

DOI:10.19951/j.cnki.1672-9331.20211214012

文章编号:1672-9331(2023)01-0104-08

引用格式:王向红,谢红,赵淑慧.基于快速 Kurtogram 算法的中间介质随机共振信号特性分析[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2023,20(1):104-111.

Citation: WANG Xianghong, XIE Hong, ZHAO Shuhui. Analysis of stochastic resonance signal characteristics of intermediate medium based on fast Kurtogram algorithm[J]. J Changsha Univ Sci Tech (Nat Sci), 2023, 20(1): 104-111.

基于快速 Kurtogram 算法的中间介质随机共振信号特性分析

王向红^{1,2}, 谢红¹, 赵淑慧¹

(1.长沙理工大学 汽车与机械工程学院,湖南 长沙 410114;2.长沙理工大学 机械装备高性能智能
制造关键技术湖南省重点实验室,湖南 长沙 410114)

摘要:【目的】探讨机械关键部位缺陷信号在经过界面结构时易受中间介质的影响而难以准确识别的问题。【方法】以界面结构间常见的水和机油作为中间介质,结合随机共振理论和 Kurtogram 算法对不同中间介质与信号传输特性之间的关系进行深入研究。【结果】当中间介质的面积增加时,信号的能量相对衰减率呈先减小后稳定的趋势,且与机油相比,通过水的信号的能量衰减速度更快。【结论】对通过不同介质的信号进行了随机共振和快速 Kurtogram 算法的处理,将处理结果与原始信号对比,发现该方法能有效提高信号特征参数的可辨度;另外,能量相对衰减率能有效表征通过不同中间介质的信号在信号集中频率区域内的变化规律。

关键词: 界面结构;中间介质;随机共振;快速 Kurtogram 算法;能量相对衰减率

中图分类号: TB52

文献标志码: A

0 引言

机械的关键部位如齿轮、轴承等部件在使用过程中易出现故障。在采用无损检测技术监测机械部件故障时,信号的传播路径经过界面结构导致接收到的信号存在衰减及畸变,从而影响判断故障状态的准确性^[1-4]。因此,研究界面结构对信号传输特性的影响具有重要意义。

目前,国内外的学者们主要通过仿真或者试验对界面结构的传输特性进行研究,且主要集中在界面本身特征、界面接触方式等方面^[5]。此外,界面中普遍存在水、机油等中间介质,这些中间介质也会对信号的传输特性造成较大的影响。一方面,中间介质作为一种耦合剂有利于信号的传输;另一方面,不同中间介质对信号的影响不同。例

如,目前的研究主要是通过信号的差异来判断机油中含水量的多少的,但是,当界面中存在水、机油或水、机油混合物等介质时,通过这些不同介质所接收到的信号之间的差距较小。因此,需要研究一种信号微弱特征的提取方法。

在信号微弱特征提取技术中,国内外的学者们已经开展了很多研究,主要的研究手段就是通过对噪声的抑制来提高信噪比,以得到微弱信号。但是,当噪声频谱接近于信号频谱或者信噪比较低时,有用信号的提取效果并不理想。

随机共振理论^[6-7]通过调节噪声强度或系统参数的输入,使系统输出达到最大值,增强微弱信号的检测能力。如 LI 等^[8]通过随机共振方法,利用噪声放大微弱信号,并将其应用于轧机齿轮箱的故障诊断,为识别及提取旋转机械的故障特征提供了参考。CUI 等^[9]利用耦合多稳定随机共振

收稿日期:2021-12-14;修回日期:2022-03-11;接受日期:2022-03-22

基金项目:湖南省教育厅创新平台开放基金资助项目(19K009)

通信作者:王向红(1977—)(ORCID:0000-0002-7178-117X),女,副教授,主要从事无损检测及信号处理方面的研究。

E-mail: wangxianghong@csust.edu.cn

投稿网址: <http://csjgxbzk.csust.edu.cn/cslgdxxbzk/home>

在强噪声下检测出电机轴承的微弱信号,获得更高的输出信噪比,这更有利于提取微弱信号特征,实现故障检测。ZHANG 等^[10]用分段非对称指数势欠阻尼双稳定随机共振系统提取强噪声中轴承的故障信号,结果表明该系统有效增强了轴承的故障信号,且检测效果良好。

本研究基于随机共振理论,旨在对界面中间介质(水或机油)的信号传输特性进行深入研究。首先,借助有限元仿真软件完成界面中间介质模型的建立与仿真,模拟中间介质对弹性波信号的传递过程,分析界面间水或机油的体积大小对信号传输的影响。然后,为了剖析和确定中间介质的敏感特征参数,通过随机共振手段对传输信号进行强化处理;基于 Kurtogram 算法对强化后的输出信号进行快速分解,形成互不干涉的独立信号频带,并获得信号能集中的频域信息;利用最强信号能频率范围内的相对衰减率这一特征参数评估中间介质的衰减情况。最后,通过试验验证仿真结果的有效性。

1 基础理论

由于通过介质的信号相对比较微弱,且通过不同介质的信号之间的差距不明显,所以本研究结合随机共振理论和快速 Kurtogram 算法对信号的微弱特征进行提取。首先,利用随机共振理论将噪声转换为需要的有用信号能量,然后由快速 Kurtogram 算法将信号能量集中的频带进行分离。

1.1 随机共振理论

在信号分析过程中,非线性系统噪声特性的调制可以强化系统输出响应,例如,通过调节系统输入的噪声强度或者其他系统相关参数可以使得调制噪声、输出信号和系统产生协同效应,增强系统的输出响应,此现象被称为随机共振。将非线性系统中的噪声能量调制成对信号有增强作用的能量,使得微弱的输入信号得以增强后再被输出。因此,在实际应用中,在非线性系统内将噪声调制到合适的强度可以有效增强信号的检测能力。又因为双稳态随机共振体系在信号增强和信号检测方面更具优势,所以本研究采用双稳态随机共振体系进行探究。

双稳态随机共振模型可表示为:

$$\begin{cases} \dot{x} = \frac{dx}{dt} = -\frac{dU(x)}{dx} + S(t) + \Gamma(t) \\ S(t) = A \sin(2\pi f_0 t) \\ U(x) = -\frac{1}{2}ax^2 + \frac{1}{4}bx^4 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $S(t)$ 为输入的周期信号; A 为幅值; f_0 为信号频率; x 为经过随机共振处理后的信号; $U(x)$ 为势函数; a, b 为双稳态系统参数,且 $a>0, b>0$; $\Gamma(t)$ 为白噪声。

$\Gamma(t)$ 满足的统计平均关系和自相关函数为:

$$\begin{cases} \Gamma(t) \geq 0 \\ \Gamma(t)\Gamma(t+\tau) \geq 2D\delta(\tau) \\ \Gamma(t) = \sqrt{2Dg(t)} \end{cases} \quad (2)$$

式中: D 为噪声强度; τ 为延迟时间; $\delta(t)$ 为冲击函数; $g(t)$ 是均值为0、方差为1的白噪声。

由式(1)~(2)可以得到输入信号 $S(t)$ 经过随机共振之后的输出信号 x 。但随机共振只能增强信号,不能把频率集中的地方体现出来,所以仍需要利用快速 Kurtogram 算法进行进一步的计算。

1.2 快速 Kurtogram 算法

快速 Kurtogram 算法主要由截止频率为 $1/8$ 的低通滤波器 $h_0(n)=h(n)e^{j\pi n/4}$ ($f \in [0, 1/4]$)和具有相同截止频率的高通滤波器 $h_1(n)=h(n)e^{3j\pi n/4}$ ($f \in [1/4, 1/2]$)构成,其中, $h(n)$ 是一个具有截止频率的原型滤波器^[11-12]; n 为数据点数; f 为频率。该算法通过调节这两个滤波器的频率和分辨率,获取信号在频域和时域上的局部特征。为了细化信号的频带特征,需对频带进行多层次分割,根据各个细分频带的谱峭度值计算出最强的信号频带,具体计算逻辑如图1所示,图中, $K_{k,i}$ 为 k 层的谱峭度。

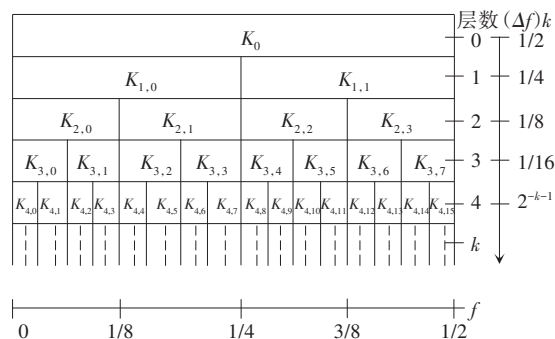


图1 快速 Kurtogram 算法频率、分辨率匹配图

Fig. 1 Matching graph of frequency and resolution of fast Kurtogram algorithm

谱峭度具备优异的稳定性,既可以准确定位固定频率下的峭度,又能分析出被噪声掩盖的初始信号,其确切值可根据频谱分析和峭度指标进行确定,具体计算公式为^[13]:

$$K(f) = \frac{\langle |H(t, f)|^4 \rangle}{\langle |H(t, f)|^2 \rangle^2} - 2, f \neq 0 \quad (3)$$

式中: $|\cdot|$ 和 $\langle \cdot \rangle$ 分别表示取模和数学期望(平均值); $H(t, f)$ 为信号 x 的短时傅里叶变换的时频复包络, $H(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x(\tau)\gamma(\tau - t)]e^{-2j\pi f\tau} d\tau$, 其中, $\gamma(\tau)$ 为时间宽度很小的时窗^[12-13]。

若 $c_{k,i}(n)$ 为信号 x 在中心频率 $f_i = (i + 2^{-1})2^{-k-1}$ 和频率分辨率 $(\Delta f)_k = 2^{-k-1}$ 时的时频复包络,用 $c_{k,i}(n)$ 代替式(3)中的 $H(t, f)$,可得出快速谱峭度图谱的计算公式^[13],即:

$$K_{k,i} = \frac{\langle |c_{k,i}(n)|^4 \rangle}{\langle |c_{k,i}(n)|^2 \rangle^2} - 2, i = 0, \dots, 2^k - 1 \quad (4)$$

1.3 特征提取流程

提取信号微弱特征的步骤如下:

1) 预设信号输入函数 $S(t)$ 、 D 值以及稳定状态下的系统参数,通过龙格-库塔算法对式(1)进行解析,得到输出信号 x 。

2) 将输出信号 x 代入式(4),获得快速 Kurtogram 算法图谱,分析并获取信号集中频率的频域。

3) 对步骤2)所获频域的特征数据进行能谱分析,利用能量相对衰减率公式对该数据进行计算,最终获得特定频段信号的能量相对衰减率。

2 有限元仿真

2.1 建立仿真模型

用 COMSOL Multiphysics 有限元仿真软件建立二维仿真模型,如图2所示。由两种不同金属组成上下两个工件,形成界面结构。工件材料选用工程中常用的铝材和 Q235 钢,即上层为铝材,下层为 Q235 钢,它们均为正交各向同性材料。将信号激励源加载在上层结构的中间部位,在下

层工件的中心位置设置一个能够实时接收到信号的接收点。为了探究界面结构中间介质对信号传输特性的影响,避免边界对信号传播造成反射、折射等干扰,在仿真过程中将边界设置为低反射边界。

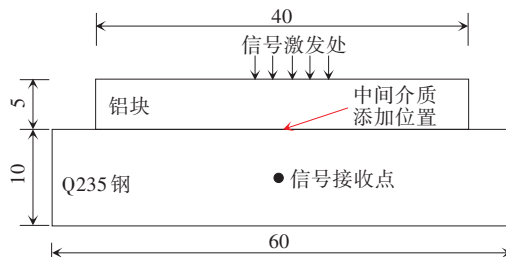


图2 二维仿真模型示意图(单位:mm)

Fig. 2 Schematic diagram of 2D simulation model(unit:mm)

仿真建模需设置材料的属性参数。其中,铝材的具体参数为:密度 $\rho=2\,700\text{ kg/m}^3$,弹性模量 $E=70\text{ GPa}$,泊松比 $\mu=0.33$,长度为 40 mm ,宽度为 5 mm ;钢材选用 Q235 钢,其属性参数为:密度 $\rho=7\,850\text{ kg/m}^3$,弹性模量 $E=205\text{ GPa}$,泊松比 $\mu=0.28$,长度为 60 mm ,宽度为 10 mm 。

选取水和机油作为仿真的中间介质。水的具体参数为:密度 $\rho=1\,000\text{ kg/m}^3$,弹性模量 $E=0\text{ GPa}$,泊松比 $\mu=0.50$;机油的具体参数为:密度 $\rho=870\text{ kg/m}^3$,弹性模量 $E=70\text{ GPa}$,泊松比 $\mu=0.15$ 。中间介质的面积 S 为 $0.1\sim 4.0\text{ mm}^2$,并以 0.1 mm^2 的间隔均匀变化。

在仿真模拟中,声发射源的模拟信号为正弦波 $A\sin(2\pi ft)$,振动时间 $t=20\text{ }\mu\text{s}$,即 10 个周期标准正弦波,幅值 $A=1\times 10^{-5}$,频率 $f=0.5\text{ MHz}$ 。

2.2 仿真结果

中间介质分别为水和机油时的接收波形如图3所示。由图3可以看出,信号波的幅值随着中间介质面积的增大而增大,但衰减幅度越来越小。选择信号的能量作为特征指标来衡量波在界面中间介质的衰减特性,以激励源信号作为参考,用能量相对衰减率 S_p 来描述接收信号能量的变化情况^[14],即:

$$S_p = 20 \lg \left(\frac{E_p}{E_0} \right) \quad (5)$$

式中: E_0 为源信号能量; E_p 为传感器采集的信号能

量或由快速Kurtogram算法处理后的特征频带信号能量。

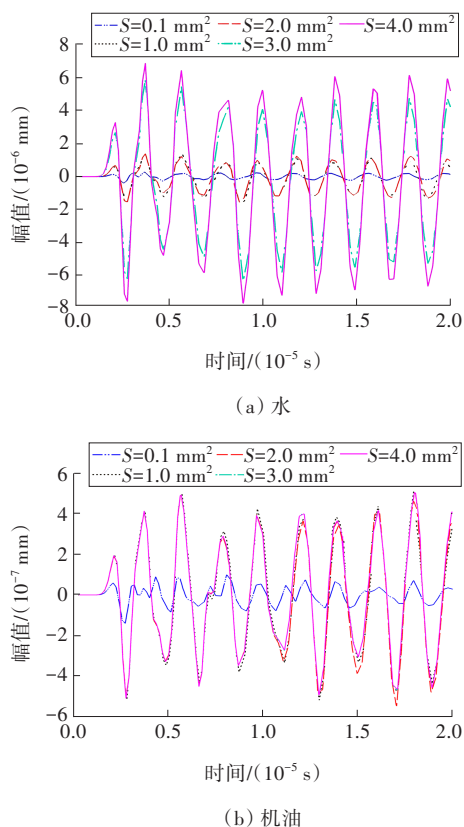


图3 不同中间介质下的接收波形
Fig. 3 Receiving waveforms under different intermediate media

针对通过介质的信号微弱且通过不同介质的信号之间差距不明显的问题,提出随机共振理论对通过介质的信号进行处理。首先,根据信号幅值及势函数的势阱、势垒高度,确定双稳态随机共振模型的参数值^[6-7],即 $a=1, b=1, D=0.0018$ 。然后,获得随机共振后的输出信号,并用层数 $k=7$ 的快速Kurtogram算法分解这些输出信号,结果如图4所示。信号集中频率区域的参数为:中心频率 $f_c=625\ 000\ \text{Hz}$,带宽 $B_w=250\ 000\ \text{Hz}$ 。

利用能谱对提取出来的最强信号进行分析,并根据式(5)对其能量衰减率进行数值计算,即可得到本研究提取的信号和初始信号在通过不同面积($0.1\sim 4.0\ \text{mm}^2$)的中间介质时的能量相对衰减率,如图5所示。从图5可以看出,在信号传输效果方面,通过水的信号的传输效果不如通过机油的信号的传输效果。

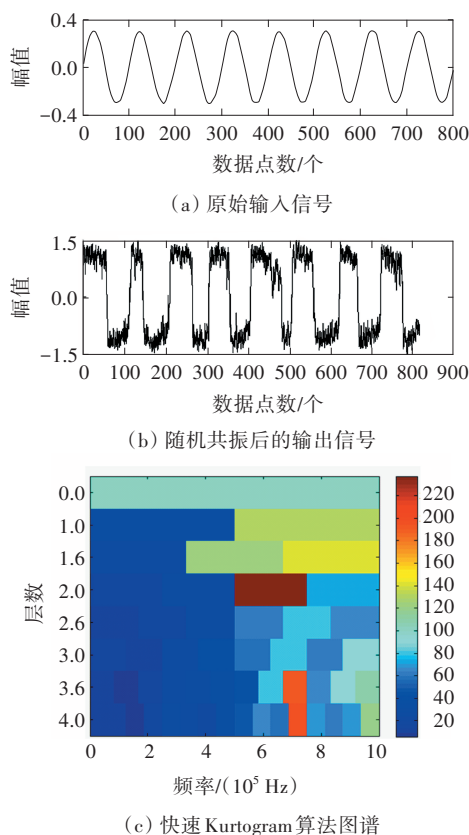


图4 仿真信号处理结果

Fig. 4 Processing results of simulation signal

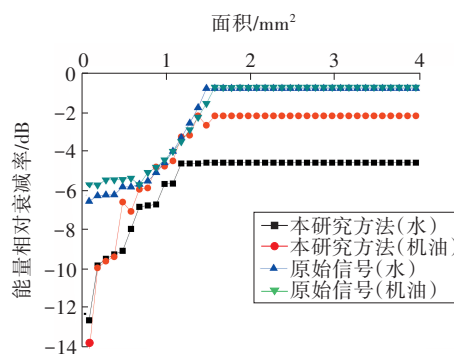


图5 仿真中信号能量相对衰减率随中间介质面积的变化曲线

Fig. 5 Changing curves of relative attenuation rate of signal energy with area of intermediate medium in simulation

3 试验过程

3.1 试验装置

本研究借助PCI-2声发射系统开展研究,该系统采集参数的设定见表1。声发射源信号由自动探头测试(auto sensor test, AST)模式自发激励模拟产生。通过叠加两块工件搭建界面结构,其中,

位于上方的工件材料为铝,其尺寸为 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ (长 \times 宽 \times 高),在其上方放置激励传感器,由AST模式激励产生源信号;下方工件的材料为Q235钢,其尺寸为 $60\text{ mm} \times 60\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ (长 \times 宽 \times 高),在其下方安置接收传感器,接收经过界面结构的信号。传感器连接前置放大器,再连接至数据采集系统,如图6所示。

表1 声发射设备的参数值

Table 1 Parameters of acoustic emission equipment

前置放大器 增益/dB	传感器 型号	采样频率/ MHz	采样点数	系统阈值/ dB
40	R15-a	2	8 192	33

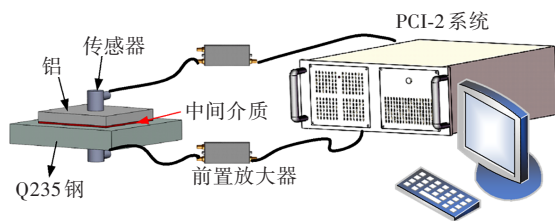


图6 试验装置示意图

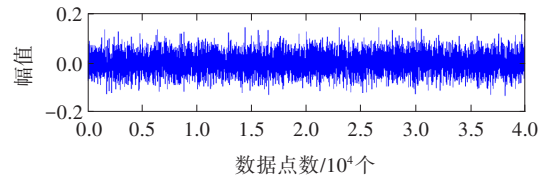
Fig. 6 Schematic diagram of experimental device

为避免界面间隙和杂质等对传播过程中的声发射信号造成影响,在进行试验前要对试件进行抛光、打磨,减小试验误差。在界面添加中间介质时,由于无法确保中间介质准确的覆盖面积,故取中间介质的体积为0.02、0.04、0.06、0.08、0.10和0.12 mL。

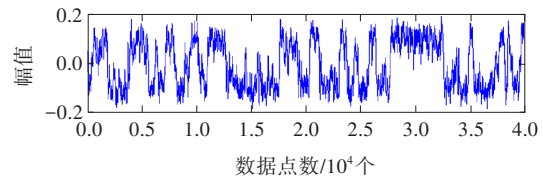
3.2 试验结果分析

采用随机共振对试验数据进行处理。其中,参数的设置与仿真模拟时参数的设置相同,得到的信号波如图7(a)所示。从图7(a)可以看出,与原始信号相比,信号经过随机共振之后,输出波形的幅值明显变大,波形能量的增加使波形更加清晰。利用Kurtogram算法对随机共振得到的信号进行快速计算(层数 $k=7$),得到快速Kurtogram算法图谱,如图7(b)所示。信号集中频率区域的参数为:中心频率 $f_c=625\ 000\text{ Hz}$,带宽 $B_w=83\ 333.33\text{ Hz}$ 。图8所示为经过中间介质的原始信号与用本研究方法提取的特征信号的能量相对衰减率的变化曲线。从图8可以看出,在信号传输效果方面,

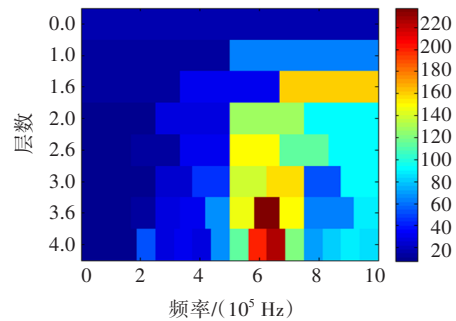
通过水的信号的传输效果要比通过机油的信号传输效果差。



(a) 原始输入信号



(b) 随机共振后的输出信号



(c) 快速Kurtogram算法图谱

图7 试验信号处理结果

Fig. 7 Processing result of experimental signal

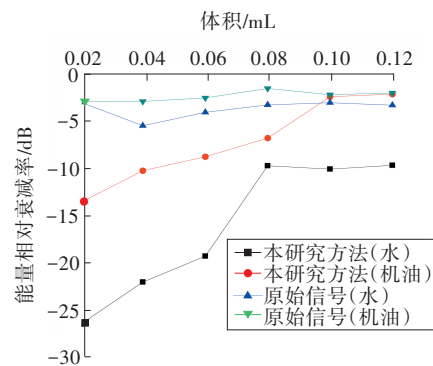


图8 试验中信号能量相对衰减率随中间介质体积的变化曲线

Fig. 8 Changing curves of relative attenuation rate of signal energy with volume of intermediate medium in experiment

4 讨论

从图5的仿真模拟结果可知,当中间介质——水和机油的面积为 $0.1\sim 1.5\text{ mm}^2$ 时,信号的能量相

对衰减率先减小,而后在面积为 $1.6\sim 4.0\text{ mm}^2$ 时趋于稳定。通过水和机油的原始信号的能量相对衰减率稳定后的数值分别为 0.67 和 0.60 dB ,差值为 0.07 dB 。采用随机共振和快速 Kurtogram 算法对信号进行处理,通过水和机油的信号的能量相对衰减率分别为 4.40 和 2.05 dB ,差值为 2.35 dB 。分析图8的试验结果可知,当介质的体积为 $0.02\sim 0.10\text{ mL}$ 时,能量相对衰减率有所减小,并在介质的体积为 $0.10\sim 0.12\text{ mL}$ 时趋于稳定。此时,通过水和机油的原始信号的能量相对衰减率分别为 3.34 和 2.05 dB ,差值为 1.29 dB 。用本研究提出的方法处理后,通过水和机油的信号的能量相对衰减率分别为 9.65 和 2.18 dB ,差值为 7.47 dB 。

对比仿真模拟和试验中通过水的信号的能量相对衰减率可知,通过机油的信号的能量相对衰减率较低,说明信号在机油中的传输效果更好。经过随机共振和快速 Kurtogram 算法处理后,通过水和机油的信号的能量相对衰减率的差值有所增大,这就进一步说明信号在机油中的传输效果更好。因此,随机共振和快速 Kurtogram 算法能更好地展示信号通过不同介质时的波动情况,且对信号的波动有强化作用,这更有助于判断介质对信号传输效果的影响。

此外,本研究进行了单一介质(水或机油)情况下的仿真与试验,但机械设备的关键部位,如齿轮箱中,大部分介质都是水和机油的混合物。所以今后可研究水和机油的混合比例对信号传输特性的影响,为检测机械设备关键部位的水、机油污染提供理论依据。

5 结论

本研究利用仿真与试验相结合的方法,通过能量相对衰减率研究了界面结构中间介质的类型和体积与声发射信号之间的映射关系,得出以下结论:

1) 提出的随机共振和快速 Kurtogram 算法可实现信号微弱特征的有效提取。提取得到的信号的能量衰减变化规律能很好地反映中间介质的差异,从而容易判断介质对信号稳定性影响的大小。

2) 定性地分析了中间介质类型及体积对信号传输特性的影响规律。随着中间介质体积的增大,信号的能量相对衰减率逐步降低,当水和机油的体积超过 0.10 mL 时,能量相对衰减率逐步趋于稳定。此外,通过机油的信号传输效果比通过水的信号的传输效果好。

3) 试验结果与仿真结果一致。

〔参考文献〕

- [1] 王向红,马义淮,刘文杰,等.基于NOFRFs的机械设备关键部件疲劳裂纹识别[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2019,16(3):63-69. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9331.2019.03.009.
WANG Xianghong, MA Yihuai, LIU Wenjie, et al. Fatigue crack identification of key parts of mechanical equipment based on NOFRFs[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science), 2019, 16(3): 63-69. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9331.2019.03.009.
- [2] 刘丰,李欣欣,黄河,等.基于ITD与改进MCKD的滚动轴承故障诊断方法[J].广西大学学报(自然科学版),2021,46(1):107-115. DOI: 10.13624/j.cnki.issn.1001-7445.2021.0107.
LIU Feng, LI Xinxin, HUANG He, et al. Fault diagnosis method of rolling bearing based on ITD and improved MCKD[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2021, 46(1): 107-115. DOI: 10.13624/j.cnki.issn.1001-7445.2021.0107.
- [3] 郭力,郭君涛,李波.工程陶瓷磨削声发射和磨削温度磨削力联合监测的研究[J].机械科学与技术,2021,40(2):243-248. DOI: 10.13433/j.cnki.1003-8728.20200035.
GUO Li, GUO Juntao, LI Bo. Study on joint monitoring of grinding temperature and force in grinding of engineering ceramics via acoustic emission[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2021, 40(2): 243-248. DOI: 10.13433/j.cnki.1003-8728.20200035.
- [4] 蒋田勇,吴海军,黄天皓.钢混组合结构PBL剪力键滑移损伤监测试验研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2020,17(4):23-31. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9331.2020.04.004.
JIANG Tianyong, WU Haijun, HUANG Tianhao. Experimental study on slip damage monitoring of PBL shear key in steel-concrete composite structures[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science), 2020, 17(4): 23-31. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9331.2020.04.004.

- [5] 毛汉颖,曾毅,黄振峰,等.几种典型接合界面对声发射信号衰减的影响[J].无损检测,2014,36(1):41-44,48. MAO Hanying, ZENG Yi, HUANG Zhenfeng, et al. Experimental study of the transmission characteristic of acoustic emission signal through several typical interfaces[J]. Nondestructive Testing, 2014, 36(1): 41-44,48.
- [6] 杨定新,胡芑庆.随机共振在微弱信号检测中的数值仿真[J].国防科技大学学报,2003,25(6):91-94.DOI:10.3969/j.issn.1001-2486.2003.06.021. YANG Dingxin, HU Niaoqing. Numerical simulation of stochastic resonance in bistable system for detecting weak signal[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2003, 25(6): 91-94. DOI: 10.3969/j. issn. 1001-2486.2003.06.021.
- [7] 宋洋洋,程为彬,康思民,等.随机共振的两种仿真方法研究[J].电气应用,2015,34(24):133-136. SONG Yangyang, CHENG Weibin, KANG Simin, et al. Research on two simulation methods of stochastic resonance[J]. Electrotechnical Application, 2015, 34(24): 133-136.
- [8] LI J M, CHEN X F, HE Z J. Multi-stable stochastic resonance and its application research on mechanical fault diagnosis[J]. Journal of Sound & Vibration, 2013, 332(22):5999-6015.DOI:10.1016/j.jsv.2013.06.017.
- [9] CUI H J, GUAN Y, CHEN H Y, et al. A novel advancing signal processing method based on coupled multi-stable stochastic resonance for fault detection[J]. Applied Sciences, 2021, 11(12): 5385. DOI: 10.3390/APP11125385.
- [10] ZHANG G, TAN C L, HE L F. Piecewise asymmetric exponential potential under-damped bi-stable stochastic resonance and its application in bearing fault diagnosis [J]. Modern Physics Letters B, 2021, 35(17): 2150280. DOI: 10.1142/S0217984921502808.
- [11] 赵妍,李志民,李天云.一种基于谱峭度的异步电机故障诊断方法[J].电工技术学报,2014,29(5):189-196. DOI:10.3969/j.issn.1000-6753.2014.05.024. ZHAO Yan, LI Zhimin, LI Tianyun. A method for fault diagnosis of induction motors based on spectral kurtosis [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(5): 189-196. DOI: 10.3969/j. issn. 1000-6753.2014. 05.024.
- [12] 马新娜,杨绍普.典型快速谱峭图算法的研究及应用[J].振动与冲击,2016,35(15):109-114.DOI:10.13465/j.cnki.jvs.2016.15.018. MA Xinna, YANG Shaopu. Typical fast Kurtogram algorithm and its application[J]. Journal of Vibration & Shock, 2016, 35(15): 109-114. DOI: 10.13465/j. cnki. jvs. 2016.15.018.
- [13] 王宏超,陈进,董广明,等.基于快速 Kurtogram 算法的共振解调方法在滚动轴承故障特征提取中的应用[J].振动与冲击,2013,32(1):35-37,48. DOI:10.3969/j.issn.1000-3835.2013.01.008. WANG Hongchao, CHEN Jin, DONG Guangming, et al. Application of resonance demodulation in rolling bearing fault feature extraction based on fast computation of Kurtogram[J]. Journal of Vibration and Shock, 2013, 32(1): 35-37, 48. DOI: 10.3969/j. issn. 1000-3835.2013.01.008.
- [14] 王向红,向建军,胡宏伟,等.基于声发射信号衰减特性的材料成分分数检测[J].仪器仪表学报,2015,36(2):453-458. DOI:10.19650/j.cnki.cjsi.2015.02.026. WANG Xianghong, XIANG Jianjun, HU Hongwei, et al. Detection of material component fractions based on attenuation characteristics of acoustic emission signals [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(2): 453-458. DOI:10.19650/j.cnki.cjsi.2015.02.026.

Analysis of stochastic resonance signal characteristics of intermediate medium based on fast Kurtogram algorithm

WANG Xianghong^{1,2}, XIE Hong¹, ZHAO Shuhui¹

(1.School of Automotive and Mechanical Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2.Hunan Provincial Key Laboratory of Intelligent Manufacturing Technology for High-Performance Mechanical Equipment, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: [Purposes] The paper aims to solve the problem that the defect signal on the key parts of the machinery is difficult to identify accurately under negative effect by the intermediate medium through the interface structure. [Methods] Water and machine oil have always been considered between interface structures as intermediate medium. Here, the relationship between different intermediate media and signal transmission characteristics was deeply studied by combining stochastic resonance theory and Kurtogram algorithm. [Findings] When the area of intermediate medium increases, the relative attenuation rate of the signal energy first decreases and then becomes constant. However, compared with oil, the energy attenuation speed of the signal passing through water is faster. [Conclusions] The signals passing through different intermediate media have been processed by stochastic resonance and fast Kurtogram algorithm. Comparing with the original signals, it is found that the methods can effectively improve the identify ability of signal characteristic parameters. In addition, the relative attenuation rate of the signal energy can be used to characterize the changing law of signals passing through different intermediate media in the frequency domain of signal concentration.

Key words: interface structure; intermediate medium; stochastic resonance; fast Kurtogram algorithm; relative attenuation rate of energy

Manuscript received: 2021-12-14; **revised:** 2022-03-11; **accepted:** 2022-03-22

Foundation item: Project (19K009) supported by Innovation Platform Open Fund of Education Department of Hunan Province

Corresponding author: WANG Xianghong (1977—) (ORCID: 0000-0002-7178-117X), female, associate professor, research interest: nondestructive testing and signal processing. E-mail: wangxianghong@csust.edu.cn

(责任编辑:石月珍;校对:刘平;英文编辑:彭卓寅)