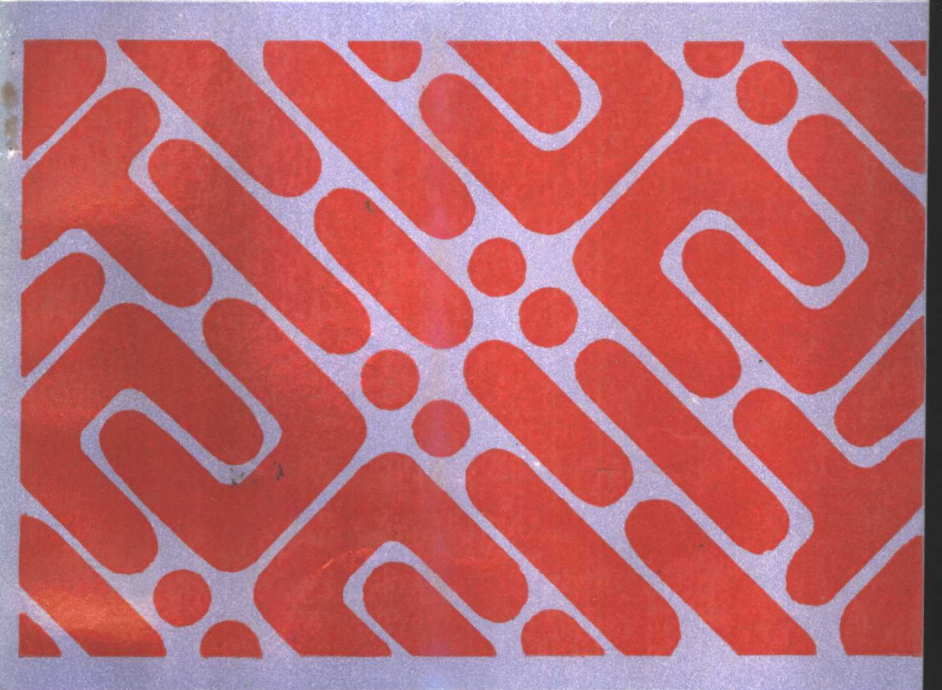


设备诊断技术丛书

李常熤



电力设备 诊断技术概论

水利电力出版社

设备诊断技术丛书

电力设备诊断技术概论

李常燧

水利电力出版社

(京)新登字115号

设备诊断技术丛书

电力设备诊断技术概论

李常熿

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 5.375印张 116千字

1994年9月第一版 1994年9月北京第一次印刷

印数 0001—1400册

ISBN 7-120-02011-0/TK·301

定价 5.80元

内 容 提 要

本书是设备诊断技术丛书的一册。它的目的是以较短的篇幅，简明的语言，把设备诊断技术的整体面貌介绍给广大读者。

全书共分七章，第一～三章叙述设备诊断技术的基本原理和基础工作；第四～六章分别介绍旋转机械振动、热力设备金属部件以及高压电气设备绝缘的监测与诊断；第七章介绍红外技术在设备诊断中的应用。本书适合从事热能、发电、供电工作的工人和工程技术人员阅读，也可供工院校师生参考。

前 言

设备诊断技术是本世纪70年代以来逐步形成的一门新兴综合性技术。由于它具有技术新、发展快、实用性强的特点,近20年来已引起各方面的瞩目。但是推动这样一项新技术、新理论的实际应用,还需要更多的人了解它的实质,坚持不懈地为推广它的应用而努力工作。本书则着重介绍设备诊断技术的基本原理和方法,宣传它的应用效益与发展前景。

电力工业是设备(资金)高度密集型产业,全部生产流程都是通过机械化、自动化的设备来实现。电力生产的特点首先是要求供电的连续性、可靠性,任何意外停电都会给社会带来极大的损害。电力生产的又一特点是涉及技术专业较多而且复杂细致,互相交错。所以电力设备运行和检修的技术人员,必须在精通本专业技术的基础上,再掌握设备诊断的基本方法,才能有效地保证设备健康运行,取得更大的效益。

编写《电力设备诊断技术丛书》的目的就是介绍有关电力设备的诊断技术原理和它的实际应用。丛书分成6册,即电力设备诊断技术概论、高压电气绝缘诊断、化学诊断技术、红外诊断技术、旋转机械振动和热力设备金属部件诊断与寿命管理。

本书是设备诊断技术的总论部分,取名为《电力设备诊断技术概论》。全书共分七章:前三章是综合部分,介绍设备诊断技术的基本理论和基本方法,介绍设备诊断和设备检修、故障管理、技术监督等各方面的关系;第四~七章分别介绍旋转机械振动、高压电气设备绝缘、热力设备金属部件

的监测与寿命管理和红外监测技术等专业诊断技术的概况。写法上力求简单扼要，力求用最小的篇幅把电力设备诊断技术的概况全面介绍给读者。本书编写尽力做到文字清晰、论点准确、通俗易懂，避开一些理论公式的推导。对每一项具体的专业性监测和诊断技术，都尽量介绍出它的来源、发展历史、基本原理以及发展动态，使读者能花较短时间涉猎全貌。至于设备诊断的更具体内容则由丛书的其余分册来详述。

本书在编撰过程中，由戴爱莲同志（第一～四章）、周达身同志（第五章）、李进同志（第六章）、张维力同志（第七章）做过初审，并提出很多宝贵建议。

在本书稿全部完成后，又请华北电管局陈鼎瑞总工程师进行通篇审阅，提出许多建设性意见。在此对以上各位审稿人表示感谢。

由于作者学识浅陋，不免有所失误，敬请读者指正。

编 者

1993.10

目 录

前 言

第一章 设备诊断技术的基本内容	1
第一节 设备诊断技术.....	1
一、诊断；二、设备诊断技术的定义；三、设备诊断技术的任务	
第二节 设备诊断技术的渊源和发展.....	5
一、设备诊断技术的早期阶段；二、现代设备诊断技术的形成；三、设备诊断技术在中国的发展；四、电力设备诊断技术与技术监督的关系	
第三节 设备状态量及其监测技术.....	12
一、设备状态量；二、状态量的采集方式	
第四节 简易诊断与精密诊断.....	16
一、简易诊断；二、精密诊断	
第五节 设备寿命周期各阶段的诊断任务.....	18
一、设备一生的全过程管理；二、设备前半生的预诊断；三、设备后半生的诊断	
第二章 设备故障和检修	21
第一节 设备及其系统.....	21
第二节 故障与失效.....	22
一、故障与失效的定义；二、故障与失效的分类	
第三节 设备检修工作的演变进化.....	23
一、设备检修的涵义和内容；二、设备检修工作的重要性；三、设备检修方式的演进过程	
第三章 设备诊断的主要基础工作	28
第一节 监测对象和监测装置的选择.....	28
一、故障模式；二、故障模式影响分析；三、危险度分析；四、监测装置的选择；五、监测（或测试）系统的组成；六、信号采集方法	
第二节 信号处理技术.....	37

一、信号和信息；二、信号的种类；三、信号处理的目标；四、时间领域（时域）信号的分析；五、信号的概率密度函数；六、相关原理；七、傅里叶级数；八、快速傅里叶级数变换FFT；九、倒频谱；十、信号的自回归模型和异常诊断	
第三节 故障的识别和判断技术	50
一、故障机理和故障模式；二、信息量的归纳和整理；三、识别和判断技术	
第四节 预测技术	56
一、预测技术的基本原理和特点；二、预测的程序和步骤；三、定性预测；四、定量预测	
第五节 处理技术	64
第六节 建立设备诊断信息中心（数据库）	64
一、信息和档案；二、信息的特性；三、建立设备诊断数据库的重要性；四、数据库（信息中心）；五、设备诊断数据库的主要内容	
第七节 设备诊断专家系统	68
一、专家系统的主要功能及特点；二、专家系统的基本结构	
第四章 旋转机械的振动监测和诊断	72
第一节 旋转机械振动	72
一、振动和故障的关系；二、应用振动量进行设备诊断；三、振动的基本参数；四、机械振动量的表达方式	
第二节 振动的分类	79
一、强迫振动；二、自激振动	
第三节 振动的测量	80
一、轴振动与轴承振动的测量；二、振动位移传感器；三、振动速度传感器；四、振动加速度传感器	
第四节 异常振动的评价标准	85
一、制订标准的必要性；二、有关振动的标准；三、机组振动的评价	
第五节 旋转机械振动状态的诊断	90
一、转子在临界转速下的共振；二、不平衡振动；三、油膜振荡和油膜涡动；四、摩擦引起的振动；五、转子有裂纹时的振动监测；六、轴系扭振及其监测；七、齿轮和滚动轴承的振动诊断	

第五章 热力设备金属部件的监测与诊断	104
第一节 静态诊断	106
一、宏观检查；二、无损检测（探伤）	
第二节 动态监测与诊断	109
一、设备金属腐蚀的监测；二、锅炉管泄漏的运行监测	
第三节 设备寿命监测与管理	115
一、设备寿命监测；二、用算法预测评估寿命损耗；三、监测微观组织、硬度及外形尺寸变化	
第六章 高压电气设备绝缘诊断	129
第一节 高压电气设备绝缘测试的发展过程	129
一、传统的方法；二、电气设备绝缘离线预防性检测（停电试验）；	
三、电气设备绝缘在线预防性监测（带电绝缘监测）	
第二节 运行电压下的局部放电测量	133
一、局部放电机理；二、局部放电量的监测方法；三、超声波测量	
第三节 变电设备绝缘的在线监测	138
一、监测参数的优选；二、信号抽取；三、避雷器的带电监测；四、	
电容型设备绝缘泄漏电流值监测；五、电容型设备绝缘 $\tan\delta$ 的监测；	
六、三相电容的监测；七、三相不平衡电压 U_0 的监测	
第七章 红外监测技术在电力设备诊断中的应用	146
第一节 红外技术及其测温原理	146
一、红外技术；二、红外测温的基本原理；三、红外测温波段的选择	
第二节 红外监测仪	151
一、红外测温仪；二、红外热像仪	
参考文献	161

第 一 章

设备诊断技术的基本内容

第一节 设备诊断技术

一、诊断

“诊断”一词自古就有“观察”和“判断”双重涵义。诊断的对象范围广阔，包括世界上各种各类事物。例如，我国古代医学书籍记载了望、闻、问、切的“四诊”和“八纲辨证”等一整套诊病和辨症的技术和理论。由于中外各国医学诊断的发展比较早，理论和实践上都有丰富的积累和成就，以致今天常有人把“诊断”误认为是医学的专用词汇。甚至在某些词典上也把“诊断”一词解释为“在检查病人的症状之后判定病人的病症及其发展情况”。应该承认，医学诊断技术的发展领先于其他各学科，它的监测技术和判病的逻辑方法值得其他学科和行业学习和借鉴。但是，诊断技术绝不是医学一家所独有的。

二、设备诊断技术的定义

近年来诊断技术已被应用于更多、更广阔的领域，并得到多方面的重视。如针对企业经营管理方面的企业诊断活动，针对环境污染问题进行的“环境保护诊断”，以及为节约能源所进行的“能源耗损诊断”等。这里将要介绍的是针对设备健康或故障所进行的设备诊断技术。设备诊断技术是为设备健康所进行的“防病”、“治病”活动，所以设备诊断也可称为“设备医学”，它是近年来才逐渐形成的一门多学科的新兴综合技术。设备诊断具有以下特点：一是机器设备不能用语言

和动作直接表达自身疾患或痛点的部位，必须采用先进的监测技术，测取设备状态量；二是设备有了缺陷以后，没有自我调整和再生的能力，必须经过检修处理，才能使之恢复健康。所以设备诊断技术总是和检修工程密切结合的。

设备诊断技术是一门在发展中不断充实、不断完善的新兴学科。对它的定义也有一个不断完善和深化的过程。直到现在各种定义的说法也不尽一致。较多的人认为，设备诊断技术是在运行中或停机而不太拆卸的情况下，对设备的性能、强度、劣化等进行定量评价的一种方法。也就是说，设备诊断技术是通过设备状态量的测量，查出异常或缺陷的部位、原因和程度，提出可靠性评估和寿命预测，并对故障和缺陷治理提出应急对策和永久对策的建议。

图1-1所表示的设备诊断过程模型中，机器设备在正常情况下是靠外界输入量 S_i 来工作的，例如，汽轮机靠输入蒸汽的热能带动发电机工作，电动机借电力而转动。 S_i 经过设备故障机理传递函数 M_f 在设备上表现两种作用：一种是通过传

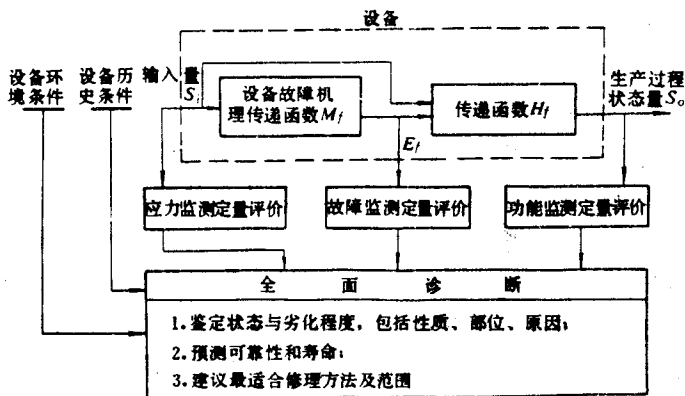


图 1-1 设备诊断技术系统

递函数 H_f ,使设备产生性能或功能的变化,发出生产过程状态量信号;另一种是通过异常模型函数 E_f 而发出设备运行状态量信号。设备故障机理传递函数 M_f 代表在外界输入量的作用下,设备内在的活动。设备正常工作时, $M_f=1$,输入量 S_i 直接作用于传递函数 H_f ,转化为输出的生产过程状态量 S_o 的正常信号。输入量 S_i 异常必然导致运行状态量和生产过程状态量发出异常信号。设备有缺陷或故障时, $M_f \neq 1$,即使 S_i 正常也会带来设备运行状态量和生产过程状态量的异常。这就是设备内部因素带来的异常信号。

通过输入量检查定量评价,故障状态量定量检查评价,输出性能功能量检查定量评价,再结合设备历史条件和运行条件进行识别判断,就可以诊断出设备故障或异常的实质。

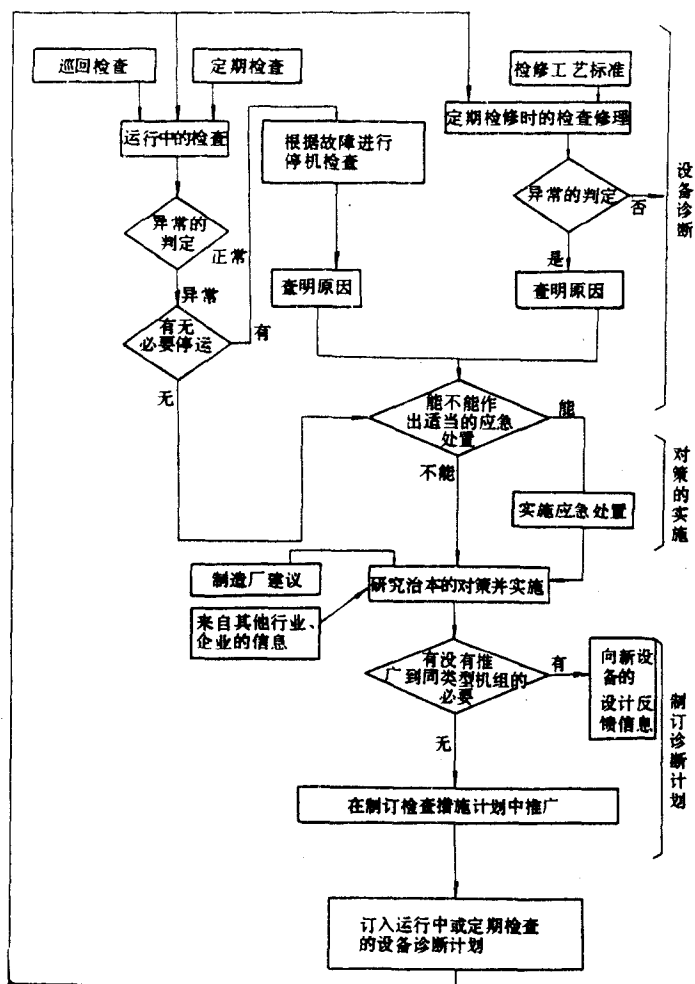
三、设备诊断技术的任务

概括起来,设备诊断技术的任务就是掌握设备现状,预知未来发展,提出处理建议。

诊断技术的本身带有预防性和保健性。设备诊断的目标是预防设备故障,保证设备安全、稳定地连续生产。因为它的目标是预防故障,所以国内外很多文章都称它为设备故障诊断,称它所采集的信号为故障信号。实际上,待到故障出现,就意味设备已经失去或部分失去应有的功能,到这个时候才对设备进行诊断,虽然有益于消除故障和挽回损失,但已失去了预防性。所以设备诊断技术所采集的信号不应局限于故障信号,更主要的是异常状态的信号,也就是设备缺陷所带来的异常信号。

通过诊断掌握设备现状以后,如果不能与设备的运行工作、检修工作有效地结合起来,不是有计划地改进操作和消除设备缺陷,就不可能得到实际效益。所以设备诊断技术是

一门实践性极强的技术，通过诊断不仅找到了设备缺陷，提出处理对策，还要按图1-2的程序实施这些对策。图1-2表示



设备诊断技术的实施程序，其中也包括运行巡回检查和定期检查等运行中的检查监测。如果有异常或故障，则需通过诊断，判定有没有必要停止运行，或不停机采取适当的应急措施。无论是停机检查还是不停机进行应急处理，最后都要研究和实施根本的治理对策，同时还要汲取教训，制订消除设备缺陷预防故障的计划，以便加强下一步的诊断工作。

归纳起来，设备诊断应按以下四大步骤进行：

（1）状态量监测 这是设备诊断的基础，是调查研究的阶段，也是设备诊断技术中“诊”的活动。务必做到周详、细致。状态量监测的疏漏可能造成极大的误诊、误判断。

（2）信号处理 把采集到的信号加工处理，使之成为有用的信息。

（3）识别和判断 识别和判断出设备故障和异常的部位、原因和程度。

（4）预测和对策 就是预测设备故障或异常可能发展的速度和后果，提出临时处理的意见和根本治理的建议。

上述四大步骤组成一个循环。对于较复杂的对象，常常要经过多次诊断和治理的循环，不断总结诊断和治理的经验、教训，使认识不断深化，才能逐渐找到真正的“病因”和有效的对策。

第二节 设备诊断技术的渊源和发展

一、设备诊断技术的早期阶段

人类开始利用简单机械进行生产活动，已有数千年的历史。最初是人们用织机纺纱织布，用车辆运输。这些设备虽然简陋，但也会发生故障。为了及时查出并消除故障，人类

只有依赖自己的感触等身体器官来检查故障和消除故障。天长日久也就积累了一些肤浅的经验。例如当听到车轴发出吱吱的声响而判断是缺少润滑油脂；从纺车的晃动而判断是轮轴磨旷等。特别是英国第一次产业革命以后，由于蒸汽机的发明和电的应用，机器设备的结构与性能都有了划时代的变化。随着数学、物理学的发展，于是出现了测量压力、温度等机械量的仪表，和测量电压、电流等电气量的仪表，从而发展成为用仪器、仪表的检测和人的五感检查与人的思维逻辑判断相结合的检出故障和消除故障的手段。可惜的是多年来对于设备故障的检查、监测以及分析判断的丰富经验，缺乏系统的总结和文字记录，长期停留在师传徒受的旧方式，没有提升到理论高度。直到70年代设备诊断技术才成为一个专门学科而逐渐受到各方的承认。

二、现代设备诊断技术的形成

20世纪后半叶以来，发达的资本主义国家，为了追求更大的利润和军事上的需要，都争先致力于生产装备的现代化。特别是航天技术和核电技术的出现，对设备的安全可靠性也提出越来越高的要求。在许多大型生产行业中，设备已经组成流水线或系统，一台设备的故障，常会导致全系统的崩溃瓦解或整条流程的瘫痪。设备系统越大，每次故障造成的损失也愈大。采用现代化技术制造的设备精度高，结构复杂，对检修工艺要求高，解体检查的难度大，停产检修给生产带来的损失也大。因而对设备实行诊断是生产发展的需要。另一方面，科学技术的发展又为现代设备诊断技术的实现提供了条件。首先是出现了各种新型传感器，后来由于电子计算机特别是微型计算机的快速发展，在信号采集、加工与逻辑判断过程的广泛应用，把许多数学、物理学上的新成就（如

时间序列分析方法、模糊数学等)引入到诊断技术系统,走上了“人机对话——人工智能——智能机器”的新阶段,出现了专家系统。

所以设备诊断技术是一门逐渐演变发展起来的科学技术,现代设备诊断技术则是在60年代以后电子计算机广泛应用的基础上才得以发展逐步成熟壮大的。

最初于1967年4月,在美国宇航局的创导下,由美国海军研究室主持召开机械故障预防小组(MFPG)成立大会。随后开展了一系列的学术交流活动。1967~1969年,每年举行三次会议,除机密文件外共发表论文94篇,其中许多是关于轴承故障现场观测、诊断问题和预报航空用燃气轮机的故障问题。一般认为MFPG的成立标志设备诊断技术活动的开始。同时,60年代末和70年代初,英国机器保健中心开展的宣传、培训、咨询、交流及诊断技术开发方面,也取得很大成就。

80年代以来,这方面的学术交流就更为活跃。1983年以后的几次重要的诊断技术学术会议上,有更多的国家和学者发表了许多内容极为重要的论文。这时期,也有许多实用的设备诊断装置不断问世,表1-1列举了国外火电厂热力设备常用的监测诊断装置。

三、设备诊断技术在中国的发展

70年代末设备诊断技术开始传入中国。1983年3月28日,中国机械工程学会设备维修学会在南京召开首届设备诊断技术专题座谈会,提出了“积极开展和应用诊断技术为四化服务”的倡议书和建议。

1983年9月,应机械部邀请,日本设备工程协会所属的设备诊断技术委员会派遣以三下江、丰田利夫、前川建二为代表的访华团,先后在北京和成都进行了为期五天的专题讲

表 1-1 国外发电厂汽轮机、锅炉设备诊断装置举例

对象	诊断项目	部位	诊断装置	
			运行中	检修中
锅	故障	模拟APC装置自动喷燃装置	控制器诊断装置	
	蠕变疲劳	联箱,汽包,汽水分离器	寿命监测装置	
	泄漏	阀门及配管	蒸汽泄漏诊断装置	
	燃烧状态	各喷燃器	喷燃器燃烧状态诊断装置	
	异常	喷燃器阀门,大型回转机器	现场机械异常检测装置	
	缺陷	汽包管座,厚壁承压部件		带成像处理的探伤装置
炉	剩余寿命	过热器管,再热器管,大口径管		管子内部探伤装置
	腐蚀、浸蚀形成管壁减薄	过热器管,再热器管		锅炉剩余寿命诊断系统
	劣化	过热器管,再热器管		壁厚测量装置
		过热器管、再热器管、主蒸汽管、再热器管的焊接部分		焊接部位时效分化检测装置
	性能	汽轮机组	汽轮机组性能诊断装置	
		凝汽器	凝汽器性能诊断装置	