VMD和MCKD在风机轴承故障辨识中的应用研究

孙永涛[1],李子贤[2],秦 波[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古科技大学机械工程学院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 针对炼铁厂除尘风机服役在高温、高湿、多粉尘的恶劣环境下以及强背景噪声的复杂工况造成其驱动侧滚动轴承振动信号具有强非线性、强调制的特点,致使其故障特征频率难提取、难辨识的问题,融合变分模态分解(Variational Mode Decomposition,VMD)与最大相关峭度解卷积(Maximum Correlated Kurtosis Deconvolution, MCKD)实现了对除尘风机滚动轴承振动信号的降噪、故障特征频率的提取,并通过包络解调方法完成了故障的识别。

关键词: 变分模态分解; 最大相关峭度解卷积; 滚动轴承; 故障诊断
中图分类号: TH133.33 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2020)04-0070-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.04.019

Application Study of VMD and MCKD in Fault Identification for Bearing of Fan

Sun Yong-tao[1], *Li Zi-xian*[2], *Qin Bo*[2]

(1. *Iron-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The vibration signal of rolling bearing on the driving side of dust-removing fan of Iron-making Plant is with such characteristics as strong nonlinearity and modulation due to it is in service in the harsh environment of high temperature, high humidity and much dust as well as the complex working condition of strong background noise so that its fault character frequency is difficult to be extracted and identified. With the variational mode decomposition (VMD) and maximum correlated kurtosis deconvolution (MCKD), the noise reduction and extraction of fault character frequency for vibration signal of rolling bearing for dust-removing fan are realized as well as the fault identification is completed by envelope demodulation.

Key words: variational mode decomposition; maximum correlated kurtosis deconvolution; rolling bearing; fault diagnosis

收稿日期: 2020-04-22

作者简介: 孙永涛(1977-),男,内蒙古包头市人,硕士,高级工程师,主要从事烧结设备的运维和管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

除尘风机作为炼铁生产过程中的重要环保设备,长期服役于高温、高湿、多粉尘的恶劣环境中,加之载荷的多变、强背景噪声的干扰,风机上的滚动轴承等关键易损件极易出现故障; 且早期的振动信号具有非线性、非平稳的特点,若能在早期对其运行状态或损伤位置、严重程度及时进行识别和判断,对除尘风机这类环保设备的现场运维及健康管理具有重要意义。

文献[1]通过故障实验台的振动数据阐明了 VMD 与对称差分能量算子相结合的方法,在滚动轴承故障诊断中的有效性。文献[2]利用对称差分能量算子、自相关降噪与小波包分解等方法实现了脱硫增压风机滚动轴承故障的有效判别。文献[3]结合 EEMD 与希尔伯特解来对采煤机驱动侧滚动轴承进行故障诊断。上述研究,在针对强背景噪声、强非线性、非平稳的滚动轴承振动信号的降噪、故障特征频率提取与辨识时,采用传统的单一降噪或包络解调进行特征提取,或多或少存在某些缺陷。对此,提出一种融合 VMD 和 MCKD 的滚动轴承振动信号故障辨识方法。首先,将滚动轴承振动信号经由 VMD 分解后获取若干个表征原信号的不同频率特征的 IMF 分量; 其次,借助于 MCKD 对上述各 IMF 进行滤波来凸显不同频段内隐含的故障成份; 最后,将上述隐含的故障分量进行包络解调确定故障的类型及程度。

1　变分模态分解算法

2014 年,Konstantin Dragomiretskiy 提出了变分模态分解(Variational Mode Decomposition, VMD)算法[4]。其原理: 将一个实信号分解成为预定个数的准正交子“模态”,每个“模态”分量都具有频率中心和有限带宽,算法包含两部分,即针对待分析的振动信号构造约束变分模型和引入惩罚因子 α 和拉格朗日乘子 λ,将约束变分问题变为非约束变分问题,利用交替方向乘子算法进行循环迭代更新,完成对非约束变分问题的求解。

2　最大相关峭度解卷积

2011 年, McDonald 为了准确提取信号中的周期性故障成份,在综合考虑信号所含冲击成分具有周期特性特点的基础上,提出了最大相关峭度解卷积[5](Maximum Correlated Kurtosis Deconvolution, MCKD)。该算法通过迭代来实现解卷积的运算,以此凸显信号中被强背景噪声所淹没的连续脉冲,使得信号中隐含故障特征的频率得以被表征。MCKD 算法流程如下:

(1) 将待分析振动信号导入并设置位移数、滤波器长度相关峭度阈值等参数;

(2) 滤波后的输出信号的计算及滤波器参数估算;

(3) 滤波器的更新及待分析信号相关峭度值的计算;

(4) 终止判别: 当循环内计算所得相关峭度小于阈值时,迭代停止得到最终输出信号。

3　故障诊断流程

首先,搭建测试系统测取滚动轴承的振动信号; 其次,将滚动轴承的振动信号经由 VMD 分解,获得若干个 IMF 分量; 然后,借助于 MCKD 对上述各 IMF 进行滤波来凸显不同频段内隐含的故障成份; 最后,将上述隐含的故障分量进行包络解调,综合研判确定故障的类型及程度。具体流程如图 1 所示。

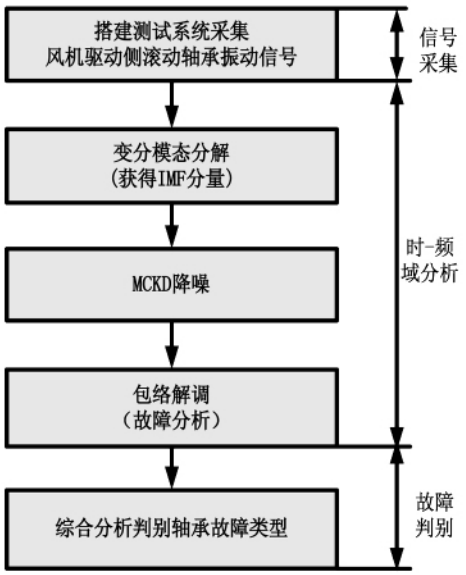


图 1　除尘风机驱动侧轴承振动故障诊断流程

4　现场验证

为验证所提方法的有效性,在生产现场基于 LMS Test. Lab 采集仪及工作站搭建除尘风机驱动侧滚动轴承的测试系统(图 2)。除尘风机驱动侧滚动轴承的型号及参数如表 1 所示。

中国知网　https://www.cnki.net

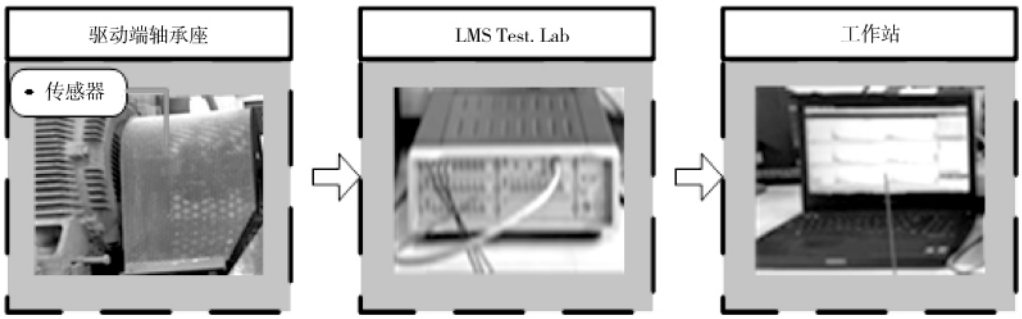


图2 除尘风机驱动侧轴承振动数据采集系统

表1 SKF22234CC/W33 轴承参数

内径/mm	厚度/mm	外径/mm	滚子/个
170	86	310	20

试验前,将2支PCB的356A16型传感器分别通过磁座吸附在轴承座的径向的水平与垂直2个位置上,传感器通过6 m的导线与采集仪相连,安装有采集软件的戴尔工作站通过网线与采集仪建立起通讯。

试验时,在除尘风机正常工作转速989 r/min下采集滚动轴承的振动信号,采样频率5 120 Hz,采样点数为5 120个。通过表1给出的滚动轴承的参数并结合文献[1]中的滚动轴承各部件特征频率计算公式来计算除尘风机的滚动轴承各部件的故障频率,如表2所示。

表2 SKF22234CC/W33 轴承特征频率 Hz

故障部位	保持架	滚动体	外环	内环
特征频谱	10.576	81.562	201.103	265.647

分析时,截取如图3所示的一段长度为1 s、采样点数为5 120个的滚动轴承振动时域波形,对其进行傅里叶变换获得图4所示的频域图,发现很难找到故障信息。由于故障特征频率被噪声背景淹没致使在图4频谱中无法找到任何相近特征频率。对此,利用本文所提方法将该信号经由VMD分解求取信号的6组IMF分量,如图5所示;然后,对各个IMF分量进行MCKD降噪后求取包络谱,如图6所示;从图6中观察易知,6个IMF分量包络图发现所对应的主频率分布在191.7 Hz到201.4 Hz之间,与除尘风机驱动侧轴承外环所对的故障频率201.103 Hz很接近,由此判断故障的位置在滚动轴承的外圈存在磨损。

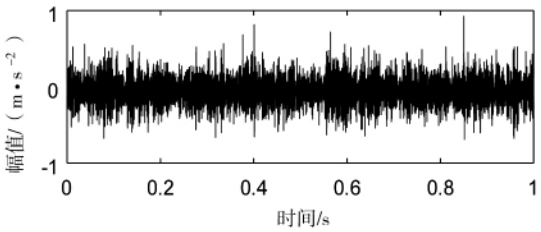


图3 除尘风机驱动侧滚动轴承振动信号时域波形

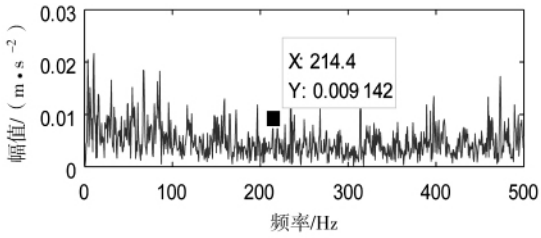


图4 除尘风机驱动侧滚动轴承振动信号频域波形

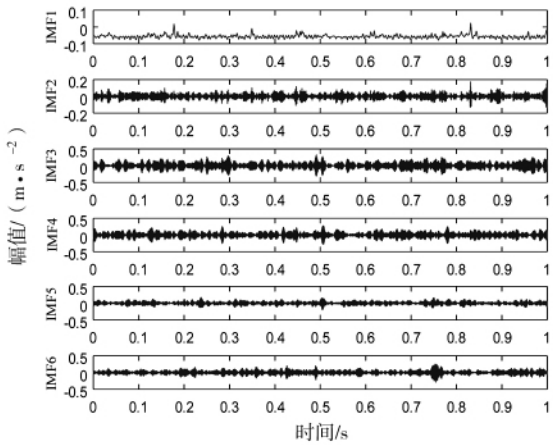


图5 经VMD分解后各IMF分量

中国知网 https://www.cnki.net

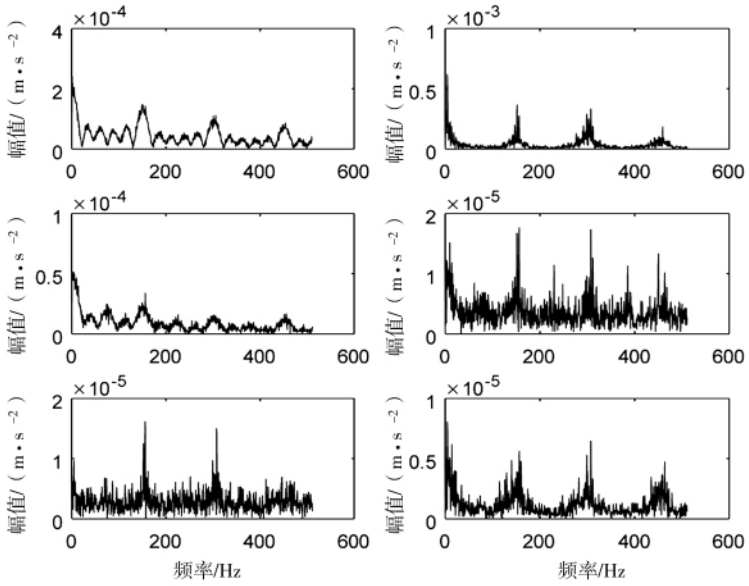


图 6　经 MCKD 后的各 IMF 分量的包络图

在对除尘风机滚动轴承更换过程，看到轴承外圈磨损严重，调心轴承下面那列滚珠与调整轴承环之间的间隙约有 1 mm，与上述的分析基本一致。

5　结束语

利用现场测取的除尘风机驱动侧轴承振动信号，基于 VMD、MCKD 与包络解调相结合的方法识别了滚动轴承外圈的磨损故障，验证所提方法的有效性，为除尘风机这类环保设备的现场的状态辨识、运维管理提供一种新途径。

参　考　文　献

[1] 秦波，王祖达，郭慧莉，等. 基于 VMD 和对称差分能量算子解调的滚动轴承故障诊断方法[J]. 机械传动，2017，41(5)：143－147.

[2] 吴永刚，李军. 对称差分能量算子增压风机轴承故障诊断[J]. 包钢科技，2018，44(4)：68－70.

[3] 王亚林，秦波，王建国. EEMD 和希尔伯特解调在采煤机驱动侧滚动轴承故障诊断中的应用研究[J]. 内蒙古科技与经济，2018，(18)：82－83.

[4] 岳建辉. 基于变分模态分解的滚动轴承故障诊断方法研究[D]. 秦皇岛：燕山大学，2019.

[5] 唐贵基，王晓龙. 最大相关峭度解卷积结合 1.5 维谱的滚动轴承早期故障特征提取方法[J]. 振动与冲击. 2015，34(12)：79－84.

中国知网　https://www.cnki.net