠和保持架进行组装, 然后选中滚珠, 对其进行阵列, 得图 5 所示。

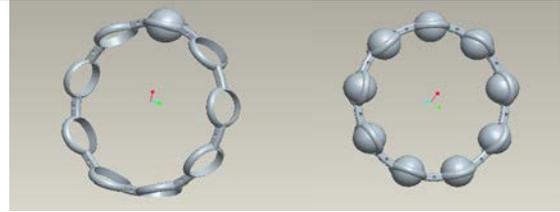


图 5. 保持架和滚珠的组件

最后, 进行总组装, 在组装是, 用了周约束和面约束, 如图 6 所示。



图 6. 深沟球轴承

### 3 轴承的故障频率的理论分析

滚动轴承的故障数据来源于美国凯斯西储大学轴承数据中心。利用这些数据, 结合与轴承相关的扰动频率[5]: 内圈频率 (BPI)、外圈频率 (BPO)、保持架频率 (FT) 和球的自旋频率 (BS), 通过如下计算公式, 计算出相应的频率。

$$BPI = n(1 + d \cos \delta / D) / 2 \quad (1)$$

$$BPO = n(1 - d \cos \delta / D) / 2 \quad (2)$$

$$FT = (1 - d \cos \delta / D) / 2 \quad (3)$$

$$BS = D(1 - d^2 \cos^2 \delta / D^2) / 2d \quad (4)$$

将上述的轴承数据代入公式可得: BPI=5.42Hz、BPI=3.58Hz、FT=0.40Hz、BS=2.33Hz。而轴承内、外圈、保持架以及滚珠的故障频率与扰动频率的关系如下:

$$F_{error} = NF_{rao} / 60 \quad (5)$$

其中  $F_{error}$  为轴承故障频率, N 为轴承转速, 为 1750r/min,  $F_{rao}$  为轴承扰动频率, 结合算出的各部分扰动频率, 可由公式 (2-5) 计算出轴承内圈、外圈、保持架和滚珠的故障频率分别为 157.94Hz、104.56Hz、11.62Hz、137.48Hz。

### 3 基于 Matlab 的轴承信号频率分析

采用美国 Case Western Reserve University 电气工

程实验室的滚动轴承故障模拟实验台采集的轴承数据进行双谱特征分析。该实验设备如图 7 所示，实验台包括一个 2 马力的电动机（图中左边），一个功率测试计（图中右边），一个扭矩传感器/译码器（图中中间）等。

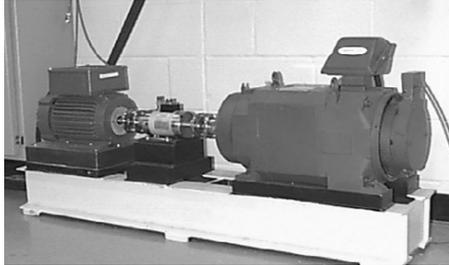


图 7. 轴承实验台示意图

待检测的轴承支撑着电动机的转轴[6-7]，驱动端轴承型号为 SKF6205。在带有磁力座的机架上安装加速度传感器，在风扇端和驱动端的轴承座上方各安装一个加速度传感器，驱动端轴承故障采样频率[8-9]为 12kHz，实验时的转速为 1750 r/min，通过 16 通道数据记录仪采集得到振动加速度信号。

对于传感器采集的数据，用 Matlab 处理[10]得图 8、图 9 所示波形。

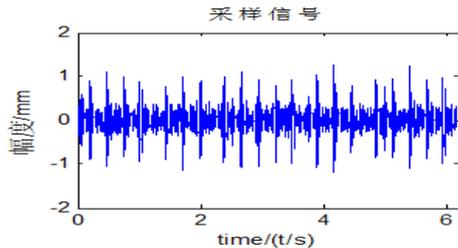


图 8. 轴承振动信号图

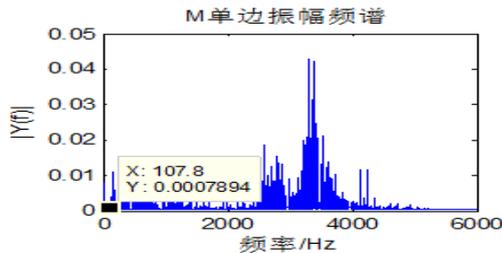


图 9. 轴承的频域分析

通过对轴承进行频域分析，对内圈、外圈、滚动体的故障信号和参考信号进行比较，可以明显地看出故障信号的分布频率与前面计算的深沟球轴承外圈的故障频率 104.56Hz 比较近，故此，可认为故障发生在轴承外圈。

由于受各种实际情况如滑动、打滑、磨损、轴承各参数的不紧缺等的影响，我们计算出来的故障特征频率可能与真实值有小范围的差异。

#### 4 基于有限元的轴承分析

轴承是个装配件，内圈、外圈、支撑架和滚珠为不同的材质，在进行 ANSYS 模态分析[11-12]时应赋予不同的材质属性。外圈、内圈和滚珠体的材质为 Gcr15, 其杨氏模量为  $2.11E+11$ ，密度为  $7.80E+3\text{kg/m}^3$ ，泊松比为 0.3。保持架的材质选用 H62, 其密度为  $8.50E+3 \text{kg/m}^3$ ，弹性模量为  $1E+11$ ，泊松比为 0.346，如下图 10 所示：

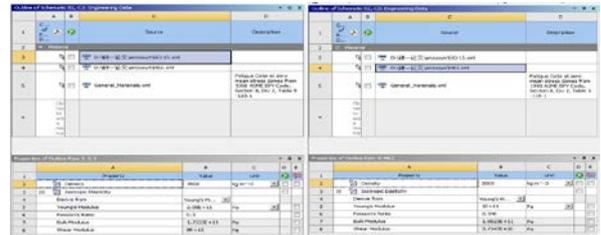


图 10. 零件材料

在 ANSYS Work Bench 中导入深沟球轴承，并进行网格单元的自动划分，网格划分如下图 11 所示。轴承内圈转速为 1750 转/分，轴承外圈外表面 A 固定，在 Analysis Setting 中求解前 5 阶固有频率，约束如下图 12 所示。

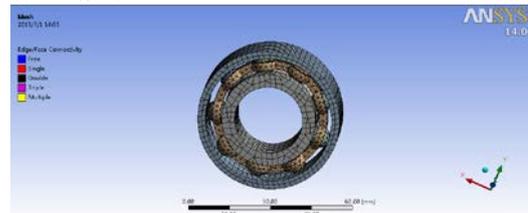


图 11. 轴承网格划分

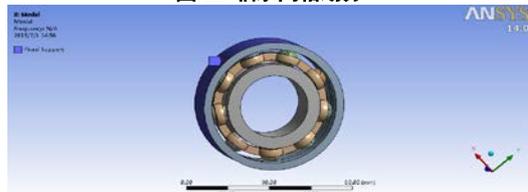


图 12. 轴承约束添加

在 Solution 中求解得到轴承前 5 阶固有频率，如下图 13 所示。

Tabular Data		
	Mode	Frequency [Hz]
1	1.	7.7754
2	2.	6322.
3	3.	6685.6
4	4.	7170.8
5	5.	7680.5

图 13. 轴承固有频率数值表

同时得到前五阶固有频率下的轴承变形量，如下图所示 14. 所示。

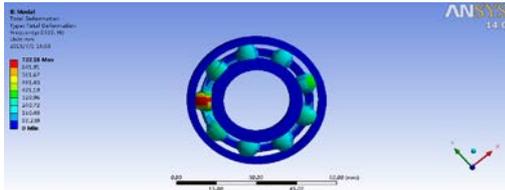


图 14. 轴承变形量

最后，对轴承进行频响应分析。轴承内圈受压强为 200Mpa，如下图所示 15. 所示。

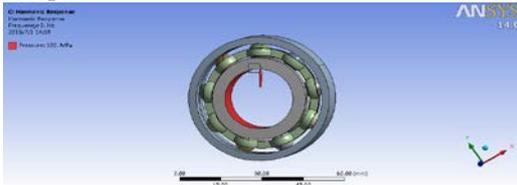


图 15. 约束

在 Analysis Setting 中设置频率边界为 0 ~ 20000Hz，响应阶数为 50，在 Solution 求解，得到 x 方向的幅频特性曲线如下图所示 16 所示。

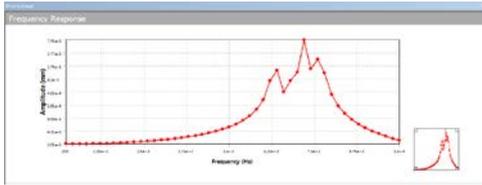


图 16. x 方向幅频特性曲线

图 16 说明在接近轴承固有频率时，它的振幅比较大，超过或低于它的固有频率时，振幅较小。

深沟球轴承工况下变形如图 17 所示。

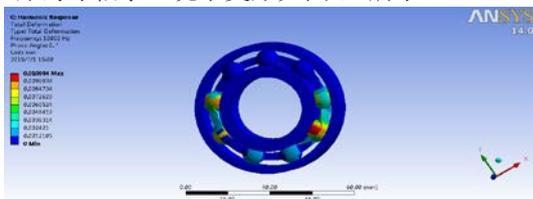


图 17. 工况变形

ANSYS 的模态分析用于确定设计结构或机器部件的振动特性[13]，本文通过对深沟球轴承外圈进行

模态分析可知，随着频率的变化，在接近固有频率时，它的振幅达到最大，变形量也最大。

### 5 结论

本文通过用 Pro-E 对深沟球轴承进行三维建模，并对它用 Matlab 进行傅里叶变换和 ANSYS 的模态分析，得到如下结论：

用 Matlab 进行傅里叶变换得到的结果与理论计算的故障频率结果进行比较，能够得到相应的故障零件。并验证了 Matlab 的傅里叶变换在深沟球轴承固有频率分析的有效性。

深沟球轴承进行 ANSYS 的模态分析，可知，随着频率的变化，轴承的振型也随着变化，当达到它的固有频率时，振型达到最大。

但还有些不足，由于实验条件的匮乏，本文并没有对深沟球轴承的实际损伤频率作相应的分析，只做了理论上的分析，缺乏实践的检验，希望以后有条件能够进行实际的操作分析。

### References (参考文献)

- [1] 林腾蛟, 荣崎, 李润方, 等. 深沟球轴承运转过程动态特性有限元分析[J]. 振动与冲击, 2009, 28(1): 118-122.
- [2] 杨世明, 腾麒银, 赵镇宏, 等. 机械设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [3] 李爱民, 李炳文, 马显通, 等. 基于 Pro/E 的球轴承三维参数化的设计[J]. 煤矿机械, 2004, 25(1): 8-9.
- [4] 李勇. 基于 Pro/E 的深沟球轴承参数化设计[J]. 甘肃科技, 2006, 26(13): 68-70.
- [5] 周井玲, 陈建春等. 三点接触轴承球疲劳试验机特征频率计算[J]. 轴承, 2010(10): 28-30.
- [6] 杨凤珍. 动力机械测试技术[M]. 大连理工大学出版社, 2005.
- [7] 严新平. 机械系统工况监测与故障诊断[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2009.
- [8] 严新平. 机械系统工况监测与故障诊断[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2009.
- [9] 何正嘉, 訾艳阳, 张西宁. 现代信号处理及工程应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007.
- [10] 严新平. 机械系统工况监测与故障诊断[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2009.
- [11] 牛青波, 孙立明, 李燕春. 深沟球轴承优化设计中的 ANSYS 辅助分析[J]. 轴承, 2009(12): 11-14.
- [12] 马天兵. 基于 ANSYS 的滚动轴承有限元分析[J]. 煤矿机械, 2004, 25(2): 66-68.
- [13] 李黎明. ANSYS 有限元分析实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.