

机械信号处理 及其应用

● 李力 等 编著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

机械信号处理及其应用

李 力 等编著

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

机械信号处理及其应用/李 力 等编著. —武汉:华中科技大学出版社,2007 年 8 月

ISBN 978-7-5609-4121-9

I. 机… II. 李… III. 信号处理 IV. TN911.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124973 号

机械信号处理及其应用

李 力 等编著

策划编辑:徐正达

责任编辑:刘 勤

责任校对:朱 霞

封面设计:潘 群

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:15.25

字数:267 000

版次:2007 年 8 月第 1 版

印次:2007 年 8 月第 1 次印刷

定价:22.80 元

ISBN 978-7-5609-4121-9/TN·112

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书介绍机械信号的测量方法、测试系统、预处理和常用处理方法。相关章节的内容按机械信号测量—预处理—处理—应用的完整体系展开,着重介绍时域方法、频域方法、时频域方法以及它们在机械信号处理中的应用。此外,还介绍近年来发展的一些机械信号处理新方法,如经验模式分解、循环统计量、盲源分离等方法。本书融入作者在长期教学和科研工作中积累的经验与成果,阐述问题深入浅出、循序渐进,各种方法的应用实例大多采用实测机械信号,为处理结果赋予工程实际意义。同时配合相关章节的内容,提供一些方法的 Matlab 编程实验,以便验证算法,观察效果,加深对所学知识的理解,达到锻炼和培养学生动手解决问题的能力。

本书可作为高等学校机械类专业本科生和研究生的教材,也可供机械工程相关领域的工程技术人员使用,或作为继续教育培训的参考教材。

前 言

自 20 世纪 80 年代以来,信号处理的基本理论、方法和技朧得到了迅速发展和广泛应用,为许多学科和专业的发展打下了坚实的基础。由于不同领域所针对的信号差别很大,如通信信号大多为人工信号,天气等自然信号大多为缓慢变化的随机信号,因此,所用的信号测量手段和信号处理方法也应有所不同或侧重。在机械工秳领域,大多数信号为机械设朧运行状态下的动态信号,由于机械零部件之间的相互运动,加之安装不当、环境干扰及自身故障等因素,使得机械信号比较复杂。为此本书针对机械专业信号的这些特点,着重介绍机械信号的测量和处理方法,力图使学生能够很好地掌握有关机械信号测量、分析和处理的基本概念、基础知识和基本方法,并能应用所学知识解决实际问题,为进一步学习和研究奠定必要的基础。

本书介绍机械信号的特性、测量方法和处理基础知识,着重介绍时域方法、频域方法、时-频域方法以及它们在处理机械信号中的应用。此外,还介绍几种近年来发展的机械信号处理新方法,如经验模式分解方法、循环统计量方法、盲源分离方法等。全书共分 8 章,第 1 章为绪论,第 2 章介绍机械信号处理常用的数学变换,第 3 章介绍机械信号的测量,第 4 章介绍机械信号的预处理,第 5 章介绍机械信号的时域处理方法及应用,第 6 章介绍机械信号的频域处理方法及应用,第 7 章主要介绍几种机械信号的时频分析方法及应用,第 8 章简要介绍机械信号处理的几种新方法。

书中内容按机械信号测量—预处理—处理—应用的完整体系展开,循序渐进。大量采用实测机械信号,并提供一些处理方法的 Matlab 仿真程序和实验来配合相关章节内容,锻炼和培养学生动手解决问题的能力。内容编排上力求赋予信号处理结果以工秳实际意义,以便更好地理解处理方法的工秳内涵。同时还介绍一些较新和较难的信号处理方法,以满足不同层次读者的需求。

本书的编写融入了作者长期从事机械信号测试与处理的教学经验和科研成果,参考并汲取了国内外信号处理类教材和相关书籍的精华。

本书第3章由赵美云编写,第7章部分由陈保家编写,其他由李力编写,部分文字录入工作由硕士研究生唐茗、蒋宇、张园等完成。在本书编写和出版过程中,还得到了三峡大学重点建设学科建设基金的资助,在此一并表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中存在一些不妥之处在所难免,恳请同行专家及广大读者指正。

作 者

2007年3月

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 机械信号处理的基本概念和作用	(1)
1.2 信号处理技术的发展概况	(2)
1.3 机械信号处理的应用简介	(4)
1.3.1 在机械振动和结构设计中的应用	(4)
1.3.2 在产品质量和自动控制中的应用	(5)
1.3.3 在机械监测和故障诊断中的应用	(5)
1.4 本书的宗旨和内容安排	(6)
第 2 章 信号处理中常用的数学变换	(8)
2.1 傅里叶变换	(8)
2.1.1 傅里叶级数	(8)
2.1.2 傅里叶积分	(11)
2.1.3 傅里叶变换	(12)
2.1.4 卷积与相关函数	(14)
2.2 拉普拉斯变换	(16)
2.2.1 拉普拉斯变换的概念	(16)
2.2.2 拉普拉斯变换的性质	(17)
2.2.3 拉普拉斯变换的应用	(18)
2.3 Z 变换	(20)
2.3.1 离散时间序列与 Z 变换	(20)
2.3.2 Z 变换的性质	(21)
2.3.3 Z 逆变换	(22)
2.4 希尔伯特变换	(22)
2.4.1 希尔伯特变换的定义	(22)
2.4.2 希尔伯特变换的性质	(24)
2.4.3 希尔伯特变换表	(25)
第 3 章 机械信号的分类与测量	(27)
3.1 测量系统的组成	(27)
3.2 机械信号的分类	(28)
3.2.1 确定性机械信号	(29)

3.2.2 随机机械信号	(31)
3.3 测量系统的特性	(34)
3.3.1 概述	(34)
3.3.2 线性测量系统基本性质	(35)
3.3.3 测量系统的静态特性	(36)
3.3.4 测量系统的动态特性	(38)
3.3.5 不失真测量条件	(41)
3.4 常见机械信号的测量	(43)
3.4.1 传感器的分类	(43)
3.4.2 电阻式传感器	(43)
3.4.3 电感式传感器	(46)
3.4.4 电容式传感器	(51)
3.4.5 压电式传感器	(54)
3.4.6 磁电式传感器	(57)
3.4.7 光电式传感器	(60)
3.5 测量系统的选择与调试	(63)
3.5.1 测量方案选择	(63)
3.5.2 测量方案选择原则	(65)
3.5.3 测量系统的安装	(65)
3.5.4 测量系统的调试	(69)
3.6 Matlab 编程实验	(71)
3.6.1 Matlab 简介	(72)
3.6.2 观察吉布斯现象	(75)
3.6.3 观察系统特性参数对测量结果的影响	(75)
第4章 机械信号的预处理	(77)
4.1 信号的放大	(77)
4.1.1 运算放大器	(77)
4.1.2 测量放大器	(78)
4.1.3 电荷放大器	(79)
4.2 信号的滤波	(80)
4.2.1 理想模拟滤波器	(81)
4.2.2 实际模拟滤波器及其基本参数	(82)
4.2.3 模拟滤波器的设计	(84)
4.3 信号的调制与解调	(87)
4.3.1 幅度调制	(88)

4.3.2 频率调制	(93)
4.4 信号的数字化方法	(96)
4.4.1 采样、混频和采样定理	(97)
4.4.2 量化和量化误差	(98)
4.4.3 截断、泄漏和窗函数	(99)
4.4.4 选择模数转换模块的基本技术指标	(101)
4.5 Matlab 编程实验	(102)
4.5.1 模拟滤波器设计	(102)
4.5.2 振幅调制信号的产生	(104)
第5章 机械信号的时域处理方法及其应用	(105)
5.1 时域波形的合成与分解	(105)
5.1.1 稳态分量与交变分量	(105)
5.1.2 偶分量与奇分量	(105)
5.1.3 实部分量与虚部分量	(105)
5.1.4 正交函数分量	(107)
5.2 时域统计特征参数处理方法	(107)
5.2.1 有量纲型的幅值参数	(108)
5.2.2 无量纲型参数	(108)
5.2.3 高阶统计量指标	(110)
5.3 信号的幅值分布特性	(112)
5.3.1 概率密度定义	(112)
5.3.2 二维联合概率密度函数	(114)
5.3.3 典型信号的概率密度函数	(115)
5.4 相关分析方法及其应用	(119)
5.4.1 相关函数	(119)
5.4.2 自相关函数性质及其应用	(122)
5.4.3 互相关函数性质及其应用	(124)
5.5 Matlab 编程实验	(126)
第6章 机械信号的频域处理方法及其应用	(128)
6.1 频谱分析方法	(128)
6.1.1 确定性信号的频谱	(128)
6.1.2 离散傅里叶变换与快速傅里叶变换	(135)
6.1.3 随机信号的功率谱密度	(138)
6.2 功率谱方法的应用	(143)
6.2.1 频率响应函数估计	(143)

6.2.2 求相干函数	(143)
6.3 倒频谱分析方法	(144)
6.3.1 倒频谱的概念	(144)
6.3.2 倒频谱与解卷积	(145)
6.3.3 倒频谱的应用	(146)
6.4 细化谱分析方法	(147)
6.5 Matlab 编程实验	(149)
6.5.1 信号的频谱分析	(149)
6.5.2 功率谱估计方法	(149)
6.5.3 ZOOM-FFT 与 FFT 的比较	(152)
第 7 章 机械信号的时频域分析方法及其应用	(155)
7.1 时频分析的基本概念	(155)
7.1.1 傅里叶变换的时间和频率定位功能	(156)
7.1.2 傅里叶变换的时频分辨率	(158)
7.1.3 时频分析方法的发展	(159)
7.2 信号的多分辨率分析	(160)
7.3 信号的时宽与带宽	(163)
7.3.1 时宽与带宽的概念	(163)
7.3.2 不确定原理	(165)
7.4 信号的分解	(166)
7.4.1 信号分解的概念	(166)
7.4.2 信号的正交分解	(168)
7.5 短时傅里叶变换	(169)
7.5.1 连续信号的短时傅里叶变换	(169)
7.5.2 离散信号的短时傅里叶变换	(174)
7.6 魏格纳-威利时频分析方法	(175)
7.6.1 魏格纳-威利分布的定义和性质	(175)
7.6.2 WVD 的性质	(176)
7.6.3 WVD 的缺点	(180)
7.6.4 几种典型信号的 WVD	(180)
7.7 小波分析方法及其应用	(182)
7.7.1 小波变换的定义	(182)
7.7.2 小波变换的特点	(183)
7.7.3 离散小波变换	(186)
7.7.4 机械信号处理中常用的小波	(187)

7.7.5 应用实例	(189)
7.8 Matlab 编程实验	(194)
7.8.1 观察窗函数的形状和长度对 S_{TFT} 的影响	(194)
7.8.2 观察 WVD 产生干扰项的问题	(195)
7.8.3 观察小波分析结果	(196)
第 8 章 机械信号的其他处理方法及其应用	(198)
8.1 经验模式分解方法	(198)
8.1.1 EMD 的基本概念	(198)
8.1.2 EMD 方法原理	(200)
8.1.3 EMD 方法的特点	(203)
8.1.4 EMD 方法的应用	(205)
8.2 循环统计量方法	(206)
8.2.1 机械信号的非平稳性和循环平稳性	(207)
8.2.2 循环平稳过程及其描述	(209)
8.2.3 循环谱与功率谱和时频分布的关系	(211)
8.2.4 二阶循环统计特性及其应用	(214)
8.3 盲源分离方法	(221)
8.3.1 概述	(221)
8.3.2 独立分量分析	(223)
8.3.3 ICA 快速算法	(226)
8.3.4 ICA 的应用	(227)
参考文献	(231)

第 1 章 绪 论

1.1 机械信号处理的基本概念和作用

机械信号是指机械系统在运行过程中各种随时间变化的动态信息,经各种测试仪器拾取并记录和存储下来的数据或图像。可以这样理解:机械信号是一个承载机械信息的物理量函数,而机械信息是反映设备运行状态和结构特性的特征量。要获取机械设备的信息,必须先要获取机械信号。

机械设备是工业生产的基础。机械设备的技术更新、自动化程度的提高以及设备的安全运行等都将获得巨大的经济效益和社会效益。而机械信号处理与分析技术则是工业发展的一个重要基础技术。如果没有有效的机械信号测试和分析处理方法,就不能有效地监测和维护设备,也就不能保证设备安全可靠地运行;如果没有工艺流程数据的采集和分析技术,就不可能实现工业自动化;而如果没有好的测试方法,也就不能为产品的质量和性能提供客观的评价。因此,随着科学技术的不断进步和工业生产的不断发展,机械信号处理与分析技术将发挥越来越重要的作用。

机械信号处理是通过对测量信号进行某种加工变换,削弱机械信号中的无用的冗余信号,滤除混杂的噪声干扰,或者将信号变成易于识别的形式以便提取它的特征值等。例如,信号滤波就是机械信号处理中最基本的一种处理。信号分析,例如信号的频谱分析,则是从复杂信号中提取出反映机械信息的特征值的过程,它主要研究信号的构成和特征值。实际上,信号分析和信号处理是相互关联的,很难严格区分,因此,本书将机械信号分析和机械信号处理统称为机械信号处理。机械信号处理的基本流程如图 1.1 所示。

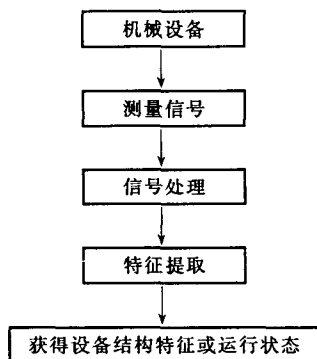


图 1.1 机械信号处理的基本流程

信号处理技术的出现和不断发展,极大丰富了反映机械运动的分析手段和方法,是当今信息科学和现代化测试分析等领域里的一项十分重要的研究手段。例如,在监测大型回转机械的转子运行状态时,首先需要获得表征转子运行状态的物理量,可以采用转子振动的位移或加速度信号等,在获取这些信号后还需要进行一定的信号

处理以得出设备的运行状态。图 1.2 所示为对转子同一轴截面上相互垂直方向的位移信号进行处理的轴心轨迹图,比较原始轴心轨迹图和处理后的轴心轨迹图可知,转子在运行中有故障发生。因为无故障的轴心轨迹应该是集中点。从这个例子可知,机械信号中包含了所研究设备的未知信息,取得信号并不等于获得了相应的设备信息,必须对机械信号作进一步的处理才能提取出所需要的信息。

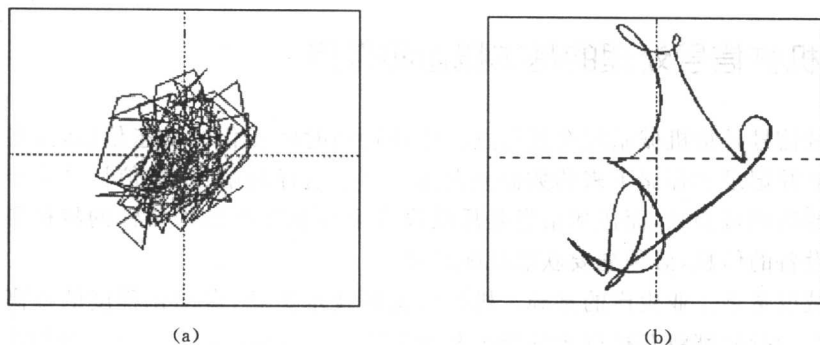


图 1.2 转子的轴心轨迹

(a) 原始轴心轨迹图 (b) 处理后的轴心轨迹图

1.2 信号处理技术的发展概况

根据信号处理方法的不同,信号处理系统可以分为模拟信号处理系统和数字信号处理系统两大类。模拟信号处理系统的输入、输出信号均为模拟信号,该处理系统通常是由电阻、电感、电容和模拟电路组成的模拟系统;数字信号处理系统的核心是计算机或专用数字硬件组成的数字系统,它的输入、输出均为数字信号。在绝大多数情况下,原始信号均是模拟信号,所以数字信号处理系统中大都含有模数转换单元。与模拟信号处理系统相比,数字信号处理系统具有处理功能强、精度高和系统稳定性好等优点,并且由于大规模集成电路的不断发展,信号处理总的发展趋势是向着数字信号处理的方向发展。对于那些复杂信号的处理,更是如此。

在 20 世纪 60 年代以前,信号处理主要依靠模拟仪器来完成。随着计算机技术的发展,研究人员开始利用计算机来替代模拟仪器。但当时限于计算机技术的水平还不高,计算机运算速度慢,特别是数字处理算法上没有突破,所以,当时还不可能将数字处理系统付诸实施。进入 20 世纪 60 年代,人造卫星,宇航探测及通信、雷达技术的发展,对信号分析的速度、分辨能力提出了更高的要求。随着大规模集成电路的迅速发展,计算机的运算速度迅速提高,这使得构成数字信号处理系统的硬件能够满足要求。1965 年,美国的库利(J. W. Cooley)和图基(J. W. Tukey)提出了快速傅里叶变换(fast Fourier transform, FFT)计算方法,使计算离散傅里叶变换(discrete

Fourier transform, DFT) 的复数乘法次数从 N^2 减少到 $N\log_2 N$ 次, 把计算傅里叶变换的速度提高了几个数量级, 取得了数字信号处理算法上的重大突破, 它的出现不仅使实时信号的数字谱分析成为可能, 而且为时域信号的快速处理提供了新途径, 因此, 这种算法被广泛地应用于数字信号处理的许多环节, 大大地推动了信号处理科学的发展。

20 世纪 70 年代以后, 许多新的算法不断出现。例如, 1968 年美国的雷德 (C. M. Rader) 提出数论变换 FFT (number theoretic transforms FFT, NFFT) 算法; 1976 年美国的威诺格兰德 (S. Winograd) 提出了一种傅里叶变换算法 (Winograd Fourier transform algorithm, WFTA), 用它计算 DFT 所需的乘法次数仅为 FFT 算法乘法次数的 $1/3$; 1977 年法国的努斯鲍默 (H. J. Nussbaumer) 提出了一种多项式变换傅里叶变换算法 (polynomial transform Fourier transform algorithm, PFTA), 结合使用 FFT 和 WFTA 方法, 在采样点数较大时, 较之 FFT 算法快 3 倍左右。上述几种方法与 DFT 方法比较: 当采样点 $N=1\ 000$ 时, DFT 算法为 200 万次; FFT 算法为 1.4 万次; NFFT 算法为 0.8 万次; WFTA 算法为 0.35 万次; PFTA 算法为 0.3 万次。此外, 用于快速处理信号的器件——信号处理芯片 (DSP) 的出现, 对简化信号处理系统的结构、提高运算速度、加快信号处理的实时能力等都有很大影响。如美国 Texas 公司 1986 年推出的 TMS320C25 芯片, 运算速度达每秒 1 000 万次, 用其进行 1 024 复数点 FFT 运算, 只需 14 ms 便可完成。这一成果, 在图像处理、语言处理、谱分析、振动噪声和生物医学信号的处理方面, 展示了很宽的应用前景。

进入 20 世纪 90 年代, 随着个人计算机价格的大幅度降低, 出现了由 PC 机、仪器板卡和应用软件构成的计算机虚拟仪器, 如图 1.3 所示。虚拟仪器采用计算机开放体系结构来取代传统的单机测量仪器。将传统测量仪器中的公共部分 (如电源、操作面板、显示器、通信总线) 和 CPU 集中起来用计算机共享, 通过计算机仪器扩展板卡和应用软件可在

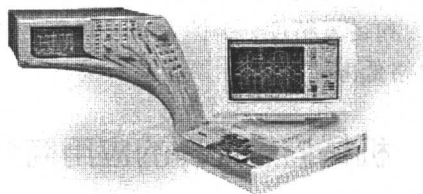


图 1.3 美国 National Instrument 公司的计算机虚拟仪器

计算机上实现多种物理仪器的功能。虚拟仪器的突出优点是与计算机技术结合, 仪器就是计算机, 主机供货渠道多、价格低、维修费用低, 并能进行升级换代; 虚拟仪器功能由软件确定, 不必担心仪器是否能永远保持出厂时既定的功能模式, 用户可以根据实际生产环境变化的需要, 通过更换应用软件来拓展虚拟仪器功能, 以适应科研、生产的需要; 另外, 虚拟仪器能与计算机的文件存储、数据库、网络通信等功能相结合, 具有很大的灵活性和拓展空间。在现代网络化、计算机化的生产、制造环境中, 虚拟仪器更能满足现代制造业复杂、多变的应用需求, 能更迅速、更经济、更灵活地解决

工业生产、新产品实验中的测试和信号处理问题。

随着各行各业的快速发展和各种各样的应用需求,信号分析和处理技术在信号处理速度、分辨能力、功能范围以及特殊处理等方面将会不断进步,新的处理技术将会不断涌现。当前信号处理的发展主要表现在以下三个方面。

1. 新技术、新方法的出现

信号处理的研究手段和方法正日新月异地发展,各种先进的技术都在其中找到了用武之地。例如,信息集成技术、信息融合技术、分形理论以及混沌理论等在信号处理中得到广泛应用,从而提高了信号中 useful 信息的利用率。而智能化信号处理技术的兴起和发展,使得信号处理的自适应性得到更大的提高,其应用范围更为广泛。

2. 实时能力的进一步提高

为了实现在线信号处理,从而能够对复杂高速运动的变化过程有一个深入的了解,实时能力的不断提高仍然是信号处理的一个奋斗目标,目前主要是从提高 FFT 的运算速度、提高数模转换的速度和发现新的、更为有效的信号分析方法等方面进行研究。

3. 高分辨率频谱分析方法的研究

自 1975 年美国 HP 公司提出带宽可选傅里叶分析方法(BSFA)以来,相继出现了最大熵方法、相位补偿法、细化快速傅里叶变换(ZOOM-FFT)以及改进 FFT 等方法来提高频谱分析的分辨率,为机械故障诊断中密集边频的分析、振动模态分析中密集耦合频率的展开等方面带来了极大的方便,并且已经较成功地进行了应用和推广。

综上所述,信号处理技术的发展目标是:① 进一步提高在线实时能力;② 提高分辨率和运算精度;③ 扩大和发展新的专用功能;④ 专用机结构小型化,性能标准化,价格低廉。

1.3 机械信号处理的应用简介

信号处理技术的发展与应用是相辅相成的两个方面,工业方面应用的需求是信号处理发展的动力,而信号处理的发展反过来又拓展了它的应用领域。机械信号的分析与处理有着悠久的历史,它的处理方法与仪器也是从早期的模拟系统向着数字化方向发展的。在几乎所有的机械工程领域中,它的应用一直是一个重要的研究课题。下面列举几个方面的信号处理应用。

1.3.1 在机械振动和结构设计中的应用

在工业生产领域内,机械结构的振动分析是一个重要研究课题。采用各种振动传感器,在工作状态或人工输入激励下,可获取各种机械振动信号,再对这些机械信号进行分析和处理,提取各种振动特征参数,可以得到机械结构各种有价值的信息。

尤其是通过对机械振动信号频谱分析、机械结构模态分析和参数识别技术等方法,可以分析振动性质及产生原因,找出消振、减振的方法,进一步改进机械结构设计,提高产品质量。

1.3.2 在产品质量和自动控制中的应用

在汽车、机床等设备和电机、发动机等零部件出厂时,必须对其性能进行测量和出厂检验。随着产品质量的提高,现代测量已由静态测量发展到动态测量。在机械信号动态测量中,机械设备信息是动态的,信号可以是周期性的,也可以是非周期性的或随机的。在机械信号动态测量过程中,首先要解决传感器的频率响应的正确选择问题,所以必须通过对被测信号的频谱分析来掌握它的频谱特性,而对传感器本身动态频率响应的标定也要涉及频谱分析和计算并用到信号处理技术。

在机械设备的计算机自动控制系统中,当控制对象所处的环境比较恶劣和干扰源较多时,传感器所测得的控制对象运行状态信号含有高频干扰噪声,在进行模数(A/D)转换前需要进行抗混频滤波,在滤掉高频和 $1/2$ 采样频率以上的频率分量后才能进入计算机。为进一步提高计算机数字控制系统的可靠性,对采样序列一般还需要经过数字信号处理环节,然后再进行控制规律的运算。计算机控制系统要达到最优控制及自适应控制,还需要解决动态系统的信息提取问题,即解决最优估计和系统辨识问题。最优估计就是要从含有随机噪声和系统噪声的有限测量信号中对系统的状态变量进行估计,求出统计意义上最优的估计值。由于估计问题也是尽可能地恢复被噪声干扰的信号源,所以也称为滤波,如 Wiener 滤波和 Kalman 滤波等。而系统辨识是通过测量控制对象的一组输入和输出信号,去估计控制对象未知的数学模型结构和参数的技术。它们均属于信号处理的问题。

1.3.3 在机械监测和故障诊断中的应用

在电力、冶金、石油、化工等众多行业中,某些关键设备,如汽轮机、燃气轮机、水轮机、发电机、电机、压缩机、风机、泵、变速箱等的工作状态关系到整个生产线的正常流程。对这些关键设备运行状态实施 24 h 实时动态监测,可以及时、准确地掌握它的变化趋势,为工程技术人员提供详细、全面的机组信息,是实现设备由事后维修或定期维修向预测维修转变的基础。

机器噪声和振动信号中包含大量反映机器运行状态的有用信息。在机械故障诊断中,首先,运用噪声或振动强度的测定和分析,可以初步判断机器运行质量是否存在问题;其次,运用频谱分析进一步判断机器中问题发生在什么环节;最后,采用一些特殊的信号处理技术,针对特定的零部件作深入的分析。国内外大量实践表明,机组某些重要测点的振动信号非常真实地反映了机组的运行状态。由于机组绝大部分故障都有一个渐进发展的过程,通过监测振动信号的变化过程,完全可以及时预测设备

的故障。结合其他综合监测信息(如温度、压力、流量等),运用精密故障诊断技术甚至可以分析出故障发生的位置,为设备维修提供可靠依据,使因设备故障带来的损失降到最低程度。

机械信号分析和处理技术正在不断发展,它已经有可能帮助从事故障诊断和监测的专业技术人员从机器运行历史记录中提炼和归纳出机器运行的基本规律,并且充分利用当前的运行状态和对未来条件的了解与研究,综合分析和处理各种干扰因素可能造成的影响,预测机器在未来运行期间的状态和动态特性,掌握设备主导故障的发展趋势,实现大型关键设备运行劣化趋势的动态预报,为发展预知维修制度、延长大修期及科学地制订设备的更新和维护计划提供依据,从而更为有效地保证机器的稳定可靠运行,提高大型关键设备的利用率和效率。

1.4 本书的宗旨和内容安排

测试与信号处理技术正在迅猛发展并得到广泛应用,已成为机械工程专业学生必须掌握的理论基础之一。对该专业的学生来说,掌握机械信号的测试与处理技术理论及其应用,对于拓宽他们的专业视野是非常必要的。本书正是基于此目的而编写的。

由于信号处理技术的内容十分丰富,并考虑到硕士研究生、工程硕士研究生、本科生和工程技术人员不同层次的需要,同时限于篇幅,在内容上侧重介绍一些机械工程中应用成熟的信号处理理论和技术,介绍先进的处理技术的基本思想,并结合实例说明问题。整体内容注重广泛性、新颖性和先进性。书中大量融入作者在长期教学和科研中积累的经验,希望读者通过本书的学习可以掌握机械信号处理技术的基本理论、概念和方法,能用这些方法解决工程实际问题,并为深入学习和研究奠定必要基础。

本书内容分为信号处理基础知识、机械信号的测量和预处理、机械信号处理方法及应用和机械信号处理的其他方法4个单元,安排如下。

1. 信号处理基础知识

本单元内容主要介绍信号处理常用的数学变换,包括傅里叶变换、拉普拉斯(Laplace)变换、希尔伯特(Hilbert)变换和Z变换。它是后面有关章节内容的数学基础,根据学生层次不同可以选学,同时也便于在后续学习中基础理论的查询。

2. 机械信号的测量和预处理

本单元包含第3、4章,主要介绍力、位移、振动等常见机械量的测量传感器原理和方法,测试系统静、动态特性,以及机械信号滤波、数字化等预处理方法,培养学生掌握正确获取机械信号的方法和解决机械工程测量问题的能力。