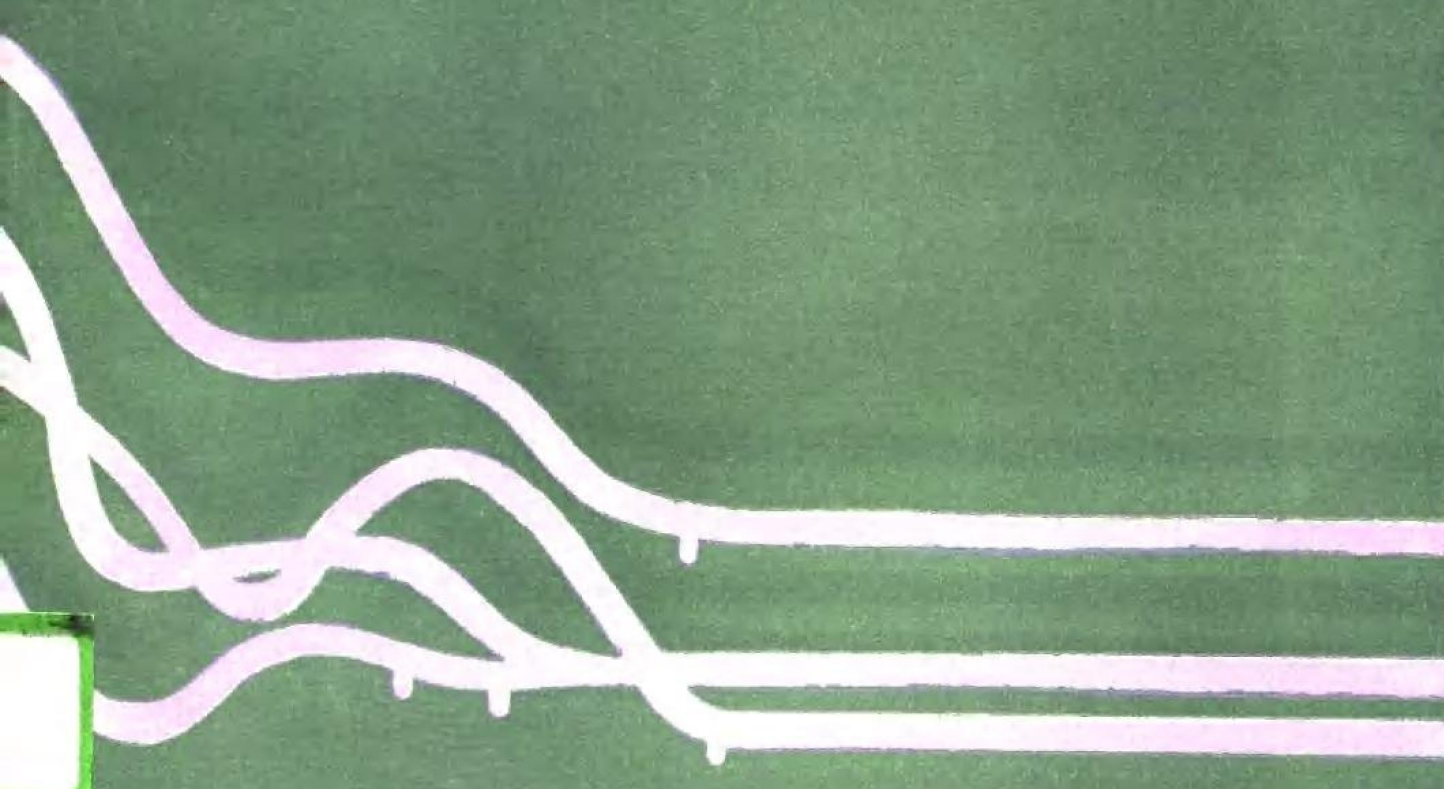


NANJING CHINA

Machine
Fault Diagnosis &
Operation Conditions
Monitoring

机械设备的故障诊断与工况监视

黄 仁 主编
东南大学出版社



Southeast university press

责任编辑 施 恩

机械设备工况监视与故障诊断

黄 仁 主编

东南大学出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 高淳印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/16 印张26 字数615千字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数: 1—3000册

ISBN 7-81023-167-7

TH·5 定价: 8.00元

内 容 简 介

《机械设备工况监视与故障诊断》是一个新的科学领域，它的内容、体系正在发展与完善中。本书用论文形式，首先介绍了有关基本概念，基本知识，基本理论与方法，并以本校已有研究成果为主，从几个侧面介绍这门科学的研究方法及其应用。内容包括故障诊断学的基本概念，现有典型研究方法，如时间序列分析、熵谱分析、系统辨识、模式识别等。并以精密磨削表面质量在线监视、切削过程动态特性与工况监视、机器动态性能分析与故障诊断，介绍了它的应用。最后通过报纸发行数据系统，说明了预测预报方法。

全书选编了论文共计35篇，这些论文大部分已在国内外学术会议或期刊上发表，编写时作了删改、归纳或改写。本书可供研究生及从事工况监视与故障诊断的工作者参考。

序 言

我应邀为东南大学黄仁教授主编的《机械设备工况监视与故障诊断》论文集主审与作序。读后深感其内容丰富,它反映了东南大学同志近数年来在这一领域里作出的理论结合实际、丰硕的研究成果。这本论文集的出版十分及时。

在现代化生产中,机械设备的工况监视与故障诊断越来越显得重要。如果设备某处发生故障而又未能及时控制与消除,很有可能引起链式反应,不仅导致整个设备破坏、工作环境损毁,甚至造成灾难性后果,引起社会混乱。这类事例屡见不鲜:印度博帕尔邦农药厂钢罐毒气泄漏事件,美国航天飞机“挑战者”号发射火箭漏油爆炸事件,日本波音747飞机断尾空难事件,苏联切尔诺贝利核电站反应堆毁坏,导致放射性元素大量外泄事件,我国渤海二号海洋钻井平台覆没事件以及某厂20万千瓦汽轮发电电组40秒内全部损坏事件,无不令人怵目惊心,如果设备能有良好的监控系统,及时发现隐患,采取措施,防患于未然,这些大灾大难不是不可避免的。何况工况监视与故障诊断不仅是防止事故的手段,而且由于清楚地了解了设备工作状态,还可挖掘设备潜力,充分发挥其功能,取得最佳效益。正由于此,各工业发达国家纷纷开展研究,理论上从传统的信号分析到现代的人工智能,实际上从个人手携的简单仪器到运用人工智能专家系统,发展极为迅速。

然而,机械设备的工况监视与故障诊断作为一门技术科学,兴起还不久。从60年代中期开始用于航天、核电部门,发展到今天用于各有关部门,不过刚超过二十年。它在理论上与应用上都还不成熟,问题还有很多。在我国,则起步更晚,严格说是1979年才开始的,近几年发展很快,成果不少,但实际问题则比工业发达国家的更多。总的说,这门学科还是方兴未艾。

东南大学黄仁教授等同志深察这一形势,他们奋起拼搏,在这一领域中开展了一系列研究工作。他们既进行理论与方法的研究,努力发展有关理论与方法,又进行具体应用的研究,努力解决生产实践中的具体问题,并将二者紧密地结合起来。他们既在机械设备工况监视与故障诊断理论、系统辨识、模式识别、时间序列分析、磨削机理等理论方面做了深入的工作,又在磨削质量,磨削烧伤、刀具磨损、切屑折断、切削颤振、陀螺漂移、录音机机芯抖动等实际方面做了大量的工作,取得可喜的成果。从论文集中范例之一的磨削烧伤问题的研究,可以看到黄仁教授等基于对磨削机理的长期研究、对时间序列分析和光纤技术的深入掌握,采用光纤红外测温、时序模型,通过研究磨削火花温度的变化规律来掌握磨削温度的变化规律,从而采取措施,实现磨削温度的在线监控,解决磨削烧伤这一

机械加工质量中的重大问题。这既是多学科交叉、理论结合实际 的成就，也深刻反映了当前科学技术发展的特点。

固然，论文集中所涉及的实际，主要是紧密结合机械制造领域的。但论文集所提供的解决实际问题的思路与经验、一般理论与方法，也为解决其它实际问题提供了线索、工具与理论。论文集中编入的我国报纸发行量预测研究成果，显示了这一预测与分析方法也是没有专业界限的。

整个论文集中还有一个极为重要的潜台词，即微型计算机的开发应用。机械设备的工况监视与故障诊断是离不开微电子技术的，也是离不开计算机(特别是微型计算机)的，这点不能不引起人们的密切注意。

还应提及，这本论文集编著的目的是很正确的。它既是以黄仁教授等科研成果为主要内容的论文集，可供同行专家参阅。又考虑到肩负推广机械设备工况监视与故障诊断理论与方法的任务，在论文集中介绍了一些有关基本知识、基本概念、基本理论与方法，便于更多人员了解这门技术科学。这本论文集另有一个特色，即它贯彻了“百家争鸣”的方针，在许多问题上采用了讨论商榷的论述方式。正因为机械设备的工况监视与故障诊断作为一门学科，其有关理论与方法还不够成熟，还在发展中，本论文集并不认为现有文献资料中的观点、内容与方法都是正确的，也没有认为本论文集中的观点、内容与方法都是正确的。正确的观点、内容与方法一定得在实践中检验和发展，论文集作者的学风与文风是实事求是的。我这次来南京，“千里莺啼绿映红”，金陵春色，已令我陶醉。而我又喜读这本论文集，预期它的出版，必将有利于我国机械设备，机械加工过程监控技术的向前发展，特此欣然命笔作序，向读者推荐。

华中理工大学 杨叔子

1987年4月28日于南京

目 录

一、综合评论

- 1—1 机械设备故障诊断学中几个问题的商讨..... 黄仁 (2)

二、理论与方法

- 2—1 时间序列分析与故障诊断..... 黄仁 (10)
2—2 故障诊断学的系统辨识方法..... 张杰 黄仁 (25)
2—3 最大熵谱分析..... 钟秉林 张杰 苏桂生 (37)
2—4 模式识别及其在故障诊断与工况监视中的应用..... 毛玉良 钟秉林 黄仁 (49)
2—5 机械设备故障诊断中AR模型参数实时建模算法..... 黄仁 万德钧 张杰 (60)
2—6 随机型输入/输出差分模型的研究..... 钟秉林 茅炫 黄仁 (70)
2—7 AR模型参数逆矩阵递推算法..... 张杰 黄仁 万德钧 (85)
2—8 模型转换中若干问题的探讨..... 钟秉林 (99)
2—9 AR模型参数置信区间的算法研究..... 毛玉良 钟秉林 黄仁 (109)
2—10 ARMA模型参数近似递推最大似然法 黄仁 万德钧 任兴明 (117)
2—11 结构离散模型的物理参数识别 张启军 (123)

三、精密磨削表面质量及其在线监视

- 3—1 精密磨削表面层性质的研究..... 黄仁 时修荣 丁瑞莲 (135)
3—2 精密磨削表面层性质研究方法及其存在问题的讨论..... 黄仁 (152)
3—3 磨削表面层烧伤在线监视可行性研究..... 黄仁 时修荣 (163)
3—4 磨削火花温度形成机理及其统计特性..... 黄仁 时修荣 孙小军 (173)
3—5 磨削火花温度与磨削区温度关系相似性的研究..... 黄仁 时修荣 孙小军 (181)
3—6 磨削火花温度系统的特征分析..... 黄仁 时修荣 孙小军 (191)
3—7 磨削表面层烧伤的在线辨识..... 黄仁 时修荣 孙小军 (205)
3—8 零件磨削表面缺陷的研究..... 丁瑞莲 (213)

四、切削过程动态特性与工况监视

- 4—1 刀具磨损状态的特征分析..... 黄仁 钟秉林 (222)
4—2 车刀磨损的状态辨识..... 钟秉林 黄仁 (241)
4—3 自动化生产条件下对切屑状态实行监控的几个问题..... 章未 沙勇 (256)
4—4 切屑状态在线辨识的特征分析..... 沙勇 章未 黄仁 (266)
4—5 切削力动态特性及其切削状态关系的研究..... 赵芝眉 吴波 谢锡俊 (279)

五、机器动态性能分析与故障诊断

- 5—1 模态分析用于机床故障诊断的研究..... 孙庆鸿 (292)
- 5—2 脉冲激振技术在机械设备故障诊断中的应用..... 孙庆鸿 (308)
- 5—3 盒式录音机机芯放音系统的静态分析..... 李瑞林 李宝云 (319)
- 5—4 盒式录音机机芯传动件的抖晃分析..... 李宝云 李瑞林 (325)
- 5—5 盒式录音机机芯放音系统传动件最佳参数的确定..... 李瑞林 李宝云 (332)
- 5—6 盒式录音机机芯放音系统的动态分析..... 李宝云 李瑞林 (345)
- 5—7 盒式录音机机芯放音系统数学模型的研究..... 李宝云 李瑞林 (359)
- 5—8 DT—1型传动带动态性能测试仪的研制..... 李宝云 李瑞林 (372)

六、预报、预测

- 6—1 我国报纸发行量预测方法的探讨..... 黄仁 钟秉林 (379)
- 6—2 我国报纸发行系统的相关与回归分析的研究..... 钟秉林 黄仁 范东生 (395)

一、综合评论

在科学发展的历程中，人们对它及其相邻科学之间的关系的认识，总是有一个逐步深化过程。最初常常是零散的，不系统的知识，逐渐发展成为较为系统的知识体系。

机械故障诊断学是一门新发展的科学，对它自身的发展规律及内容体系都有待进一步认识。显然目前认识上不一致是正常的。对它体系结构上的研究，主要是属于科学分类学的问题。讨论这个问题可以深入揭示它的发展规律，有助于正确认识和处理它和其他学科的关系，对它自身的发展，也是非常必要的。

“机械设备故障诊断学中几个问题的商讨”一文正是基于上述认识提出来的，它涉及对机械设备故障诊断学的理解，故障的类型和性质，故障诊断过程的基本环节和研究故障诊断问题的思路。虽然本文是以工艺过程工况监视与故障诊断为主，但可以从这一侧面来理解故障诊断的理论与方法。

1-1 机械设备故障诊断学中几个问题的商讨

黄 仁

“故障诊断”这个术语源于“医学诊断(Medical Diagnosis)”。其含义一般可从“医学诊断”这个术语来理解,然而其研究内容、范畴又不等同于医学诊断。“诊”是关于机械设备系统状态的辨识,它包括信号的选择和工况状态的分析;而“断”则是对机械设备系统功能“正常”和“不正常”进行判别,它包括确定不正常功能(故障)的性质、程度、部位及原因,并作出控制决策,或在故障出现之前作出预报。

研究时应注意两个领域的共性,又不能忽视两个领域的个性,这对机械设备系统故障诊断本身规律的认识和当前与今后的发展都是有利的。

这里所谓机械设备,就是英语中Machine,它包括机器、机构、机组及装备等⁽¹⁻³⁾。讨论范围则涉及机械设备及其生产过程。

本文旨在从机械设备系统分析出发,阐明故障的含义性质及类型,并从诊断过程基本步骤分析故障诊断的基本环节及其待研究的问题。为了说明问题方便,本文不拟讨论故障诊断学中所有的问题,而从在线监视与故障诊断这个主题进行讨论。

(一)机械设备故障的性质与类型

从系统分析的观点出发,机械设备故障诊断学可以理解为识别机械设备系统运行状态的科学。也就是说,从系统的外部信息特征判别系统的内部状态。从模式识别观点看,就是状态分类问题。它的最终目的是提高设备的利用率,提高设备运行的可靠性,防患于未然,并尽可能地提高设备效率。

基于上述观点,可以明确以下几个问题。

第一,所谓故障,应当指机械设备故障(Machine Fault或Machine Equipment Fault)或机械设备系统故障(Machine System Fault),而不仅仅是机械的故障(Mechanical Fault)。在现代机电结合的产品中,或机械设备运行系统中,有时是出自于某些机械零件(部件)原因,更多情况则是出自于机器整体(机械、电气及其控制系统)和工作条件不协调的原因。这点可以从上述故障诊断学的含义来理解。故障(Fault)可以包含两层意义:一是机器系统偏离正常功能(Malfunction)。它的形成原因往往是机器系统动态特性与工作条件不适应而产生的,通过参数调节又可以恢复到正常功能,它包括使系统处于规定的或最佳的运行状态。这种属于功能失常(失去正常工作状态)或者说失灵,是机械设备运行系统中大量出现的问题。二是机器系统(或机器局部的)功能失效(Failure)。它的形成原因多半是由于机器零部件(机械的、电气的)失效产生的。除非更换(或修复)产生故障原因的零部件外,无法使系统的功能恢复正常。如果只考虑第一种或第二种情况都

* 本项目为中国科学院科学基金资助项目。

是欠全面的。另一方面，故障的状态间相互有联系，上述两种情况，都可能导致机械设备系统的损坏(Breakdown)。即使不是现代化机电结合的设备(如数控机床，柔性制造系统等)，而是一般机械设备(如通用机床、鼓风机等)，特别是汽轮机等动力机械系统，都应立足于系统分析，不能只考虑某个零部件。如机床加工精度，汽轮机-鼓风机组的振动往往都不只是出自于某个零部件的原因。

第二，工况监视与故障诊断的关系。工况监视不能仅理解为在线检测，这是下面将要详细讨论的问题。工况监视的任务是使机械设备系统不偏离正常功能，并防止功能失效，在监视的基础上诊断。因此工况监视是故障诊断的基础^[4]。系统一旦偏离正常功能，必须进一步分析故障产生的原因，并采取相应的对策，包括更换机、电零部件，重新恢复系统的功能。工况监视与故障诊断不是等同的概念，而又统一于机械设备系统之中。有些课题规划中把工况监视归类于检测仪器仪表是不妥当的，其后果只是引导人们去进口仪器，而不是引导人们对工况监视与故障诊断本身规律性的研究。

第三，故障的概念不是一个孤立的事件，它与系统的性质，排除故障手段和故障造成的后果联系在一起。

首先，从系统的性质与规模和出现故障的环节在全系统中所处的地位来看，相同的故障事件可以有不同的理解。例如用单台机床加工时，刀具崩刃这一事件，构成该机床加工的故障，因为刀具崩刃了机床就不能继续加工(Failure)，只有更换一把刀具，机床加工的功能才能恢复。然而从一个工段或车间的生产系统来看，一台机床的某一刀具的崩刃，对工段或车间的生产系统的功能不会产生太大的影响，因更换一把刀具并非难事，故在以单机为主体的生产系统中，并不把刀具崩刃视为故障。而在无人操作的自动化生产系统中，刀具的崩刃可能导致整个系统停止运行，而构成系统的故障，这必须有适当的对策。又如一个控制器切换不灵，在单机生产时，可以很快修复，从而使系统的功能恢复正常，也构不成车间生产系统的故障。而在无人操作的生产系统中，一个控制器失灵，就意味着一台设备不能正常运转，而导致全生产系统功能不能实现，以致构成故障。如果是在导弹、火箭发射系统中，一个控制器失灵，甚至可以导致整个系统的毁坏。因此，同样是刀具崩刃，同样是控制器不灵这个事件，在不同的系统中所处的地位不同，有的构不成系统的故障，而有的可能是严重故障。可见不能孤立地从产生故障的零部件看问题，而应该从系统、排除手段和造成后果来考虑。

再从系统的动态过程来看，故障的性质又往往是变化的。仍以制造系统中刀具磨损为例，从一台机床系统来看，刀具磨损是渐进性的，刀具磨损愈大，刀具的切削性能降低，但在刀具磨损允许的范围内，因对加工质量没有产生影响，构不成故障。如果达到了刀具磨损限度而不换刀，由于切削力、切削温度、加工系统振动等一系列物理量的变化，使得加工的零件质量不能满足技术要求而成为废品，导致加工系统的功能失常，只有更换刀具，才能使系统功能恢复正常。如果刀具磨损超过磨损允许限度而不换刀，则导致加工系统功能失效。可见不能静止地看待某一故障现象，而应当看到它在系统中的发生与发展。这就进一步说明了工况监视的必要性。

第四，在全面地理解故障概念的基础上，便可以理解故障的类型。

从故障产生性质看，有间歇性故障和永久性故障。所谓间歇性故障，是指短期内可以

排除的故障；而永久性故障往往是由于某个关键零部件失效而产生的，只有更换(修复)这些零部件，系统的功能方能恢复正常。

从故障对系统功能的影响程度来看，有局部功能失效和全部功能失效的故障。全部功能失效往往需要整个系统停止运行和检修，局部功能失效只需局部设备停止运行或切换备用系统继续运行。

从故障产生的状况来看，有突发性故障和渐进性故障。突发性故障往往是由于系统参数突然变化，或者机器零部件的内在缺陷引起失效，而导致系统突发性故障产生。对于某些关键动力设备，往往设有保护机构或保护控制系统。渐进性故障一般是由于工作过程原因引起的而又无法避免的故障。如制造系统中的刀具磨损，机械设备运行中的零部件磨损等等。

上述故障分类是从不同的角度提出来的，在实际工程中，往往以综合的形式出现，并且各种形式故障还可以转化，并非静止不变。

产生上述故障的原因有两方面，一是出自于系统或机械设备结构、参数和工作条件上的原因，在运行中形成的。如磨损、腐蚀、不平衡、不对中、松动、堵塞、泄气和电气元件老化；二是出自于机械设备在制造过程中存在有导致形成故障的潜在缺陷。例如磨削烧伤在零件表面或表面层内部产生过回火层，其比容与材料基体组织不同，形成残余拉应力，从外观无法检查，也没有适用于无损检测磨削表面极薄层(0.01~0.02mm)的残余应力仪器。用x射线也不适用检测这种极薄层应力分布状态。在使用过程中，由于运行条件(温度、压力、磨损、润滑)和外载变化(特别是交变载荷)，使残余应力重新分布，在晶界或晶面间产生微观裂纹，并容易发展成为宏观裂纹，导致突发性事故，使机械设备局部或全部功能失效。由于上述原因使机械设备带有隐含故障，便影响机器运行的稳定性与可靠性。改进机械设备的结构设计，提高机器零件的加工质量(冷热加工)是提高机械设备稳定性与可靠性的重要措施，然而任何机械设备故障出现的可能性总是存在的。在航空工业中，飞机结构不知经过多少代的改进，制造过程中都经过严格检查或实验，然而飞机因机械故障而失事的事件，每年都有发生，因而实现机械系统的工况监视与故障诊断便成为现代工程系统中不可缺少的组成部分。随着机械设备向自动化、高速、重载的方向发展，它的地位就显得更加突出。

(二)机械设备故障诊断方法与诊断过程的主要环节

科学方法是在正确理论指导下研究问题、解决问题的手段和工具。正确的研究方法反映出对系统规律性的认识。科学工作者向来都很重视正确的研究方法。任何科学的发展，总是经历了一个从零星的、局部的、不系统的探讨，到大量的、整体的和系统研究的发展过程。机械设备故障诊断学的诊断方法也是如比。开始主要是根据检测方法分类，如振动分析法，噪声分析法，污染或残留物分析，x射线分析，超声波分析等^[6]。这些方法应用于工程实际，就发展了许多读数仪表。例如利用振动信号监视鼓风机转子的径向或轴向位移，在监视仪表中规定不超过某一门限值。仪表读数依赖于目测，即离不开人对过程的干预。这些方法目前仍有现实意义，已进口的化工生产系统的汽轮机、鼓风机组，不少还是

采用仪表监视。随着自动化生产系统的发展,故障诊断技术已发展到不依靠人而依靠计算机进行监视与控制时,依靠读数仪表和人工监视,往往不能满足要求了。人们开始了对机器系统运行过程的特性分析,根据动态过程的变化特性进行监视和诊断,这就需要用到信号分析、数学模型、信息论和模式识别、专家系统等人工智能科学手段,因而也就提出了按所采用的科学工具作为诊断分类依据的许多分类方法,如函数分析法,统计模型分析法,模式识别法,近邻分类法,模糊集类判别法等。这种分类方法比按检测方法分类已经大大跨前了一大步,它反映了人们对工况监视与故障诊断过程的认识进一步深化。它的缺点是仅仅代表了诊断过程某个环节所用到科学理论与工具,还不能反映诊断过程的本质。并且对于某一工程实际问题,也很难只用一种科学工具就可以解决问题,往往需要综合应用多种科学工具。各种方法相互联系、相互渗透。如模式识别方法,离不开特征分析,特征分析又离不开数学模型和信号检测。现代控制理论方法,系统辨识和信息论法,从某种方意义上讲,都是从信息与功能的角度去把握对象的客观实际的联系,用系统分析观点揭示局部与整体的关系,使人们透过现象不断对系统本质及其规律性加以认识。因此,最好是根据系统的本质,按诊断过程的基本环节来认识诊断方法,使人们可以根据诊断过程自身的规律,在不同的诊断环节中,灵活地、综合地应用现有的和未来的各种科学手段。

基于机械设备故障诊断是识别机器设备系统运行状态的理解,故障诊断过程,基本上可认为是模式识别过程,目的是解决状态分类问题。因此诊断过程的基本环节,可用图1.1.1概括为特征信号在线检测,特征分析(包括建立数学模型),特征量选择、状态分析和决策分类(包括正常与异常工况识别、故障原因分析和故障发展趋向预报)。

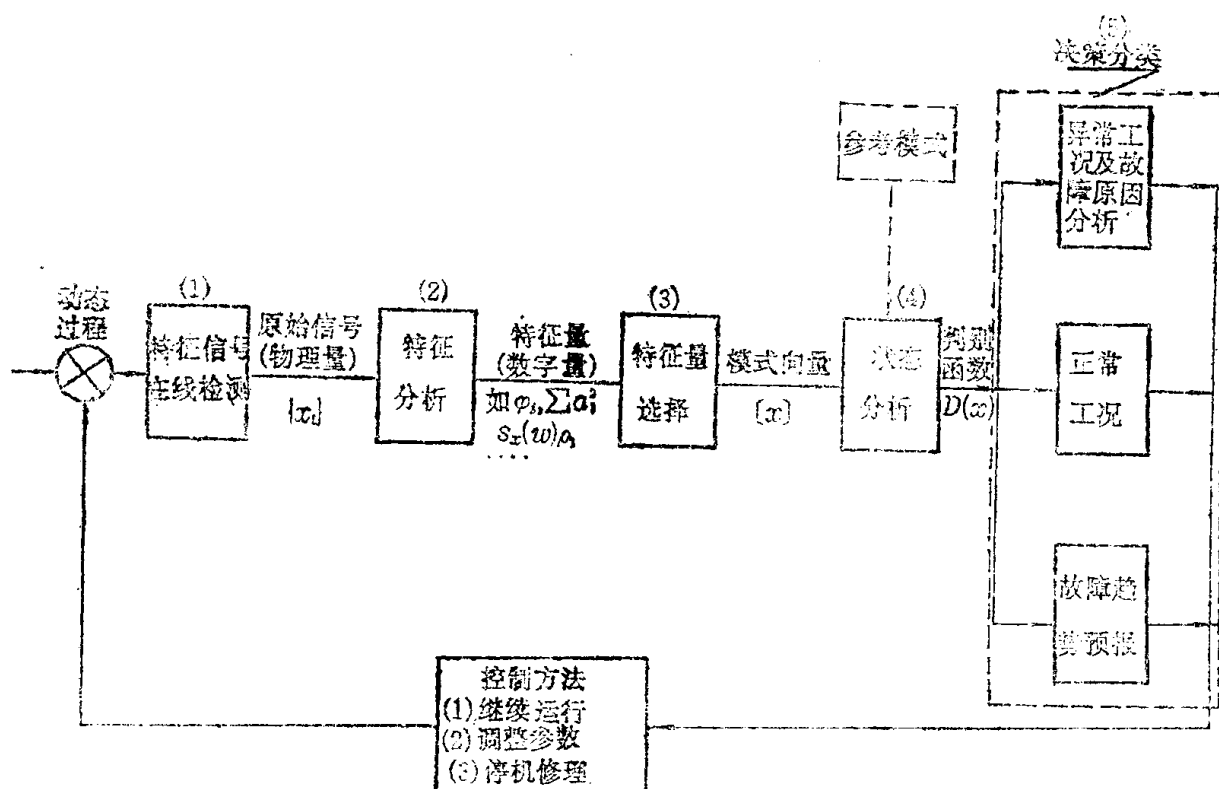


图1.1.1 机械设备工况监视与故障诊断过程的基本环节

1. 信号在线检测

信号检测必须满足两个要求，第一是要求在线检测，否则达不到工况监视与故障诊断的目的。离线检测(如在实验室进行)一般用于故障原因分析。传统的许多测试方法，在实验室条件下是可行的，这对研究系统的规律十分重要。而从工况监视与故障诊断而言，则要求在线进行，才能达到前述目的。例如测量温度的传统办法是采用热电偶，对于测量轴承温升，熔炼炉温度，这种方法仍然有实际意义，如果在生产条件下，测量刀具温度，磨削温度就不可能实现，不仅因为响应慢，并且任何零件上都不允许在它内部埋置热电偶。这时就需要用到光纤、红外等检测方法。第二是要求所选择信号能反映故障症状。但这并非易事，一个动态过程所包含的信息是十分丰富的。振动、力、力矩、功率、位移、温度都可以用作监视、诊断信号，但不是每一种信号都能反映故障症状，只能选择其中最敏感的作为特征信号，并且检测部位也要能敏感地反映故障特征信息的变化。由于机器的动态过程是随机过程，某种特征信号的形成不单纯是出于故障原因。例如振动是大部分动态过程可采用的信号源，但其原始信号很难直接用作工况监视和故障诊断。例如通过振动加速度监视刀具磨损。诚然刀具磨损的变化会导致加工系统振动参数的改变，但机床，刀具，工件系统刚度的变化也导致振动参数的改变，即检测信号是各种振动谐波信号综合的结果，这就是我们要进行特征分析与特征量选择的原因。

2. 特征分析

鉴于上述原因，需要将原始信号(物理量)转变为特征量(数字量)，实现信号分离，并满足于计算机辨识的需要。在特征分析之前，需将原始信号进行预处理，如滤波、平滑，找寻边界等。而特征分析，是将预处理的数据进行归纳，分析，它是去伪存真的过程。从模式识别的观点看，没有不能识别的状态，因为有了特征量，就可以构成模式空间。进行工况状态分类，这样做的话，模式空间维数可能很高，计算工作量很大，不能满足工况监视与故障诊断的要求。另一方面，有了特征量的分布规律，是否可以用某一特征量的门限值作为工况状态的判据，实践证明：用单一特征量的门限值作为判据，误判率总是很高，这是因为随机过程的特征量往往带有不确定性。因此特征量也不能太少。特征量分析的目的，是研究各种特征量与工况状态的关系，人们就可以主动地选择特征量。

特征分析的方法很多，一般信号处理，时间序列分析和统计分析方法都可应用。

3. 特征量的选择

在特征分析基础上，根据特征量与故障症状的关系，进一步选择特征量这是去粗取精的过程，是工况监视与故障诊断中重要的一环。因为用上述方法得到的特征量很多，它们与工况状态的相关程度，敏感性和规律性并不一样。在故障形成的不同阶段，其相关程度、敏感性和变化规律也往往不同，特征量选择的要求是选择在类间边界附近对工况状态相关性大，反映灵敏的特征量，用它作为模式向量，构成模式空间，并尽可能压缩模式空间维数，减少计算工作量，才能有效地实现工况监视并进行故障诊断。

4. 状态分析

状态分析是根据状态的类集性，找寻某种能进行分类的判别函数。例如距离函数、似然函数、势能函数等等。在许多情况下，用训练样本，自学习分类方法或其他人工智能方法是有效的。

5. 决策分类

有了判别函数之后,便可以对工况状态进行分类。如果工况正常,计算机发出指令,机器继续运行,一旦故障形成之后,计算机能分析故障程度、性质、部位和原因,对功能失常的故障,通过可调参数,使功能恢复正常。对于功能失效的故障,计算机发出指令,命令停机,以便更换故障零部件,或人工修复,使功能恢复正常。为了防患于未然,在故障形成之前,可以用时间序列分析、卡尔曼滤波或灰色控制系统方法对故障发展趋势进行预报,这是故障诊断技术中应该采用的积极手段,以便在故障形成之前,采用相应的对策,防止故障扩展。

现在我们虽然没有一个可以概括诊断过程中五个基本环节的科学方法,然而可以根据各个环节的目的和待研究的问题,综合地、灵活地应用现有的科学工具及今后科学发展的新成就为诊断科学服务。

应当注意的是:①上述五个基本环节是根据工况监视与故障诊断过程的基本步骤而言。设计一个监视、诊断系统时,往往根据离线分析特征量分布规律,选择合适的特征量,而在线监视、诊断系统就只需要根据原始检测信号,预处理后对已选定的特征量和判别函数进行计算,并作出决策分类;②上述五个基本环节是基于模式识别观点提出的,现在发展趋势是在此基础上应用专家系统的思路与方法,使判别功能具有更广的适用性。至于机器动态性能研究,模态分析,研究机器的薄弱环节,分析故障原因,一般在实验室条件进行,都属于故障诊断研究方法与研究内容,本文不拟详细讨论。

(三)机械设备故障诊断学中待研究的问题

机械设备故障诊断学是一门新发展的科学,各方面的问题都有待研究。分类例举,意义并不大,以下概括三方面的问题,目的在于阐明它与有关方面的关系和值得注意的问题。

1. 理论与方法的研究方面

前述诊断过程五个基本环节就是待研究的主要问题。应当注意的是在线检测方法,频谱分析,物理模型、数学模型、模式识别、模糊集类、专家系统,逻辑推断等等都是实现这五个基本环节时可能用到的科学工具。这些领域本身有它们各自的发展方向和研究内容。故障诊断学所要研究的问题,不仅仅是这些学科在故障诊断中的应用,或这些学科所提供的方法综合。因为机械设备故障诊断有其本身的个性,上述学科所提供的方法在故障诊断技术中并非简单的移植,而有很多问题尚待研究。例如数学模型在系统辨识、时间序列分析中都有专门论述,而在故障诊断中,如果研究对象是时变系统,就有必要研究实时建模各种算法。如果是缓变系统,就要注意隐含趋向性问题。又如模式识别中十分重视分类器的设计,而在故障诊断中则必须重视特征分析,只有找到各种特征量与工况状态的关系,压缩模式间维数,又反映故障特征,所设计分类器才有在生产条件下实现的可能。正常工况的参考模式可在生产条件下获得,而故障状态的参考模式,有时可通过实验得到,有时便很难得到,或不可能得到。

2. 典型机械设备故障诊断的研究方面

理论与方法的研究总是针对实际工程对象,然而实际的机械设备又都有其各自的个性特征。如旋转机械与往复机械,冶金工艺过程,各种机械设备系统的动态特性都有显著差别,它们的故障形式不同,诊断方法就有各自的特点,它与上述理论与方法的研究是个性与共性的关系。研究各种机械设备的诊断方法有助于一般理论与方面研究的发展,通过对各种机械设备或工艺过程诊断方法特性的认识也有助于使诊断过程方法简化,断别准确,文献^[4]在这方面已作了很多介绍。

3.故障原因分析方面

对于在线工况监视与故障诊断来说,故障原因的分析,目的在于使机械设备保持正常功能,防止故障的形成与发展。离线故障原因分析也十分重要,不仅有助于在线诊断决策的确定,并可为进一步改进机械设备提供依据。

(四) 结束语

机械设备故障诊断学正在我国迅速发展,对它的一些基本问题进行讨论有助于这门科学沿着正确的方向发展。例如制订研究规划时,就能把主要人力物力投入到主要的研究内容中去,促使学科的发展,加速我国四个现代化的实现。如把工况监视理解为在线检测,断屑状态监视理解为刀具断屑槽的研究,那就会忽视应该研究的主题。在线检测仪器和刀具断屑槽固然需要研究,毕竟在我国还有一定基础,而机器动态系统特征量分析及其物理意义、计算机识别与控制方法等问题有很多还是空白,有的也只刚起步,应当予以重视。

参考文献

- (1) H.W.Fowler et.al, The Concise Oxford Dictionary, Sixth Edifion, Oxford, 1976.
- (2) Paul Procter, Longman Dictionary of Contemporary English, The English Language Book Society and Longman, 1979.
- (3) 清华大学, 英汉技术词典, 国防工业出版社, 1978.
- (4) 杨叔子, 机械设备诊断学的探讨, 华中工学院学报, Vol.15, No.2, 1987.
- (5) R.A.Collacot, Mechanical Fault Diagnosis and Condition Monitoring, Champman and Hall, London, 1977.
- (6) 屈梁生等, 机械故障诊断学, 上海科学技术出版社, 1986.

二、理论与方法

机械设备工况监视与故障诊断是一门新发展的科学。随着现代科学技术的发展，应用的方法越来越多，本书基于从诊断过程基本上可以认为是模式识别过程的观点出发来讨论这个问题。在论文1-1所概述的工况监视与故障诊断过程五个环节中，特征分析是基础，它的实质是将动态过程的物理量转变为特征量的过程，数学模型、谱分析及其他信号处理方法都可以实现这种转换。在特征分析的基础上选择特征量，并进行状态分析，实现诊断决策。对于不同条件下故障症状规律和诊断方法，现在人们还缺乏系统的认识，为此本书首先综合地介绍有关建模方法、系统辨识、谱分析及模式识别等基本原理之后，根据我们现有研究成果介绍了几种方法，这当然仅仅是从一个侧面说明了工况监视与故障诊断的方法与手段。

2-1 时间序列分析与故障诊断

黄 仁

在工况监视与故障诊断系统中,特征分析和特征量选择是十分重要的环节。时间序列分析是一个重要的科学工具,它可以将原始信号转换成特征量,用以表示系统的特性及其变化规律。然而要正确运用这一科学工具,必须对它的本质有所认识。本文用通俗的语言阐述了时间序列分析模型的物理概念及其与故障诊断及工况监视的关系和应用方法。

(一)时间序列分析与系统辨识

所谓系统就是由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成并具有特定功能的整体。它的范围视研究的目的而定。如研究某台机床的动态性能,则机床便是一个系统;如果研究一个车间或一个工厂的生产过程,便可把车间或工厂看成一个系统。不论系统的大小如何,概括起来可以用图2.1.1来表示,任何动态系统或过程总是在一定的输入激励条件下产生输出响应,也就是说输出响应是系统行为的表现。传统的系统辨识法是已知系统的输入和输出,辨识系统的动态过程,然而在实际工作中,大量的问题对系统动态过程或输入都是难以确知的,例如:

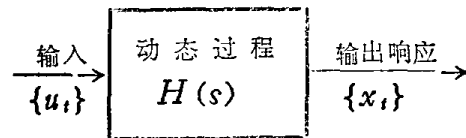


图2.1.1 系统的组成环节

(1) 系统的输入无法观测,如机床在实际工况下的自激振动和磨削温度系统的输入,就很难确知;

(2) 一个系统如果有多个观测数据序列,它们之间的因果关系不清楚,或者不完全清楚。如切削过程中的切削力,切削温度和刀具磨损间关系;

(3) 系统的输入和输出响应虽然确知,但系统受到的干扰(噪声)太多或者太大;

(4) 系统本身的物理性质不清楚,难以用微分方程或其他方法描述,如市场商品价格,报纸发行量,砂轮表面形貌的变化等等。

在处理这些情况时,即使有大量的观测数据(输出),也难以用传统的系统辨识方法建立符合实际工况的数学模型,而用时间序列分析便不存在这类问题。

时间序列分析的实质是对有序的随机数据(信号)处理的一种方法。一个随机过程,从它的数据序列本身,人们找不到它的规律性,必须通过某种科学工具进行处理后,才能找到它的规律。时间序列分析是对随机数据序列处理的工具之一,它的出发点是承认数据的有序性和相关性,通过数据内部的相互关系来辨识系统的变北规律。它的建模方法是把输入 u_i (图2.1.1)看成白噪声 a_i ,则

$$x_i = H(s)a_i \quad (2.1.1)$$

式中 $H(s)$ 为传递函数。如果输入 u_i 不是白噪声 a_i ,在很多情况上,可把 u_i 看成是某一成