



机械设备故障诊断实用技术丛书

信号处理基础

杨国安 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

机械设备故障诊断实用技术丛书

信号处理基础

杨国安 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是《机械设备故障诊断实用技术丛书》之第2分册。本分册共分七部分：第一部分是第一章，介绍信号处理技术在故障诊断系统中的地位及发展现状；第二部分是第二章，主要说明信号采集中常用传感器的工作原理及其安装和应用；第三部分是第三章，介绍信号处理的数学基础，重点说明傅里叶变换和卷积；第四部分是四、五、六章，详细说明信号的分类与描述及其时域、频域分析，这部分是信号处理技术的重点内容；第五部分是七章，详细说明信号调理过程中的滤波与调制解调技术；第六部分是第八章，重点说明模拟信号数字化处理的过程，详细讲解频谱分析中混叠、泄漏和栅栏效应产生的机制；第七部分是第九章，详细介绍故障诊断中常用到的一些较实用的方法，这些对帮助工程技术人员应用不同的方法分析与诊断设备故障大有裨益。书中精选了大量典型实例用以说明故障诊断的思路。

本书内容详尽，通俗易懂，以为企业解决实际问题为根本，主要供现场从事机械设备管理与维护的工程技术人员使用，同时本书也为高等工科院校相关专业研究生或本科生在深入理解机械设备故障诊断理论体系方面提供了详尽的参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

信号处理基础 / 杨国安编著. —北京：中国石化出版社，2012.1
(机械设备故障诊断实用技术丛书；2)
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1331 - 4

I. ①信… II. ①杨… III. ①信号处理 IV. ①TN911.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 276663 号

未经本社书面授权，本书任何部分不得被复制、抄袭，或者以任何形式或任何方式传播。版权所有，侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址：北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编：100011 电话：(010)84271850

读者服务部电话：(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 10.5 印张 226 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

定价：30.00 元

序

现代化工业生产越来越大型化、高速化、自动化，特别是石化、冶金、电力等过程工业，设备投资大，连续生产流程长，机械装备故障停机可以造成重大经济损失，甚至导致机毁人亡的重大事故。现代生产和某些特种装备对人的依赖程度越来越低，对设备的依赖程度越来越高，对故障的预示和诊治越来越重要。设备状态监测和故障诊断作为一门工程技术，是20世纪60年代以后才发展起来的。

近二三十年来国内设备诊断技术的研究开发异常活跃，发展迅速，在工厂应用经常取得出人意外的实效，设备诊断技术在工厂企业得到了普及和应用。为此，迫切需要提供一批适合不同层次科技人员特别是企业一线技术人员实用的书，同时也需要一些适合本科生和研究生学习用的参考书。杨国安教授编著的《机械设备故障诊断实用技术丛书》就是应这一需求编写的。

对设备的状态监测和故障诊断，实际上从机器诞生之日就已产生。当时人们通过听、摸、看、闻机器的振动、温度、噪声等异常情况，凭借工匠的经验，可以判断机器某些故障并采取对策或者修复。设备状态监测和故障诊断作为一门工程技术正在成为信息、监控、通信、计算机和人工智能等集成技术，并逐步发展成为一个多学科交叉的新学科。我曾在工厂工作32年，1979年开始研究应用设备故障诊断技术。我很赞赏本丛书的出版，因为它既有基础理论知识，又有工程应用技术，对企业工程技术人员是一套难得的实用技术丛书；对缺少工程实践经验的院校研究生也是很好的参考书。

设备状态监测及诊断技术，是将运行中的机器看成“活”的，它时时刻刻在“说话”——发出信息，对其中的故障征兆信息进行采集、处理、分析，对故障进行早期诊断、预测，在机器没损坏之前查明故障原因并适时采取修复、预防和改进对策。故障诊断工作的决定作用在人，好的仪器有了真正掌

握了故障诊断技术的人才能够发挥作用。本丛书较全面地介绍了机械设备故障诊断技术的基础知识，包括设备故障诊断中的机械振动基础及信号处理，将理论与实践紧密结合，由浅入深，是一套很好的基础理论培训教材，也可供自学之用。本丛书还介绍了机电设备故障诊断实用技术、转子动平衡实用技术、轴承和齿轮故障诊断实用技术，并总结汇集了编者的若干科研成果，其内容实践性强，直观，便于掌握，可指导设备诊断工程实践。我对编者近几年不遗余力地编写这部内容丰富的丛书所付出的辛苦和做出的贡献表示钦佩。

机械装备故障诊断终极目标是有效防治故障，确保机器健康。其一是除故障：探测原因，有的放矢，消除故障；其二是防发展：早期预警，防微杜渐，预防故障；其三是防发生：查明根源，根治维修，防止故障。机械故障诊断是一门新兴的工程科学技术，它源于工程实践又应用于工程实践。企业技术人员作为机械故障诊断的“临床医生”会发现许多故障的征兆、积累丰富的诊断经验。希望读者对本书提出宝贵意见，使其不断修改完善。本人和作者同在一个科研团队，我们团队愿与读者一道，务实，求真，协力，创新，为提高我国设备诊断理论和技术水平作出应有的贡献。

深信丛书的出版能够在推广和普及机械故障诊断技术，培养更多的从事故障诊断的工程技术人才和后备力量方面发挥重要作用。是为序。

中国工程院院士

高吉吉

编者的话

设备诊断技术是在设备管理和维修的基础上发展起来的。设备诊断技术就是掌握设备的现在状态与异常或故障之间的关系，以预测未来的技术。它包含两方面的内容：一是对设备的运行进行监测；二是在发现异常情况对设备的故障进行分析和诊断。

设备诊断技术首先出现在欧洲，主要是以英国倡导的设备综合诊断学为指导，在上世纪 60~70 年代，英国机械保健和状态监测协会最先开始故障诊断技术，美国的发展则是以后勤学为指导的设备服务维修，美国在 1961 年开始执行阿波罗计划后，出现了一系列因故障造成的事故。1967 年在美国航天局的倡导下，由美国海军研究室主持成立了美国机械故障预防小组，积极从事技术诊断的开发，他们在航空、航天、军事及核能等尖端领域处于领先地位。

日本则吸收了英美两国的优点，提出了全员维修(TPM)的观点。日本的新日铁自 1971 年开始开发诊断技术，1976 年达到实用化。日本的钢铁、化工、电力等行业处于世界领先。

我国自 1979 年才初步接触开发诊断技术，1984 年开始真正在企业推广故障诊断技术，并逐步形成了一支较有实力的故障诊断研究队伍，做出了许多卓有成效的研究成果，特别是自上世纪末，随着计算机技术的发展，彻底改变了故障诊断系统的软、硬件面貌，各种数据采集，分析，诊断功能的仪器被相继开发出来，各种专家系统也不断涌现，给工程技术人员提供了更有效的手段来分析解决问题。但问题也相继出现，现场工程技术人员由于受到专业知识的限制，面对琳琅满目的分析功能、界面、曲线，知其然不知其所以然；专家系统由于受到样本数量的影响，其可靠性、准确性也受到质疑。这使得故障诊断技术浮于研究层面，未有效地深入到基层，深入到生产第一线。应该讲故障诊断技术是一门实践性极强的应用科学，研究内容应本着“从实践中来，到实践中去”的原则，切实解决好生产一线存在的问题。

编者从上世纪 90 年代初开始接触大型装备预知维修技术，先后为几十家国有大型企业开展讲座和项目合作。通过这些项目的开展和与现场工作人员的广泛交流，使编者深深地认识到设备维护工作不仅直接关系到企业的生产效益和安全，而且与节能降耗和低碳环保也密切相关，甚至成为关键制约因素。当前故障诊断工作的推广应用最大的障碍是从事故障诊断技术的现场人员知识结构不合理和缺乏。他们懂得设备的结构、运行机制，却对时频变换不清楚，应该讲，故障诊断技术背后有严谨的数学知识作支撑。众多学科相互渗透构成了故障诊断技术的知识体系。有人说故障诊断就是传感器，有人说

是信号处理，有人说是数据挖掘、专家系统等等。这就充分说明了故障诊断技术知识结构的交叉性和多样性，编者近年来为很多企业培训故障诊断技术人员，和他们的亲密接触丰富了编者，也使编者感到编写一套适合于从事设备管理和维护工作的工程技术人员的实用技术丛书的必要性和迫切性。编者曾在2007年出版了《机械设备故障诊断实用技术》，该书的出版受到了企业设备管理维护人员的广泛欢迎，曾连续多次印刷。近几年通过与企业技术人员交流感到2007年出版的单行本内容上过于简捷，生产一线人员希望在内容体系、原理方法方面更细化些。鉴于此，编者决定出版一套系列丛书，以满足广大生产一线的设备管理和维修人员的需要。近几年，以一己之力编写这套丛书，虽殚精竭虑，仍力所不及，在这套丛书的编写过程中，现场技术人员和我的研究生提供了巨大的帮助。如果这套丛书对您有微薄之用，望不忘感念他们的辛勤付出。

本套丛书的目的是要较全面地对机械设备故障诊断技术的基础知识、机理、方法和应用技术进行较详尽地解释说明。尽量用一目了然的方式明确地说明关于故障诊断技术的一切。本书的宗旨是能用图形说明的尽量不去用文字解释，能用文字解释的不用数学去推演，即使用到的数学也尽量是初等的，从故障诊断基本概念出发，努力用最简单的数学来分析故障机理，而只有在确实需要时才使用复杂的方法。本书的内容参考了大量文献，包括网络上的一些优秀资源，综合汇编而成，这些内容为本书增添了许多新的知识。编者将在书后参考文献中尽量列出，争取不遗漏每一篇参考文献。但由于编者的疏忽可能存在遗漏现象，在此向遗漏参考文献的作者致以歉意，同时对这些优秀资源的作者和编者致以衷心的感谢！

这套丛书共分九分册，分别介绍了设备故障诊断中的机械振动基础、信号处理基础、旋转机械故障诊断实用技术、转子动平衡实用技术、往复机械故障诊断及管道减振实用技术、滚动轴承故障诊断实用技术、滑动轴承故障诊断实用技术、齿轮故障诊断实用技术和电动机故障诊断实用技术。在编写过程中，编者尽量照顾到整套丛书内容的系统性和完备性，尽力做到各分册间内容不重叠，但考虑到读者有选择地使用本套丛书的方便，有些内容各分册间是相通的，于是编者特意安排了适当的重叠，以加强每本分册的相对独立性，使每本分册也形成一个单独的知识体系，如第一分册和第二分册作为故障诊断技术的基础知识，各分册都会用到，但在每分册中也有相关知识的简介。

第一分册机械振动基础重点说明故障诊断中常用到的基本概念及基本原理的讲解和阐述，有针对性地介绍了与故障诊断技术相关的振动诊断标准。有些标准不同国家间可能略有差异，书中尽量同时列出，相同标准可能存在不同版本，考虑到目前现场的使用习惯，只要内容未变，也尽量照顾使用习惯列出，比如ISO2372，目前已有ISO10816，但考虑到使用习惯仍以ISO2372列出。

第二分册信号处理基础是本套丛书中的难点内容，重点说明信号处理的基础知识。本分册对数学基础有一定的要求，特别在傅里叶变换理论的阐述上，重点参考了国外的

经典教材和一些优秀的网络资源，对傅里叶变换的说明有独到之处，读者细读之必有所收获。该分册还较详尽地阐述了常用的故障诊断方法，这些知识对加深理解3~9分册的内容大有裨益。

第三分册旋转机械故障诊断实用技术重点说明旋转机械常见的故障诊断方法，该部分内容较成熟，也是故障诊断技术的重点内容之一。该分册还介绍了常用旋转机械和联轴器的点检方法和点检标准，这部分内容是企业实现预知维修和安全生产的重要保障。

第四分册转子动平衡技术主要说明轴及轴系动平衡原理，重点说明轴系现场动平衡技术，现场动平衡作为一门实用技术，广泛应用于多转子连接的轴系系统，简便易行，行之有效。书中以实例介绍了现场动平衡过程中的一些经验和方法。

第五分册往复机械故障诊断及管道减振技术主要说明往复压缩机的失效形式、故障诊断方法和常用点检方法。重点说明管道减振技术，阐述管道减振必须和往复机械整体考虑，标本兼治，才能做到本质安全，书中还以编者亲历的实例作了简要说明。往复机械故障诊断一直是世界性的难题，因此可参考的资料很少，且不系统。本书部分内容是编者结合自己多年来在往复机械及管道减振方面解决现场实际问题过程中所取得的一手资料和经验整理编辑而成。

第六分册滚动轴承故障诊断实用技术、第七分册滑动轴承故障诊断实用技术和第八分册齿轮故障诊断实用技术三分册均主要说明三种常用零件的失效形式，重点说明常用的故障诊断方法，简要说明各自的点检方法和标准，三分册分别介绍了基于油样分析的故障诊断技术。其中第六分册还介绍了滚动轴承的基础知识，以便读者查阅更方便。第七分册介绍了滑动轴承常用材料和液体润滑的基本原理，以便读者在分析滑动轴承故障时，能够与润滑理论相结合考虑，因为滑动轴承任何形式的故障无不与润滑油膜有关，至于气体润滑轴承只为增广读者知识面而考虑。第八分册介绍了齿廓啮合基本定律，以便读者在分析齿轮故障时，能充分考虑到齿轮齿廓形状，因为齿轮的大多数故障都与齿廓曲线被破坏有关，最常用的渐开线齿廓满足五线合一，不同的故障形式归结起来都是不同程度地破坏了五线合一原则。滚动轴承和滑动轴承作为独立的零件很难制定其零件的点检标准，且这样做也不存在任何意义，因为这两种零件的使用离不开机器本身，因此，所列点检标准为其所安装的相关机械设备的点检标准。

第九分册电动机故障诊断实用技术简要说明常用电动机的基本原理，以便读者分析故障时，能够结合电动机运行机制加以考虑。重点说明电动机振动故障诊断和电气故障诊断方法，简要介绍了电动机温度和噪声故障诊断方法。考虑到电机日常维护，本书还介绍了电动机的点检方法和日常修理和保养方法。

总之，故障诊断技术的终极目标是保证设备长周期、安全稳定运行，投入大量资金购买最现代化的仪器设备是必要的，但首要任务是充实现场工程技术人员的知识储备，包括理论和实际的经验。现在从事故障诊断的人员，通过望、闻、问、切能对设备的运

行状况作出评价的越来越少。当振动异常的时候，对于常见故障，能借助仪器得出诊断结论，能够对问题给出合理解释的人才越来越缺乏，故障诊断工作的决定作用在人，不在仪器。仪器仅仅是人的工具，如果人不行，再好的仪器也无用；好的仪器有了有准备的人才能够发挥作用。真正掌握了故障诊断技术，加上得力的仪器设备，才能使设备维护人员大有用武之地，而成为别人无法替代的人才！

近几年，编者有幸得到国家自然科学基金的支持，对科学基金的研究深化了编者对故障诊断技术的认识，如果说企业合作项目丰富了编者的实践知识，那么，国家自然科学基金项目则提升了编者的基础理论水平，使编者在更高的层面上更加理性地分析、判断每一种故障形式，所以，对近年来国家自然科学基金项目(50875016)的支持表示感谢。

本分册在资料查阅、收集、整理和编排上，我的研究生张卫攀、贾光做了卓有成效的工作，这本书的出版与他们的辛勤付出密不可分。在此对张卫攀、贾光同学表示谢意。

由于本套丛书的编写工作十分浩大，限于编者水平，恳切希望读者对本套丛书中出现的错误和不妥之处提出批评指正，编者将不胜感激。编者网址：www.ygazd.cn，E-mail：yangga@mail.buct.edu.cn 或 ygapublic@163.com。

谨以此书献给辛勤工作在生产第一线的机械设备管理维护人员和有志于故障诊断技术研究的科学技术人员！

编 者

2011年10月于北京化工大学

目 录

第一章 绪论	(1)
一、故障诊断技术的主要环节	(1)
二、信号处理的发展	(2)
三、故障诊断系统简介	(2)
第二章 故障诊断常用传感器	(6)
第一节 概述	(6)
一、传感器的定义	(6)
二、传感器的构成	(6)
三、传感器的分类	(7)
第二节 电感式传感器	(7)
一、自感型传感器	(8)
二、互感型传感器	(12)
三、电感式传感器的应用	(13)
第三节 压电式传感器	(15)
一、压电式传感器的原理	(15)
二、压电式传感器的应用	(17)
第四节 温度传感器	(19)
一、温度传感器的种类	(19)
二、温度传感器的安装	(21)
第五节 传感器的选用原则	(21)
第三章 傅里叶变换和卷积	(24)
第一节 傅里叶变换的由来和分类	(24)
一、傅里叶变换的由来	(24)
二、傅里叶变换的分类	(25)
第二节 傅里叶级数	(25)
一、傅里叶级数的三角形式	(25)
二、傅里叶级数的复指数形式	(28)
第三节 傅里叶变换	(29)
一、傅里叶变换	(29)
二、傅里叶变换的主要性质	(30)
三、离散傅里叶变换(DFT)	(31)
四、总结	(32)

第四节	快速傅里叶变换	(33)
第五节	卷积	(34)
一、	卷积的概念	(34)
二、	卷积的物理意义	(34)
三、	卷积的计算步骤	(35)
四、	时域、频域卷积定理	(35)
第四章	信号的分类与描述	(37)
第一节	概述	(37)
一、	信号、信息、消息和信息熵	(37)
二、	确定性信号与随机信号	(38)
三、	能量信号与功率信号	(40)
四、	时限与频限信号	(41)
五、	连续时间信号与离散时间信号	(42)
六、	物理可实现信号与物理不可实现信号	(42)
第二节	信号分析中常用的函数	(42)
一、	δ 函数(单位脉冲函数)	(42)
二、	sinc 函数	(44)
三、	复指数函数	(45)
四、	矩形窗函数	(47)
五、	谐波函数	(48)
第五章	信号时域分析	(49)
第一节	信号时域特征参数描述	(49)
一、	信号波形图	(49)
二、	均值	(49)
三、	均方值	(50)
四、	方差	(50)
五、	偏度	(51)
六、	峭度	(51)
七、	无量纲指标	(52)
八、	小结	(53)
第二节	信号幅值域分析	(54)
一、	概率密度函数和概率分布函数	(54)
二、	概率密度函数工程应用	(54)
第三节	信号时差域分析	(55)
一、	相关系数	(55)
二、	相关函数	(56)
三、	卷积与相关的关系	(57)

四、相关分析在故障诊断中的应用	(58)
第四节 时域平均分析	(59)
一、时域平均技术原理	(59)
二、工程应用	(60)
第六章 信号频域分析	(62)
第一节 频谱分析	(63)
一、频谱的概念	(63)
二、频谱的表示方法	(64)
第二节 相干分析	(66)
一、物理系统的响应特性	(66)
二、相干函数	(68)
三、相干分析的工程应用	(68)
第三节 功率谱分析	(70)
一、功率谱密度函数的概念	(70)
二、功率谱密度函数的物理意义	(70)
三、功率谱的计算	(72)
四、功率谱的应用	(72)
第四节 倒频谱分析	(76)
一、倒频谱的概念	(77)
二、倒频谱与解卷积	(77)
三、倒频谱的工程应用	(78)
第七章 信号调理	(80)
第一节 信号预处理	(80)
一、信号类型的转换	(80)
二、放大	(81)
三、隔直	(82)
四、线性化	(83)
第二节 滤波	(83)
一、滤波器分类	(83)
二、理想滤波器	(84)
三、实际滤波器	(87)
四、恒带宽比、恒带宽滤波器	(88)
五、可实现的典型滤波网络函数	(91)
第三节 数字滤波	(93)
一、数字滤波	(93)
二、数字滤波过程的信号频谱	(94)
三、基于 MATLAB 的信号处理工具箱数字滤波器设计	(95)

第四节 调制与解调	(98)
一、幅度调制与解调	(98)
二、频率调制与解调	(101)
第八章 模拟信号的数字化处理	(103)
第一节 概述	(103)
一、数字信号处理的主要研究内容	(103)
二、信号数字化处理的基本步骤	(103)
第二节 时域采样、混频和采样定理	(104)
一、时域采样	(104)
二、频混现象	(105)
三、采样定理	(106)
第三节 A/D 转换和 D/A 转换	(107)
一、A/D 转换	(107)
二、D/A 转换	(111)
三、数据采集卡	(112)
第四节 信号的截断、能量泄漏及窗函数	(114)
一、信号的截断和能量泄漏	(114)
二、常用窗函数	(115)
第五节 频域采样和栅栏效应	(118)
一、频域采样	(118)
二、栅栏效应	(119)
三、能量泄漏与栅栏效应的关系	(120)
第九章 故障诊断中的其他常用方法简介	(122)
第一节 轴心轨迹	(122)
一、轴心轨迹的概念	(122)
二、轴心轨迹分析依据	(123)
三、轴心轨迹的工程应用	(123)
第二节 全谱	(125)
一、转子的正、反进动分解	(125)
二、转子运动轨迹的全谱进动分析	(127)
三、全谱进动分析的工程应用	(129)
第三节 全息谱	(130)
一、二维全息谱的构成	(130)
二、三维全息谱的构成	(132)
三、全息谱的工程应用	(134)
第四节 波德图	(137)
一、波德图的构成	(137)

二、波德图的工程应用	(137)
第五节 奈奎斯特图	(141)
一、奈奎斯特图的构成	(141)
二、奈奎斯特图与波德图的关系	(142)
第六节 细化谱分析	(142)
一、基于复调制的细化 FFT 方法	(143)
二、相位补偿细化方法	(145)
第七节 包络解调法	(147)
一、包络解调法基本原理	(147)
二、包络解调法的工程应用	(148)
第八节 瀑布图	(150)
一、瀑布图的构成	(150)
二、瀑布图的工程应用	(151)
第九节 坎贝尔图	(151)
参考文献	(153)

第一章 绪 论

故障诊断就是通过对设备运行信息的检测分析和处理, 判别设备的工作状况, 分析故障成因, 预测劣化趋势, 达到提高设备效率和运行可靠性的目的。

一、故障诊断技术的主要环节

故障诊断技术的主要环节由四部分构成, 如图 1-1 所示。

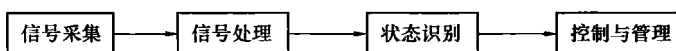


图 1-1 故障诊断技术的主要环节

图中信号采集是基础, 信号处理是关键, 状态识别包括判断和预报是核心, 控制与管理是最终目标, 前三个环节是基本环节。本书将主要阐述故障诊断中的信号处理。

1. 信号采集

信息采集的基本任务是获取有用的信息。在设备运行过程中, 只有采集到反映设备实际状态的信号, 诊断的后续工作才有意义。因而信号采集是故障诊断技术中不可缺少的重要环节。

(1) 特征信号的选择

机器运行过程中能提供的信号很多但并不是每一种信号都对诊断有积极意义, 要选择能方便采集的且能敏感地反应工况状态变化的信号, 即特征信号。机器设备的主要特征信号有振动、温度、压力、流量等特征信号, 蕴含了机器运行状态的本质信息。各种机器设备具有各自的特征变化规律, 且不同的机器在不同的运行状态下其特征信号的敏感程度是不相同的, 所以应视具体情况合理选择。

(2) 传感器

特征信号的获取不仅与所选择的信号内容有关, 且与传感器的型号、精度和测点位置有关。本书的第二章将重点介绍故障诊断中的常用传感器。故障诊断中常用的传感器按功能可分为测振传感器和各种过程量监测传感器等。

(3) 信号调理

被测量的信号经传感器转换成电信号需要进行某些调理和处理以便提高信噪比, 并把信号转换成更便于处理接受和显示的形式。信号调理包括: 信号滤波、放大、交直流分离等内容。如振动涡流位移传感器测到的信号包含交流分量和直流分量, 且两者反映不同状态特征, 所以需采用适当的电路将交直流信号分离以便分别进行分析。

2. 信号处理

信号处理是故障诊断技术的关键内容, 也是理论研究的热点之一。它实际上就是特

征量的提取技术，几乎包括现代所有的信息处理技术所能提供的手段，如故障诊断中所涉及的时域分析、频谱分析、相干分析及倒谱分析等。近年来出现的小波分析、几何分形、混沌和以 Wigner 分布为基础的双线性时频变换等。这些新方法的引入弥补了传统分析方法的不足，在诊断领域也得到了很好的应用。

3. 状态识别

状态识别是将前述提取出的特征参数不断与阈值或正常值进行比较，判断机器的运行状态，确定故障的性质、类别、部位和原因，预测故障的发展趋势。状态识别分为人工识别、自动识别和智能识别三种类型。

二、信号处理的发展

信号处理已应用于多种学科，如通信、雷达、声纳、地震、遥感、生物医学、机械振动等。目前它已成为信息科学中一种不可缺少的工具和手段。

20 世纪 50 年代以前，信号处理技术主要是模拟分析方法，进入 50 年代，大型通用数字计算机在信号处理中有了实际应用。

进入 60 年代，人造卫星、宇航探测及通信、雷达技术的发展，对信号处理的速度、分辨能力提出了更高的要求。1965 年，美国的库列(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)的复数乘法从 N^2 减少到 $N \lg N$ 次，从而大大减少了计算量。这一方法促进了数字信号处理的发展，使其获得更广泛的应用。

信号处理技术的快速发展使得状态监测的在线实时能力不断提高，分辨力和运算精度也大幅提高，其在图像处理、谱分析、振动噪声分析等的信号处理方面，展示了很宽的应用前景。

三、故障诊断系统简介

上世纪 90 年代以来，虚拟仪器得到了快速发展，它是计算机技术和测试仪器技术共同孕育和发展的产物，是充分应用计算机软、硬件资源，借助一定的模块化功能插卡和软件模块来完成传统测试功能的一类全新的智能化仪器系统。虚拟仪器系统可根据用户的要求设置和选择，实现多种动态测试与信号分析功能，例如，时域、频域、传递相干、互谱、相关分析以及基于信号处理的机械振动测试、转子轴心轨迹分析、扭矩功率测量等。虚拟仪器被认为是 21 世纪故障诊断测试仪器的发展方向。另外，虚拟仪器能与计算机的文件存储、数据库、网络通讯等功能相结合，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，虚拟仪器更能适应现代制造业复杂、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问题。图 1-2 为常用的旋转机械故障诊断系统架构，图 1-3 为在线监测系统流程图，图 1-4 为故障诊断中的常用信号处理方法，图 1-5 为作者自主研发的 Y308 设备智能点检管理现场采集设备，图 1-6 为作者自主研发的网络点巡检系统架构图。

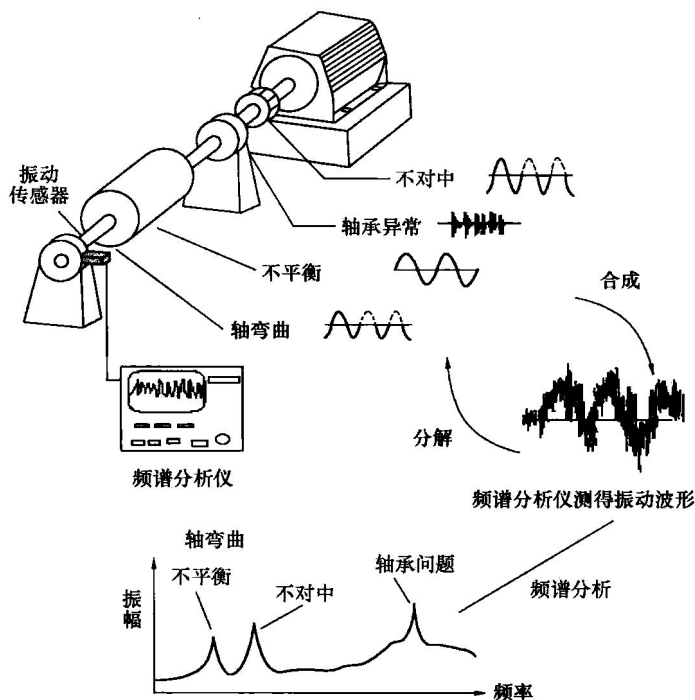


图 1-2 旋转机械故障诊断系统架构图

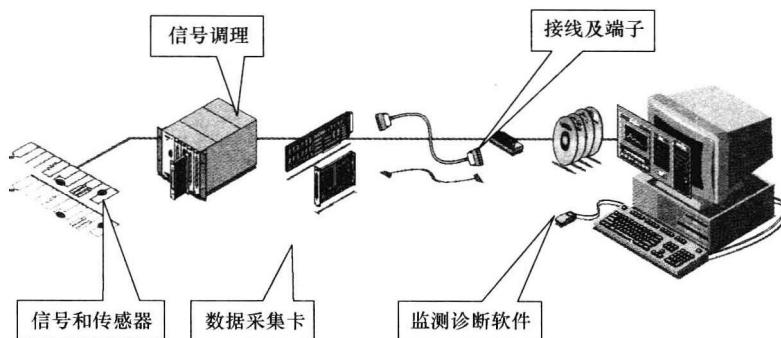


图 1-3 在线监测系统流程图