



基于振动分析的现代机械 故障诊断原理及应用

韩清凯 于晓光 编著



科学出版社
www.sciencep.com

基于振动分析的现代机械 故障诊断原理及应用

韩清凯 于晓光 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以振动分析为主要手段,理论与实际相结合,介绍了现代机械故障诊断的有关理论、技术与方法。主要内容包括:机械振动的基本原理,振动信号的传感与测量,振动信号分析与处理的基本理论与方法,振动故障信号特征提取的时域、频域以及时频域分析方法,典型机械系统的故障模式,振动故障诊断的统计分析方法,基于模型的振动故障定量诊断方法,以及智能化诊断和网络化诊断等理论与技术。本书还附有必要的计算程序。

本书可供从事机械故障诊断及其相关研究的科技人员参考,也可供机械工程和动力工程等相关学科的教师、研究生和高年级本科生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

基于振动分析的现代机械故障诊断原理及应用/韩清凯,于晓光编著.
—北京:科学出版社,2010
ISBN 978-7-03-027564-6

I. 基… II. ①韩…②于… III. 机械设备-故障诊断-研究 IV. TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 085565 号

责任编辑:汤 枫 王志欣 / 责任校对:李奕莹
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 5 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2010 年 5 月第一次印刷 印张: 13 1/4

印数: 1—3 000 字数: 251 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着机械设备的复杂化程度和自动化水平的日益提高,机械故障诊断技术也越来越受到重视。如果设备系统或其关键零部件发生了故障且未能及时发现和排除,其结果不仅可能导致设备本身的损坏,甚至可能造成机毁人亡的严重事故,造成巨大的人员和经济损失。机械的故障诊断技术是保障设备安全可靠运行的重要措施之一,它能够对设备机械故障的发生和发展作出早期预报,对出现故障的原因作出判断,提出对策建议和避免或减少事故的发生。因此,机械的故障诊断技术在当前的机械工程及相关领域十分重要。

近几十年来,故障诊断技术在国内外都得到了高度重视,发展十分迅速,在机械、石化、冶金和电力等许多行业都得到了十分广泛的应用。近年来,机械故障诊断理论与技术不断完善,并广泛地吸收了其他各个学科的最新成就,目前已变成集现代数学、力学、统计学、物理、电子、信息、计算机、网络和人工智能等多个学科为一体的、多学科交叉融合的综合性和新技术体系。

机械故障诊断主要包括信号检测、故障信号分析及其特征提取、故障诊断分析及故障处置决策四大部分,其每一部分都会涉及很多内容,甚至都可以成为独立的学科。虽然国内外许多学者都相应地开展过深入细致的研究,但是,由于研究角度和所处的工程背景不同,至今仍然还有许多课题需要去做,从而在新理论、新技术和新方法方面形成更多更广泛的研究。特别是结合不同的具体工程实际需求,有针对性地提出更有效的故障诊断理论与方法,这在目前的科学技术领域,还是十分迫切的。

作者总结了长期以来围绕振动测试与分析 and 重大机械装备(如发动机等旋转机械)振动故障诊断等方面的研究成果,主要以旋转机械故障诊断案例为背景,对基于振动分析的机械故障诊断相关理论方法进行了相对系统化和完整性的阐述,内容直观,由浅入深且易于理解。不仅包含了机械故障诊断的基础概念、理论和方法,还详述了这一领域的最新进展和成果。本书可以为机械工程和动力工程领域中从事故障诊断研究的科技人员介绍较为专业化和高层次的有关新理论、新方法和新技术,还可以为广大教师和学生提供较全面而深入的学习素材,它对机械设备故障诊断的工程应用有着现实的指导意义。

本书共分为9章。第1章为绪论,给出了机械故障诊断的基本概念,概要介绍了现代机械故障诊断技术的发展过程、研究现状、主要研究方向与研究方法,提出了基于振动分析的机械故障诊断具体含义及主要研究内容。第2章~第4章介绍

了基于振动分析的机械故障诊断的主要环节,首先对振动信号的检测原理、检测设备与检测方法进行了介绍,然后对振动信号处理的时域、频域和时频域分析方法进行了详细阐述。第5章以旋转机械典型故障为例,对机械系统常见的故障模式加以说明。第6章~第9章分别从信号统计分析、基于模型的定量诊断、智能化诊断以及网络化诊断等不同方面详细介绍了振动故障诊断的主要方法以及相应的具体应用示例。

本书得到了国家高技术研究发展计划(863 计划)(编号:2002AA118030、2007AA04Z418)、国家自然科学基金(编号:50775028、10972192)、教育部新世纪优秀人才支持计划、沈阳市人才资源开发专项资金资助项目以及“985”工程科技创新平台建设项目等多个项目的支持。本书由韩清凯教授、于晓光教授共同撰写完成。此外,韩清鹏博士参与编写了第4、6、9章,张帅博士参与编写了第4章和第8章。作者所在课题组翟敬宇、董霄、李久富、林丽晶和张超等都参与了本书有关内容的整理和校对,在此向他们表示感谢。作者还要特别对项目组学术带头人、中国科学院院士闻邦椿教授表示衷心感谢,以及对撰写过程中给予帮助的许多同行表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在一些不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2010年1月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 机械故障诊断的发展	2
1.3 机械故障诊断的分类与方法	3
1.4 机械故障诊断的主要环节	6
1.5 基于振动分析的机械故障诊断	9
参考文献	9
第 2 章 机械状态监测中的振动信号测量与分析方法	11
2.1 机械振动的基本原理	11
2.1.1 振动方程	11
2.1.2 转子系统的振动	14
2.1.3 振动监测的主要参数	15
2.1.4 振动监测的测试系统	16
2.2 振动信号的传感测量仪器	18
2.2.1 振动传感器概述	18
2.2.2 压电式加速度计	19
2.2.3 电涡流式位移传感器	22
2.2.4 电荷前置放大器	24
2.2.5 滤波器	26
2.3 振动信号的计算机采集与处理	27
2.3.1 A/D 转换	28
2.3.2 采样控制与信号处理	29
2.3.3 转子试验台振动信号的计算机测试系统举例	30
2.4 本章小结	32
参考文献	32
第 3 章 机械故障振动信号的特征提取方法	34
3.1 信号的时域分析	34
3.1.1 随机变量及其相关概念	35
3.1.2 随机信号的基本理论	39

3.1.3 信号的参数估计与假设检验	46
3.1.4 信号时域分析的数值计算	49
3.2 信号的频域分析	53
3.2.1 离散 Fourier 变换	53
3.2.2 几种常用的谱分析方法	54
3.2.3 快速 Fourier 变换	56
3.2.4 信号频域分析的采样、混叠、截断与泄漏以及加窗	60
3.3 本章小结	64
参考文献	64
第 4 章 机械故障振动信号特征提取的时频域分析方法	65
4.1 信号的 ARMA 模型	65
4.1.1 时间序列分析	65
4.1.2 ARMA 模型的基本原理	67
4.1.3 $AR(p)$ 模型的自协方差函数	68
4.1.4 AR 模型的系数估计	68
4.1.5 基于 AR 模型的现代谱分析	69
4.2 小波变换	72
4.2.1 基本概念	72
4.2.2 连续小波变换的性质	73
4.2.3 常用的小波函数	73
4.2.4 离散小波变换	74
4.2.5 小波包分解原理	79
4.3 HHT	81
4.3.1 EMD	81
4.3.2 Hilbert 谱与边际谱	81
4.4 混沌与分形	82
4.4.1 混沌和分形的基本概念	82
4.4.2 关联维与 Lyapunov 指数	83
4.5 本章小结	86
参考文献	86
第 5 章 基于振动分析的机械系统故障模式分析	88
5.1 旋转机械的典型故障模式分析	88
5.1.1 转子不平衡	89
5.1.2 转子不对中	90
5.1.3 转静件碰摩	91

5.1.4 轴承松动	92
5.1.5 油膜涡动与油膜振荡	92
5.2 泵故障的机理及诊断方法	93
5.2.1 泵的基本概念	93
5.2.2 水泵的常见故障及其故障机理	96
5.3 水泵几种典型振动故障模式的振动测试	102
5.3.1 现场装置与测试方案	102
5.3.2 不同故障模式下的振动测量结果	104
5.4 本章小结	113
参考文献	113
第 6 章 机械系统故障诊断的数据统计分析方法	115
6.1 多变量统计分析诊断方法	115
6.1.1 单变量统计分析的基本原理	115
6.1.2 多变量统计分析的检测方法	117
6.2 基于统计量参数的故障诊断模式分类方法	118
6.3 故障诊断的主元分析法	120
6.3.1 主元分析的基本原理	120
6.3.2 主元分析的计算方法与举例	122
6.3.3 基于主元分析的故障检测方法	130
6.3.4 基于主元分析的故障类型识别方法	132
6.4 本章小结	133
参考文献	134
第 7 章 机械故障的定量诊断方法	135
7.1 基于模型的定量诊断方法概述	135
7.2 模型的建立	136
7.2.1 模型建立的方法	136
7.2.2 转子系统的混合模型建立	137
7.2.3 油膜参数与不平衡量的在线识别	141
7.2.4 碰摩力模型	143
7.3 转子系统碰摩故障的定量诊断步骤及方法	144
7.3.1 诊断步骤	144
7.3.2 诊断方法	145
7.4 诊断结果与讨论	146
7.4.1 油膜参数的在线辨识结果	146
7.4.2 碰摩故障转子系统的定量诊断结果	147

7.5 本章小结	150
参考文献	150
第8章 机械故障的智能诊断方法	152
8.1 基于故障树的故障诊断方法	152
8.1.1 概述	152
8.1.2 故障树分析法的基本原理	153
8.1.3 故障树图的绘制方法	153
8.1.4 故障树的定性分析	156
8.1.5 故障树的定量分析	158
8.2 基于专家系统的故障诊断方法	162
8.2.1 专家系统的概念和结构	162
8.2.2 知识表示和获取方法	163
8.2.3 推理机制	166
8.3 基于人工神经网络的故障诊断方法	167
8.3.1 人工神经网络的基本原理	168
8.3.2 BP神经网络	169
8.4 基于模糊理论的故障诊断方法	170
8.4.1 概述	170
8.4.2 模糊逻辑故障诊断模型的建立	171
8.4.3 模糊故障诊断结果的识别	178
8.5 应用举例	180
8.5.1 某发电机的故障诊断专家系统	180
8.5.2 基于人工神经网络的某旋转机械故障诊断	182
8.6 本章小结	184
参考文献	184
第9章 机械故障的网络化诊断方法	186
9.1 系统的整体结构	186
9.2 工业现场智能监控网络模块	187
9.2.1 智能数据采集前端	188
9.2.2 监控服务器与现场网络	189
9.3 企业内部网络监控模块	189
9.3.1 工业现场数据的传输和数据处理	189
9.3.2 专家系统故障诊断系统	190
9.4 Internet 广域网远程监控和诊断的 B/S 与 C/S 模块	193

9.4.1 B/S体系的功能与实现	194
9.4.2 C/S体系的功能与实现	194
9.5 某水泵网络化远程监测诊断系统举例	195
9.6 本章小结	198
参考文献.....	198

第1章 绪 论

1.1 引 言

现代化机器不断向复杂化和自动化方向发展,机械设备的故障诊断技术也越来越受到重视^[1~3]。如果某一零部件或设备出现故障而又未能及时发现和排除,其结果不仅可能导致设备本身损坏,甚至可能造成机毁人亡的严重后果^[4]。同样,在流程生产系统中,如果某一关键设备因故障而不能继续运行,往往会影响整个流程生产的运行,造成巨大的经济损失。

机械故障包括两层含义:一是机械系统偏离正常功能,它的形成原因主要是因为机械系统的工作条件不正常而产生的,通过参数调节或零部件修复又可以恢复正常;二是功能失效,是指系统连续偏离正常功能,且其程度不断加剧,使机械设备基本功能得不到保证^[5~8]。

机械故障的分类方法很多:按工作状态分有间歇性故障和永久性故障;按故障程度分有局部功能失效和整体功能失效的故障;按故障形成速度分有急剧性故障和渐进性故障;按故障程度及形成速度分有突发性故障和缓变性故障;按故障形成的原因分有操作或管理失误形成的故障和机器内在原因形成的故障;按故障形成的后果分有危险的故障和不危险的故障;按故障形成的时间分有早期故障、随时间变化的故障和随机性故障^[9]。这些故障类型相互交叉,随着故障的发展可以从一种类型转为另一种类型。

另外,机械设备在运行过程中,其内部零部件必然受到机械应力、热应力、化学应力以及电气应力等多种物理作用,随着时间的推移,这些物理作用的积累将使机械设备正常运行和技术状态不断发生变化,随之可能产生异常、故障或者劣化状态,这些作用和变化又必然产生相应的振动、噪声、温升和磨损碎屑等二次效应。机械故障诊断即是依据这种二次效应的物理参数来定量掌握机械设备在运行中所受的应力、故障、劣化、强度和性能等技术状态指标,预测其运行的可靠性和性能,如果机械设备存在异常,则进一步对异常原因、部位和危险程度等进行识别和评价,确定其改善方法和维修技术。

机械故障诊断涉及机械、电气、电子、信息等领域的知识。在具体的机械故障诊断中,需要先进行工况监测,即对机械设备运行状态的物理参数进行测量,如位移、速度、加速度及其他振动量、温度和图像等。所谓诊断,就是对机器运行状态进

行识别、预测和判断。根据测量得到的物理量,间接判断其运行状态的优劣,找到故障产生的机理,进而实现消除故障。机械故障诊断是利用检测方法和诊断手段,从所检测的信息特征判别机械系统的工况状态。工况监视与故障诊断侧重有所不同,工况监视的任务是判别动态系统是否偏离正常功能,监视其发展趋势,预防突发性故障产生。一旦偏离正常功能应迅速作出调整,使工况恢复到正常,如果系统某个环节存在故障,就要进一步查明故障原因及其部位,这就是诊断。因此,工况监视是故障诊断的基础。

1.2 机械故障诊断的发展

机械故障诊断的发展包括如下三个层次^[10~14]:

(1) 以检测仪表为主体的监视装置。目前大型机械设备都配备了这种装置,如 Bently 公司的 7200、9000 和 3300 系列等。它的主要构成部件是传感器和指示仪表箱,有用于测温度的,但大多数是用于检测振动和位移,只能显示振动峰峰值。其主要缺点在于:①检测信号是随机的,幅值并不能全面表达动态过程的特性。②往往只能显示振动通频幅值,而有时变频或倍频幅值更为重要。③没有记录振动信号趋势的功能,这些记录在判断故障原因时十分重要。④读数式检测仪表本身并无分析功能,需要依赖人的经验判断。

(2) 检测仪表配备软硬件分析装置。这种系统是第一种装置的改进与补充,所用的装置主要是频谱分析仪,也有的分析功能是用计算机软件来实现,但仍存在以下缺点:①分析装置只是一种工具,不能自动判断,诊断决策仍需依赖专家。②不能连续地自动分析,容易丢失故障信息,不能预防突发性故障。③大型机械设备的结构复杂,故障与征兆之间并无简单的一一对应的因果关系,难免会出现错误。

(3) 计算机辅助监视与诊断系统。这种系统主要结构是由传感器、接口装置和计算机组成。其中接口装置具有电平转换、采样和存储等功能。它可以实时监视和自动诊断,对防止突发性故障有利,是工况监视与故障诊断技术的主要发展领域。但目前的水平主要是计算机辅助监视与诊断系统,还不能真正达到自动诊断的水平。国内外都有这种系统的开发与应用,但仍无成熟商品,除了技术成熟性不足之外,主要原因是由于大型机械设备故障诊断的针对性很强。因此,计算机辅助监视与诊断系统今后发展方向主要是减少人工干预、提高自动化及自适应能力的多层次的人工智能诊断系统。

对于现代制造业,机械设备具有规模大、复杂程度高、变量多,并在闭环控制下运行的特点。对流程工业中的设备进行故障检测与诊断,可以减少停产时间,增加设备运行的安全性,并减少制造成本。设备的不断仪表化使得越来越多的数据可

用于故障检测与诊断。当前,学术和工程研究中,大量涌现并集中开发更有效的过程监控方法。在过程监控方面,统计质量控制(statistical quality control),解析监测、诊断方法,以及基于知识的方法,具有十分重要的实用意义。

从其发展历程角度,机械故障诊断研究中比较重要的几个历史节点如表 1.1 所示^[1]。

表 1.1 机械故障诊断的发展历程

20 世纪 60 年代	NASA 成立美国机械预防小组(MFPG) 英国机器保健中心(U. K. Mechanical Health Monitoring Center)
20 世纪 70 年代	电子测量技术和频谱技术应用 大型状态监测和故障诊断开始实用化,并用于早期报警
20 世纪 80 年代	以计算机为中心的商业化故障诊断系统 多种传感技术应用(如振动、噪声、温度、力、电、磁、光和射线等) 多种信号分析技术应用(如模式识别、模糊逻辑和灰色系统理论等)
20 世纪 80 年代后期	人工智能应用,特别是专家系统,如 Westhouse 公司的过程控制系统(PCS)基于规划的汽轮机专家系统 Bently 公司的工程师帮助软件 Radiau 公司的大型机组诊断专家系统 Turbomac 三菱重工的 MHMS,规则化知识与框架知识推动,利用决策树、模糊逻辑和置信度的振动诊断
20 世纪 90 年代以后	人工智能 信息融合 定量诊断 基于网络的远程监测与诊断

1.3 机械故障诊断的分类与方法

由于目前人们对故障诊断的理解不同,各工程领域都有各自的方法,概括起来有以下三方面^[15~18]。

(1) 按诊断环境分,有离线人工分析和诊断与在线计算机辅助监视诊断,二者要求有很大差别。

(2) 按检测手段分:①振动检测诊断法。以机器振动作为信息源,在机械运行过程中,通过振动参数的变化特征判别机器的运行状态。②噪声检测诊断法。以机器运行中的噪声作为信息源,在机器运行过程中,通过噪声参数的变化特征判别机器的运行状态,但易受环境噪声的影响。③温度检测诊断法。以可观测的温度

作为信息源,在机器运行过程中,通过温度参数的变化特征判别机器的运行状态。

④压力检测诊断法。以机械系统中的气体、液体的压力作为信息源,在机器运行过程中,通过压力参数的变化特征判别机器的运行状态。⑤声发射检测诊断法。金属零件在磨损、变形和破裂过程中产生弹性波,以此弹性波为信息源,在机器运行过程中,分析弹性波的频率变化特征判别机器的运行状态。⑥润滑油或冷却液中金属含量分析诊断法。在机器运行过程中,以润滑油或冷却液中金属含量的变化特征判别机器的运行状态。⑦金相分析诊断法。对于某些运动的零件,通过对其表面层金属显微组织、残余应力、裂纹以及物理性质进行检查,研究变化特征,判别机器设备存在的故障及形成原因。

(3)按诊断方法原理分:①频域诊断法。应用频谱分析技术,根据频谱特征的变化判别机器的运行状态及故障。②时域分析法。应用时间序列模型及其有关的特性函数,判别机器的运行状态的变化。③统计分析法。应用概率统计模型及其有关的特性函数,实现工况状态的监视与故障的诊断。④信息理论分析法。应用信息理论建立的特性函数,进行工况状态分析与故障诊断。⑤模式识别法。提取对工况状态反应敏感的特征量构成模式矢量,设计合适的分类器,判别工况状态。⑥小波理论分析。⑦非线性系统理论(如分形理论等)。⑧其他人工智能方法。如人工神经网络和专家系统等新发现的研究领域。

上述的方法是从应用方面考虑,就学科角度而言它们是交叉的,如许多统计方法都包括在统计模式识别范畴之内。

另外,对于现代工业过程(流程工业),标准过程控制器(PID 控制器和模型预测控制器等)常常通过这些控制器补偿许多类型的干扰。对于有些过程的变化,控制器不能恰当处理时也称为故障,即故障被定义为系统中至少一个特性或变量的一种不允许的偏离。这样,故障类型还可以包括过程参数的变化、干扰参数的变化、执行器的问题和传感器的问题。为了确保过程运行状况满足给定性能指标,需要对故障进行检测、诊断和消除,所以,这些任务就与过程监控联系起来了。

过程控制的目标是通过识别不正常行为来确保过程按计划成功运行。这些信息不仅保证系统操作员和维护人员不断了解过程的运行状态,而且还帮助这些人员做出适当的补救措施,以消除过程的不正常行为。

常用衡量机械运行状态及故障的诊断参数如图 1.1 所示。

故障诊断技术的基本理论体系是由故障诊断基础理论、故障诊断实施技术和故障诊断实施装置三大部分构成,三者的相互关系如图 1.2 所示。

按照仿生学的学科特点,也可以把故障诊断技术同人体结构结合在一起用仿生学的学科特点分析^[19,20]。与仿生学的学科类比关系如图 1.3 所示。

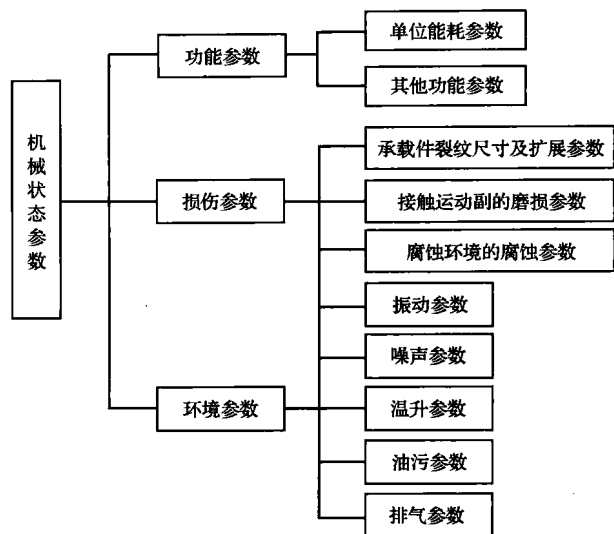


图 1.1 用于衡量机械运行状态及故障诊断的常用参数

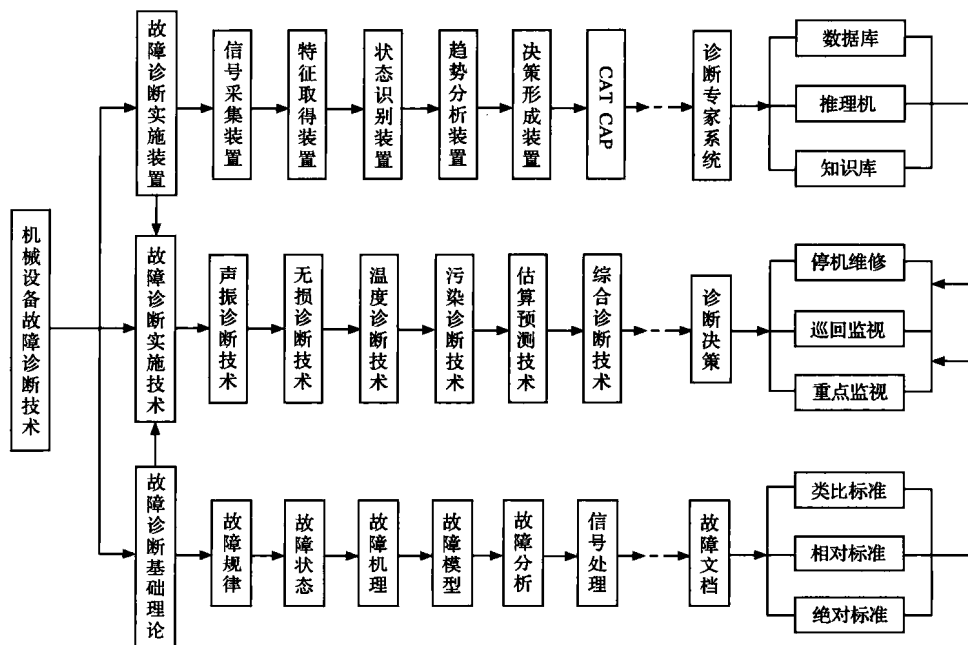
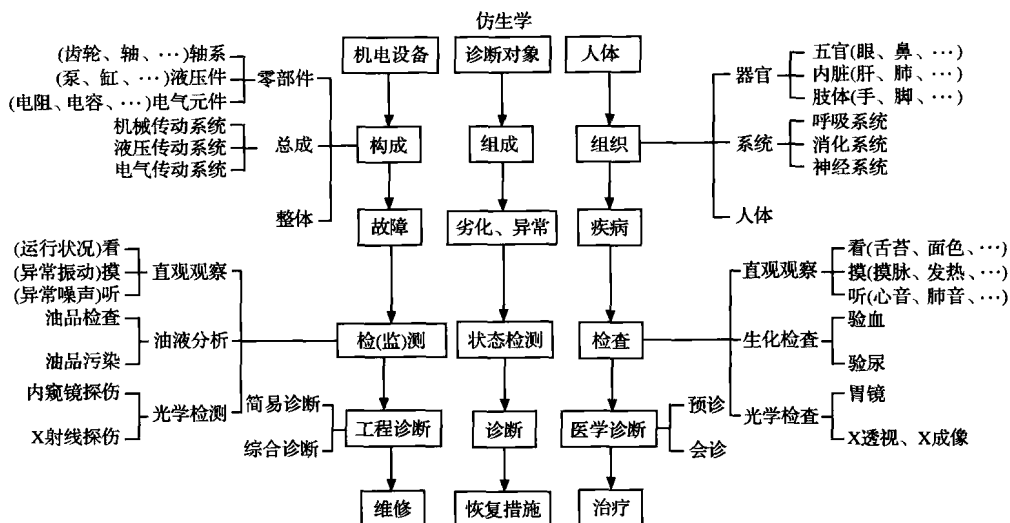


图 1.2 故障诊断技术的基本理论体系框图

图 1.3 故障诊断技术与仿生学学科的类比关系^[35]

1.4 机械故障诊断的主要环节

1. 信号的在线检测

故障诊断中的信号检测必须满足两方面的要求。一是在线，它是针对系统而言的。对于连续运行的机械设备是指机器运行工程中的检测，是在生产线上进行的，故属于在线检测。有些机械设备的运动，既有连续，又有中断，如机床加工一个零件可看成是一个系统，则切削、转刀、上下料和测量都是系统的组成环节。除了切削以外，在进行其他环节时，机床并不运动，刀具也不加工，但都属于系统的组成部分，故仍属在线。二是动态过程具有多方面的信息，但没有必要都检测，所选择的信号及其在机器上的部位都要能敏感地反映工况特征信息的变化。

2. 信号特征分析

鉴于直接检测的信号大都是随机信号，它包括了大量的与故障无关的信号，一般不宜用做辨别量。需要用现代信号分析和数据处理方法把直接检测信号转换为能表达工况状态的特征量。对于某些具有规律性的信号，也可从波形结构上提取特征量。特征分析的目的是用各种信号处理方法作为工具，找到工况状态与特征量的关系，把反映故障的特征信息和与故障无关的特征信息分离开来，达到“去伪存真”的目的。因此，信号处理是特征分析的一种工具，但不是唯一的工具。用做特征

分析的方法有频域分析、时域分析、统计分析、小波分析以及波形结构分析等^[21,22]。

3. 特征量的选择

用上述方法可以得到很多可表达系统动态行为的特征量,但没有必要都用来判别工况状态。因为在实际生产中,各个特征量对工况状态变化的敏感程度不同,应当选择敏感性强、规律性好的特征量,达到“去粗取精”的目的。只有选择对具体机器最敏感的特征量,才能加强监视诊断的针对性和提高诊断的准确性。特征量的选择还要考虑判别的实时性,要求计算简单,如能在一定程度上表达工况状态的物理含义,就更有利于对工况状态变化的原因进行分析。用模式识别方法进行状态分类时,特征量的数量以2或3个为宜。特征量太少,误判率大,而特征量太多,又使得判别函数复杂、计算量大、实时性差,且误判率并不因为特征量的数量增多而单调减少。

4. 工况状态识别

工况状态识别就是状态分类问题,分类与诊断往往是同一个概念,此处从生产过程不同的目的考虑,把“分类”分成监视与诊断两个问题,工况监视的目的是区分工况状态是正常还是异常,或者哪一部分不正常,便于进行运行管理,强调在线和实时性。

5. 故障诊断

故障诊断首先需根据监视系统提供的信息,对当前工况状态及其趋势作出确切的判断。故障诊断主要任务是针对异常工况,查明故障部位、性质、程度以及发展趋势,这就不仅需要根据当前机组的实际运行工况,而且还需要考虑机组的历史资料及领域专家的意见。诊断和监视不同之处是诊断精度放在第一位,而实时性放在第二位^[23~30]。

对于过程监控,其主要步骤是故障检测、故障识别、故障诊断和过程恢复。故障检测就是确定故障是否发生,及早进行检测可以对将会出现的问题提出非常有价值的警告,并采取适当措施,从而避免严重的过程颠覆。故障识别就是把那些与诊断故障有关联的观测变量识别出来。该步骤的目的是把设备操作员和工程师的注意力集中到与故障诊断最相关的子系统上来,以便最有效地消除故障所带来的不良效应。故障诊断就是确定哪一种故障发生了,确定所看到的故障状态的原因,确定故障的类型、位置、量级和时间。过程恢复也称为干预,就是去除故障的影响,这是使过程监控环闭合所必需的一个步骤。一旦检测到故障发生,故障识别、故障诊断以及过程恢复程序就会按照各自的顺序执行,否则就只重复执行故障检测程序。