

双谱切片的分形特性在减压阀故障诊断中的应用*

吴文兵^{①②} 黄宜坚^③

(①福州外语外贸学院计算机系 福建 福州 350018;

②厦门大学信息科技学院 福建 厦门 361000;

③华侨大学机电工程学院 福建 泉州 362021)

摘要: 减压阀是液压系统中的一种重要元件,也很容易发生故障,如何对减压阀发生的故障进行诊断,对于机械系统的维护有着重要意义。首先获取了减压阀振动时的正常信号和故障信号的 AR 双谱切片,再根据双谱切片所呈现出的自相似性,分别计算了每组数据的容量维数,并由计算结果进行故障诊断,取得了良好效果。

关键词: 故障诊断 减压阀 双谱切片 容量维

中图分类号: TG156 **文献标识码:** B

The fractal features of bi-spectral slices applied in fault diagnosis

WU Wenbing^{①②}, HUANG Yijian^③

(①Dept. of Computer, Fuzhou Technical College of Foreign Studies, Fuzhou 350018, CHN;

②Xiamen University, Xiamen 361000, CHN;

③Huaqiao University, Quanzhou 362021, CHN)

Abstract: Relief valve is an important component of a hydraulic system, and it is easy to go wrong. How to diagnose the faults is very important for the maintenance of mechanic system. By means of AR model, this paper first acquires the AR bi-spectral slices of signals in normal and fault state respectively, considering the self-similarity of the spectrum, then calculate out the capacity dimension of each data obtained in this experiment. Furthermore, the result is used to diagnose the fault of relief valve, and the diagnosis accuracy is satisfactory.

Keywords: Fault Diagnosis; Relief Valve; Bi-spectral Slices; Capacity Dimension

液压系统中的减压阀是液压系统中比较容易发生故障的一种元件,如何对这种发生故障的元件进行诊断,对液压系统的维护有着重要意义。本文在获取减压阀正常信号与故障信号的基础上,通过建立 AR 模型,获取正常状态和故障状态下信号的 AR 双谱切片,再根据其自相似性,采用分别计算其容量维数的方法来进行故障诊断。

1 双谱切片

设平稳随机过程的 k 阶累积 $c_{kx}(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{k-1})$, 定义为随机变量 $\{x(n), x(n+\tau_1), \dots, x(n+\tau_{k-1})\}$ 的 k 阶联合累积量:

$$c_{kx}(\tau_1, \dots, \tau_{k-1}) = \text{cum}\{x(n), x(n+\tau_1), \dots, x(n+\tau_{k-1})\} \quad (1)$$

其中 $\text{cum}(\cdot)$ 代表联合累积量。

k 阶累积量谱定义为 k 阶累积量的 $k-1$ 维 Fourier 变换,即

$$S_{kx}(\omega_1, \dots, \omega_{k-1}) = \sum_{\tau_1=-\infty}^{\infty} \dots \sum_{\tau_{k-1}=-\infty}^{\infty} c_{kx}(\tau_1, \dots, \tau_{k-1}) \exp[-j \sum_{i=1}^{k-1} \omega_i \tau_i] \quad (2)$$

建立 AR 模型后,根据式(3)可以得到 AR 双谱表达式为

$$B^{\text{AR}}(\omega_1, \omega_2) = \gamma_{3a} H(\omega_1) H(\omega_2) H^*(\omega_1 + \omega_2) \quad (3)$$

其中: ω 为频率; $\gamma_{3a} = E\{a^3(n)\}$ 为偏度; $H(\omega) = 1/[1 + \sum_{i=1}^p \phi_i e^{-j\omega}]$ 为系统的传递函数; ϕ_i 和 p 分别为 AR 模型的系数和阶数; $H^*(\omega)$ 为 $H(\omega)$ 的共轭函数。

在式(4)中,设 $\omega_1 = \omega_2$ 时,即得到 AR 双谱的 1.5

* 国家自然科学基金(50975098)

维(对角)切片表达式为

$$B^{AR}(\omega_1, \omega_2) = \gamma_{3a} H^2(\omega_1) H^*(2\omega_1) \quad (4)$$

双谱对角切片保留了双谱的相关信息。本文选用对角切片与 AR 功率谱进行故障诊断的对比分析。

2 容量维

具有某种自相似性的图形或集合称为分形。大自然中存在的不规则的物体,可能存在不同尺度上的相似性,称为自相似性。自相似性就是局部与整体相似,局部中又有相似的局部,每一小局部中包含的细节并不比整体所包含的少,不断重复的无穷嵌套,它不但包括严格的几何相似性,而且包括通过大量的统计而呈现出的自相似性。为了解决这类物体的维数计算,发展了计算容量相似维数方法。常用的容量维数分析方法有变方法、结构函数法、自仿射法以及盒子覆盖算法。其中盒子覆盖算法简单、快速、精确。本文采用盒子覆盖算法来计算功率谱的容量维数。计算相似比时,采用圆片(或方块)去填充(或覆盖)被测对象,统计覆盖所需的方块数来计算其维数。如此方法计算的维数称为容量维数。如果用长度为 r 的尺子去测长度为 L 的线段 L 与 r 之比为 N 。 N 值的大小与 r 长短有关, r 越小, N 越大。对于 D_c 维物体:

$$N(r) \propto (1/r)^{D_c} \rightarrow \lim N(r) = (1/r)^{D_c}$$

取对数得容量相似维数:

$$D_c = \lim \left[\frac{\log N(r)}{\log(1/r)} \right]$$

3 数据采集

当减压阀进出油口有异物,压力偏高或偏低都会影响到减压阀的正常运行。为了获取减压阀在故障状

态下的运行信号,本文进行的实验特设置故障如下:人为在减压阀进油口加 $\phi 3$ mm 的铁芯,通过实验可以近似模拟减压阀工作故障状况。

本文振动信号的采集和处理使用的软件是 LabVIEW。利用 LabVIEW 及 PCI-6014 的数据采集卡和 1 个加速度传感器,依次采集减压阀在正常和故障状态下的振动信号。实验数据采集程序如图 1 所示。在每种测量中,将油路压力从 1~5 MPa 分 6 个压力等级。采样频率 250 Hz,读取频率 125 Hz,采样过程时间约 2 min。本文实验使用的数据个数为 2 000 个。

测控系统的硬件有计算机、PS-3030D 直流电源(固纬电子有限公司)、ST-1-03 型非接触式电涡流位移传感器(北京昆仑海岸公司)、数据采集卡 PCI-6014 以及接线端子 8LP(NI 公司)。由于测试过程中系统外部和内部各种因素的影响必然在输出过程中夹杂着不需要的成分,本文采用中值法对采集的振动信号进行预处理剔除混杂在信号中的干扰噪声。

表 1 双谱切片容量维数值表

正常状态	1.205	1.118 3	1.102 3	1.140 1	1.142 5	1.129 5	……
故障状态	1.143 4	1.117 9	1.104 5	1.104 9	1.112 5	1.121 7	……

4 双谱切片

本实验首先分正常和故障状态分别各获得 13 组数据,之后又分别得出这 26 组数据的双谱对角切片,本文分别选取油压为 1 MPa、3 MPa、5 MPa 时测得的两种振动状态下的各 3 组数据,将其双谱切片示于图 2。图中横轴表示圆频率,纵轴表示归一化后的幅值大小,无量纲。由图 2 可以看出,故障状态的双谱切片相

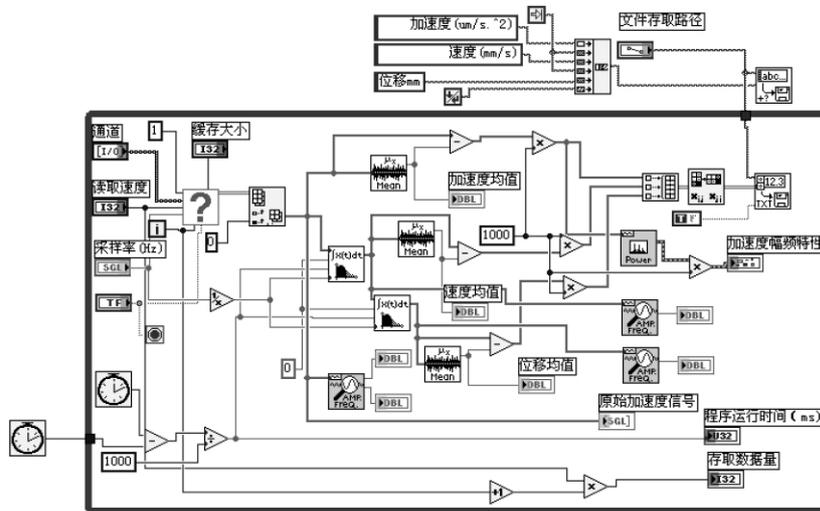


图 1 数据采集程序图

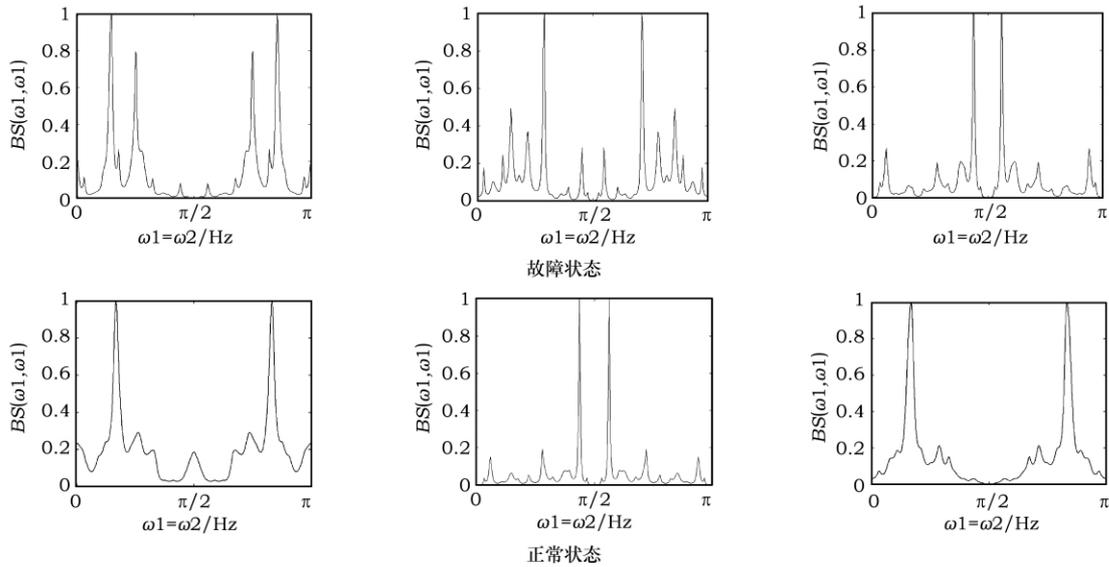


图2 双谱切片图

对于正常状态来说,底部更窄,波峰显得更细更尖锐,也更复杂一些,这种特性使得两种状态的双谱切片有可能呈现出不同的自相似性,本文就利用了这种特性进行故障诊断。

5 实验结果分析

本次实验一共获取了 26 组数据,正常状态和故障状态各 13 组。为了对所获得的信号进行定量分析以便进行故障判别,首先计算出每组数据的 AR 功率谱。本文为了有效判别故障,利用容量维作为工具,分别计算正常状态和故障状态的容量维数,其结果见表 1。为了对结果进行有效观察,特绘制了表 1 的点折线图,见图 3。其中系列 1 代表正常状态数据,系列 2 代表故障状态数据。从图中可以看出,正常状态下信号的容量维数在整体上明显大于故障状态下的容量维数,如果设定一个阈值 1.128 1,以是否大于这一阈值作为有无故障的判别依据,则在正常状态,大于这个阈值的有 10 组数据,在故障状态下小于这个阈值的也是 10 组,则本实验得出的总体正确识别率接近 80%,说明

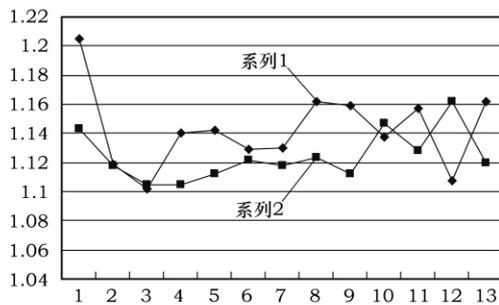


图3 容量维数点折线图

本文提出的方法是可行的。

6 结语

本文通过建立 AR 模型,获取了减压阀在正常信号和故障信号时的 AR 双谱切片,根据双谱切片所体现出来的自相似性,通过计算容量维数,提出了一种根据 AR 双谱切片的容量维数进行故障诊断的方法。实验结果证明本文的方法是可行的。由于 AR 双谱能有效去除高斯噪声,并能保留信号间的相位耦合信息,本文提出的方法相对于其他方法进行的故障诊断具有一定优势。

参 考 文 献

- [1]张贤达. 时间序列分析—高阶统计量方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996: 21 - 122.
- [2]COLLIS W B, WHITE P R, HAMMOND J K. Higher - order spectra: the bispectrum and trispectrum [J]. Mechanical Systems and Signals Processing, 1998, 12(3): 375 - 394.
- [3]张严, 王树勋. 非线性相位耦合的切片谱分析方法[J]. 电子学报, 1998 26(10): 104 - 109.
- [4]孙晖, 赵菁, 朱善安. 基于切片双谱分析的滚动轴承故障识别研究[J]. 浙江工业大学学报, 2005 39(6).
- [5]彭志君, 黄宜坚. 基于 AR 双谱的溢流阀故障诊断[J]. 机械科学与技术, 2007 26(7): 908 - 912.
- [6]张仁铎. 空间变异理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [7]赵旭. 关于分形统计学研究的若干问题[J]. 统计与决策, 2006(4): 19 - 20.

(编辑 李 静)

(收稿日期: 2011 - 07 - 11)

文章编号: 120443

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。