

文章编号: 1000-5013(2009)04-0371-05

利用关联维数进行液压阀故障诊断

陈俊杰, 黄宜坚

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 研究关联维数在减压阀和调速阀故障诊断中的应用,并针对故障诊断的实际情况,对采集到的信号进行分析,提出将关联维数用于液压元件故障诊断的技术路线及方法.结果表明,不同故障的液压阀产生机制不同,通常也具有不同的关联维数,故关联维数可用于故障的特征提取.正常情况下,位移和加速度参量的关联维数 $D_2 < 2$;而在故障情况下,所得到的关联维数 $D_2 > 2$.通过分析加速度的关联维数,可以判断被测液压元件是否存在故障.

关键词: 故障诊断; 关联维数; 减压阀; 调速阀; 预处理

中图分类号: TH 137.52⁺2; TH 165⁺.3

文献标识码: A

液压阀的故障会直接影响液压系统的工作性能,引起液压元件、辅件及管路的损坏,如在溢流阀的故障中表现明显^[1].混沌时间序列的关联维数应用于故障诊断,在工业系统中已逐渐趋于广泛,目前已有许多研究信号处理中的混沌问题的报导.有学者讨论关联维数在大型旋转机械的实时状态过程控制中^[2],以及在齿轮箱振动信号特征提取中的应用^[3];也有学者利用计算所得关联维数数值的变化,来判断流动性磨损过程中的摩擦信号^[4]和进行大机组故障的诊断^[5].本文根据液压阀振动的变化特点,通过对平稳振动信号建立混沌时间序列数学模型,运用分形理论的相空间重构算法提取其关联维数,提供了一种有效的液压元件故障诊断方法.

1 实验原理

1.1 实验装置

在特定油路下,采集减压阀和调速阀在正常和故障情况下的阀体产生的振动信号,并对数据信号分析处理.整个实验流程,如图1所示.在故障检测过程中,分两个步骤提取阀体振动的位移和加速度信号.首先,在液压系统所原有油压档位下测量正常工作状态阀体的振动信号,然后测量设置故障状态下的振动信号.在减压阀实验过程中,共设置3种故障.(1)减压阀进油口有异物.(2)减压阀出油口有异物.

(3)减压阀进油口和出油口均有异物.在调速阀实验过程中,共设置5种故障.(1)节流阀部分弹簧细微变形.(2)节流阀部分弹簧里缠绕一异物.(3)阀内缺圆柱铁芯.(4)阀内圆柱铁芯换为垫片.(5)故障2与故障4结合.在每组采样过程中,采样频率250 Hz,读取频率125 Hz,采样时间约2 min.测控系统的硬件部分有液压试验台、计算机、PS-3030D型直流电源(上海固纬电子有限公司)、ST-1-03型非接触式

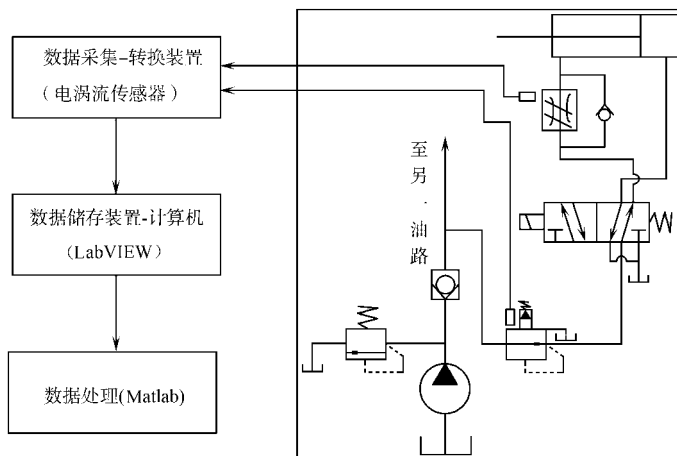


图1 试验系统原理图

Fig. 1 The principle picture of experimental system

收稿日期: 2008-01-14

通信作者: 黄宜坚(1945-),男,教授,主要从事机械电子的研究. E-mail: yjhuang@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省高新技术计划重点项目(2005 H035)

电涡流位移传感器(北京昆仑海岸公司)、PCF6014 数据采集卡,以及集线端子 8LP(美国 NI 公司).应用软件 LabVIEW 7.0 编写系统检测程序.通过单通数据连续采集信号,再对采样信号进行滤波,滤波后的信号进行单边 Fourier 变换.全部测试和分析由计算机自动完成.系统实验测试,如图 2,3 所示.

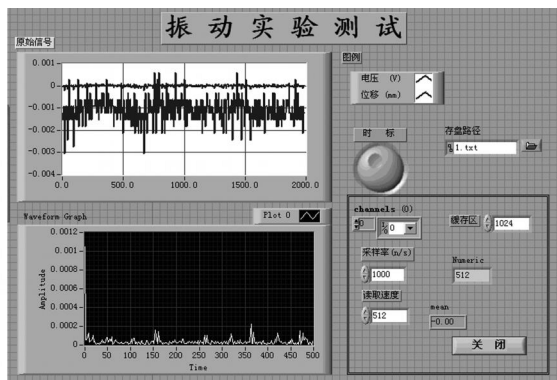


图 2 测试前面板

Fig. 2 Front panel of the measurement

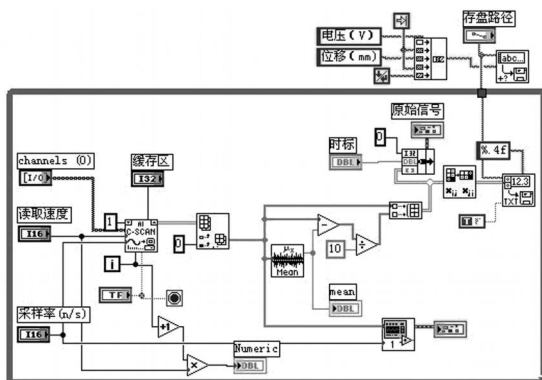


图 3 测试程序图

Fig. 3 Flow chart of the measurement

1.2 数据预处理

由于采集的信号存在毛刺,很难基于原始信号的关联维数识别液压阀的状态.这将给计算相关维数量带来较大的误差,需要对原始数据信号进行平滑预处理,降低干扰对关联维数计算的影响.因此,可应用 5 点滑动平均法进行数据预处理.

2 关联维数描述

2.1 分析原理

在众多的分形维中,关联维对吸引子的不均匀性反应敏感,更能反应吸引子的动态结构.关联维数可以利用实验数据来计算分维^[6].即能在不知道背景相空间维数的情况下,从少数甚至单一数据序列中提取关于维数的信息.

关联维数可以由观测得到的一维时间序列,利用相空间重构的办法直接计算得出.重构相空间的维数称为嵌入维数.由 Takens 原理^[7]可知,嵌入维数 $m \geq 2d + 1$,其中 d 为吸引子的真实维数.设 X_K 为观测得到的时间序列,其中 $K = 1, 2, \dots, N$.对观测得到的时间序列进行相空间重构,记为 $X_n(m, \tau) = (x_n, x_{n+1}, \dots, x_{n+m-1})$,其中 $n = 1, 2, \dots, N - m + 1$, $\tau = K \cdot t$ 为时间延迟, t 为数据的采样间隔, K 为任意整数, m 为重构相空间的维数.重构相空间吸引子的关联维数为

$$D_2 = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln C(r)}{\ln r}. \quad (1)$$

式中, $C(r) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-m+1} \sum_{j=1}^{N-m+1} H(r - |X_i - X_j|)$, $i \neq j$. r 为 m 维超球半径, H 为 Heaviside 函数,即

$$H(r - |X_i - X_j|) = \begin{cases} 1, & (r - |X_i - X_j|) > 0; \\ 0, & (r - |X_i - X_j|) \leq 0. \end{cases} \quad (2)$$

标度线 $\ln r - \ln C(r)$ 的斜率即为对应时间序列的关联维数.

2.2 计算参数的选取

2.2.1 延迟时间 相空间重构过程中,延迟时间的选择至关重要.太小的值将导致信息的冗余,失去独立性;而太大的值将使延迟坐标之间毫不相关,不能代表真实的动力系统.

的选取原则:在不丢失数据信息的情况下,使数据的自相关程度尽可能的小.通常有如下的 3 种方法. (1) 主周期关系.对于低维的系统,如果受周期变化的外力或自激励周期力的作用,那么,的最佳值为主周期的四分之一. (2) 最小交互信息标准.取交互信息函数的第 1 个最小值所对应的值作为相空间重构延迟时间. (3) 自相关函数.基于自相关函数的方法比较简单,易于计算.自相关函数提供了信号自身 $x(t)$ 与它的时延 $x(t + \tau)$ 之间相似性的度量.大量研究表明,对于选择的值,对应的自相关函数

$R_{x,x}(\cdot)$ 的值降到初始值的 $1/e$, 或者第 1 次为零, 或者为 $R_{x,x}(\cdot)$ 的第 1 个拐点.

2.2.2 嵌入维数 一般情况下, 由于缺乏对系统动力维数的先验知识, 选择嵌入维数 m 比较困难. Takens 原理提供了 m 的下限, 嵌入维数 $m \geq 2d + 1$. 应尽量选择大的嵌入维数, 因为 m 选择太小, 动力系统的几何结构不能完全打开; 而过大又降低了计算的可靠性. 现有选择 m 的方法如伪邻近法、奇异值分解法等各有利弊. 文中的方法采用了大量的计算, 但比较可靠, 即逐渐增大嵌入维数 m 的值, 直至关联维数的值基本不再变化, 此时的 m 值即为最小的嵌入维数.

3 实验结果分析

选取延迟时间 $\tau = 12$, 嵌入维数 $m = 4$, 数据长度 $N = 4\,096^{[8]}$.

3.1 减压阀关联维数的故障分析

分析减压阀在正常和故障状态工作的振动信号, 如表 1 所示. 由表 1 可知, 对于 4 种运行状态, 由于油压值较小, 抗干扰性较弱, 细微故障的存在即会直接影响关联维数的计算结果. 数据表明, 故障情况下的关联维数数值 ($D_2 > 2$) 明显高于正常情况下的关联维数 ($D_2 < 2$). 而且, 在加速度的关联维数对照中更明显得出, 存在故障时, 加速度的关联维数变化表现较为平稳.

由于所取的序列点数有限, 计算中会有误差, 同时数据采集的精度对所计算的关联维数也有一定的影响^[9]. 在减压阀运行良好时, 关联维数最小; 运行不正常时, 关联维数增大. 这种现象从表 1 中的趋势可以看出. 若以正常状态下的关联维数作为“谷底”, 则偏离此“谷底”愈远, 其故障表征也就愈加明显. 从理论上讲, 因能量耗散的不可逆过程, 系统出现故障必然提供能量来克服该故障, 耗散能量呈递增趋势时, 表现在关联维数的上升.

3.2 调速阀关联维数的故障分析

为了验证上述分析过程同样适用于其他液压元件, 在相同条件下, 对调速阀设置了 5 组故障. 分析五点滑动平均法预处理后的数据, 计算的关联维数如表 1 所示. 由表 1 同样可以看出, 故障情况下的关联维数数值 ($D_2 > 2$) 明显高于正常情况下的关联维数 ($D_2 < 2$).

表 1 测试信号的关联维数

Tab. 1 Signals for the measurement about correlation dimension

项目	减压阀				调速阀					
	正常	故障一	故障二	故障三	正常	故障一	故障二	故障三	故障四	故障五
位移	1.901 1	2.563 3	2.335 6	2.282 1	1.923 5	2.308 9	2.493 5	2.567 8	2.278 1	2.477 4
加速度	1.752 8	2.426 5	2.511 5	2.451 0	1.714 1	2.308 0	2.235 3	2.424 0	2.325 6	2.372 5

3.3 数据信号的故障分析

减压阀原始数据滤去五点滑动平均法的低频成分后的信号, 如图 4、5 所示. 图 4、5 中, 正常情况下的信号波形振幅 (A) 和故障一的相差不大, 但其各时间点之间的变化跨度比较小. 而故障二、三中的振

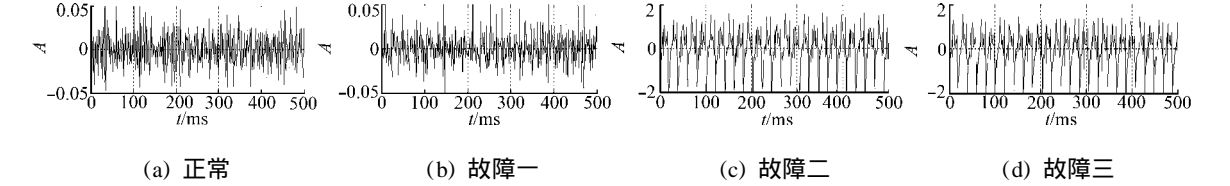


图 4 减压阀滤去低频成分后的位移信号

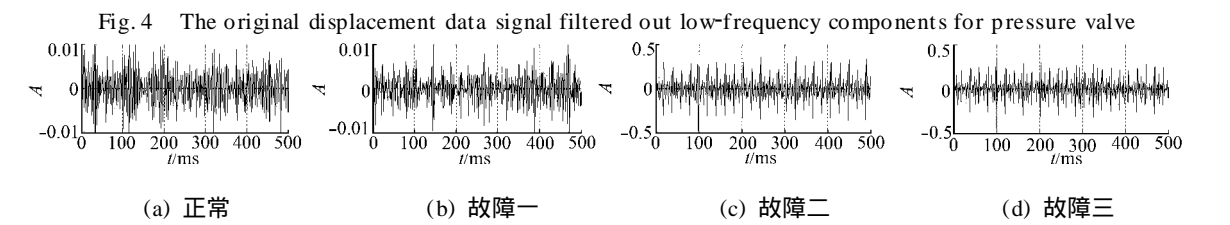


图 5 减压阀滤去低频成分后的加速度信号

Fig. 5 The original acceleration data signal filtered out low-frequency components for pressure valve

幅和变化跨度则比较明显.这是由于故障的存在,减压阀中油路受阻,瞬时激振力作用在阀体上造成的.

对调速阀原始数据滤去五点滑动平均法的低频成分后的信号,可以得出与上述分析减压阀相同的结论.其正常与故障情况的对照,如图 6 所示.图 6 中的故障情况下,振幅表现出瞬间的振荡.

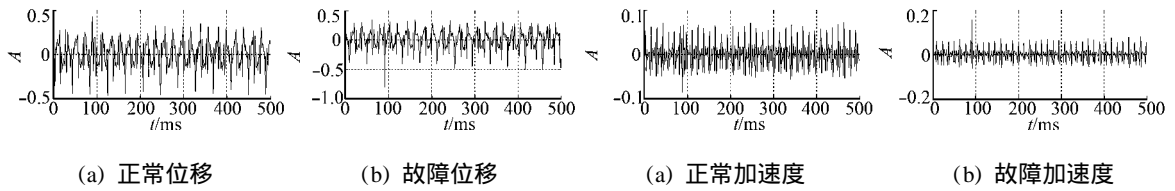


图 6 调速阀滤去低频成分后的振动信号

Fig. 6 The original vibration signal filtered out low-frequency components for speed control valve

3.4 关联维数曲线

通过 $\ln r - \ln C(r)$ 曲线图和 $D_2 - n$ 曲线图,表示正常工作与发生故障对关联维数的变化情况,如图 7 所示.由图 7 可以得出,减压阀和调速阀正常状态的斜率明显小于存在故障时的斜率.减压阀中故障二、三的斜率相差很小,而调速阀中各故障的斜率相差不大.

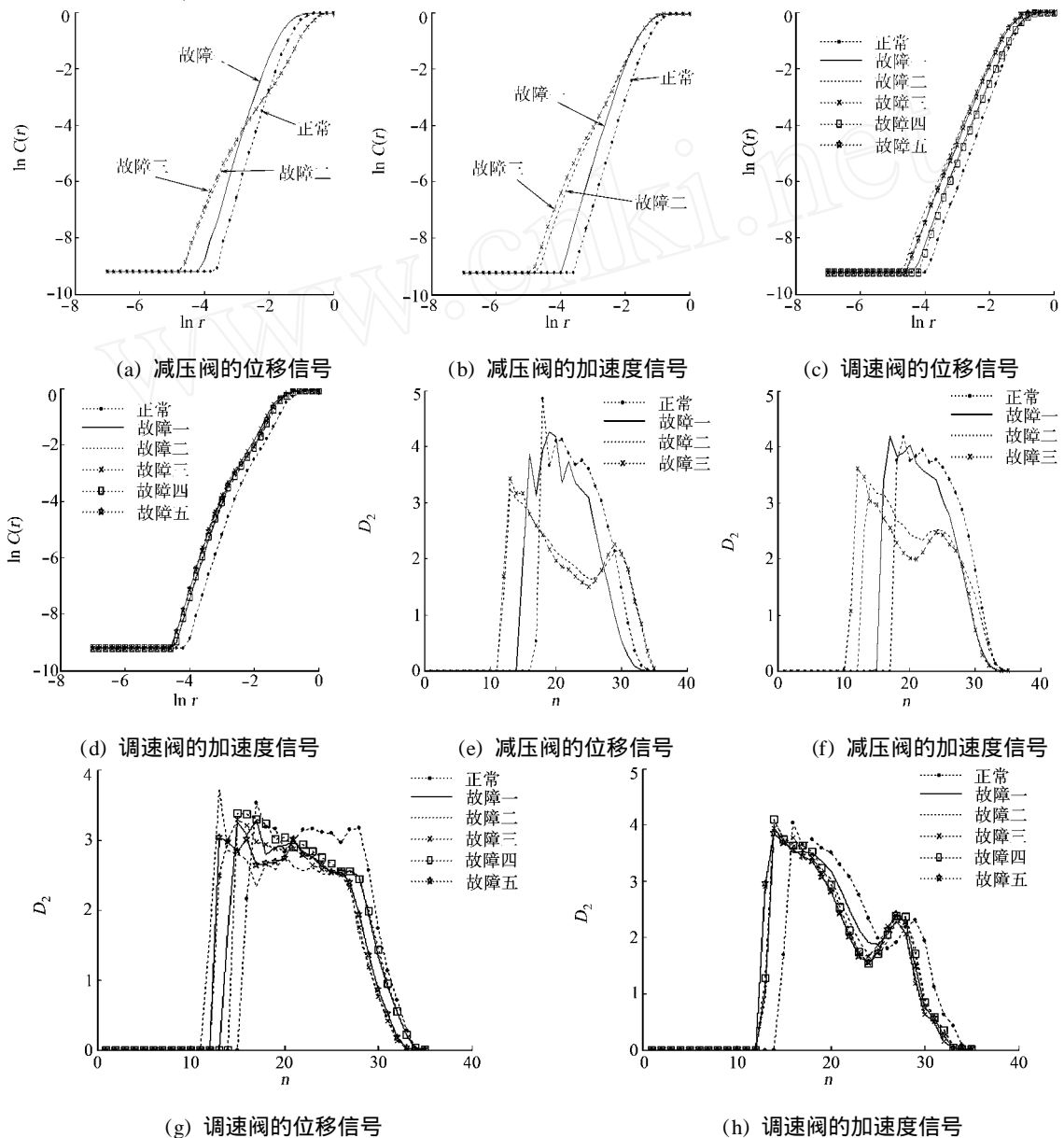


图 7 不同工作状态下关联维数变化情况

Fig. 7 The correlation dimension VS different working status

4 结束语

采集的信号存在毛刺,预处理作为获得液压阀振动关联维数的前期计算,使得其关联维数接近于该系统的真值,提高了利用测出振动行为的关联维数判断液压阀工况的准确性与可靠性.用关联维数作为液压阀不同状态的特征参数,避免了传统的时域或频域分析的复杂性.在某一油压下的测量信号所分析得到的数据就可以辨别阀体的工作状态,这种方法简单、直观、易行.采用关联维数作为故障信号的特征参数,克服了传统方法在故障信号特征提取和分析上的困难.

参考文献:

- [1] 刘少谦,黄宜坚.应用时间序列分析的液压溢流阀故障诊断法[J].华侨大学学报:自然科学版,2007,28(3):228-231.
- [2] ALBERTO R N, MARIA- ELENA M O. A method for the correlation dimension estimation for on-line condition monitoring of large rotating machinery [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2005,19(5):939-954.
- [3] 谢向荣,陈洪峰,朱石宝,等.关联维数在齿轮箱振动信号特征提取中的应用[J].海军工程大学学报,2005,17(6):102-107.
- [4] ZHU H, GE Shi-rong, CAO Xi-chuan, et al. The changes of fractal dimensions of frictional signals in the running-in wear process[J]. Wear, 2007,263(7/12):1502-1507.
- [5] 汪慰军,陈进,吴昭同,等.关联维数的计算及其在大机组故障诊断中的应用[J].上海交通大学学报,2000,34(9):1265-1268.
- [6] PISARENKO D V, PISARENKO V F. Statistical estimation of the correlation dimension [J]. Physics Letters (A), 1995, 197(1):31-39.
- [7] MEYER Y. Wavelets algorithms and applications[M]. New York:Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia,1993.
- [8] 徐玉秀,杨文平,任立义.关联维数及其在故障诊断中的应用研究[J].振动测试与诊断,2001,21(4):275-296.
- [9] 蔡奇志,黄宜坚.三谱切片在调速阀故障诊断中的应用[J].华侨大学学报:自然科学版,2009,30(1):16-21.

The Fault Diagnosis of Hydraulic Valve Based on Correlation Dimension

CHEN Jun-jie, HUANG Yi-jian

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: The application of correlation dimension in the fault diagnosis of pressure value and speed control value is investigated, and the collected information is analyzed according to the actual conditions in fault diagnosis. Also the technical route and method about the application of correlation dimension in the fault diagnosis of hydraulic components is given. The results show that the mechanism of different faults for hydraulic valves differs, and often their correlation dimensions are also different, so the correlation dimension can be used to extract the feature of the faults. In the normal state, the correlation dimension of the displacement and acceleration signals, D_2 , is smaller than 2; in the fault, the correlation dimension, D_2 , is greater than 2. By the analysis of the correlation dimension of the acceleration signal, it can be judged whether there is a fault for a measured hydraulic component or not.

Keywords: fault diagnosis; correlation dimension; pressure valve; speed control valve; pretreatment

(责任编辑:鲁斌 英文审校:郑亚青)