

Research on Vibration Signal Separation and Fault Diagnosis of Centrifugal Pump in Oil Depot

Miaorong Lv¹, Ying Zhang², Qingwu Xu³

¹College of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou Jiangsu

²SINOPEC Zhenjiang Petroleum Company, Zhenjiang Jiangsu

³SINOPEC Xuzhou Petroleum Company, Xuzhou Jiangsu

Email: zhangying.jssy@sinopec.com, xuqw.jssy@sinopec.com, zjszgm@sina.com

Received: Dec. 9th, 2017; accepted: Dec. 24th, 2017; published: Dec. 29th, 2017

Abstract

This paper acquires various types of vibration signal of a depot site with using a multi-channel vibration signal acquisition system. These vibration signals have been recognized by use of digital audio signal interception test technology, and then these signals have been segmented reasonably by the Basic Operation Unit Method. On this basis, Pattern Filtering Method is adopted to decompose vibration signal under different working conditions into the time-frequency wavelet while noise is also filtered at the same time. All wavelets are classified into characteristic clustering under different correlation levels through Pattern Filter Analysis. Signal reconstruction and signal recognition of different clustering wavelet are accomplished as well. Finally, vibration signals have been split into different functional and characteristic signal after the source of all clustering wavelet are determined reasonably. It's shown that vibration signals of an oil depot can be divided into the basement vibration, motor bearing vibration, vibration of centrifugal pump, loosening vibration of pump parts, background interference and other 13 categories. These time domain parameters of every signal separation have good spatial distribution pattern under different conditions. Therefore, using these feature information can realize oil depot working state identification, centrifugal pump's state detection and fault diagnosis. This study provides good conditions for the application of vibration test in oil depot safety testing and oil mechanical equipment vibration fault diagnosis.

Keywords

Centrifugal Pump, Pattern Filtering Method, Vibration Signal, Signal Separation, Fault Diagnosis

油库离心泵振动信号分离与故障识别研究

吕苗荣¹, 张 迎², 徐清武³

¹常州大学石油工程学院, 江苏 常州

²中石化镇江石油分公司, 江苏 镇江

³中石化徐州石油分公司, 江苏 徐州

Email: zhangying.jssy@sinopec.com, xuqw.jssy@sinopec.com, zjszgm@sina.com

收稿日期: 2017年12月9日; 录用日期: 2017年12月24日; 发布日期: 2017年12月29日

摘要

本文利用多通道振动信号采集仪, 采集得到某油库各种类型振动信号, 通过信号的数字化音频测试技术进行振动信号的识别与特征信号的截取, 并采用信号的基元分段法实现振动信号合理、科学地分段处理。采用信号的模式滤波法对振动信号进行时频子波分解, 噪声过滤, 不同水平子波的聚类, 分类子波信号重构与识别, 以及信号的归类汇总处理。研究表明, 可以将实测振动信号分成基底和泵体振动、电机轴承振动、流固耦合振动、泵零部件松动、背景干扰等13个大类的分类信号; 不同工况下泵体振动分类信号的时域参数统计结果具有良好的空间分布特征, 可以利用这些信息实现油库工况识别、离心泵状态检测与故障诊断处理。本文研究为振动测试技术在油库安全检测与油库机械设备振动故障诊断中的应用, 创造良好的条件。

关键词

离心泵, 模式滤波法, 振动信号, 信号分离, 故障诊断

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

技术集约型、自动化程度高、多功能、结构化是近十年来机械装备发展的主流趋势。这些设备若出现故障, 就会降低设备功能, 危及生产安全, 甚至造成无法挽回的经济及人身损失[1]。离心泵在生产生活中是一种重要设备, 尤其是石油化工、机械制造、电力、水利、船舶运输甚至军事国防等部门都有广泛的应用。近年来, 工业设备自动化程度的越来越高, 高转化、连续性、密集化、集约化已成为离心泵发展的趋势。离心泵结构复杂, 所以容易在高温、高速的恶劣条件出现不可预测的故障。生产系统中离心泵若出现故障, 即会产生一系列连锁现象, 甚至导致整个系统停止运转。开展油库离心泵故障诊断的研究具有十分重要的现实意义。

在旋转运动机械设备中, 振动信号是一个能够灵敏地指示设备运行状态的重要参数, 蕴含着丰富的设备运转状态信息, 涉及到各种异常或故障信息源, 是提炼故障特征的重要渠道。对于连续运转的机械设备, 可以采集能够反映其运行状态的振动信号, 即使不停机、持续运行的情况下, 也可利用振动诊断方法开展在线监测与故障诊断; 静态设备也可以对其施加外来人工刺激, 通过检测静态设备对外来作用的动力学反应, 再根据动态特征进行诊断分析, 实现设备故障的检测。振动信号是一种十分经济、高效的手段, 在设备故障诊断中得到广泛的应用[2]。

本文将信号的数字化音频识别与模式滤波法等多种信号处理技术成果应用于油库电机、油泵故障的

检测诊断,研制开发了一套能够与目前的信号测试方法实现无缝连接的油库电机、油泵故障的早期检测,轴承故障快速、准确的识别诊断的振动信号测试分析技术,现介绍如下。

2. 振动信号的采集与预处理

2.1. 测量系统的安装及信号的采集

笔者在常州某中型油库开展了油库现场振动信号测试工作。具体测试了其中正在运转的一台离心泵。本次测量过程中笔者采用 2 通道的同步振动测量的方式,图 1 是实测振动信号波形图。由图 1 可见,不同测点的离心泵振动信号其时域波形差异很大,进行机械设备振动信号的测量,测点的选择非常重要。

采集并获取振动信号后,可以利用仪器所配备的软件开展 FFT 谱、功率谱 PSD、互谱,传递函数 FRF 分析,相干分析等常规振动信号处理,以便获得信号所蕴含的特征信息。本文采用课题组开发的振动信号测试软件来开展本课题的研究,具体的处理过程如图 2 所示。

2.2. 离心泵振动信号的预处理

1) 信号的数字化音频测试

在采集得到离心泵振动信号之后,可以将这些信号转化成为数字化音频信号,利用人耳强大的信号分辨能力,实现振动信号的初步识别处理。表 1 就是对离心泵振动信号进行音频识别的部分测试记录汇总。

利用数字化音频测试技术,可以获得每个通道振动信号完整的识别处理,从实测通道振动信号中截取得到一系列能够反映油库工况特征的信号,获得测量过程的各种细节信息,从而为下一步进行针对性的处理创造条件。

2) 离心泵振动信号的基元分段处理

在进行离心泵振动信号处理之前,需要获得振动信号的主频、信号振动成分的组成、离心泵转速等信息。为此,需要对振动信号进行预处理。文献[3]引入一种进行基元分段处理的自相关性系数方法,而实际的振动信号基元分段方法可以根据实际情况,选择不同的方法进行处理。本文提出了一种对离心泵振动信号基元分段的快速处理方法,具体的处理流程如下。

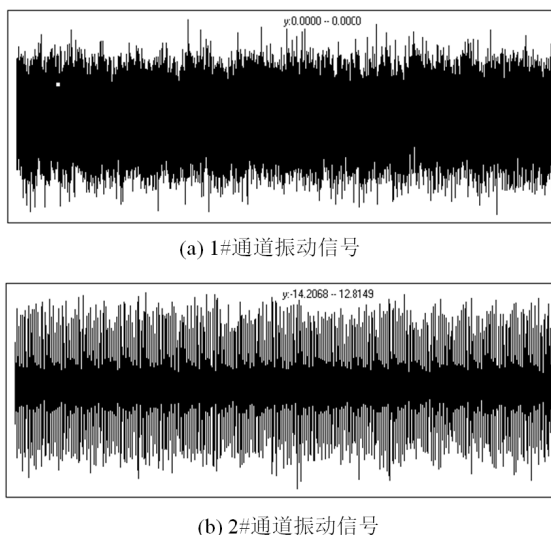


Figure 1. Multi-channel signals show
图 1. 分通道振动信号显示实例

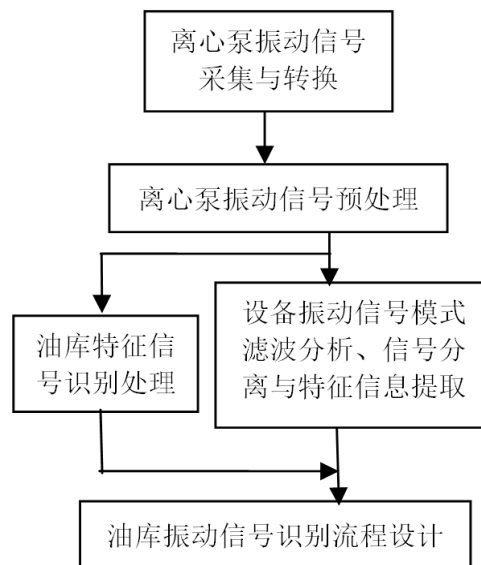


Figure 2. Vibration signal processing flow

图 2. 离心泵振动信号处理流程

Table 1. Recognition of centrifugal pump's vibration signal

表 1. 离心泵振动信号测试实例

序号	测试信号	测试结果描述	编号
1	REC0044_ch1_No2.wav	噪声很强的振动冲击信号, 由传感器底座还没有固结完整导致	44-1
	REC0044_ch2_No2.wav		44-2
2	REC0045_ch1_No2.wav	存在涡轮不平稳运转的声音、夹杂有滚珠的撞击振动及滴滴敲击声	45-1
	REC0045_ch2_No2.wav		45-2
3	REC0046_ch1_No2.wav	存在涡轮不平稳运转的声音、夹杂有滚珠的撞击振动及滴滴敲击声	46-1
	REC0046_ch2_No2.wav		46-2
4	REC0047_ch1_No2.wav	加注结束阶段录取得到的振动信号	47-1
	REC0047_ch2_No2.wav		47-2
5	REC0048_ch1_No2.wav	运输车装满, 停泵后, 工人操作地面输油臂等的声音	48-1
	REC0048_ch2_No2.wav		48-2
6	REC0049_ch1_No2.wav	从傍边另一台输油设备上传导的振动信号	49-1
	REC0049_ch2_No2.wav		49-2

- 1) 读入所要处理的离心泵振动信号 $\{y_i\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$;
- 2) 按下式(2-1)对振动信号进行均值化处理:

$$y_{mi} = \sum_{j=i-M}^{i+M} y_j \quad (1)$$

式中, M ——左右参与均值计算点数量;

y_{mi} ——第 i 个点的均值计算结果。

- 3) 利用均值化处理结果 y_{mi} ($i = 1, 2, 3, \dots, N$)进行离心泵振动信号的基元分段处理。

研究表明，离心泵振动信号的基元时长就是离心泵运转的周期。从基元分段的结果来看，基元段长平均值为 205 个采样点，折算成为时间可以得到 $205 \times 1000/10,240 = 20.02 \text{ ms}$ ，即 2997 rpm。也就是说，离心泵转速为 3000 rpm 左右。按照均值化基元分段结果对实测通道振动信号进行基元分段处理，可以获得表 2 的结果。为了处理方便，笔者将振动信号按照 4 个周期为一基元进行信号的基元分段处理。

3. 离心泵振动信号的模式滤波分析

1) 模式滤波法振动信号处理流程

本文采用文献[3] [4]介绍的模式滤波法来精细化处理离心泵振动信号。为了全面系统地了解离心泵的振动，笔者在油库收集整理了能够基本反映离心泵各种工况的振动信号。通过对这些信号的数字化音频识别与模式滤波法分析处理，将这些振动信号进行初步地识别与分类整理。在此基础上通过图 3 的流程，实现了离心泵振动信号的精细化识别处理。

图 3 中对振动信号引入文献[5]介绍的高阶平滑处理方法，并且将平滑阶数设定为 300。通过信号的

Table 2. Segmented results by the Basic Operation Unit Method

表 2. 离心泵振动信号基元分段结果表

序号	通道 1	通道 2	基本描述
1	 <p>REC0044_ch1_No2.dct</p>	 <p>REC0044_ch2_No2.dct</p>	1#通道主要为离心泵振动，夹杂上部电机轴承振动 2#通道振动信号主要为传感器底座未完全固结引发的振动，夹杂较弱的离心泵振动。
2	 <p>REC0045_ch1_No2.dct</p>	 <p>REC0045_ch2_No2.dct</p>	1#通道主要为离心泵振动，夹杂上部电机轴承振动 2#通道振动信号包含明显的晃动信号，夹杂较弱的离心泵振动。此时，底座已经固结完好。
3	 <p>REC0047_ch1_No2.dct</p>	 <p>REC0047_ch2_No2.dct</p>	1#通道主要为离心泵振动，夹杂上部电机轴承振动 2#通道振动信号包含明显的晃动信号，夹杂较弱的离心泵振动。
5	 <p>REC0048_ch1_No2.dct</p>	 <p>REC0048_ch2_No2.dct</p>	加注结束后，工人正在进行输油壁脱开、车辆离场操作期间记录的振动信号。

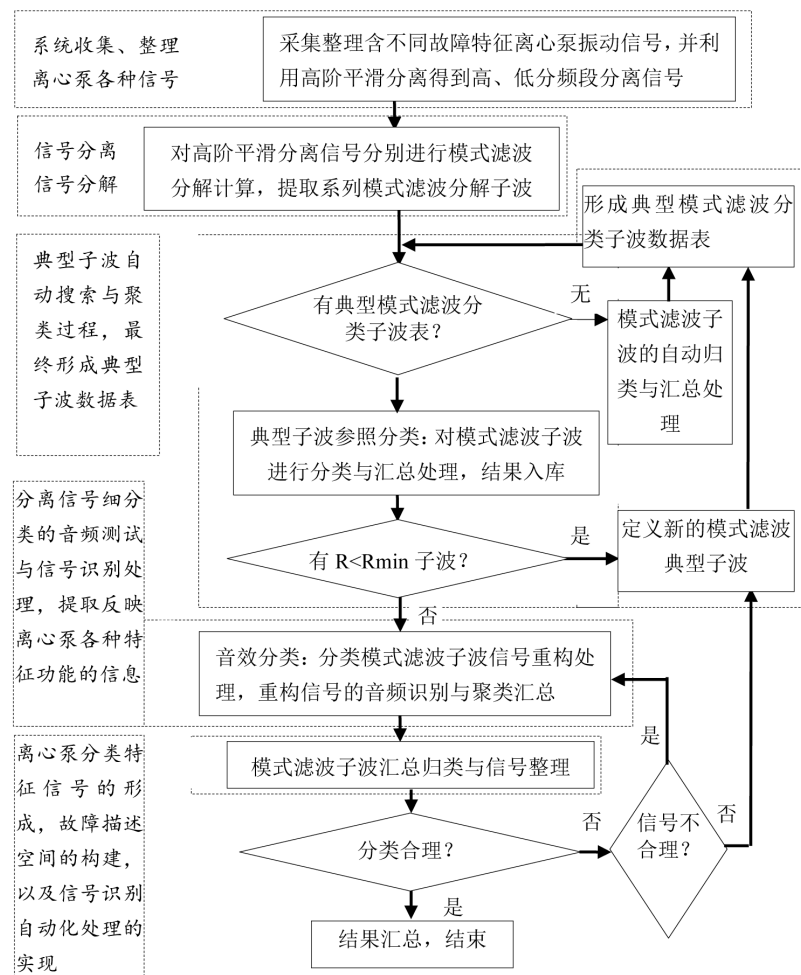


Figure 3. Processing flow of pattern filtering method

图 3. 模式滤波法处理流程

平滑处理进而完成离心泵泵体振动、基础振动、泵内部运动件撞击引发的低频冲击、油流流体动力学等振动成分，与泵内运动件摩擦、冲磨、轴承滚珠撞击等高频振动成分进行较为完整、合理的分离处理。平滑处理后的高频振动信号上可以更加清晰地了解高频振动的细节成分，确定各种微弱碰撞、冲击与摩擦振动信号。而低频信号曲线中可以直接获得泵体的冲击振动，从音效测试中获得运动件撞击和液流动的细节信息，确定离心泵工作是否正常。

当振动信号的信噪比高，泵振动强烈时可以直接从采集的振动信号中提取模式滤波子波。否则就需要利用高阶平滑方法对信号进行信号高低频及分离处理，对分离后的信号采用模式滤波方式处理，以确保信号分离的完整性，尽量减少因模式滤波方法自身不足导致的子波变异与信号混叠[6]。

对信号进行模式滤波分解计算处理，就是将振动信号分解成为一系列时频子波的过程，也是一种信号参数化表示的过程。只不过为了达到一定的精度，采用了较大量的最优匹配子波来实现对信号的精确表达。由于一开始并没有典型的离心泵振动信号模式滤波分类子波数据。为此，笔者采用渐进的方式从一个个振动信号的模式滤波分解子波中进行甄别、匹配、提取与汇总。首先采用模式滤波时频子波信号的自相关性系数的高低，来对时频子波进行分类与聚类处理。然后在一定的匹配水平下，将这一聚类结果与数据表中的典型子波进行比较、合并或添加处理，以实现典型模式滤波子波数据表的更新，并在

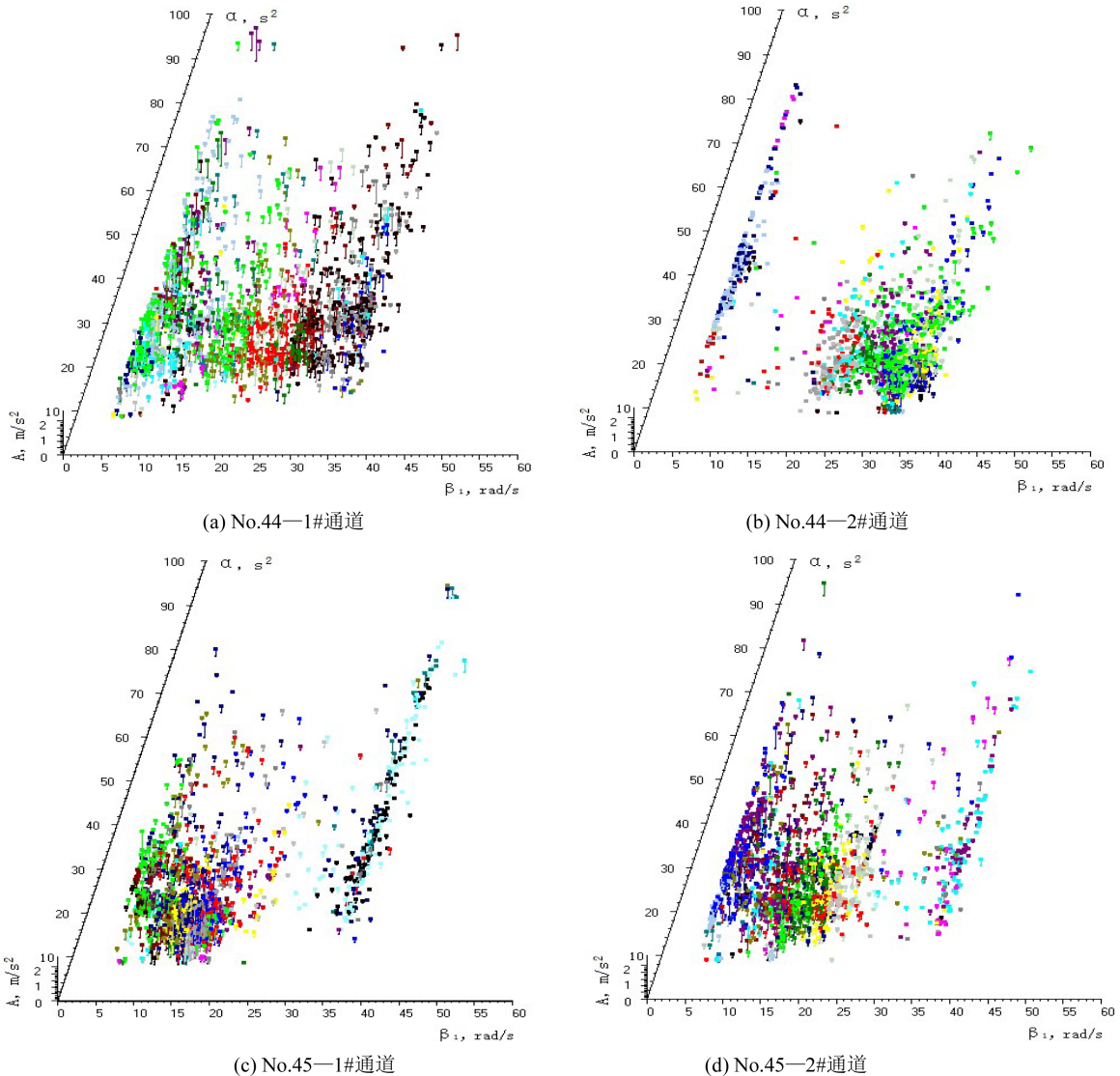
此基础上实现对离心泵模式滤波时频子波的归类处理。

为了方便起见,笔者将提取得到的模式滤波子波及其他相关参数信息都存入数据库保存,充分利用数据库对数据的强大管理和维护能力,降低数据管理的工作量。并利用数据库方便、快捷地实现模式滤波子波的自动分类、聚类和信号重构分离处理。

2) 离心泵振动成分分类测试结果分析

a) 信号模式滤波子波参数空间分布

采用信号的模式滤波分解处理,可以获得离心泵振动信号模式滤波分解后时频子波参数空间分布汇总结果,典型振动信号模式滤波处理结果如图4所示[7]。从图上可以看出,在“ α - β_1 - A ”三维空间中的模式滤波时频子波分布具有很好的相似性,特征时频子波往往在时频子波参数空间的特定位置聚集,利用特征时频子波的聚集特性可以实现各种特征信号的识别处理。图4中最明显的特点是时频子波在垂直 β_1 轴(或平行于 α 轴)上的聚集,这些时频子波往往反映不同尺度运动件,或不同尺度的振动,对应不同周期的振动特征。其中,靠近 α 轴的时频子波所对应的振动为基底和设备本体的振动,远离 α 轴、 β_1 轴数值最大所对应的振动是运动件中尺度最小的零件产生的振动,或尖锐接触产生的磨划振动。



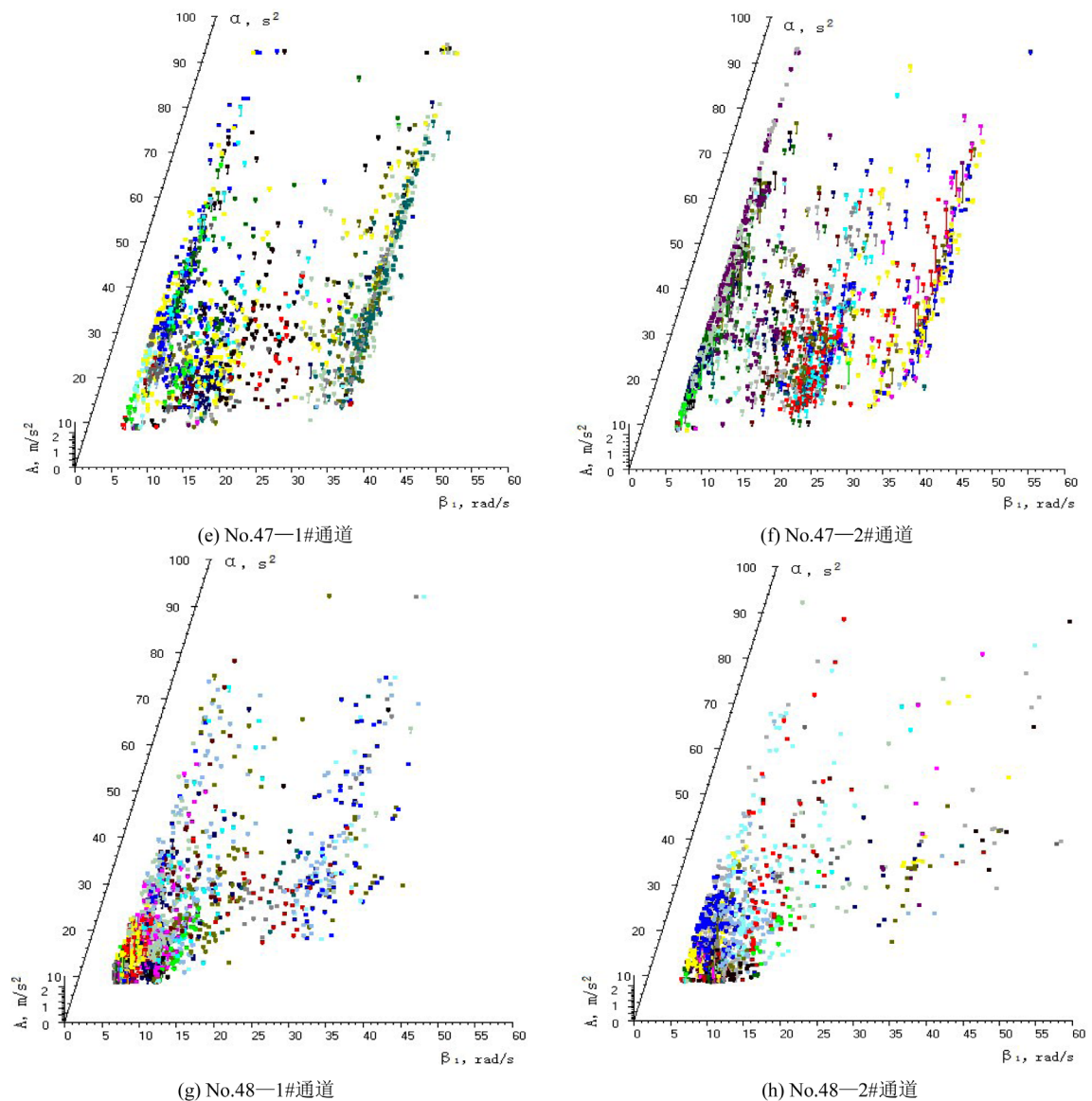


Figure 4. Typical wavelets of vibration signals of a centrifugal pump in the “ α - β - A ” space

图 4. 典型离心泵振动信号模式滤波波在 “ α - β - A ” 三维空间汇总

与此同时，时频子波的 α 数值大小往往反映的是产生该时频子波物理过程中载荷、压力、能量等环境因素的高低。就滚珠撞击而言， α 值越大，撞击过程中载荷越大。而 α 值越小，则撞击过程中外载越小，直至是松动撞击。

尽管在不同装置及振动系统中采集得到轴承振动信号的波形千差万别，但其分解后获得的模式滤波时频子波参数空间的分布具有特定的形式，比较离心泵时频子波空间分布，两者结构形状十分相似，并且结构稳定，具有很好的可比性。

b) 信号模式滤波典型子波的提取处理

对通过模式滤波计算获得的所有时频子波，通过参数与波形的相似性可以实现模式滤波典型时频子波的提取处理。根据相关性系数的不同，可以获得不同分辨程度的时频子波聚类结果。计算表明，当相关性系数 $R = 0.90$ 时，可以获得 407 类典型时频子波；当 $R = 0.875$ 时，可以获得 350 类典型时频子波；

当 $R = 0.85$ 时，典型时频子波有 226 类。以 $R = 0.925$ 为例，获得的典型时频子波参数情况参见表 3。这些时频子波在“ α - β_1 - A ”三维空间分布情况参见图 5。图 6 是对模式滤波时频子波进行分类后，重构获得的部分信号实例。

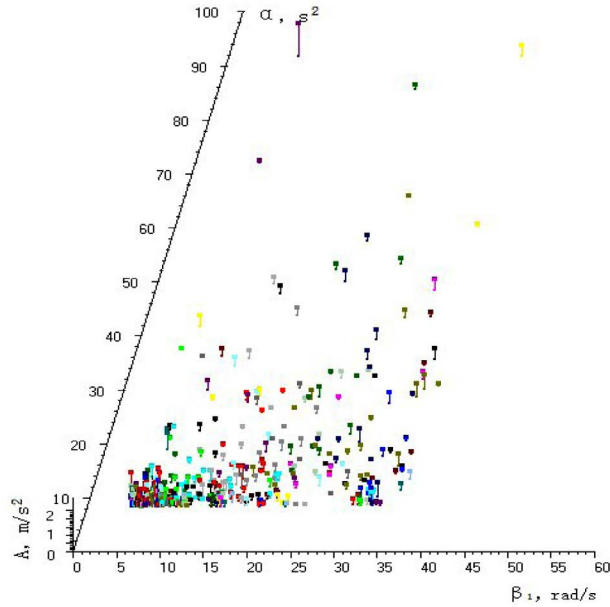


Figure 5. Wavelet distribution characteristic of vibration signal 6 classification

图 5. 振动信号子波平面分布特征

Table 3. Summary of time-frequency wavelet when the lowest correlation coefficient is 0.925

表 3. 相关性系数下限为 0.925 时部分典型时频子波参数汇总

序号	α s^{-2}	β_1 rad/s	β_0 rad	t_0 ms	A m/s^2	不同相关性系数归类结果			
						0.875	0.85	0.825	0.8
1	0.000	0.000	-1.303	34.833	1.649	1	1	1	1
2	0.097	0.000	0.654	64.167	0.502	2	2	2	2
3	0.015	0.045	0.728	68.250	1.011	3	3	3	3
4	0.016	0.071	-0.376	61.167	0.443	4	1	1	2
5	35.117	0.087	-0.076	228.167	0.000	5	4	4	4
6	0.994	0.096	0.197	592.583	0.266	6	5	5	5
7	0.568	0.109	-0.175	80.500	0.139	7	6	6	6
8	0.045	0.149	-0.831	198.250	1.000	8	7	7	7
9	0.000	0.160	-0.645	227.083	0.550	9	8	8	8
10	3.461	0.164	0.577	220.750	0.358	10	9	9	9
11	0.000	0.184	0.572	55.000	0.459	11	10	3	10
12	0.000	0.186	-0.744	288.750	0.547	12	11	10	1
13	0.093	0.228	0.784	431.417	0.823	13	12	11	11
14	0.000	0.259	0.858	298.583	0.399	14	13	12	12
15	0.396	1.043	0.836	276.333	0.252	31	24	9	20

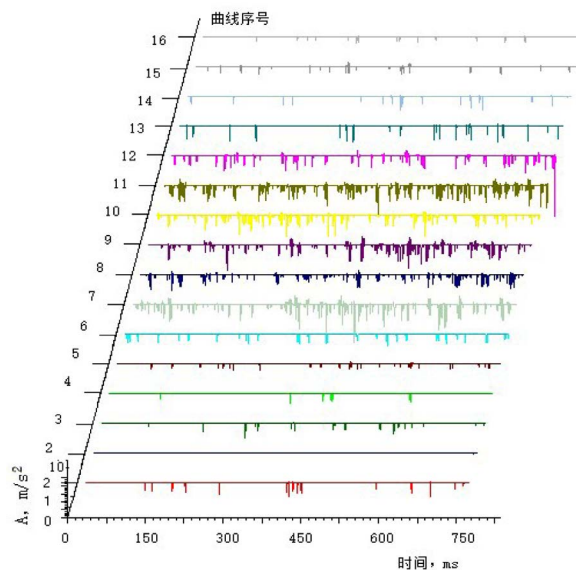


Figure 6. Reconstruction signal of centrifugal pump
图 6. 离心泵分类重构信号

c) 轴承振动信号的分离、分类与识别处理

1) 离心泵振动信号的分类与分离处理

利用表 3 的典型时频子波分类结果, 可以对保存在模式滤波数据库中的所有离心泵振动信号时频子波进行分类, 对分类后的时频子波进行信号的重构处理而获得相应的分类信号。对这些信号进行数字化音频测试处理, 可以实现信号的识别与归类处理。研究表明, 油库输油系统离心泵的振动信号的成分主要由底座和背景干扰、机体振动、离心泵流固耦合振动、电机和轴承端振动等部分组成。各部分组成的重构信号表现出显著的差异和特征, 利用该差异可实现对信号的分离、识别、特征提取及故障诊断处理等。图 7、图 8 就是离心泵和轴承振动信号分离处理的实例。

本文从相关系数为 0.925 的时频子波归类结果出发, 将 522 类时频子波归并成为 13 类, 部分结果可参见表 4。离心泵振动信号主要由离心泵、电机轴承、底座, 以及离心泵内部运动件撞击振动等及部分的振动组成。这些振动成分由于存在相互之间的耦合振动, 因此并不是一种独立的存在, 往往是以某一成分的振动为主, 其他成分则以较小的幅度相互混叠在一起。但基本上, 这些振动成分可以通过上述处理得到较好的分辨与分离处理。

2) 分类信号时域特征统计分析

按照前面 13 个大类的分类结果, 对时域子波按照原来的信号归属进行信号重构, 然后采用文献[8]介绍的方法对及重构后的信号进行时域参数统计处理, 与表 1 对应各分类信号的时域参数空间分布散点图参见图 9。其中, β_1 、 α 、 A 分别对应图 9 三维空间的 X、Y 和 Z 轴。从图上可以看出, 相同工况下不同类型振动信号时域参数的空间分布结果相近, 譬如图中的(a)和(c), (b)和(d), (e)和(g), (f)和(h)。因此, 可以利用分类信号的时域统计参数统计结果, 进行离心泵工况的快速识别与诊断。

4. 全文结论

通过本文的研究, 可以得出以下几点结论:

1) 应当科学、合理地选择振动测量方案与测点位置。本文采用多通道振动信号测试和数字化音频测试技术, 实现对离心泵振动信号的快速识别和故障诊断处理;

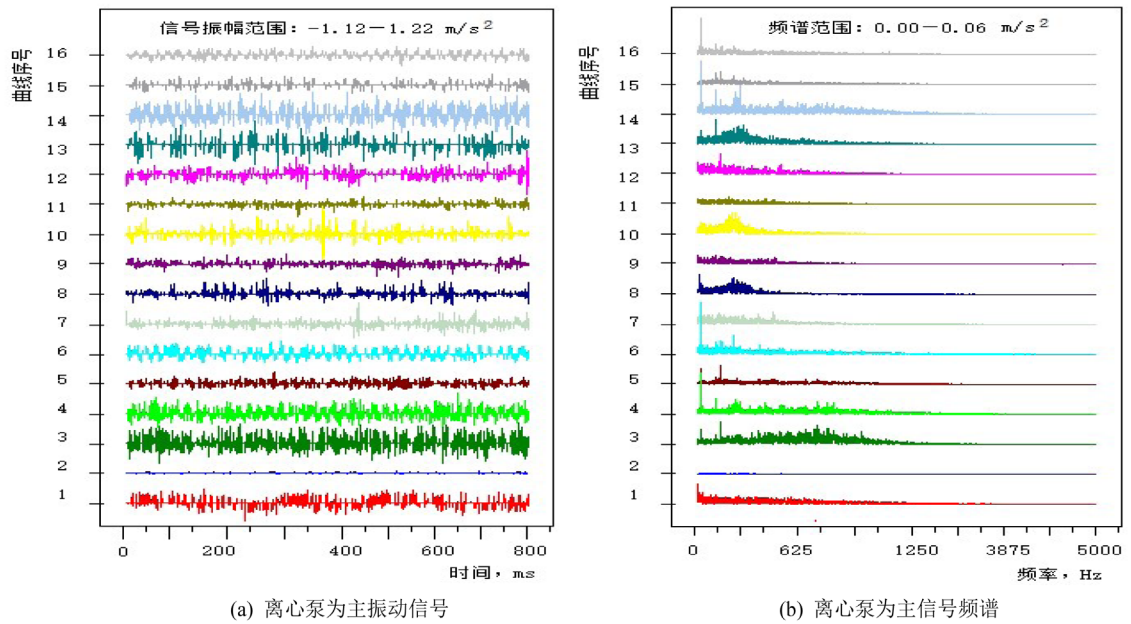


Figure 7. Vibration signal caused by centrifugal pump
图 7. 离心泵引发的振动分离信号

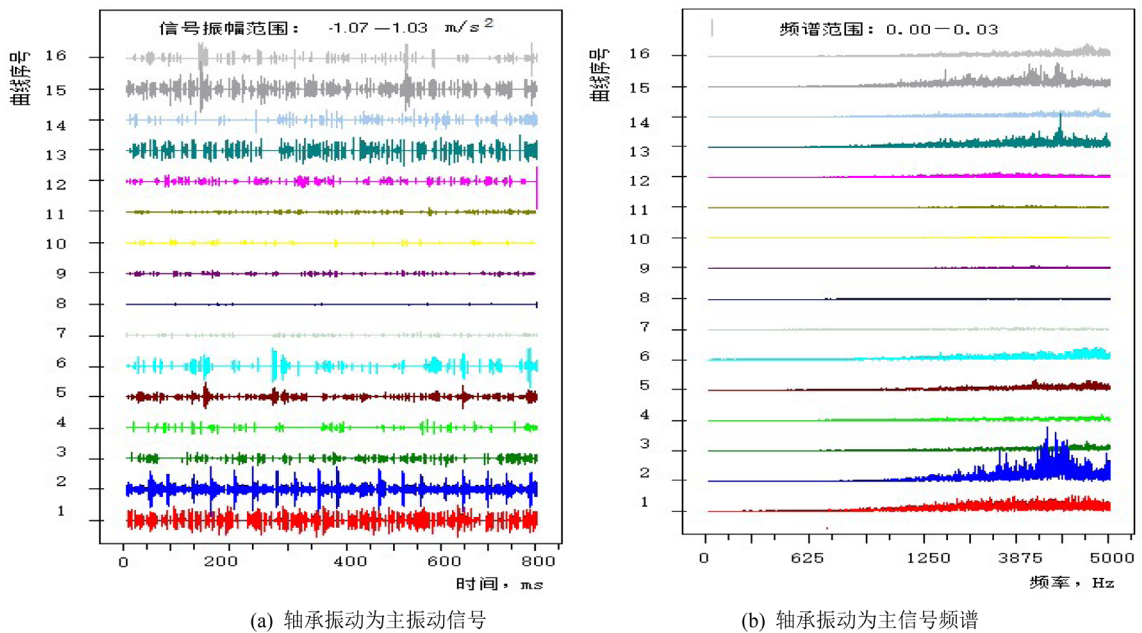
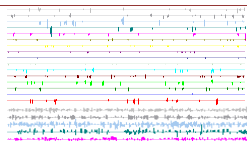
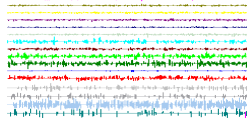
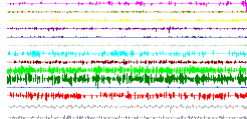
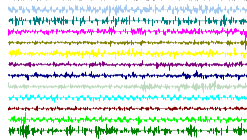
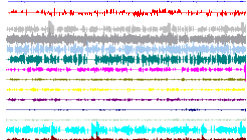
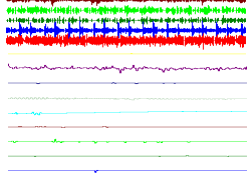


Figure 8. Vibration signal caused by bearing
图 8. 由电机轴承引发的振动分离信号

2) 利用均值化方法处理信号, 可以很好地突出离心泵振动信号的周期性特点, 继而方便地实现信号的基元分段处理。研究表明, 离心泵叶轮旋转周期与振动信号的基元时长相一致。应当充分利用机械设别运转过程中振动信号的周期性特点, 将信号进行基元分段处理, 在此基础上开展振动特征参数的统计分析, 以便提取设备运转的各种信息。

3) 采用模式滤波法处理离心泵基元振动信号, 进行振动信号时频子波的分解、聚类、同类子波信号

Table 4. Merging results of vibration signals of a centrifugal pump
表 4. 离心泵振动信号归并结果

分类序号	特征描述	子类序号	细类汇总
1	扎扎有害振动, 重载 撞击		5, 64, 121, 160
2	设备擦擦冲击摩擦		159, 259, 266, 269, 27, 281, 300, 305, 310, 31, 326, 396, 406, 408, 41, 411, 412, 413, 414, 41, 416, 420, 440
3	由设备引发的频率较 高的冲磨撞击		322, 324, 327, 332, 340, 341, 345, 349, 361, 362, 365, 366, 372, 376, 381, 387
4	离心泵运转振动		47, 49, 59, 69, 80, 113, 116, 118, 122, 123, 16, 214, 219, 235, 237, 24, 247, 249, 251, 252, 26, 262, 265, 278, 279, 283, 284, 294, 309, 311, 313, 315, 317, 323, 325, 328, 334
5	轴承滚珠撞击振动		382, 385, 388, 390, 39, 393, 394, 395, 397, 39, 402, 403, 407, 409, 410, 418, 419, 421, 423, 424, 425, 427, 428, 429, 43, 431, 432, 433, 436, 439, 441, 442, ..., 522
6	基底呼呼振动		1, 2, 3, 4, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 3, 36, 37, 42, 43

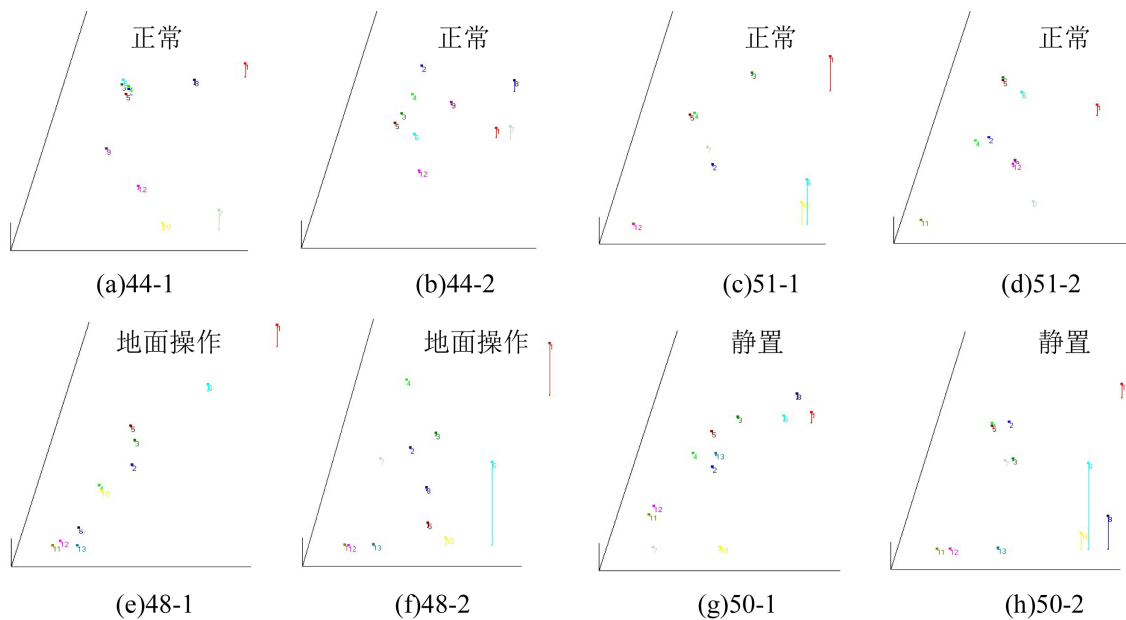


Figure 9. Statistical display of time domain parameters for centrifugal pump signal
图 9. 离心泵分类重构信号时域参数统计显示

的重构、识别，以及分类信号的归类处理，并最终将信号归并成为基底和泵体振动、电机轴承振动、流固耦合振动、泵零部件松动、背景干扰等 13 个大类的分类信号；

4) 在不同工况、不同条件下获得的油库振动信号，其各种分离信号的时域参数统计结果在参数空间中具有特定的分布形式，综合利用这些信息可以实现了离心泵振动各种混叠信号的分离，离心泵工况状态和故障的识别，以及泵况的量化描述处理。

参考文献 (References)

- [1] Atlas, L., Ostendorf, M. and Bernard, G.D. (2000) Hidden Markov Models for Monitoring Machining Tool-Wear. *IEEE. Proceedings of the Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Istanbul, 3887-3890.
- [2] Barrett, R.F. (1993) Frequency Tracking Using Hidden Markov Models with Amplitude and Phase Information. *IEEE Transactions on Signal Processing*, **10**, 2965-2976. <https://doi.org/10.1109/78.277803>
- [3] 吕苗荣, 古德生. 工程信号处理新方法探索——最优频率匹配法和模式滤波法研究与应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2014.
- [4] 吕苗荣, 王茜. 模式滤波法分离井场振动信号的应用实践[J]. 噪声振动与控制, 2010, 30(2): 107-110.
- [5] 吕苗荣, 陈志强. 检测识别钻井泵冲击振动信号的新方法[J]. 长江大学学报(理工卷), 2010, 7(2): 58-61.
- [6] 吕苗荣, 陈志强, 李梅. 机械设备声振弱信号分离的新方法[J]. 化工机械, 2011, 38(5): 525-530.
- [7] Lv, M.R., Lu, J. and Chen, Z.Q. (2012) BOU-Based Cycle Determination for Different Kinds of Mechanical Vibration Signals. *Applied Mechanics and Materials*, **220-223**, 2217-2223. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.220-223.2217>
- [8] 吕苗荣, 徐清武, 金瑞. 利用齿轮传动系统振动信号时域参数预测系统工况的研究[J]. 石油化工设备技, 2015, 36(3): 44-49.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2167-6631, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: met@hanspub.org