

五滚柱式定向离合器故障诊断的小波包变换方法

胡斌梁¹, 罗一新¹, 谢明²

(1. 湖南科技大学, 湖南湘潭 411201; 2. 邵阳学院机械工程系, 湖南邵阳 422004)

[摘要] 论述了小波包分解及其能量谱处理五滚柱式定向离合器故障的原理与方法。应用小波包分解及其能量谱直观地识别出故障的特征频带, 并进行了量化分析。结果表明, 小波包及小波包分解能量谱比传统的傅立叶分析方法具有更大的优越性和实用价值。

[关键词] 故障诊断; 小波包; 能量谱; 离合器

[中图分类号] TH113 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)06-0066-03

1 前言

五滚柱式定向离合器广泛应用于机床、汽车、飞机及其他动力机械装置。其主要功能是传递扭矩, 完成被连接装置的起动, 保护原动机不受损坏; 其工况的好坏直接影响工作机的正常工作。有关资料表明, 滚柱式定向离合器的失效形式多为外环开裂。由于离合器结构特别, 对其故障的诊断一直没有理想的方法^[1]。笔者应用小波包变换方法对五滚柱式定向离合器的不解体故障诊断进行分析研究, 取得了满意的结果。

2 信号的小波包分解

小波包 (wavelet packet) 的概念是由 M. V. Wickerhauser 及 R. R. Coifman, Meyer, Quake 等人在小波变换的基础上提出来的, 并从数学上做了严密的推导^[2,3]。小波包分析方法是在多分辨率基础上形成的一种更精确的信号分解方法。它可以对信号在全部的频带范围内进行正交分解。从技术角度看, 小波包可以看成是函数空间逐渐正交剖分的扩展。

设 $\psi(t)$, $\varphi(t)$ 分别为小波函数与尺度函数,

$G(h), H(n)$ 为高通滤波器与低通滤波器系数:

$$G(h) = (-1)^n H(1-n), \text{ 令}$$

$$\begin{cases} \mu_0(t) = \varphi(t) \\ \mu_1(t) = \psi(t) \end{cases} \quad (1)$$

于是有

$$\begin{cases} \mu_0(t) = \sum_{i=1}^n H(n) \mu_0(2t-n) \\ \mu_1(t) = \sum_{i=1}^n G(h) \mu_1(2t-n) \end{cases} \quad (2)$$

由

$$\begin{cases} \mu_{2l}(t) = \sum_{i=1}^n H(n) \mu_1(2t-n) \\ \mu_{2l-1}(t) = \sum_{i=1}^n G(h) \mu_1(2t-n) \end{cases} \quad (3)$$

定义的函数 $\mu_n[n = 2l \text{ 或 } 2l + i (i = 0, 1, 2, \dots)]$ 称为关于正交尺度函数的小波包。

3 离合器外环故障信号分析与诊断

笔者以常见的五滚柱式定向离合器作为研究对象。离合器工作情况示意图如图 1 所示。

离合器运转时造成的振动原则上有两类: 一类是与离合器本身的弹性有关的振动, 无论离合器工

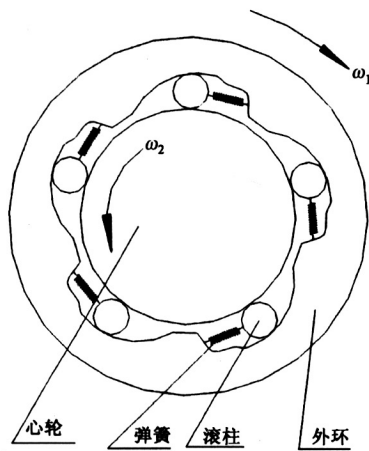


图 1 离合器工作情况示意图

Fig.1 Schematic diagram of working situation for clutch

况如何，始终存在；另一类是与离合器内部零件表面状况有关的振动，这是笔者分析的对象。当离合器的滚柱在破损的外环内表面（楔形槽）上滚动、外环在启动电机的电枢中转动时，将产生周期性的冲击力，激起离合器系统固有频率的响应，出现冲击频率对固有频率进行脉冲调制的调制信号。周期性的冲击振动信号的频率往往与离合器的尺寸、转速等有关。通常这种信号频率很低，且会受到各种随机干扰信号幅值的调制，很难直接分析出来。而小波包分解则可以把一个信号变为不同频段的信号，因此可以进行信噪分离。

3.1 小波包能量谱

在小波分析中，将按能量方式表示的小波包分解结果称为小波包-能量谱。

在小波包变换中，原始信号 $f(x)$ 在 $L^2(R)$ 上的二范数^[4]定义为

$$\|f\|_2^2 = \int_R |f(x)|^2 dx \quad (4)$$

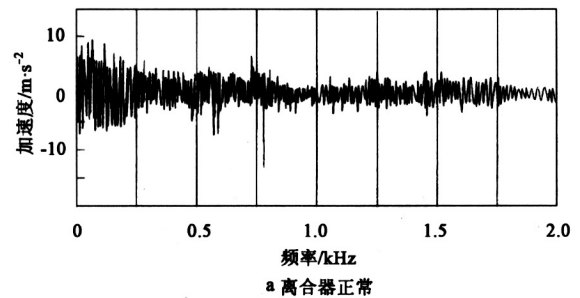
因此，在小波变换中，信号的二范数的二次方与原始信号在时域上的能量等价。这样，原始信号的能量分布就可以用小波包能量谱来表示。考虑到小波包分解后的各个频带宽度相同，可以将小波包分解的结果作为能量谱的输入，按比例关系把各个频带能量做成一系列的直方图，让各直方图高度之和为 1，各个直方图的高度就代表了各频带能量所占的总比例，故障诊断将非常直观简便^[5]。

3.2 实测结果分析

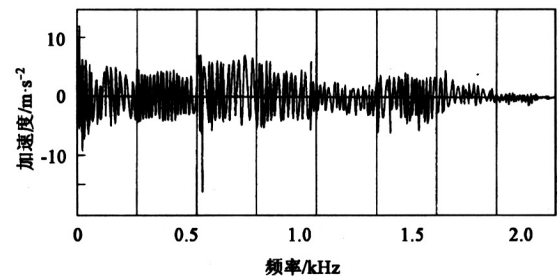
根据上述小波包理论，编制完成了小波包分

解、重构的软件程序，进行了信号采样分析。信号采样频率为 4 000 Hz。

3.2.1 时域波形分析 图 2 a 为离合器正常时的振动时域波形，图 2 b 为离合器外环开裂时的振动时域波形。从时域波形来看，二种波形相近，故障特征不明显，很难判断离合器正常与否。



a 离合器正常



b. 离合器故障

图 2 离合器振动时域波形

Fig.2 Vibration waveform in time domain for clutch

3.2.2 小波包分解及小波包能量谱分析 图 3 是离合器的小波包分解及小波包能量谱，是应用 $N = 20$ 的 Daubechies 小波函数进行 3 级小波包分解的结果^[6,7]。小波包分解采用二分法，在尺度 3 上形成 $2^3 = 8$ 个频带。每一层的分解将频带细化为 2 倍，同时每一频带内的时间波形样本点数相应减少一半。分解的第一层，整个频带分为两段，其频率分辨率较低，但频带内时间波形的样本点数较多，具有较高的时间分辨率。在以后的各层，每个频带相应被划分为 2 段，每个频带内的时间波形样本点数减半，使频率分辨率增高，时间分辨率相应降低。小波包分解的第三层，整个频带被划分为 8 段 (2^3)，由于该信号采样频率为 4 000 Hz，故分频率是 2 000 Hz，每个频带的宽度是 250 Hz^[8-10]。

图 3 中的数值为规一化后的有效数。将图 2 与图 3 相比，显然当离合器有故障时，在 500 Hz 和 1 000 Hz 频段能量增加非常显著。将反映离合器故

障的频段 500 Hz 进行小波包重构, 如图 4 所示。图 4 a 为离合器正常时的重构信号, 图 4 b 为离合器故障时的重构信号。由两图的数据计算分析可知, 有故障时振动加速度有效值比正常值明显高得多, 所产生的高频激励响应增加幅度较大, 较图 2 的原始信号时域波形特征明显突出许多^[11~13]。

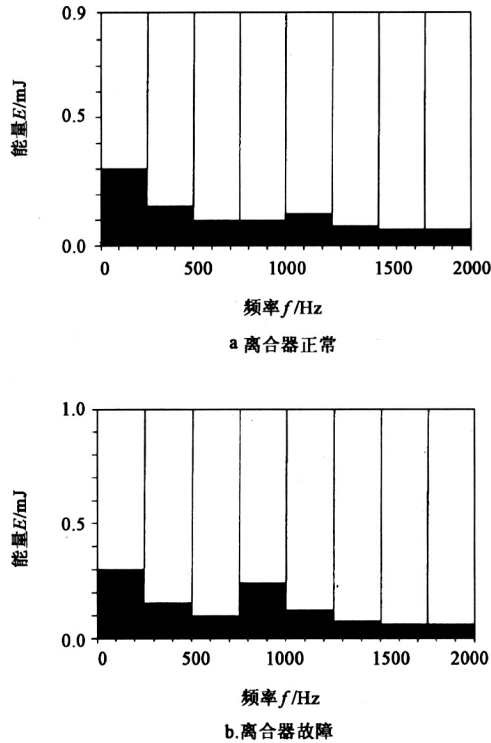


图 3 图 2 信号第三层小波包分解振动能量分布
Fig.3 Distribution of vibration energy based on the third layer wavelet packets of Fig.2

由于离合器工作时既随原动机 (一般为电动机) 运转, 又带动工作机 (汽车或机床等) 运转, 所以振动信号成分复杂, 用一般的信号处理手段很难对故障进行判断, 而利用小波包分解及小波包能量谱则可以很好地确定离合器的故障。

4 结论

1) 离合器出现故障 (外环开裂) 时的振动信号是不平稳信号, 用常规傅里叶分析方法很难判断, 而采用小波包变换与小波包能量谱分析则可以获得很好的分析效果。

2) 其他类似的机械装置都可以利用小波包及小波包能量谱提取某一特定的频率成分, 达到降噪或判断故障的目的。

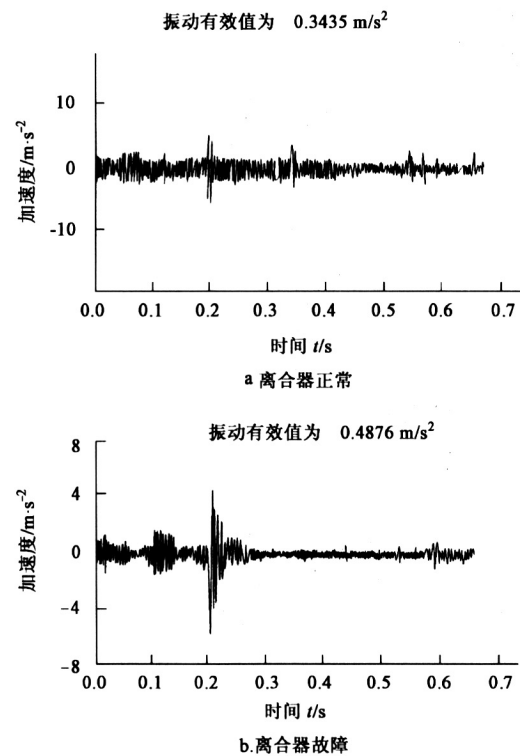


图 4 重构信号的振动时域波形

Fig.4 Vibration waveform in time domain on again structural signal

参考文献

- [1] 罗一新, 窦一兵. 四滚柱式超越离合器故障的小波变换诊断方法研究 [J]. 中国公路学报, 2002, 15 (2): 120~121
- [2] Vickerhauser V. INRIA lectures on wavelet packet algorithms [J]. ASCE, 1991, 13 (2): 63~65
- [3] Coifman R D, Mcyer R Y, Wicker M V. Wavelet Analysis and Signal Processing [M]. JDMA press, 1991
- [4] 周晓凯, 严曾强. 用小波分析铁路车辆滚动轴承诊断方法 [J]. 清华大学学报, 1996, 36 (8): 29~33
- [5] 李建平, 唐远炎. 小波分析方法的应用 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2001
- [6] Basu B, Gupta V K. Wavelet-based analysis foundation [J]. Journal of Sound and Vibration, 1999, 222 (4): 547~563
- [7] (美) 崔锦泰. 小波分析导论 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1997
- [8] 林京, 屈梁生. 基于连续小波变换的信号检测技术与论断 [J]. 机械工程学报, 2000, 36 (12): 95~99

(下转第 72 页)

用率,为深孔土岩爆破的反向起爆提出一种新的技术方案。同时爆破噪声小,也可用于城市控制爆破和其它高要求的起爆网路当中。

参考文献

- [1] 张杰. 孔底起爆技术的初步探讨[J]. 有色金属(矿山部分), 2004, 5(1)
- [2] 王永清. 孔底起爆技术国内试用现状及推广前景. 矿业工程, 2003, (5)
- [3] 徐振相. 我国工业起爆器材产品发展现状及发展趋势. 爆破器材, 2003, (5)
- [4] Lee R, Rodgers J. A new detonating cord for reducing unwanted damage in controlled blasting [A]. Proceedings of the Annual Conference on Explosive and Blasting Technique, Berkley: The Ensign Bickford Co. 2001. 167~173
- [5] 聂云端. 低能导爆索专用起爆具的研制. 爆破, 2003, 20(增刊)

The Study on the Detonation Transmission Rules and Application of the Super Low Energy Detonating Cord

Mei Qun, Shen Zhaowu, Zhou Tingqing

(Department of Modern Mechanics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

[Abstract] In this paper, the detonation transmission rules of the super low energy detonating cord was studied. Combining with engineering problems, a new priming net which can be used in the reverse priming in deep rock shot holes is proposed. It's reliable, efficient and safe.

[Key words] super low energy detonating cord; reverse priming; dynamite compression

(上接第 68 页)

- [9] 贺银芝, 沈松, 应怀樵, 等. 小波包分解及其能量谱在发动机连杆轴承故障诊断中的应用[J]. 振动工程学报, 2001, 14 (1): 72~75
- [10] 陈长征, 罗跃纲, 张省, 等. 基于小波分析的机械故障特征提取研究[J]. 机械强度, 2001, 23 (2): 161~164
- [11] 液压泵故障的小波变换诊断方法[J]. 机械工程学报, 2001, 37 (6): 34~37
- [12] 荆双喜, 冷军发. 小波包——神经网络在斜轴泵故障诊断中的应用研究[J]. 振动、测试与诊断, 2000, 20 (2): 97~100
- [13] 于德介, 程军圣. 基于小波变换时的时-能密度分析[J]. 振动工程学报, 2001, 14 (1): 109~112

Study on the Wavelet Packet Transform Method for Fault Diagnosis of Five Roller Orientation Clutch

Hu Binliang¹, Luo Yixin¹, Xie Ming²

(1. Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Shaoyang Institute, Shaoyang, Hunan 422004, China)

[Abstract] The theory and method of wavelet packet decomposition and its energy spectrum dealing with the fault of the overrunning clutch are presented in the paper. The characteristic frequency band of the fault can be identified by wavelet packet decomposition and its energy spectrum conveniently. At the same time, quantification analysis is performed. The result has shown that this method is more advantageous and of practical value than traditional Fourier analysis method.

[Key words] fault diagnosis; wavelet packet; energy spectrum; clutch