基于ELMD分解和MED的齿轮箱故障诊断分析

赵少勇[1,2],任学平[1],郝富贵[1,2]

(1. 内蒙古科技大学机械学院,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司设备工程部,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 针对齿轮早期故障振动信号的非平稳特性和现实中受环境噪声影响严重,故障特征微弱难以提取的问题,利用总体局部均值分解对齿轮故障振动信号进行分解得到有限个单分量的乘积函数,从而凸显信号的局部特性。但由于噪声的干扰,从各分量的频谱中很难提取故障特征频率信息。文章基于此提出总体局部均值分解和最小熵反褶积的故障诊断方法。通过对齿轮故障仿真实验和工程案列分析,能够准确、有效地提取齿轮故障特征信息,为实际工程应用提供了一种新方法。

关键词: 齿轮箱; 时域分析; 频域分析
中图分类号: TF31 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2018)01-0068-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.01.022

Fault Diagnosis and Analysis of Gearbox Based on ELMD Decomposition and MED

ZHAO Shao-yong[1,2], *REN Xue-ping*[1], *HAO Fu-gui*[1,2]

(1. *School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *Equipment and Engineering Dept. of Inner Mongolia Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: Aiming at the non-stationary characteristics of early failure vibration signal of gear and the fact that it is seriously affected by environmental noise and the fault feature is weak so it is hard to be extracted, the ensemble local mean decomposition is used to decompose the fault vibration signal of gear to obtain the product function of finite single component, so as to highlight the local characteristics of the signal. However, because of the noise interference, it is difficult to extract the fault feature frequency information from frequency spectrum of each component, and based on that, in the paper, the fault diagnosis method of ensemble local mean decomposition and minimum entropy deconvolution is proposed. Through the analysis of gear fault simulation experiment and project case, fault characteristic information of gear can be extracted accurately and effectively, which provides a new method for practical engineering application.

Key words: gearbox; time domain analysis; frequency domain analysis

齿轮箱是冶金机械中重要的变速传动装置,它的工作状态对整个设备是否能良好运行起着关键的作用。由于各种随机因素的影响,难免出现故障现象,机械设备一旦发生故障,将带来巨大的经济损失

* **收稿日期**: 2017-11-07
作者简介: 赵少勇(1986-),男,内蒙古包头市人,硕士,工程师,现从事设备运行管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

和人员伤亡,造成不良的社会影响。

1　研究方法

1.1　ELMD 理论

ELMD 是为解决 LMD 中存在的模态混叠现象而提出的,是一种噪声辅助分析方法[1]。该方法通过多次向原信号混入不同幅值的白噪声,利用白噪声在其频谱上均匀分布的特点来改善信号的极值点分布间隔,进而有效地克服 LMD 所产生的模态混叠现象。最后对多次分解得到的 PF 分量求均值来消除白噪声的影响[2]。

为了保证数据处理的结果不受端点效应的影响,使用特征波延拓的方法对端点进行处理,ELMD 在分解时对调频信号的认定条件及终止条件依据原始数据进行断定。ELMD 算法流程图如图 1 所示。

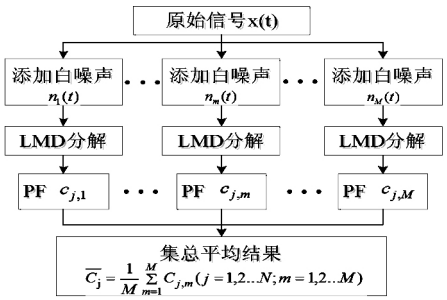


图 1　ELMD 算法流程图

1.2　最小熵反褶积

MED 基本原理是对输出信号进行解卷积运算,结果增强信号中少数大的冲击成分,利用峭度达到最大作为迭代计算的终止条件[3]。根据峭度最大原理可知,峭度值越大表明信号中冲击特征越明显,此特性能更好地突出信号中的冲击脉冲成分,因此,对滚动轴承冲击性故障采用 MED 进行降噪将非常适用[4]。设滚动轴承出现局部损伤时的故障振动信号为:

$$y(n) = h(n) \times w(n) + e(n) \quad (1)$$

其中:$y(n)$ 为输出信号;$w(n)$ 为输入信号;$h(n)$ 为传递函数;$e(n)$ 为噪声成分。

1.3　早期故障诊断方法

首先采用 ELMD 对故障振动信号进行分解,得到有限个 PF 分量;然后依据相关系数与峭度准则,选取包含故障特征信息较丰富的 PF 分量进行 MED 降噪处理,从而消除噪声影响凸显故障特征信息;最后对降噪信号进行 Hilbert 包络谱分析,即可从谱图中准确地提取到齿轮微弱故障特征信息,完成齿轮箱故障的精确诊断。诊断流程为:

(1) 输入齿轮故障振动信号 $x(t)$;

(2) 利用 ELMD 将分解一系列 PF 分量;

(3) 选取相关系数较大 PF 分量进行 MED 降噪;

(4) 对降噪信号进行希尔伯特包络解调;

(5) 从包络中判断齿轮的故障类型。

2　工程案例分析

为了能够在故障发生的早期进行检测与防范,选择 DT9837 数据采集仪对 2#活套减速齿轮箱振动信号进行采集,加速度传感器的测点分别布置在减速机齿轮箱Ⅰ轴远离电机侧端盖位置的垂直径向、水平径向和轴向位置。

数据采集时,设定采样频率为 5 120 Hz,分析数据所用的采样点数为 10 240 点,电动机转速为 150 r/min(对应输入轴的转频为 2.5 Hz) ,对各轴的转频及各齿轮副的啮合频率进行计算。齿轮箱的传动简图如图 2 所示。

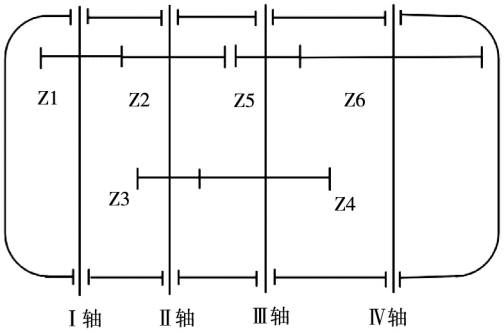


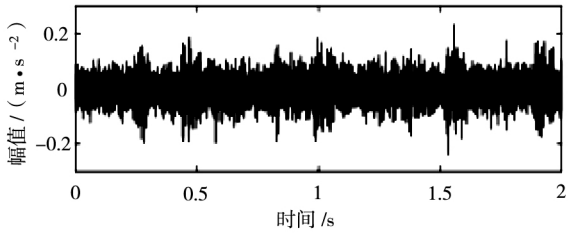
图 2　齿轮箱传动简图

加速传感器测取的振动数据时域波形及其频谱如图 3 所示。从图 3 中可以看到,在振动信号的时域波形中存在较强的背景噪声;在其频谱图中与故障有关的特征频率并没有出现。因此,无法从时域信号及频谱中提取外圈故障特征信息。

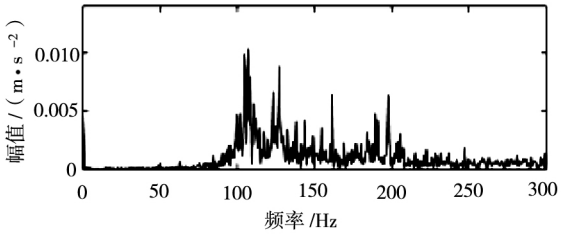
利用 ELMD 对故障振动信号进行分解,此时设定总的循环次数为 100 次,添加白噪声的幅值为采样信号的 0.02 倍,得到分解结果。从分解结果可以看到,噪声对各个 PF 分量的干扰较为严重,很难从各 PF 分量中提取有效的故障特征信息。然后,根

中国知网　https://www.cnki.net

据相关系数准则，选取互相关系数较大的 PF2 分量作为研究对象，采用 MED 的方法对其进行降噪处理，得到降噪后信号的时域波形如图 4(a) 所示。

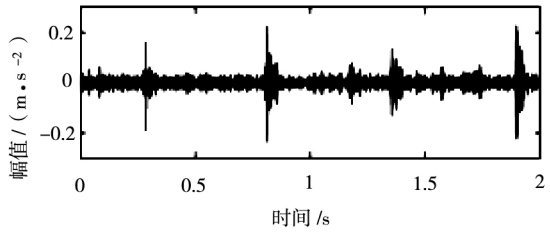


（a）齿轮箱故障振动信号

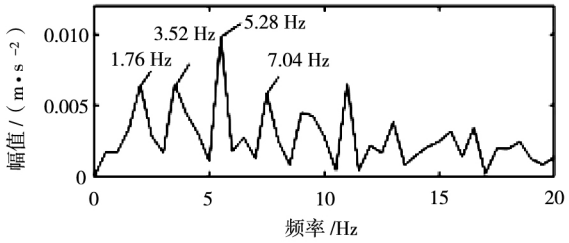


（b）振动信号频谱

图 3 齿轮箱振动信号及其频谱



（a）降噪信号时域波形



（b）降噪信号的包络谱

图 4 MED 去噪信号及其包络谱

由图 4(a) 中可知，经 MED 滤波后噪声成分得到了有效抑制，隐藏在振动信号中的周期性冲击成分已被揭示出来，时域波形清晰地呈现了以 0.57 s 为间隔的周期性冲击，该冲击间隔时间倒数为 1.76 Hz，周期性冲击信号频率与Ⅱ轴的转频相近。最后，对图 4(a) 中的降噪信号进行包络解调分析得到其包络谱如图 4(b) 所示，谱图中清楚地显示出最大谱峰对应的频率为 1.76 Hz，这与Ⅱ轴齿轮故障特征频率相对应，并且能够找到故障特征频率的 2 倍、3 倍等倍频成分。由此可以判断Ⅱ轴齿轮存在故障。

根据诊断结果，制定检修计划，在 2017 年 7 月 4 日对设备进行停机检修，经开机发现Ⅱ轴主动齿轮 Z2 出现了断齿故障，故障齿轮如图 5 所示，这与诊断结果相符。

作为比较，直接对 ELMD 分解得到的 PF2 分量进行 Hilbert 解调分析得到其包络谱，如图 6 所示。由图 6 可知，尽管 PF2 分量直接解调谱在故障特征频率 1.76 Hz 处存在峰值，但其他干扰频率处的峰值也很大，对于解调谱中故障特征信息的识别造成较大干扰。因此，在强背景噪声干扰情况下，本文算法能够更有效提取齿轮故障特征，实现精确诊断。

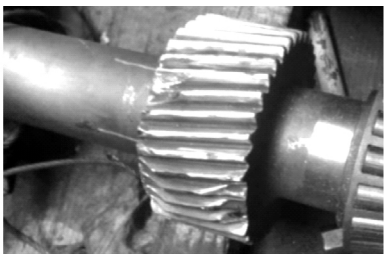


图 5 减速机内部损坏情况

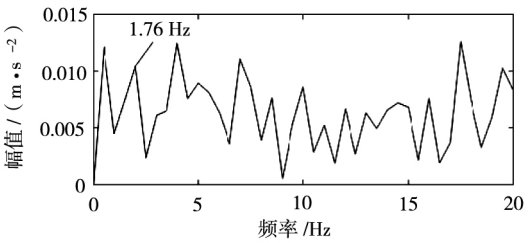


图 6 PF2 分量的包络解调谱

中国知网 https://www.cnki.net

3　结论

(1) ELMD 和 MED 的故障诊断方法能够有效地提取隐藏在强噪声或其他强干扰背景下的齿轮故障特征,在早期类故障诊断中具有优势。

(2) 对轴承故障信号进行总体局部分解(ELMD)可以有效避免局部均值分解(LMD)产生的模态混叠现象,从而获得更加真实的 PF 分量。依据相关系数准则选取包含故障信息最大的 PF 分量作为研究对象,减少了分量选取的盲目性。

(3) 利用最小熵反褶积(MED)对包含故障特征信息的 PF 分量进行降噪处理,能够有效去除噪声成分的干扰,提升信号的峭度,从而更好地凸显强噪声背景下少数大的故障冲击成分,有助于准确提取齿轮微弱的故障特征信息。

(4) 将 ELMD 和 MED 相融合的方法应用于齿轮故障诊断中,能够准确、有效地提取到微弱的故障特征信息,实现对故障情况的精确诊断,诊断结果指导生产现场提前做出处理方案,有效避免设备事故发生,对生产及安全意义重大。

参　考　文　献

[1] 程军圣, 张亢, 杨宇. 基于噪声辅助分析的总体局部均值分解方法[J]. 机械工程学报, 2011,47(3):55-62.

[2] Sun Jiedi, Xiao Qiyang, Wen Jiangtao, et al. Natural gas leak location with K-L divergence based adaptive selection of Ensemble Local Mean Decomposition components and high-order ambiguity function[J]. Journal of Sound and Vibration,2015, 347(7): 232-245.

[3] Kim T , Lee K K. Estimation of relative recharge sequence to groundwater with minimum entropydeconvolution[J]. Journal of Hydrology, 2005, 311(4): 8-19.

[4] 王宏超, 陈进, 董广明. 基于最小熵解卷积与稀疏分解的滚动轴承微弱故障特征提[J]. 机械工程学报,2013,49(1): 88-94.

(上接第 24 页)

压溃;②两个侧壁因材质及高温原因,导致强度降低弯曲变形。因此,针对以上易损部位通过增加强度进行改型,如图 6 所示。

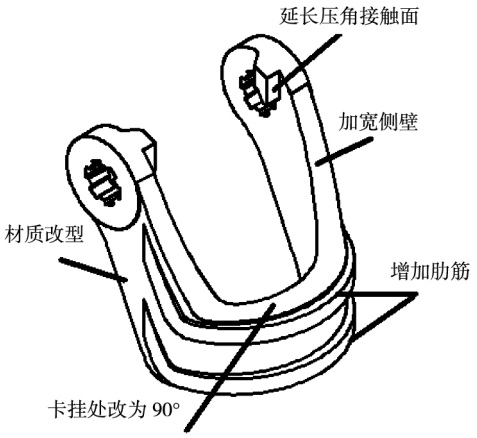


图 6　改型后托架示意图

4　结束语

目前,在国内外的大型高炉上,主要有 PW 型布料器与包钢布料器两种形式。作为具有包钢自主知识产权的包钢布料器在中小高炉上的应用已有十分成功的经验,通过一系列技术攻关改造,目前在大型高炉也能够正常使用、寿命可控;如何更好地在大型高炉使用、提高其使用可靠性,还需要对布料器的各项性能不断地进行技术研究与改进。

参　考　文　献

[1] 吴宗泽. 机械结构设计准则与实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

[2] 刘宏斌,吴崇兰,孙俊英. 包钢炼铁厂 BG-Ⅲ型无料钟炉顶的应用[J]. 包钢科技,2009, 35(1):16-18.

[3] 赵国磊. 无钟高炉装料过程炉料运动分布规律及颗粒偏析行为研究[D]. 北京: 北京科技大学,2016.

中国知网　https://www.cnki.net