

基于 EMD 与 AR 谱的某型舰炮减速器故障诊断

刘志伟

(海军士官学校 兵器系,安徽 蚌埠 233012)

摘要:某型舰炮减速器的故障信号呈现出非线性、非平稳等特征。为了便于对该复杂信号进行分析,采用 EMD 方法,将故障信号分解为若干平稳信号,再利用 AR 模型的自回归特性建模以提取减速器的故障信息,从而可以判断故障原因。

关键词:EMD 方法;AR 模型;舰炮减速器;故障诊断

中图分类号:TP206

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2012)10-0036-02

某型舰炮的减速器主要起到减小马达的负载力矩,使操作灵活的作用。它可以将来自于液压马达的动力传递给凸轮箱、定位驱动装置和扬弹机,是火炮正常发挥效能必不可少的装置。因此对减速器进行故障诊断研究具有十分重要的意义。

本文采用 EMD 和 AR 模型结合的方法对某型舰炮减速器进行故障诊断研究。EMD 方法适合于分析非线性、非平稳信号序列,具有很高的信噪比^[1-2],该方法能从任意复杂信号的局部特征时间尺度入手,把复杂信号函数分解为有限个本征模态函数(intrinsic mode function, IMF)之和,各 IMF 分量包含了原信号的不同时间尺度真实物理信息的局部特征信号。AR 模型是一种全极点的时间序列分析方法,该模型的自回归参数对平稳信号状态变化的分析十分准确,能够有效地表达动态系统的客观规律。但是 AR 模型对非平稳信号的分析效果不理想,而减速器齿轮传动系统的故障信号表现为非平稳信号,所以不能直接对信号建立 AR 谱模型^[3-5]。本文将 EMD 方法和 AR 模型相结合应用到某型舰炮减速器信号的故障诊断中,首先对故障信号进行分解,得到若干个平稳分量,然后对包含故障信息的分量做 AR 谱分析,提取故障频率,实现故障诊断。通过本文对减速器故障诊断的分析研究验证了该方法的有效性。

1 诊断方法分析

1.1 EMD 分解

通过 EMD 方法把一个复杂的非平稳信号分解为有限个本征模态函数之和,其中任何一个本征模态函数(IMF)都必须满足条件:

1) 整个数据段内,极值点的个数和零交叉点的个数必须相等或相差最多不能超过 1 个;

2) 在任何时间点上,由局部极大值点形成的包络线和局部极小值点形成的包络线的平均值为零。

对任一复杂信号 $x(t)$ 进行 EMD 分解的步骤:

1) 找出复杂信号函数 $x(t)$ 所有的极大值点和极小值点,用三次样条插值函数拟合形成原数据的上下包络线;

2) 取上包络线和下包络线的均值记作 ml ,将原信号函数 $x(t)$ 减去该平均包络 ml ,得到一个新的信号函数 $h_i = x(t) - ml$;

3) 判断信号函数 h_i 是否还存在局部极大值和极小值,如果没有则说明该信号的第 1 个本征模态函数 $c_1 = h_i$;如果信号函数 h_i 还存在局部极大值和极小值,则转 1);

4) 用原信号函数 $x(t)$ 减去 c_1 ,得到一个新的信号函数 $x_1(t)$,转 1);

5) 按照以上方法可得到有限个本征模态函数 c_1, c_2, \dots, c_n ,还有一个趋势项 R_{en} ;

6) 有以上步骤可得到复杂非平稳信号 $x(t)$ 的分解结果

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + R_{en}$$

1.2 AR 自回归模型

对任何一个 IMF 分量 $c_i(t)$ 建立如下的自回归模型 AR(m)

$$c_i(t) + \sum_{k=1}^m \varphi_{ik} c_i(t-k) = e_i(t)$$

式中: $\varphi_{ik} (k=1, 2, \dots, m)$ 为分量 $c_i(t)$ 的自回归参数模型 AR(m) 的模型参数; m 为模型阶数; $e_i(t)$ 为模型的残差,是均值为零、方差为 σ_i^2 的白噪声序列。

由于自回归参数 $\varphi_{ik} (k=1, 2, \dots, m)$ 反映了振动系统的固有特性,模型的残差方差与振动系统的输出特性密切相关,因此,可以用 $\varphi_{ik} (k=1, 2, \dots, m)$ 和 σ_i^2 作为特征向量来判别减速器齿轮传动系统的故障源。

2 诊断方法应用

某型舰炮在射击时减速器振动剧烈,为了保证武器系统良好的性能,需要对减速器进行诊断,找出故障源。本文通过加速度传感器对减速器进行了振动信号测试,图1为减速器齿轮传动简图及加速度传感器的测点布置。

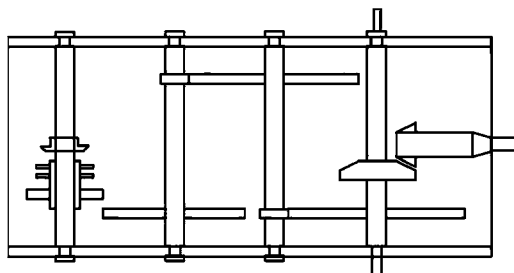


图1 传动简图及测点布置

某型舰炮减速器的输入液压马达的转速为 88 r/min,其中输入轴齿轮啮合频率为 43.43 Hz,转动频率为 3.57 Hz;中间轴齿轮啮合频率为 39.20 Hz,转动频率为 0.88 Hz;输出轴齿轮啮合频率为 51.37 Hz,转动频率为 0.24 Hz。本文以测点1测得的信号为例进行EMD分解和AR谱分析。

测点1测得的信号如图2所示。按照EMD分解的具体方法,可以将该信号分解为5个IMF分量。

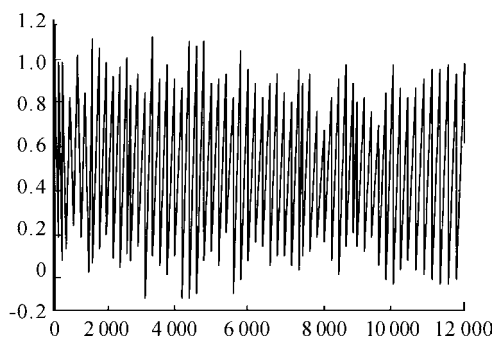


图2 测点1测得的信号

图3为减速器故障信号的经验模态分解结果,从上到下按照频率由高到低的顺序依次是本征模态函数 $C_1 \sim C_4$,最后一个为残余分量 Res 。信号经过经验模态分解后变成单一类正弦(或类余弦)的本征模态函数信号。从图中可以看出这几个IMF分量集中包含了原始信号中的最显著、最重要的信息,因此对这几个分量进行功率谱分析。

对本征模态函数中与故障频率关系比较大的 C_1 、 C_2 分量进行AR谱分析,结果如图4、图5所示。AR谱显示的是信号功率随频率变化的关系,这2幅图清晰地显示出信号振动频率的功率变化情况。

可以看出,各分量的中心频率逐渐降低。图4是信号经EMD分解后的 C_1 分量的AR谱图,其最高峰值处的频率值

为 56.5 Hz,与输入轴转频的 16 倍频相差 0.62 Hz,相当于输入轴转频的 17%;而 C_2 分量的AR谱图5中,最高峰值处的频率值 22 Hz,与输入轴转频的 6 倍频相差 0.58 Hz,相当于输入轴转频的 16%。以上误差均超出了允许的范围。通过对IMF分量的AR谱分析发现,该型舰炮减速器输入轴齿轮啮合产生的振动是减速机振动的主要振源,表明该齿轮齿面已产生严重磨损,从而导致齿轮间隙增大。

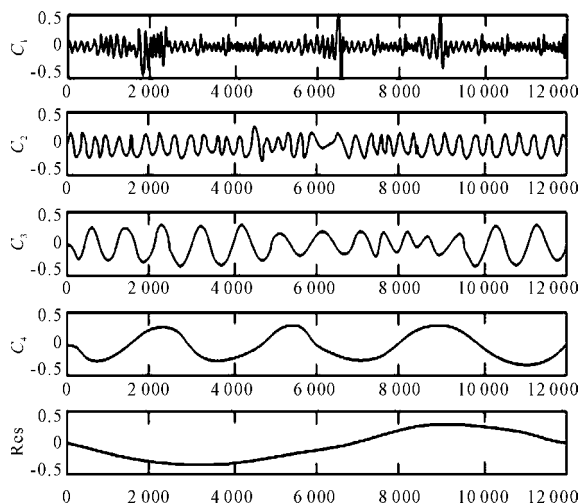


图3 减速器故障信号的经验模态分解结果

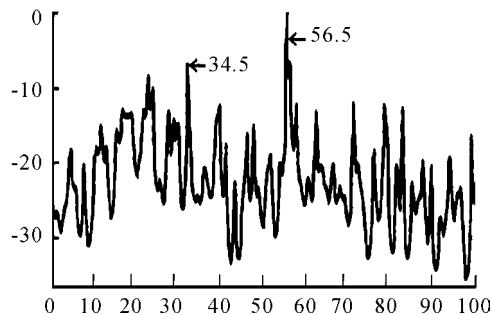


图4 C_1 的AR谱图

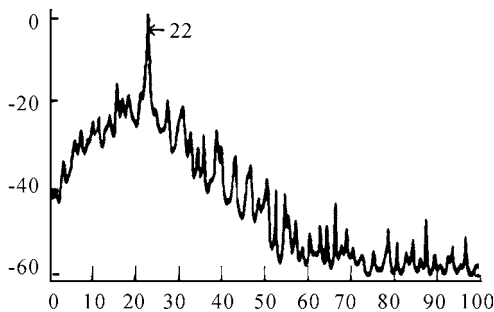


图5 C_2 的AR谱图

为了确保诊断的准确性,采用同样的方法对测点2、测点3测得的信号进行分析,得到的结论一致。实际拆开设备经检查后发现,确实是输入轴齿轮齿面磨损严重引起的故障。

(下转第44页)