

# 改进 EMD 分解自相关解调的变速箱故障诊断

黄梦<sup>1</sup>, 安钢<sup>1</sup>, 王远涛<sup>1,2</sup>, 姚炽伟<sup>1</sup>

(1. 装甲兵工程学院 机械工程系, 北京 100072; 2. 辽宁机电职业技术学院 机械工程系, 辽宁 丹东 118009)

**摘要:**分析了某型坦克轴承滚动体故障信号, 运用 EMD 分解和峭度指标优选准则选取包含故障特征较多的固有模式分量, 结合回转机械信号具有准周期特点, 对重构信号进行自相关去噪然后解调, 该方法能减少噪声与其他激励源的干扰, 提高诊断效果, 对齿轮断齿故障运用此步骤, 亦得到较好的诊断效果, 与传统包络解调相比有更好的效果。

**关键词:**故障诊断; EMD; 峭度优选; 自相关

中图分类号: TP203

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2013)09-0074-04

## Improved EMD of Autocorrelation Demodulation Transmission Fault Diagnosis

HUANG Meng<sup>1</sup>, AN Gang<sup>1</sup>, WANG Yuan-tao<sup>1,2</sup>, YAO Chi-wei<sup>1</sup>

(1. Department of Mechanical Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Liaoning Jidian Polytechnic, Dandong 118009, China)

**Abstract:** This paper analyzed a tank bearing fault signals of rolling elements, and used EMD and kurtosis indicators preferred criteria to select contains the fault feature more inherent mode component to combine the rotating machinery signal that has the characteristics of quasi-periodic, self denoising reconstructed signal and demodulation. This method can reduce the noise and other interference excitation source, improve the diagnostic effect of the gear. Broken tooth failure to use this step can get better diagnosis and better results compared with traditional envelope demodulation.

**Key words:** fault diagnosis; EMD; kurtosis preferred; autocorrelation

机械故障诊断的关键是获取有效的故障特征信息, 文献[1]中给出了滚动轴承特征频率的计算方法。由于变速箱中故障振动信号往往表现为非平稳特征, 并且故障特征信息较弱, 背景噪声大, 特征信息常常淹没在背景噪声中不易被识别出来, 在分析振动信号之前, 通常对信号进行降噪预处理。EMD(empirical mode decomposition)方法<sup>[2]</sup>能够将待分析信号自适应地分解成若干个 IMF(intrinsic mode function)信号, 有较好的降噪效果, 特别适合非平稳、非线性信号的分析处理。

针对某型坦克变速箱进行故障诊断, 由于特殊的运行环境以及行驶过程中经常换挡的制约, 使得变速箱的故障率高并难以及时做出正确诊断, 基于传统的方法很难得到满意的结果, 本文针对某型坦克变速箱主轴 7216 轴承, 通过分析故

障信号, 运用 EMD 分解与自相关降噪, 最后对提取的信号进行 Hilbert 解调, 并将此步骤用于齿轮断齿故障中, 得到了满意的结果。

## 1 滚动轴承故障信号分析

### 1.1 滚动轴承故障振动信号的获取

通过电火花电击 7216 轴承滚动体表面, 使其产生长度为 3 mm, 宽度为 1 mm, 深为 1 mm 的凹坑来模拟轴承滚动体点蚀故障, 并将该轴承安装在某型坦克变速箱主轴上, 振动信号通过振动加速度传感器测量坦克在行驶过程中的轴承座得到。模拟故障的 7216 轴承如图 1 所示, 传感器安装位置如图 2 所示。

收稿日期: 2013-04-15

作者简介: 黄梦(1989—), 男, 硕士, 主要从事军用车辆状态监测与故障诊断研究。

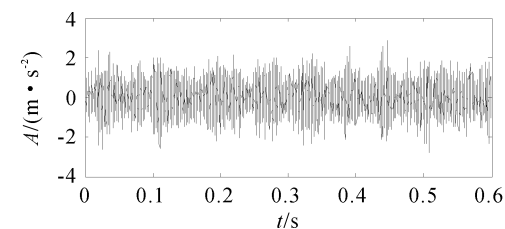


图1 滚动体点蚀的 7216 轴承

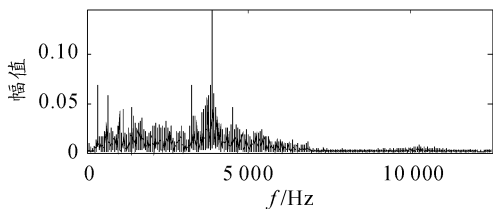


图2 振动加速度传感器的安装

对其进行行驶检测实验,为提高测试数据的稳定性,采用水泥平坦路面 3 档定速行驶的模式。采集数据为 7216 轴承点蚀情况下的样本。采样频率为  $f_s = 25\ 000\ \text{Hz}$ 。采样时间  $t = 0.6\ \text{s}$ 。7216 轴承滚动体点蚀故障振动信号时域波形和频谱图如图 3 所示。



(a) 滚动轴承正常振动信号



(b) 滚动轴承故障振动信号

图3 滚动轴承振动信号

## 1.2 基于 EMD 分解的峭度优选准则

由文献[1]滚动轴承故障特征频率计算公式可知滚动体故障特征频率  $f_b = 44.18\ \text{Hz}$ 。从图 3 可以看出,故障振动信号的时域波形有冲击但不突出,看不出明显的故障频率,故障特征信号较弱淹没在状态信号中。

由于 7216 轴承滚动体故障信号与其频谱图中都很难描述其故障,笔者通过 EMD 分解进一步提取故障信号,EMD 分解的优点在于能自适应的把信号分解为数个固有模式分

量(IMF),不同的 IMF 对诊断的贡献率不相同<sup>[2]</sup>,在此笔者选用峭度指标表征各个 IMF 的贡献率。

峭度指标是描述冲击能量大小的无量纲参数,对于信号的瞬态特征非常敏感<sup>[3]</sup>,峭度值  $K_v$  的定义为

$$K_v = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i^4 / x_a^2 - 3$$

式中:  $x_a$  为信号的均方值;  $N$  为信号长度,定义为

$$x_a = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i^2$$

当轴承无故障运转时,由于各种不确定因素的影响,其振动信号的幅值分布接近正态分布,峭度指标值约为 0,随着轴承出现故障,信号幅值的分布偏离正态分布,正态曲线出现分散或偏斜,峭度值也随之变化,峭度值的绝对值增大<sup>[4]</sup>。由此可以推断,当某些 IMF 的峭度值大于 0 时,说明这些 IMF 分量保留了原信号较多的故障冲击成分。对这些 IMF 进行重构,得到的合成信号的峭度值有明显的提高,优选出的 IMF 更能反映振动信号的故障特征,同时也包含更多故障信息<sup>[5]</sup>。

峭度优选的 3 种准则:

1) 基于极大值峭度优选准则

对 EMD 分解的各 IMF 分量求取峭度值,峭度值最大的 IMF 分量为贡献率最大的分量。

2) 基于梯度法峭度优选准则

求出各 IMF 分量峭度值的梯度,梯度值最大的点为终止点,取终止点前的 IMF 分量加权得到重构信号。

3) 基于分层峭度优选准则

依据峭度值的大小,对各 IMF 分量分层。取峭度值接近的 IMF 分量加权重构,比较不同层重构信号的效果。

因此,在实际滚动轴承故障诊断中,可以运用上述 3 种优选准则,找到贡献率最大的 IMF 分量,作为后续降噪的预处理。

本实验中分别采用上述 3 种优选准则对故障信号进行处理,经实验处理结果表明,基于极大值峭度优选准则对本故障信号有较好的效果,图 4 为 EMD 分解前后 7 个固有模式分量的幅值谱。图 5 为固有模式分量的峭度值分布,原信号的峭度值为 3.441 1。经过峭度优选后得到信号的峭度值为 4.044 5,信号如图 6 所示。

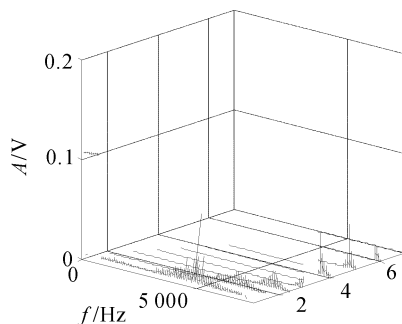


图4 信号 EMD 分解前 7 个 IMF 分量的幅值谱

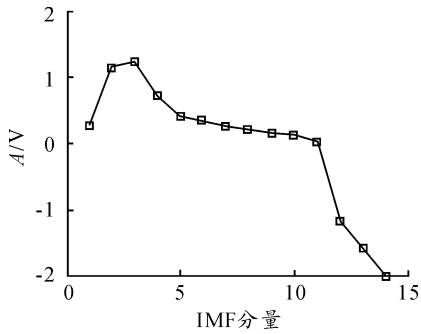


图5 信号的峭度值与互相关系数

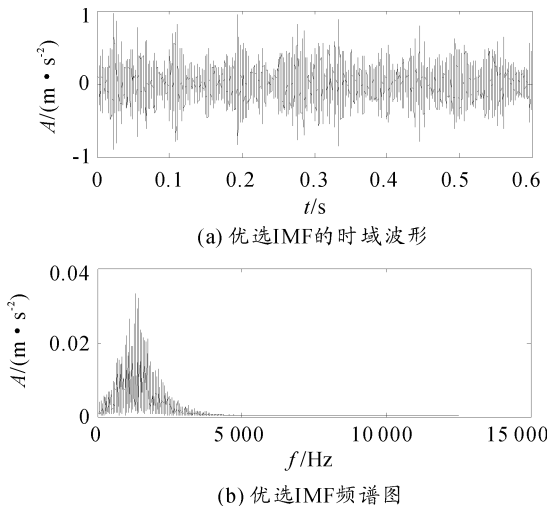


图6 优选 IMF

### 1.3 基于分析信号的自相关降噪。

由时域波形与频谱图可以看出,信号经过峭度优选后,分析信号的时域波形已经有明显的周期性和冲击性,频谱中的调制特性更突出,但由于坦克结构复杂,激励源较多,所以采集到的信号也相应的包含了较大的噪声干扰,从分析信号的时域和频域图上还是看不出什么信息。

自相关函数可以检测信号序列中隐含的周期性,通过自相关运算达到降噪目的而不损失周期性信号,可很好的弥补EMD降噪的不足。这种特性在信号处理和分析中已有广泛的应用;同时它还不改变信号的调制特征<sup>[6]</sup>。

自相关函数描述的是同一信号在不同时刻的相互关系,定义为

$$r_x(m) = \frac{1}{N-|m|} \sum_{n=0}^{N-1-|m|} x_N(n)x_N(n+m)$$

式中: $N$ 为采样点数; $m$ 为时延。

由于轴承信号为准周期信号,噪声信号互不相关。从其自相关函数的频谱上可以得知,故障振动信号经过自相关分析之后,噪声干扰明显减少,并且自相关函数保留了原信号的主要成份。得到去噪后的信号如图7所示。

从去噪后的图像中我们可以很明显的抑制了白噪声的干扰,看出信号的周期特性,调制特性也较为明显。

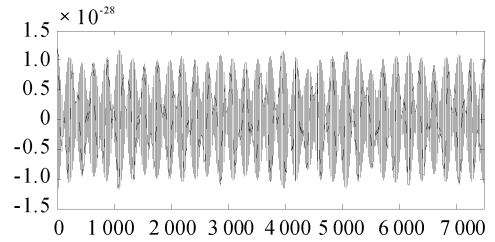
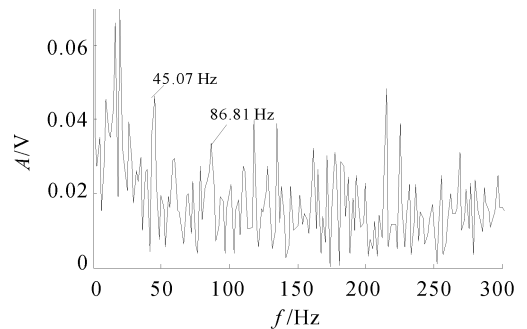


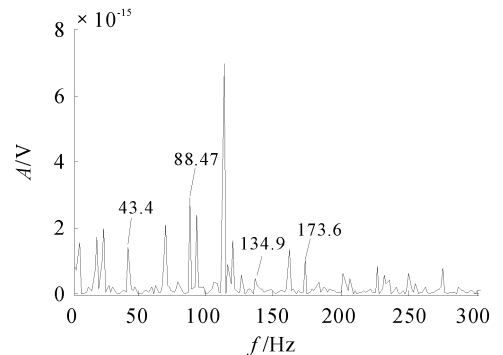
图7 自相关降噪后信号时域

对调制信号进行 Hilbert 包络解调,得到的结果如图8所示。通过上述实验过程,我们已经可以很好的得到了轴承滚动体的故障频率及其倍频了,可以较为清楚的得到满意的结果,经过上述实验,对7216滚动体轴承故障诊断的步骤可归纳为如下:

- 1) 对故障信号进行EMD分解,求出各个IMF分量的峭度值。
- 2) 选择峭度值优选准则,得到优选后的故障信号。
- 3) 对优选后的故障信号进行自相关降噪,并对降噪后的信号进行Hilbert解调。
- 4) 对比Hilbert解调得到的频率与7216轴承故障特征频率,确定分析信号的故障状态。



(a) 原始信号小波能量解调的Hilbert解调谱



(b) EMD优选准则与自相关降噪解调的Hilbert解调谱

图8 Hilbert 包络解调

## 2 在齿轮断齿故障诊断中的应用

为进一步验证本步骤的可行性,现以某型坦克齿轮断齿故障为例,实验工况为发动机转速1000 r/min时,挡位为3,

在平稳路面上定速行驶。由文献[1]计算得到变速箱主动轴转频为 23.81 Hz,中间轴转频为 11.9 Hz,转频为 11.9 Hz,三档被动齿轮的齿数为 24,啮合频率为 285.6 Hz。

图 9 为经过本步骤信号处理的结果,为了清晰的显示信号的频率成份,图中只画出了 0~200 Hz 的频率成份,其主要频率如图所示,从解调谱图中清晰的看到了主轴的转频(12 Hz),2 倍频(24.01 Hz),3 倍频(35.8 Hz)、4 倍频(47.02 Hz)、5 倍频(59.02 Hz)、6 倍频(71.02 Hz)、7 倍频(83.03 Hz),可以判断主轴上的三档被动齿轮出现故障。主轴转频及其倍频的出现可能与三档被动齿轮的装配有关。

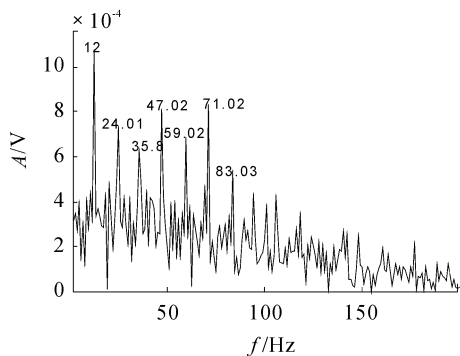


图 9 EMD 优选准则与自相关降噪解调的 Hilbert 解调谱

### 3 结论

根据对某型坦克 7216 轴承故障信号的特点,采用 EMD 分解与基于峭度优选信号自相关解调,并对得到的实验步骤,并用于某型坦克断齿故障诊断中,得到了以下结论:

1) 针对工况复杂的故障信号,进一步提取信号故障特征是诊断的关键。

2) 峭度优选准则建立在 EMD 分解得到不同固有模式

分量的贡献率不同上,针对具体诊断案例,要酌情选用。

3) 自相关去噪能较好的去处信号中的隐性噪声,直接进行 Hilbert 解调,即方便使用,又便于理解。

4) 针对齿轮断齿故障的方法验证表明,此方法能较好的检测出变速箱重要部件的故障,具有较好的实用价值。

### 参考文献:

- [1] 王凯,安钢,胡易平,等. 形态滤波和自相关降噪的 Hilbert 边际谱在轴承故障诊断中的应用[J]. 装甲兵工程学院学报,2010,24(1):39-42.
- [2] Norden E Huang. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [C]// Proc. R. Soc. Lond. A (1998) 454, 903-995.
- [3] 樊新海,王战军,安钢,等. 机械系统状态监测特征参数评价与选取[J]. 装甲兵工程学院学报,2009,23(3):25-28.
- [4] 丁康,李巍华,朱小勇. 齿轮及齿轮箱故障诊断实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [5] 苏文胜,王奉涛,张志新,等. EMD 降噪和谱峭度法在滚动轴承早期故障诊断中的应用[J]. 振动与冲击,2010,29(3):18-21.
- [6] 孟涛,廖明夫,李辉. 齿轮故障诊断的时延相关解调法[J]. 航空动力学报,2003,18(1):109-113.
- [7] 胡红英,马孝江. 基于局域波分解的信号降噪算法[J]. 农业机械学报,2006,37(1):118-120.

(责任编辑 杨继森)