

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.01.058

基于 EEMD 和 MSB 方法的采煤机轴承故障诊断研究

和建荣

(陕西火石咀煤矿有限责任公司, 陕西 咸阳 713599)

摘要:为提高采煤机轴承故障诊断能力,设计一种通过集合经验模态分解(EEMD)与调制信号双谱(MSB)来诊断轴承故障特征的技术。利用 EEMD 方法对信号实施分解,对各 IMF 和加权平均系数乘积处理得到 EEMD 滤波信号,以 MSB 处理 EEMD 滤波信号实现分量调制。进行电机轴承运行故障的实验测试。结果表明:应用 EEMD-MSB 方法后检测信号内形成了强度很高的背景噪声与干扰信号,并获得良好的噪声抑制效果,能够有效实现采煤机轴承的故障诊断。

关键词:故障诊断;集合经验模态分解;调制信号双谱;轴承;特征提取

中图分类号:TH133.3 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)01-0285-04

Research on Coal Cutter Bearing Fault Diagnosis Based on EEMD and MSB Methods

HE Jianrong

(Shaanxi Huoshizui Coal Mine Co., Ltd., Xianyang 713599, China)

Abstract: In order to upgrade the bearing fault diagnosis ability of shears, a new technology is designed to diagnose bearing fault characteristics by integrating empirical mode decomposition (EEMD) and modulated signal bispectral (MSB). The EEMD method is used to decompose the signal, and the product of IMF and weighted average coefficients is processed to obtain the EEMD filtered signal, and MSB is applied to process the EEMD filtered signal to achieve component modulation. The running fault of motor bearing is determined and experimental test is carried out. The analysis results of bearing outer ring and inner ring show that high intensity background noise and interference signal are formed in the detection signal with the application of EEMD-MSB method, and good noise suppression effect is obtained, which realizes the fault diagnosis of coal cutter bearing effectively.

Keywords: fault diagnosis; ensemble empirical mode decomposition; modulated signal bispectrum; bearing; feature extraction

0 引言

轴承属于采煤机机械系统中的一类重要零部件,该部件的实际使用状态对于机器系统控制性能与动力传输效果有着重要影响^[1]。如果不能对轴承故障进行及时预警则可能会引起系统更大程度的损害,从而产生严重安全隐患。这就要求为轴承设置可靠的失效预警机制来保证机械结构正常运行^[2-3]。现阶段,针对轴承故障诊断方面已经有多种高效信号处理技术,主要包含局部参数分解(LMD)、经验小波转换(EWT)、变分模态分解(VMD)等。虽然上述处理方法在检测轴承故障方面具备良好的可靠性,但也存在着一定的局限性^[4]。其中,EWT虽具备对信号参数的优异分解性能,但该方法容易受到二进制频带分配过程的干扰^[5-6];LMD可以通过自适应分析方法处理

非平稳信号,但会产生模态混叠^[5]。上述方法只注重信噪比提升,并未充分考虑振动信号内包含的调制参数变化特征。

随着近些年许多新的故障诊断技术获得开发,调制信号双谱(MSB)处理技术也获得了广泛使用。此方法可以充分发挥调制性能并对噪声信号起到良好的抑制作用,同时也可以使相位信息得到充分保留^[6]。TIAN等^[7]设计了一种具有新型结构的MSB检测器,通过仿真测试发现上述检测器可以获得比快速谱峭度(FK)更准确的结果,同时其稳定性也明显提升,经仿真验证可知该方法获得了比常规双谱方法更优的处理性能。李加伟等^[8]通过对频谱编辑过程进行优化的方式来限制初始信号内的谐波分量,之后通过双谱分析方法处理信号,再从经过降噪的双谱内选择具有明显故障特征的切片组合后形成复合切片谱。冯坤

作者简介:和建荣(1974—),男,河北邢台人,高级工程师,硕士,研究方向为煤矿机电装备及其发展方向、物料高效分选先进技术,muheji19870214@163.com。

等^[9]主要研究了快速谱峭度与传统切片 MSB 算法受到外部强干扰因素作用时无法准确提取轴承故障特征参数的情况,设计了一种通过调制增强切片 MSB 采集故障特征的新算法。经仿真验证发现,可以利用增强切片 MSB 算法对长距离、强噪声环境中的轴承运行故障信号进行快速采集。郭俊超等^[10]同时运用加权经验模态分解(WAEEMD)与 MSB 方法来提取轴承故障特征,再通过 MSB 分解 WAEEMD 滤波调制分量方式提取故障频率,满足可靠性要求。

本文设计了一种通过集合经验模态分解(EEMD)与 MSB 来诊断轴承故障特征的技术。通过实验对比可知,采用 EEMD-MSB 方法提取轴承故障特征可以实现更优性能检测。该研究可以适用于其他的机械传动领域,具有很好的推广应用价值。

1 调制信号双谱分析

MSB 利用对噪声信号和干扰成分进行有效控制来调控固有振动信号^[11]。完成离散时间 $x(t)$ 傅里叶转换后,建立 $X(f)$ 与 MSB 表达式如下:

$$B_{MS}(f_c, f_x) = E \langle X(f_c + f_x) X(f_c - f_x) X^*(f_c) X^*(f_x) \rangle \quad (1)$$

式中: $B_{MS}(f_c, f_x)$ 、 $E \langle \rangle$ 分别为信号 $x(t)$ 调制双谱与期望值; f_c 、 f_x 分别为载波与调制频率; $(f_c + f_x)$ 、 $(f_c - f_x)$ 分别为高、低边带频率。

为获得 f_c 切片参数,利用 f_x 增量方向上的 MSB 幅值分析,并建立以下的 $B(f_c)$ 表达式:

$$B(f_c) = \frac{1}{M-1} \sum_{m=2}^M B_{MS}^{SE}(f_c, m\Delta f) \quad (2)$$

为保证结果的可靠性,通过图 1 标注“*”符号的 MSB 切片均值建立 MSB 检测器,具体表达式如下:

$$B(f_x) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N B_{MS}^{SE}(f_c^{(n)}, f_x), f_x > 0 \quad (3)$$

式中 N 表示切片数量。根据图 1 条件得到切片数量为 3,该参数受到 MSB 峰值的直接影响。

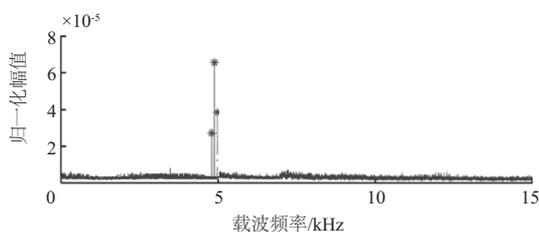


图 1 MSB 切片结果

图 2 给出了 MSB 检测器的具体结果。

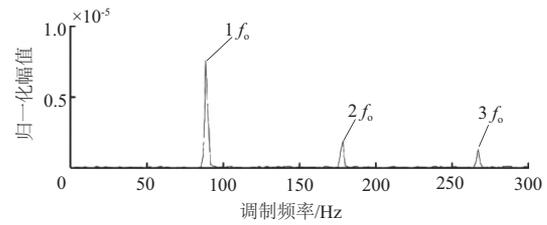


图 2 MSB 检测器的结果

EEMD 是以自适应的模式对振动信号进行分解形成特定频带区间内的 IMF^[12]。

2 诊断流程

通过 MSB 调节 EEMD 滤波信号再提取出系统故障特征频率。设置了以下的各项诊断步骤,具体流程如图 3 所示。

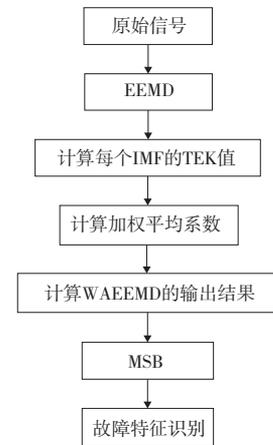


图 3 EEMD-MSB 流程

为确保能够对轴承运行故障频率与谐波参数的精确提取,本次选择 EEMD-MSB 方法对仿真信号进行分析。先利用 EEMD 方法对仿真信号实施分解得到 IMF 图,根据示波器采集波形进行加权平均计算得到;再对各 IMF 和加权平均系数乘积得到 EEMD 滤波信号。

利用 MSB 对 EEMD 进行滤波处理,由此实现分量的调制,同时也可以对背景噪声起到明显抑制效果,由此提取得到故障特征频率,获得故障特征并确定谐波信号。以 EEMD-MSB 方法可对噪声与干扰调制信号都起到了良好抑制作用。

3 实验验证

为了对 EEMD-MSB 方法可靠性进行验证,分别测定了电机轴承的外圈与内圈运行故障。图 4 给出了轴承测试系统的平台结构,可以看到该测

试平台包含了感应电机、发电机、齿轮箱等。把加速度传感器安装于垂直电动机驱动端轴承座的方向,再沿轴齿轮箱壳体平行的方式安装另一加速度传感器。轴承在运行过程中会产生不同类型的故障。可将其主要分成两种故障形式,分别为轴承外圈故障与轴承内圈故障,轴承的外圈和内圈故障照片如图 5 所示。表 1—表 2 分别给出了故障轴承的各项参数与特征频率。



图 4 轴承试验台

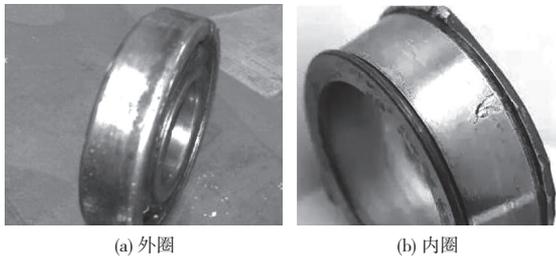


图 5 轴承的故障照片

表 1 轴承主要参数

轴承型号	滚子直径/mm	节径/mm	滚动体数	接触角/(°)
6008	7.90	54.0	12	0
6206ZZ	9.53	46.4	9	0

表 2 轴承故障特征频率 单位:Hz

轴承型号	外圈	内圈	滚动体	保持架
6008	49.25	65.17	33.60	4.10
6206ZZ	89.33	130.99	62.42	9.93

3.1 轴承外圈的分析结果

从图 6 可以看到轴承外圈故障时域波形及其频谱曲线。结果显示此时形成了复杂的被测信号,其中的有效信号也被淹没于背景噪声与干扰信号中。根据图 6(b) 结果难以对故障特征频率与谐波进行准确辨识。为确保故障特征频率与谐波信号的高效提取,选择 EEMD-MSB 技术对齿轮箱轴承外圈故障振动参数进行分析。先利用 EEMD 方法从图 6(a) 振动信号得到 15 个 IMF,

图 7 给出了加权系数均值测试结果。可以明显看到,受背景噪声以及干扰信号影响情况下,上述方法并不能精确提取出故障特征频率与谐波数据。

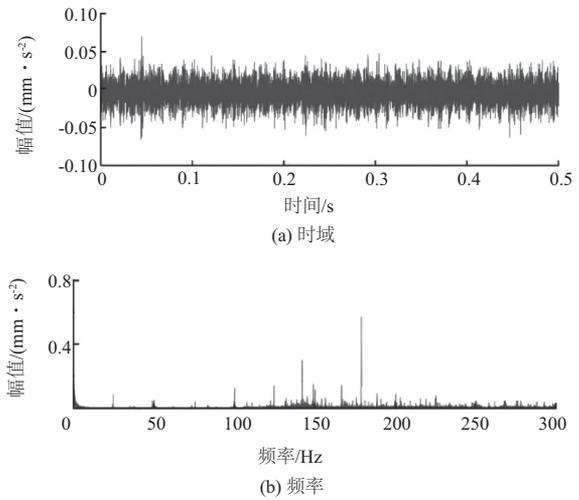


图 6 轴承外圈时域和频谱故障信号

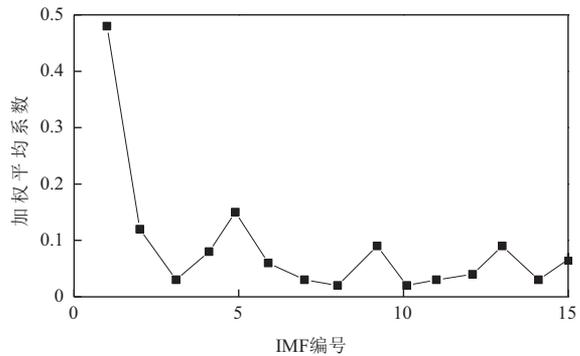


图 7 轴承外圈故障加权平均系数

之后利用 MSB 处理 EEMD 滤波信号,实现调制分量的分解处理并获得良好的噪声抑制效果,由此完成故障特征频率的提取。为了对 EEMD-MSB 方法进行可靠性评价,根据特征频率强度系数(CFIC)对 FK 与 EEMD-MSB 进行性能评估。随着 CFIC 值的提高,可以判断降噪过程获得了更优滤波效果。采用 FK 与 EEMD-MSB 进行处理得到的 CFIC 值分别是 0.72%、7.53%。其中,采用 EEMD-MSB 方法计算得到的 CFIC 值比 FK 方法更高,经对比可知,EEMD-MSB 方法相对 FK 方法可以更高效地确定故障特征。

3.2 轴承内圈的分析结果

图 8 是对轴承内圈故障进行测试得到的时域波形与频谱。此时检测信号内形成了强度很高的背景噪声与干扰信号,因此难以对轴承内圈故障进行准确识别。

先选择 EEMD 方法分解轴承外圈故障信号,共得到 15 个 IMF,图 9 给出了轴承内圈故障计算得到的加权均值系数。以采用 FK 与 EEMD-MSB 方法获得的 CFIC 值分别为 4.23%、26.61%。经对比可知,EEMD-MSB 方法相对 FK 的处理性能更优。

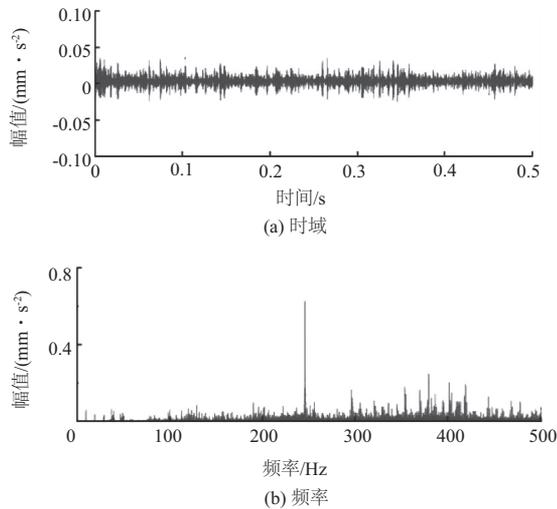


图 8 轴承内圈时域和频谱故障信号

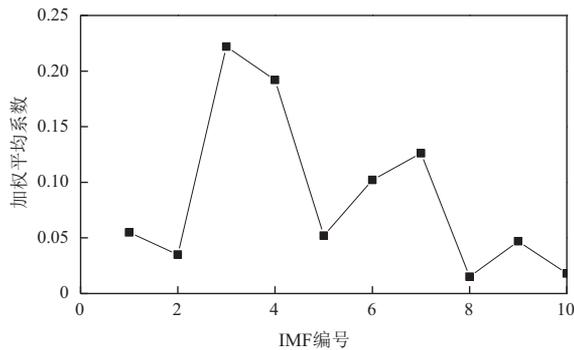


图 9 基于 TEK 的加权平均系数

4 结语

本文开展基于 EEMD-MSB 方法的采煤机轴承故障诊断研究,取得如下效果。

1) 轴承外圈和内圈结果分析表明,检测信号内形成了强度很高的背景噪声与干扰信号,利用 MSB 处理 EEMD 滤波信号,实现调制分量的分解处理并获得良好的噪声抑制效果。

2) 对比表明,EEMD-MSB 方法得到结果具有更高的 CFIC 值,相对 FK 的处理性能更优。

参考文献:

- [1] 徐卫鹏,徐冰. 基于卷积神经网络的轴承故障诊断研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2021,40(6):121-128.
- [2] 王行刚. 基于改进 EEMD 和 HMM 的采煤机摇臂轴承故障诊断[J]. 工矿自动化,2016,42(9):48-51.
- [3] 路小娟,石成基. 一种基于概率盒—HGWO 优化 SVM 的滚动轴承故障诊断方法[J]. 振动与冲击,2021,40(22):234-241.
- [4] 刘颖,陶建峰,黄武涛,等. 小波包能量与 CNN 相结合的滚动轴承故障诊断方法[J]. 机械设计与制造,2021(11):127-131.
- [5] 石怀涛,尚亚俊,白晓天,等. 基于贝叶斯优化的 SWDAE-LSTM 滚动轴承早期故障预测方法研究[J]. 振动与冲击,2021,40(18):286-297.
- [6] 雷兵,张龙,吴荣真,等. 滚动轴承故障时序可拓智能诊断方法[J]. 机械设计与研究,2021,37(5):88-93,105.
- [7] TIAN X G, GU J X, REHAB I, et al. A robust detector for rolling element bearing condition monitoring based on the modulation signal bispectrum and its performance evaluation against the Kurtogram [J]. Mechanical Systems and Signal Processing,2018,100:167-187.
- [8] 李加伟,张永祥,赵磊. 基于频谱编辑和调制信号双谱的齿轮裂纹故障诊断[J]. 中国测试,2021,47(2):98-105.
- [9] 冯坤,颜康,胡明辉,等. 基于调制增强切片 MSB 的滚动轴承故障特征提取方法[J]. 振动与冲击,2021,40(13):182-192.
- [10] 郭俊超,甄冬,孟召宗,等. 基于 WAEEMD 和 MSB 的滚动轴承故障特征提取[J]. 中国机械工程,2021,32(15):1793-1800.
- [11] 陈峙,王铁,谷丰收,等. 基于电动机电流信号双谱分析的齿轮传动故障诊断[J]. 机械工程学报,2012,48(21):84-90.
- [12] 王星河,王红军. 一种 WACEEMDAN 和 MSB 的轴承故障诊断方法[J]. 电子测量与仪器学报,2021,35(11):91-99.

收稿日期:2023-05-09