第 27 卷　第 3 期　　石家庄铁道大学学报(自然科学版)　　Vol. 27　No. 3
2014 年 09 月　JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE)　　Sep. 2014

基于 EMD 分解和共振解调的滚动轴承故障诊断研究

左庆林[1,2]，　马怀祥[1]

(1. 石家庄铁道大学 机械工程学院，河北 石家庄　050043; 2. 天津市地下铁道运行有限公司，天津　300051)

摘要: 在介绍滚动轴承的故障机理的前提下，采用振动信号分析法对滚动轴承状态监测和故障诊断进行研究。通过 LabVIEW 编程，应用 EMD 分解和共振解调相结合的方法，对振动信号进行分析，获取有用故障特征，进而确定故障类型。

关键词: 滚动轴承; 故障诊断; EMD; 共振解调

中图分类号: TP274　文献标志码: A　文章编号: 2095-0373(2014)03-0059-05

0　引言

滚动轴承是机械传动中重要的受力部件，其性能的好坏直接影响到机械传动能否正常运行，同时也影响到设备的使用寿命和人身安全。为确保滚动轴承正常运行，发现滚动轴承的潜在故障，有必要对滚动轴承进行状态监测和故障诊断，以期提高设备的使用效率，避免不必要的事故发生。目前，对于滚动轴承的诊断方法很多，其中包括振动信号监测法、轴承润滑状态监测诊断法、油液分析法、温度分析法等，其中，振动信号监测法是最成熟也是最有效的监测方法之一[1]。因此，采用振动信号分析方法对滚动轴承的运行状况和故障诊断进行研究具有重要意义。

1　滚动轴承故障机理

滚动轴承由内圈、外圈、滚动体和保持架组成。其典型结构如图 1 所示。

一般情况下，外圈装在轴承座孔内，不转动，内圈装在轴颈上，随轴转动，滚动体是滚动轴承的核心部件，保持架负责将各滚动体均匀排列。滚动轴承有多种故障形式，主要为: 疲劳剥落、胶合、磨损、腐蚀、裂纹、压痕和保持架变形等。滚动轴承转动时，零件的损伤将导致滚动接触过程中产生周期性的冲击，进而产生具有同周期的脉冲力，激起滚动轴承的规则振动，产生某一故障所对应的特征频率[2]。通过信号分析，分析出这些特征频率，也就找出了滚动轴承的故障所在。其中滚动轴承的故障特征频率可由滚动轴承的几何尺寸和转速计算出来。滚动轴承的各部件故障特征频率计算公式为[3]

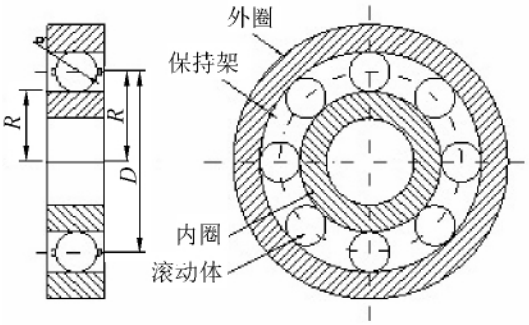

图 1　滚动轴承典型结构图

内圈故障特征频率

$$f_a = zf_0\left(1 + \frac{d}{D}\cos\partial\right)/2 \tag{1}$$

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztddxxbzrb.2014.03.13

收稿日期: 2013-07-02

作者简介: 左庆林　男　1988 年出生　硕士研究生

基金项目: 河北省教育厅自然科学重点项目(zh2011215)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

外圈故障特征频

$$f_b = zf_0\left(1 - \frac{d}{D}\cos\partial\right)/2 \tag{2}$$

滚动体上一点通过内圈或外圈的故障特征频

$$f_c = Df_0\left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2(\cos\partial)^2\right]/2d \tag{3}$$

一个滚动体(或保持架)通过内圈上一点的频

$$f_{ra} = f_0\left(1 + \frac{d}{D}\cos\partial\right)/2 \tag{4}$$

Z 个滚动体通过内圈上一点的频率

$$Zf_{ra} = Zf_0\left(1 + \frac{d}{D}\cos\partial\right)/2 \tag{5}$$

一个滚动体(或保持架)通过外圈上一点的频

$$f_{rb} = f_0\left(1 - \frac{d}{D}\cos\partial\right)/2 \tag{6}$$

Z 个滚动体通过外圈上一点的频率

$$Zf_{rb} = Zf_0\left(1 - \frac{d}{D}\cos\partial\right)/2 \tag{7}$$

保持架的旋转频率即滚动体的公转频率

$$f_r = f_0\left(1 - \frac{d}{D}\cos\partial\right)/2 \tag{8}$$

式中,Z 为滚珠的个数;f_0 为轴承的转速;d 为滚子直径;D 为轴承节径;∂ 为接触角。

2 EMD 分解和共振解调

2.1 EMD 分解法

EMD 又叫经验模态分解法,是希尔伯特黄变换(HHT)的核心所在。它的思想是将一个复杂信号分解为多个本征模态函数 IMF 之和,这些本征模态函数满足以下两个条件:

(1)在整个数据序列中,极值点的数量与过零点的数量必须相等,或最多相差一个。

(2)在任一时间点上,信号的局部极大值和局部极小值定义的包络平均值为零。

EMD 分解流程图见图2所示。

有了 EMD 分解,就可以把一个复杂的非平稳、非线性的测试信号分解为一组稳态、线性的数据集,也就是一组本征模态函数(IMF)[4]。HHT 中,将每个 IMF 分量做希尔伯特变换,使得 HHT 具有完全的自适应性,且不受 Heisenberg 测不准原理制约,彻底摆脱了线性和平稳性的要求,并且能在时域和频域同时达到很高的精度。

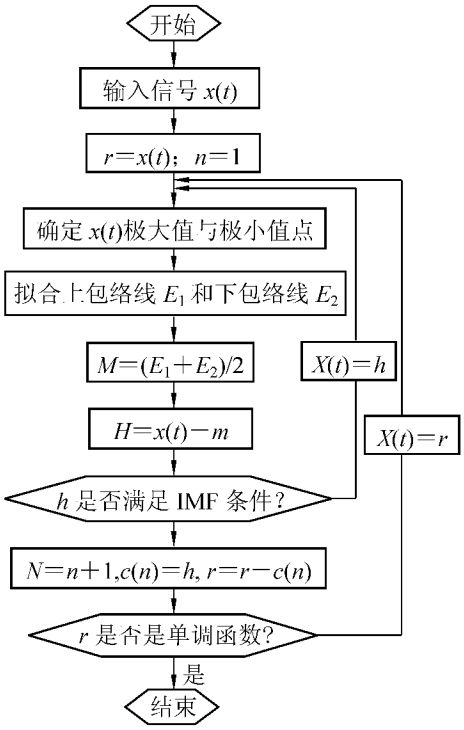

图2 EMD 方法流程图

2.2 共振解调法

滚动轴承在运转过程中,除典型故障所引起的振动冲击以外,还受到非故障振动冲击、环境噪声冲击。另外,由于传感器所带进的噪声引起的振动信号的混叠。这些非典型故障振动冲击的信号能量往往比典型故障所引起的振动信号能量大得多。由此带来的问题是在对原始信号,甚至是滤波后的信号进行谱分析时,由于故障所引起的振动信号的能量掩埋在混杂的信号能量中,给故障诊断带来巨大的麻烦。当采用共振解调法对信号进行分析时,却可以方便高效地提取

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

出滚动轴承的故障特征频率。

当滚动轴承在发生某典型故障时，在其运转的过程中，故障部件会与其接触面发生振动冲击，进而激起滚动轴承的高频固有振动，其频段较高，为 1 ~ 20 kHz，即冲击性低频故障信号被调制到高频中去。对一个复杂信号经过一个特有的高频带通滤波器，分离出此高频振动信号，并以此作为研究的对象，对这个高频振动信号进行包络解调、检波，去除高频衰减振动频率成分，最后进行谱分析就可以得到高频振动信号的频谱图。其具体原理图见图 3 所示。

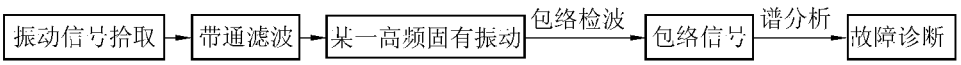

图 3　共振解调流程图

3　实验研究分析

实验是在 QPZZ-II 旋转机械振动分析及故障诊断试验平台系统上进行的，此系统由变速驱动电机、齿轮系、轴承、轴、调速器等部分组成。QPZZ-II 系统可进行多种故障模拟，其中包括齿轮故障模拟、滚动轴承故障模拟、轴系故障模拟等。研究中分别利用正常轴承和人为制造的故障轴承进行实验，利用搭建好的虚拟仪器测试系统进行振动信号的采集和分析。其中滚动轴承的各项参数如下: 滚子直径 7.5 mm; 滚子数 13 个; 节圆直径 38.5 mm; 接触角 0°。各典型故障特征频率如下: 内圈损坏 112.9 Hz; 外圈损坏 76.1 Hz; 滚珠损坏 71.8 Hz; 保持架损坏 5.9 Hz。

3.1　虚拟仪器系统总体设计

实验采用美国国家仪器公司(NI) 的虚拟仪器测试系统。选用便携式数据采集设备 CompactDAQ 和 NI9233 加速度测试模块进行振动加速度测试系统硬件搭建，利用 LabVIEW 分析软件进行算法的实现和编程。此软件是一种基于图形程序的虚拟仪器编程语言，在测试与测量、数据采集、仪器控制、数字信号分析、工厂自动化等领域获得了广泛的应用。

利用 LabVIEW 开发的轴承故障诊断系统主要包括信号的采集和读取、信号的时域分析、频域分析、EMD 分解和共振解调分析以及信号的保存和打印报表等功能。诊断系统界面如图 4 所示。

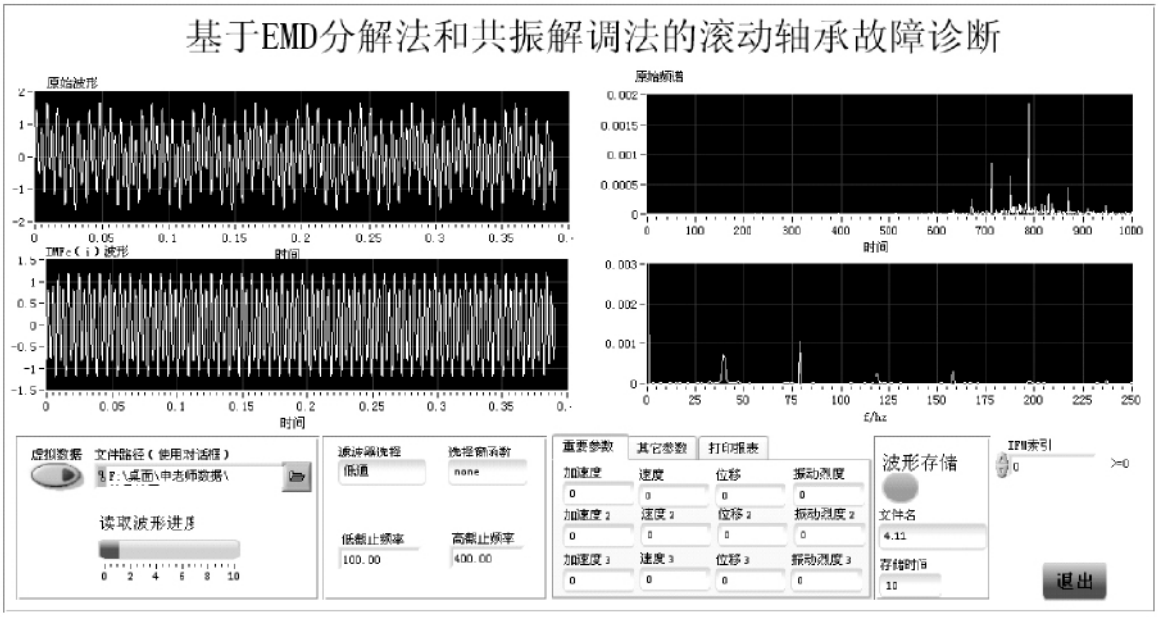

图 4　滚动轴承故障诊断界面

3.2　信号分析与故障诊断

图 5 所示为测得有外圈故障的滚动轴承原始振动加速度信号的功率谱图，从图 5 中很难看出外圈故

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

障的特征频率,只能够看出在800 Hz附近有一个约为40 Hz的边频带。

采用EMD算法,先对振动加速度信号进行分解,得到的前三个IMF分量c1、c2、c3分别如图6、图7、图8所示。从IMF分量c1、c2、c3中可以看出明显的调幅特征,从三个IMF分量中可以看出信号的能量主要集中在c1、和c2分量中。由此,对c1、c2分量进行进一步共振解调处理,得出c1、c2分量的共振解调谱见图9、图10所示。

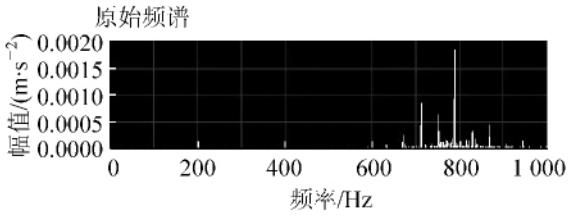

图5 原始信号功率谱图

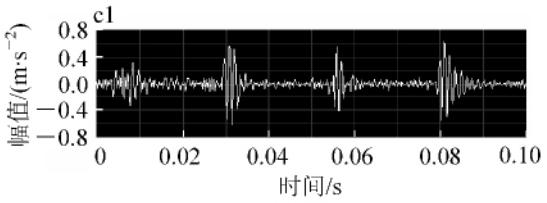

图6 c1分量原始信号

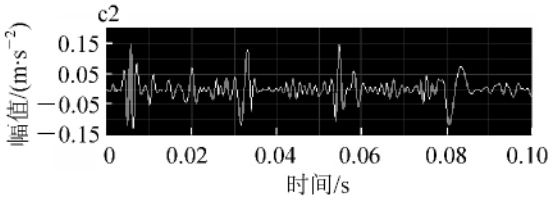

图7 c2分量原始信号

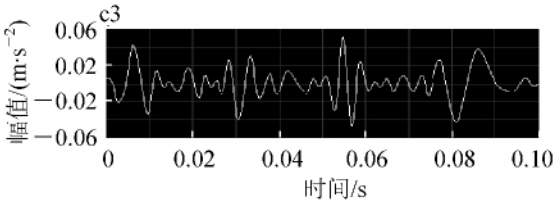

图8 c3分量原始信号

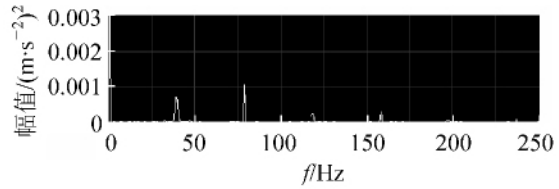

图9 c1分量信号共振解调谱

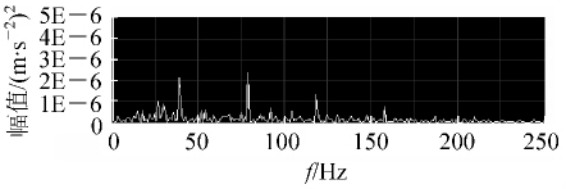

图10 c2分量信号共振解调谱

由c1、c2分量的共振解调谱可以看出,振动信号中有明显的约为76 Hz的频率成分,并且伴有其1/2倍频和高倍频。该频率与滚动轴承故障特征频率表相比可以看出该频率与外圈故障特征频率76.1 Hz非常接近,由此可以判断出此轴承外圈故障,与实验结果相一致。

4 结论

通过以上研究表明虚拟仪器测试平台的优越性以及EMD分解法和共振解调法各自的优越性,并且证明当两者相结合时,对于滚动轴承的故障诊断具有更为突出的效果。

参 考 文 献

[1] 李海波. 智能化轴承故障诊断仪的工程设计与研制[D]. 沈阳: 沈阳理工大学,2009: 30-31.

[2] 王嘉乐,王灿,会强. 基于虚拟仪器的机车滚动轴承故障诊断研究[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版,2012,25(3): 87-91.

[3] 宗明成,丁铁英,陈淑琴,等. 列车滚动轴承故障诊断[J]. 无损检测,1998,20(3): 71-73.

[4] 袁龙,李小昱,冯耀泽. 基于希尔伯特黄变换的发动机故障诊断方法研究[J]. 湖北农业科学,2010,49(5): 1198-1201.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Research on Rolling Bearing Fault Diagnosis Based on EMD Decomposition and Resonance Demodulation

Zuo Qinglin[1,2], **Ma Huaixiang**[1]

(1. School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, china;
2. Tianjin Metro Company, Tianjin 300051, china)

Abstract: This paper introduces the fault mechanism of the rolling bearing, uses the vibration signal analysis method to research rolling bearing condition monitoring and fault diagnosis. Through the LabVIEW programming, combining the EMD decomposition and resonance demodulation, the vibration signal is analyzed, and useful fault features are obtained to confirm the fault types.

Key words: rolling bearing; fault diagnosis; EMD; resonance demodulation

(责任编辑　车轩玉)

(上接第 41 页)

Research on Coupling of Magnetic Field of Magnetic Sealand Walking Speed of Trolley in Sintering Machine

Wang Lingyan[1], **Yu Xuguang**[1], **Yang Jiuxiao**[2], **Wang Junshuai**[1]

(1. School of Material Science and Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;
2. School of Material Science and Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: To solve the problem of air leakage between the sintering machine trolley and the air box, the coupling law of magnetic field of magnetic seal on sintering machine and trolley's speed is studied. A set of simulated device is applied, which includes moving part, fixed part, and a variable gap between them. The magnetic field source is set in the fixed part. Three kinds of magnetic media are put in the gap and their motion states are observed. The results show that when the moving part moves with a linear velocity of 0.79 ~ 2.12 meter per second, the magnetic media is divided into two layers, which are the moving layer and the fixed layer. The layered interface are associated with many factors such as the strength of the magnetic field in the gap, the moving speed of the moving part, the size of the gap and the characteristics of the magnetic medium. It reveals the coupling law of the magnetic medium's magnetic properties and speed which is marked by the "thickness of moving layer" in the magnetic medium having function relationship with the above four factors.

Key words: sintering machine; magnetic seal; magnetic field; speed; coupling

(责任编辑　车轩玉)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net