



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114060291 B

(45) 授权公告日 2024. 07. 30

(21) 申请号 202111257274.5

审查员 靳浩

(22) 申请日 2021.10.27

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114060291 A

(43) 申请公布日 2022.02.18

(73) 专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路301号

(72) 发明人 王凯 马齐江 刘厚林 胡建斌

谈明高 王勇 董亮

(51) Int. Cl.

F04D 15/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105545765 A, 2016.05.04

CN 107273565 A, 2017.10.20

权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法

(57) 摘要

本发明属于离心泵技术领域,涉及基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法。本发明的过程为:建立离心泵多源信号同步测量试验台;基于长短期记忆网络改进并行扩展卡尔曼滤波算法建立离心泵多源信号并行降噪处理算法;采用改进后卡尔曼滤波方法对同步采集的正常工况和联轴器不对中工况下离心泵多源信号和联轴器的X方向轴向位移进行降噪处理;采用快速傅里叶变换和Hanning窗对降噪后的多源信号进行频谱分析,得到多源信号的频域;分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵压力脉动、或振动、或流动噪声的频谱特性、1/3倍频程谱分布特性。



1. 基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法,其特征在于,包括:

建立离心泵多源信号同步测量试验台,其中压力脉动由高频动态压力传感器采集、振动信号由振动加速度传感器采集、流动噪声由水听器采集、联轴器的X方向轴向位移及Y方向的轴心轨迹由电涡流位移传感器采集;

基于长短期记忆网络改进并行扩展卡尔曼滤波算法建立离心泵多源信号并行降噪处理算法,其中采用迭代离差差分滤波算法和扩展卡尔曼滤波算法得到压力脉动信号、振动信号、或流动噪声信号的滤波器,采用随机梯度下降算法来实时调整长短期记忆网络的学习速率下降因子;其中,所述的基于长短期记忆网络改进并行扩展卡尔曼滤波算法建立离心泵多源信号并行降噪处理算法为:将每个并行滤波器的前一时刻离心泵测量信号的均值作为长短期记忆网络的输入,通过长短期记忆网络结构的处理得到当前时刻离心泵测量信号均值的预测值,并对预测值进行最小二乘法多项式拟合,得到预测误差的传递系数矩阵,从而对每个并行滤波器进行卡尔曼滤波;

采用压力脉动强度 C_p^* 分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵压力脉动特性;采用振动速度级VL分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵振动特性;采用声压级SPL分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵流动噪声特性;

分别同步采集正常工况和联轴器不对中工况下离心泵多源信号,同时测量联轴器的X方向轴向位移及Y方向的轴心轨迹,并采用改进后卡尔曼滤波方法对离心泵多源信号和联轴器的X方向轴向位移进行降噪处理;

采用快速傅里叶变换和Hanning窗对降噪后的多源信号进行频谱分析,得到多源信号的频域;

分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵压力脉动、振动、流动噪声的频谱特性、1/3倍频程谱分布特性。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述多源信号为:多测点压力脉动信号、或振动信号、或流动噪声信号;或压力脉动信号和振动信号组合;或压力脉动信号和流动噪声信号组合;或振动信号和流动噪声信号组合;或压力脉动信号、振动信号和流动噪声信号组合。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述的并行滤波器是通过残差来自动调节各个并行滤波器的权重,其初始权重为 $1/(n+1)$,后续每个并行滤波器的权重则通过滤波器解计算得到残差和从第k个并行滤波器获得的残差协方差进行自动更新,其中n为滤波器的个数。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述的长短期记忆网络的学习速率下降因子为0.01~0.2。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述的压力脉动强度 C_p^* 为: $C_p^* = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 / 0.5 \rho u_2^2}$,其中平均压力 $\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$, P_i 为监测点i的静压,N为压力脉动监测点个数, ρ 为工作介质密度, u_2 为叶轮出口圆周速度。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述的振动速度级VL为: $VL = 20 \log \frac{v}{v_0}$,其中,v为测点振动速度有效值; v_0 为基准振动速度水平。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述的声压级SPL为: $SPL = 10 \lg \frac{p^2}{p_{ref}^2}$,其中,p为测点有效声压值;p_{ref}为工作介质中参考声压。

基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及离心泵技术领域,特别涉及基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法。

背景技术

[0002] 离心泵的异常振动和噪声主要转子故障诱发,而转子不对中占到其中60%以上。转子不对中包括轴承不对中和轴系不对中。轴承不对中可根据轴承自身的结构特性自动消除,轴系不对中又称联轴器不对中,指的是相连两个轴的中线在实际运行过程中不重合,难以通过改变联轴器结构完全消除。离心泵联轴器不对中包括平行不对中、角不对中和综合不对中三种形式。在实际运行过程中,离心泵不可避免地存在联轴器不对中现象。

[0003] 在离心泵压力脉动、振动和噪声信号采集时易受到外界和管道系统等自激载荷的影响,导致采集到的信号既有平稳的白噪声,又有导致波形产生许多尖峰或突变的随机噪声,影响振动和噪声特征频率的分析。因此,需要对采集到的信号进行降噪处理,以提高信号的信噪比。

[0004] 然而现有的离心泵信号降噪方法均为单一信号的滤波降噪,尚未见基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法的报道。

发明内容

[0005] 针对现有技术中存在不足,本发明提供了基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法,旨在为处理叶轮机机械多源信号提供一定的借鉴,且可以并行降噪。

[0006] 本发明提供了基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法,包括:

[0007] 建立离心泵多源信号同步测量试验台,其中压力脉动由高频动态压力传感器采集、振动信号由振动加速度传感器采集、流动噪声由水听器采集、联轴器的X方向轴向位移及Y方向的轴心轨迹由电涡流位移传感器采集;

[0008] 基于长短期记忆网络改进并行扩展卡尔曼滤波算法建立离心泵多源信号并行降噪处理算法,即:将每个并行滤波器的前一时刻离心泵测量信号的均值作为长短期记忆网络的输入,通过长短期记忆网络结构的处理得到当前时刻离心泵测量信号均值的预测值,并对预测值进行最小二乘法多项式拟合,得到预测误差的传递系数矩阵,从而对每个并行滤波器进行卡尔曼滤波。其中采用迭代离差差分滤波算法和扩展卡尔曼滤波算法得到压力脉动信号、振动信号、或流动噪声信号的滤波器,采用随机梯度下降算法来实时调整长短期记忆网络的学习速率下降因子

[0009] 采用压力脉动强度 C_p^* 分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵压力脉动特性;或采用振动速度级VL分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵振动特性;或采用声压级SPL分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵流动噪声特性;

[0010] 分别同步采集正常工况和联轴器不对中工况下离心泵多源信号,同时测量联轴器的X方向轴向位移及Y方向的轴心轨迹,并采用改进后卡尔曼滤波方法对离心泵多源信号和

联轴器的X方向轴向位移进行降噪处理；

[0011] 采用快速傅里叶变换和Hanning窗对降噪后的多源信号进行频谱分析,得到多源信号的频域；

[0012] 分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵压力脉动、或振动、或流动噪声的频谱特性、1/3倍频程谱分布特性。

[0013] 可选的,所述的多源信号为:多测点压力脉动信号、或振动信号、或流动噪声信号;或压力脉动信号和振动信号组合;或压力脉动信号和流动噪声信号组合;或振动信号和流动噪声信号组合;或压力脉动信号、振动信号和流动噪声信号组合。

[0014] 可选的,所述的压力脉动强度 C_p^* 为: $C_p^* = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} / 0.5 \rho u_2^2$,其中平均压力 $\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$, P_i 为监测点i的静压,N为压力脉动监测点个数, ρ 为工作介质密度, u_2 为叶轮出口圆周速度。

[0015] 可选的,所述的振动速度级VL为: $VL = 20 \log \frac{v}{v_0}$,其中,v为测点振动速度有效值; v_0 为基准振动速度水平。

[0016] 可选的,所述的声压级SPL为: $SPL = 10 \lg \frac{p^2}{p_{ref}^2}$,其中,p为该测点有效声压值; p_{ref} 为工作介质中参考声压。

[0017] 可选的,所述的并行滤波器是通过残差来自动调节各个并行滤波器的权重,其初始权重为 $1/(n+1)$,后续每个并行滤波器的权重则通过滤波器解计算得到残差和从第k个并行滤波器获得的残差协方差进行自动更新,其中n为滤波器的个数。

[0018] 可选的,所述的长短期记忆网络的学习速率下降因子为0.01~0.2。

[0019] 本发明提供的基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法具有以下有益效果:基于长短期记忆网络改进并行扩展卡尔曼滤波算法,可以对离心泵多源信号进行降噪处理。

附图说明

[0020] 图1为本发明实施例提供的基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法的流程图；

[0021] 图2为本发明实施例提供的离心泵多源信号同步测量试验台的示意图；

[0022] 图3为本发明实施例提供的设计流量下离心泵正常工况和联轴器不对中工况的轴心轨迹图；

[0023] 图4为本发明实施例提供的降噪前后联轴器的X方向轴向位移对比；

[0024] 图5为本发明实施例提供的正常工况和联轴器不对中工况下离心泵振动的频谱特性；

[0025] 图6为本发明实施例提供的正常工况和联轴器不对中工况下离心泵振动的1/3倍频程谱分布特性。

具体实施方式

[0026] 下面将结合附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0027] 实施例:

[0028] 本发明实施例中,立式离心泵的主要设计参数为:设计流量为 $100\text{m}^3/\text{h}$,扬程为 80m 、转速为 $2950\text{r}/\text{min}$ 。

[0029] 下面介绍本发明基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法的具体实施例,图1是本发明实施例提供的基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法的流程示意图,本说明书提供了如实施例或流程图的方法操作步骤,但基于常规或者无创造性的劳动可以包括更多或者更少的操作步骤。实施例中列举的步骤顺序仅仅为众多步骤执行顺序中的一种方式,不代表唯一的执行顺序。在实际中的系统或服务器产品执行时,可以按照实施例或者附图所示的方法顺序执行或者并行执行(例如并行处理器或者多线程处理的环境)。具体的如图1所示,该方法包括:

[0030] S101:建立离心泵多源信号同步测量试验台,如图2所示,其中压力脉动由高频动态压力传感器采集、振动信号由振动加速度传感器采集、流动噪声由水听器采集、联轴器的X方向轴向位移及Y方向的轴心轨迹由电涡流位移传感器采集。

[0031] S102:基于长短期记忆网络改进并行扩展卡尔曼滤波算法建立离心泵多源信号并行降噪处理算法,即:将每个并行滤波器的前一时刻离心泵测量信号的均值作为长短期记忆网络的输入,通过长短期记忆网络结构的处理得到当前时刻离心泵测量信号均值的预测值,并对预测值进行最小二乘法多项式拟合,得到预测误差的传递系数矩阵,从而对每个并行滤波器进行卡尔曼滤波。

[0032] 可选的,所述的多源信号组合为:多测点压力脉动信号、或振动信号、或流动噪声信号;或压力脉动信号和振动信号组合;或压力脉动信号和流动噪声信号组合;或振动信号和流动噪声信号组合;或压力脉动信号、振动信号和流动噪声信号组合。

[0033] 可选的,所述的并行滤波器是通过残差来自动调节各个并行滤波器的权重,其初始权重为 $1/(n+1)$,后续每个并行滤波器的权重则通过滤波器解计算得到残差和从第k个并行滤波器获得的残差协方差进行自动更新,其中n为滤波器的个数。

[0034] 可选的,所述的长短期记忆网络的学习速率下降因子为 $0.01 \sim 0.2$ 。

[0035] 本发明实施例中,测量流量均为设计流量 $100\text{m}^3/\text{h}$;所述的多源信号为4个测点的振动信号,其中M1为基脚测点,M2为进口法兰测点,M3为出口法兰测点,M4为泵体测点;长短期记忆网络的学习速率下降因子为 0.05 。

[0036] S103:采用压力脉动强度 C_p^* 分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵压力脉动特性;或采用振动速度级VL分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵振动特性;或采用声压级SPL分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵流动噪声特性。

[0037] 可选的,所述的压力脉动强度 C_p^* 为:
$$C_p^* = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} / 0.5\rho u_2^2$$
,其中平均压

力 $\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$, P_i 为监测点 i 的静压, N 为压力脉动监测点个数, ρ 为工作介质密度, u_2 为叶轮出口圆周速度。

[0038] 可选的, 所述的振动速度级 VL 为: $VL = 20 \log \frac{v}{v_0}$, 其中, v 为测点振动速度有效值; v_0 为基准振动速度水平。

[0039] 可选的, 所述的声压级 SPL 为: $SPL = 10 \lg \frac{p^2}{p_{ref}^2}$, 其中, p 为该测点有效声压值; p_{ref} 为工作介质中参考声压。

[0040] 本发明实施例中, 采用振动速度级 VL 分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵振动特性; 工作介质为水; 基准振动速度水平 v_0 为 1×10^{-9} m/s。

[0041] S104: 分别同步采集正常工况和联轴器不对中工况下离心泵多源信号, 同时测量联轴器的 X 方向轴向位移及 Y 方向的轴心轨迹, 并采用改进后卡尔曼滤波方法对离心泵多源信号和联轴器的 X 方向轴向位移进行降噪处理;

[0042] 本发明实施例中, 联轴器不对中工况为联轴器平行不对中 1mm; 分别同步采集设计流量下离心泵正常工况和联轴器不对中工况的 4 个振动信号, 同时测量联轴器的 X 方向轴向位移及 Y 方向的轴心轨迹, 并采用改进后卡尔曼滤波方法对 4 个振动信号和联轴器的 X 方向轴向位移进行降噪处理。

[0043] 本发明实施例中, 离心泵联轴器的 Y 方向的轴心轨迹如图 3 所示; 正常工况和联轴器不对中工况下降噪前后降噪前后联轴器的 X 方向轴向位移如图 4 所示。

[0044] S105: 采用快速傅里叶变换和 Hanning 窗对降噪后的多源信号进行频谱分析, 得到多源信号的频域。

[0045] 本发明实施例中, 采用快速傅里叶变换和 Hanning 窗对降噪后的振动信号进行频谱分析, 得到正常工况和联轴器不对中工况下的频域信息。

[0046] S106: 分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵压力脉动、或振动、或流动噪声的频谱特性、1/3 倍频程谱分布特性。

[0047] 本发明实施例中, 分析正常工况和联轴器不对中工况下离心泵振动的频谱特性、1/3 倍频程谱分布特性, 分别如图 5、6 所示。

[0048] 综上, 本发明实施例提供的基于联轴器不对中工况的离心泵多源信号并行处理方法: 通过基于长短期记忆网络改进并行扩展卡尔曼滤波算法, 可以对离心泵多源信号进行降噪。

[0049] 以上所揭露的仅为本发明的一种实施例而已, 当然不能以此来限定本发明之权利范围, 因此依本发明权利要求所作的等同变化, 仍属本发明所涵盖的范围。

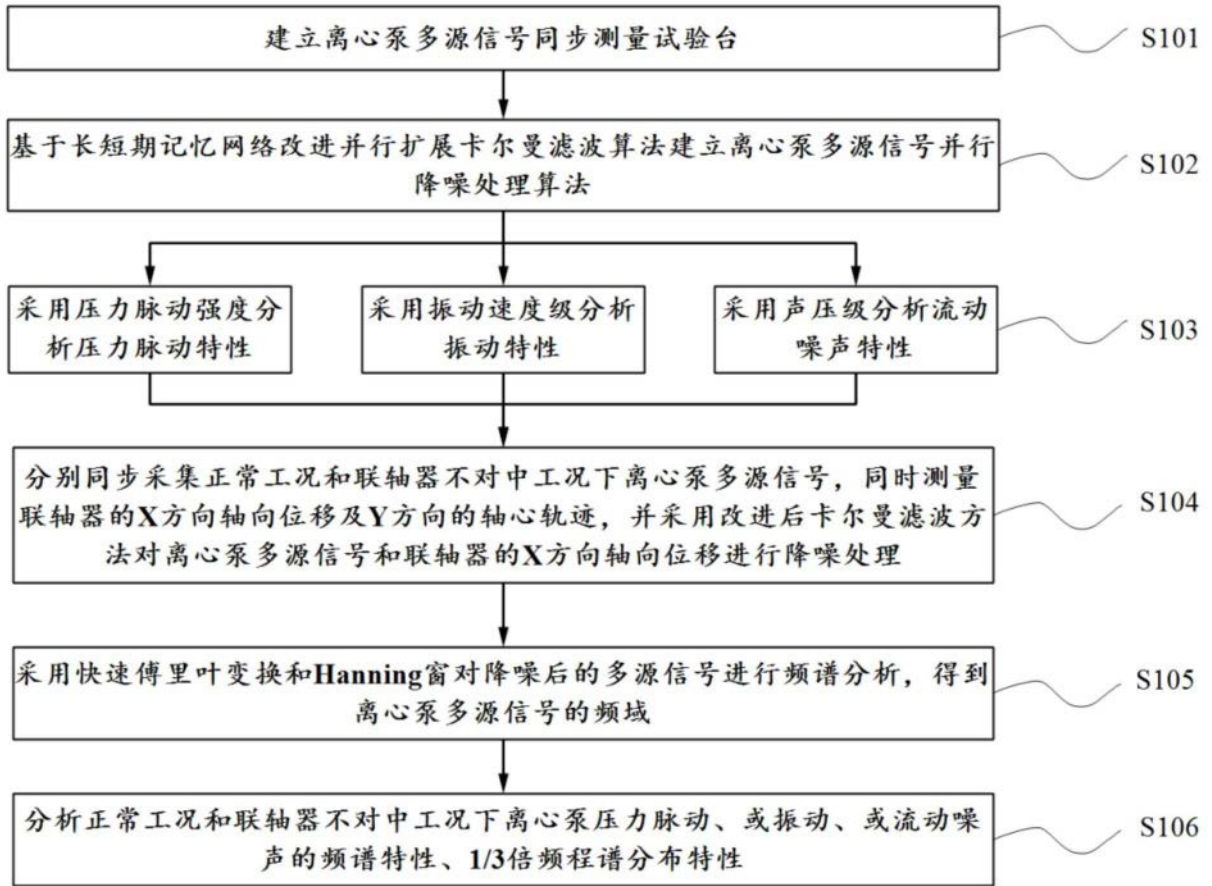


图1

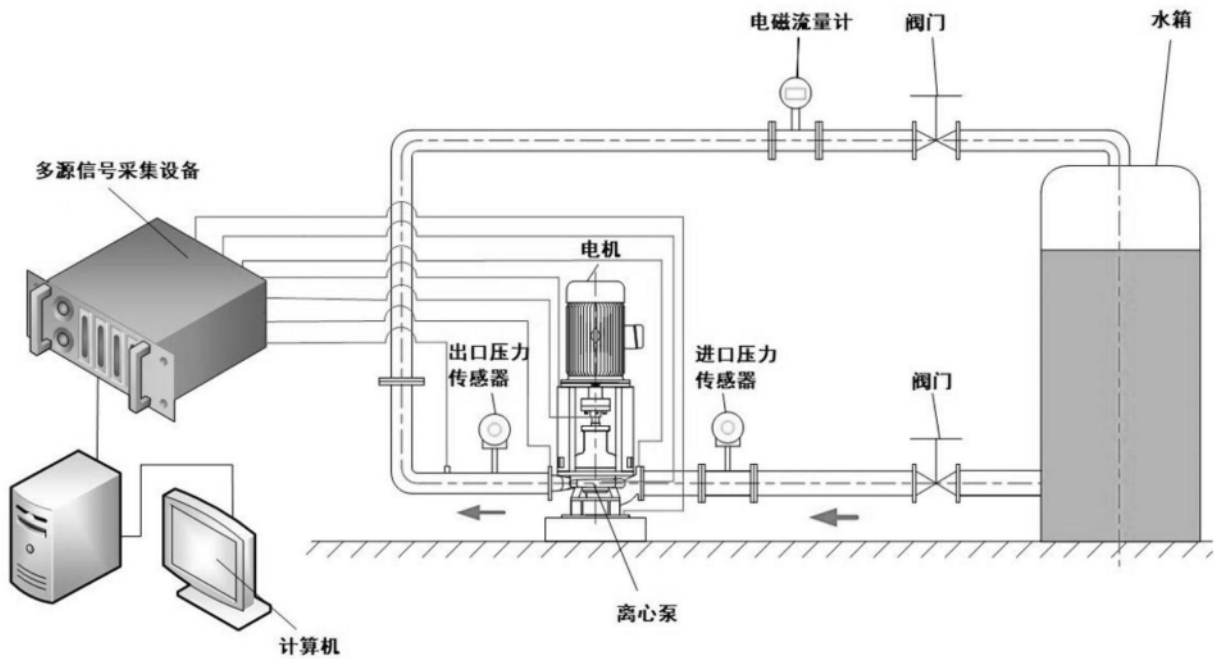


图2

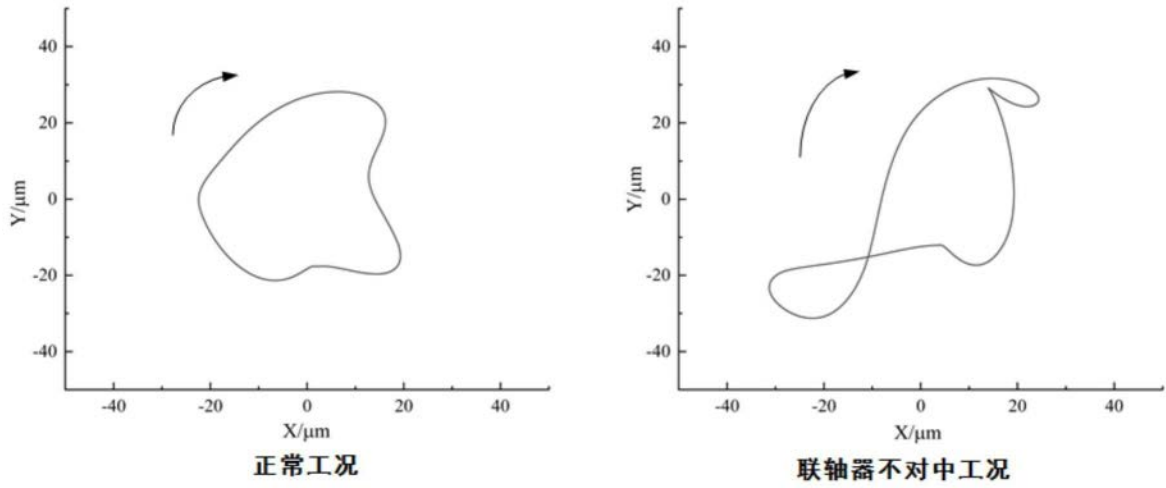


图3

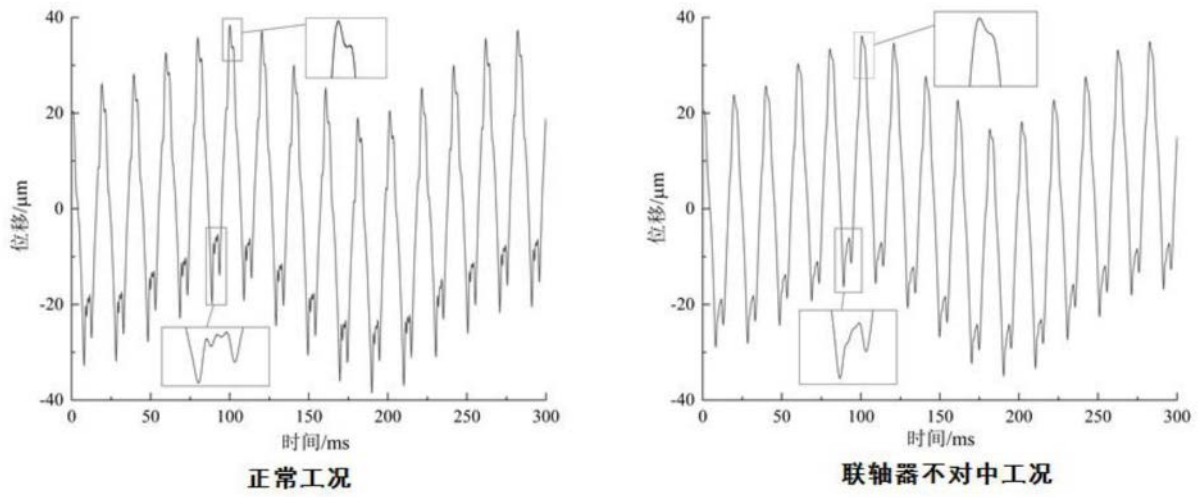


图4

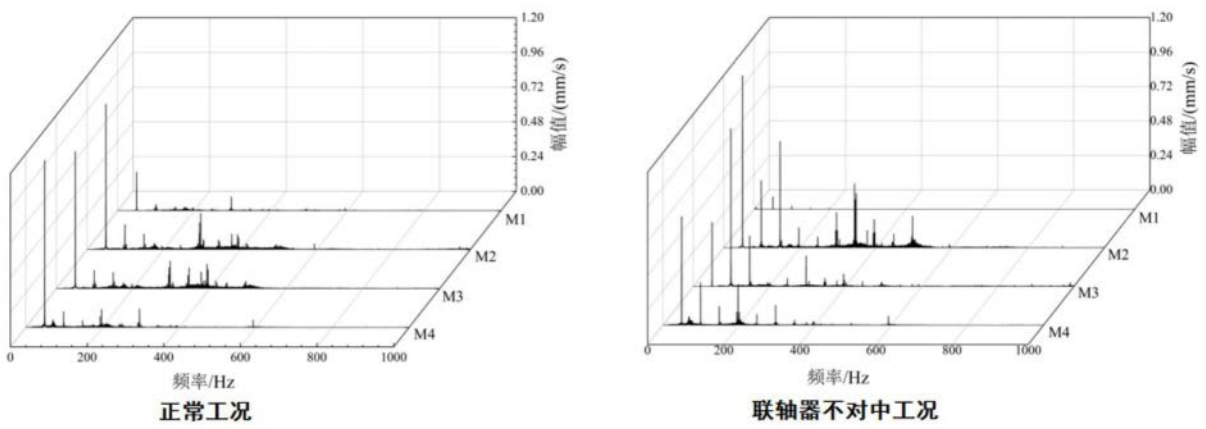


图5

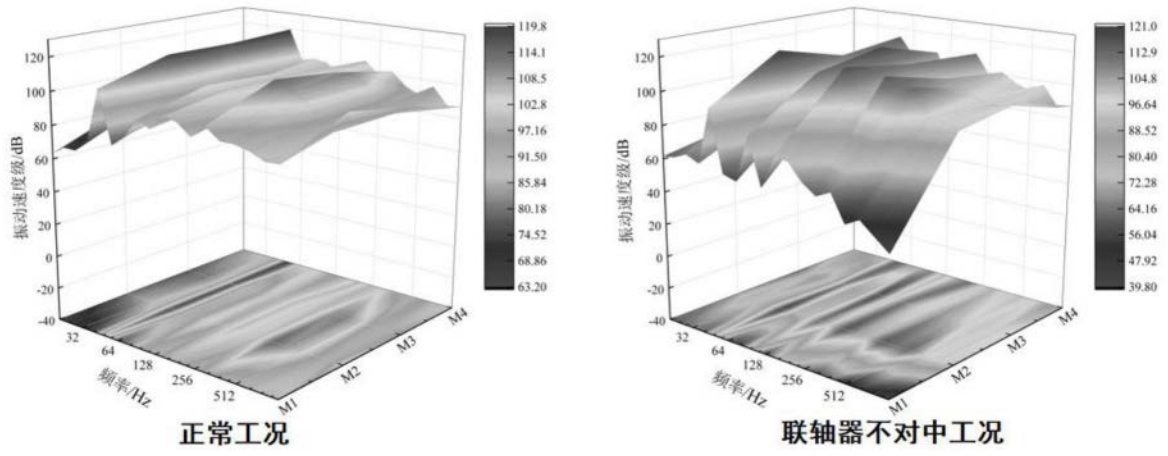


图6