

机械设备 振动信号结构学

吕苗荣 张晓晶 著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

机械设备 振动信号结构学

吕苗荣 张晓晶 著

常州大学图书馆
藏书章



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书提出了一种基于功能特征的信号处理新方法,以模式滤波时频子波为信号最基本成分,详细考察了单一子波组合音效分布图的变化规律,研究了衰减因子参数的功能和作用。以钻井泵、轴承振动信号和语音信号为例,探讨了信号的结构与组成,建立了基于功能特征声振信号量化模型。通过精细化研究的途径,实现了信号分解、聚类、分离与功能特征识别的自动化处理。通过系统研究基元分段钻井泵振动信号与高低频分离信号时域统计参数的关联特征、功能特征信号或故障信号参数空间的变化关系,以及信号“峰值-峰位”几何分布的特征规律,结合信息融合方法建立了通用机械设备多分量声振信号自动聚类、识别与故障诊断的方法和流程,实现了钻井泵工况状态检测与故障诊断系统的研制。

本书对信号处理工作者、机械故障诊断工程师、科研院校相关领域科技工作者具有很好的参考价值,也可作为高校相关专业本科生、研究生的学习和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设备振动信号结构学/吕苗荣,张晓晶著. —上海:上海交通大学

出版社,2017

ISBN 978-7-313-18352-1

I. ①机… II. ①吕…②张… III. ①机械设备—机械振动—高等学校—
教材 IV. ①TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 273083 号

机械设备振动信号结构学

著 者:吕苗荣 张晓晶

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:谈 毅

印 制:常熟市文化印刷有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

字 数:342 千字

版 次:2017 年 12 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-18352-1/TH

定 价:98.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:18.75

印 次:2017 年 12 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-52219025

前 言

信号识别是一项基础性研究工作,具有十分重要的意义。在采用声振信号开展机械设备故障诊断领域,信号识别能力直接决定故障诊断的能力与水平。信号是有结构的,信号在介质传播过程中只有保持结构的稳定与相似性,人们才能在不同的地点实现同一种信号的识别,而人脑识别信号就是一种对信号结构进行匹配和全息响应的过程。本书提出了功能特征信号的概念来描述信号固有的特征,实现信号与自然现象之间的匹配和全息响应,并且将实际的信号看成是由一系列功能特征各异、大小不同,在规定的时点逐一出现,在传播过程中相互混叠、相互作用形成的,被测点传感器采集、记录的序列数据。从这一观点出发,如何获得功能单一、结构完整的功能特征信号?如何实现混叠信号内部各种功能特征分量信号的合理分离?如何从各种功能特征信号中提取得到物理现象较为全面的描述与信息的提取?这是摆在研究人员面前需要解决的三个关键问题。

本书围绕这三个关键的问题展开了大量的研究,构建了功能强大、通用的时频子波函数,分析了子波参数变化与自然界各种典型物理现象之间的联系。采用信号的模式滤波分解算法来分解、分离混叠、嘈杂的声振信号,并获得一系列功能单一、结构完整的时频子波信号。提出了机械设备和语音声振功能特征信号的量化结构模型,从基元信号的周期性、遍历性和完备性出发,分析了功能特征信号的基本特征、提取方法和分离途径。以钻井泵、轴承和机床车加工振动信号为例,开展了机械设备振动信号基于功能特征信号的分离、各种信号时域统计参数空间分布特征分析、系列功能特征信号参数与机械设备运行状态和故障之间量化规律构建等内容的精细化分析研究。在此基础上,构建了通用机械设备状态检测与故障诊断流程和软硬件系统。

本书的前6章属于机械设备声振信号结构学的基础理论篇,介绍了功能特征信号的定义,基于功能特征信号这一基本观点进行信号处理研究的基本

原理和方法;信号基元分段的依据,分段方法,基元信号结构的分析与描述,以及基于基元分段时频子波结构描述的声振信号数学模型的建立与应用。第7章~第9章是应用篇,详细介绍了钻井泵基元分段信号的分类、识别处理的原理与方法,以钻井泵和轴承振动信号为例,介绍了混叠信号基于功能特征信号分离、识别,以及机械设备工况检测与故障诊断的原理和方法。

第1章介绍了信号结构与功能,功能特征信号的概念。在此基础上重述了工程信号处理的几个基本观点与看法。

第2章简要介绍了信号、消息、信息的概念,信号的定义、组成和分类,并对目前的信号分类方法的合理性展开讨论。从完备与遍历性角度探讨振动信号基元分段的必要与合理性。用较为翔实的资料介绍机械设备振动信号结构、组成与演变规律,分析了钻井泵振动信号传播过程的衰减规律。结合钻井泵运动学和动力学知识,建立了钻井泵基元振动信号结构描述模型。

第3章介绍了时频子波和模式滤波法处理信号的基本原理与方法,以及典型时频子波。建立了基于基元信号时频子波组成和结构描述的声振信号数学模型,简要探讨了该模型在语音信号和钻井泵振动信号描述处理中的应用。在此基础上开展了较为系统的单音子组合音效分布图的研究。

第4章采用模式滤波法对振动信号中混叠的多分量功能特征信号展开详细的分析,介绍了混叠成分的精细化量描述处理的方法,以及钻井泵振动信号中各种混叠成分的时频子波分解、归类,信号分离、识别与多分量功能特征信号的特征提取处理流程,并从系统仿真的观点出发,以齿轮传动系统为研究对象,介绍了采用模式滤波法进行振动信号多分量混叠信号分离、振动信号结构描述处理的有效性与可靠性。

第5章详细介绍了采用基元分段、分段信号时频特征信息、分段信号时域统计参数的主成分分析方法,进行钻井泵基元分段信号分类处理的原理和方法。在对钻井泵基元分段信号进行合理归类,采用信号的数字化音测试技术有效识别各种分类信号的基础上,详细、全面地研究了各类信号时域统计参数之间的量化规律,时域统计参数联合分布与信号分类之间的联系,分析说明了时频分析方法和信号的时域参数统计方法,进行信号分类识别的长处与不足。

第6章建立了一种按照钻井泵基元分段信号“峰值-峰位”特点进行钻井泵振动信号快速识别的方法。讨论了各种类型的钻井泵基元分段信号“峰

值—峰位”分布的规律,利用瑞利分布和指数分布描述方法实现了各类信号“峰值—峰位”分布的量化统计与特征提取处理。在此基础上,采用 HMM 建模实现了钻井泵基元分段振动信号的有效、快速的识别处理。

第 7 章展开了钻井泵基于振动信号检测设备故障的方法研讨,开发了用于钻井泵工况检测与故障诊断的软硬件系统和设备。

第 8 章以美国凯斯西储大学电气工程实验中心提供的轴承振动信号(BDCVS)和常州大学轴承实验测试数据(CZBVS)为研究对象,开展了轴承振动信号的模式滤波法精细化分析处理研究,实现了轴承振动信号各种混叠分量的时频子波分解归类整理、多分量信号的分离、识别及信号特征参数的提取,建立了轴承工况状态与多分量功能特征信号之间量化规律的描述处理。在此基础上建立了基于振动信号进行机械设备状态检测与故障识别的系统流程和方法,设计了相应的装置和系统。

第 9 章初步探讨了模式滤波法在飞机复合材料损伤实验过程中裂缝开裂信号检测中的应用,通过对开裂信号的精细化模式滤波处理,实现了各种信号成分的合理分类处理。结合信号传输模型,完成了开裂过程时频子波的分类,以及传输模型参数的确定。为下一步开展开裂信号俘获,开裂定位检测和飞机复合材料故障诊断创造了条件。

第 10 章对全书进行了系统的总结,并对今后的研究提出了相应的建议和展望。

本书能够这么快地付梓出版,作者由衷地感谢家人为完成本书所付出的努力与牺牲,感谢常州大学机械工程学院裴峻峰教授在信号采集过程中给予的大力协助,感谢常州大学石油工程学院及石油工程系各位领导、同事的理解与帮助,感谢硕士研究生陆健、魏宝建、金育琦、徐清武、张迎等为资料收集、整理、声振实验测试等方面工作付出的辛勤劳动。

本书是《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》一书研究的继续,也是作者近几年辛勤研究的结晶。绝大部分成果为首次公开发表,具有较高的价值。但由于作者本人水平有限,时间仓促,书中存在的问题和不足,恳请广大读者批评指正。

著者

2017.10

符号注释

A 振幅, m/s^2 ; 管柱横截面积, m^2

A_m 齿轮啮合振幅, m/s^2

B_1 、 B_2 、 B_3 钻井泵三个缸套自身振动传递到测点的衰减系数, 量纲为 1

a_0 、 a_n 、 b_n 傅里叶系数

C_e 裕度指标

C_f 脉冲指标

C_{fs} 频谱散度

C_q 峭度指标

C_s 峰值散度

C_w 歪度指标

c 声波传播速度, m/s

c_1 、 c_2 振动波在复合材料试件中的左、右横波传播速度, m/s

$[c]$ 齿轮传动系统阻尼矩阵, $\text{N} \cdot \text{s/m}$

c_{a1} 、 c_{a2} 、 c_{a3} 齿轮传动系统 1#~3# 轴的轴阻尼系数, $\text{N} \cdot \text{s/m}$

c_{m1} 、 c_{m2} 齿轮传动系统 1#、3# 齿轮和 2#、4# 齿轮啮合等效阻尼系数, $\text{N} \cdot \text{s/m}$

d_i 、 d_o 管柱内、外直径, m

e 优化搜索计算精度

E 材料的杨氏弹性模量, Pa

f 频率, Hz

f_m 信号采样率, Hz

F 外载荷, N

g 重力场方向单位矢量

I_p 峰值指标

I 转动惯量

I_m 、 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 原动机、1#~4# 齿轮的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^4$

k 刚度系数, N/m

$k_{\min}$ 、 $k_{\max}$ 齿轮啮合最小与最大刚度系数, N/m

$[k]$ 齿轮传动系统刚度矩阵, N/m

k_{a1} 、 k_{a2} 、 k_{a3} 齿轮传动系统 1#~3# 轴的轴抗扭刚度系数, N/m

k_{m1} 、 k_{m2} 齿轮传动系统 1#、3# 齿轮和 2#、4# 齿轮相互啮合时的等效啮合刚度系数, N/m

L 管柱长度, m

M 信号采样点数量

$M_{\max}$ 优化搜索最大迭代次数

$[m]$ 齿轮传动系统转动惯量矩阵

N 频线数量或采样点数量

$\{p\}$ 齿轮传动系统外部作用力矢量, N

$p(x)$ 统计密度函数

Q_f 、 Q_w 、 Q_z 信号峰值曲线、峰位曲线和组合曲线

R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 1#~4# 齿轮节圆半径, m

$s_2(t)$ 、 $s_3(t)$ 复合试件 2#、3# 传感器上采集的实测信号

t 、 t_0 时间、初始时间, s

u 管柱轴向位移, m

x 管柱轴线方向线, m

$\{x_i\}$ 时间序列信号

$\bar{X}$ 、 $\bar{x}$ 平均值

x_0 统计密度函数自变量下限值

X_p 信号峰值

X_{rms} 有效值

$y(t)$ 信号时域波形函数

$y_k(t)$ 开裂振动时频子波波形函数

$y_{k2}(t)$ 、 $y_{k3}(t)$ 开裂振动时频子波传播到 2#、3# 传感器时振动信号波形函数

$Y(f)$ 信号频谱函数

ΔL_1 、 ΔL_2 试件测试段开裂点离左、右测点的距离, m

α 衰减因子, s^{-2}

α_{ij} 排液过程中钻井泵缸套 i 对缸套 j 的传递系数, 量纲为 1

β_0 时频子波初始相位角, rad

β_1 时频子波角速度, rad/s

β_2 时频子波系数, rad/s^2

β_{ij} 抽吸过程中钻井泵缸套 i 对缸套 j 的传递系数, 量纲为 1

ρ 钻柱材料密度, kg/m^3

η 阻尼系数, $\text{Pa} \cdot \text{s/m}$

μ 瑞利分布系数

μ_a 指数分布系数

η 振动阻尼系数, $\text{N} \cdot \text{s/m}$

θ_m 、 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 原动机、1#~4# 齿轮的振动角位移, rad

ω_m 齿轮啮合频率

第1章 机械设备振动信号处理概述

1.1 信号的特征与功能

1.1.1 概述

1.1.2 信号的特征与功能

1.2 机械振动信号的特征与功能

第2章 机械设备振动信号的特征与功能

2.1 信号的特征与功能

2.1.1 概述

2.1.2 信号的特征与功能

2.1.3 信号处理与信号分析

2.2 机械设备振动信号的特征与功能

2.2.1 概述

2.2.2 机械设备振动信号的特征与功能

2.2.3 机械设备振动信号的分析与处理

2.2.4 信号处理与信号分析

2.2.5 信号处理与信号分析

2.3 机械设备振动信号的特征与功能

第3章 信号特征提取与信号处理

3.1 信号分析

3.1.1 信号的特征与功能

3.1.2 信号的特征与功能

3.2 信号的特征与功能

目 录

第 1 章 机械设备振动信号处理概述	1
1.1 信号的结构与功能	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 功能特征信号	3
1.2 工程信号处理的几个基本观点	11
第 2 章 机械设备振动信号的结构与组成	12
2.1 信号源与信号结构	12
2.1.1 消息、信号与信息	12
2.1.2 信号的组成	13
2.1.3 信号处理与信号分类	21
2.2 机械设备振动信号的结构特征	27
2.2.1 振动信号的周期特征	27
2.2.2 机械设备振动信号基本单元的选择	29
2.2.3 基元信号的完备与遍历性	30
2.2.4 钻井泵液力端基元子分段信号分析	36
2.2.5 信号结构与振动系统的关系	50
2.3 机械设备振动信号结构描述模型	57
第 3 章 信号功能特征处理与信号分离	60
3.1 信号分离	60
3.1.1 干扰与信号分离	60
3.1.2 单通道信号的分离	61
3.2 信号的模式滤波法处理	63

- 3.2.1 信号的模式滤波参数化描述 63
- 3.2.2 功能特征信号参数的物理属性 65
- 3.2.3 几种典型的功能特征子波信号 69
- 3.3 信号结构模型的构建 79
 - 3.3.1 信号结构模型描述 79
 - 3.3.2 功能特征子波的时频特征 85
 - 3.3.3 钻井泵液力端振动分段信号结构模型 92
- 3.4 钻井泵振动信号结构模型分析 93
- 3.5 单子波组合音效分布图研究 99

第4章 钻井泵振动信号时域结构的精细化处理 106

- 4.1 钻井泵振动信号的模式滤波分析 107
 - 4.1.1 模式滤波法处理流程 107
 - 4.1.2 钻井泵振动成分分类测试结果汇总 109
 - 4.1.3 模式滤波法信号归类处理 117
- 4.2 钻井泵高低频振动信号识别分析 121
- 4.3 机械设备振动信号仿真分析 122
 - 4.3.1 齿轮传动系统动力学方程 122
 - 4.3.2 齿轮传动系统动力学仿真 124
 - 4.3.3 齿轮传动系统仿真信号建模研究 126

第5章 振动信号的识别、聚类与时频域分析 131

- 5.1 钻井泵振动信号的分段汇总与识别处理 132
 - 5.1.1 钻井泵振动信号分段软件的开发 132
 - 5.1.2 分段信号识别与分类汇总 136
- 5.2 分段信号时域的参数联合分布研究 142
 - 5.2.1 时域统计参数 142
 - 5.2.2 时域统计参数联合分布 146
 - 5.2.3 钻井泵分段信号时域参数联合统计特征分析 148
 - 5.2.4 钻井泵高低频振动信号时域参数统计 158
 - 5.2.5 时域统计参数不足 164
- 5.3 振动信号动态时域特征参数主成分分析 167
 - 5.3.1 主成分分析的处理流程 167
 - 5.3.2 钻井泵振动信号主成分分析 169

5.3.3 钻井泵分段信号与特征向量系数的关系 172

第6章 信号几何特征信息的提取 178

- 6.1 钻井泵振动信号峰值与峰位数据的整理 178
 - 6.1.1 钻井泵振动信号的细分段处理 178
 - 6.1.2 钻井泵振动信号“峰值-峰位”曲线分类整理 182
- 6.2 钻井泵振动信号峰值数据处理 183
 - 6.2.1 钻井泵振动信号“峰值-峰位”曲线分类处理 183
 - 6.2.2 钻井泵振动信号峰值统计分析 185
 - 6.2.3 振动信号峰值统计模型的缺陷 192
- 6.3 钻井泵振动信号峰值与峰位隐马尔科夫模型 193
 - 6.3.1 “峰值-峰位”散点 HMM 模型的运行 197
- 6.4 钻井泵基元分段信号识别处理 198

第7章 钻井泵振动信号识别研究与应用 199

- 7.1 信号识别研究概述 199
- 7.2 钻井泵振动信号识别流程 199
- 7.3 钻井泵振动信号识别模型的建立 201
- 7.4 钻井泵分段信号测试结果汇总 202
- 7.5 钻井泵故障诊断系统的研制与开发 208
 - 7.5.1 概述 208
 - 7.5.2 钻井泵故障诊断系统的组成与工作原理 210
 - 7.5.3 钻井泵故障诊断系统实施方法与处理流程 213

第8章 轴承振动信号的模式滤波分析 217

- 8.1 轴承振动信号的整理 218
- 8.2 轴承振动信号的模式滤波分解处理 221
- 8.3 轴承振动信号特征提取与分析 231
- 8.4 机械设备状态检测与故障诊断的模式滤波法处理 239
 - 8.4.1 概述 239
 - 8.4.2 机械设备状态检测与故障诊断系统的组成 241
 - 8.4.3 模式滤波法处理基本诊断流程 243
 - 8.4.4 机械设备故障诊断系统应用前景分析 247

第9章 飞机复合材料损伤实验模式滤波分析 249

9.1 飞机复合材料振动系统信号的采集与测试 249

9.1.1 振动测试系统概述 249

9.1.2 声振信号的识别与预处理 252

9.1.3 试件开裂阶段振动信号的截取 254

9.2 飞机复合材料试件开裂振动信号模式滤波处理 257

9.2.1 振动信号时频子波分解与聚类处理 257

9.2.2 振动信号时频子波的分区归类处理 260

9.3 开裂过程量化模型的建立与应用 264

9.3.1 振动信号传输模型的建立 264

9.3.2 振动信号时频子波模型参数的确定 266

第10章 结论与展望 275

参考文献 279

索引 286

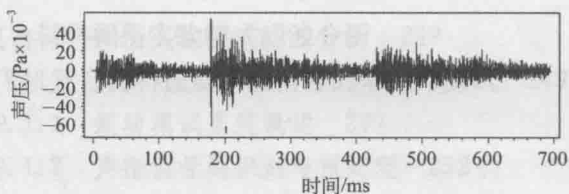
第 1 章 机械设备振动信号处理概述

1.1 信号的结构与功能

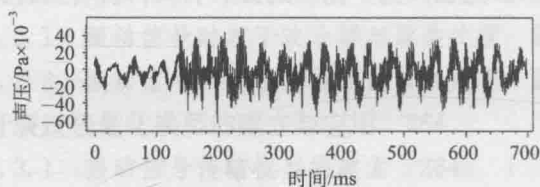
1.1.1 概述

信号波形是光、声、电等运动着的各种物质结构形态和图像,被传感器接收后的一种表现形式,它承载着物理世界正在发生着的变化信息。信号波形具有特定的物理内涵,以声信号为例,同一个信号采用不同的频率播放,会获得特征相同,但与之对应的实际发声物体的物理结构尺寸各有差异的声音效果;频率越高,发声物体的物理尺寸就越小。例如,图 1-1(a)是一个常见的货郎敲盆所发出的“当当当”声信号,如果将这个信号波形以不同的频率播放,获得的声效犹如敲击不同尺寸的铁盆所发出的声音。如果频率降低 $1/2$ 播放,敲击声就转变成成为敲锣声。若再进一步频率降低至 $1/4$ 播放,敲击声则由小锣声转变成大锣声,并且声音变得低沉而缓慢。由于图 1-1(a)声信号的波形没有任何改变,改变的只是信号的播放频率。由此可见,人脑在整理这些信号的时候实际上是基于同一个声效模型,只不过频率不同,所对应的实物模型尺寸有所不同。

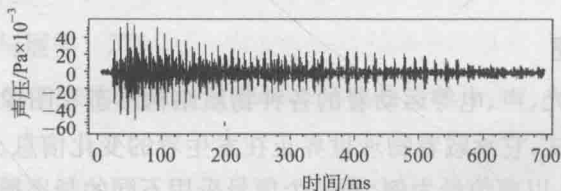
类似地,图 1-1(b)是器乐打击发出的“当”信号。如果将频率提高 1 倍播放,该信号仍然是器乐信号,但声效转变成成为短促的“叮”声,对应器乐的音质似乎也有所改变。反之,如果将频率降低 1 倍,声效就转变成成为悠悠的“噤”声。频率的变化改变了器乐的种类,但仍然没有改变是击打乐器所发出的声音这一声效本质。图 1-1(c)是一个男生发出的汉语音节“啊”声信号。同样可以通过改变信号的播放频率,将该信号转变成成为女声“啊”信号,甚至是低沉、悠然而富有穿透力的牛叫般“啊”声信号。声效变化了,但这种“啊”声来源于动物声腔这一声源特征没变。



(a)



(b)



(c)

图 1-1 不同频率播放各种声音声效实例

(a) 敲击铁盆声信号 (b) 击打器乐声信号 (c) 男生“啊”声信号

为什么在生活中似乎风马牛不相及的物体所发出的声信号,在人类的大脑中实现了频率改变后对认知物体识别的巨大转变呢?由此可见,人脑遵循着我们还不太熟悉的新方式对物理世界的声信号进行描述、抽象与归类。但不管信号的播放频率如何改变,这一信号所发出的声效本质并不因频率的改变而发生转变,即不会由于播放频率的变化,将一个铁盆敲击发出的信号转变成为敲钟信号、胡琴信号、钢琴信号,甚至是动物或其他声信号。由此可见,不同材质发出的声信号,其时域波形是有差别的,并不是我们一般所想象的那种利用傅里叶变换,采用正弦、余弦或者是其他波形函数进行简单的叠加就可以模仿的。在一类与另一类材质不同所发出的声信号之间,反映材质的声效本质不会因为播放频率的变化而发生改变,那它又是受哪些因素的控制呢?

实例表明,信号还有其自身的结构特征。例如,图 1-2(a)是一个男生发出的“旋律”声信号。但如果对这个声信号按照图 1-2(a)给定的时段进行播放,又会转变成为“权利”和“隼(juan)力”声信号,这一声效的转变是有规律可循的。图 1-2(b)又是另一个这样的实例。显然,这是语音声信号结构特征在时域中

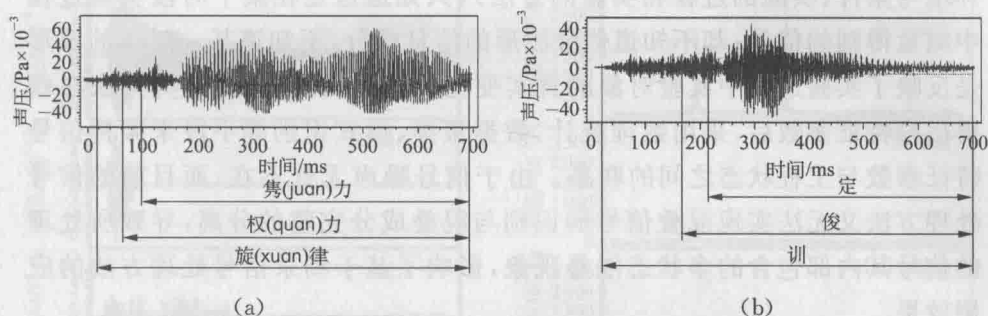


图 1-2 语音信号结构实例

(a) 汉语“旋律”一词声效 (b) 汉语“定”音节声效

的一种表现。

人类的语言具有结构特征,这也是语音信号处理工作者们给予极大关注的问题。动物之间交流所发出的声信号也具有特定的结构,在动物之间进行交流的同时,也给我们提供了各种悦耳动听的声音。推而广之,自然界各种物体的振动也同样具有语言特征,只不过对这种特征我们目前还知之甚少罢了。自然界的各种信号是怎样的一个结构呢?这是一个显得深奥,但极富吸引力的问题。笔者以语音信号和机械设备声振信号为研究对象,以信号的基元分段处理为基本手段,结合研究对象受力与运动之间的变化规律,对上述问题开展了一定的研究和探索。

本书是文献[1]研究的继续,在本书的研究中大量引用了文献[1]提出的理论、方法和技术,如信号的基元分段处理,声振信号数字化音频测试技术,信号的模式滤波法处理等。利用这些信号处理工具实现声振信号干扰排除、特征提取、信号建模,以及信号识别与故障诊断处理。在此基础上提出了信号完整性和遍历性概念,用钻井泵基元振动信号的波形变化特征来合理解释钻井泵故障,实现了钻井泵故障与振动信号波形之间的沟通与联系,对钻井泵振动信号的结构及变化规律开展了有益的探索。通过围绕信号识别采用多种方法开展研究,最终采用分层次多方法融合实现了信号的有效识别处理。

1.1.2 功能特征信号

1) 定义

采用何种信号处理方法与策略来研究信号是一个需要引起重视的问题。目前的信号处理方法可以归属为基于场景的信号处理方法,因为在信号分析、识别与特征提取过程中,事先只知道信号的来源与类型(即实验的

环境与条件、实验的过程和实验的方法),只知道这是在某个时段实验过程中测量得到的信号;却不知道信号波形的信息成分,不知道某一时段的波形是反映了实验过程中实验对象的真实变化,还是一种干扰。这类方法在获得信号特征参数后,采用数理统计、数据聚类、模式识别等手段来架构信号特征参数与工程状态之间的联系。由于信号噪声无处不在,而目前的信号处理方法又无法实现混叠信号的识别与混叠成分完整的分离,导致所处理的信号其内部包含的多状态混叠现象,影响了基于场景信号处理方法的应用效果。

针对这一问题,笔者以机械设备振动信号为研究对象,提出一种基于功能特征的信号处理新方法。所谓信号的功能特征是指自然界某个单纯物理过程动态演变产生的信号,其内部所包含的行为、状态、作用及效果等信息的总称。例如,在无噪声环境下一口理想的钟被一个钟锤敲击所发出的钟声信号,其内部就包含钟的尺寸、材料、敲击类型、敲击力大小等全方位的信息,我们将这些信息的总和称为钟声的功能特征信息,相应的信号为功能特征信号。文献[1]介绍了一种把声信号、振动信号、电信号等动态时变信号转换成为数字化音频信号,利用人耳分辨信号的强大功能来区分各种具有“功能特征”信号的数字化音频测试技术。本书以数字化音频测试获得的功能特征信号作为基本的信号单元,来开展机械设备振动信号分离、特征提取、随机信号建模等系列研究工作。

一个完整的功能特征信号包含两个层次的认识:①物理现象单一、时域波形完整、没有受污染或污染很小的物理信号;②信号承载反映这一物理现象的行为、状态、作用及效果等全方位的信息。这两部分相辅相成、缺一不可。为了能够对功能特征信号的定义有更好的认识,现举例如下。

2) 几个实例

例1:图1-3(a)最上部就是一个实测撞击声信号,采用文献[1]介绍的模式滤波法可以从该信号中提取得到各种时频子波,对这些时频子波进行分类处理,最终可将其分成11类。在删除背景干扰和1、2、10类噪声时频子波后,就可以得到图1-3(c)中反映这一撞击声信号的归类时频子波。对这些归类时频子波做合理的组合,并对组合后的子波进行信号重构可得到图1-3(a)下部三类不同的信号,分别代表冲击信号、冲击后物体的摩擦跳动信号和谐振冲击传播振动信号。图1-3(b)则是各种信号所对应的频谱图形。由此可见,图1-3(a)的实测声信号中除了噪声以外,起码包含有三类功能特征信号,即敲击、跳动摩擦和谐振传播信号。