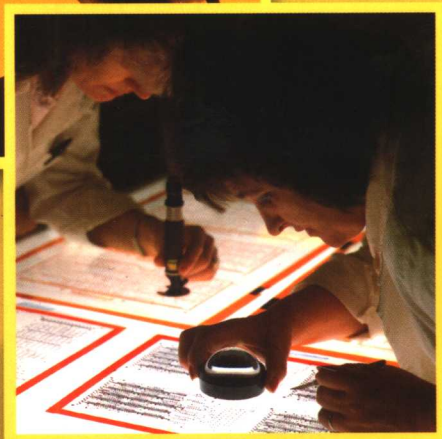
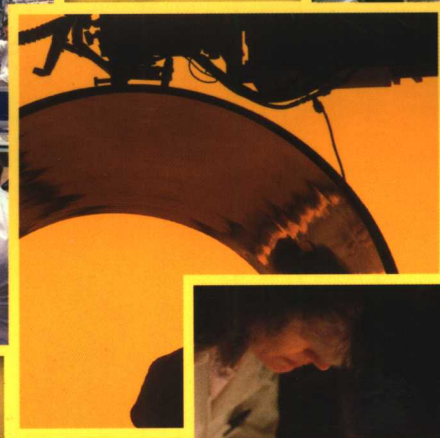
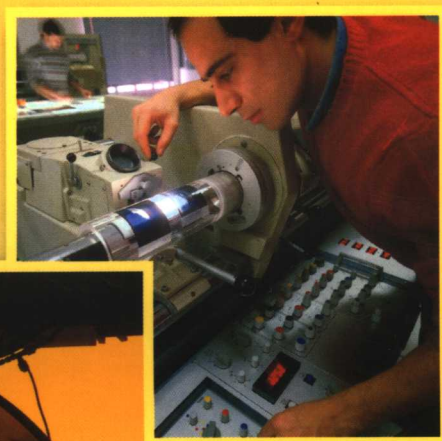
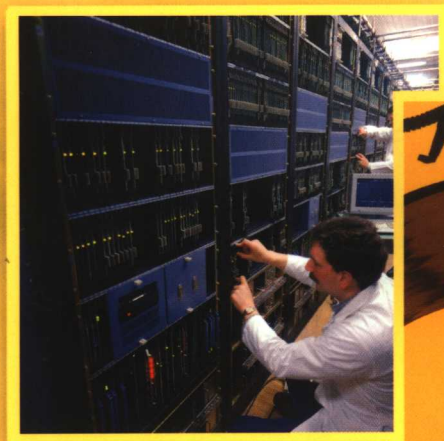




教育部高等职业教育示范专业规划教材

(机械制造及自动化专业)

设备故障诊断与维修



丁加军 主编

教育部高等职业教育示范专业规划教材
(机械制造及自动化专业)

设备故障诊断与维修

主 编 丁加军
副主编 夏建成 王 栋
参 编 余 洵 张婉青
主 审 李七一



机械工业出版社

本书是教育部高等职业教育机械制造及自动化示范专业规划教材。

本书共 10 章, 主要内容有: 绪论、设备故障的振动诊断技术、设备故障的油样及声光诊断技术、机械设备的拆卸清洗与检查、机修中的零件测绘、机械零件的修复技术、装配及检查、数控机床机械故障诊断、数控系统故障诊断及数控系统维修技术等。

本书既可作为高职高专机械制造及自动化专业教材, 又可作为其他类学校机械专业学生和工程技术人员的参考读物。

图书在版编目 (CIP) 数据

设备故障诊断与维修/丁加军主编. —北京: 机械工业出版社, 2006.6

教育部高等职业教育示范专业规划教材 (机械制造及自动化专业)

ISBN 7-111-18770-9

I. 设... II. 丁... III. ①设备-故障诊断-高等学校: 技术学校-教材②设备-故障修复-高等学校: 技术学校-教材 IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 025320 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王世刚 宋学敏 责任编辑: 崔占军 版式设计: 霍永明

责任校对: 刘志文 责任印制: 洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·313 千字

0 001—4 000 册

定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线电话 (010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

开展设备故障诊断与维修工作的直接目的和基本任务之一,就是预防和排除事故,保证人身和设备的安全。从历史上看,设备故障诊断技术是在血和泪的反复教训下成长和发展起来的。我们知道,一些设备,特别是流程式的大型设备,一旦发生故障,将会引起连锁反应,造成巨大的经济损失甚至灾难性的后果。例如,1986年1月28日美国“挑战者”号航天飞机由于燃料助推火箭密封圈泄露而发生爆炸,造成七名宇航员丧生,并导致美国宇航计划推迟两年的严重后果,其经济损失无法估量。又如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。

类似以上的设备事故每年都有大量的报道,它反复地提醒人们:为了避免设备事故,保障人身和设备的安全,积极推进设备故障诊断技术的研究并在现场开展这方面的工作,已到了刻不容缓的地步。

开展设备故障诊断工作能推动设备维修制度的改革,改早期的“不坏不修,坏了再修”的事后维修制度为预防维修制度或预知维修制度,减少可能发生的事故,延长检修周期,节约维修费用。

这一客观形势促使了设备诊断这门学科的兴起。人们可以运用当代一些科技新成就发现设备的隐患,以期对设备事故防患于未然。近年来这一技术和学科发展十分迅速,已对保障生产安全,提高生产率起到了良好的作用,同时也成了现代设备管理与维修人员必备的基础知识。

本教材介绍了故障的振动诊断技术、油样声光诊断技术等较新的内容,并结合滚动轴承、主轴、齿轮箱、床身与导轨、数控机床等常见实例讲述了诊断与维修的具体操作方法。

本书第1、8章由南京工业职业技术学院丁加军高级工程师、副教授编写,第2、3、5章由南京工业职业技术学院夏建成高级实验师编写,第4章由南京工业职业技术学院余洵副教授编写,第6、7章由南京工业职业技术学院张婉青讲师编写,第9、10章由太原理工大学阳泉学院王栋讲师编写。丁加军担任主编,夏建成、王栋担任副主编。南京工业职业技术学院李七一副教授为本书主审。

书中如有不妥之处,恳请读者指正。

编 者

2005年2月

目 录

前言	6.1 概述	77
	6.2 零件的修复工艺	82
	6.3 典型零件的修复工艺	105
第1章 绪论	本章小结	117
1.1 故障率	第7章 装配及检查	120
1.2 故障理论	7.1 机械设备的装配	120
1.3 故障诊断的方法	7.2 典型零件的装配	125
1.4 开展设备诊断的重大意义	本章小结	144
本章小结	第8章 数控机床机械故障诊断	147
第2章 设备故障的振动诊断技术	8.1 机械故障及其分类	147
2.1 信号概念及分类	8.2 数控机床机械故障诊断方法	148
2.2 振动测量仪器及其应用	8.3 主传动系统与主轴部件故障的 诊断与维修	151
2.3 旋转机械的振动监测与诊断	8.4 进给传动机构故障的诊断与维修	156
本章小结	8.5 导轨副故障的诊断与维修	161
第3章 设备故障的油样及声光诊断 技术	8.6 液压、气动系统故障诊断与维修	163
3.1 油样分析方法	8.7 刀库及自动换刀装置故障分析 与排除	167
3.2 红外监测方法	本章小结	168
3.3 超声波诊断法	第9章 数控系统故障诊断	170
3.4 声发射技术	9.1 概述	170
本章小结	9.2 故障诊断方法	177
第4章 机械设备的拆卸清洗与检查	9.3 控制系统故障诊断	183
4.1 机械设备的拆卸	9.4 伺服系统故障诊断	184
4.2 零件的清洗	本章小结	194
4.3 零件的检查	第10章 数控系统维修技术	196
本章小结	10.1 现场维修的基本条件	196
第5章 机修中的零件测绘	10.2 现场维修的阶段划分与工作 步骤	199
5.1 测绘工作中的注意事项	10.3 维修中的元器件替代	202
5.2 直齿圆柱齿轮的测绘	本章小结	203
5.3 直齿锥齿轮的测绘	参考文献	204
5.4 蜗轮与蜗杆的测绘		
5.5 凸轮的测绘		
本章小结		
第6章 机械零件的修复技术		

第1章 绪 论

学习目的：学习设备故障诊断与维修的基础知识，了解故障率、故障类型、故障诊断的方法及开展设备故障诊断的意义。

在机电设备维修中，研究故障的目的是要查明故障模式，研究故障机理，探求减少故障发生的方法，提高机电设备的可靠程度和有效利用率。同时，把故障的影响和结果反映给设计和制造部门，以便采取措施。

故障是指整机或零部件在规定的时间和使用条件下不能完成规定的功能，或各项技术经济指标偏离了它的正常状况，但在某种情况下尚能维持一段时间工作，若不能得到妥善处理将导致事故。例如：某些零部件损坏、磨损超限、焊缝开裂、螺栓松动，使工作能力丧失；发动机的功率降低；传动系统失去平衡和噪声增大；工作机构的工作能力下降；燃料和润滑油的消耗增加等，当其超出了规定的技术参数时，即发生了故障。

对于故障，应明确以下几点。

(1) 规定的对象 它是指一台单机、由某些单机组成的系统或机械设备上的某个零部件。不同的对象在同一时间将有不同的故障状况，例如，在一条自动化流水线上，某一单机的故障足以造成整条自动线系统功能的丧失；但在机群式布局的车间里，就不能认为某一单机的故障意味着全车间的故障。

(2) 规定的时间 发生故障的可能性随时间的延长而增大。时间除了直接用年、月、日、小时等作单位外，还可用机械设备的运转次数、里程、周期作单位，例如车辆等用行驶的里程；齿轮用它承受载荷的循环次数等。

(3) 规定的条件 这是指机械设备运转时的使用维护条件、人员操作水平、环境条件等。不同的条件将导致不同的故障。

(4) 规定的功能 它是针对具体问题而言，例如同一状态的车床，进给丝杠的损坏对加工螺纹而言是发生了故障，但对加工端面来说却不算发生故障，因为这两种情况所需车床的功能项目不同。

(5) 一定的故障程度 即应从定量的角度来估计功能丧失的严重性。

在生产实践中，为概括所有可能发生的事件，给故障下了一个广泛的定义，即“故障是不合格的状态”。

机电设备的故障必定表现为一定的物质状况及特征，它们反映出物理的、化学的异常现象，并导致某些功能的丧失。这些物质状况的特征称故障模式，需要通过人的感官或测量仪器得到，相当于医学上的“病症”。

1.1 故障率

故障率是指在每一个时间增量里产生故障的次数,或在时间 t 之前尚未发生故障,而在随后的 dt 时间内可能发生的故障的条件概率,用 $\lambda(t)$ 表示,其数学关系式为

$$\lambda(t) = f(t)/R(t)$$

该式说明故障率为在某一瞬时可能发生的故障相对于该瞬时无故障概率之比。

1.1.1 故障率的类型

根据不同的变化规律,故障率可分为四种类型。

(1) 常数型 故障率基本保持不变,是一个常数,它不随时间而变化。此时的机械设备或零部件均未达到使用寿命,不易发生故障。但某种原因也会导致发生故障,且有随机性。在严格操作、加强维护保养的情况下将会随时排除故障,因此故障率很小。这是最常见的一种类型,如图 1-1 所示。

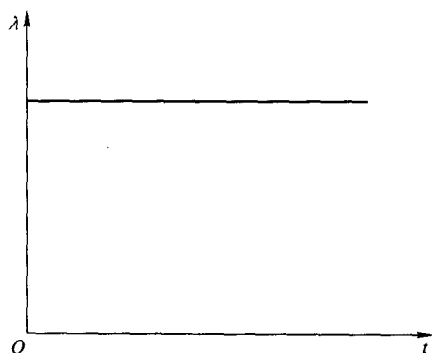


图 1-1 常数型故障率曲线

(2) 负指数型 又称渐减型。使用了质量粗劣的零件,或制造中工艺疏忽,或装配质量不高,还有设计、保管、运输、操作等方面的原因,使机械设备投入运转的初期故障率很高,即有一个早期故障期。随着时间的推移,经过运转、磨合、调整,故障逐个暴露并被排除后,故障率由高逐渐降低,并趋于稳定,成为负指数型故障率曲线,如图 1-2 所示。

(3) 正指数型 又称渐增型。机械设备或零部件随着时间的增长,逐渐发生磨损、腐蚀、疲劳等,故障急剧增多,其故障率曲线是正指数型。渐进性故障的故障率属于这种类型,如图 1-3 所示。

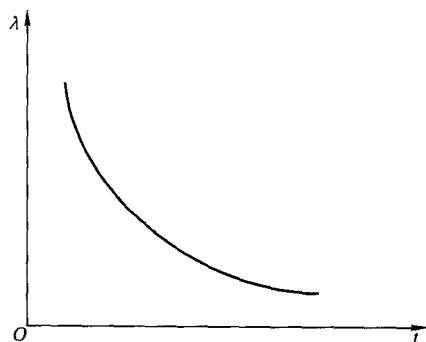


图 1-2 负指数型故障率曲线



图 1-3 正指数型故障率曲线

(4) 浴盆曲线型 机械设备或零部件发生故障, 包括前述的三种类型, 由三条曲线连接而成一条浴盆曲线, 如图 1-4 所示。

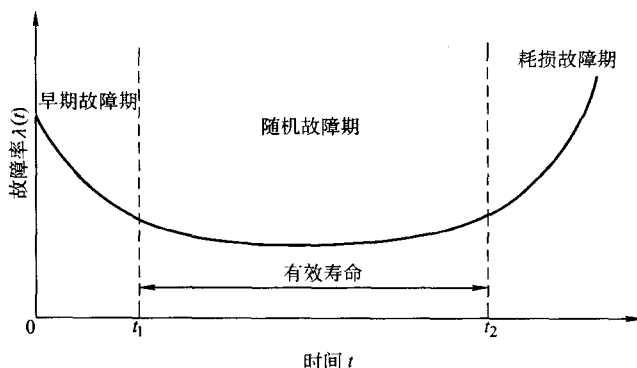


图 1-4 浴盆曲线型故障率曲线

浴盆曲线型是最常见的一种故障率类型。曲线划分成早期故障(初始故障)、随机故障(偶发故障)、耗损故障(衰老故障)三个阶段。

1) 早期故障期 ($0 \leq t \leq t_1$)。它相当于机电设备安装试车后, 经过磨合、调整将进入正常工作阶段。若进行大修或技术改造后, 早期故障期将再次出现。

2) 随机故障期 ($t_1 \leq t \leq t_2$)。此时期是机电设备的最佳工作期。

3) 耗损故障期 ($t_2 \leq t \leq T_i$)。 T_i 为两次大修间的正常工作时间。大多数的机械设备或零部件经长期运转, 磨损严重, 增加了产生故障的机会。因此, 应在这一时期出现前进行预防维修, 或在这一时期刚出现时就进行小修, 防止故障大量出现, 降低故障率和减少维修工作量。

1.1.2 平均故障间隔时间 (MTBF)

它是可修复的机械设备和零部件在相邻两次故障间隔内正常工作时间的平均值。例如某机电设备工作了 1000h 后第一次发生了故障, 工作了 2000h 后第二次发生了故障, 工作了 2400h 之后又第三次发生故障, 则该机械设备的平均故障间隔时间为

$$(1000 + 2000 + 2400) \text{h} / 3 = 1800 \text{h}$$

平均故障间隔时间愈长, 说明愈可靠。平均故障间隔时间可用公式表示

$$MTBF = \theta = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}{n}$$

式中, θ 是平均故障间隔时间; Δt_i 是第 i 次故障前的无故障工作时间, 也可用两次大修间的正常工作时间 T_i , 代替; n 是发生故障的总次数。

1.2 故障理论

故障理论揭示了机械设备在使用过程中有关故障的规律, 它包括故障统计分析(故障宏

观理论)和故障物理分析(故障微观理论)。

1.2.1 故障统计分析

它是应用可靠性理论,运用统计技术和方法,从宏观现象上,定性和定量地描述、分析机电设备运动过程的模型、特点和规律性。显然,故障统计分析可以对机械设备的结局作出规律性的大致描述,提供信息,反映主要故障问题,但不能揭示事故的根本原因。

故障统计分析包括故障的分类、故障分布和特征量、故障的逻辑决断等。

1.2.2 故障物理分析

它是以机械设备在各种不同使用条件下发生的各种故障为研究对象,用先进的测试技术和理化方法,从微观和亚微观的角度分析研究故障从发生到形成的过程,以及故障的机理、形态、规律及其影响因素。

故障物理分析包括故障机理和故障形态两个方面。

故障机理是研究机械设备发生故障的原因及其发展规律,即劣化理论。故障机理往往由于机械设备、零部件、材料、使用环境的差别而不同,不能一概而论,只能作简单地归纳,一般表现为断裂、磨损、变形、疲劳、腐蚀和氧化等。

故障形态的研究,是把故障机理和故障分析的研究,归结到故障的具体形态、类型和模式上。在大量统计和分析研究的基础上,用故障单元的外部特征作为判断故障的依据,具有鲜明的直觉感。

故障机理和故障类型的分析是制定维修策略(包括维修方式、管理体制、改造和更新等)的依据,是维修技术的基础理论,对维修技术的应用和发展有重要的影响。

1.3 故障诊断的方法

机械故障诊断的基本方法可按不同的观点来分类,目前流行的分类方法有两种:一是按诊断方法的难易程度分类,可分为简易诊断法和精密诊断法;二是按诊断的测试手段来分类,主要分为直接观察法、振动噪声测试法、无损检测法、磨损物测定法和机器性能参数测定法。下面分别叙述这些方法。

1.3.1 简易诊断法

简易诊断法主要采用便携式的简易诊断仪器,如测振仪、声级计、工业内窥镜、红外点温仪等对设备进行人工巡回监测,根据设定的标准或人的经验分析,判断设备是否处于正常状态。若发现异常则通过监测数据进一步了解其发展的趋势。因此,简易诊断法主要解决的是状态监测和一般的趋势预报问题。

1.3.2 精密诊断法

精密诊断法是对已产生异常状态的原因采用精密诊断仪器和各种分析手段(包括计算机辅助分析方法、诊断专家系统等)进行综合分析,以了解故障的类型、程度、部位和产生的

原因及故障发展的趋势等问题。由此可见,精密诊断法主要解决的问题是分析故障原因和较准确地确定发展趋势。

1.3.3 直接观察法

传统的直接观察法如“听、摸、看、闻”是早已存在的古老方法,并一直沿用到现在,在一些情况下仍然十分有效。但因其主要依靠人的感觉和经验,故有较大的局限性。随着技术的发展和进步,目前出现的光纤内窥镜、电子听诊仪、红外热像仪、激光全息摄影等现代手段,大大增强了人的感官功能,使这种传统方法又恢复了青春活力,成为一种有效的诊断方法。

1.3.4 振动噪声测定法

机械设备在动态下(包括正常和异常状态)都会产生振动和噪声。进一步的研究还表明,振动、噪声的强弱及其包含的主要频率成分和故障的类型、程度、部位及原因等有着密切的联系。因此利用这种信息进行故障诊断是比较有效的方法,也是目前发展比较成熟的方法。特别是振动法,由于不受背景噪声干扰的影响,信号处理比较容易,因此应用更加普遍。

1.3.5 无损检验

无损检验是一种从材料和产品的无损检验技术中发展起来的方法,它是在不破坏材料表面及内部结构的情况下检验机械零部件缺陷的方法。它使用的手段包括超声波、红外线、X射线、 γ 射线、声发射、渗透染色等。这一套方法目前已发展成一个独立的分支,在检验由裂纹、砂眼、缩孔等缺陷造成的设备故障时比较有效。其局限性主要是某些方法如超声波、射线检测等有时不便于在动态下进行。

1.3.6 磨损残余物测定法

机器的润滑系统或液压系统的循环油路中携带着大量的磨损残余物(磨粒)。它们的数量、大小、几何形状及成分反映了机器的磨损部位、程度和性质,根据这些信息可以有效地诊断设备的磨损状态。目前磨损残余物测定方法在工程机械和汽车、飞机发动机监测方面已取得了良好的效果。

1.3.7 机器性能参数测定法

机器的性能参数主要包括反映机器主要功能的一些数据,如泵的扬程、机床的精度、破碎机的粒度、压缩机的压力和流量以及内燃机的功率和耗油量等。这些数据一般可以直接从机器的仪表上读出,由此可以判定机器的运行状态是否离开正常范围。这种机器性能参数测定方法主要用于状态监测或作为故障诊断的辅助手段。

1.4 开展设备诊断的重大意义

开展设备诊断的重大意义可从以下三个方面来叙述。

1.4.1 预防事故，保证人身和设备的安全

预防事故，保证人身和设备的安全是开展设备诊断工作的直接目的和基本任务之一。但是对这一问题的深刻认识却是来之不易的。从某种意义上来说，设备诊断技术是在血和泪的反复教训下成长和发展起来的。我们知道，一些设备，特别是流程式的大型设备一旦发生故障将会引起连锁反应，造成巨大的经济损失甚至灾难性的后果。例如 1985 年 12 月 29 日我国山西某电厂一台 200 MW 发电机在 40 s 内全部损坏，直接损失达 1000 万元以上。连续生产的石化企业事故造成的损失也是相当惊人的，据报道四川某化工厂一台合成氨压缩机停产一天就造成 70 万元的损失。一般性事故积累的损失也是不可低估的，据原冶金工业部的不完全统计，1986 年 1~3 季度全国 26 个钢铁厂一般性设备事故的直接经济损失在 1100 万元以上。此外，国外一些严重的设备事故引起的损失更为触目惊心，例如 1986 年 1 月 28 日美国“挑战者”号航天飞机由于燃料助推火箭密封圈泄露而发生爆炸，造成七名宇航员丧生并导致美国宇航计划推迟两年的严重后果，其经济损失就更无法估量了；又如 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，经济损失高达 30 亿美元。

类似以上的设备事故每年都有大量的报道，它反复地提醒人们：为了避免设备事故，保障人身和设备的安全，积极进行设备诊断技术的研究，尤其在现场开展这方面的工作，已到了刻不容缓的地步。

1.4.2 推动设备维修制度的改革

与生产的发展水平相适应，设备维修制度共有以下三种。

(1) 事后维修制度 这是一种早期的维修制度，其特点为“不坏不修，坏了再修。”显然这是一种十分落后的方法。我国工厂在解放前普遍采取这种方法。目前对一些不重要的小型设备仍然沿用这种维修方式。

(2) 预防维修制度 这种制度简称为 PM (Preventive Maintenance)，又称为以时间为基础的维修制度 [简称为 TBM (Time Based Maintenance)] 或计划维修制度。解放后，我国由前苏联引进了这种维修方式并一直沿用至今，目前绝大多数工交企业仍然在继续采用。这是一种静态维修制度，其特点是当设备运行到达计划规定的台时或吨公里时便进行强制维修。无疑这种维修制度比事后维修要大大前进了一步，对于保障人身和设备的安全起到了积极的作用。

(3) 预知维修制度 这种制度简称为 PRM (Predictive Maintenance)，又称为以状态为基础的维修制度 [简称为 CBM (Condition Based Maintenance)]。其特点为在状态监测的基础上，根据设备运行状态实际劣化的程度决定维修时间和维修的规模。显然，这种维修方式是一种比较理想的动态维修制度，它是目前预防维修制度改革的方向。

我国目前正处于从预防维修制度向预知维修制度逐步过渡的起步阶段。推动目前维修制度改革的主要原因有以下几方面。

1) 预防维修制度经过长期实践逐步暴露出明显的缺陷,即过剩维修和失修的问题。以轴承为例,同一型号的滚动轴承其实际使用寿命有时相差可达数十倍。在计划维修制度下,一些轴承虽然使用已达到维修时间但实际上尚有相当长的寿命,但也必须进行更新,这就造成了过剩维修。也可能有一些轴承尚未达到计划维修时间就已经失效了,这就是失修。失修是造成事故的重要原因之一。计划维修的缺点造成的影响首先在一些西方工业发达国家表现出来。以美国的统计资料为例,1980年美国全年税收为7500亿美元,而全年工业维修费达2460亿美元,根据专家研究分析,其中由于过剩维修和失修而浪费的资金约为750亿美元,约占总维修费用的1/3,这是一个相当惊人的巨额数字。

2) 现代化机械设备一旦发生故障,造成的损失非常严重,特别是在一些高精尖部门(如航空、航天、核能等),尤为突出。

3) 现代化机械设备,特别是大型关键设备,结构十分复杂,在运行中一般又不允许随便停机进行解体检查。

4) 管理维修人员素质的提高滞后于设备数量的增长,再加上正常的离退休制度,使富有经验的技术人员相对不足。

大力发展和推行设备诊断技术、改革现行的计划维修制度并逐步向预知维修制度过渡,当前已是势在必行。其中发展和普及设备诊断技术是推动改革的中心环节。

1.4.3 提高经济效益

开展设备诊断所带来的经济效益,应当包括减少可能发生的事故损失和延长检修周期所节约的维修费用等两项。由于上述经济效益具有“隐含”的性质,因此往往被人们忽视甚至拒绝承认,显然这是不正确的。国外一些调查资料显示,开展设备诊断可带来可观的经济效益。英国对2000个工厂进行的调查表明,采用设备诊断技术后每年节约维修费用3亿英镑,除去诊断技术的费用0.5亿英镑外,净获利2.5亿英镑。美国PEKRUL电厂的调查资料表明,投入20万美元的设备诊断费,年获利可达126万美元。日本资料表明,新日铁八幡厂热轧车间在采用诊断技术的第一年,事故率就由原来的29次/年降低为8次/年。我国1977年~1978年对年产30万吨合成氨和48万吨尿素化肥厂的五大涡轮压缩机组的初步调查表明,两年内机械故障高达100多次,经济损失高达几亿元。若采用诊断技术可挽回损失的30%,经济效益相当可观。

本章小结

1. 故障率是指在每一个时间增量里产生故障的次数,或在时间 t 之前尚未发生故障,而在随后的 dt 时间内可能发生的故障的条件概率。

2. 故障率的类型
- 常数型
 - 负指数型
 - 正指数型
 - 浴盆曲线型

3. 平均故障间隔时间是指可修复的机械设备和零部件在相邻两次故障间隔内正常工作时间的平均值。

4. 机械故障诊断的基本方法:

- 按难易程度分为
- 简易诊断法
 - 精密诊断法
- 按测试手段分为
- 直接观察法
 - 振动噪声测试法
 - 无损检测法
 - 磨损物测定法
 - 机器性能参数测定法

5. 开展故障诊断的意义
- 预防事故, 保证人身和设备的安全
 - 推动设备维修制度的改革
 - 提高经济效益

第2章 设备故障的振动诊断技术

学习目的：本章主要讨论动态信号分析处理中的有关问题，重点介绍以快速傅里叶变换为基础的各种分析技术。

1. 了解信号的概念、转换、传输、分类以及特征信号的选择。
2. 了解袖珍式振动表、频谱分析仪、计算机辅助状态监测系统等振动测量仪器及其应用。
3. 掌握旋转机械振动故障分析常用方法，了解旋转机械典型故障特征辨识。
4. 了解滚动轴承的故障诊断方法。
5. 了解齿轮传动装置的动力特征。
6. 了解其他常见故障及其频率特征。

2.1 信号概念及分类

通常把可测量、记录、处理的物理量泛称为信号，它们一般是时间的函数。所谓动态信号是指要进行分析处理的信号随时间有较大的变化，不是近似直流信号的那种随时间缓慢变化的信号。本章主要讨论动态信号分析处理中的有关问题，重点介绍以快速傅里叶变换为基础的各种分析技术。书中凡提到信号之处，均指动态信号。

2.1.1 信号转换与传感器

机械故障诊断中许多物理量如力、位移、转角、噪声等不容易测量、记录和处理，通常使用各种传感器将其转换为电压、电流等容易测量的物理量。传感器的种类很多，按工作原理可分为电感、电阻、电容、电涡流、压电、光电、热电以及霍尔效应等类型的传感器；按被测量对象可分为力、位移、温度、噪声、应变或其组合如阻抗头（可同时测力和加速度）等类型的传感器；按被测量的物体运动状态可分为直线运动、旋转运动及相应的接触式或非接触式等类型的传感器；按被测量物体的工作状态可分为一般工作环境及特殊工作环境如超高压、超高温、超低压、超低温、强磁场、放射性、特殊气体及液体环境等类型的传感器。这些传感器最重要的指标有：

- 1) 动态范围指传感器输出量与物理输入量之间维持线性比例关系的测量范围。一般动态范围越大越好。
- 2) 灵敏度指传感器输出量与物理输入量之比。灵敏度高，不需前置放大器即可进行测量；灵敏度较低，需配接适当的放大器。有些传感器需配接专用放大器，此时灵敏度也可定义为专用放大器输出量与物理输入量之比。
- 3) 动态特性指传感器的响应时延、幅频特性、相频特性等。一般要求在所测信号的频率范围内幅频特性是平直的，相频特性是线性的，响应时延越小越好，否则转换后的信号是

失真的,进一步的分析处理也就失去意义。当然也可能为了特殊目的而利用传感器的非平坦的幅频特性段,例如进行共振解调,以诊断滚动轴承的故障等。

4) 稳定性指传感器长时间使用后灵敏度、动态范围、动态特性的变化小,重复精度高,否则要经常进行传感器的标定工作。

在实际工作中,应按被测对象选择适当的传感器。

2.1.2 信号传输及干扰噪声

当传感器灵敏度较低或传感器距分析处理设备较远时,通常要使用放大器或长距离电缆,它们也像传感器一样存在灵敏度、动态范围、动态特性及稳定性的问题。传感器输出的信号包括我们感兴趣和不感兴趣的信号(噪声信号)。噪声信号通常是由于外界干扰如雷电、空间电磁波、环境温度、湿度、光照、杂质、尘埃等引起的。放大器输出的信号除了传感器输出的信号外,还会附加放大器自身产生的电噪声信号。不论是哪一种噪声信号,均是有害的,有时甚至会将有有用信号完全淹没。动态信号分析中的一个重要内容就是研究这些噪声信号的特点,采用各种处理技术排除这些噪声信号,获得不失真的有用信号。

2.1.3 信号的分类

信号可分为确定性信号与非确定性信号。所谓确定性信号是指可用数学关系式描述的信号,它又可分为周期信号及非周期信号,如正弦波、方波等是典型的周期信号,阶跃脉冲、半正弦脉冲等是典型的非周期信号。所谓非确定性信号是指不能用数学关系式描述的信号,无法预知其将来的幅值,又称为随机信号,如2.1.2中提到的电噪声信号,又如在不平坦的道路上行驶的汽车,车内产生的振动就是随机振动。

信号还可按其取值情况分为模拟信号和数字信号。模拟信号一般都是连续的,而数字信号则是离散的。大多数传感器输出的信号是模拟的,如各种压电式、磁电式、电容式、电涡流式及霍尔效应等类型的传感器;少数传感器输出的信号是离散的,如测量转动的圆光栅,其输出信号为脉冲,通过脉冲计数确定转过的角度。现代电子计算机只能处理数字信号,使用模拟/数字(A/D)转换器后才能处理模拟信号。

2.1.4 特征信号的选择

机器在运行中能提供的信息很多,但不是每一种信息都对工况监测有积极意义。要选择能实时采集的、且能敏感反映工况状态变化的信息,包含这种信息的信号称为特征信号。以下说明选择特征信号要考虑的主要问题。

(1) 信号的敏感性 机械设备故障诊断与医学诊断有许多相似之处。在医学诊断中,医生通常是应用各种检测仪器,从身体外部获取如体温、心率、血压、X光片等能够反映病症特征的各种信息,在此基础上进行诊断。机械系统的运行过程中,我们也可以应用各种现代科学仪器(包括计算机的软硬件)获取种种信息,对机器的整体或部件进行诊断,判别工况正常还是异常。机器和人体一样,也会反映出各种征兆,诸如振动、温度、压力等信号的变化,但不是所有信号对工况状态都很敏感。如一个人患了心脏病,其心率变化就比体温明显,X光片所提供人体内部信息就更直接。但如果一个人不是患心脏病而是患感冒,这时体

温的变化就比心率要显著得多。不同的机器在不同的运行状态下,其特征信息的敏感程度是不相同的。特征信号蕴含了实际机器运行状态的最本质信息,各种机器具有各自的特征变化规律。特征信号的获取,不仅与所选择的信号内容有关,且与传感器型号、传感器的精度和测点位置有关。

(2) 在线(On-line)与实时性 现依次对常用的可测量的运行信号说明如下。
振动是判断下列状态的最佳特征信号:平衡,轴承稳定性,叶片、齿轮等零件上所受的动态应力。此外,一般机器的异常,如联轴器同轴度超差和不适当的间隙等经常可从振动特征中显示出来。

测量旋转轴相对于静止元件的位置,就可用测得间隙来预防发生灾害性的碰撞事故。

测量温度常用于两个目的。一是用来测量和评价机器状态或某些特定元件上的负载。二是作为一个辅助系统(例如冷却器),以确定热动力性能和效率的特征信号。在本章中,温度仅限于用作机内状态指示。

压力亦是一项很有价值的诊断辅助信号,因为压力变化常是故障的征兆,例如内部间隙的变化,将影响推力负载。

监测油的状态可以了解油中杂质的量,通过对油中磨粒进行观察和分析,能比较准确地判别故障的程度、部位、类型和原因。

2.2 振动测量仪器及其应用

振动测量仪器按完善程度可分为三个等级,如图2-1所示。

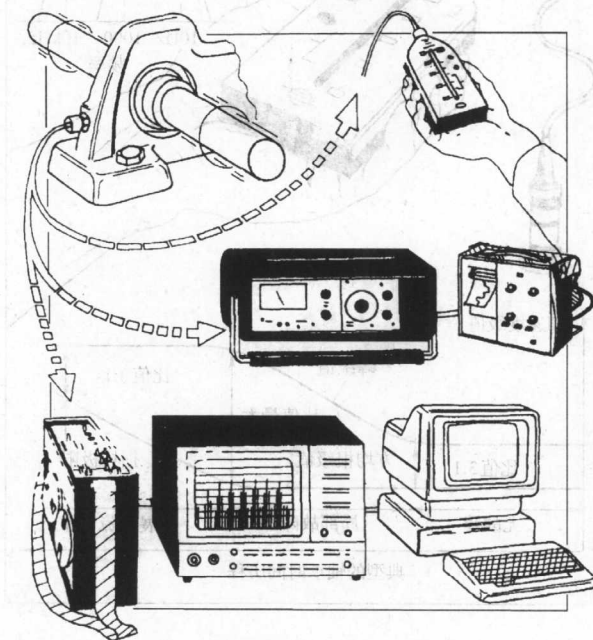


图2-1 振动测量仪器逐步完善的三个等级

最简单的系统是利用一种简易的袖珍式振动表在特定的频率范围内测量振动信号。将其测量结果与一般的标准或为每台机器建立的参考值作比较,这样,机器的状态是以最少的数据在现场进行估计。使用简单的振动仪监测机器状态的细则见“宽频带测量简介”。

当用可作频率分析的系统时,便可能在早期阶段检测诊断并预示破坏。在现场进行详细的频率分析,并对每个监测点绘出频谱图。把即时频谱与已记录的参考频谱进行比较,以每个频率分量的极值标出起警告作用的增加分量。这种用途的典型便携系统在“频率分析的基本系统”中介绍。

当监测点的数量增加时,采用计算机辅助比较系统是最经济的解决办法。每台机器的振动样本可以记录在磁带记录器上,在实验室中,利用计算机自动地与参考频谱作比较。该系统的介绍见“计算机辅助状态监测系统”。

2.2.1 宽频带测量简介

作机器状态监测的人,经常需要一台高质量的手持式振动仪。

这种仪表在 $10 \sim 1000\text{Hz}$ 或 $10 \sim 10\text{kHz}$ 频率范围内,给出振动加速度的方均根值或峰值。方均根速度读数可以直接与列在“旋转机械振动评定标准”中的标准振动烈度相比较,以指示是否需要维修,如图 2-2 所示。当用频率分析对系统作比较时,宽频带振动仪反而限制了早期故障检测、诊断与损坏预报。这个原因在下一小节中讨论。

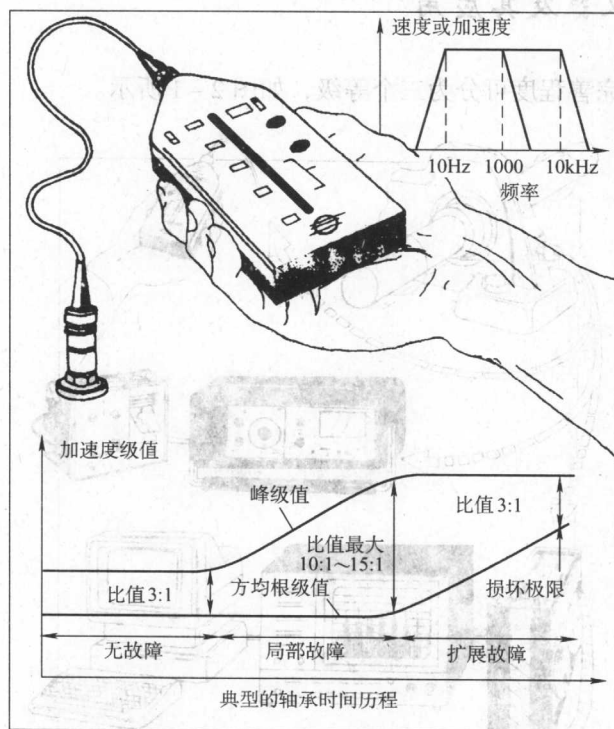


图 2-2 宽频带测量