

● 张安华 主 编

机电设备状态监测 与故障诊断技术

机电设备状态监测与故障诊断技术

主 编 张安华

主 审 陈德元

西北工业大学出版社

1995年3月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书全面系统地介绍了机电设备状态监测与故障诊断技术和方法,反映了国内外的最新成就和经验,并给出应用实例,是一部以应用技术为主的教科书。本书共十五章,分别从振动、油样、超声和红外诊断等方面叙述了设备故障诊断的原理和常用技术,并专门讨论了专家系统和人工神经网络技术在设备故障诊断中的应用问题。最后一章介绍了机电设备故障诊断的实际应用,给出了七个典型的故障诊断案例。本书取材广泛,论述简明,富有提示性和启发性。

本书可作为高等院校设备工程与管理专业(本科)及相关专业的教师与学生的教学用书,也可作为设备设计、制造、维护管理方面的工程技术人员的参考书。

机电设备状态监测与故障诊断技术

张安华 主编

陈德元 主审

责任编辑 郑永安

责任校对 郑 刚

*

©1995 西北工业大学出版社出版发行

(710072 西安市友谊西路127号 电话 4253407)

陕西省新华书店经销

陕西教育出版社第三印刷厂印制

ISBN 7-5612-0770-0/TP·88

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:20.5 插页:2 字数:502千字

1995年3月第1版 1995年3月第1次印刷

印数:1-6000册 定价:17.50元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换

前 言

自 19 世纪产业革命以来,现代化机器生产逐步取代了手工劳动方式。设备作为企业生产的物质条件与产品的质量、数量和成本密切相关。“工欲善其事,必先利其器”。在现代化大生产中,面临剧烈的商品竞争,设备的地位尤为突出。

在 18 世纪和 19 世纪初,当时的工业生产规模不大,机器设备本身的技术水平和复杂程度都很低,维修人员主要靠感觉、简单仪器和个人经验,对设备的故障进行诊断和排除。随着大生产的发展,生产方式发生了很大的变化,机器设备本身的技术复杂程度也相应的提高,特别是机电一体化、智能化设备的出现,原有的故障排除方法已不适用,以状态诊断为研究范畴的设备故障诊断学就应运而生。故障诊断学是建立在信息检测技术、信号处理技术、计算机应用技术、模式识别理论和机械工程各学科等现代科学技术成就基础上的综合性技术科学,在我国已有 10 余年的发展历史。目前,在诊断理论、方法和应用方面,都取得了令人瞩目的成就,有些方面已达到了国际先进水平。

本教材是为设备工程与管理专业的本、专科学生编写的,同时也考虑到从事设备管理的工程技术人员需要。因此,我们在编写过程中增加了国内外近年来发表的有关新理论和新方法,但不沉溺于这些理论的本身,而是强调工程应用和物理概念,使读者通过本书的学习既能了解这门学科的发展动态,又能掌握故障诊断的基本理论和方法,为独立开展这项工作打下坚实的基础。这种做法仅是作者几年来在科研和教学工作实践中的一种尝试,以期引起读者的兴趣和讨论。

本书由西北工业大学张安华副教授主编,陈德元教授主审,张庆恩教授曾审阅了本书的初稿。参加编写的人员有:张安华(一、四、十二、十三、十四、十五章),刘念德(二、三章),王仲生(五、六、七章,8.1、8.2、8.3、8.4 节、十章),李焰(8.5 节),同淑荣(十一章),北京冶金研究院高级工程师洪莲洁(九章)。

本书在编写过程中得到中国设备管理培训中心领导的大力支持和帮助,在此表示感谢。因时间仓促,谬误之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

1994 年 6 月

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1.1 设备诊断技术的目的和内容	1
§ 1.2 设备诊断技术方法分类	4
§ 1.3 设备诊断技术的发展概况	4
第二章 信号分析基础	9
§ 2.1 信号 的分类	9
§ 2.2 信号的统计分析	14
§ 2.3 信号的相关分析	18
§ 2.4 信号的频谱分析	22
§ 2.5 随机信号的频域分析	30
第三章 信号处理	33
§ 3.1 信号处理仪器的基本构成	33
§ 3.2 测振传感器	34
§ 3.3 信号前置放大和预处理	39
§ 3.4 数字信号处理	47
§ 3.5 信号处理仪器	56
第四章 振动监测与诊断技术	66
§ 4.1 概述	66
§ 4.2 机械振动基础	67
§ 4.3 振动监测参数与标准	71
§ 4.4 振动监测	76
第五章 滚动轴承故障诊断	84
§ 5.1 滚动轴承失效的基本形式	84
§ 5.2 滚动轴承的振动类型及其故障特征	85
§ 5.3 滚动轴承振动故障诊断方法	92
§ 5.4 滚动轴承故障光纤诊断法	98
§ 5.5 滚动轴承故障其它诊断方法	100

第六章 齿轮箱故障诊断	102
§ 6·1 齿轮的失效形式.....	102
§ 6·2 齿轮振动及其特点.....	103
§ 6·3 齿轮振动信号的调制及其谱特征.....	107
§ 6·4 齿轮故障频域诊断方法.....	110
§ 6·5 齿轮故障时域诊断方法.....	114
§ 6·6 齿轮传动链故障诊断.....	116
第七章 旋转机械故障诊断	124
§ 7·1 旋转机械常见故障及其特点.....	124
§ 7·2 旋转机械故障信息的来源.....	126
§ 7·3 旋转机械故障诊断方法.....	130
第八章 油样分析技术	146
§ 8·1 油样分析的基本原理.....	146
§ 8·2 油样光谱分析技术.....	147
§ 8·3 油样铁谱分析技术.....	149
§ 8·4 铁谱图像定量分析技术.....	156
§ 8·5 油液质量快速分析.....	159
第九章 红外监测技术	177
§ 9·1 概述.....	177
§ 9·2 红外辐射原理.....	179
§ 9·3 红外测温仪的基本组成.....	187
§ 9·4 各种红外测温仪.....	196
§ 9·5 红外测温技术应用.....	202
第十章 超声和声发射监测技术	205
§ 10·1 超声监测技术	205
§ 10·2 声发射监测技术	217
第十一章 人工智能与故障诊断专家系统	228
§ 11·1 概述	228
§ 11·2 模糊故障诊断技术	232
§ 11·3 故障诊断专家系统	239
§ 11·4 人工神经网络故障诊断技术	244

第十二章 故障识别与预测技术	256
§ 12·1 故障识别	256
§ 12·2 设备状态监测与故障诊断中常用的几种预测技术	262
第十三章 电气设备监测与诊断技术	272
§ 13·1 电气设备主要故障分析	272
§ 13·2 电气设备的绝缘试验	272
§ 13·3 电气设备绝缘诊断	273
§ 13·4 电气设备温度诊断	283
第十四章 计算机监测诊断技术	288
§ 14·1 概述	288
§ 14·2 自动监测与诊断的特征参数	290
§ 14·3 趋势分析和控制	294
§ 14·4 A/D 接口与数据采集	298
第十五章 设备诊断案例	302
§ 15·1 齿轮箱故障诊断	302
§ 15·2 滚动轴承的故障诊断	304
§ 15·3 旋转机械故障诊断	306
§ 15·4 铁谱监测法	309
§ 15·5 红外监测法	311
§ 15·6 声发射监测法	312
§ 15·7 故障诊断专家系统	314
参考文献	319

第一章 绪 论

§ 1.1 设备诊断技术的目的和内容

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,从而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。这不仅会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年前苏联契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,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。1985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一小时,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2亿元以上,甚至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。所有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。

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”。这里包含了三点：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设备状态进行维修（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。

同设备诊断技术的目的相应，它的最根本的任务就是通过测取设备的信号来识别设备的状态，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五个内容：

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. 正确地特征信号中提取设备有关状态的有用信息（征兆）

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，应指征兆的相对变化同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性（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. 正确地根据征兆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状态诊断，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。

在此应指出，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. 正确地根据征兆与状态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,则可采用 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. 正确地根据状态分析作出决策,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。

在此应指出,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一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。设备诊断过程可说是设备的工况监控、分析与干预过程。

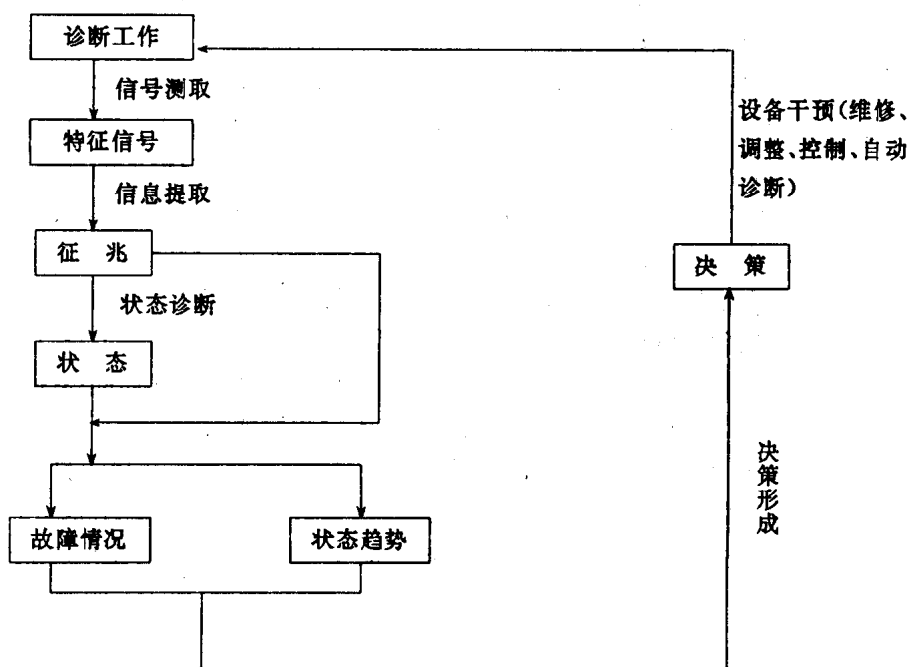


图1-1 设备诊断过程框图

§ 1·2 设备诊断技术方法分类

在设备诊断技术中诊断方法的分类问题是一个极为重要的问题,它不仅是建立一个学科所必需的条件,给人以明确的科学体系,而且更能启迪人们,改进已有的诊断方法,寻求新的诊断方法。

目前有关文献提出的分类方法有的不完善,有的不够科学,有的在概念上是混乱的。现在,我们按诊断过程的不同阶段,主要是信号测取方式,信息提取方式与状态诊断方式将诊断加以分类,下面扼要地介绍此一分类方法。

按信号测取方式有人感觉测取与仪器测取、连续测取与定期测取之分;按所测信号则有物理信号(振动、声音、力、温度、光、电、磁、声发射、各种射线等)和化学信号(废气烟度、腐蚀等)之分。而振动与噪声的采用最为广泛,据统计,就世界诊断技术而言,占所采用信号 66% 以上。

按信息提取方式,即按特征信号与征兆之间的关系,可分为两类。一类是函数分析法,特征信号与征兆之间存在定量的函数关系,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;另一类是统计分析法,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。

按照状态诊断方式即征兆与状态之间的关系分,可分为五类:(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,确定同各有关状态一一对应的征兆(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,立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。如润滑油污染法、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:即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:它是一种很有前途的诊断方法,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能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。

§ 1·3 设备诊断技术的发展概况

设备诊断技术发展成一门科学技术是本世纪中期的事。60 年代集中在核电、宇航、航空等尖端工业;70 年代发展至冶金、石化、发电、船舶等部门;80 年代迅速向各个领域扩展。

下面简要介绍一下主要工业国家设备诊断技术的发展情况。

1967年4月,在美国宇航局(NASA—National Aeronautics and Space Administration)的倡导下,成立了美国机械故障预防小组(MFPG—Mechanical Fault Prevention Group),在头3年间共公开发表论文94篇(表1-1),到1970年MFPG正式划归美国国家标准局领导(NSB—National Standards Bureau),此后平均每年召开两次会议(表1-2)。

在英国,是在60年代末70年代初,以R. A. Collacott为首的英国机器保健中心(UK Mechanical Health Monitor Center)开始的,在宣传、培训、咨询、资料交流及诊断技术的开发方面取得了很好的成效。到了1982年创立了沃福森工业维修公司(WIMU)开展了这方面的研究和咨询活动。此外还有几家公司担任政府的顾问,协调和教育工作。

表1-1 美国MFPG会议初期活动

会 议	日 期	主要议题及目的	论文篇数
第一届	1967年6月	组织问题;故障预防的定义	6
第二届	1967年9月	计划问题;技术交流	13
第三届	1967年10月	轴承故障;现场监测	14
第四届	1968年2月	现场监测;油液光谱分析技术	14
第五届	1968年5月	故障预防系统;技术交流	13
第六届	1968年12月	机械故障的监测、诊断和预报	6
第七届	1969年3月	直升飞机传动装置的故障机理与识别	7
第八届	1969年6月	飞机燃气轮机中的故障问题	12
第九届	1969年11月	在设计中如何避免重要故障的发生	9

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,并且起到英国故障数据中心的作用。

在钢铁工业和电力工业方面,英国也有相应机构提供监测诊断服务,在英国设备诊断技术的引进、开发和推广工作都是在政府的有力指导下进行,这是它的一个特点。

设备诊断技术在欧洲其它一些国家也有很大进展,它们各自具有特色或占世界领先地位。如瑞典的SPM轴承监测技术,挪威的船舶诊断等(表1-3)。

日本的诊断技术在某些民用工业,如钢铁、化工、铁路等部门发展很快,占有某种优势。日本的做法是密切注视世界动向,积极引进消化最新技术,努力发展自己的诊断技术,特别注意研究本国的诊断仪器。

国立研究机构中机械技术研究所和船舶技术研究所重点对机械基础件的诊断技术进行了研究。

高等学校开展诊断技术的也不少,发表了不少基础性的研究报告。

一些民办企业的研究工作是在企业内部以营业为中心开展的,具有较高的应用水平,也

发表了不少高水平的论文。

表 1-2 美国设备诊断技术研究状况

部 门	研究单位	研 究 内 容
国家标准局 (NSB)	机械故障预防小组 (MFPG)	1. 故障的机理 2. 检测、诊断和预测技术 3. 可靠性设计 4. 材料耐久性评价
国家锅炉及高压容器 监测局		1. ASME — American Society of Mechanical Engineer 规范推广 2. 检查员的培训 3. 检查员的资格授予
机械工艺技术公司 (MTI)	塞格研究所	1. 回转机械的诊断 2. 齿轮的诊断 3. 轴承的诊断 4. 停机时间控制系统的研究(DIC)
电力研究所	可靠性研究室	1. 热力学 2. 诊断监测仪表的研制 3. 腐蚀监测 4. 透平机断裂监测

表 1-3 欧洲一些国家诊断技术研究状况

国 家	研究单位	研 究 内 容
瑞 典	SPM 仪器公司	1. 脉冲冲击法 2. 轴承监测装置 3. 电子听诊
丹 麦	BK 公司	1. 振动传感器 2. 振动分析仪器 3. 回转机械监测仪 4. 声发射(AE—Acoustic Emission)技术
挪 威	船舶研究所海军技术中心	多种船舶监测程序软件和仪器系统
联邦德国	ALLINAZ—TECHNICH 研究所	1. 振动分析仪 2. 回转机械监测装置 3. 故障原因分析

1983 年日本钢铁协会对 7 个钢铁公司(16 个企业)和 7 个重工业公司进行了调查,它们把诊断技术分成简易诊断和精密诊断两类。前者相当于状态监测,弄清设备的状态是正常还

是异常。精密诊断则能定量掌握设备的状态,能了解故障的部位和原因,能预测故障对设备未来的影响。通常简易诊断由维修人员进行,精密诊断则由专门小组进行。根据所收集的近百个诊断事例表明,大部分诊断对象设备是回转机械,特别是轴承、齿轮占绝大多数。实用的诊断方法如表 1-4 所示,诊断方法以振动较多,其次为油分析法。对于那些低速回转机械来说,诊断比较困难,不能单用振动法,辅以油液分析等技术比较有效。

表 1-4 实用诊断方法

诊 断 法	诊 断 法
1. 振动法	7. 温度分布法
2. 声响法	8. AE 法
3. 压力法	9. 传递函数法
4. 应力测定法	10. 油分析法(SOAP)
5. 相位法	11. 回转不均匀法
6. 流量测定法	12. 其他

为了防止突发事件,一些企业还采用在线监测装置,其典型模式如图 1-2。其中 1-10 通道的监测装置居多,检测参数以振动量较多。

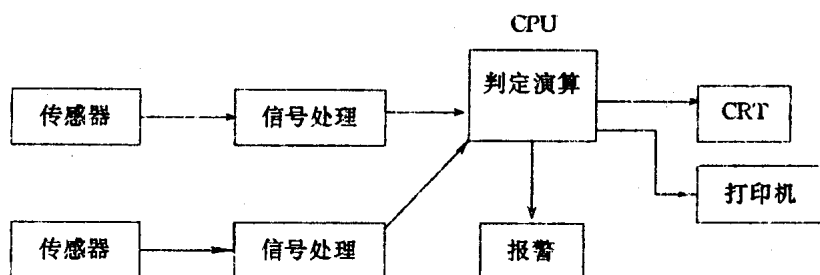


图1-2 在线监测模式框图

1982 年对回转机械的诊断调查表明,目前比较普及的还是简易诊断(状态监测),而精密诊断真正用于生产还是少数,而且主要用于高精尖设备上。这一状况欧美和日本一样,具有普遍性。

简易诊断的特点是适应现场条件,仪器价廉、方法简便,讲求实效。国外经验表明,简易诊断已接近实用阶段,而精密诊断为数尚少,主要问题是成本高、可靠性差。日本新日铁公司诊断技术普及状况如图 1-3。

国外技术诊断发展趋势是从个别行业、部门到普遍展开,从个别人士到专门研究机构、学会、名牌大学。对诊断的认识不断深化,起初认为只是维修技工个人经验,发展到现代一门学科,“单纯从故障排除”到与维修制度相联系,直到以系统观点衡量,使之成为降低全寿命周期成本的技术基础之一渗透到设计和制造领域中,为提高产品质量和功能从根本上解决问题。诊断理论在借鉴引伸信息论、控制论、可靠性理论、失效理论、现代数学等有关学科原理的基础上,逐步形成相对独立的学科体系和相应的理论基础。在诊断技术上同时出现提高

和普及两种势头。前者所谓精密诊断主要用于高精尖设备,表现在由单参数测量发展到多参数测量,由不同步到同步,由静态到动态,由平均值、极值到过渡过程和平稳过程的瞬时值,由离线到在线,由脱机到机载,由事后分析到预测,由人工诊断到自动诊断。

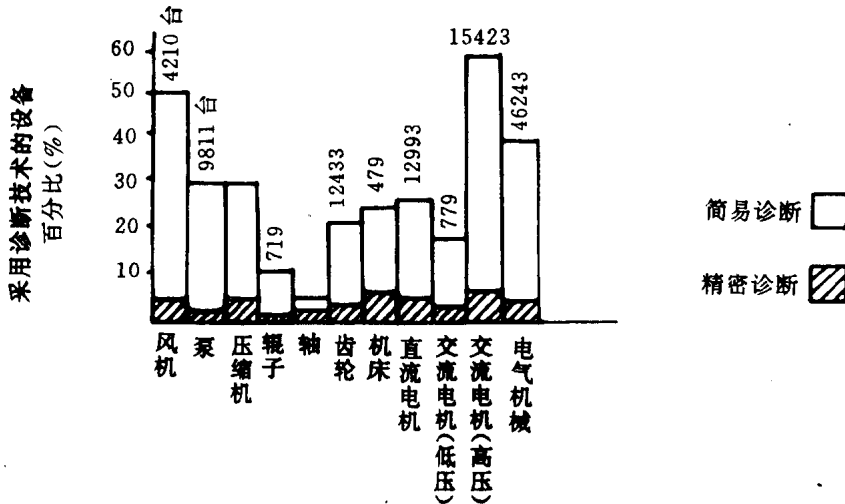


图 1-3 新日铁诊断技术普及状况

除了诊断技术本身以外,近年来人们开始注意把作为诊断对象的各种机器本身作了某些结构上的相应改进。例如在制造机器时,就在其合适部位安装了采集诊断信息的传感器,或者在机器上布置状态监测用的各种仪表和报警系统。

在 70 年代,我国已有一些院校和科研单位着手研究工业回转机组事故的诊断。而开始从维修制度改革以及设备综合工程学的观点,探求降低寿命周期费用的诊断措施,则是从 80 年代开始的。不少企业开始研究先进工业国家的各种维修体制,逐步加深对视情维修的认识。1983 年《国营工业交通设备管理试行条例》中提出“要根据生产需要,逐步采用现代故障诊断和状态监测技术,发展以状态监测为基础的预防维修体制”,正式把设备诊断技术列入企业管理法规。

从近年来国内设备诊断技术学术会议和有关杂志上发表的文章看,我国的诊断技术已涉及到各行各业,取得了许多成果,获得了明显的经济效益和社会效益。但是,在应用上同发达国家比还是有一定的差距。主要表现在这些成果多局限于某类设备的局部故障,对于诊断技术还缺乏系统观念,所研制的诊断仪器品种单一、功能不全、精度不高、可靠性差,推广不及时也不够广泛,亟待加强诊断技术的应用研究,以提高经济效益。

第二章 信号分析基础

设备状态监测和故障诊断是设备状态提取和识别的过程,这些状态信息可以通过这一载体,进行传输、分析和处理。信号具有能量,它描述了物理量的变化过程,在数学上可以表示成一元或多元函数形式。

信号中携带着人们所需要的有用的状态信息,也常常会有大量的人们不感兴趣的其他信号,后者常被称为干扰噪声。噪声是不可避免的,所以对信号的分析,其目的是改变信号的形式,便于识别,提取有用的信息,对所研究的状态信息作出估计和辨别。

信号分析的经典方法有时域分析法、幅值域分析法和频域分析法,本章将逐个介绍。

§ 2.1 信号的分类

一、信号的分类

信号按其随时间变化的规律不同,可分为确定性信号和非确定性信号(随机信号),还可以进一步细分,如图 2-1 所示。

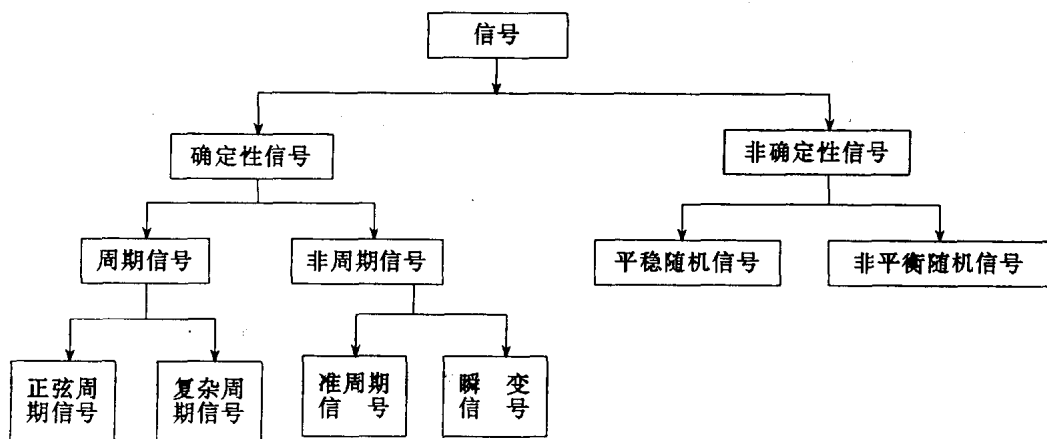


图2-1 信号的分类

可以用明确的数学关系式描述的信号称为确定性信号,它可以分为周期信号、非周期信号、准周期信号等。

(一) 确定性信号

1. 周期信号

信号的瞬时幅值随时间重复变化的信号称为周期信号,其数学表达式为

$$x(t) = x(t \pm nT) \quad (2-1)$$

式中: T ——周期(s);

n ——任意整数;

t ——时间(s)。

最简单的周期信号是正弦信号(如图 2-2 所示),数学表达式为

$$x(t) = A \sin(\omega t + \theta) \quad (2-2)$$

式中: A ——幅值;

θ ——初相位(rad)

ω ——角频率(rad/s)

角频率 ω , 频率 f (1/秒)和周期 T 之间有如下关系

$$\omega = 2\pi f \quad (2-3)$$

$$T = 1/f \quad (2-4)$$

例如,在机械系统中旋转体不平衡引起的振动,若不考虑其他干扰因素,它的振动形式即为正弦信号,除此之外,还有其他形式的周期信号,如:

方波信号(如图 2-3(a)所示)数学表达式为

$$x(t) = \begin{cases} 1, & nT - \tau/2 < t < nT + \tau/2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2-5)$$

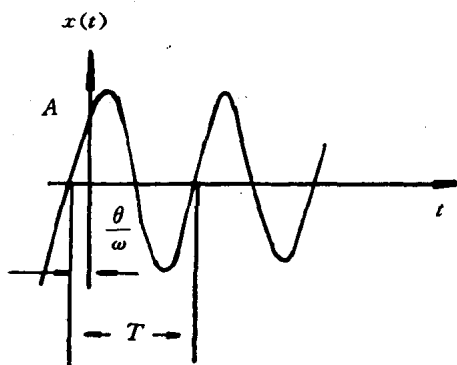


图 2-2 正弦信号

三角波信号(如图 2-3(b)所示)数学表达式为

$$x(t) = \begin{cases} 2t/T - n - 1, & nT - T/2 < t < nT + T/2 \\ -2t/T + n + 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (2-6)$$

若干个周期信号叠加,如果它们周期的最小公倍数存在,那么和信号仍为周期信号,和信号的周期即为它们的最小公倍数,例如

$$x(t) = \sin t/3 + \sin t/5 \quad (2-7)$$

为周期信号,周期为 30π 。

2. 准周期信号

如果若干个周期信号,其周期的最小公倍数不存在,则此和信号不再是周期信号。但是,从以后的介绍中我们可以发现,它的频域描述具有周期信号的特点,故称为准周期信号。例如

$$x(t) = \sin t + \sin \pi t$$

3. 非周期信号

通常讨论的非周期信号一般是指瞬变信号,有人也把它称为能量型信号,因为在时间区间 $(-\infty, \infty)$ 能量为有限值,即满足条件

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt < \infty \quad (2-8)$$

能量信号有两种类型,一种为时限信号,这种信号只在有限区间 (t_1, t_2) 内定义,而在区间外恒等于零。例如,矩形脉冲(如图 2-4(a)所示),三角脉冲(如图 2-4(b)所示)等。另一种是时域无限信号,例如指数衰减信号(如图 2-4(c)所示)。

和能量信号对应的信号是功率型信号,它不满足条件(2-8),它们在区间 $(-\infty, \infty)$ 内