

科學技術文獻出版社

陈克兴

李川奇

主編



設備狀態監測 與 故障診斷技術

设备状态监测 与故障诊断技术

陈克兴 李川奇 主编

蓝文瑾 主审

编写人（姓氏按章序排列）：

陈克兴	黄天桂	李川奇	佟德纯	程玉兰	杨志伊
时学素	杨其明	白宝泉	刘治钢	汪希宣	沈庆根
周轶尘	陈述良	王际春	朱德恒	王昌长	谈克雄



科学技术文献出版社

内 容 简 介

本书全面地阐述了现代设备状态监测及故障诊断技术的理论和方法,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科技著作。本书由全国十多位著名的专家、教授共同编写,并得到了很多学校、研究单位和企业的同志们的支持、帮助和关怀。

本书可供设备设计、制造、维护管理方面的工程技术人员阅读,也可作为大专院校机械专业教师与学生的教学用书。

设备状态监测与故障诊断技术

陈克兴 李川奇 主编

科学技术文献出版社出版发行

(北京复兴路16号 邮政编码100038)

哈尔滨铁路局印刷厂印刷

•

787×1092毫米 16开本 36.875 印张 920千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数 1—5500册

ISBN 7-5023-1537-3/TH·37

定价: 16.00元

序

当前设备管理工作的任务是要以进一步治理整顿、深化改革为指针，围绕深入贯彻《全民所有制工业交通企业设备管理条例》，大力推进设备管理现代化，为促进技术进步、加快企业管理现代化的步伐，不断提高设备管理水平。

《条例》第七条已明确规定了“企业应当积极采用先进的设备管理方法和维修技术，采取以设备状态监测为基础的设备维修方法，不断提高设备管理和维修技术现代化水平”。从法规上确定了推广应用设备状态监测技术的必要性。

从1985年原国家经委委托中国设备管理协会召开全国设备诊断技术应用推广会以后五年来，各地方、各行业、各企业在开展推广设备状态监测及故障诊断技术工作上有了较大的进展，已在不少的设备和装置中应用了这一技术，并且有的企业已通过应用这一技术，掌握了一些设备运行中的状况，防止了某些故障的发生，并在应用这一技术对已发生的故障进行判断和分析方面也取得可喜的效果。

目前从全国看来这一技术的推广面尚不广，已应用或开始应用的企业在应用的深度上也不够。因而企业中的工程技术人员迫切需要从基本知识、基本理论及实际应用方法上进行学习和提高，以适应企业普及以及深入开展设备状态监测及故障诊断技术的需要。本书就是为了这一目的而编写的。

设备状态监测及故障诊断技术对设备的预防维修是有很大帮助的。相当多的设备及其部件的故障的发生是没有规律的，因而在采用定时维修时容易发生修理过剩或修前停机的现象，造成停机损失或增加了修理费。通过状态监测技术的推广，我们可以逐步地掌握某些零部件的状态，甚至逐渐摸索出其劣化趋势，从而可以改进现有的维修工作，使修理间隔时间及修理内容上更切合设备的实际需要，从而减少了停机损失，节约了维修费用，提高了企业的经济效益。

我们希望通过这本书的出版，能对全国从事设备管理工作、维修工作的工程技术人员、管理干部，在推广应用这一技术时能有所助益。

编者

一九九一年六月

《设备状态监测与故障诊断技术》编委会

担任职务	姓 名	负 责 内 容	工 作 单 位	职 称
主任委员	陈克兴	第一、十一章	北京科技大学	教 授
副主任委员	李川奇	第三、十、十六、十七章	中国科技大学	教 授
副主任委员	蓝文瑾	主 审	中国设备管理协会	高级工程师
副主任委员	黄天桂	第二章	北京农业工程大学	副 研 究 员
委 员	佟德纯	第四、五章	上海交通大学	副教授
委 员	程玉兰	第六章	北京电力科学研究所	高级工程师
委 员	杨志伊	第七章	中国矿业大学	副教授
委 员	时学素	第七章	北京科技大学	副教授
委 员	杨其明	第七章	北京铁路局科研所	工程师
委 员	白宝泉	第八、九章	上海材料研究所	高级工程师
委 员	刘冶钢	第十一章	北京科技大学	讲 师
委 员	汪希宣	第十二章	浙江大学	教 授
委 员	沈庆根	第十二章	浙江大学	教 授
委 员	周轶尘	第十三章	武汉水运工程学院	教 授
委 员	陈述良	第十四章	北京冶金设备研究所	高级工程师
委 员	王际春	第十四章	北京冶金设备研究所	高级工程师
委 员	朱德恒	第十五章	清华大学	教 授
委 员	王昌长	第十五章	清华大学	副教授
委 员	谈克雄	第十五章	清华大学	副教授

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 什么是设备故障诊断技术	(1)
第二节 设备状态监测与故障诊断	(3)
第三节 设备诊断技术的发展概况	(4)
第二章 故障的机理	(17)
第一节 机械设备的故障	(17)
第二节 故障的机理	(20)
第三章 信号处理基础	(32)
第一节 信号的分类	(32)
第二节 信号的获得	(37)
第三节 信号的幅域分析	(40)
第四节 信号的相关分析(时域分析)	(47)
第五节 频域分析	(54)
第六节 信号的预处理	(87)
第七节 时间序列分析方法简介	(98)
第八节 信号分析仪简介	(106)
第四章 振动监测技术	(115)
第一节 机械振动基础	(115)
第二节 振动监测参数与标准	(122)
第三节 测振传感器	(124)
第四节 测振放大器及记录器	(134)
第五节 设备的振动监测	(140)
第五章 噪声监测技术	(146)
第一节 声学基础	(146)
第二节 声级	(149)
第三节 噪声测量	(154)
第四节 噪声源与故障源识别	(163)
第六章 红外测温技术	(172)
第一节 概述	(172)
第二节 非接触测温基本理论	(173)
第三节 红外测温概论	(177)
第四节 红外成像系统	(180)

第五节	红外成像系统在国内外的应用	(187)
第六节	红外成像微机图象处理与分析系统	(191)
第七节	红外电视	(195)
第八节	红外测温仪	(198)
第七章	油液分析技术	(208)
第一节	概述	(208)
第二节	润滑油、脂和液压油理化性能的检测方法	(208)
第三节	磨屑检测方法之一——光谱分析法	(213)
第四节	磨屑检测方法之二——铁谱分析法	(219)
第五节	磨屑检测的其它方法	(244)
第六节	油液分析工作程序	(246)
第七节	结束语	(249)
第八章	无损检测与评价	(250)
第一节	无损检测技术的发展与现状	(250)
第二节	超声波探伤法	(252)
第三节	射线探伤法	(275)
第四节	渗透探伤法	(285)
第五节	磁粉探伤法	(287)
第六节	涡流探伤法	(293)
第七节	无损检测新技术的发展	(301)
第九章	声发射技术	(303)
第一节	声发射现象的物理基础	(303)
第二节	声发射技术的发展与现状	(306)
第三节	声发射信号的检测与处理	(307)
第四节	缺陷有害度评价和分类	(317)
第五节	材料声发射特性	(320)
第六节	声发射技术在设备诊断中的实际应用	(323)
第十章	滚动轴承故障诊断	(326)
第一节	概述	(326)
第二节	滚动轴承的主要故障	(327)
第三节	滚动轴承振动信号的特征	(328)
第四节	滚动轴承故障监测诊断方法	(334)
第十一章	齿轮故障诊断	(345)
第一节	概述	(345)
第二节	常见的齿轮失效形式	(345)
第三节	齿轮的振动机理	(346)
第四节	齿轮故障诊断	(354)
第十二章	旋转机械故障诊断	(369)
第一节	概述	(369)

第二节	旋转机械的动力学基础	(370)
第三节	不平衡不对中的诊断及对策	(375)
第四节	油膜轴承的故障诊断及其对策	(388)
第五节	亚异步自激振动失稳的机理、诊断及对策	(396)
第六节	离心压缩机气流不稳定现象的机理和故障特征	(408)
第七节	轴上裂纹及其诊断方法	(415)
第八节	轴电流引起的故障及其诊断	(417)
第九节	旋转机械振动原因分析表	(421)
第十三章	往复机械故障诊断	(422)
第一节	概述	(422)
第二节	往复机械基础知识	(423)
第三节	往复机械的性能监测	(431)
第四节	发动机振动的传递特性的研究	(435)
第五节	往复机械运动件磨损状态的监测	(441)
第十四章	液压系统故障诊断	(453)
第一节	概述	(453)
第二节	液压系统正常状态判断标准	(454)
第三节	液压系统故障诊断方法	(458)
第四节	工作油引起的故障	(464)
第五节	液压系统状态监测的仪器设备	(470)
第六节	液压系统故障诊断实例	(481)
第十五章	电气设备绝缘诊断	(486)
第一节	电介质的电气性能	(486)
第二节	电气设备的绝缘试验技术	(499)
第三节	电气设备绝缘诊断	(514)
第十六章	计算机监测与诊断系统	(534)
第一节	概述	(534)
第二节	计算机监测诊断系统的构成	(536)
第三节	自动监测与诊断的特征参数	(543)
第四节	寿命预测	(547)
第五节	报警方式	(552)
第十七章	诊断原理	(554)
第一节	概述	(554)
第二节	逻辑诊断原理	(554)
第三节	模糊诊断原理	(559)
第四节	统计诊断原理	(567)

第一章 绪 论

第一节 什么是设备故障诊断技术

设备故障诊断技术（简称设备诊断技术）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，包括各类机器的动态设备和容器、管道、阀门、工业炉等静态设备，还包括某些电气设备。

“诊断”是一个医学上的术语。由于人们对医学诊断比较熟悉，所以又常常用医学诊断上的一些概念作比喻，来阐明设备诊断本身的一些概念。其实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，这与设备诊断时用测振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。表1-1对比了两者的相似之处。

表1-1 设备诊断与医学诊断的对比

医 学 诊 断 方 法	设 备 诊 断 方 法	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）形态的变化
量血压	应力应变测量	观察压力或应力变化
X射线、超声检查	非破坏性监测（裂纹）	观察内部机体缺陷
问病史	查阅技术档案资料	找规律、查原因、作判断

设备诊断技术属于信息技术范畴。它是利用被诊断的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，最后做出正确的诊断结论。就像医生看病时一样，医生是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的。没有病人的这些信息，再高明的医生也会一筹莫展的。而一个高明医生的高明之处就在于能抓住一切有用的信息，运用知识和经验做出恰当的诊断结论。

信息技术通常包括如下三个基本环节：

1. 信息的采集——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。传感器的性能和质量是决定信息是否会失真或遗漏的关键。
2. 信息分析处理（数据处理）——目的是把原始的杂乱的信息加以处理，以便获得最敏感、最直观的特征参数，称为特征提取。在用人的感官作传感器时，是在人的大脑中对信

息进行分析处理的。在现代诊断技术中,信息大都是用专门的电子仪器或计算机来分析处理的。

3. 状态识别、判断和预报——根据特征参数,参照某种规范(例如体温 37°C 就是一种表征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预报,为下一步的设备维修决策提供技术根据。

然而,信息技术不等于诊断技术。为了开展设备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,国外称为故障物理学。它类似医学方面的病理学。

2. 关于被诊断设备的知识。包括它的结构原理、运动学和动力学,以及设计、制造、安装、运转、维修等方面的知识。可以说,没有对被诊断对象的透彻了解,即使是一位信号分析技术的专家,也不可能做出正确的诊断结论。

从以上设备诊断技术的学科性质和知识结构不难看出,这是一门多学科的边缘技术,是一种由表及里,由局部估计整体,由现在预测未来的技术。

设备诊断技术是一门正在不断完善和发展中的技术。虽然已有不少行之有效的方法和手段,但与工业生产发展的水平相比,它还有很大差距,它毕竟还是比较年轻的。设备诊断技术从最原始最简单的用人的感官来诊断,一直到现代化的计算机自动诊断系统,五花八门,种类繁多,这是设备的多样化和故障的复杂性所决定的。在开展设备诊断工作时,要“对症下药”,因地制宜,切忌试图用一二种方法来解决所有设备诊断问题。

表1-2列举目前已经开发和正在开发的一些诊断技术及其适用对象,可供参考。

表1-2

设备诊断技术开发情况

类别	主要诊断对象	诊断技术举例	类别	主要诊断对象	诊断技术举例
机械零件	滚动轴承 滑动轴承 齿轮装置	振动噪声监测 电阻法 温度监测 油液分析	加工机械	机床 剪切机 焊接设备	振动噪声监测 负载电流测定 火花检测法
传动系统	传动轴系 高速旋转件 轮 轴	振动噪声监测 声发射技术 模态分析	静态设备	压力容器 结构件 管道系统	声发射技术 X射线探伤 超声探伤 阻抗法 红外热像技术 腐蚀监测
流体机械	水力机械(水泵等) 液压机械(泵、油缸、阀) 气动机械(空压机、风机)	振动噪声监测 压力脉冲法 超声波监测 温度监测 效率测定	电机电器	电机 电缆 变压器	振动噪声监测 电流分析法 绝缘诊断法 整流监测法 气相分析
动力机械	发 动 机 涡 轮 机 液 压 马 达	振动噪声监测 气流轨迹分析 效率测定 气体分析 压力脉冲法	控制系统	电机控制系统 液压控制系统 检测系统	卡尔曼滤波法 传递函数法 系统辨识法 统计控制理论 可变量解析法

学习、掌握、开发设备诊断技术应有一个十分明确的目的，那就是尽量避免设备发生事故，减少事故停车，降低维修成本，保证安全生产以及保护环境，节约能源。设备诊断技术的经济效益和社会效益正是从以上诸方面显示出来。设备诊断技术如果仅仅作为一种技术来应用，其效益的发挥会受到很大限制。一旦它和其它现代化维修技术（润滑技术和修复技术等）一起作为一种技术力量推动设备管理和维修体制的改革，那么它的优越性将远比今天所认识的和达到的要大得多。

第二节 设备状态监测与故障诊断

设备状态监测与故障诊断既有联系又有区别。有时为了方便统称为设备故障诊断。状态监测通常是指通过测定设备的某个较为单一的特征参数（例如振动、温度等），来检查其状态是正常或异常。当特征参数小于允许值时便认为是正常，否则为异常。常可认为超过允许值的大小表示故障严重程度。当它达到某一设定值（极限值）时就应停机检修。若对设备进行定期或连续监测便可获得设备故障发展的趋势性规律，对剩余的寿命作出估计，借此便可进行预测预报。这是国外较为普遍采用的有效方法，这就叫趋势分析，可由计算机来完成，称为自动监测系统。一般讲，设备状态监测所用的仪器比较简单便宜，易于掌握，对人员素质要求不高，只要恰当地加以组织，一般都能取得效果，适合由车间一级来组织实施。状态监测又称为简易诊断，可与医院的门诊部初诊相比喻。

设备诊断技术则不仅要检查设备是否正常，还要对设备故障的原因、部位以及严重程度进行深入分析做出判断，故它又称为精密诊断，相当于医院里的住院部检查。精密诊断常需要较精密的电子仪器，不仅价格昂贵，有时还需引进专门仪器，对人员素质要求也比较高，属正在发展中的技术，不如简易诊断成熟和简便易行。因此只有在重大设备上进行。

正确处理简易诊断和精密诊断的关系，对发展和推广我国的设备诊断技术至关重要。多年经验表明，当前应大力推广简易诊断，它与设备点检制相结合，可以收到相得益彰的效果。开发应用精密诊断无疑也是十分必要的，但必须有针对性地有计划地逐步开展。在国外精密诊断技术是由研究机构和专业服务咨询公司来研究开发，他们向各工厂提供统一服务，而不是每个工厂都自搞一套，这一做法值得我们参考。

需要指出的是，设备故障诊断技术最适用于下列这种设备：

1. 生产中的重大关键设备，包括没有备用机组的大型机组。
2. 不能接近检查、不能解体检查的重要设备。
3. 维修困难、维修成本高的设备。
4. 没有备品备件，或备品备件昂贵的设备。
5. 从人身安全、环境保护等方面考虑，必须采用诊断技术的设备。

最后值得提一下的是关于设备诊断技术的狭义和广义概念。通常诊断技术是应用于使用阶段的设备，这是狭义的概念。从设备综合工程学即设备一生管理的观点看，设备诊断应贯穿于从规划设计到报废的全过程。在设计阶段要考虑分析本设备的故障、寿命和维修问题，即形成所谓可靠性设计和维修性设计的概念。直到几经修理而最后报废时，也应把积累的故障信息反馈给前半生的各阶段，以便改进。这是设备管理、设备设计和制造工作现代化的重要内容之一。

第三节 设备诊断技术的发展概况

一、诊断技术的发展

诊断这个术语含义相当广泛,它正被应用在许多领域中,除了大家熟悉的以人为对象的医学诊断外,还有以企业为对象的企业诊断,指的是对企业的现状包括经营管理状况和生产能力的分析评价,以及如何进一步提高企业的素质,使它达到最佳状态。还有以环境为对象的监测诊断技术。在工程领域中有以机械设备、电子仪器、基础、桥梁、工业结构,乃至计算机系统为对象的各种诊断技术。与其它领域中的诊断相比,设备诊断技术开发得比较晚,历史比较短,它的水平和成熟程度都比不上医学诊断。虽然如此,但从60年代中期开始,特别是70年代以来,设备诊断技术的发展速度、研究规模、取得的成果,以及达到的应用程度都是十分令人鼓舞的。之所以如此,是因为60年代人们开始认识到发展故障诊断技术的重要性和迫切性。在美国1961年具有划时代意义的阿波罗计划的执行,在日本1964年作为技术进步象征的新干线和东京奥林匹克体育场的建成,在英国1970年从节省资源和降低成本角度出发关于设备综合工程学和寿命周期费用问题的提出,都给发展设备诊断技术以极大的推动力。从技术背景方面看,60年代是计算机和电子技术大发展的年代,快速傅里叶变换和算法语言的出现,把信号分析技术从硬件到软件推向新的高度。设备系统和零件的可靠性工程的发展以及对零件失效机理的研究等等,像声发射技术、红外测温技术、油液分析技术、振动信号分析技术以及各种无损检测技术的出现,都在硬件和软件两个方面极大地推动了设备诊断技术的发展。但最重要的还是随着工业生产和科学技术的发展,人们特别是从事设备管理和设备维修的人员对于这项技术的重要意义有了更深刻的理解,因为设备诊断技术从本质上看,属于设备维修技术范畴。只有从设备的维修管理体制的角度,才能更深刻地看到发展诊断技术的重要性。

在设备技术发展史上,经历了事后维修和定期预防这两大类维修方式,近年来发达的工业国家已开始采用了状态维修或预知维修。这些都和设备本身的发展和变革有密切关系。

在18和19世纪,机器制造业上曾相继出现了以蒸汽机和电动机为代表的二次飞跃,完成了从工场手工业发展到大机器生产的工业革命。但是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,对设备的利用率和设备的维修费用问题没有引起注意,对设备的故障也缺乏认识,因此对设备采取不坏不修,坏了再修的办法,即事后维修。

进入20世纪后,特别是到了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,机器故障或事故对生产的影响显著地增加,在这种背景下,出现了定期预防维修的方式,以便在机器发生事故之前就进行检修或更换零部件。这种维修方式最早是在航空飞机上实行,到了50年代以化工、钢铁等企业为代表的一些流程工业也迅速采用了这种维修方式。它比起事后维修是一大进步,多年来在设备管理上起到了一定的积极作用。

但是由于对设备的故障发展规律缺乏认识,也没有监测故障的科学手段,所以定期预防维修的检修周期基本上是凭人的经验加上某些统计资料来制定的,它很难预防许多由于随机因素引起的事故,它也会造成许多过剩维修。

在第二次世界大战期间,美国军用装备频繁出现故障,使定期预防维修方式的弱点暴露

得最为明显。为了弥补这一点，美国开始大力开展可靠性工程的研究，并把它的研究成果引入飞机、船舶和坦克等军事装备的维修管理中。利用可靠度和故障率的概率形式把设备的状态定量地描述出来。通过监测飞机零部件和设备的可靠度来确定下一步的维修计划。这种方法能减少不必要的大修，降低维修费用，取得了良好效果。1964年美国联邦航空局制定了可靠性维修管理条例，并在各国主要航空公司推广。然而可靠性维修方法是需要以同类设备大量统计数据为基础才能做出概率性的结论。这在军事装备中容易做到，而对大多数民用行业中的生产设备来说，大量使用同一种机器的例子是不多的。所以很难推广，只好继续采用定期预防维修。

60年代以后，计算机和电子技术的飞跃发展促使工业生产现代化和机器设备的大型化、连续化、高速化、自动化，使它本身的规模越来越大，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，造成各种社会问题。国外对新旧设备曾作了许多分析对比工作，归纳起来有以下几点：

1. 生产设备大型化、连续化后，一方面在提高生产率，降低成本，节约能源和人力，减少废品率等方面带来很大好处。但是从另外一方面看，由于设备故障停工而造成的损失却成反比地增长。维修费用也大幅度增加。以日本新日铁在不同年代建造的三个热轧车间为例（图1-1）来说明，若以50年代建造的热轧车间的设备故障停车所造成的生产损失为100%，那么60年代建造的第二热轧车间上升为220%，70年代建造的第三热轧车间则达到375%，其设备故障停车损失增长了将近3倍。

又例如钢铁工业带钢生产中的退火工段，由原来的五道工序改造成为一道连续退火线后，生产周期缩短为原来的10%，废品率降低为原有的52%，能源节约了82%，操作人员为原有的72%。但由于设备故障造成的单位时间的损失却增长了6倍，且维修费用在生产成本中所占的比重也增大了。日本对几个主要工业部门的统计资料（图1-2）表明，70年代以来维修成本在总成本中所占的比重越来越大。最大的是钢铁工业，设备的维修成本在生产成本中占12.9%，维修费用在设备投资额中则占8%以上。

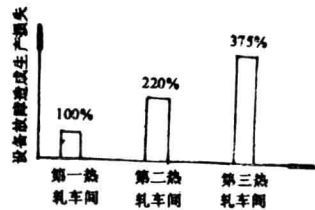


图1-1 新日铁热轧车间设备故障停车的生产损失

根据美国国家统计局资料：1980年美国在设备维修方面共花掉了2460亿美元（表1-3），而这一年美国的全国税收总收入也才7500亿美元。在铁路方面维修费用也花了113亿美元，三里岛核电站设备故障泄漏事件后的设备修复费用花了10亿美元。据美国设备维修专家分析，在这2460个亿中有将近三分之一即750个亿是浪费掉的，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所造成的。

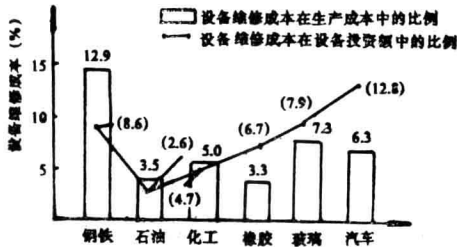


图1-2 设备维修费用在生产成本和设备投资中的比率

表1-3 美国1980年度国家统计局资料

费 用	总额 (亿美元)
工业设备维修费用	2460
美国税收总额	7500
其中：联邦税收	5200
州和地方税收	2300
工业部门盗窃破坏损失	400
工业部门矿工总工损失	200
铁路部门维修费用	113
三里岛事件的修复费	10

2. 现代化设备特别是航天、航空、航海、核工业等部门对安全性、可靠性提出越来越高的要求。许多设备的故障倘若不能事先发现并加以预防，一旦发生事故，就会直接危及人身安全，甚至造成环境污染之类的公害。

美国机械故障预防小组 (MFPG) 于1967年成立的一个重要背景是1961年开始执行阿波罗计划之后，出现了一系列设备故障引起的严重问题。在成立大会上，用幻灯片列举大量事例来说

明设备故障所造成的悲剧，并呼吁在军事部门的研究机构联合起来对付这一挑战。美国三里岛核电站于1979年3月29日发生系统误判断和误操作事故，堆心严重损失，放射性物质释放，不仅造成几十亿美元的经济损失，而且由于公害引起这一地区的居民示威抗议，迫使国会出面调查干预。1985年12月印度博帕尔市农药厂发生异氰酸甲酯毒气泄漏事故，造成2000多人死亡，20多万人受害这一历史上最大的工业事故。至于一般工厂企业高压容器、锅炉、大型球罐发生爆炸破裂而造成严重后果也绝非仅有。对那些现代化设备来说，不出现故障是很难做到的。问题在于早期发现，防患于未然。

3. 现代化设备大都技术先进，结构复杂，点检工作量大，检查质量要求高。一般说，故障因素很难靠人的感官和经验检查出来。对于复杂先进的设备又是不允许随便解体检查的，有人比喻说，对现代化的机器进行检查时动不动就把它拆开来看，这是不可思议的，荒唐可笑的，就好比医生给病人看病时动不动就打开病人肚子来检查五脏六腑一样的荒唐可笑。因此必须采用先进的仪器和科学的方法来诊断。

4. 许多工业化国家还深感维修人员高龄化带来的问题难以解决，一方面经验丰富的“标准眼”、“标准耳”越来越少，另一方面招收青年工人的工作越来越困难，有些青年工人往往缺乏一个检查人员应有的素质和责任感。

综上所述，工业发展给设备维修管理工作提出了许多难题。面对这一挑战，欧美和日本等国家的设备人员主张要用一种新的思想和观点来对设备维修工作加以重新研究，出路在于改革。70年代以来，改革工作是围绕设备维修从三个侧面进行的 (图1-3)。

(1) 管理侧面：用设备综合工程学的观点来确定维修的方针、目标、组织、人员和管理系统。

(2) 经济侧面：以寿命周期费用最佳化为目标，包括维修的经济性评价、维修费和劣化损失，固定资产的转移和折旧。

(3) 技术侧面：主要是大力发展设备诊断技术、润滑技术和其它修理技术，而最引人注目的是诊断技术。因为维修方式的进步，关键在于设备诊断技术开发得如何。

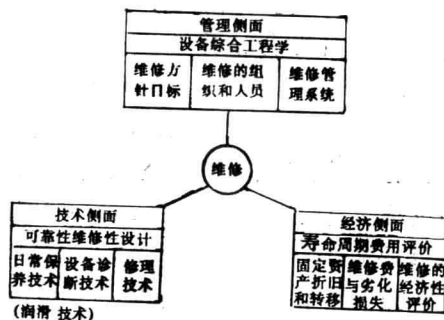


图1-3 维修的三个侧面

许多国家的改革都以自己明确的理论为指导。例如，欧洲国家在欧洲维修团体联盟（EFNMS）推动下，主要以英国提倡的设备综合工程学（Terotechnology）为指导，美国以后勤学（Logistics）为指导，设备综合工程学与后勤学在概念和目标上是一致的，前者包含了设备的一些原有技术问题，后者则不包括。日本吸取了两者的特点，形成了自己的全员生产维修（TPM）的观点，并在组织上成立了两个委员会（设备诊断技术委员会和寿命周期费用委员会）来推动设备维修的改革。我国原国家经委通过中国设备管理协会，结合我国国情，吸取了上述一些理论的优点，早在1983年就提出了工业交通设备管理条例，有力地推动了设备故障诊断技术的开发研究。

二、主要工业国家设备诊断技术的发展情况

美国大概是开发设备故障诊断技术最早的国家。早在1967年4月18—19日，在美国宇航局（NASA）的倡导下，由美国海军研究室（ONR）主持下召开了美国机械故障预防小组（MFPG）成立大会，参加大会的共有42人，除了一名瑞典滚珠轴承公司（Svenska Kullagerfabriken AB）的代表外，几乎全来自军界，以海军、空军为最多。第一次会议的中心议题是：组织问题和明确课题的含义。从这次会议的发言中可以看出，该故障预防小组的成立有两个主要原因：①技术进步和工业发展（特别像阿波罗计划这类尖端技术的提出）在保证机械设备的安全性、可靠性方面面临巨大压力和挑战，机器的故障问题日益尖锐。②在军事部门中已经开发了一批初步的监测诊断技术，在可靠性工程等方面的进展也为开展设备故障诊断技术打下了基础。例如1962年在美国召开了一系列会议，如第一次可靠性——维修性会议，第一次故障物理讨论会，冗余设计和冗余技术讨论会等。1962年开始了诊断、检测、设计和维修等各种活动。1964年美国通用电力公司（GE）的开发部开始执行机械信号分析研究计划（MSA）等。

在这样的背景下，机械故障预防小组一成立马上开始进行紧张的学术交流活动。在头三年间（1967—1969年）每年举行三次会议。第一届至第九届会议每次会议都有侧重点，共发表论文94篇，机密的不包括在内（表1-4）。从出席代表的结构看，开始主要是军界研究人员和维修管理人员，多数是将校级军官，从第二届开始逐步有企业界和高等学校的代表参加，

表1-4 美国机械故障预防小组会议概要

会议	日期	主要议题及目的	论文篇数
第一届	1967年4月	组织问题，故障预防的定义	6
第二届	1967年6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	故障预报系统，技术交流	13
第六届	1968年12月	机械故障的检测、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

结构成分越来越广泛，这是符合该组织宗旨的。1971年机器故障预防小组正式划归美国国家标准局领导（NBS），由一个半官半民组织变为一个官方领导的组织，下设四个分组，

- （1）故障机理研究组；
- （2）检测、诊断和预测技术组；
- （3）可靠性设计组；
- （4）材料耐久性评价组。

平均每年召开两次会议，至今快要召开第四十届会议了。

除了机器故障预防小组外，美国其它几个主要开发研究诊断技术的单位和开发研究内容列于表1-5。这些单位多年来开发研究成果累累，不少已达到实用水平。如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静态设备的诊断技术作了大量研究，制订了一系列有关静态设备设计、制造、试验和故障检测及预防的标准和规程。目前它们正在研究推行静态设备的声发射诊断技术（AE），从已报道的资料推测，这项诊断技术的规范化指日可待。

表1-5 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	机械故障预防小组	故障的机理 检测、诊断和预测技术 可靠性设计 材料耐久性评价
俄亥俄州立大学	齿轮噪声及动力学试验室	监测技术 诊断技术 振动分析 倾向管理
国家锅炉及高压容器监测局		美国机械工程师学会规范的推广 检查员的培训 检查员的资格授予
机械工艺技术公司 (MTI)	塞格研究所	回转机械的诊断 齿轮的诊断 轴承的诊断 停机时间控制系统的研究 (DTC)
电力研究所 (EPRI)		热力学 监测仪表的研制 腐蚀监测 透平机断裂监测

其它还有Johns Mitchel公司的超低温水泵和空压机的监测技术，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等都是在国际上具有领先地位。至于航空运输方面，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，发展了应用计算机的飞行器数据综合系统（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B747和DC9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从60年代的0.6左右下降到70年代的0.2左右，并非偶然。

在英国，总的看设备诊断技术的发展与美国有密切联系。最初的研究工作和启蒙活动是在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。但到了70年代末以后研究活动进展不大。1982年由曼彻斯特大学的教授发起创立了沃福森工业维修公司 (WIMU)，开展了这方面研究和咨询活动。此外，还有Michael Neale and Associte公司等几家公司担任政府的顾问、协调和教育工作，具体业务如下：

- (1) 咨询；
- (2) 制定规划；
- (3) 合同研究；
- (4) 业务诊断；
- (5) 研制诊断仪器；
- (6) 研制监测装置；
- (7) 开发信号处理技术；
- (8) 教育培训；
- (9) 故障分析；
- (10) 应力分析。

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，取得很大成绩，其研究范围是：

- (1) 利用噪声分析对炉体进行监测；
- (2) 锅炉、压力容器、管道的无损检测；
- (3) 食品储藏防腐技术；
- (4) 程序的可靠性评价技术。

此外，系统可靠性服务站还起到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，详见表1-6。总之，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，挪威在船舶诊断方面都各有千秋，详见表1-7。

表1-6 英 国 诊 断 技 术 研 究 状 况

主 管 单 位	研 究 单 位	研 究 内 容
曼彻斯特大学	沃福森工业维修公司	维修中的仿真技术 可靠性分析 状态监测 应力分析