

• 故障诊断 •

基于功率谱容量维的液压阀故障诊断

吴文兵^{1,2}, 黄宜坚³

(1. 福州外语外贸学院, 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: 减压阀在液压系统中很容易发生故障, 对减压阀进行故障诊断对于机械系统的维护有着重要意义。该文首先利用 AR 模获取减压阀振动时的正常信号和故障信号的 AR 功率谱, 根据功率谱所呈现出的自相似性, 分别计算了每组数据的容量维数, 并由计算结果对液压系统减压阀进行故障诊断, 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: TH161 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-196X(2013)02-0089-05

Fault diagnosis of hydraulic valve based on capacity dimension of AR power spectrum

WU Wen-bing^{1,2}, HUANG Yi-jian³

(1. Fuzhou Technical College of Foreign Studies and Trade, Fuzhou 350018, China;
2. School of Information Science and Engineering, Xiamen university, Xiamen 361000, China;
3. College of Mechanical and Electrical Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: The relief valve is easy to break down in hydraulic systems. The fault diagnosis of the relief valve is significant for maintaining the mechanical system. By means of AR model, the AR power spectrum of normal and fault signals from the vibration of the relief valve was acquired respectively. According to the self-similarity of the power spectrum, the capacity dimension of each set of data was calculated in an experiment. The fault diagnosis of relief valve was implemented according to the calculated result. The diagnosis accuracy is satisfactory.

Key words: fault diagnosis; relief valve; bi-spectral slice; capacity dimension

0 前言

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。本文通过建立 AR 模型, 获取正常状态和故障状态下信号的 AR 功率谱, 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 减压阀液压回路系统

实验研究的减压阀为先导式减压阀。油液经液压泵至主油路, 液压泵排出油液的最大压力由溢流阀根据主油路的需要来调节。当液压缸需要的压力要比液压泵的供油压力低时, 这时可在油路中串上一减压阀来进行减压, 减压阀可保证减压后压力恒定。减压阀数据采集系统如图 1 所示。

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了在减压阀进油口和出油口同时加 $\phi 3$ mm 铁芯的故障, 通过实验可以近似模拟减压阀工作故

收稿日期: 2012-09-26; 修订日期: 2012-12-15

作者简介: 国家自然科学基金(50975098)

作者简介: 吴文兵, (1968-), 男, 福州外语外贸学院教师, 博士, 副教授。

障状况。

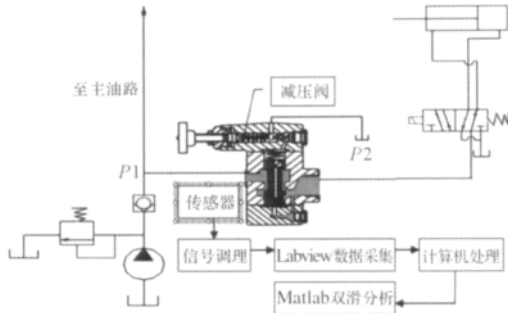


图1 减压阀数据采集系统

Fig. 1 Data acquisition system of relief valve

2 数据采集与动态测试程序

振动信号的采集和处理使用的软件虚拟仪器软件开发工具 LabVIEW^[2]。利用 LabVIEW 及 PCI-6014 的数据采集卡和一个加速度传感器，依次采集调速阀在正常和故障状态下的振动信号。在测试过程中，采样频率设为 1 024 Hz，读取频率为 512 Hz。在每种信号状态的测量中，将油路压力从 1 ~ 5 MPa 分 5 个压力等级，采样过程时间约 2 min，实验使用的数据个数为 1 024 个。

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许多不需要的成分，本文采用中值法对采集的振动信号进行了预处理。

3 AR 建模

如图 2 所示，假设 $y_1(t)$ 是系统实际输出信号 $y(t)$ 经过去噪后的信号，系统输出的随机振动信号是由均值等于零的非高斯的白噪声 $a(t)$ 造成的，所以输出的随机信号中含有丰富的动态信息，可以建立 AR 模型为

$$y_1(t) + \sum_{i=1}^p \psi_i y_1(t-i) = a(t), \quad (t=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

式中， $\psi_i (i=1, 2, \dots, p)$ 为自回归系数， p 为自回归模型的阶数。

对于稳定的线性物理过程 $h(t)$ ，考虑到系统为最小相位系统，可得到基于 AR 模型的功率谱表达式为

$$P^{AR}(\omega) = \gamma_{a,2} H^*(\omega) H(\omega)$$

式中， ω 为频率； $\gamma_{a,2}$ 为滞后量为 0 的二阶累量； $H(\omega)$ 为系统的传递函数； $H^*(\omega)$ 为 $H(\omega)$ 的共轭函数。



图2 信号流图

Fig. 2 Flow chart of signal

4 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，不仅包括严格的几何相似性，还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 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，有

$$N(r) \propto \left(\frac{1}{r}\right)^{D_c} \rightarrow \lim_{r \rightarrow 0} N(r) = \left(\frac{1}{r}\right)^{D_c}$$

取对数得容量相似维数为

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

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，本文分别选取油压为 1 MPa、3 MPa、5 MPa 时测得的 2 种振动状态下的各 3 组数据，其功率谱示如图 3 和图 4 所示。图中横轴表示频率，单位为 Hz，纵轴表示归一化后的幅值大小，无量纲。从图中可以看出，正常状态下的 AR 功率谱不如故障状态下的尖锐，底部也更宽大，这种直观上的差别为故障诊断提供了可能。从图 3 和图 4 可以看出，无论信号处于正常状态还是故障状态，其 AR 功率谱都具有一定程度的自相似

性。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，特绘制了表一的点折线图，如图 5 所示。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，这表明正常状态下的功率谱的自相似性要高于其故障状态下的功率谱，这是因为信号在故障状态下其运行更无规律，而这种无规律性必然反映到其功率谱中，导致其自相似性降低。对于正常状态，若以 1.140 ± 0.035 为震荡区间，处于这一区间的有 12 组数据；对于故障状态，若以 1.080 ± 0.0252 为震荡区间，处于这一区间的有 9 组数据。如果在判断有无故障时以上述确定的两个区间为标准，则本实验得出的总体正确识别率超过了 80%，说明本文提出的方法是可行的。

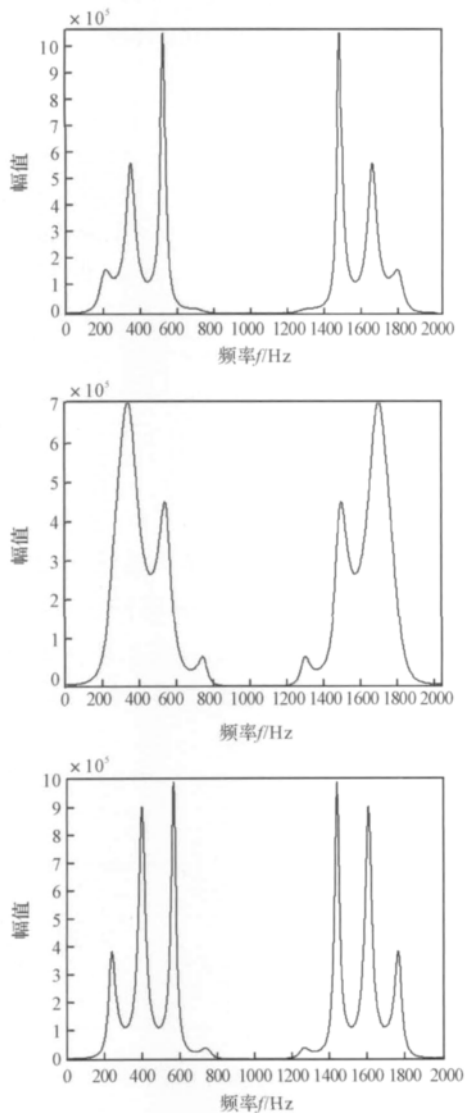


图 3 正常状态信号 AR 功率谱图

Fig. 3 AR power spectrum of signals in normal state

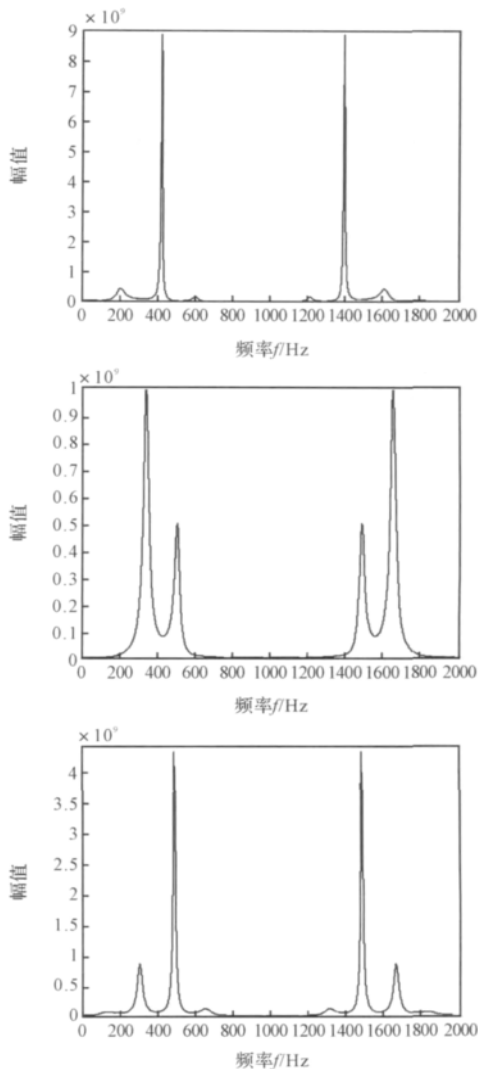


图 4 故障状态信号 AR 功率谱图

Fig. 4 AR power spectrum of signals in fault state

表 1 容量维数表

Tab. 1 List of capacity dimension

正常状态	1.1097	1.1125	1.1368	1.1413	1.1036	1.1072	1.1072
故障状态	1.1408	1.0843	1.1052	1.0862	1.0873	1.0657	1.0734

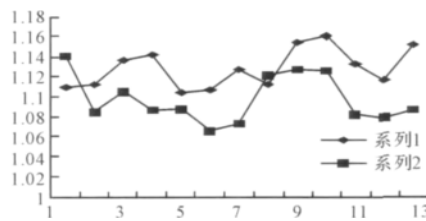


图 5 AR 功率谱点折线图

Fig. 5 Graph of broken lines for AR power spectrum

(下转第 94 页)

min; Δ_t 为进出口油温差, $^{\circ}\text{C}$, 一般取 15°C ; μ 为滚动轴承摩擦系数, 取 0.0025; n 为轴承转速, r/min; F_r 为轴承径向负荷, N。

表 2 轴承润滑油的用量

Table 2 Quantity of lubrication oil for bearing

轴承序号	轴承内径/mm	轴承宽度/mm	所需油量/ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	轴承型号
1	110	53	4.8	22222
2	110	69.8	1.8	23222
3	150	73	3.5	22230
4	150	73	3.2	22230
5	340	133	4.5	23068
6	380	135	7.8	23076
合计			25.6	

其次, 计算齿轮所需润滑油量。计算公式为

$$Q_g = \frac{N \times (1 - \eta^n) \times 860}{\Delta t \times \gamma \times C \times 60} = 7 \text{ L/min} \quad (2)$$

式中, Q_g 为齿轮给油量, L/min; η 为单级传动效率, 磨齿为 0.995; γ 为油的比重, 0.9 kg/L ; C 为油的比热, $0.4 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$; Δt 为进出口温度, 一般为 10°C 。

两部分合计总用油量为 $Q = 25.6 + 7 = 32.6 \text{ L/min}$ 。

为保险起见, 根据经验向上圆整至 50 L/min 。实际系统泵的流量是 50 L/min , 满足使用要求。前面已经分析过, 设计流量不代表与每个轴承的实际流量相符。若实际经过高速轴承的流量受到自然流量的限制, 实际流量就达不到设计流量, 造成故障。从理论上讲, 飞溅自然流动润滑是可行的, 但高速轴承要求喷嘴和小孔的精度和位置都很高, 容易造成润滑不良。

4 结束语

通过在减速箱高速轴承处外部增加强制压力循环润滑, 卷取机稀油润滑改造后轴承实际使用寿命远远大于设计寿命, 达到了预期改造要求。

参考文献:

[1] 党鸿辛. 润滑材料与润滑技术 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2000.
 [2] 王立军. 轧机减速机润滑系统常见问题及解决方法 [J]. 重型机械, 2010(S2).
 [3] 刘松, 黄庆学, 周存龙, 等. 带钢拉伸弯曲矫直机压弯模型的研究 [J]. 太原科技大学学报, 2012(6).

(上接第 91 页)

6 总结

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 功率谱, 根据 AR 功率谱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 功率谱的容量维数进行故障诊断的方法, 实验结果证明该方法是可行的。由于 AR 模型有效解决了频谱泄露的问题, 本文提出的方法相对于直接利用原始信号进行的故障诊断具有一定优势。

参考文献:

[1] 刘君华, 贾惠芹, 丁晖. 虚拟仪器图形化编程语言 LabVIEW 教程 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001: 3 - 4.
 [2] 张利平. 液压阀原理、使用与维护 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 146 - 204.
 [3] 赵中敏. 以振动信号分析方法诊断机械故障 [J].

中国设备工程, 2006(11): 38 - 39.
 [4] Fan YS, Zheng GT. Research of high - resolution vibration signal detection technique and application to mechanical fault diagnosis [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2007, 21(2): 678 - 687.
 [5] 刘忠, 杨国平. 工程机械液压传动原理、故障诊断与排除 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 284 - 287, 290 - 291.
 [6] 李爽, 姚静. 基于分形的 DEM 数据不确定性分析 [M]. 北京科学出版社, 2007.
 [7] 张仁铎. 空间变异理论及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
 [8] 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.
 [9] 吴文兵, 黄宜坚. 基于 AR 参数的液压阀故障信号检测 [J]. 重型机械, 2011(2): 15 - 18.
 [10] 吴文兵, 黄宜坚. 三阶对角累量在故障诊断中的应用 [J]. 重型机械, 2012(3): 129 - 132.