

344

747/1-1
V.15

机械设备故障诊断技术及应用

主编 王江萍



A0973954

西北工业大学出版社

【内容提要】 本书全面系统地论述了机械设备故障诊断原理和技术。全书分两大部分共9章,第一部分1~4章,叙述了机械设备故障诊断技术的基本概念、机械物理信号分析基础、建模方法及时序模型在机械设备故障诊断中的应用、设备状态识别方法等诊断原理和常用技术;第二部分5~9章以应用技术为主,主要介绍了旋转机械、往复机械、主要传动零部件等的故障诊断技术,以及无损检测技术等。

本书可作为高等院校机械工程及相关专业的本科、研究生教学用书,也可作为机械设计、制造及维护管理方面工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设备故障诊断技术及应用/王江萍主编. —西安:
西北工业大学出版社, 2001. 8
ISBN 7-5612-1076-0

I. 机... II. 王... III. 机械设备-故障诊断 IV. TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 036779 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:029—8493844

网 址:<http://www.nwpup.com>

E-mail: fxb@nwpup.com

印刷者:西安电子科技大学印刷厂

开 本:787 mm×1 092mm 1/16

印 张:15.5

字 数:373 千字

版 次:2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

印 数:01~3 000 册

定 价:20.00 元

前 言

机械设备故障诊断技术是 20 世纪 70~80 年代迅速发展起来的一门多学科交叉和融合的新型技术,现代微电子技术、检测技术、信息技术、计算机技术等为这一新型技术提供了先进的、多样化的技术手段,使之不断地完善和充实。故障诊断技术为保障设备安全运行、对设备故障的发展作出早期预报、对出现故障的原因作出判断并提出对策建议、为实现从现行的“定期维修”向更合理的“预测维修”的转变提供了条件。

近年来国内陆续出版了一批设备故障诊断方面的专著和译著,多是以故障诊断丛书的形式,分列专题出版的。这些著作及译著所论述的角度各有侧重,内容都比较丰富,并各有自己的特色。

本书的内容比较完整,既阐明故障诊断的原理和方法,又介绍故障诊断系统的实际组成和各种诊断方法的具体实现及其应用,反映故障诊断技术的最新发展,如模糊集理论、人工神经网络、小波变换等在故障诊断中的应用在书中也作了较为详细的讨论。本书所提供的数据和图表,多是作者在实验室及工程实践中的研究结果,而有些采用参考文献中的结果,主要是为了说明方法原理和基本规律。在进行实际诊断中,需根据具体的诊断对象和要求,采用对应的检测数据。

本书的第 1~6 章由王江萍编写,第 7~9 章由徐爱荣编写。全书由王江萍负责统稿,彭勇教授对全书进行了审阅,并提出了宝贵的意见。

本书的编写得到了西安石油学院的立项资助,在编写过程中得到了学院教务处和机械工程系有关老师的支持和帮助,在此致以诚恳的感谢。

由于编者的水平有限,加之机械故障诊断是一项新发展的科学技术,还没有形成较为完整的体系,许多原理方法尚在研究之中,因此,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2000 年 11 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机械设备故障诊断技术的意义、目的和内容	1
1.2 设备故障的信息获取和检测方法	3
1.3 机械设备故障诊断方法的分类	6
1.4 机械设备故障诊断技术的发展概况	8
习题与思考题	10
第 2 章 机械故障诊断中的信号分析与处理	11
2.1 机械物理信号分析的基础知识	11
2.2 检测信号的时域分析方法	16
2.3 检测信号的频域分析方法	30
2.4 倒频谱分析方法	41
2.5 小波分析	47
习题与思考题	55
第 3 章 机械故障诊断的时序模型分析方法	56
3.1 时间序列模型结构特征	56
3.2 自回归模型的参数、阶次的确定	58
3.3 自回归谱的概念和应用	64
3.4 设备状态变化趋势性及预测	69
习题与思考题	74
第 4 章 状态识别与判决方法原理	76
4.1 概述	76
4.2 主分量分析	77
4.3 贝叶斯决策理论方法	82
4.4 距离函数分类法	89
* 4.5 故障诊断的模糊模式识别方法	93
* 4.6 神经网络及其在故障诊断中的应用	107

习题与思考题	121
第 5 章 旋转机械的振动监测与故障诊断	123
5.1 概述	123
5.2 旋转机械振动监测参数与分析	126
5.3 旋转机械典型故障的机理和特征	133
5.4 旋转机械振动故障诊断示例	145
习题与思考题	148
第 6 章 往复机械的监测与诊断	149
6.1 往复机械的动力性能监测	149
6.2 往复机械故障诊断的油样分析法	151
6.3 瞬时转速检测法	160
6.4 往复机械故障的振动诊断法	162
6.5 柴油机供油系统故障诊断压力波形分析法	168
习题与思考题	169
第 7 章 典型传动部件的故障及其诊断方法	170
7.1 滚动轴承异常的基本形式	170
7.2 滚动轴承的振动类型及其故障特征	171
7.3 滚动轴承故障诊断方法	176
7.4 齿轮异常的基本形式及振动特点	182
7.5 齿轮故障诊断方法	192
习题与思考题	198
第 8 章 机械制造过程工况监测与故障诊断	199
8.1 概述	199
8.2 切削过程刀具磨损与破损的监测与诊断	200
8.3 金属切削颤振的在线监测	205
8.4 切削状态的在线识别	208
8.5 磨削过程表面烧伤的识别	211
8.6 FMS 和 CIMS 的监测与诊断系统概述	214
习题与思考题	217
第 9 章 无损检测技术	218
9.1 光学检测	218
9.2 渗透与磁粉检测	220
9.3 涡流检测	223
9.4 射线检测	226

9.5 超声波检测	229
9.6 声发射检测	234
习题与思考题.....	237
参考文献	238

绪 论

1.1 机械设备故障诊断技术的意义、目的和内容

随着科学技术与生产的高度发展,各学科相互渗透、相互交叉、相互促进,形成了设备诊断技术这一生命力旺盛的新兴学科。它是一种了解和掌握设备在使用过程中的状态,确定其整体或局部是正常或异常,早期发现故障及其原因,并能预报故障发展趋势的技术。通俗地说,它是一种给设备“看病”的技术,这里所说的“设备”是指机械设备和某些电气设备。

机械设备故障诊断技术日益获得重视与发展的原因是,随着科学技术与生产的发展,机械设备工作强度不断增大,生产效率、自动化程度越来越高,同时设备更加复杂,各部分的关联愈加密切,往往某处微小故障就爆发链锁反应,导致整个设备乃至与设备有关的环境遭受灾难性的毁坏。这不仅造成巨大的经济损失,而且会危及人身安全,后果极为严重。例如,1973 年美国三里岛核电站堆芯损坏事故;1985 年美国航天飞机“挑战者号”的坠毁;1984 年印度博帕尔市农药厂异氰酸甲酯毒气外泄事故;1986 年前苏联切尔诺贝利核电站泄漏事故;1986 年欧洲莱茵河瑞士化学工业污染事故等等,都是设备故障造成的震惊世界的恶性事故。国内,1982 年江苏某化肥厂合成氨压缩机组发生强烈振动,三次停机,损失达千万元以上;1995 年山西某电厂一台 20 万千瓦汽轮发电机组毁坏,直接损失达千万元。据统计,重要设备因事故停机造成的损失极为严重:一个乙烯球罐停产一天,损失产值 500 万元,利润 200 万元;一台大型化纤设备停产 1 小时,损失产值 80 万元。英国有人在 1984 年发表论文认为,对大型汽轮发电机组进行振动监视,获利与投资之比为 17:1,在英国西南地区,每台发电机组如减少 2.5% 的事故与检修损失,每年获利可达 5.5 亿英镑。这表明采用设备诊断技术,保证设备可靠而有效地运行是极为重要的。

设备诊断技术日益获得重视与发展的另一个重要原因是能改革维修体制,大量节省维修费用。当前,国内外对机械设备主要采用计划维修。在许多场合下,这是非常不合理的,不该修的修了,不仅费时花钱,甚至降低设备工作性能;该修的又没修,不仅降低设备寿命,而且导致事故。英国曾对 2000

家工厂调查,结果表明采用诊断技术后,每年设备维修费可节约3亿英镑。日本有资料指出,采用诊断技术后,每年设备维修费减少20%~50%,故障停机减少75%。我国的大型钢厂,每年设备维修费达2亿元至3亿元。某港口有5台15吨带斗机,原规定每台每年小修停机45天,实行状态监测与维护后5台每年共停机45天,多获产值160万元。某机械施工单位拥有工程机械232台,采用状态维修后,维修材料费降低30%,维修工作量降低47%。有资料表明,大量生产的发动机,其修理劳动量是制造劳动量的5~10倍。日本航空公司很早就对JT3D喷气发动机采用监控技术,使大修寿命从1200小时提高到12000小时以上,直至取消大修。大量正反事例都表明:对机械设备,特别是关键设备实行工况监控与故障诊断的必要性与迫切性。

在机械制造领域中,如柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等,故障诊断技术也具有相同的重要性。然而在机械制造业中,大量的单件、小批量生产,在传统的生产环境中,一般机床设备操作与质量控制主要靠人进行,这时故障诊断技术的地位就没有前述连续生产系统显得那么重要。但对于某些关键机床设备,因故障存在而导致加工质量降低,使整个机器产品质量不能保证,这时故障诊断技术也不容忽视。

从设备诊断技术的起源与发展来看,设备诊断技术的目的应是“保证可靠地、高效地发挥设备应有的功能”。这包含了三点:一是保证设备无故障,工作可靠;二是保证物尽其用,设备要发挥其最大的效益;三是保证设备在将有故障或已有故障时,能及时诊断出来,正确地加以维修,以减少维修时间,提高维修质量,节约维修费用,应使重要的设备能按其状态进行维修(即视情维修或预知维修),改革目前按时维修的体制。应指出,设备诊断技术应为设备维修服务,可视为设备维修技术的内容,但它决不仅限于为设备维修服务,正如前两点所示,它还应保证设备能处于最佳的运行状态,这意味着它还应为设备的设计、制造与运行服务。例如,它应能保证动力设备具有良好的抗振、消振、减振能力,具有良好的出力能力等。还应指出,所谓故障是指设备丧失其规定的功能。显然,故障不等于失效,更不等于损坏。失效与损坏是严重的故障。

设备诊断技术的最根本的任务是通过测取设备的信息来识别设备的状态,因为只有识别了设备的有关状态,才有可能达到设备诊断的目的。概括起来,正如对人体诊断一样,一是预防与保健,二是看病与处置。对于设备的诊断,一是防患于未然,早期诊断;二是诊断故障,采取措施。具体讲,设备诊断技术应包括以下5方面内容。

1. 正确选择与测取设备有关状态的特征信号

显然,所测取的信号应该包含设备有关状态的信息。例如,诊断起重机桁架有无裂纹决不能靠测取桁架各点温度来判定,因温度信号中不包含裂纹有无的信息,而测取桁架的振动信号则可达到目的,因为振动信号中包含了结构有无裂纹的信息。这种信号可称为特征信号。

2. 正确地 从特征信号中提取设备有关状态的有用信息

一般来讲,从特征信号来直接判明设备状态的有关情况,查明故障的有无,是比较难的。例如,一般难于从结构的振动信号直接判明结构有无裂纹,还需要根据振动理论、信号分析理论、控制理论等提供的理论与方法,加上试验研究,对特征信号加以处理,提取有用的信息(称为征兆),才有可能判明设备的有关状态。例如,理论分析与试验研究表明,从振动信号中计算出的固有频率这一征兆固然可用,但对结构有无裂纹产生并不敏感,而计算出的频率特性(或称频响函数)却存在着十分敏感的频带,因此,以频率特性作为征兆则更为合适。所谓敏感的强弱,是指征兆的相对变化与有关状态相对变化之比的大小。这在概念上是成立的,但在实际上就不一定计算或测试得出来。

征兆,可以是结构的物理参数(如质量、刚度等)、结构的模态参数(如固有频率、模态阻尼、模型等),可以是设备的工作特征(如耗油率、工作转速、功率等),可以是信号的统计特性(如均值、方差、自功率谱等),也可以是由信号中得出的其他特征量(如自回归模型参数等)。

3. 根据征兆正确地进行设备的状态诊断

一般来讲,还不能直接采用征兆来进行设备的故障诊断、识别设备的状态。这时,可以采用多种的模式识别理论与方法,对征兆加以处理,构成判别准则,进行状态的识别与分类。例如,对发动机的正常状态、阀撞击状态与连杆撞击状态,在测取振动信号,采用时序方法加以处理,建立自回归模型,将自回归参数与残差方差作为征兆后,可用此征兆构成 Kullback — Liebler 信息距离这一判别准则,来识别发动机所处的状态。显然,状态诊断这一步是设备诊断重点之所在。当然,这决不表明设备诊断的成败只取决于状态诊断这一步,特征信号与征兆的获取正确与否,应该是能否进行正确的状态诊断的前提。

由此应指出,征兆既用于由外表现象推断内部状态,此时可称为症候;又用于由现在现象推断未来状态,此时可称为预兆。状态诊断既包括诊断设备是否将发生什么故障,此即早期诊断,也包括诊断设备已发生什么故障,此即故障诊断。

4. 根据征兆与状态正确地进行设备的状态分析

当状态为有故障时,则应采用有关方法进一步分析故障位置、类型、性质、原因与趋势等。例如,故障树分析是分析故障原因的一种有效方法,当然,故障的原因往往是次一级的故障;如轴承烧坏是故障,其原因是输油管不输油,不输油是因油管堵塞,后者是因滤油器失效等等,这些原因就可称为第二、三、四级故障。正因为故障的原因可能是次级故障,从而有关的状态诊断方法也可用于状态分析。当状态为无故障时,则可用 Kalman 滤波、时序模型等方法进一步分析状态趋势,预计未来情况。

5. 根据状态分析正确地作出决策

干预设备及其工作进程,以保证设备可靠、高效地发挥其应有功能,达到设备诊断的目的。所谓干预包括人为干预和自动干预,即包括调整、修理、控制、自诊断等等。

应当指出,实际上往往不能直接识别设备的状态,因此事先要建立同状态一一对应的基准模式,由征兆所作出的判别准则,此时是同基准模式相联系来对状态进行识别与分类的。显然,将上述设备诊断内容加以概括,可得到图 1-1 所示的设备诊断过程框图。

所谓简易诊断主要指状态诊断这步只判明设备有无故障,但不作故障分析;而所谓精密诊断则包括状态诊断与状态分析这两步,还可能要判明多种故障的情况。

一般所谓工况监视实际上是状态监视,故障是设备的异常状态;因此,工况监视是故障诊断(亦即设备诊断)的基础。设备诊断过程可以说是设备的工况监控、分析与干预过程。

1.2 设备故障的信息获取和检测方法

1.2.1 设备故障信息的获取方法

对设备故障进行诊断,首先应获取有关信息。信息是提供人们判断或识别状态的重要依据,是指某些事实和资料的集成。信号是信息的载体,因而设备故障诊断技术在一定意义上是

属于信息技术的范畴。充分地检测足够量的、能反映系统状态的信号对诊断来说是至关重要的,一个好的诊断系统首先应该能正确地、全面地获取监测和诊断所必须的全部信息。下面介绍信息获取的几种方法。

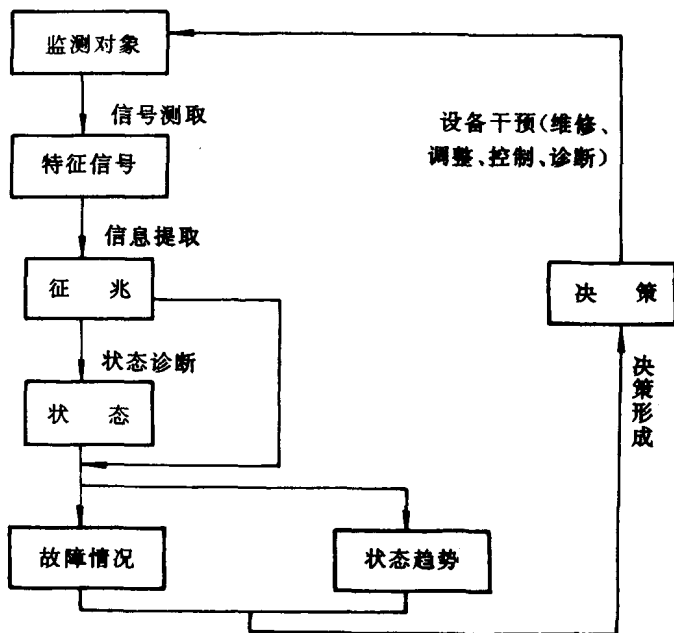


图 1-1 设备诊断过程框图

1. 直接观测法

应用这种方法对机器状态作出判断主要靠人的经验和感官,且限于能观测到的或接触到的机器零件。这种方法可以获得第一手资料,更多的是用于静止的设备。在观测中有时使用了一些辅助的工具和仪器,如倾听机器内部声音的听棒,检查零件内孔有无表面缺陷的光学窥镜,探查零件表面有无裂纹的磁性涂料及着色渗透剂等,来扩大和延伸人的观测能力。

2. 参数测定法

根据设备运行的各种参数的变化来获取故障信息是广泛应用的一种方法。因为机器运行时各部件的运动必然会有各种信息,这些信息参数可以是温度、压力、振动或噪声等,它们都能反映机器的工作状态,如根据轴瓦下部油压变化可以了解转子对中情况,分析油液中金属碎屑情况可以了解轴瓦磨损程度等。在运转的设备中,振动是最重要的信息来源,在振动信号中包含了各种丰富的故障信息,任何机器在运转时工作状态发生了变化,必然会从振动信号中反映出来。对旋转机械来说,目前在国内外应用最普遍的方法是利用振动信号对机器状态进行判别。从测试手段来看,利用振动信号进行测试也最方便、实用,要利用振动信号对故障进行判别,首先应从振动信号中提取有用的特征信号,即利用信号处理技术对振动信号进行处理。目前应用最广泛的处理方法是进行频谱分析,即从振动信号中的频率成分和分布情况来判断故障。

其他如噪声、温度、压力、变形等参数也是故障信息的重要来源。

3. 磨损残余物的测定

机器零件,例如轴承、齿轮、活塞环、缸套等在运行过程中的磨损残渣可以在润滑油中找到。测定的方法分为三种:一种是直接检查残渣,以及测定油膜间隙内电容或电感的变化、润滑油混浊度的变化等方法以迅速获得零件失效的信息。第二种是残渣的收集,例如采用磁性探头、特殊的过滤器等收集齿轮、滚动轴承等工作表面疲劳引起的大块剥落颗粒。第三种方法是油样分析,可以确定机器中什么零件在磨损。

测定机器零部件如轴承、齿轮、活塞环等的磨损残渣在润滑油中的含量,也是一种有效的获取故障信息的方法。根据磨损残渣在润滑油中含量及颗粒分布可以掌握零件磨损情况,并可预防机器故障的发生。

4. 设备性能指标的测定

设备性能包括整机及零部件性能。通过测量机器性能及输入、输出量的变化信息来判断机器的工作状态也是一种重要方法。

例如,柴油机耗油量与功率的变化,机床加工零件精度的变化,风机效率的变化等均包含着故障信息。

对机器零部件性能的测定,主要反映在强度方面,这对预测机器设备的可靠性,预报设备破坏性故障具有重要意义。

1.2.2 设备故障的检测方法

由于机器运行的状态千差万别,因而出现的故障也多种多样,采用的检测方法各不相同。本节将对具体的各种故障应采用的方法及其应用范围作一介绍。

1. 振动和噪声的故障检测

机器在运行的过程中振动是诊断的重要信息,它反映了机器的状态。根据检测的振动和噪声信号,可采用以下方法对机器状态进行诊断:

(1) 振动法:对机器主要部位的振动值如位移、速度、加速度、转速及相位值等进行测定,与标准值进行比较,据此可以宏观地对机器的运行状况进行评定,这是最常用的方法。

(2) 特征分析法:对测得的上述振动量在时域、频域、时—频域进行特征分析,用以确定机器各种故障的内容和性质。

(3) 模态分析与参数识别法:利用测得的振动参数对机器零部件的模态参数进行识别,以确定故障的原因和部位。

(4) 冲击能量与冲击脉冲测定法:利用共振解调技术以测定滚动轴承的故障。

(5) 声学法:对机器噪声的测量可以了解机器运行情况并寻找故障源。

2. 材料裂纹及缺陷损伤的故障检测

材料裂纹包括应力腐蚀裂纹及疲劳裂纹,一般可采用下述方法进行检测:

(1) 超声波探伤法:该方法成本低,可测厚度大,速度快,对人体无害,主要用来检测平面型缺陷。

(2) 射线探伤法:主要采用 X 和 γ 射线。该方法主要用于展示体积型缺陷,适用于一切材料,测量成本较高,对人体有一定损害,使用时应注意。

(3) 渗透探伤法:主要有荧光渗透与着色渗透两种。该方法操作简单,成本低,应用范围

广,可直观显示,但仅适用于有表面缺陷的损伤类型。

(4) 磁粉探伤法:该法使用简便,较渗透探伤更灵敏,能探测近表面的缺陷,但仅适用于铁磁性材料。

(5) 涡流探伤法:这种方法对封闭在材料表面下的缺陷有较高的检测灵敏度,它属于电学测量方法,容易实现自动化和计算机处理。

(6) 激光全息检测法:它是 20 世纪 60 年代发展起来的一种技术,可检测各种蜂窝结构、叠层结构、高压容器等。

(7) 微波检测技术:它也是近几十年来发展起来的一种新技术,对非金属的贯穿能力远大于超声波方法,其特点是快速、简便,是一种非接触式的无损检测。

(8) 声发射技术:它主要对大型构件结构的完整性进行监测和评价,对缺陷的增长可实行动态、实时监测,且检测灵敏度高,目前在压力容器,核电站重点设备及放射性物质泄漏,输送管道焊接部位缺陷等方面的检测获得了广泛的应用。

3. 设备零部件材料的磨损及腐蚀故障检测

这类故障除采用上述无损检测中的超声探伤法外尚可用下列方法:

(1) 光纤内窥技术:它是利用特制的光纤内窥探测器直接观测到材料表面磨损及腐蚀情况。

(2) 油液分析技术:油液分析技术可分为两大类:一类是油液本身的物理、化学性能分析,另一类是对油液污染程度的分析。具体的方法有光谱分析法与铁谱分析法。

4. 温度、压力、流量变化引起的故障检测

机器设备系统的有些故障往往反映在一些工艺参数,如温度、压力、流量的变化中,在温度测量中除常规使用的装在机器上的热电阻、热电偶等接触式测温仪外,目前在一些特殊场合使用的非接触式测温方法有红外测温仪和红外热像仪,它们都是依靠物体的热辐射进行测量。

1.3 机械设备故障诊断方法的分类

机器设备有各种类型,其工作条件又各不相同,故对不同机器的故障往往需要采用不同的方法来诊断。对机器进行故障诊断的方法可以按如下几种方式进行分类。

1.3.1 按诊断的目的和要求分类

1. 功能诊断和运行诊断

功能诊断是针对新安装或刚维修后的机器或机组,需要检查它们的运行工况和功能是否正常,并且按检查的结果对机器或机组进行调整。而运行诊断是针对正常工作的机器或机组,需要监视其故障的发生和发展。

2. 定期诊断和连续监控

定期诊断是每隔一定时间,例如 1 个月或数月对工作状态下的机器进行常规检查。连续监控则是采用仪表和计算机信息处理系统对机器运行状态进行不间断地监视或控制。两种诊断方式的采用,取决于设备的关键程度、设备事故影响的严重程度、运行过程中性能下降的快慢,以及设备故障发生和发展的可预测性,如表 1-1 所示。

表 1-1 两种诊断方法采用的条件

性能下降速度	故障不可预测	故障可预测
快	连续监控	定期更换
慢	定期诊断	定期诊断

3. 直接诊断和间接诊断

直接诊断是直接确定关键部件的状态,如主轴承间隙、齿轮齿面磨损、燃气轮机叶片的裂纹以及在腐蚀环境下管道的壁厚等。直接诊断往往受到机器结构和工作条件的限制而无法实现,这时,就不得不采用间接诊断。

所谓间接诊断是通过二次诊断信息来间接判断机器中关键零部件的状态变化。多数二次诊断信息属于综合信息,例如前述的用润滑油温升来反映主轴承的运行状态,因此,在间接诊断中出现误诊和漏检两种情况的可能性都会增大。

4. 常规工况下诊断和特殊工况下诊断

多数诊断在机器正常工作条件下就能进行的,只有在个别情况下才需要创造特殊的工作条件来拾取信息。例如,动力机组的起动和停车过程,需要跨过转子扭转、弯曲的几个临界转速。利用起动和停车过程的振动信号作出的瀑布图,常包含着许多在常规诊断中所得不到的诊断信息。

5. 在线诊断与离线诊断

在线诊断是指对于大型、重要的设备为了保证其安全和可靠运行需要对所监测的信号自动、连续、定时的进行采集与分析,对出现的故障及时作出诊断;离线诊断是通过磁带记录仪或数据采集器将现场的信号记录并储存起来,再在实验室进行回放分析,对于一般中小型设备往往采用离线诊断方式。

1.3.2 按诊断对象分类

- (1) 旋转机械诊断技术:如汽轮发电机组、燃气轮机组、水轮机组、风机及泵离心等。
- (2) 往复机械诊断技术:包括内燃机、往复式压缩机及泵等。
- (3) 工程结构诊断技术:如海洋平台、金属结构、框架、桥梁、容器等。
- (4) 运载器和装置诊断技术:如飞机、火箭、航天器、舰艇、火车、汽车、坦克、火炮、装甲车等。
- (5) 通讯系统诊断技术:如雷达、电子工程等。
- (6) 工艺流程诊断技术:主要是生产流程、传送装置及冶金压延等设备。

1.3.3 按信息提取方式分类

信号是信息的载体,设备出现故障时所表现出的征兆是通过检测信息,即信号来体现的,所以可以按找特征信号与征兆之间的关系对诊断方法进行分类。

1. 函数分析法

特征信号与征兆之间存在定量的函数关,可用数学分析方法,例如状态空间分析,由特征信号求出征兆。

2. 统计分析法

可用数理统计方法由特征信号求出征兆。统计分析法又可分为分非参数模型统计法即传统的信号处理方法和参数模型统计法两种。它根据信号的采样数据,首先建立差分方程形式的参数模型,再用模型的参数或用模型计算出信号统计特性、结构固有的特性或其他特性作为征兆。这种方法之一就是时序模型方法,其最大优点之一是没有传统信号处理方法中对数据加“窗”的致命弱点,其次几乎能将蕴含在采样数据中全部信号凝聚在少数几个模型参数之中。

1.3.4 按照状态诊断方式分类

设备的各种运行状态均会通过其相应的各种征兆表现出来,所以按照征兆与状态之间的关系可将诊断方法分为以下几种。

1. 对比诊断法

目前应用最广,应事先通过统计归纳、试验研究、分析计算,确定同各有关状态——对应的征兆(即基准模式或标准档案),然后将获得的征兆同基准模式对比,即可确定设备的状态。

2. 函数诊断法

在征兆与状态之间如存在定量的函数关系,则在获得征兆后即可用相应的函数关系计算出状态。

3. 逻辑诊断法

在征兆与状态间如存在逻辑关系时,则在获得征兆后即可用相应物理或数理逻辑关系推理判明有关状态。如润滑油检测法、激光全息法等均属物理逻辑法,决策布尔函数法则属数理逻辑法。

4. 统计诊断法

一般模式识别理论中的统计模式法,它用于征兆与状态之间存在统计关系时。

5. 模糊诊断法

它是一种较新的诊断方法,其特点有二:第一,它采用多因素诊断,因为一种状态可在不同程度地引起多种征兆,而一种征兆又可在不同程度上反映多种状态;第二,它模仿人利用模糊逻辑而精确识别事物这一特性。这样,它根据所获得的征兆,列出征兆隶属度模糊向量,再根据以实践为基础所得到的模糊矩阵,利用模糊数学方法,计算出状态隶属度模糊向量,最后根据此向量中各元素的大小确定有关状态的情况。

6. 智能诊断法

人工智能的目的是使计算机去做原来只有人才能做的智能工作,包括推理、理解、规划、决策、抽象、学习等功能。专家系统是实现人工智能的重要形式,目前已广泛用于诊断、解释、设计、规划、决策等各个领域。现在国内外已发展了一系列用于设备故障诊断的专家系统,获得了良好的效果。

专家系统由知识库、推理机以及工作存储空间(包括数据库)组成。实际的专家系统还应有知识获取模块、知识库管理维护模块、结束模块、显示模块以及人机界面等。

1.4 机械设备故障诊断技术的发展概况

设备的故障诊断,实际上自有工业生产以来就已存在,早期人们依据对设备的触摸,对声

音、振动等状态特征的感受,凭借工匠的经验,可以判断某些故障的存在,并提出修复的措施,例如有经验的工人常利用听棒来判断旋转机械轴承及转子的状态。但是故障诊断技术作为一门学科,则是 20 世纪 60 年代以后才发展起来的。

对设备故障诊断技术的发展情况,已有不少文献进行了回顾和综述。最早开展故障诊断技术研究的大概是美国,美国 1961 年开始执行阿波罗计划后出现了一系列设备故障,促使 1967 年在美国宇航局(NASA) 倡导下,由美国海军研究室(ONR) 主持美国机械故障预防小组(MFPG),积极从事故障诊断技术的研究和开发。1971 年 MFPG 划归美国国家标准局(NSB) 领导,成为一个官方领导的组织,下设故障机理研究、检测、诊断和预测技术、可靠性设计和材料耐久性评价四个小组,平均每年召开两次会议。美国机械工程师学会(ASME) 领导下的锅炉压力容器监测中心(NBBI) 对锅炉压力容器和管道等设备的诊断技术作了大量的研究,制订了一系列有关设备设计、制造、试验和故障诊断及预防的标准规程,研究推行了设备的声发射(Acoustic Emission) 诊断技术。其他如 Johns Mitchel 公司的超低温水磁和空压机监测技术, SPIRE 公司的用于军用机械的轴与轴承诊断技术, TEDECO 公司的润滑油分析诊断技术等都在国际上具有特色。在航空运输方面,美国在可靠性维修管理的基础上,大规模地对飞机进行状态监测,发展了应用计算机控制的飞行器数据系统(AIDS),利用大量飞行中的信息来分析飞机各部位的故障原因并能发出消除故障的命令。这些技术已普遍用于波音 747 这一类巨型客机,大大提高了飞行的安全性。据统计,世界班机的每亿旅客公里的死亡率已从 20 世纪 60 年代的 0.6 左右下降到 20 世纪 70 年代的 0.2 左右。在旋转机械故障诊断方面,首推美国西屋公司,从 1976 年开始研制,到 1990 年已发展成网络化的汽轮发电机组智能化故障诊断专家系统,其三套人工智能诊断软件(汽轮机 TurbinAID,发电机 GenAID,水化学 ChemAID) 共有诊断规则近 1 万条,已对西屋公司所产机组的安全运行发挥了巨大的作用,取得了很大的经济效益。还有以 Bentley Nevada 公司的 DDM 系统和 ADRE 系统为代表的多种机组在线监测诊断系统等。

英国在 20 世纪 60 年代末 70 年代初,以 R. A. Collacott 为首的英国机械保健中心(U. K. Mechanical Health Monitoring Center) 开始诊断技术的开发研究。1982 年曼彻斯特大学成立了沃福森工业维修公司(WIMU), Michael Neale and Associate 公司等几家公司,担任政府的顾问、协调和教育工作,开展了咨询、制定规划、合同研究、业务诊断、研制诊断仪器、研制监测装置、开发信号处理技术、教育培训、故障分析、应力分析等业务活动。在核发电方面,英国原子能机构(UKAEA) 下设一个系统可靠性服务站(SRS) 从事诊断技术的研究,包括利用噪声分析对炉体进行监测,以及对锅炉、压力容器、管道的无损检测等,起到了英国故障数据中心的作用。在钢铁和电力工业方面英国也有相应机构提供诊断技术服务。

设备诊断技术在欧洲其他一些国家也有很大进展,它们在广度上虽不大,但都在某一方面具有特色或占领先地位,如瑞典的 SPM 轴承监测技术,挪威的船舶诊断技术,丹麦的振动和声发射技术,等等。

如果说美国在航空、核工业以及军事部门中诊断技术占有领先地位,那么日本在某些民用工业,如钢铁、化工、铁路等部门发展得很快,占有某种优势。他们密切注视世界性动向,积极引进消化最新技术,努力发展自己的诊断技术,研制自己的诊断仪器。例如 1970 年英国提出了设备综合工程学后,日本设备工程师协会紧接着在 1971 年开始发展自己的 TPM(全员生产维修),并每年向欧美派遣“设备综合工程学调查团”,了解诊断技术的开发研究工作,经过 6 年于

1976 年基本达到实用阶段。日本机械维修学会、计测自动控制学会、电气学会、机械学会也相继设立了自己的专门研究机构。国立研究机构中,机构技术研究所和船舶技术研究所重点研究机械基础件的诊断技术;东京大学、东京工业大学、京都大学、早稻田大学等高等学校着重基础性理论研究。其他民办企业,如三菱重工、川崎重工、日立制作所、东京芝浦电气等以企业内部工作为中心开展应用水平较高的实用项目,例如三菱重工的白木万博在旋转机械故障诊断方面开展了系统的工作,他所研制的“机械保健系统”在汽轮发电机组故障监测和诊断方面已起到了有效的作用。

我国于 1983 年由原国家经委发布了《国营工业交通设备管理试行条例》,1987 年国务院正式颁布了《全民所有制工业交通企业设备管理条例》,规定:“企业应当积极采用先进的设备管理方法和维修技术,采用以设备状态监测为基础的设备维修方法”,其后冶金、机械、核工业等部门还分别提出了具体实施要求,使我国故障诊断技术的研究和应用在全国普遍展开。自 1985 年以来,由中国设备管理协会设备诊断技术委员会、中国振动工程学会机械故障诊断分会和中国机械工程学会设备维修分会分别组织的全国性故障诊断学术会议已先后召开十余次,极大地推动了我国故障诊断技术的发展。现在全国已有很多单位开展设备诊断技术的研究工作,全国各行业都很重视在关键设备上装备故障诊断系统,特别是智能化的故障诊断专家系统,其中突出的有电力系统、石化系统、冶金系统以及高科技产业中的核动力电站、航空部门和载人航天工程等。工作比较集中的是大型旋转机械故障诊断系统,已经开发了 20 种以上的机组故障诊断系统和十余种可用来做现场简易故障诊断的便携式现场数据采集器。一些高等院校已培养了大量以设备故障诊断技术为选题的硕士研究生和博士研究生。我国的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。

习题与思考题

- 1-1 机械设备状态监测与故障诊断的主要内容是什么?
- 1-2 机械设备状态监测与故障的常用识别方法有哪些?
- 1-3 简述获取诊断信息的方法。
- 1-4 设备状态识别方法有哪些不确定性?会产生哪几类错误?

机械故障诊断中的信号分析与处理

2.1 机械物理信号分析的基础知识

信号或动态数据的处理与分析是机械设备故障诊断的前提和基础。本章所说的信号是指测量信号,它是对系统的某些物理量,如位移、速度、加速度、应力、应变等进行观测获得的数据,其共同特点是随时间而变化,故将其称为动态信号,它们代表了系统的运行状态和特征。对信号分析与处理的目的是改变信号的形式,提取有用的信息,以便对所研究的机械运行状态作出估计和辨别。这里的“时间”是泛指概念,有时可以是空间坐标或时空坐标。

2.1.1 测量信号分类

按照信号随时间变化的规律不同可按图 2-1 对信号进行分类。

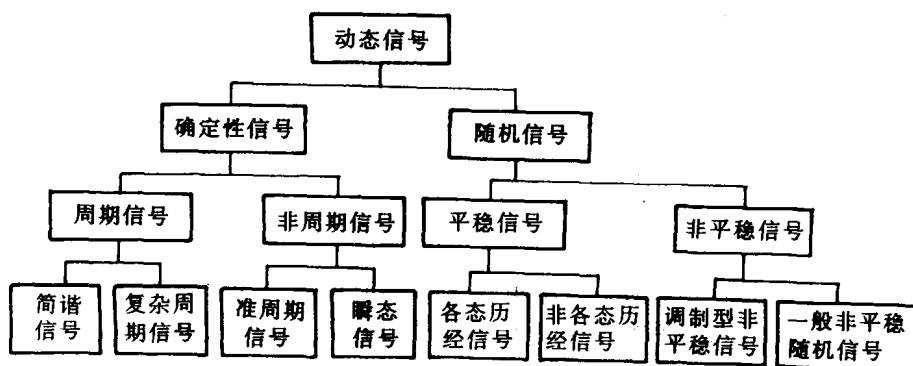


图 2-1 信号分类

1. 确定性信号

如果描述系统状况的状态变量可以用确定的时间函数来表述,则称这样的物理过程是确定性的,而描述它们的测量数据就是确定性信号,如图 2-2 所示。

周期信号包括简谐信号和复杂周期信号。表述简谐信号的基本物理量