

21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材



21st CENTURY
实用规划教材

设备状态监测 与故障诊断技术

主 编 林英志
主 审 殷晨波 袁 强



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

中国林业出版社
China Forestry Publishing House

丛书特点:

- 针对性强, 切合职业教育目标, 重点培养职业能力, 侧重技能传授
- 实用性强, 大量的经典真实案例, 实训内容具体详细, 与就业市场紧密结合
- 适应性强, 教程与实训二合一, 适合于三年制和两年制高职高专, 也同样适合于其他各类大中专院校
- 强调知识的渐进性、兼顾知识的系统性, 结构逻辑性强, 针对高职高专学生的知识结构特点安排教学内容
- 书中配套形式多样的习题, 网上提供完备的电子教案, 提供相应的素材、程序代码、习题参考答案等教学资源, 完全适合教学需要
- 教材系列完整, 涵盖机电专业各个方向; 编者分布广泛, 结合不同地域特点, 适合不同地域读者

21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

机械技术基础

机械基础
机械设计基础
机械制造基础
公差配合与测量技术
工程力学
设备状态监测与故障诊断技术
液压与气压传动
机械制造技术
工程材料与成型工艺
金属工艺学
金工实训
机械制图
机械制图习题集
工程制图
工程制图习题集
图解机械制造工程专业英语

CAD/CAM及数控技术

AutoCAD机械绘图基础教程与实训
CAD/CAM数控编程与实训 (CAXA版)
CAD/CAM教程与实训 (MasterCAM版)
CAD/CAM教程与实训 (Pro/Engineer版)
数控技术基础与应用
数控加工编程与操作
实用数控编程和操作基础
数控机床编程及应用
数控机床
数控加工工艺与装备
数控原理与故障诊断
数控加工技术综合实训

模具类

塑压成型与模具设计
冲压与塑压成型设备
冲压工艺与模具设计

汽车类

汽车机械基础
汽车构造
汽车电工电子技术
汽车发动机构造与维修
汽车底盘构造与维修
汽车故障诊断与维修技术
汽车电控技术
汽车电控系统实训教程
汽车底盘电控系统原理与维修
汽车电控系统原理与维修(发动机)
汽车空调
汽车电器
汽车养护技术
汽车文化
汽车营销实务
汽车维修企业管理
汽车专业英语

中国林业出版社

地址: 北京市西城区德内大街刘海胡同7号
技术支持: cfphz@public.bta.net.cn
http://www.cfph.com.cn

北京大学出版社

地址: 北京市海淀区成府路205号
技术支持: pup_6@163.com
http://www.pup6.com

ISBN 978-7-5038-4869-8



9 787503 184869 >

定价: 22.00 元



中国科学院
中国科学院图书馆

设计模式及类库案例 与软件编程技术

王 岩 著

北京人民邮电出版社 (Beijing: Posts & Telecom Press)

21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

设备状态监测与故障诊断技术

主 编	林英志			
参 编	董 平	叶贵清	吴 燕	
	高 维	王庭俊	姜 玲	
主 审	殷晨波	袁 强		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

中国林业出版社
China Forestry Publishing House

内 容 简 介

本书以培养技术应用型人才为目标,贯彻基本理论以“必需、够用”为度的原则,删减了理论性较强的内容,突出了实用性,体现了新知识、新技术的应用和发展潮流,采用通用的、最新的国际标准和国家标准。每章均配有学习目标、小结和适量习题,以加强应用理论知识解决实践能力训练。最后附有单项选择题和判断题的标准答案。

本书适合高职高专院校相关专业教学使用,也可用于职业教育以及企业的岗位技能培训。

图书在版编目(CIP)数据

设备状态监测与故障诊断技术/林英志主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2007.9
(21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 978-7-5038-4869-8

I. 设… II. 林… III. ①设备—故障监测—高等学校:技术学校—教材 ②设备—故障诊断—高等学校:技术学院—教材 IV. TB4

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第134076号

书 名: 设备状态监测与故障诊断技术

著作责任者: 林英志 主编

策划编辑: 李 虎

责任编辑: 李 虎 郑铁志

标准书号: ISBN 978-7-5038-4869-8

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同7号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话:编辑部 66170109 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路205号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京中科印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16开本 13.5印张 300千字

2007年9月第1版 2007年9月第1次印刷

定 价: 22.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21世纪全国高取高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 傅水根

副主任 (按拼音顺序排名)

陈铁牛 李 辉 刘 涛 祁翠琴

钱东东 盛 键 王世震 吴宗保

张吉国 郑晓峰

委 员 (按拼音顺序排名)

蔡兴旺 曹建东 柴增田 程 艳

丁学恭 傅维亚 高 原 何 伟

胡 勇 李国兴 李源生 梁南丁

刘靖岩 刘瑞己 刘 铁 卢菊洪

马立克 南秀蓉 欧阳全会 钱泉森

邱士安 宋德明 王世辉 王用伦

王欲进 吴百中 吴水萍 武昭辉

肖 珑 徐 萍 喻宗泉 袁 广

张 勤 张西振 张 莹 周 征

丛书总序

高等职业技术教育是我国高等教育的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始, 伴随我国高等教育的快速发展, 高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内, 我国高等职业技术教育的规模, 无论是在校生数量还是院校的数量, 都已接近高等教育总规模的半壁江山。因此, 高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式提供高素质技能型人才的重任。随着我国经济建设步伐的加快, 特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变, 现代制造业急需高素质高技能的专业人才。

为了使高职高专机电类专业毕业生满足市场需求, 具备企业所需的知识能力和专业素质, 高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要, 努力建立培养企业生产第一线所需的高等职业技术应用型人才的教学体系和教材资源环境, 不断更新教学内容, 改进教学方法, 积极探索机电类专业创新人才的培养模式, 大力推进精品专业、精品课程和教材建设。因此, 组织编写符合高等职业教育特色的机电类专业规划教材是高等职业技术教育发展的需要。

教材建设是高等学校建设的一项基本内容, 高质量的教材是培养合格人才的基本保证。大力发展高等职业教育, 培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高素质技能型人才, 要求我们必须重视高等职业教育教材改革与建设, 编写和出版具有高等职业教育自身特色的教材。近年来, 高职教材建设取得了一定成绩, 出版的教材种类有所增加, 但与高职发展需求相比, 还存在较大的差距。其中部分教材还没有真正过渡到以培养技术应用能力为主的体系中来, 高职特色反映也不够, 极少数教材内容过于肤浅, 这些都对高职人才培养十分不利。因此, 做好高职教材改革与建设工作刻不容缓。

北京大学出版社抓住这一时机, 组织全国长期从事高职高专教学工作并具有丰富实践经验的骨干教师, 编写了高职高专机电系列实用规划教材, 对传统的课程体系进行了有效的整合, 注意了课程体系结构的调整, 反映系列教材各门课程之间的渗透与衔接, 内容合理分配; 努力拓宽知识面, 在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索, 加强理论联系实际, 突出技能培养和理论知识的应用能力培养, 精简了理论内容, 既满足大类专业对理论、技能及其基础素质的要求, 同时提供选择和创新的空間, 以满足学有余力的学生进修或探究学习的需求; 对专业技术内容进行了及时的更新, 反映了技术的最新发展, 同时结合行业的特色, 缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离, 具有鲜明的高等职业技术人才培养特色。

最后, 我们感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动, 也感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因, 本系列教材还存在一些不足和错漏。我们相信, 在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下, 不断改进和完善这套教材, 使之成为我国高等职业技术教育的教学改革、课程体系建设和教材建设中的优秀教材。

《21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

2007 年 7 月

序

随着现代大生产的发展和科学技术的进步,在20世纪80年代初,世界上一些发达国家开发和创立了一种叫作“设备状态监测与故障诊断技术”的高新技术,发展至今,它已成为保障设备安全运行的基本措施之一。

1983年1月国家经委采纳了各方建议,及时地在国营工业交通企业设备管理试行条例中作了明确规定,强调采用这项技术,发展以状态监测为基础的预防维修体系。24年来,在国家倡导、企业重视以及各级有关管理部门、大专院校、科研单位和群众团体的大力支持、共同努力下,设备状态监测与故障诊断技术已经兴旺发达,得到了广泛共识,取得了众多效益。设备状态监测与故障诊断技术的应用已成为企业提高设备管理水平、推动技术进步,从而增加经济效益的重要途径。

目前,我国已有高等院校设置了“设备故障诊断”本科教育专业,不少高等院校也已培养了一批以设备故障诊断技术为选题的硕士研究生和博士研究生。为了适应我国企业设备管理的新形势和高职高专院校教育的实际特点,必须在职业教育机电类专业中全面普及设备状态监测与故障诊断知识,从而为各类工矿企业培养一支数量够、质量高的专业实用型人才队伍。

本书正是为适应这一新形势而编写的,是编者多年来在生产一线从事设备状态监测与故障诊断技术工作的总结。由浅入深、注重实践,从数据采集、信号分析与处理到常见故障机理、特征与诊断,比较系统地阐述了设备状态监测与故障诊断的理论、方法与应用。作为一种实用的推广技术,本书附有大量生产现场故障诊断实例,并简要介绍了国内外大型旋转机械在线监测与故障诊断系统。为方便生产一线人员开展工作,编者还根据自己的实践经验,附上了常用振动诊断标准、设备监测数据库样本例等。本书除了可作为大专院校教学用书外,也可作为机械、能源、化工、冶金、交通、电力、制造等行业的生产、设备管理等部门工程技术人员开展设备状态监测与故障诊断工作的参考用书。

扬州工业职业技术学院副院长 秦建华

2007年6月于古城扬州

前 言

设备故障诊断技术作为一门学科,是20世纪80年代以后才发展起来的,并随着90年代信号处理、计算机技术的飞速发展产生了历史性的飞跃。这门新兴的技术自其诞生之日起,便在保证设备的安全可靠运行,以及获取巨大的经济效益和社会效益方面发挥了重要作用,其意义是十分明显的。

我国的设备故障诊断事业正在蓬勃发展,将在我国经济建设中发挥越来越大的作用。目前,我国已有高等院校设置了“设备故障诊断”专业,不少高等院校也已培养了一批以设备故障诊断技术为选题的硕士研究生和博士研究生。为了适应全国大力发展职业教育的新形势,必须在职业教育机电类专业中全面普及设备状态监测与故障诊断知识,本书正是在这一背景下编写的。

编者曾经在国有大型企业设备故障诊断领域从业多年,目前又在高职院校从事教学工作,本书是按照机电类专业职业教育的教学基本要求并结合编者教学和生产实践的经验编写而成的。本书参考学时数为50学时。

通观全书,具有如下的特点:

- (1) 体现了新知识、新技术的应用和发展潮流。
- (2) 以培养技术应用型人才为目标,贯彻基本理论以“必需、够用”为度的原则,删减了理论性较强的内容,突出了实用性强的教学内容。
- (3) 采用通用的、最新的国际标准和国家标准。
- (4) 每章配有学习目标、小结和适量习题,以加强应用理论知识解决实际问题能力的训练。最后附有选择题和判断题的标准答案。
- (5) 适用范围广。除适用于职业教育、普通高等院校的教学外,还可用于企业的岗位技能培训。

参加本书编写的有:扬州工业职业技术学院董平(第3章),高维(第8章),姜玲(第9章),林英志(第1,2,5,6,7章及附录2),王庭俊(第10章),叶贵清(第4章),中国石化仪征化纤股份有限公司吴燕(第11章、附录1)。全书由林英志任主编,负责全书的统稿、定稿。

南京工业大学殷晨波教授、扬州工业职业技术学院袁强副教授仔细地审阅了全部文稿和图稿,提出了很多宝贵意见和建议,扬州工业职业技术学院秦建华副院长为本书作了序,在此表示衷心的感谢。在本书的编写过程中,仪征化纤公司袁立新高级工程师、王书冯高级工程师、左立峰高级工程师给予了大力的支持,在此一并表示感谢。

限于编者水平,加之编写时间仓促,书中难免存在不足和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007年6月

目 录

序 前言

第 1 章 绪论 1

- 1.1 设备故障诊断的意义、
目的和任务 1
 - 1.1.1 设备故障诊断的意义 1
 - 1.1.2 设备故障诊断的定义 1
 - 1.1.3 设备故障诊断的目的 1
 - 1.1.4 设备故障诊断的任务 4
- 1.2 设备故障诊断技术的发展概况 6
- 小结 7
- 习题 7

第 2 章 设备故障诊断的基本概念 9

- 2.1 设备与设备故障 9
 - 2.1.1 设备的系统构成 9
 - 2.1.2 故障的概念 9
 - 2.1.3 故障原因与故障机理 9
 - 2.1.4 故障类型和故障模式 10
 - 2.1.5 设备故障的基本特性 12
 - 2.1.6 故障管理 13
- 2.2 设备故障诊断的基本
方法和分类 13
 - 2.2.1 设备故障诊断的基本方法 13
 - 2.2.2 设备故障诊断的类型 14
- 2.3 设备维修方式的发展与状态维修 16
 - 2.3.1 设备维修方式的发展 16
 - 2.3.2 实施设备状态维修
的指导思想 18
- 小结 20
- 习题 20

第 3 章 设备故障诊断的技术基础 22

- 3.1 设备故障诊断技术的内容 22
- 3.2 设备故障的信息获取和检测方法 23
 - 3.2.1 设备故障信息的获取方法 23
 - 3.2.2 设备故障的检测方法 24

- 3.3 设备故障的评定标准 25
 - 3.3.1 判断标准 25
 - 3.3.2 旋转机械的绝对判断标准 26
- 3.4 故障诊断中的信号处理 26
 - 3.4.1 测量信号 26
 - 3.4.2 试验数据处理方法 29
 - 3.4.3 振动信号在频率域
中的描述 30
- 小结 33
- 习题 33

第 4 章 振动诊断方法 36

- 4.1 振动诊断方法概述 36
- 4.2 振动诊断的时域分析方法 36
 - 4.2.1 波形分析及示性指标 36
 - 4.2.2 时域同步平均法 39
 - 4.2.3 相关函数诊断法 39
- 4.3 振动诊断的频域分析方法 40
 - 4.3.1 频域分析的主要内容 40
 - 4.3.2 频率项 40
- 4.4 振动诊断的其他方法 45
- 小结 47
- 习题 47

第 5 章 旋转机械故障诊断技术 50

- 5.1 旋转机械典型故障的机理和特征 50
 - 5.1.1 转子不平衡 50
 - 5.1.2 不对中 54
 - 5.1.3 共振 56
 - 5.1.4 机械松动 58
 - 5.1.5 转子摩擦 59
 - 5.1.6 滑动轴承故障 60
 - 5.1.7 转轴裂纹 62
 - 5.1.8 流体动力激振 63
 - 5.1.9 拍频振动 65
 - 5.1.10 机器软脚及与之
相关的共振 67
- 5.2 滚动轴承故障诊断技术 67

5.2.1 滚动轴承异常的基本形式 ...	67	6.2.2 故障类型识别(“What”) ...	107
5.2.2 滚动轴承的振动诊断方法 ...	68	6.2.3 故障部位识别(“Where”) ...	109
5.2.3 滚动轴承故障发展的 4个阶段	69	6.2.4 故障程度识别(“How”) ...	111
5.2.4 g/SE 技术在滚动轴承 故障诊断中的应用	70	6.2.5 设备状态发展趋势识别 (“When”)	112
5.2.5 采用冲击脉冲法诊断 滚动轴承故障	74	6.3 设备劣化趋势分析 的方法与应用	113
5.3 齿轮故障及其诊断技术	78	6.3.1 设备劣化趋势 分析的目的	113
5.3.1 齿轮振动监测及频域 故障诊断	79	6.3.2 趋势管理的分类	113
5.3.2 齿轮频谱	80	6.3.3 预测设备状态到达 危险极值时间	113
5.4 电动机故障诊断技术	82	6.4 工厂设备振动诊断方案实践	115
5.4.1 交流感应电动机故障	82	6.4.1 设备振动诊断 标准的制定	115
5.4.2 交流同步电动机故障	85	6.4.2 工厂设备振动诊断 标准样本	116
5.4.3 直流电动机故障	85	6.4.3 设备状态识别与劣化 趋势分析	118
5.5 传输带驱动故障诊断技术	86	小结	119
5.5.1 磨损的、松动的或 不匹配的传输带	86	习题	120
5.5.2 传输带、传输带轮不对中 ...	86	第7章 状态监测与故障 诊断应用实例	122
5.5.3 传输带轮偏心	87	7.1 典型应用案例	122
5.5.4 传输带共振	87	7.1.1 关键机组的晴雨表	122
5.6 利用征兆的故障诊断方法	87	7.1.2 聚酯圆盘反应器 齿轮箱故障	122
5.6.1 利用征兆诊断故障的 主要困难及其对策	87	7.1.3 大容量涤纶生产增压泵 齿轮箱故障	125
5.6.2 利用征兆诊断故障的 基本方法	89	7.1.4 涤纶短纤维纺丝计量泵 减速机简易测振	127
5.6.3 Sohr 的故障症状 与状态表	89	7.1.5 涤纶短纤维后处理装置 齿轮箱故障	128
小结	91	7.1.6 动力循环水泵 轴承座故障	133
习题	92	7.2 状态监测在集体驱动装置中的 应用	134
第6章 设备振动诊断实施方法	97	7.2.1 引言	134
6.1 实施现场振动诊断的步骤	97	7.2.2 故障情况	135
6.1.1 确定、了解诊断对象	97	7.2.3 故障分析	135
6.1.2 确定诊断方案	101	7.2.4 故障排除	138
6.1.3 进行振动测量与 信号分析	104	7.2.5 结论	139
6.1.4 实施状态判别	105	小结	139
6.1.5 作出诊断决策	106		
6.1.6 检查验证	106		
6.2 振动诊断状态识别方法	106		
6.2.1 设备有无异常的识别(即设备 总体状态的识别)	106		

习题	139	10.2.2 致命度分析	166
第8章 其他物理诊断方法	141	10.3 其他逻辑方法	168
8.1 声学监测方法	141	10.3.1 工程逻辑法	168
8.2 温度监测方法	143	10.3.2 框图法	168
8.2.1 简易温度监测方法	143	10.3.3 鱼刺图法	168
8.2.2 红外测温监测技术	143	小结	169
8.2.3 红外测温技术在故障 诊断中的应用	144	习题	169
8.3 无损检测技术	146	第11章 状态监测软、硬件 知识简介	170
小结	148	11.1 传感器	170
习题	148	11.1.1 概述	170
第9章 液压设备状态的监测 与诊断	150	11.1.2 加速度传感器	171
9.1 液压设备的失效分析	150	11.2 数据采集器	174
9.1.1 失效与失效判据	150	11.2.1 数据采集器的特点	174
9.1.2 失效模式与失效机理	152	11.2.2 数据采集器的工作原理	174
9.2 液压设备故障的诊断方法	154	11.2.3 数据采集器的性能指标	175
9.2.1 功能诊断法	154	11.2.4 滤波器	175
9.2.2 振动诊断法	154	11.2.5 数据采集器的软件	176
9.2.3 声学诊断法	155	11.3 专家系统	176
9.2.4 参量诊断法	155	11.3.1 专家系统概述	176
9.3 油液污染分析	156	11.3.2 建立专家系统的目的 和任务	177
9.3.1 油液诊断方法概述	156	11.3.3 专家系统与传统程序的 区别	177
9.3.2 几种常用油液污染颗粒 测定方法简介	157	11.3.4 专家系统的结构	178
9.3.3 铁谱分析法	158	11.4 网络化在线监测与故障诊断	179
小结	161	11.4.1 老式在线技术的缺点	179
习题	161	11.4.2 数字化网络监测	180
第10章 设备故障诊断的 逻辑方法	163	小结	180
10.1 故障树分析与诊断	163	习题	181
10.2 故障模式、影响和致命度分析	165	附录1 机械振动标准简介	183
10.2.1 概述	165	附录2 建立设备监测数据 库样本例	197
		习题答案	199
		参考文献	203

第 1 章 绪 论

学习目标

本章主要介绍设备故障诊断的意义、目的、任务及其发展概况，要求学生熟悉设备故障诊断的概念、意义和目的，熟悉状态监测和故障诊断的任务，了解设备故障诊断技术的发展概况。通过本章的学习，要引起学生学习本课程的兴趣，因此讲明本课程的目的和意义非常重要。

1.1 设备故障诊断的意义、目的和任务

1.1.1 设备故障诊断的意义

随着现代大生产的发展和科学技术的进步，现代设备的结构越来越复杂，功能越来越完善，自动化程度也越来越高。由于许许多多无法避免的因素影响，有时设备会出现各种故障，以致降低或失去其预定的功能；甚至造成严重的或灾难性的事故，如国内外曾经发生的各种空难、海难、爆炸、断裂、倒塌、毁坏、泄漏等恶性事故；都因生产过程不能正常运行或机器设备损坏而造成巨大的经济损失。

现代设备运行的安全性与可靠性取决于两个方面，一是设备设计与制造的各项技术指标的实现，为此设计中要采用可靠性设计方法，要有提高安全性的措施；二是设备安装、运行、管理、维修和诊断措施的实施。现在，设备诊断技术、修复技术和润滑技术已列为我国设备管理和维修工作的 3 项基础技术，成为推进设备管理现代化，保证设备安全可靠运行的重要手段。

1.1.2 设备故障诊断的定义

设备故障诊断是指在设备运行中或在基本不拆卸设备的情况下，通过各种手段，掌握设备运行状态，判定产生故障的部位和原因，并预测、预报设备未来的状态，从而找出对策的一门技术。它是防止事故和计划外停机的有效手段。

1.1.3 设备故障诊断的目的

设备故障诊断的目的如下。

(1) 能及时地、正确地对各种异常状态或故障状态作出诊断，预防或消除故障，对设备的运行进行必要的指导，提高设备运行的可靠性、安全性和有效性，以期把故障损失降低到最低水平。

(2) 保证设备发挥最大的设计能力，制定合理的检测维修制度，以便在允许的条件下充分挖掘设备潜力，延长服役期限和使用寿命，降低设备全寿命周期费用。

(3) 通过检测监视、故障分析、性能评估等，为设备结构修改、优化设计、合理制造

及生产过程提供数据和信息。

总起来说，设备故障诊断既要保证设备的安全可靠运行，又要尽可能获取更大的经济效益和社会效益。

事实上，如果加强状态监测与故障诊断工作，许多事故是可以防患于未然的。下面是一些事故增加的原因，也正是设备故障诊断所要解决的问题。

(1) 现代生产设备向大型化、连续化、快速化、自动化方向发展，一方面在提高生产率、降低成本、节约能源和人力等方面带来了很大好处；但另一方面，由于设备故障率增加和因设备故障停工而造成的损失却成十倍、甚至百倍地增长，维修费用也大幅度增加。

(2) 高新技术的采用对现代化设备的安全性、可靠性提出越来越高的要求。特别是航天、航空、航海、核工业等部门，多年来航天、航空、核电站的多次事故更说明了其故障诊断的迫切性。

(3) 现有大量生产设备的老化，要求加强安全监测和故障诊断。许多老设备、老机组，服役已接近其寿命期，进入“损耗故障期”，故障率增多，有的甚至超期服役，全部更新，经济负担很重，此时如有完善的故障诊断系统，将能延长设备的使用期。

(4) 维修人员的高龄化和经验丰富的年轻设备维护人员的培养也是许多工业化国家所关心的问题。故障诊断专家系统将能部分地解决这一困难。利用人工智能理论和方法，将有经验的维护人员关于故障诊断的经验和知识加以系统化，形成故障诊断专家系统的知识库，将有利于故障诊断知识的积累和扩大。

上面分析了现代生产中事故增加的原因及加强故障诊断以保证设备安全可靠运行和消除故障的要求。下面分析故障诊断将带来的重大经济效益和社会效益，这方面国内外都有许多报道，举例如下。

(1) 对生产单位，配置故障诊断系统能减少事故停机率，具有很高的收益/投资比。IMEKO 第三届国际会议上曾报道美国 Pekarul 发电厂实施故障诊断的经济效益情况分析，如表 1-1 所示。从表中可见，故障诊断系统的收益甚至可达到投入的 36 倍。

表 1-1 美国 Pekarul 电厂故障诊断效益分析

电厂情况	装机容量：1000 兆瓦，电费：0.015 美元/千瓦时，产值约：1 亿美元/年
事故损失	按可靠性分析，事故停机 14 次/年，停产损失 15 万美元/天
诊断效果	能查出 50% 事故，其中 50% 由诊断系统查出，内含虚警 20%。修复时间为 3 天/每次事故
诊断效益(节约费用)	$B = [14 \times 0. \times 0.5 \times 3 \times 15 \times (1 - 0.2)]$ 万元/年 = 126 万美元/年
投入经费	投资：20 万美元；年监测费：1.5 万美元/年
诊断成本	$A = (20 \text{ 万} / 10 \text{ 年折旧}) + 1.5 \text{ 万} / \text{年} = 3.5 \text{ 万美元} / \text{年}$
诊断经济效益系数	$C = B / A = 36$

(2) 对生产单位，配置故障诊断系统能延长设备检修周期，缩短维修时间，为制定合理的检测维修制度提供基础，极大地提高经济效益。例如，中石化集团的年产 30 万 t 合

成氨厂，过去每年需大修一次，需时45天，检修费用占年产值15%。采用故障诊断后改为3年内修2次，一次不到30天，检修费用降为年产值的10%，经济效益十分巨大。又如一个装机容量100万kW的电厂，每天发电2400万kW时，产值几百万元，如对各台机组都能延长维修周期，每年缩短检修时间以10天计，则带来的经济效益可达几千万元。

再以中国石化仪征化纤股份有限公司涤纶二厂2002年开展设备故障诊断工作的情况加以分析说明。

首先，看一下当年度故障诊断成本投资情况，如表1-2所示。

表1-2 2002年该厂故障诊断成本投资一览表

投资项目	投资费用/万元	
	仪器购置	DP1500 数据采集器
26MG 超声波测厚仪		1.6
现代维修三件套		1.4
仪器标定、检修		0.7
人员培训		1.5
合 计		28.2

然后，再看一下表1-3，经测算，全年节约设备维修费用90万元以上，减少生产损失120万元以上，共创造直接经济效益210万元以上。

表1-3 2002年该厂故障诊断成果效益一览表

检测项目	故障原因	处理方法	经济效益/万元	
			节约维修费用	减少生产损失
211R05.1	万向联轴节磨损	更换万向联轴节	/	16.7×2
212R05.2				
211Q05.3等	万向联轴节磨损	更换万向联轴节	/	3.1×4
30B03.3	叶轮不平衡	调低转速	1.5	6.8
30B03.4	叶轮不平衡；轴承跑内圈	叶轮做动平衡等	/	6.8
计量泵减速机	高速部分振动大	修理高速部分	1×34	0.3×34
喂入机	喂入轮不平衡	更换喂入轮或清理锈蚀、结垢	0.5×8	2.2×8
9K 卷绕机	机台振动大	更换喂入机及七辊第三辊电机	/	4.4
16K 增压泵	电机前轴承跑外圈、同步齿形带磨损	更换电机、皮带	/	5.6

(续)

检测项目	故障原因	处理方法	经济效益/万元	
			节约维修费用	减少生产损失
16K BG3	啮合斑点欠佳, 输入轴与主动齿轮配合松动	更换输入轴、配对弧锥齿轮等件	3.9	1.2
11K BG3	主动齿轮断一齿, 输入轴与主动齿轮配合松动	更换输入轴、配对弧锥齿轮等件	3.9	1.1
13K DF3	过桥轴与齿轮配合松动	更换过桥轴及其上两齿轮	11.7	3
9K DF2	过桥轴、2# 辊小齿轮松动	更换过桥轴、两小齿轮等件	8.3	2
B02B 水泵	后轴承跑内圈	更换轴承		无法估算
B02E 水泵	前轴承座内孔磨出凹痕	修复轴承座内孔 更换轴承	3	无法估算
其他诊断技术			>20	无法估算
合计			>90	>120
计算依据说明	生产损失=排废量×(年平均成品价-年平均废品价) 其中: 聚酯 I、II 线及纺丝线生产短纤, III 线生产切片; 短纤成品价按 9100 元/t, 切片成品价按 8000 元/t, 废品价按 4500 元/t 计算			

当年该厂“全年非计划停车次数为零, 无设备事故发生”的奋斗目标得以实现。并且由于以设备故障诊断为主题的创新活动“把握机器运行脉搏, 推行设备状态维修”在该厂基础扎实、措施有力、方法得当、效果显著, 这为该项工作的进一步开展起到了积极的示范作用。

事实上, 从历史和现状来看, 设备状态监测与故障诊断工作在该厂开展已有十几年, 其间经历了感性→量化→频谱分析 3 个阶段两次革命性的转变, 而与之相对应的是装置大修周期的逐步延长, 已经先后实现了 1994 年前“一年一修”到 1996 年和 1998 年“两年一修”、2001 年“三年一修”、2005 年“四年一修”的平稳过渡, 运行可靠度始终保持在 99% 以上, 近期又战略性地提出了“全面状态维修”的奋斗目标。从设备管理与维修活动的总体层面来看, 完全可以也应该这样说, 设备故障诊断对促进该厂设备管理的各项工作起到了催化作用, 产生了巨大的经济效益和社会效益。

最后, 我们不难看出这样一个结论, 设备故障诊断在该厂的投入产出比是非常可观的。

从上面的分析可以看出, 设备故障诊断技术在保证设备的安全可靠运行, 以及获取更大的经济效益和社会效益上, 其意义是十分明显的。

1.1.4 设备故障诊断的任务

设备故障诊断的任务是监视设备的状态, 判断其是否正常; 预测和诊断设备的故障并

消除故障；指导设备的管理和维修。

1. 状态监测

状态监测的任务是了解和掌握设备的运行状态，包括采用各种检测、测量、监测、分析和判别方法，结合系统的历史和现状，考虑环境因素，对设备运行状态进行评估，判断其处于正常或非正常状态，并对状态进行显示和记录，对异常状态作出报警，以便运行人员及时加以处理，并为设备的故障分析、性能评估、合理使用和安全生产工作提供信息和准备基础数据。

通常设备的状态可分为正常状态、异常状态和故障状态 3 种。

(1) 正常状态指设备的整体或其局部没有缺陷，或虽有缺陷但其性能仍在允许的限度以内。

(2) 异常状态指缺陷已有一定程度的扩展，使设备状态信号发生一定程度的变化，设备性能已劣化，但仍能维持工作，此时应注意设备性能的发展趋势，即设备应在监护下运行。

(3) 故障状态则是指设备性能指标已有大的下降，设备已不能维持正常工作。设备的故障状态尚有严重程度之分，包括已有故障萌生并有进一步发展趋势的早期故障；程度尚不很重，设备尚可勉强“带病”运行的一般功能性故障，以及由于某种原因瞬间发生的突发性紧急故障等。对应不同的故障，应有相应的报警信号，一般用指示灯光的颜色示性，绿灯表示正常，黄灯表示预警，红灯表示报警。对设备状态演变的过程均应有记录，包括对灾难性破坏事故的状态信号的存储、记忆功能，俗称“黑匣子”记录，以利事后分析事故原因。

2. 故障诊断

故障诊断的任务是根据状态监测所获得的信息，结合已知的结构特性和参数以及环境条件，结合该设备的运行历史(包括运行记录和曾发生过的故障及维修记录等)，对设备可能要发生的或已经发生的故障进行预报和分析、判断，确定故障的性质、类别、程度、原因、部位，指出故障发生和发展的趋势及其后果，提出控制故障继续发展和消除故障的调整、维修、治理的对策措施，并加以实施，最终使设备复原到正常状态。

故障诊断的困难在于：一般来说，故障和征兆之间不存在简单的一一对应的关系：一种故障可能对应多种征兆，而一种征兆也可能对应着多种故障。例如，旋转机械转子的不平衡故障引起振动增大，其中相应于转速的工频分量占主要成分，是其主要征兆，同时还存在一系列其他征兆。反过来工频分量占主要成分这一征兆不只是不平衡的独特征兆，还有许多其他故障也都对应这一征兆。这就为故障诊断增加了难度。因此通常故障诊断有一个反复试验的过程：先按已知信息提取征兆，进行诊断，得出初步结论，提出处理对策，对设备进行调整和试验，甚至停机维修，再启机进行验证，检查设备是否已恢复正常。如尚未恢复，则需补充新的信息，进行新一轮的诊断，并提出处理对策，直至状态恢复正常。

3. 指导设备的管理维修

第 2 章将要讲到，设备的管理和维修方式的发展经历了 3 个阶段，即早期的事后维修方式(run-to-breakdown maintenance)，发展到定期预防维修方式(time-based preventive