



教育部高职高专规划教材

设备状态监测 与故障诊断

张碧波 主编
丛文龙 主审

50.7
0

化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

- | | | |
|-------------------|-----|----|
| 工程制图 | 路大勇 | 主编 |
| 工程制图习题集 | 叶青玉 | 主编 |
| 化工制图（化工工艺专业适用） | 董振珂 | 主编 |
| 化工制图习题集（化工工艺专业适用） | 董振珂 | 主编 |
| 工程力学 | 吴玉亮 | 主编 |
| 机械设计基础 | 谭放鸣 | 主编 |
| 电工与电子技术基础 | 邓允 | 主编 |
| 化工工艺基础 | 王纬武 | 主编 |
| 机电工程专业英语 | 张黎明 | 主编 |
| 机械工程材料 | 高琪妹 | 主编 |
| 金工实训 | 张云新 | 主编 |
| 工程材料及其成型 | 曾宗福 | 主编 |
| 工程材料及其成型实验实训 | 曾宗福 | 主编 |
| 化工机器 | 张涵 | 主编 |
| 化工设备 | 邢晓林 | 主编 |
| 化工机械制造技术 | 朱方鸣 | 主编 |
| 化工机械安装修理 | 张麦秋 | 主编 |
| 化工腐蚀与防护 | 张志宇 | 主编 |
| 过程装备管理 | 尹洪福 | 主编 |
| ▶ 设备状态监测与故障诊断 | 张碧波 | 主编 |
| 密封技术 | 魏龙 | 主编 |

ISBN 7-5025-5717-2



9 787502 557171 >

ISBN 7-5025-5717-2/G · 1487

定价：19.00元

教育部高职高专规划教材

设备状态监测与故障诊断

张碧波 主编

丛文龙 主审



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

设备状态监测与故障诊断/张碧波主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 10

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-5717-2

I. 设… II. 张… III. 化工设备-故障诊断-高等学校: 技术学院-教材 IV. TQ050.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 107721 号

**教育部高职高专规划教材
设备状态监测与故障诊断**

张碧波 主编

丛文龙 主审

责任编辑: 陶 钰

文字编辑: 彭喜英

责任校对: 吴桂萍

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 11 字数 266 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5717-2/G·1487

定 价: 19.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

全国高职高专过程装备与控制专业教材编审委员会

主 任

王绍良

副主任

颜惠庚 金长义 霍献育 于宗保
赵玉奇 栾学刚 梁 正 任耀生

委 员

(按姓氏汉语拼音排序)

邓 允	丁丕洽	董振珂	傅 伟	高琪妹	胡坤芳	贾云甫	姜敏夫
李明顺	路大勇	马秉骞	莫解华	钮德明	潘传九	秦建华	孙成通
孙丽亚	谭放鸣	唐述林	王纬武	王原梅	王志斌	魏 龙	吴玉亮
邢锋芝	邢晓林	熊军权	叶明生	叶青玉	尹洪福	曾宗福	张 涵
张红光	张黎明	张麦秋	张星明	张云新	张志宇	朱方鸣	

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书是根据全国化工高职高专教学指导委员会过程装备及控制专业教材工作会议精神，按照过程装备及控制专业的教学基本要求并结合编者从事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。

本书具有如下的特点。

(1) 体现了新知识和新技术的应用。

(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) 每章配有小结和适量思考题，以加强应用理论知识解决实际问题能力的训练。

(5) 适用范围广。除用于学校的教学外，还可用于企业的岗位培训。

参加本书编写的有：董卫国（第六章、第八章），王蕴弢（第四章的第二节、第三节和第四节，第七章），张碧波（第一章、第二章、第三章及第五章），张莹（第四章的第一节），陆殿忠（附录），全书由张碧波任主编，负责全书的统稿。

丛文龙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，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，且编写时间仓促，书中缺点和错误难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2004 年 2 月

内 容 提 要

本书是根据全国化工高职高专教学指导委员会、过程装备及控制专业教材工作会议精神以及过程装备及控制专业教学基本要求编写的，突出高等职业教育的特点，融入最新的标准，强调了实用性、复合性和先进性，体现了现代技术水平。

本书将理论基础知识与企业应用技术有机地结合在一起，符合目前的教学改革要求。全书共分八章，包括绪论、振动理论概述、振动诊断技术、常用振动诊断仪器、机器故障诊断实例、油液污染诊断技术、温度诊断技术、其他诊断技术等内容。各章配有一定数量的思考题供学习时选用。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人学校及本科院校举办的二级职业技术学院机械类及近机械类专业的教学用书，还可用于工矿企业动力设备管理的岗位培训。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 故障诊断的概念	1
第二节 故障诊断技术的工作原理和工作方法	3
第三节 故障诊断技术的层次	4
小结	5
思考题	5
第二章 振动理论概述	6
第一节 振动的概念和分类	6
第二节 自由振动	9
第三节 强迫振动和自激振动	11
第四节 振动信号在幅值域中的描述	14
第五节 振动信号在时域中的描述	17
第六节 振动信号在频率域中的描述	21
小结	26
思考题	26
第三章 振动诊断技术	28
第一节 振动监测系统的组成	28
第二节 振动诊断技术的实施过程	52
小结	75
思考题	75
第四章 常用振动诊断仪器	77
第一节 SPM 滚动轴承故障诊断仪性能及操作	77
第二节 JTQ-1 机器听诊器性能及操作	81
第三节 BZ-530 智能化测振仪性能及操作	82
第四节 DZ-2011 现场振动平衡分析仪性能及操作	84
小结	89
思考题	89
第五章 机器故障诊断实例	90
第一节 转子不平衡的诊断	90
第二节 转子不对中的诊断	93
第三节 油膜涡动和油膜振荡的诊断	96
第四节 机器联接松动的诊断	101
第五节 齿轮故障的诊断	103
第六节 滚动轴承振动故障的诊断	109
第七节 转子与静止件摩擦故障的诊断	115
第八节 往复式空压机振动故障的诊断	117
小结	120
思考题	121

第六章 油液污染诊断技术	122
第一节 油液污染诊断技术概述	122
第二节 铁谱分析技术	126
第三节 光谱分析技术	132
第四节 磁塞技术	133
小结	134
思考题	134
第七章 温度诊断技术	135
第一节 温度诊断概述	135
第二节 红外监测诊断技术及其应用	137
小结	152
思考题	152
第八章 其他诊断技术	153
第一节 超声和声发射诊断技术	153
第二节 诊断专家系统	156
小结	160
思考题	160
附录	161
主要参考文献	166

第一章

绪 论

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称为“设备诊断技术”的高新技术，它能在设备运行中或基本上不拆卸设备的情况下，通过监测掌握设备运行状态，判断产生故障的部位和原因，并能预测未来的技术状态。本章介绍设备状态监测和故障诊断技术的基本概念、基本原理和方法。

第一节 故障诊断的概念

一、设备技术状态及监测

设备从投入使用时开始，其工作状态和技术指标（即技术状态）就一直在发生变化，如果任其发展，就会产生故障，甚至造成严重后果。1986 年 4 月 27 日前苏联切尔诺贝利核电站四号机组发生严重振动而造成核泄露，致使 2000 多人死亡，经济损失达 30 亿美元，引起国际上普遍的关注。

类似这样的设备事故每年都有大量的报道，它反复提醒人们，为了避免设备事故，保障人身和设备安全，必须对设备进行监测，使人们随时掌握设备的技术状态，从而使设备维修和管理更趋科学化。

二、故障与维修

（一）故障的含义

所谓“故障”，指的是“一台装置在它应达到的功能上丧失了能力”，即机械设备运行功能的失常（Malfunction），并非纯指失效（Failure）或损坏（Breakdown）。设备一旦发生故障，往往给生产和产品质量乃至人们的生命安全造成严重的影响，为使设备保持正常运行状态，必须采用合适的方法进行维修。

（二）状态维修的概念

设备经过运行使用之后，性能将逐渐变差，为保证其正常工作，必须及时将劣化了的性能加以恢复，这就是设备维修。在设备技术发展史上，先后经历了三种维修方式。

1. 事后维修

按这种维修方式工作的设备，往往没有采用有效的监测手段，通常在设备损坏之后进行修理。这种维修制度只适用于造价低的设备，并且设备事故对人身不会造成伤害、对工艺没有大的影响的情况。对于现代化的生产，由于设备向大型化、高速化、自动化等方向发展，力学性能指标越来越高，设备组成和结构越来越复杂，一旦发生事故，造成的损失是非常巨

大的。设备修复也很困难，要付出昂贵的修理费用。因此，这种维修方式已很少采用。

2. 定期预防维修

定期预防维修是设备按固定的周期进行维修，如定期地对设备进行清洁、润滑，有计划地更换配件等。这种维修方式，对保证设备安全运行，减少维修费用能起到一定的作用，但由于缺乏对设备故障规律的认识，没有有效的监测手段，检修周期基本上是凭人的经验加上某些统计资料来制定的，它很难预防许多由于随机因素引起的事故，而且会造成过剩维修。甚至由于维修不当，反而增加了故障率。

按照定期预防维修的观点，设备在新的时候或刚修理过时，其故障率是较低的，随着时间的推移，故障率会逐渐增大；当出现故障的设备数达到 2% 时，就应对全部设备进行修理，这会使 98% 的设备有剩余的寿命；但如不按期检修，在更短的时间内将又有 2% 的设备发生故障。

但事实并非如此。联合航空公司（United Airlines）和美国航空公司（American Airlines）对 235 套机械设备（包括电机、泵类、控制系统）作了一个普查，发现只有 8% 的设备的故障率随时间推移按照一定的规律增加，而其余 92% 的设备故障率近似为一常数。多数设备故障率并不随时间增加而变大，全部设备都定期进行检修是不科学的，无形中浪费了大量人力和物力，减少了设备可用运行时间，这就是所谓的过剩维修。况且人们并不知道其故障是怎样随时变化的，采用这种方式对设备进行维修，对于预防设备事故的作用是有限的。

3. 状态维修

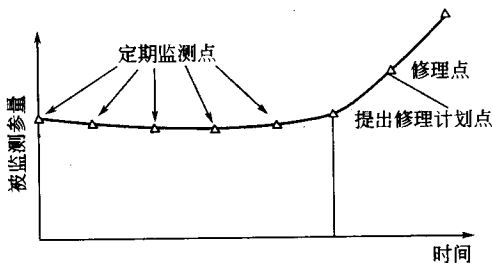


图 1-1 状态维修方式

状态维修是一种新的维修方式。顾名思义，使用这种维修方式，需要预先掌握设备的实际技术状态，据此决定维修工作。它的基本原则是只有当测量结果表明有必要检修的时候才进行检修，也就是说，它按“需”维修（见图 1-1）。将定期维修变成定期检测设备的运行状态，跟踪故障的发展过程及推算设备状态超标发生的时间，就可根据设备状态劣化的程度，在故障发生前的某个时间内做好检修准备，有

针对性地、有计划地安排停工修理。如果生产条件不容许，也可有安排地让设备坚持运行到出现故障时再停下检修（当然，故障后果严重或对人身安全有重大威胁的除外）。实行这种方式的维修制度，无论对减少备件库存量，缩短检修时间，提高检修质量还是对减少故障造成的人身事故，提高设备的有效利用率都是有好处的。

三、故障诊断的定义

“诊断”包括两方面内容：“诊”是对设备客观状态作检测；“断”则是确定故障的性质、故障的程度、故障的部位，说明故障产生的原因，提出对策等。现在所说的设备故障诊断技术，具有两个特点。

一个特点是应用了许多现代化的监测仪器和分析诊断系统。电子技术和计算机技术的迅速发展，快速傅里叶变换算法语言的出现，使信号分析技术从硬件到软件都达到了新的水平。设备、零件的可靠性研究以及对零件失效机理的研究，为设备诊断技术的发展提供了坚实的理论基础。现在可供使用的仪器和监测系统，从便携式仪器到成套设备，直到具有人工智能的专家系统均已出现，其性能指标、功能规格正在不断更新和扩大。这些应用现代科学

理论和技术制造出来的电子仪器设备，具有许多主观监测无可比拟的优点，如灵敏度高，反应速度快，信号转换方便等，计算机还具有记忆和逻辑判断能力。因此，过去靠感官无法发现的微小状态变化，现在都可准确地及时地加以测定。

另一个显著特点是它强调的是动态诊断。设备只有在运行中才能产生物理的、化学的信号，信号超过一定指标就表示发生了故障。设备停止运行，信号消失，有的故障就难以发现。

综上所述，设备故障诊断就是在设备运行中或基本不拆卸设备的情况下，监测设备运行的状态量，预测故障的部位和原因以及其对设备未来运行的影响，从而找出对策的一门技术，设备故障诊断是一门很有应用前途的技术。

第二节 故障诊断技术的工作原理和工作方法

一、故障诊断技术的工作原理

在设备监测和故障诊断技术中，异常及故障的表现叫做征兆，征兆的特点叫模式。和医学诊断相似，为了进行机械故障诊断，要将故障征兆进行分类（如振动、噪声、变形、残留物、松动、斑点、凹坑，断裂等），弄清故障类别（磨损、裂纹、腐蚀、不平衡、不对中、泄漏），性质（渐发性、扩展性）和程度（局部故障、整机故障等），在掌握了故障具体类别之后，就可根据故障的机理预测其发展情况，提出相应对策。故障诊断技术一般有如下四个方面的工作内容。

(1) 信号检测 就是正确选择测试仪器和测试方法，准确地测量出反映设备实际状态的各种信号（应力参数，设备故障劣化的征兆参数，运行性能强度参数等），由此建立起来的状态信号属于初始模式。

(2) 特征提取 将初始模式的状态信号通过放大或压缩、形式变换、去除噪声干扰等处理，提取故障特征，形成待检模式。

(3) 状态识别 根据理论分析结合故障案例，并采用数据库技术所建立起来的故障档案库为基准模式，把待检模式与基准模式进行比较和分类，即可区别设备的正常与异常。

(4) 预报决策 经过判别，对属于正常状态的设备可继续监视，重复以上程序；对属于异常状态的设备则要查明故障情况，做出趋势分析，估计今后发展和可继续运行的时间以及根据问题所在提出控制措施和维修决策。

二、故障诊断技术的工作方法

故障诊断技术的工作方法和应用场合见表 1-1。

表 1-1 故障诊断技术的工作方法和应用场合

序号	故障征兆	工作方法	应用场合
1	振动	强度测定、频谱分析、SPM 脉冲诊断	旋转机械、往复机械、流体机械、转轴、轴承、齿轮等
2	温度	红外测温、红外热像、热电偶	热工设备、工业炉窑、电动机、电器、电子设备等
3	油液	油品的理化性能、磨粒的铁谱分析及油液的光谱分析	设备润滑系统、有摩擦副的传动系统、电力变压器等
4	声学	噪声、声阻、超声波、声发射等	压力容器及管道、流体机械、工业阀门、断路开关等

续表

序号	故障征兆	工作方法	应用场合
5	强度	载荷、扭矩、应力、应变等	起重运输设备、锻压设备、各种工程结构等
6	压力	压力、压差、压力联动等	液压系统、流体机械、内燃机、液力耦合器等
7	点蚀和裂纹等	着色渗透、X射线、磁粉探伤、声发射等	设备及零件的表面损伤、交换器及管道内孔等

选用上述工作方法要根据对象不同而有所区别，其中以振动、油液、温度及声学的诊断方法应用最多。

第三节 故障诊断技术的层次

设备故障诊断在应用上分成简易诊断和精密诊断两类。状态监测与故障诊断是诊断技术的两个组成部分。

一、简易诊断技术

简易诊断技术是应用简单的方法，对设备技术状态快速作出概括性评价的技术。一般有以下几个特点。

- ① 由设备维护人员在生产现场进行。
- ② 使用的诊断仪器及检测仪表较简单和易于携带。
- ③ 只对装备有无故障、故障的严重程度及其发展趋势做出定性的初步判断。
- ④ 相关的技术知识和经验比较简单。
- ⑤ 采集的故障信号应该储存建档。

设备的简易诊断技术包括定期的或在线的状态监测，它能对设备技术状态的一些参数作出是否正常的判断。当参数存在异常或超过限值时，即报警或自动停机。

设备简易诊断适宜于安装调试阶段用以检查和排除运输过程及安装施工中的缺陷以及在使用维护阶段进行状态监测，发现事故隐患，掌握设备的劣化趋势。

二、精密诊断技术

精密诊断技术是使用精密的仪器，在简易诊断的基础上对设备技术状态作出详细评价的技术。一般包括以下几个特点。

- ① 诊断由具有一定经验的工程技术人员或专家在生产现场或诊断中心完成。
- ② 使用的诊断分析仪器比较复杂。
- ③ 对设备故障的存在部位、发生原因及故障类型进行识别和定量分析。
- ④ 相关的技术知识和经验比较复杂，需要较多的学科配合。
- ⑤ 对信号进行深入的处理，并根据需要预测设备寿命。

近年开发的人工智能与诊断专家系统和计算机辅助设备诊断系统等都属于精密诊断技术范畴，一般多用于关键机组和诊断比较复杂的故障原因。

精密诊断除用于设备的开发研制过程外，更多用于使用维修阶段，但由于它所需费用较高，只有当简易诊断难以确诊时才采用。

在推广应用诊断技术时，一定要结合实际情况，应该把重点放在普及简易诊断上，同时积极开发精密诊断技术，使之尽快达到实用水平。需要指出的是两种诊断体制的划分只是相对的，现在的所谓精密诊断，随着技术的进步就会划入简易诊断范围之内。设备故障诊断技术发展很快，状态维修技术将很快得到普遍推广。