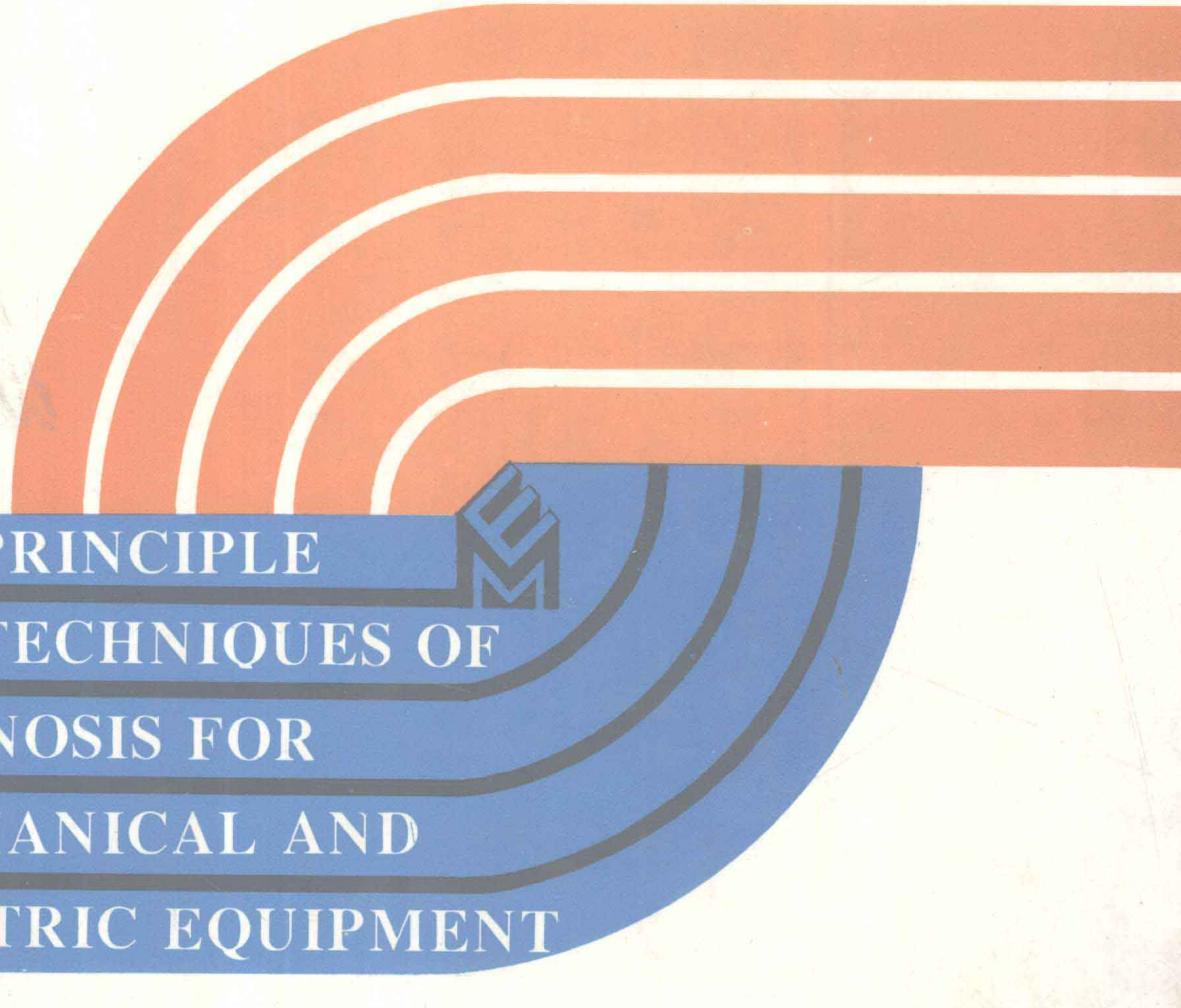


机电设备 诊断原理与技术

主编 李葆文 副主编 张翠凤 王 胜



THE PRINCIPLE
AND TECHNIQUES OF
DIAGNOSIS FOR
MECHANICAL AND
ELECTRIC EQUIPMENT

华南理工大学出版社

机电设备 诊断原理与技术

主 编 李葆文
副主编 张翠凤 王 胜

华南理工大学出版社
· 广州 ·

内 容 提 要

本书系统地阐述了机械、电子、电气设备诊断和状态监测的原理和方法,全面反映了国内外最新的研究成果和经验,并融入作者在各自领域内的研究成果和实践经验,是一部理论与应用技术相结合的科技著作。

本书可作为大专院校设备工程与管理专业、机电类设备应用与维修专业教师与学生的教学或参考用书,也可供机电设备诊断、维修和管理方面的工程技术人员阅读,还可作为各类机电设备诊断与维修学习班的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机电设备诊断原理与技术/李葆文主编. —广州:华南理工大学出版社,1996. 8
ISBN 7-5623-1040-8

I. 机…

II. 李…

III. ①机电设备-故障诊断-理论 ②机电设备-故障诊断-技术

IV. TM·19

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山·邮编 510641)

责任编辑 谢艳桂

各地新华书店经销

华南理工大学印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 38.875 字数 900 千

1996 年 8 月第 1 版 1996 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—2000

定价:55.00 元

序

现代的机电设备是当代各种先进科学技术的荟萃,不断朝着精密化、自动化、流程化、智能化方向发展。相对而言,设备的使用操作越来越简单,而诊断和维修却越来越复杂。为了增加用户友好性,不少生产厂家生产的复杂机电设备都开始带有一套故障自检报警系统、状态监测系统或是附有数显的故障字典资料。众所周知,诊断是维修的基础。对现代设备而言,诊断变得更加重要,成为企业能否变被动维修为主动维修的关键。可以预见,企业越先进,对设备使用和操作人员的需要越少,而对设备维修和诊断人员的需求会越多。当代的维修和诊断人员已完全不是传统意义下的机修钳工或电工,而应具备较高的逻辑分析能力和多种诊断技术,具有较深的机电一体化知识。

现代设备诊断原理与技术从许多方面类似于医疗诊断,如与故障机理相对的病理,与振动监测相对应的心电图,与油液分析相对应的验血、验尿等等。另一方面,设备诊断与医疗诊断又有很多差别。设备诊断所面临的对象是十分广泛和多样性的,而且具有很强的动态特征。因为从物理结构上说,人的进化远远落后于当代设备的技术进步。设备的广泛性和动态性给诊断带来一定的复杂性。

设备故障诊断原理与技术的掌握是企业搞好预防维修、预测维修、改善维修、主动维修、全员生产维修以及设备综合管理的基础,是防止和减少企业故障停机、损失、提高成品率、节约维修费用、提高设备综合效率的重要一环。这方面的理论和技术已引起企业界和大专院校越来越多的重视。

我们希望通过本书的出版,能对全国从事这方面工作的工程技术人员、管理干部和人才培养教师有所帮助。也希望这本书的出版对国内企业设备诊断与状态监测工作的开展有所促进。

本书由广州大学维修工程技术学部下列教师分工编写:李葆文(第一、二章),王胜、谭工(第三章),王胜(第四章),张翠凤(第五章),费修莹、吕衍钧、孙骅、郑文(第六章),李爱社、虞峰(第七章),高泽涵(第八章),潘景乐、刘华、陈溯(第九章)。

本书在编写中还参考了大量国外文献资料和研究成果,凡所参考的文献均列入书末的参考文献目录中。在此,我们向所有的文献作者表示感谢。

编 者

1996年4月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 设备故障诊断学的基本概念	(1)
第二节 故障诊断的逻辑与数学原理	(5)
第三节 故障诊断技术	(6)
第四节 故障诊断原理与技术的发展	(7)
第二章 故障诊断的逻辑与数学原理	(10)
第一节 故障诊断的形式逻辑原理	(10)
第二节 故障诊断的布尔逻辑原理	(13)
第三节 故障诊断的系统分析原理	(19)
第四节 故障诊断的贝叶斯原理	(25)
第五节 故障诊断的模糊关系与矩阵原理	(30)
第六节 故障诊断的综合评判方法	(41)
第七节 故障诊断的模糊模式识别	(47)
第八节 故障诊断的模糊聚类分析	(51)
第九节 故障诊断的分级假设与检验方法	(60)
第十节 故障树分析	(62)
第十一节 故障字典原理	(73)
第三章 振动监测故障诊断技术	(90)
第一节 机械振动基础	(90)
第二节 滚动轴承的故障诊断	(122)
第三节 齿轮的故障诊断	(133)
第四节 旋转机械的故障诊断	(153)
第五节 往复机械故障的振动诊断法	(190)
第六节 噪声监测与诊断技术	(209)
第四章 温度监测技术	(228)
第一节 概述	(228)
第二节 接触式温度监测	(229)
第三节 非接触测温基本原理	(234)
第四节 红外测温概论	(238)
第五节 红外成像系统及其应用	(239)
第六节 红外电视	(249)
第七节 红外测温仪	(252)

第五章 油液监测与诊断技术	(262)
第一节 摩擦学基础	(262)
第二节 润滑油、脂质量指标及使用意义	(283)
第三节 油液性能分析技术	(292)
第四节 油液监测与诊断技术概述	(293)
第五节 光谱技术及仪器	(296)
第六节 铁谱技术及仪器	(299)
第七节 其它油液监测和诊断技术	(316)
第六章 无损检测技术	(319)
第一节 概述	(319)
第二节 渗透检测	(321)
第三节 磁粉检测	(325)
第四节 涡流检测	(334)
第五节 超声波检测	(346)
第六节 射线检测	(358)
第七节 声发射检测	(364)
第八节 激光全息、散斑无损检测	(374)
第九节 微波检测	(383)
第七章 液压系统故障诊断	(387)
第一节 液压传动系统设备保养与修理	(387)
第二节 油液污染与控制	(390)
第三节 液压系统故障诊断方法介绍	(397)
第四节 液压元件故障诊断与排除方法	(404)
第五节 液压系统常见故障诊断与排除	(415)
第六节 典型液压系统故障诊断与排除	(430)
第八章 电子设备故障诊断技术	(445)
第一节 电子电路故障诊断基础知识	(445)
第二节 模拟电子电路故障诊断技术	(464)
第三节 数字电路故障诊断技术	(473)
第四节 微型计算机故障诊断技术	(489)
第九章 电气设备故障诊断技术	(521)
第一节 低压电器故障诊断及维修	(521)
第二节 直流电机调速系统及故障检测	(546)
第三节 电机及拖动系统状态监测与故障诊断技术	(575)
第四节 电力变压器故障诊断及维修	(607)
参考文献	(613)

第一章 绪 论

工欲善其事，必先利其器。设备是生产发展的基本要素之一。随着人类社会的文明与进步，人们所使用的设备也在不断进步。尤其是从二次大战之后，人类的科技成果数量每 10 至 15 年翻一番。也就是说，今后的 10 至 15 年间所产生的科技成果相当于历史上人类全部成果的总和。从理论的产生到瓦特的第一个蒸汽机发明用了整整 80 年时间，而近代原子弹的研制才用了 6 年时间，激光器的研制仅用了一年时间。昨天的科学幻想，今天、明天就可能成为现实。当代的原子能技术、计算机科学、微电子技术、材料科学、遗传工程、遥感技术、海洋技术、激光、光导技术、纳米技术、模糊工程、神经网络技术等如万簇齐发，蓬勃发展。一种技术可以应用在多类设备上，而一类设备又可能蕴含着多种技术。技术进步和产业革命使今天的设备朝着大型化、复杂化、高级化、连续化、自动化、微型化等方向迅速发展。如果说自行车的零件数量仅为 100~1000 数量级，而今天的宇宙飞船已超过了 100 万数量级。现代设备已成为现代科技的综合体现。这使得当代设备的故障诊断不但十分重要，而且日益复杂并具有较高的技术难度。

第一节 设备故障诊断学的基本概念

随着设备的技术进步，故障诊断的理论和技術亦不断丰富和完善。按学科分类，故障诊断的原理与技术属于设备维修(维护)工程学的大范畴。它们在整个学科中的地位如图 1.1.1 所示

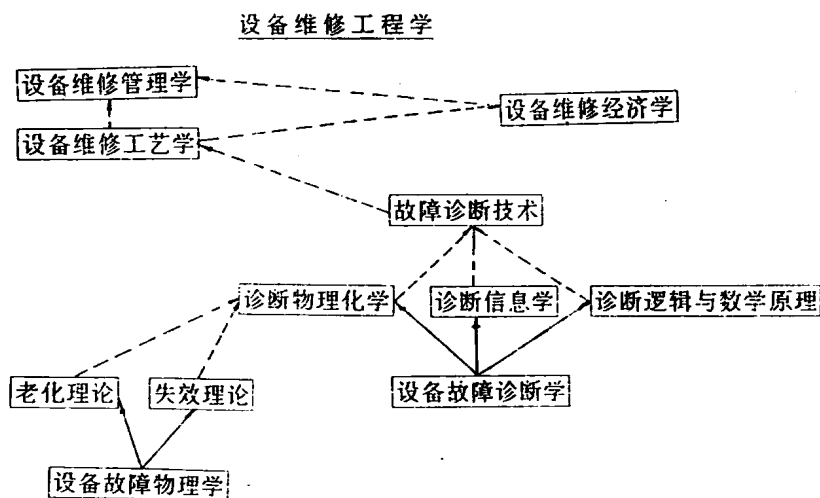


图 1.1.1 设备维修工程学结构图

在图 1.1.1 中,知识的构成部分以实线连接;知识模块之间的影响和作用由带箭头的虚线连接,它既表示知识的连续性和有序性,也指示了掌握相关知识的学习顺序。因本书着重阐述故障诊断的内容,因而图中只展开了设备故障物理学和设备故障诊断学的构成模块,而未将其它学科的构成模块加以展开。

本书内容复盖了设备故障诊断学的大部分。首先阐述了故障诊断的逻辑和数学原理,然后对故障诊断技术进行了详细的讨论。而诊断信息学和诊断物理化学的内容则融入到不同诊断技术中加以介绍,以便使之与具体的诊断过程紧密结合起来。

所谓的设备故障诊断学,是通过通过对设备的观察、探测、分析和推理来确定设备是否正常,找出异常部位和故障原因,并能预报故障发展趋势的一门综合学科。设备故障诊断主要包含故障诊断的逻辑与数学原理、诊断信息学和诊断物理化学等方面的内容。

诊断的逻辑与数学原理旨在为故障诊断与检索提供优化的逻辑与数学思路,以便快速、准确地进行诊断;故障信息学取材于经典的信息论,偏重于信号的采集、处理与分析;诊断物理化学涉及设备结构及其理化原理,也涉及诊断过程和手段的物理化学原理等内容。

故障诊断技术是具体化、专门化、程序化的故障诊断操作方法。由于当今的设备已发展成为当代各种先进技术的荟萃,随着设备专门化、复杂化、流程化和自动化,不同种类的设备,应用不同种类的故障诊断技术;不同的诊断技术涉及不同的仪器、工作原理和适用范围。这部分的内容十分丰富,也是本书论述的重点。

设备状态监测与故障诊断不同,一般以故障诊断或质量诊断控制为目标。为方便起见,我们也把它纳入故障诊断技术的范畴加以介绍。

为了开展故障诊断问题的讨论,有必要对中外流行使用的有关术语作一些解释,对易于混淆的术语作一辨析。

故障 (Fault, Trouble) 指一台装置(或其零部件)在它应达到的功能上丧失了能力。

失效 (Failure) 指一台装置(或其零部件)丧失了在规定时间内正常功能。

注意:以上两个术语意思上大体相同,但故障似可以排除恢复其应达到的功能;而失效则强调预定时限内的功能丧失。在外延上,故障多对设备而言,失效多对零件而言。在工程应用上,“故障诊断”与“失效分析”常可相互混代。“故障分析”含义稍广,相似于“失效分析”。另外,“失效”与“事故”概念不同,后者更强调其后果和危害,前者主要指设备的功能状态。

有关故障,还通用以下术语:

共同故障 由于某种共同原因而导致的系统故障。

相关故障 受其它单元故障影响而发生的故障。

故障机理 设备发生故障的物理化学现象;设备失去功能的理化过程。

失效模式 失效状态的类别,失效表征。

按照不同的分类标准,故障又可分为:

1. 渐发性故障和突发性故障

渐发性故障是由于各种设备初始参数劣化和老化过程发展而产生的。这类故障与材料的磨损、腐蚀、疲劳及蠕变等过程密切相关。这类故障与设备使用时间有关。突发性故

障是由于各种不利因素以及偶然的外界影响共同作用的结果,这种作用超过了设备所能承受的限度。例如因润滑油中断而使零件产生的热变形裂纹。这类故障往往与设备使用时间无关。渐发性故障又可称为软故障,而突发性故障称为硬故障。

2. 功能故障和参数故障

按故障后果分类,故障又可分为功能故障和参数故障。功能故障使设备不能继续完成自己的功能。而参数故障是设备的参数(特性)超出允许的极限值。与功能故障比较,参数故障不妨碍设备的继续运转,但按照技术标准来衡量,这些设备都是无工作能力或能力不佳的。机器加工精度的破坏就属于参数故障。马达烧坏使机器不能运转则属于功能故障。

3. 功能故障和潜在故障

设备的故障包括潜在(可能发生)的故障和功能(已发生)故障两种。从设备的损伤程度和使用时间可以判断潜在故障发生的可能性。设备维护保养的目的,就是防止潜在故障发展为功能故障。

4. 允许故障和不允许故障

故障还可分为允许故障和不允许故障。允许故障一般同导致设备输出参数逐步老化的过程密切相关。允许故障包括各种因素(使用技术条件所允许的)在最不利组合时引起的突发性故障。有时为了减少、缩小和简化设备结构,设计上允许一定的故障发生概率。这种故障是不应引起严重后果的。不允许故障与下列各种情况有关:

- (1)违反产品的制造和装配条件;
- (2)违反操作使用制度和修理规章;
- (3)技术条件或参数未考虑到的潜在原因。

由这些原因而导致发生的故障是不允许故障。

5. 永久性故障和间歇性故障

永久性故障是指一旦发现就长期存在的故障。任何时候进行检测均可发现此类故障。间歇性故障是指某种特定条件下才出现或随机性的、存在时间短暂的故障现象。由于难以把握其出现的规律和时机,这种故障不易检测。

6. 单故障和多故障

按同时出现故障的数量又分为单故障和多故障。若某一时刻仅有一个故障发生,称为单故障;若同时可能发生若干个故障,称为多故障。通常诊断多故障更为困难。

7. 危险性故障和安全性故障

根据工程技术本身的特点,从生产安全要求来分类又可分为危险性故障和安全性故障。危险性故障发生后会对人身、生产和环境产生危害。

有关分析和诊断,还通用以下术语:

失效分析(Failure Analysis) 也称故障分析。即指分析失效的原因、讨论预防对策的技术行为和管理行为。

故障诊断(Fault Diagnosis) 根据设备运行过程中产生的各种信息来判断其正常或异常,识别是否发生故障、发生故障的部位和原因的技术行为和推理过程。国外还流行使用技术诊断(Technical Diagnosis),也称为技术诊断学(Technical Diagnostics)或工程诊断

(Engineering Diagnosis), 后者的内涵较之前者更深入, 其外延更广泛些。

故障诊断原理 指通过物理、化学过程分析和数学与逻辑推断故障部位与起因的原理和方法。

按照故障诊断的不同类型, 又有如下术语:

1. 性能诊断

对新装的设备与系统进行诊断检查, 并根据诊断结果加以调整, 称为性能诊断。

2. 运行诊断

对正常服役的设备或系统进行运行状态诊断, 监测故障的发生、发展称为运行诊断。

3. 定期诊断

对服役的设备隔一定时间进行一次检查和诊断称为定期诊断。

4. 在线监控

采用仪表和计算机信息处理系统对运行中的设备运行状态连续监视、控制, 称为在线监控。

5. 直接诊断

直接根据设备零部件、部位, 判断和确定设备的故障状态称为直接诊断。

6. 间接诊断

通过二次诊断信息间接判断设备故障状态为间接诊断。

7. 常规诊断

设备正常服役下的诊断称为常规诊断。

8. 特殊诊断

创造特殊服役条件采集信息以便正确地诊断故障, 称为特殊诊断。

9. 简易诊断

通过人的五感或利用简单检测工具迅速地、粗略地判断设备故障称为简易诊断。

10. 精密诊断

通过精密检测手段采集信息, 由专家分析判断故障部位、原因及预防对策的诊断。

下面对故障模式和故障机理这两个概念作一解释。

故障模式 是从不同表现形态来描述故障, 是故障现象的一种表征, 相当于医疗上疾病的症状。表现在设备上如磨损、腐蚀、振动、歪斜、变形、龟裂、破损、泄漏、堵塞、发热、烧损、脱落、短路、导通不良、绝缘破坏等。

故障机理 是诱发零件、部件、设备系统发生故障的物理化学过程、电子与机械过程。也可以说是形成故障的原因。相当于医学上的病理。一般地, 故障机理可以写成:

$$I \text{ (对象的状态、内因)} + II \text{ (外因、诱因)} \rightarrow III \text{ (故障模式)}$$

总的来说, 故障模式反映着故障机理的差别。但是, 故障模式相同, 其故障机理不一定相同。反过来, 故障机理相同, 故障模式也可能不同。正因为这种错综复杂的关系, 使得故障诊断具有一定的复杂性和难度。

下面就故障机理(即故障产生的原因)作一概述。设备故障产生的原因是多方面的, 归纳起来主要有以下几点:

1. 设计不合理

结构缺陷;印刷线路、配电线路布局不合理;电子元器件参数选择不当;线路可靠性差;零件、材料配合、润滑方式选择不当;应力过高、应力集中;对使用条件和工作环境考虑不周等。

2. 制造、安装、使用中的缺陷

电气布线、焊接、绝缘隔离以及印刷线路达不到工艺要求;机械切削、压力加工、热处理、焊接、电镀、装配、安装、调试、使用、维护保养、维修、技术改造中产生的缺陷。

3. 原材料缺陷

电器材料的电阻、电容、导电性能、绝缘性能等指标缺陷;金属材料不符合技术要求;铸件、锻件、轧制件缺陷及热处理缺陷等。

4. 使用不当

超出规定的使用条件或环境发生变化,造成电压过高,电流过大;机械设备的过载、过热、腐蚀、磨损、泄漏以及操作失误;维护不当、管理混乱等。

5. 自然损耗

电子、电气元器件的老化;电参数的改变、绝缘层的破裂;机械磨损、疲劳、腐蚀、老化、蠕变等。

有些故障是由单一原因造成的;有些则是多种因素综合引起的;有的是一种原因起主导作用而它种因素起媒介作用;有的是连锁诱发的因素引起,就像是多米诺骨牌,形成一连串的反应。

第二节 故障诊断的逻辑与数学原理

所谓的故障诊断的逻辑与数学原理,是指与故障诊断相关的逻辑方法与数学运算。所涉及的数学领域包括概率论与可靠性、系统工程、信息论以及最近发展起来的模糊集合理论;涉及的逻辑领域为形式逻辑、布尔逻辑以及模糊逻辑与近似推理等内容。

故障诊断的逻辑与数学原理的主要功用为:

1. 描述故障

用数学或逻辑语言来描述设备的技术状态。将被考虑对象的技术状态的历史、现状以及将来反映出来。这种描述可以是静态的,也可以是动态的。描述应是简洁的、有效的,能够突出特点,抓住本质,便于人们的判断决策。

2. 识别故障

在复杂纷纭的技术状态中,能够辨别故障特征,这也是故障诊断逻辑与数学的任务之一。这种识别包括异常特征的识别,即判断设备有无故障;还包括故障模式的识别,即判断有何种故障发生。

3. 寻找故障原因

从故障特征(症状,现象)出发,通过某种逻辑和数学方法,以较优的方式搜寻故障原因和发生故障的部位或基本单元。这也就是故障分析与故障定位的过程。

4. 预测故障

应用先验的知识以及检测信息,通过一定的数学方法,推测故障发展的后果以及设备状态变化的轨迹,即为预测故障。预测的任务主要为状态预测、时间预测以及后果预测。

由故障起因推算其后果的数学与逻辑过程为“正向”运算,而由故障后果寻求起因的过程则是“反向”运算。

由于故障的复杂性特征,某一故障可能对应多个故障特征;反之,某一特征又可能对应多种故障;而且其成因与结果又常常是多层次的,于是会形成一因果相连的链状或网状结构。网上的某一现象,既是上一层结果,又是下一层的原因。而故障诊断的逻辑与数学,既有从因求果的正向运算,又有由果求因的反向运算,也可能会有双向运算。

“正向”运算多用于故障分析,如故障树分析,可靠性预测等等。

故障诊断主要应用“反向”运算,如模式识别、聚类分析、推理、故障字典查寻、诊断树搜寻等等。

值得指出的是,除了经典数学和逻辑方法,近年来发展起来的模糊集合论已成为诊断数学与逻辑原理的重要组成部分,并在故障诊断领域有着广阔的应用前景。近年来活跃的研究分支——神经网络理论,也应属于故障诊断逻辑与数学的范畴。

第三节 故障诊断技术

故障诊断技术是一门正在不断完善和发展中的技术。“诊断”一词为医学术语,由于人们要给机器设备“看病”,也就借用过来。从方法上,类似于医学上给病人做心电图、量体温、验血验尿、量血压、做X射线透视、超声波检查等等,对设备的诊断也有不同的技术手段:如振动噪声监测、温度监测、油液分析、X射线探伤、红外线成像、超声探伤、声发射技术等。

设备诊断技术尽管很多,但基本上离不开以下三个环节:

1. 信息的采集

利用人的听、摸、视、闻或选用温度、速度、加速度、气体、振动、压力、应力等不同种类的传感器来感知设备的状态,借以反映设备运行中能量、介质、力、热、摩擦等各种物理和化学参数的变化,并把有关信息传递出来。

2. 信息的分析处理

借助于人脑或电子计算机对采集到的信息或电信号进行过滤、加工,提取其中有意义的信息特征。

3. 状态的识别、诊断、预测和决策

根据提取出的有意义的特征,参照某种标准和规范,综合内外各种因素,利用有关设备的经验知识和技术资料,对设备的状态进行识别、诊断和发展趋势预测,并对其处理方案作出决策。这一诊断决策过程可以由人脑来进行,但越来越多地通过计算机来实现。

设备诊断技术覆盖的知识面较宽,它包括:数据采集技术(包括传感技术),计算机数据分析处理技术,计算机诊断、预测、决策技术;设备本身的结构原理、运动学和动力学;设备的设计、制造、安装、运转、维护、修理知识;设备系统与部件的故障或失效机理及零部件

可靠性方面的知识等等。

为避免和减少诊断的失误,提高诊断的可靠性,对某一类设备的状况,最好采用多种不同的技术进行诊断。准确的诊断可以指导准确的维修,这对于减少故障停机损失,保障设备安全运行是十分重要的。

诊断技术的进步,离不开传感技术和诊断仪器、仪表以及计算机信息处理技术的进步。在这方面,国内外的研究和发展都十分活跃。

设备的状态监测系统是设备诊断的重要手段之一。当代国内外生产的不少大型、精密、自动化流程设备,常常附带自动状态监测系统,可以随时显示设备状况并自动报警,这为设备的正确诊断与维修提供了有力的保障。

另一方面,对于那些简单的、小型的、单体运行设备,可以利用便携的、简单的诊断仪器,以点检方式进行定期检查,把检查的症状结合相关的设备运行历史记录和维修经验,通过人脑或电脑进行分析,往往会做到又快捷、又经济。

在本书后面的章节里,我们将对各种不同的诊断技术,从原理到应用与操作,向读者作详细的介绍。

第四节 故障诊断原理与技术的发展

作为故障诊断原理的内容,发展较早,应用最活跃的分支为故障树分析。1974年美国Rasmussen教授领导的研究小组首次对大型核电站的事故风险使用概率论和故障树(事件树)方法提出完整的分析报告(WASH-1400)。直到现在,这一领域的研究仍十分活跃,成果也比较丰富,如利用计算机快速建立故障树,故障树化简的不同方法,故障树的检索、各种重要度以及可靠性分析等等。

随着信息论、数理逻辑、模糊系统理论的发展,这些理论在故障诊断领域应用的成果越来越丰富。如利用熵理论进行快速故障搜寻,利用布尔逻辑进行故障诊断,利用模糊关系和模糊关系方程、模糊模式识别、模糊聚类分析、近似推理进行故障诊断。近年来发展起来的神经网络理论被用到故障诊断之中的实例也有不少。

尽管近二十年来故障诊断原理方面的研究和发展很快,但仍不够系统和完整,尚未形成一套完整的故障诊断原理的理论体系。随着设备综合管理的进展和故障诊断专家系统的产生,对故障诊断搜寻理论提出了更高的要求。1988成立的广州大学维修工程技术学部(系)是国内第一个与意大利合作成立的以维修工程学科作为主导方向的系一级教学实体。这个系从学科的发展和教学需要出发,在故障字典、故障搜寻检索以及应用模糊集合理论进行故障诊断等领域作了一些初步探索,试图对故障诊断的逻辑与数学原理作出系统的整理与总结。

相对而言,在故障诊断技术方面的发展,无论是国外和国内,要更成熟、更丰富。

故障诊断技术的研究最早起源于美国。1961年开始执行阿波罗计划后出现的一系列设备故障造成的悲剧,导致1967年美国机械故障预防小组(MFPG)的成立。这个小组主要从事故障机理的探索、检验、诊断和预防技术以及可靠性理论的研究。美国机械工程师学会(ASME)应用声发射技术对静设备故障诊断的研究也取得较大进展。此外,SPIRE公

司军用机械的轴和轴承诊断技术,TEDECO 公司润滑油分析诊断技术都在国际上居领先地位。在 60 年代末期,以 R. A. Collacott 为首的英国机器保健中心最先在英国开始故障诊断技术的研究。1982 年曼彻斯特大学成立了沃福森工业维修公司(WIMU)。英国的南安普顿大学、莱塞斯特工业学院都成立了类似的专业化维修公司,并开始了故障诊断理论与技术的研究。设备诊断技术在欧洲其它国家也有所发展,如瑞典的 SPM 公司轴承监测诊断技术、挪威的船舶诊断技术、丹麦的 B&K 以及美国 ENTEK 公司的振动监测诊断和声发射监测技术及仪器都各具特色并独树一帜。

日本民用工业部门诊断技术的发展也很迅速。如新日铁从 1971 年起开发诊断技术,1976 年达到实用阶段。其它行业如机械维修学会、计测自控学会、电气和机械学会也相继设立了自己的专门研究机构。日本日立研究机构中的机械技术研究所和船舶技术研究所重点研究机械基础件的诊断技术。而东京工业大学、京都大学等院校较重视故障机理的研究。民用企业如三菱重工、川崎重工、日立制作所、东芝电器则针对企业内部需求解决了某些水平较高的应用题目。

在美国提出后勤学(Logistics),英国提出设备综合工程学(Terotechnology)之后,日本吸收了二者的特点,又形成了全员生产维修的观点(Total Productive Maintenance)。这些观点的核心是以设备寿命周期费用最低为目标的设备全过程综合管理原则。这些有关设备管理与维修的新概念对故障诊断理论和技术的发展起到很大的促进作用。

欧洲著名的国际测量学会(IMEKO)的第十个专业委员会为技术诊断学委员会,每隔一年或两年召开一次国际学术会议。1990 年 10 月在德国威士巴登市召开的欧洲国家维修团体联盟第 10 次学术会议的主题为“维修——为了未来的投资”,这次会议有关故障诊断的论文和成果也占有较显著的份量。

我国国务院根据我国国情,于 1978 年提出了《国营工业交通设备管理试行条例》,有力地推动了我国设备管理与故障诊断理论和技术的研究。同年,我国确定以宝钢和太钢为开展技术诊断的试点单位,建立了振动、红外和铁谱三个实验室。1986 年 6 月在沈阳东北工业学院召开了机械设备诊断技术国际会议。会议论文内容广泛,诊断理论方面包括频谱分析、相差分析、模糊数学和疲劳失效理论等在技术诊断中的应用;诊断方法包括振动技术,声发射、光谱、铁谱、无损探伤、红外和热像技术等技术在技术诊断中的应用。1987 年中国振动工程学会故障诊断学会成立,并由这个学会主持召开了第一届旋转机械设备故障诊断对策研讨会。1995 年在武汉召开的全国故障诊断学术会议涌现出不少新的理论和应用成果,北京、天津和沈阳先后成立了设备诊断技术开发机构。西安交通大学故障诊断研究所的全息谱理论、重庆大学测试中心的 CAMS 信号处理故障诊断系统以及上海交大、东北工学院、广州大学等高等院校故障诊断应用技术的研究都取得一定的成果。

目前,我国工业企业中诊断技术应用最广泛的行业为石油化工、冶金、水电等,其它行业如机械、铁道、汽车制造等,也不同程度地在其重点设备上应用诊断和监测技术进行故障诊断。

近十年来,全国性的诊断行业或区域性组织发展到十几个,由这些组织发起并主持的诊断技术会议也十分频繁。

各种关于设备诊断技术的专题讲座、经验交流会、各种形式的学习班、培训班也十分

活跃。

国内仪器行业和有关企业适应对诊断仪器的需要,积极进行了研制生产并有不少比较先进的故障诊断仪器设备投放市场,受到各厂矿企业的欢迎。

随着可靠性工程、模糊集合理论、逻辑分析、系统工程、人工智能以及信息论等理论在故障诊断领域不断深入,目前故障诊断的理论与技术正向着更高的层次发展,朝着计算机辅助的故障模式识别、故障诊断决策支持系统以及故障诊断专家系统(Expert Systems)的方向发展。国际上新兴的神经网络(Neural Network)理论也越来越多地渗入故障诊断领域,可望为今后的智能化诊断、多故障、多过程、突发性故障的诊断或快速分析开辟新径。

第二章 故障诊断的逻辑与数学原理

如前所述,故障诊断的逻辑与数学原理的研究虽然开始较晚,发展也不够成熟,但所涉及的领域却比较广泛。限于篇幅和作者的水平,本书不可能将所有的成果无一遗漏地加以介绍。为了方便读者的实际应用,我们选择了十二种实用性较强、涉及的数学与逻辑基础难度较小的诊断原理尽可能深入浅出地介绍给读者。

第一节 故障诊断的形式逻辑原理

故障分析与诊断的过程是一个“观察、假设(推断)、验证”往复循环,直到找出故障原因的全过程。

引起某事件产生的现象叫作原因,而被另一现象引起的事件叫作结果。因果关系往往是相对的,有条件的。某一事件对其原因来讲是结果,而对于由自身而引起的后续事件来讲又是原因。因果关系是复杂的,但是普遍存在的。世间任何现象都由某些原因所引起,而任何现象又都产生某些结果。

传统的形式逻辑推理中介绍的五种逻辑方法就是根据现象或事件之间关系的比较,去伪存真,推断出因果关系的逻辑思路。柯南·道尔所著《福尔摩斯探案集》中的主角——福尔摩斯,在侦破疑难案件时,往往应用了这些易被大家忽视的简单推理方法。故障诊断,也是探求因果关系的思维活动,恰当、灵活地应用下面介绍的方法,有助于提高故障诊断的速度和准确性。

1. 契合法

在被研究现象出现的若干场合中,如果某一个或一组事件是次次出现的,那么这个屡次出现的情况或事件就是被研究对象的原因(或结果)。

公式:	场合	先续(或后续)事件	被研究对象
(1)	A	B C	a
(2)	A	D E	a
(3)	A	F G	a
...		...	

结论:A事件是a现象的原因(或结果)

这里A、B、C...可以看成是一个个的事件,也可以看成是一个个的事件组。在应用契合法时,要注意充分发掘各种场合中所隐蔽的共同情况,防止推理时被“伪”原因所误导。一般来讲,比较的情况越多,结论的可靠程度就越高。因为场合越多,共同出现某一“伪”原因的机会就会越少。

2. 差异法

在被研究对象出现与不出现的场合,有一个或一组事件同时出现或同时不出现,那么这个与众不同的事件或事件组就是被研究对象的原因(或结果)。

公式:	场合	先续(或后续)事件			被研究对象
(1)		A	B	C	a
(2)		—	B	C	—

结论: A 事件是 a 现象的原因(或结果)

在故障分析时,形成上述差异场合的方法有轮流切换法和换件比较法。

例 2.1.1 (轮流切换法)某四缸汽车发动机排气黑烟严重污染空气,用断缸法分别松开其中一个气缸的高压油管,发现仅在 C 缸油管松开时黑烟消失,结论: C 缸气体不完全燃烧。

(1)	A	B	C	D	a
(2)	—	B	C	D	a
(3)	A	—	C	D	a
(4)	A	B	—	D	—

结论: C 缸故障导致冒黑烟(a)发生

所谓的换件比较法是在分析故障时如果怀疑某几个零部件为故障起因,可用完好部件替换,并观察或测试换件后设备的状态变化。使设备功能恢复正常的替换部位即为故障源。

值得指出的是,对于那些原理尚不熟悉的设备(尤其是电子、电气设备),往往很难通过测量的方法判断故障源。企业的故障诊断人员往往可以通过换件比较法找出故障点并加以排除。这种方法看起来“笨”了一点,但不失为一种实用的方法。

3. 契合差异并用法

有两组事件,一组为由被研究现象出现的若干场合组成的正事件组;另一组是被研究对象不出现的若干场合组成的负事件组,如果存在某事件在正事件组均出现,在负事件组均不出现,则此事件为被研究对象的原因(或结果)。

因为负事件组可以有无限多个,因此应选择那些与正事件组相关的、相似的事件组合进行比较。

契合差异并用法实际上是综合了契合法和差异法的特点,使之更全面,更完整。

对于故障诊断中出现的重要问题,不宜草率作出结论的问题,则尽可能应用此逻辑方法。

公式:	场合	先续(或后续)事件				被研究对象
(1)		A	B	C	F	a
(2)		A		D	E	G
(3)		A	F	G	C	a
...		...				...
(1)'		—	B	C	F	—
(2)'		—	D	E	F	—
(3)'		—	F	G	D	—
...		...				...

正事件组

负事件组

结论: A 事件是 a 现象的原因(或结果)