

裴峻峰 杨其俊 编

机械故障 诊断技术

石油大学出版社

机械故障诊断技术

裴峻峰 杨其俊 编

石油大学出版社

机械故障诊断技术

裴峻峰 杨其俊 编

*

石油大学出版社出版发行

(山东省东营市)

新华书店经销

石油大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 13 印张 336 千字
1997 年 4 月第 1 版 1997 年 4 月第 1 次印刷
印数 1—2500 册

ISBN 7-5636-0960-1/TH·39

定价:16.00 元

前 言

“众里寻他千百度，蓦然回首，那人却在灯火阑珊处”。如何识别重要的机械设备在运行中存在故障的蛛丝马迹，做到防微杜渐，防患于未然，一直是人们所渴求的。眼看耳听手摸，凭借经验，曾使人们找出了机器中存在的不少问题。然而，对于每分钟上万转的高速转子的故障先兆，对于宏观症状又不明显的机械故障，老办法已无能为力。伴随着现代工业和现代科学技术的飞速发展、计算机技术和信号分析技术的进步和日趋成熟，一门年轻、充满生机和活力的新的应用学科——机械故障诊断技术应运而生且取得了令人瞩目的成就。

为了比较系统地介绍机械故障诊断技术这门新兴的综合性的应用学科，我们结合从事这方面的教学和科研经验，编写了这本书。在内容上，我们力图做到理论联系实际，由浅入深，循序渐进，并且尽可能地结合此项技术在石油、石化行业的应用特点，并力求反映此项技术的最新动态和发展。全书共分六章，由裴峻峰、杨其俊编写。其中，第一章绪论、第二章振动诊断的测试技术、第六章机械故障诊断新技术由杨其俊编写，第三章振动信号的分析与处理、第四章振动诊断技术、第五章其它故障诊断技术由裴峻峰编写，全书由李继志教授审阅。

本书可作为机械类本科专业“机械故障的监测与诊断”课程的教材，也可供研究生或在职技术人员继续教育参考。由于我们水平有限，书中定有不少疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

1996年3月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 机械故障诊断的意义	1
第二节 机械故障诊断的基本方法	5
第二章 振动诊断的测试技术	10
第一节 概述	10
第二节 测振传感器	12
第三节 传感器的选择使用及标定	22
第四节 激振设备和激振方法	30
第五节 测振放大器	37
第六节 振动信号的显示记录分析设备	40
第七节 测试方案制订及对测试系统的要求	46
第八节 噪声测试技术简介	50
第三章 振动信号的分析与处理	54
第一节 信号的类型、特点及预处理技术	54
第二节 信号的幅值域分析	61
第三节 傅里叶级数及傅里叶变换	70
第四节 信号的相关分析	77
第五节 功率谱密度函数	81
第六节 信号的传递函数分析	84
第七节 信号处理的其它技术	87
第八节 快速傅里叶变换	91
第四章 振动诊断技术	95
第一节 概述	95
第二节 滚动轴承的故障诊断技术	96
第三节 齿轮装置的故障诊断技术	107
第四节 旋转机械的故障诊断技术	117
第五节 振动诊断技术的其它应用	132
第五章 其它故障诊断技术	140
第一节 油样分析技术	140
第二节 红外监测技术	145
第三节 超声波故障诊断	151
第四节 声发射故障诊断	157

第五节 计算机辅助监测诊断系统.....	163
第六章 机械故障诊断新技术.....	171
第一节 故障诊断的模糊数学方法.....	171
第二节 故障诊断的人工神经网络方法.....	190
第三节 故障诊断的专家系统简介.....	195
参考文献.....	202

第一章 绪 论

第一节 机械故障诊断的意义

所谓机械故障诊断技术就是利用现代科学技术和仪器,根据机械设备(系统、结构)外部信息参数的变化来判别机器内部(系统)的工作状况或机械结构的损伤状态,确定故障的性质、程度、类别和部位,并研究故障产生的机理。机械故障诊断技术是近年来国内外发展较快的一门新兴学科,它所包含的内容比较广泛,诸如机械状态量(力、位移、振动、噪声、温度、压力和流量等)的监测,状态特征参数变化的辨识,机械产生振动和损伤时的原因分析、振源判断、故障防治,机械零部件使用期间的可靠性分析和剩余寿命的估计等等,都属于机械故障诊断的范畴。

一、机械故障的定义和分类

机械故障是指机械设备(系统、结构)在它应达到的功能上,降低或丧失了工作效能的现象和程度,即在功能上达不到技术要求,丧失或部分丧失了它所要求的规定性能或状态。可从不同的角度对故障进行分类:

1. 按故障的性质分类

(1) 间断性故障 在较短时间内,设备丧失某种功能,以后又恢复了功能。

(2) 永久性故障 故障造成的设备功能丧失必须到某些零件更换或修复后才能恢复。这类故障还可细分为完全丧失所需功能的完全性故障及导致某些功能丧失的部分性故障。

2. 按故障发生的快慢程度进行分类

(1) 突发性故障 不能靠早期试验或测试来预测的故障。

(2) 渐发性故障 能通过早期试验或测试来预测的故障。

3. 按故障的严重程度进行分类

(1) 破坏性故障 故障发生将立即导致机械设备全面丧失工作能力。它既是突发性的,又是完全性的故障。

(2) 渐发失效性故障 故障是逐渐发生的,将逐步降低机械设备的功能或使部分功能丧失。它既是部分性的,又是渐发性的故障。

4. 按故障产生的原因进行分类

(1) 磨损性故障 机械设备正常工作磨损引起的故障,这实际反映了机械设备的寿命。

(2) 错用性故障 机械设备运行中操作使用不当或意外情况引起某些零件应力超过

设计允许值而产生的故障。

(3) 固有的薄弱性故障 机械设备工作中的应力没超过设计规定值,但由于设计和制造不恰当造成设备中存在某些薄弱环节而形成的故障。

二、机械故障诊断技术的分类

机械故障诊断技术包括对机械零件或结构的诊断技术、机械设备的诊断技术和机械系统的诊断技术三方面的内容。工程实际中机械设备(结构、系统)工作或运行状态多种多样,其环境条件亦相差很大,由此就产生了不同类型的技术诊断方法,具体分类如下:

1. 功能诊断和运行诊断

对新安装或维修好的机械设备等需要诊断其功能是否正常,并根据检查或诊断结果对其进行必要的调整,称为功能诊断;对正在服役的机械设备或系统等进行运行状态的诊断,监视其故障的发生或发展,称为运行诊断。

2. 定期诊断和连续监控诊断

定期诊断是指对机械设备进行定期常规检查和诊断,亦称巡检;连续监控诊断则是采用现代化仪表和计算机信号处理系统对机器或系统的运行状态进行连续监视和控制。

3. 直接诊断和间接诊断

直接根据机器关键零部件的信息(一次信息)确定这些零部件的状态叫直接诊断;由于受到机器结构和运行条件的限制无法进行直接诊断时,只好采用间接诊断,间接诊断是通过二次信息间接地判别关键零部件的状态变化。

4. 常规诊断和特殊诊断

在机器正常运行,即常规工况下进行的诊断称为常规诊断;借助于机器特殊工况,如机组的起动和停车过程进行的诊断称为特殊诊断。

5. 简易诊断和精密诊断

简易诊断相当于初诊,一般由现场作业人员进行,能对机械设备的状态迅速有效地作出概括性的评价;对简易诊断不能完全确定的故障要进行专门的精确诊断,一般由精密诊断的专家来实施。

三、机械故障诊断的意义

1. 故障诊断技术的发展背景

现代工业的特点是生产设备大型化、连续化、高速化和自动化。它在提高生产率,降低成本,节约能源和人力,减少废品率,保证产品质量等方面有很大的优势。但从另一方面来看,由于机械设备发生故障而停工造成的损失却成反比例地增加,维修费用也大幅度地上升。现代化的大生产,如石油、石化、化工、电力、钢铁等都采用单机、满负荷、连续性的生产操作方式,一些大型机械成了现代化大规模生产装置中的关键设备,一旦出现停机故障,将导致全厂停产,由此造成的经济损失将是十分巨大的。例如,我国石化、化工系统引进的30万吨合成氨装置和30万吨乙烯装置,均拥有多种类型的大型机组(汽轮机、压缩机和泵等),如因机器故障停产一天,产值损失在50~100万元以上;电力部门中一台30万千瓦的发电机组因故障停机一天,少发电720万度,以每度0.2元计,则每天直接经济损失

为 144 万元。类似这样的例子还有很多。

另外,某些现代尖端设备或结构一旦发生故障还可能招致重大事故。如前苏联切尔诺贝利核电站爆炸和美国三里岛核电站放射性物质外逸,印度博帕尔市农药厂的毒气泄漏,美国“挑战者”号航天飞机失事等,都是近代设备重大事故中的典型。我国也经历了不少技术上的设备事故,如电力部门先后有两台 20 万千瓦汽轮发电机组发生的重大灾难性事故,其中一台转子系统断成七段,一个联轴节飞出竟打穿四堵墙壁。化工、石化部门也曾发生过大机组的严重振动故障和破坏性事故等。以上故障不仅造成十分惊人的经济损失,而且也给人身安全带来了严重的危害。而对于一些大型工程结构,如海洋平台、大型桥梁及建筑物等的破坏性故障造成的损失亦同样是难以估量的。

诚然,要求机械设备不出故障是不现实的,绝对安全可靠的机械设备根本不能使用,也是根本不存在的,最好的设备也不可能永远不出故障,重要的是能及时发现设备的异常和故障,掌握设备的运行现状,把握住它的发展趋势,对已形成的或正在形成的故障进行分析诊断,判断故障的部位和产生的原因,并及早采取有效的防治措施,做到防患于未然。机械故障诊断技术就是为了适应这一需要而发展起来的一门科学。

2. 现代故障诊断技术是机械设备维修制度改革的基础

自 18、19 世纪以蒸汽机和电动机为代表的二次工业革命以来,机械设备的维修制度经历了三个阶段,即事后维修(Breakdown maintenance),预防维修(Preventive maintenance)以及现代化的预知性维修(Condition maintenance or predictive maintenance)。

(1) 事后维修

早期工业设备技术水平和复杂程度低,生产规模小,设备的利用率和维修费用问题没有引起人们的注意和重视,对机械设备的故障也缺乏认识,故只在设备坏了后再进行修理(即 Breakdown maintenance),因此称为事后维修。

(2) 定期预防性维修

本世纪初以来,随着大生产的发展,出现了以福特汽车装配线为代表的流水线生产方式。机械设备向着大型化、高速度和自动化程度高的方向发展,机械设备本身的技术水平和复杂程度大为提高,机器的事故或故障对生产的影响显著增加,在这种情况下,出现了定期预防性的维修方式,以便在事故发生之前就进行检修或更换零部件。但这种维修制度带有很大的盲目性,既不经济又不合理。一台机器不出毛病,到大修时也要解体检查,其缺点十分明显。这一方面维修过剩,带来的检修量大,耗时耗资。另一方面,机器过多拆卸还会造成人为故障,此外还存在需要更换的备品、备件多、维修费用大等缺点。这种过剩维修耗费了大量的人力、物力和财力,致使维修费用在生产成本中占有的比重很大,由这种过剩维修造成的浪费及带来的损失亦是十分惊人的。据美国官方统计的资料,1980 年美国工业设备维修费用达 2460 亿美元,中央和地方税收为 7500 亿美元,维修费用几乎占了总税收的三分之一,而其中的 750 亿美元则是由于不恰当的维修方法,包括缺乏正确的状态监测和诊断技术白白浪费掉了。

(3) 预知性维修

预知性维修是根据在线监测和诊断装置所预报的设备故障状态,判断设备的劣化程度、发展趋势,确定机械设备的维修时间和内容。预知性维修以机械设备的实际情况为依

据,以机械故障诊断技术为基础,减少了设备的过剩维修,设备的利用率得以显著提高。例如,日本日立公司将故障诊断技术应用于预知性维修中,公司所属某电站汽轮机车间事故发生率降低了80%。另据日方资料介绍,采用设备诊断技术,每年的设备维修费用可减少25%~50%,而故障停机时间则可降低75%,因此以故障诊断技术为基础的预知性维修制度可带来非常显著的经济效益。

3. 故障诊断技术的其它重要作用

机械故障诊断技术是维修制度改革——将计划预防性维修变为预知性维修的技术基础,具有重大的经济价值。此外,它还有以下重要作用:

(1) 故障诊断技术在保证重要工业系统的合理安排、优化设计、设备的安全运行,预防和减少恶性事故的发生,消除故障隐患,提高生产率和降低成本等方面都有重要的技术上和经济上的价值。

(2) 故障诊断技术在工艺过程和产品质量检验中的应用,对于提高各工业部门的生产水平,高质优产具有重要的作用。

(3) 故障诊断技术在各种工程结构损伤程度确诊中的应用,对于防止重大恶性事故等同样具有十分重大的意义。

四、故障诊断技术的发展及应用概况

机械设备状态监测与故障诊断技术是自60年代中后期以来发展起来的一门新兴学科。在诊断技术的理论及应用研究方面,美、日及欧洲的一些发达国家一直走在世界的前列。美国在这方面开发最早,比较成功地应用在航天、航空、军事及机械等工业中;日本在钢铁、化工、铁路等民用工业部门的诊断技术方面发展很快,并有较高的水平;英国、瑞典和挪威等在某些方面有特色或处于领先地位;丹麦在振动监测诊断和声发射监测仪器方面有较高的水平。

故障诊断技术在我国的研究和应用相对起步较晚,1986年在我国召开了第一次机械设备诊断技术国际会议。1987年5月中国振动工程学会故障诊断学会成立;从1986年起,每两年召开一次全国性的故障诊断学术会议,北京、天津和沈阳等地先后成立了机械设备诊断技术开发研究中心,国内一些重点大学,如西安交通大学、东北大学和北京科技大学等成立了故障诊断研究室,并已培养出这方面的高级专门人才,如硕士和博士等。

在应用方面,1983年冶金部将宝钢和太钢作为开展诊断技术研究的试点单位;石化系统从70年代组织无损检测到80年代开展设备状态监测,已投资600万元以上;水电行业以大机组为重点,开展机械设备故障诊断的研究。此外,机械工业在现场简易诊断和精确诊断方面,航空工业在研制诊断仪器方面,核工业在进行反应堆故障诊断和寿命预测方面,铁道部门在进行内燃机车油液的光谱、铁谱分析和电力机车诊断方面,以及交通部门在实施汽车不解体检测等方面都是卓有成效的。在工艺过程的诊断和控制中,国内已广泛地开展机械加工工艺质量的监视、诊断和控制,带钢冷轧质量的振动监测,热处理工艺过程、炼钢工艺过程和化工工艺过程的诊断,以及控制系统、电网输配等能源系统的故障诊断等。

我国石油高校、科研院所等开展石油装备故障诊断与状态监测方面的应用研究虽相

对较晚,但近几年卓有成效。1993年5月,首届石油装备故障诊断技术研讨会在大庆油田召开,1995年8月,又在大港油田召开了第二届研讨会。石油大学、北京石油勘探开发科学研究院等相继开展了石油机械故障诊断与状态监测方面的研究,在多级离心式注水泵、往复泵及抽油机等故障诊断应用研究方面取得了一些有价值的研究成果,并且有些成果在生产实际应用中取得了较好的经济效益,目前这方面的应用研究还在不断深入进行。在实际应用中,国内各大油田,如大庆油田、大港油田等相继开展了设备维修制度的改革,投入了大量的资金购置了比较先进的仪器设备用于关键设备的故障诊断和状态监测,这些都使油田的设备维修和管理水平迈上了一个新台阶,不仅可及时消除事故隐患,做到防患于未然,而且还可避免过剩维修,保证良好的设备综合利用率和完好率,为油田带来了可观的经济和社会效益。

第二节 机械故障诊断的基本方法

一、机械故障信息的获取方法

1. 直接观察法

对静止或运行的机械设备(包括结构)直接观察,可以获取机械设备或结构的外部信息资料。这是一种古老而简单的定性方法,要根据操作人员的经验作出判断,且仅局限于能直接观察到的机械设备、结构或零件等。为扩大和延伸人的观察范围及提高观察能力,观察中往往使用一些辅助的工具或仪器,如听棒、涂料、光学窥视镜、光纤探头、红外测温仪等。

2. 参数测定法

根据机械设备运行时各种参数的变化来获取诊断信息,是目前应用很广的一种方法。机器运行时的振动和噪声是重要的诊断信息来源,它直接反映了机器的运行状态。利用振动(噪声)强度的测量,可以初步判定机器的健康状况;再利用信号处理的频谱分析技术及其它信息,如温度、压力、变形、胀差、阻值、磁场等参数的变化,可进一步判定故障的性质和部位等。

3. 磨损残余物分析法

测定机器零部件磨损残余物在润滑油中的含量也是一种获取故障信息的有效方法。根据润滑油中残余物含量、润滑油的混浊度变化及油样分析等结果,可以迅速获取机器失效的有关信息。

4. 机器整机性能测定

通过测定表征机械设备性能特定参数的变化及输入输出量的变化来判别机器是否有故障。例如,机器燃料与输出功率的变化关系,机床加工精度的变化,热交换器温差的变化,离心泵、钻井泵、柴油机、压气机、鼓风机等性能曲线的变化等,都在一定程度上反映了机器的工作状态,提供了诊断故障的信息。

5. 关键零部件的性能测定

对整机可靠性起关键作用的零部件,有必要作特殊测定。如大型电机、离心压气机转

子自振特性测定及动平衡测试;采用热电偶监测重要轴承温度状况;用非接触传感器监测重要轴的轴心轨迹和位置等。

二、机械故障诊断过程

作为机械设备的故障诊断技术,应具备下面几种功能:

(1) 在不拆卸机械设备的条件下,能够定量地检测和评价设备各部分的运动和受力状态,缺陷和磨损状态,性能的劣化和故障状态;

(2) 能够确定设备的故障性质、部位、程度和发展趋势,预测设备的可靠性程度;

(3) 能够确定设备发生异常时的修复方法。

因此,机械设备的故障诊断应包括如下几个环节:

(1) 机械设备状态参数的监测;

(2) 进行信号处理,提取故障的特征信息;

(3) 确定故障的类型及发生部位;

(4) 对所确定的故障作防治处理或控制。

故障诊断的全过程如图 1-1 所示。

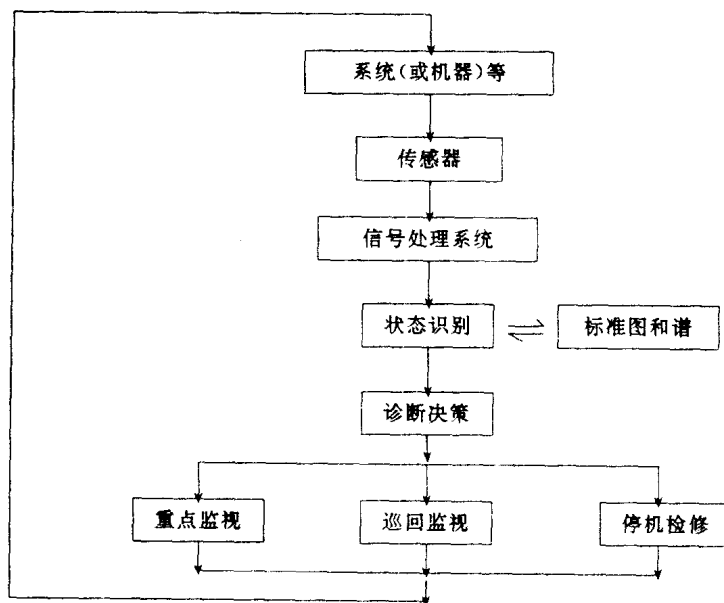


图 1-1 机械故障诊断过程框图

三、诊断信息的监测与分析技术

以各种测量传感器为基础,可采取不同的检测手段,如通过对运行的机械设备振动、噪声、变形、应力、裂纹、磨损、腐蚀、温度、压力、流量、电流、转速、扭矩和功率等各种参数的测量,获取相应的诊断信息,由此逐渐发展起来了各种不同的专门诊断技术,包括:

1. 机械振动监测与分析技术

目前在诊断技术上应用最多的是机械振动信号,其原因是由振动引起的机械损坏比率很高。据统计,因振动产生的机械故障率占60%以上;其次是机器运转过程中振动信号的获取容易,且振动信号中包括大量的反映机械设备状态的信息,很多机械故障都能以振动状态的异常反映出来。近年来,振动测试手段和信号分析技术的迅猛发展以及电子计算机技术的进步,振动监测与分析技术已成为机械故障诊断的重要手段。

2. 热红外监测与分析技术

主要是利用红外探测器或热红外成像技术对诊断对象的温度状态进行监测,以及对各种结构或机械设备各部位存在的缺陷和隐患等进行无损探伤。

3. 超声与声发射监测与分析技术

超声和声发射技术也是无损探伤中常用的方法。

超声监测与分析技术是利用超声波射入被检物,由被检物内部缺陷处反射回来的声波来判别缺陷的存在、位置、性质和大小等。它可用来监测诸如管壁腐蚀程度、重要机床零件及材料内部损伤或裂纹的产生与发展情况等。

声发射技术是利用材料内部裂纹在发生和发展过程中发射的弹性波会急剧增加的原理,可以监测和诊断静设备或压力容器的工作状态,发现输送管道、桥梁等构件焊接部位的缺陷、检测核电站放射性物质的泄漏等。

4. 润滑油的光谱、铁谱分析技术

光谱分析技术就是利用光谱分析仪的原子吸收或原子发射光谱原理,分析油样中金属成分含量,判断机器设备中零件的磨损及磨损程度。

铁谱分析技术是利用铁谱分析仪,从润滑油中分析出磨损残渣的数量、粒度、形态和成分,从而可以定量地评价机械设备重要零部件的磨损程度和磨损性质。

5. 噪声监测与分析技术

振动是噪声的来源。噪声的监测与分析一方面可以寻找声源(振源),以采取相应的降噪措施;另一方面也可用噪声信号判别机器的故障。当机器发生故障时,往往会发出某种不正常的声音。与振动诊断相类似,同样可以从噪声信号中提取特征信号,检测出故障的原因和部位等。

除以上常用的故障监测与分析技术外,另外还有判断机器内部故障状态的激光、光纤和视频成像技术;分析工作介质成分变化的气相色谱技术;检测金属内部缺陷的X光射线及其它无损检测技术等。

四、信号处理技术

在检测到的动态信号中,蕴含着设备状态变化和故障特征的丰富信息,信号处理则是提取故障特征信息的主要手段,而故障特征信息则是进一步诊断设备故障原因并采取防治对策的依据。

工程领域中的各种物理信号随时间的变化过程表现为多种形式,如简谐的、周期的、瞬态的、随机的等等。这些被检测到的信号由于传递路径、环境噪声的影响和各种机械元件的联合作用,构成信号的成分就很复杂。如果单从时域波形上直接观察,往往很难看出

设备究竟是正常还是异常,有无故障及故障的性质和部位等。为此,必须对检测到的信号进行加工处理,以便更全面、更深刻地揭示出动态信号中所包含的多种信息。

动态信号的分析处理方法有很多,诸如时域处理、频域处理、幅值域处理、时差域处理以及传递特性分析等。通过傅里叶变换可以实现频域和时域的相互转换,从而揭示出信号中某些实质性的问题。

初期信号的分析处理主要是通过模拟式分析仪器进行。自本世纪 60 年代末以来,随着数字式电子计算机的迅速发展和快速傅里叶变换技术(FFT)的出现,信号分析技术向数字化方向发展,现代先进的信号分析仪器都采用数字分析方法。目前所采用的信号分析仪器有两类,一种是以计算机为核心,用硬件实现 FFT 运算的专用数字式信号分析仪;另一种是采用通用计算机,用软件实现 FFT 等运算的数字信号分析系统。两种分析方式虽然在形式上有所差别,但信号分析的基本手段和方法是一致的。

五、常用的故障诊断方法

诊断机械设备故障类型,需要从研究故障形成的机理入手,探求故障原因和症状(故障现象)之间的关系。然而,要求利用监测到的状态信息和处理图象能识别故障,确定故障的类型和发生部位,并不是一件轻而易举的事。它是机械设备故障诊断各环节中最困难的一项工作,因为机械系统工作过程复杂、有多种故障是来自多种因素的影响,且同一种故障类型可以表现几种症状,同样,一种症状也对应着几种故障类型。因此,这中间并不是一个一一对应的函数关系,而是一种多参数、多变量的模糊关系。为了在这些多因素的复杂关系中提高故障的识别能力,增加诊断的准确率,目前已在应用或研究的诊断方法有:

1. 综合比较诊断法

综合诊断包括对振动幅值、频率、相位、转速、位移量、振动形态以及温度、压力、流量等参数的多种信息进行数据采集和存贮,作为数据库保存起来。机器等一旦出现异常,就像医生治病时需要病历一样,把当前状态与历史或正常状态作比较,从而作出故障原因和故障状况的判别。综合比较诊断法的关键是建立机械设备正常状态下的“标准模式”。某些微机自动诊断系统就是采用这种方法进行诊断的。

2. 振动特性变化诊断法

根据机器工作参数发生变化时(如升、降速过程,负荷变化过程,振动频率、幅值、振型的变化过程),测量其振动特性,从特性变化中判断故障的原因和部位。例如轴的裂纹诊断,一般在工作转速下是很难识别的,但在转速升降过程中由于裂纹的开合,有可能在反应敏感的频域上进行诊断。又如判别离心压缩机的振动是否由轴承油膜振荡引起,除了观察它的振动频率与转子的一阶振动频率是否相近之外,还要观察轴心位置和涡动频率随转速的变化。对于油膜失稳的转子,其涡动频率成分在转速较低时就已存在。

3. 故障树分析法

故障树分析法(FTA——Fault Tree Analysis)是一种将系统故障形成的原因由整体至局部按树枝状逐渐细化的分析方法。可判别系统的基本故障,确定故障的原因、影响和发生概率。故障树分析法可对机械设备(系统)的故障进行预测和诊断,分析系统的薄弱环节和完成系统的最优化等。

4. 模糊诊断法

机械故障诊断在技术上的难度是故障因素的多样性、不确定性和各种故障之间联系的复杂性以及引起故障的原因和故障症状之间没有明显的规律可循,即没有数学上函数严格的一一对应关系。这样在判别机器的工作状态或诊断产生故障的原因时,经常会遇到“A故障原因可能是B故障症状”这样不确切的模糊结论。例如,转子的初始不平衡、弓形弯曲、机壳变形、轴颈偏心、结构共振和对中不良等故障原因,均可能激起转速频率成分及多倍频成分振动的故障症状。因此当频谱图上这些频率成分占主要地位时,就含有多种结论,类似的例子还有很多。这种判断事物的不确定性(即可能性和模糊性)在数学上就不是简单的是与非(0与1)的二值逻辑关系,而需要在0、1之间用另一种隶属函数来描述,使事物的不明确概念在形式上可用数学方法进行运算。故障模糊诊断过程就是利用症状向量隶属度和模糊关系矩阵求故障原因向量隶属度。故障原因隶属度就反映出了造成机器故障原因的多重性和它们的主次程度,从而就可以减少许多不确定因素给诊断工作带来的困难。

5. 人工神经网络方法

人工神经网络(Artificial Neural Network)技术是基于神经科学研究的最新成果而发展起来的边缘学科,是对人脑某些基本特征的简单数学模拟。人工神经网络的并行分布式处理方式、联想记忆的容错能力、自组织自学习能力及较强的非线性映射能力在机械故障的诊断和识别中显示了极大的应用潜力。对于机械故障诊断技术上的难题——故障形成原因复杂,故障与症状间复杂的对应关系,都可借用于人工神经网络方法进行分类和识别。借助于人工神经网络方法,通过对故障实例和诊断经验知识的训练和学习,用分布在网络内部的连接权表达所学习的故障诊断的知识,具有对故障的联想记忆,模式匹配和相似归纳能力,以实现故障和征兆之间复杂的非线性映射关系。目前人工神经网络在机械故障诊断领域的应用研究正蓬勃兴起,显示了诱人的应用前景。

6. 专家系统

专家系统是人工智能的一个重要分支,是一种以知识工程为基础的智能化的计算机程序系统,为计算机辅助诊断的高级阶段。它以逻辑推理的手段,以“规则”、“框架”、“语义网络”等方式表达专家处理机械故障的知识,通过搜索策略,控制正、逆向推理,完成对故障信号的识别。专家系统能汇集和管理来自不同渠道、学科的专门知识和众多专家的经验,最适合用来解决大量知识和经验才能解决的问题。而机械故障诊断本身就是一项涉及多种机械及多门学科的综合技术,最适合用专家系统予以解决,因此研制专家系统是故障诊断技术的必然发展趋势。目前,专家系统已经在各方面都得到了十分广泛的应用,取得了极大的经济效益,获得了许多新进展。在工业部门中,其开发、推广的前景美好,仅在机械工程领域,专家系统就可应用于机械设备的自动设计、监测、控制、诊断、维修等诸多方面。

第二章 振动诊断的测试技术

第一节 概 述

一、振动测试的意义和用途

振动测试在近代工程领域中有着极其重要的地位,不仅是研究和解决工程实际中许多动力学问题必不可少的重要手段,而且也是机械故障振动诊断的实验基础之一。其主要用在如下几个方面:

(1) 振动(动态优化)设计

现代的机械设备要求具有低振级、低噪声和高的抗振性能,在设计过程中,需要根据振动测试结果进行动态优化设计(试验模态分析、动力修改、减振及隔振设计)。

(2) 确定振动参数及边界条件

复杂设备或结构的动力学参数(阻尼、固有频率和振型)及边界条件等,只能通过实验确定。

(3) 验证和完善理论模型

对稍微复杂的结构,理论计算总是在作了大量简化工作的数学模型上进行的,因此理论计算的正确与否,只能用实验方法进行检验,并在实验的基础上不断予以完善。

(4) 用于机械故障的监测、控制及诊断

利用振动测试手段对运行设备进行在线监控及故障诊断,或对静态设备进行故障的诊断和识别,是保证设备安全运行、改革设备的维修制度和及时消除设备或结构事故隐患的重要措施之一。

二、振动测量的分类和内容

1. 振动测量的分类

(1) 主动式振动实验

采用激振设备及实施振源特性可控,然后进行机械振动量的测量。

(2) 被动式振动测量

即不采用激振设备及不实施振源等特性可控,在自然载荷(如风载或波浪)或在机器运行状态下直接进行振动测量。

2. 振动测量的内容

(1) 振动量(参量)的测量

振动量也叫振动参量,一般指被测量系统在选定点上选定方向上的位移、速度和加速

度等运动量,同时还包括力、压力和角运动量(角位移、角速度和角加速度等)和力矩等。测量振动量就是指测量以上各参数。

(2) 系统动态特性测试

系统动态特性参数包括物理参数(质量、刚度和阻尼)、模态参数(固有频率、振型、模态质量、模态刚度和模态阻尼)、单位脉冲响应函数、频率响应函数和传递函数等。这些参数有些可以直接测量,有些经过对测量信号的数据处理后才能得到。

(3) 机械动力强度(环境模拟)试验

对某些机械、结构或仪表等,要在规定的振动“环境”(或条件)下进行振动试验。该“环境”可分为自然力产生的“自然环境”和由机器运转产生的“感生环境”。环境模拟试验也称“动力强度试验”,是指将试件放在振动台上用规定的参数模拟真实环境进行激励。该试验包括设计验证试验,研制试验、疲劳试验、运输包装试验等。

振动诊断主要是通过测量机械设备或结构的振动参量及系统的动态特性等,实现机械状态的监控和故障的诊断及识别。

三、振动测量方法

振动测量方法按其测量过程的物理性质来分,大致分为三类,即机械测量法、电测法和光测法。其中机械测量法是利用杠杆机构进行信号的放大,把振动波形直接记录到转动纸带上,虽然结构简单、抗干扰能力强,但频率范围和动态范围窄、灵敏度低,且不利于信号的分析处理,目前已很少采用;电测法是将被测信号转换成电信号,经电子系统放大后进行分析、记录,其灵敏度高,频率范围和动态范围宽,便于记录分析和遥测等,是目前最为广泛应用的测量方法;光测法是把振动信号转换成光信号,经光学系统放大后进行测量、记录与分析,其主要是基于光波的干涉原理、激光多普勒效应等,它的测量精度高,适于作非接触性测量,用途也很广,主要用在精密测量、传感器及测振仪的校准和标定等。

四、振动测试系统组成

振动测试系统可分为两部分:激振设备和测振系统。一个基本的振动测试系统可用图 2-1 表示。

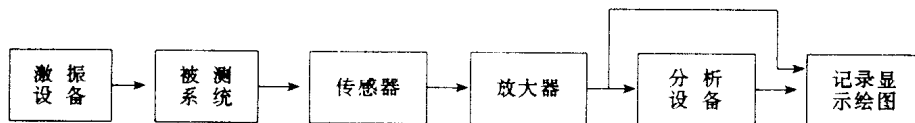


图 2-1 振动测试系统框图

上述各部分的功能分别为:

(1) 激振设备:对被测系统加可调的激振力,使其产生预期的振动,以便测出动态特性参数等。使用的仪器设备包括:激振器、振动台及力锤等。当然也可以利用系统运转本身或自然载荷,如风载、波浪等作振源测量振动参量,此时亦不需要上述的激振设备激励被