高阶累积量耦合性质在液压阀故障诊断中的应用研究

学校编码：10384　　　　　　　　　　　　分类号____密级___

学号：　23120090153694　　　　　　　　　　　　UDC___

厦门大学

# 博　士　学　位　论　文

# 高阶累积量耦合性质在液压阀故障诊断中的应用研究

## Research on the application of　HOC coupling　properties in hydraulic faults diagnosis

指导教师姓名：陈文芗

专 业　名 称：　电路与系统

论文提交日期：　2012　年　　月

论文答辩时间：　2012　年　　月

学位授予日期：　2012　年　　月

答辩委员会主席：

评　　阅　　人：

2012　年　月

厦门大学

# 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。另外，该学位论文为（　　　　　　　　　　　　　　　　　）课题（组）的研究成果，获得（　　　　　　　　　　　）课题（组）经费或实验室的资助，在（　　　　　　　　　　）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年　　　　月

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ）1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，

于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ）2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

# 摘　要

本文以液压系统常用的液压阀（溢流阀、减压阀、调速阀）为研究对象，基于高阶累积量和高阶谱，采用小波、分形和神经网络等理论方法对液压阀的振动信号进行分析，实现液压阀的故障识别。

液压阀在正常与不同故障状态下工作时，其振动信号通过双谱分析谱图各有差异。正常状态和故障状态的双谱相比，在分布范围和谱峰多少均体现出不同的特性。双谱$1\frac{1}{2}$维切片较双谱更具体更直观地表征液压阀故障信息的频率位置，且计算量也相对减少。两种谱分析方法均十分有效地对液压阀进行故障识别。在此基础上，以高阶累积量的耦合性质理论为依据，将采集的原始信号变换为复数信号，再通过复数高阶累积量的各种不同的耦合方式分析各种故障产生的结果，将正常信号和故障信号按照某种相同的耦合方式进行故障辨别，以此寻找最佳故障判别效果。由于小波方法是分析机械振动信号有力工具，因此本文通过小波进行特征提取，再利用 BP 网络和支持向量机进行故障诊断，并和实数信号相应结果进行对比，进而分析原因。本文通过上述研究方法，取得了如下研究成果：

1：由于双谱计算的复杂性，在实际应用中难以兼顾计算复杂性和实际应用需要之间的矛盾，因此文章提出一种双谱的不对称绘制方法，并用实例说明这种方法的意义。

2：分别对原始信号、AR 功率谱、实数双谱对角切片的故障诊断效果进行对比，得出实数双谱对角切片优于 AR 功率谱，而 AR 功率谱又优于原始信号的结论，而这些结论和理论分析都是一致的。

3：对复数三阶累积量、复数双谱的各种不同耦合方式的故障诊断效果进行分析，并和实数双谱、实数三阶累积量的结果进行对比，得出在不同的耦合方式下，对于大多数故障，与实数状态的高阶累积量或者高阶谱相比，都能找到一种诊断正确率更高的方法的结论。

4：以容量维为工具，通过计算复数信号不同耦合方式下的各种切片的容量维数，再以计算出的容量维数进行故障判别，得出在某些故障形式下，复数形式切片的容量维数更有利于故障识别的结论。

**关键词**：高阶累积量；耦合；故障诊断

# Abstract


In this paper，the usual hydraulic valves (reducing valve, overflow valve and speed-regulating valve) in hydraulic system were studied. Based on higher-order cumulants (HOC), higher-order spectrum (HOS) and its coupling features, wavelet、fractal and neural network theories were used to analyze the vibration signals extracted from hydraulic valves, and the fault recognition were accomplished.

Autoregressive (AR) model parameters based on higher-order cumulants of vibration signals from hydraulic valves were used to express the bispectrum and trispectrum. The vibration signals extracted from different working states of hydraulic valves were analyzed with bispectra. Results indicated that the spectral distributions were different under normal and different fault states. Compared with bispectra, the $1\frac{1}{2}$-D slices of bispectra characterized the frequencies of fault information more specifically and directly, also, the amount of calculations was reduced. Futhurmore, based on the theory of HOS coupling, complex HOC were used to analyse various faults, the same coupling mode of normal signals and fault signals were used to diagnose faults. Because mechanical signal has the characteristics of nonlinear and nonstationary, and wavelet can deal with this kind of signals effectively, this paper used it to fetch features, then BP and LSSVM were used to judge faults. Through above works, some research achievements were obtained as follows：

1. Nonsymmetric bispectrum drawing method is proposed, this method can solve the contradiction between bispectrum complexity and actual needs to an extent.

2. The fault diagnosis effects of primitive signals、AR power spectrum and real bispectrum diagonal slices are compared, the results demonstrate the effect of bispectrum diagonal slices is prior to AR power spectrum, and AR power spectrum is prior to primitive signals, these results coincide with relative theory.

3. The fault diagnosis effects of complex three order bispectrum and cumulants in various coupling modes are compared with real three order bispectrum and cumulants, the results show, for many faults, through different complex couplings, one

diagnosing method with higher correct rate can be found.

4. By means of calculating capacity dimensions, the dimensions of real bispectrum diagonal slices, real trispectrum diagonal slices and the slices of complex signals in various coupling modes were calculated, then those capacity dimensions were used to diagnose faults, the results shows, in some faults, complex signals capacity dimensions are more effective than that of real signals.

**Keywords**: Higher-order cumulants; Coupling; Fault diagnosis

# 目录

# CONTENTS