



全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

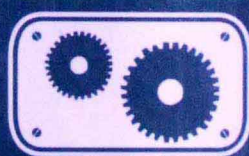
丛书顾问 李培根 林萍华

机械设备故障 诊断技术

王全先 主编
马怀祥 主审



JIXIE SHEBEI GUSHANG
ZHENDUAN JISHU



JIXIELEI * SHIERWU



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

机械设备故障诊断技术

主 编 王全先
副主编 魏志刚 王高升
赖桂文 黄崇林
主 审 马怀祥



华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书较全面地介绍了机械设备故障诊断技术的基本原理和基本方法,涉及振动信号测试与检测技术、红外测温技术、油液分析技术、无损检测技术、计算机辅助诊断系统等,内容全面,突出之处是侧重于理论与实践的结合。通过对本书的学习,读者能够对机械设备故障诊断技术有比较全面系统的了解,掌握机械设备故障诊断的基本原理、基本方法,初步具备诊断设备现场故障的能力,为走向工作岗位后能够从事机械设备故障诊断的工作打下基础。

本书可作为高等院校机械类专业,如机械设计制造及其自动化、车辆工程、过程装备与控制工程等专业本科生课程或研究生选修课程的教材,也可作为相关专业从事设备管理的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/王全先 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.9
ISBN 978-7-5609-9324-9

I. 机… II. 王… III. 机械设备-故障诊断-高等学校-教材 IV. TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 193475 号

机械设备故障诊断技术

王全先 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:刘 飞

封面设计:范翠璇

责任校对:何 欢

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:湖北万隆印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:10.25

字 数:262千字

版 次:2013年9月第1版第1次印刷

定 价:19.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

编审委员会

顾问：李培根 华中科技大学

林萍华 华中科技大学

主任：吴昌林 华中科技大学

副主任：(按姓氏笔画顺序排列)

王生武 邓效忠 轧 钢 庄哲峰 杨 萍 杨家军

吴 波 何岭松 陈 炜 竺志超 高中庸 谢 军

委员：(排名不分先后)

许良元 程荣龙 曹建国 郭克希 朱贤华 贾卫平

丁晓非 张生芳 董 欣 庄哲峰 蔡业彬 许泽银

许德璋 叶大鹏 李耀刚 耿 铁 邓效忠 宫爱红

成经平 刘 政 王连弟 张庐陵 张建国 郭润兰

张永贵 胡世军 汪建新 李 岚 杨术明 杨树川

李长河 马晓丽 刘小健 汤学华 孙恒五 聂秋根

赵 坚 马 光 梅顺齐 蔡安江 刘俊卿 龚曙光

吴凤和 李 忠 罗国富 张 鹏 张鬲君 柴保明

孙 未 何 庆 李 理 孙文磊 李文星 杨咸启

秘 书：

俞道凯 万亚军

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

序

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期,是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期,也是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的关键五年。教育改革与发展面临着前所未有的机遇和挑战。以加快转变经济发展方式为主线,推进经济结构战略性调整、建立现代产业体系,推进资源节约型、环境友好型社会建设,迫切需要进一步提高劳动者素质,调整人才培养结构,增加应用型、技能型、复合型人才的供给。同时,当今世界处在大发展、大调整、大变革时期,为了迎接日益加剧的全球人才、科技和教育竞争,迫切需要全面提高教育质量,加快拔尖创新人才的培养,提高高等学校的自主创新能力,推动“中国制造”向“中国创造”转变。

为此,近年来教育部先后印发了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》(教高〔2011〕1号)、《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高〔2011〕5号)、《关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高〔2011〕6号)、《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高〔2012〕4号)等指导性意见,对全国高校本科教学改革和发展方向提出了明确的要求。在上述大背景下,教育部高等学校机械学科教学指导委员会根据教育部高教司的统一部署,先后起草了《普通高等学校本科专业目录机械类专业教学规范》、《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,加强教学内容和课程体系改革的研究,对高校机械类专业和课程教学进行指导。

为了贯彻落实教育规划纲要和教育部文件精神,满足各高校高素质应用型高级专门人才培养要求,根据《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件精神,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,联合一批机械学科办学实力强的高等学校、部分机械特色专业突出的学校和教学指导委员会委员、国家级教学团队负责人、国家级教学名师组成编委会,邀请来自全国高校机械学科教学一线的教师组织编写全国普通高等学校机械

类“十二五”规划系列教材,将为提高高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。

当前经济社会的发展,对高校的人才培养质量提出了更高的要求。该套教材在编写中,应着力构建满足机械工程师后备人才培养要求的教材体系,以机械工程知识和能力的培养为根本,与企业对机械工程师的能力目标紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性,把握行业人才要求,突出工程教育特色。同时注意吸收教学指导委员会教学内容和课程体系改革的研究成果,根据教学指导委员会颁布的各课程教学专业规范要求编写,开发教材配套资源(习题、课程设计和实践教材及数字化学习资源),适应新时期教学需要。

教材建设是高校教学中的基础性工作,是一项长期的工作,需要不断吸取人才培养模式和教学改革成果,吸取学科和行业的新知识、新技术、新成果。本套教材的编写出版只是近年来各参与学校教学改革的初步总结,还需要各位专家、同行提出宝贵意见,以进一步修订、完善,不断提高教材质量。

谨为之序。

国家级教学名师

华中科技大学教授、博导

2012年8月



前 言

机械设备故障诊断技术是一门新兴的综合性应用技术,它是随着人们对机械设备可靠性的要求和对大型、自动化、连续、高速的现代化设备的维修、管理的需要而发展起来的。

机械设备故障诊断技术的重要意义在于它为机械设备传统维修制度的改革奠定了基础,可使合理的预知维修制度代替传统的定期维修制度,从而减少事故的发生率,降低维修费用,确保机械设备安全运行。因此在各个工程领域应用这一技术,必将产生巨大的经济效益和社会效益。

机械故障诊断技术是与近代科学技术的发展互相渗透、互相促进的。在机械故障诊断中应用了声、光、射线及振动信号的测试与处理技术,红外测温技术,油液分析技术,无损检测技术,计算机辅助诊断系统等,这些技术在故障诊断中的应用得到了进一步的发展和深化,推进了设备故障诊断技术水平的提高,同时相关领域技术的进步也带动了设备故障诊断技术的发展。

本书是在课堂讲稿的基础上经过扩展、充实和完善而编写的。本书以培养学生的实践能力为目标。通过对本书的学习,读者能够对机械故障诊断技术有比较全面系统的了解,掌握故障诊断的基本原理、基本方法,初步具备诊断设备现场故障的能力,为走向工作岗位后能够从事机械设备故障诊断的工作打下基础。

本书可作为高等院校机械类本科生专业课程或研究生选修课程的教材,同时也适用于感兴趣的从事设备管理的工程技术人员。

本书由王全先担任主编,由魏志刚、王高升、赖桂文、黄崇林担任副主编。石家庄铁道大学马怀祥教授认真审阅了本书,并提出了宝贵意见,谨此表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 设备故障诊断技术概述	(1)
1.2 设备故障诊断的意义	(2)
1.3 我国设备故障诊断技术的发展现状与未来	(4)
1.4 设备故障诊断技术的基本概念和基本流程	(5)
第 2 章 信号分析及处理基础	(8)
2.1 信号的分类与基本描述	(8)
2.2 信号的获得	(8)
2.3 信号的幅值域分析	(12)
2.4 信号的时间域分析	(17)
2.5 信号的频域分析	(25)
2.6 信号的预处理	(50)
2.7 现代信号分析方法简介	(58)
第 3 章 滚动轴承故障诊断	(64)
3.1 滚动轴承的动态特征	(64)
3.2 滚动轴承的振动监测技术	(70)
第 4 章 齿轮故障诊断	(77)
4.1 齿轮的振动机理	(77)
4.2 齿轮故障诊断	(85)
4.3 齿轮传动链故障诊断	(91)
第 5 章 旋转机械故障诊断	(96)
5.1 概述	(96)
5.2 旋转机械的故障及振动特性	(97)
5.3 旋转机械振动信号的监测与分析	(106)
第 6 章 油液分析技术	(111)
6.1 概述	(111)
6.2 油液理化指标检测	(111)
6.3 油样光谱分析法	(114)
6.4 油样铁谱分析法	(115)
第 7 章 红外检测技术	(123)
7.1 概述	(123)
7.2 非接触式测温基本理论	(124)
7.3 红外成像系统	(127)
7.4 红外检测技术的应用	(129)

第 8 章 无损检测与评价	(132)
8.1 概述	(132)
8.2 超声波探伤法	(133)
8.3 射线探伤法	(136)
8.4 声发射检测技术	(137)
8.5 其他无损检测方法简介	(139)
第 9 章 计算机辅助诊断	(142)
9.1 概述	(142)
9.2 计算机自动监测和诊断系统的构成	(143)
9.3 计算机在故障监测和诊断中的应用实例	(146)
9.4 计算机监测和诊断系统的设计要点	(151)
9.5 发展动向	(152)
参考文献	(154)

第 1 章 绪 论

1.1 设备故障诊断技术概述

设备故障诊断技术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否正常,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。

“诊断”是医学上的术语。因为大家对医学诊断比较熟悉,因此这里用医学诊断上的一些概念来做比喻,以阐明设备故障诊断技术本身的一些概念。实际上它们之间确实有不少相似之处。例如,医生用听诊器听病人的心音,这与设备故障诊断时用振动仪进行振动监测相比,两者在原理、方法和所使用的传感器方面十分相似,设备故障诊断与医学诊断的对比如表 1-1 所示。

表 1-1 设备故障诊断与医学诊断对比表

医学诊断技术	设备诊断技术	原理及特征信息
中医望、闻、问、切 西医望、触、扣、听、嗅	听、摸、看、闻	通过形貌、声音、温度、颜色、气味的变化来诊断
听心音,做心电图	振动与噪声监测	通过振动大小及变化规律来诊断
量体温	温度监测	观察温度变化
验血验尿	油液分析	观察物理、化学成分及细胞(磨粒)形态变化
量血压	应力应变测量	观察压力或应力变化
X 射线及超声波检查	非破坏性监测	观察内部机体缺陷
问病史	查阅技术档案	找规律、查原因、作分析

设备故障诊断技术属于信息技术范畴,它是利用被诊断对象所提供的一切有用信息,经过分析处理,获得最能识别设备状态的特征参数,最后作出正确的诊断结论。这就像医生看病时一样,医生利用病人所提供的一切有用信息,如脉搏、体温、排泄物等来进行诊断,没有病人的这些信息,再高明的医生也会一筹莫展,而一个医生的高明之处就在于能抓住一切有用信息,运用所学知识和经验作出恰当的诊断结论。这门课就是要初步解决前两项工作,而经验则要在生产实践中不断积累。

信息技术通常包括三个基本环节:

- (1) 信号的采集 这里的关键是正确选用传感器,如温度传感器、测振传感器等。人的感官也是一种特殊的传感器,而传感器的性能和质量又是决定信号是否会失真或遗漏的关键。
- (2) 信号分析(数据处理) 目的是把原始的杂乱的信息加以处理,以获得最敏感、最直观

的特征参数。这一操作称为特征提取。在用人的感官作传感器时,而人的大脑对信号进行分析处理。在现代诊断技术中,信号大都是用专门的电子仪器或计算机来进行分析处理的。

(3) 状态识别、判断和报告 根据特征参数,参考某种技术规范(例如,体温 37°C 就是表征人的体温正常与否的规范),利用各种知识和经验对设备状态进行识别、诊断并对其发展趋势进行预测报告,为下一步的设备维修决策提供技术依据。

然而,信息技术不等于诊断技术。为了开展设备故障诊断工作,还必须具备以下两方面的知识。

(1) 关于设备及其零部件故障或失效机理方面的知识。这里称为故障诊断物理学,它类似于医学方面的病理学。

(2) 关于被诊断设备的知识,包括设备的结构原理,运动学和动力学知识,以及设计、制造、安装、运转、维修等方面的知识。可以说,没有对诊断对象的透彻了解,即使是一位信号分析技术专家,也不可能作出正确的诊断。

综上所述,设备故障诊断技术是一门多学科的边缘技术,是一种由表至里,由局部估计整体,由现在预测未来的技术。

1.2 设备故障诊断的意义

1.2.1 设备故障诊断的重要性

设备故障诊断技术从本质上看又属于设备维修技术范畴。因此只有从设备的维修管理体制的角度,才能更深刻地看到设备诊断技术的重要性。

设备维修技术的发展史上,设备的维修方式经历了事后维修(breakdown maintenance)到定期维修(preventive maintenance)的发展过程。近年来,发达的工业国家已开始采用状态或预知维修(condition maintenance or predictive maintenance)。

1. 事后维修

在 18 至 19 世纪,机械工业出现了以蒸汽机、电动机为代表的二次飞跃,完成了从手工业到大机器生产的工业革命。但是,当时的工业生产规模、机器设备本身的技术和复杂程度都很低,设备的利用率和设备的维修费用问题没有引起人们的注意,人们对设备的故障也缺乏认识,因此对设备采取不坏不修、坏了再修的方法,即事后维修。这种情况往往会造成机械设备的严重损坏,既不安全,而且检修时间长,并会增加维修费用。

2. 定期维修

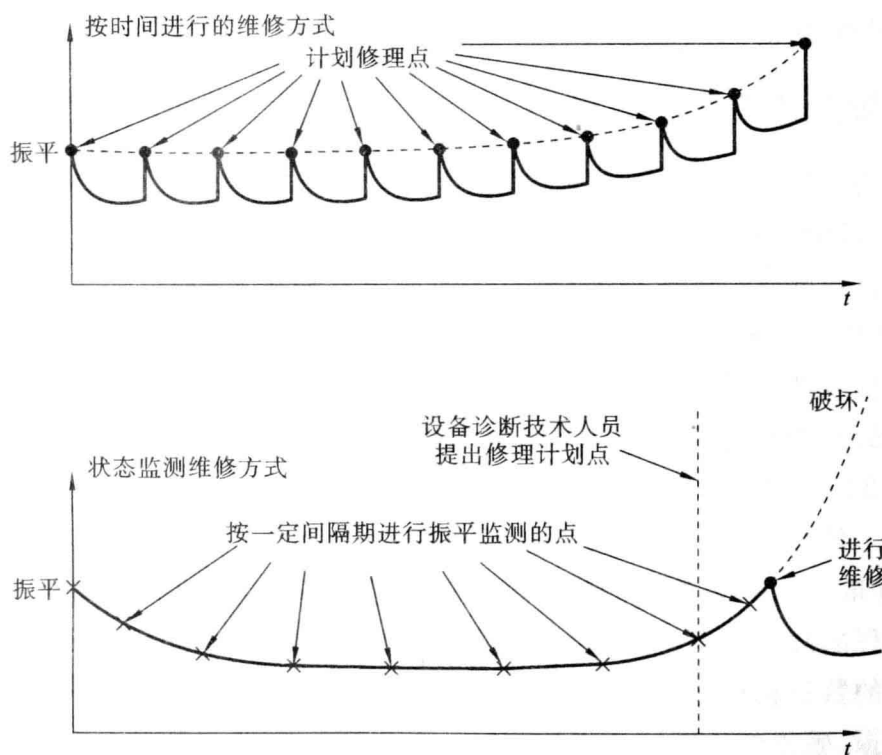
进入 20 世纪以后,特别是第二次世界大战期间,随着大生产的发展,生产方式有了很大变化,出现了以福特装配线为代表的流水线生产方式,加上机器装备本身的技术复杂程度也提高了,机器故障对生产的影响显著增加。在这种背景下,出现了定期维修方式,以便在机器发生事故之前就进行检修和更换零部件。这种维修方式最早应用在飞机维修上,到 20 世纪 50 年代,以化工、钢铁企业为代表的一些流程工业也采用了这种维修方式,这和事后维修相比进了一大步,多年来在设备管理上起着积极的作用。

由于对设备的故障发展规律缺乏认识,也没有检测故障的科学手段,所以定期维修的检测周期基本上是凭人的经验加上某些统计资料来制定的,很难预防许多由于随机因素引起的事,也易造成过剩维修。

3. 状态或预知维修

20 世纪 60 年代以后,计算机和电子技术的飞跃发展带来了工业生产的现代化和机械设备的大型化、连续化、高速化、自动化,使机械设备的规模越来越大、性能越来越高、功能越来越多、结构越来越复杂。其结果是一旦发生事故,不仅会造成经济上的巨大损失,而且还会污染环境,引起灾害,造成社会问题。又由于现代化设备技术先进、结构复杂、点检工作量大,检查质量要求高。一般来说,故障因素很难靠人的感官和经验检查出来,而复杂的先进设备又是不允许随便解体检查的,因此就要求有先进的仪器和科学方法对设备进行监测和诊断。

综上所述,工业发展给设备维修管理工作提出了更高的要求,因此推动了设备故障诊断技术的发展,而设备诊断技术的发展使设备按照状态或预知维修成为可能的和有效的。即不规定修理间隔,而是根据设备诊断技术监测设备有无劣化和故障,在必要时进行必要的维修,计划维修中的定期维修在状态监测维修中为定期监测维修所代替,如图 1-1 所示。



计划维修中定期修理在状态监测维修中为定期监测维修所代替

图 1-1 按时间进行的维修与状态监测维修

由于维修是根据状态监测和故障诊断结果,在所形成的维修决策指导下进行的,因此可控制在定期维修中因“过剩维修”而造成的费用上升,也可以防止在事后维修中因“不足维修”而导致的事故于未然。又由于预知维修中是以许多定期监测点代替定期维修中的定期修理点,因而既可减少材料消耗,又可减少维修工作量。

1.2.2 设备故障诊断技术带来的经济效益

经济效益是一个比较复杂的问题,很难笼统地描述,较为一致的看法是:设备故障诊断技术的经济效益主要表现在可以减少事故,降低维修费用。日本有资料报告,采用诊断技术后事故可以减少 75%,维修费用可以降低 25%~50%。新日铁八幡厂热轧车间在第一年采用诊断技术后,带钢卷取机的事故由原来的 29 次/年减少为 8 次/年。英国对 2000 个国有工厂进行调查表明,采用诊断技术后的维修费用每年节省了 3 亿英镑,用于诊断的费用减少 0.5 亿英

镑,净获利 2.5 亿英镑/年。据美国国家统计局资料,1980 年美国在设备维修方面花掉了 2460 亿美元,而这一年美国的全国税收总收入也才 7500 亿美元。据美国设备维修专家分析,在这 2460 亿美元中有 750 亿美元是浪费掉的,这是由于不恰当的维修方法造成的。由以上资料不难看出,设备故障诊断技术的经济效益确实很显著。

1.3 我国设备故障诊断技术的发展现状与未来

我国设备故障诊断技术在 20 世纪 80 年代初期主要应用于石化、冶金及电力等行业,进入 20 世纪 90 年代后,迅速渗透到国民经济的各个主要行业,交通、矿山、化工、能源、航空、核工业等行业先后开展了诊断技术的研究、开发与应用工作。特别是在石化、电力、冶金等行业,设备故障诊断技术的应用已经相当普及,仅在电力行业,目前已装配的国产监测与诊断系统已达近百套。其中有些系统的性能已达到或接近国际先进水平。

1.3.1 诊断技术的应用现状

在诊断技术的应用方面,其主要的对象包括五个方面。一是旋转机械的故障诊断,这是目前应用最广、最为成熟的一个应用领域,这一领域涉及的行业最多。如电力行业中的汽轮发电机组,以及风机、磨煤机等各种辅机,石化行业的压缩机,化肥五大机组,航空工业的各种航空发动机等,其故障诊断都采用了该技术。二是往复机械的故障诊断。这类设备故障诊断技术的应用也比较成功,特别是铁谱及油液分析技术的应用。近年来,利用振动及噪声技术开展往复机械故障诊断的研究工作也取得了很大的进展。三是各种流程工业设备的故障诊断,包括石化行业中的各种反应塔、压力容器、管道,以及冶金行业中的各种轧机等故障诊断。这一领域除应用了各种传统的诊断技术外,目前还广泛开展了红外、超声波发射、光谱等新技术的研究工作,并取得了令人鼓舞的成果。这一领域的研究与应用工作也将是今后的热点之一。四是加工过程的故障诊断,主要包括刀具的磨损、破损以及机床本身的各种故障的诊断。目前在各种先进的数控机床及加工中心中,这类机床已经有较完善的机床故障诊断功能,而关于各种刀具的磨损、破损的诊断一直未取得较大的突破。在欧美等发达国家,其加工线上的关键设备普遍装备了各种刀具磨损、破损监控装置,其有效率在 80% 左右,在国内的加工生产线上普遍缺乏这类监控装置。随着加工过程的不断自动化,势必对这一技术提出越来越迫切的需求,这也将是今后的一大研究热点。五是各种基础零件的故障诊断,包括对各种齿轮、轴承以及液压零部件等的诊断。这类基础零部件普遍存在于各种设备之中,应用范围极广,是诊断技术最重要的应用对象之一。基础零部件的故障诊断工作已取得相当重要的进展,目前最重要的问题是研究适合于工程应用的更可靠的诊断方法与仪器。

1.3.2 诊断技术的研究现状

目前,国内在诊断技术方面的研究主要集中在以下几个方面。

(1) 信号分析与处理技术的研究 从传统的谱分析,时序分析以及时域分析,开始引入一些先进的信号分析手段,像短时傅里叶分析、Wigner 谱分析、小波变换等。这类新方法的引入,弥补了传统分析方法存在的不足。

(2) 传感器技术的研究 国内先后开发了许多类型的传感器,但是在可靠性、稳定性等方面尚有一定的差距,这也是今后的努力方向之一。

(3) 关于人工智能与专家系统的研究 从1985年开始到现在,特别是1985—1991年间,国内有许多研究机构开展了这一技术的研究工作,人工智能与专家系统几乎成了诊断技术发展的主流,但在工程应用方面远未达到人们所期望的水平,因而近年来其研究工作渐趋缓慢,目前只有少数几个单位仍在继续从事这一技术的开发与应用研究。

(4) 关于神经网络的研究 由于人工智能和专家系统技术在诊断技术的工程应用中遇到了一系列的困难,从20世纪90年代初开始,许多机构转向人工神经网络的研究,这股热潮至今未衰。人们在这方面做了大量的研究工作,但在应用方面进展缓慢,同样遇到了许多实际困难,主要问题在于用于网络训练的实例不足,这同专家系统所遇到的困难如出一辙。

(5) 关于诊断系统的开发与研究 这是目前人们花费精力最大的一个方向。从20世纪80年代的单机巡检与诊断,到上、下位式的主从机构,直到今天的以网络为基础的分布式结构,在系统开发上目前已相继出现了离线诊断系统、在线诊断系统和便携式诊断系统,但国内系统的可靠性同国外系统相比还有较大的差距,这是我们今后需花大力气解决的问题。

1.4 设备故障诊断技术的基本概念和基本流程

设备故障诊断技术大致可以分为两大类:一是简易诊断,二是精密诊断。简易诊断可以比喻为医院的门诊,它凭借简单的仪器对监测到的信号作出初步的判断,结果是简单的“有病”或“正常”。当然,对一些“多发病”、“常见病”,如轴承震裂、间隙过大等故障,凭借监测人员的经验和技术水平也能作出精确的判断。简易诊断使用的仪器简单,常用仪器包括便携式测振仪、红外点温仪和国外研制出来的各种专用诊断仪器,如轴承监测仪、电缆监测仪等。设备诊断技术不但要检查设备是否正常,还要对故障发生的原因、部位以及严重程度进行深入分析,并作出判断和决策,故在简易诊断的基础上,再使用如频谱分析仪及其他用计算机支持的一些高档专用仪器,便可开展精密诊断的工作,这相当于在医院住院部,由专门的医生借助价格昂贵的专用仪器进行全面检查,这里对人员素质要求也比较高。

开展精密诊断应当具备三方面的基本知识:首先要对所监测的设备的设计、制造、安装、运转和维修极为熟悉,这是基础;其次是掌握设备故障诊断技术的知识,也就是书本中介绍的各种诊断技术的方法及其原理,信号分析、处理技术,电子技术等,并精通所使用的各种精密专用仪器;第三是应学会逻辑诊断,即根据机器的特征和运行状态之间的逻辑关系进行诊断,在数理统计的指导下发展并完善判别方法。若能将上述三个方面有机地结合起来,则可获得更好的效果。设备故障诊断中的一些基本概念和基本流程如下所述。

1.4.1 设备故障诊断技术的分类

(1) 从诊断的方式分,有功能诊断和运行诊断。

功能诊断是检查机器运行功能的正常性(对象:新安装或刚维修好的设备)。

运行诊断是对正常服役的设备或机组进行运行状态的监测和诊断。

(2) 按设备的状态信号来分,有以下几种。

振动诊断:以平稳振动、瞬态振动、机械导纳及模态参数为检测目标。

强度诊断:以力、应力、应变、扭矩等机械参数为检测目标。

温度诊断:以温度、温差、温度场、热像等为检测目标。

声学诊断:以噪声、声阻、超声、声发射等为检测目标。

电参数诊断:以电信号、功率及磁特性等为检测目标。

光学诊断:以亮度、光谱和各种射线效应为检测目标。

润滑油样诊断:以机器润滑油中的磨屑浓度、成分、粒度等为检测目标。

性能趋势诊断:以设备各种主要性能指标为检测目标。

(3) 从诊断的连续性来分,有定期诊断和连续监控。

定期诊断:一般用于非关键设备且该设备的性能改变为渐发性故障或可预测性故障的场合。

连续监控:一般用于关键设备且其性能改变属于特发性及不可预测性故障。

(4) 从诊断的完善程度来分,有简易诊断和精密诊断。

简易诊断:利用较简单的仪器仅对设备有无故障及故障严重程度作出初步判断。常用仪器包括便携式测振仪、红外点温仪、轴承监测仪等。

精密诊断:在简易诊断的基础上,不但要检查设备是否正常,还要对故障的类型、产生的原因、故障部位、故障严重程度及发展趋势等进行进一步的分析,并作出判断与决策。

用于精密诊断的专家系统并开始付诸使用,使设备故障诊断技术得到发展。

(5) 按实施方法分,有离线诊断和在线诊断。

离线诊断:在现场采集信息,而分析处理和诊断工作在实验室进行,灵活方便、投资小,但分析结论有较长的时间滞后,不利于连续监视和处理紧急故障。

在线诊断:将传感器所采集的信息直接送入分析处理仪,或经 A/D 转换送入计算机,即时进行分析处理和诊断。该法迅速、实时、不会漏查故障,但费用高。

1.4.2 设备故障诊断的基本内容和一般步骤

设备故障诊断的基本内容:诊断文档的建立和诊断实施两大部分。

1. 诊断文档(故障档案)的建立

建立诊断文档即建立与各类故障对应的特征信息模式(故障样板模式)。

诊断或状态识别,实质上是将诊断对象的信号经处理后得到的一个待检模式与已知样板模式比较,将其归属到某一已知样板模式中去的过程,所以要在计算机中建立故障档案库即样板模式或标准数据库或称标准谱数据库。

故障档案库的基本内容有:用于各种故障判断的诊断参数标准阈值,诊断参数的各种标准机械图像。故障档案需不断加以验证、修正、补充和完善。

1) 敏感因子

设备的状态可以用不同的特征参数来表达(敏感性不同)。敏感因子就是最能灵敏地反映诊断对象故障状态的某些特征参数(它要具有高度的敏感性、可靠性和实用性,它直接关系到诊断的灵敏性、准确性和快速性)。

2) 建立故障档案的方法

建立故障档案的方法大致有实验法和计算机辅助实验法。

实验法将测出的各种工况的状态信号进行技术处理,得到对应的敏感因子的标准谱数据,可靠适用,但工作量大。计算机辅助实验法用较少的实验通过理论分析建立数学模型并利用计算机仿真和推算来建立故障档案。

3) 简易诊断中的故障判别标准

常用的几种判别标准见表 1-2。

表 1-2 三种故障诊断判别标准

绝对判别标准 (如国家标准机械行业标准等)	在同一部位测定的值与规定的判断标准值比较,判断结果为良好/正常/不良
相对判别标准	对同一部位定期予以测定,按时间先后进行比较,将正常情况下的值定为初始值,根据实测值达到的倍数来判断
类比判别标准	有数台机型相同的机械时,按相同条件对它们进行测定,经过相互比较作出判断

绝对判别标准有通用判别标准可依,但同一类设备各自的制造安装精度、使用场合、工况和老化程度等各不相同,所以使用时要注意使用范围。

相对判别标准适用于只有一台某型号设备的场合。

类比判别标准适用于多台相同条件下运行的同样规格的设备,它以大多数设备在相同测定条件下得到的正常状态下的测定值为原始值。

以上三种判别标准在实际中应灵活使用,在大多数情况下往往还需兼用。

2. 诊断实施

故障诊断实施过程如图 1-2 所示。

1) 信号采集

信号采集(检测)是将最能客观反映设备状态的足够数量的信息(某一种或几种)提取出来,转换成某种信号传递到信号记录仪或信号处理设备中去。

信号检测系统主要由传感器、二次仪表以及记录装置等组成。传感器用于拾取设备状态对应的信号,其类型、性能和质量、安装方法、位置以及人的思维和判断往往是决定信息是否会失真和遗漏的关键。二次仪表将传感器输出的信号进一步放大并转换成有利于分析诊断的形式输出。

2) 信号处理

在一些简易诊断中,由传感器获取的信息可直接作为诊断依据。在较复杂的系统中,这些信号(如振动测试信号)是以电压(或电流)的时间历程形式输出,其特征不明显、不直观,且相互混杂并伴有许多无用成分和干扰。从这些信号中排除和削弱噪声干扰,保留和增强有用信号,从中提取出对故障诊断最具敏感性的信息,进一步得到待检模式,这就是信号处理。

对于不同性质的信号,信号处理的方法有很多。分析处理方法的选择、结果的准确性以及表示的直观性都会对诊断的结论产生较大的影响。

3) 识别诊断

识别诊断包括状态识别、故障分析、趋势预测三方面的内容,这项工作亦称为故障诊断。诊断的结果是实施维护决策的主要依据。

4) 维护决策

根据诊断和预测的结果,决定将要采取的实际干预措施。特别是近期预测的结果,是采取事后维修中决定下次维修各项内容(对象、时间、方法及准备等)的主要依据。在对象明确、单一的情况下,主要确定下次维修时间。

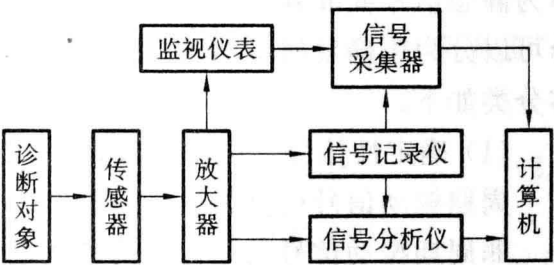


图 1-2 故障诊断的实施过程

第2章 信号分析及处理基础

通常,机械设备的运转状态及运行过程以其特有的物理状态表现出来,此类物理状况有振动、噪声、温度、压力和应变等。通过各类传感器,可把各种各样的物理状况转变为信号。在信号中蕴含着物理系统状况及特征——机械设备运转状态及过程的有用信息,但也可能混有各种噪声和干扰。为了有效地进行状态监测和故障诊断,通常需要对信号进行加工处理,提取其特征。如果某些特征与设备的状态或某种故障有较强的依赖关系,就能取得较好的诊断效果。因此信号分析处理的目的是去伪存真、去粗取精,抽取与设备状态有关的特征,用以准确地诊断。

2.1 信号的分类与基本描述

幅值不随时间变化的信号称为静态信号。实际上,幅值随时间变化很缓慢的信号也可以称为静态信号或准静态信号。工程中所遇到的信号多为动态信号,其幅值随时间变化,动态信号可以分为用确定的时间函数来表达的确定性信号和不能用时间函数来描述的随机信号,具体分类如下。

(1) 确定性信号 可用函数表示,比较明确。包括周期振动信号和非周期振动信号。

周期振动信号可分为简谐振动(单一正弦波)和复杂周期振动信号(正弦波叠加)。

非周期振动信号可分为准周期振动信号(经处理可转为周期振动)和瞬时振动信号(单发的一次性)。

(2) 随机信号 随机信号是大量脉冲信号的集合,其幅值、波形、峰值出现的时刻均是随机的。随机信号又分为平稳随机信号(各态历经及非各态历经)和非平稳随机信号(瞬时信号等)。

平稳随机信号有统计规律,且统计规律与时间无关。

各态历经信号是指用单次测试数据能代表其总体特性的信号,可分为如下两种。

(1) 窄频带信号 即受频带限制的随机信号。

(2) 宽频带信号 即白噪声信号。

非各态历经信号是指不能用单次测试数据代表其总体特性的振动信号。

非平稳随机信号不属于平稳随机信号。

2.2 信号的获得

机械故障诊断与监测所需的各种物理量(如振幅、温度、压力、噪声)通常用相应的传感器转换成电信号以便分析处理。信号分为模拟信号和数字信号两类。模拟信号是随时间连续变化的,通常从传感器获得的信号都是模拟信号。数字信号是由离散的数字组成的,定期观察值或模拟信号经过模/数(A/D)转换得到的一串数字都是数字信号。

信号的获得及处理如图 2-1 所示,从监测对象上安装的传感器取得模拟信号,经过放大后可以有如下几种处理方式。