



高等学校试用教材

工程机械 状态检测与故障诊断

陈新轩 许安 主编
易新乾 主审



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校试用教材

Gongcheng Jixie Zhuangtai Jiance Yu Guzhang Zhenduan

工程机械状态检测与故障诊断

陈新科 许 安 主编
易新乾 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材为面向 21 世纪交通版高等学校教材,全书系统地介绍了一般机械设备的故障检测方法 & 故障诊断的基本原理、技术及其应用,重点介绍了现代工程机械发动机与底盘、液压系统、电液控制系统的状态检测与故障诊断技术。

本教材注重理论联系实际,可作为高等院校相关专业研究生、本科生教材,也适用于工程机械行业的科研与生产单位的工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

工程机械状态检测与故障诊断 / 陈新轩,许安主编.

北京:人民交通出版社,2004.8

ISBN 7-114-05209-X

I.工... II.①陈...②许... III.①工程机械-检测②工程机械-故障诊断 IV.TU607

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 086326 号

书 名: 高等学校试用教材

工程机械状态检测与故障诊断

著 作 者: 陈新轩 许 安

责任编辑: 赵 蓬

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.cepress.com.cn>

销售电话: (010)85285656,85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 15

字 数: 363 千

版 次: 2004 年 8 月第 1 版

印 次: 2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05209-X

印 数: 0001—3500 册

定 价: 29.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

面向 21 世纪交通版

高等学校教材编写委员会

机械设计及其自动化专业(工程机械方向)

主任委员:冯忠绪(长安大学)

委 员 (以姓氏笔划为序):

马桂秋(辽宁省交通高等专科学校)

卢和铭(长沙交通学院)

刘晓婷(长安大学)

朱茂桃(江苏大学)

闫佐廷(辽宁省交通高等专科学校)

李自光(长沙交通学院)

张春阳(南京交通职业技术学校)

张小龙(西安建筑科技大学)

张海英(内蒙大学职业技术学院)

张福生(太原重型机械学院)

谷立臣(西安建筑科技大学)

单绍福(山东交通学院)

陈 勇(山东交通学院)

杨晓卫(江苏大学)

杨 平(福建省交通职业技术学院)

郭小宏(重庆交通学院)

徐格宁(太原重型机械学院)

曹源文(重庆交通学院)

崔崇学(内蒙大学职业技术学院)

焦生杰(长安大学)

秘 书:焦生杰(长安大学)

赵 蓬(人民交通出版社)

前 言

随着科学技术的飞速发展,现代工程机械和设备的结构越来越复杂,功能越来越完善,自动化程度也越来越高。由于许许多多无法避免的因素的影响,有时机械设备会出现各种各样的故障,以致降低或失去其预定的功能,甚至造成严重的以至灾难性的事故,造成机毁人亡,因而带来巨大的经济损失,产生严重的社会影响。因此保证机械设备的安全运行,消除事故,是十分迫切的问题。这就使工程机械的状态检测与故障诊断的重要性更加突现出来。

机械设备故障诊断技术就是监视设备的状态,判断其是否正常;预测和诊断设备的故障并消除故障;指导设备的管理和维修。因此机械设备故障诊断技术是保证机械设备安全运行,消除事故的关键技术和基本措施之一。该项技术是 20 世纪 80 年代得到迅速发展的一项新技术,广泛吸取现代科学技术的最新成就,它不但与诊断对象的性质和运行规律密切相关,而且广泛采用了现代数学、力学、物理、电子技术、信息技术、计算机技术等多方面的成果,是一门多学科交叉融合的新型学科,特别是人工智能的应用,智能化故障诊断技术的发展,更使状态检测与故障诊断技术面貌一新。

本教材是机械设计及理论专业(工程机械方向)的规划教材之一。共十一章,内容包括了一般机械的常规诊断、数学诊断、智能诊断等的原理和方法,重点介绍了现代工程机械发动机、底盘、液压系统、电控系统等状态检测和故障诊断技术。在编写过程中遵循的原则是:以理论知识为基础,强调理论结合实际,特别注重实用性;在注重介绍成熟技术的同时,吸取国内外近年来的最新研究成果;以开拓思想、掌握方法、启发思维能力与创造能力为目的;以教学为主,力求拓宽适用范围,对工程实际有一定的参考与指导价值。

鉴于各校对工程机械状态检测与故障诊断技术课程讲授的内容、侧重点、课时数等不同,本教材将相关的内容尽量全面编入,以便满足不同的授课计划对教材的需求,并可扩大学生自学的范围。各校在使用时可根据具体情况选择内容讲授。

本教材可作为机械设计及理论专业(工程机械方向)的研究生、本科生教材,也适用于工程机械行业的科研与生产单位的工程技术人员参考。

本教材由陈新轩、许安任主编,参加编写人员的分工为:第一章、第三章第五节、第五、七、八章由长安大学陈新轩编写,第二、六、十章由长安大学许安编写,第三章第一、二、三、四节、第四章由长安大学王海英编写,第九章由长安大学魏立基编写,第十一章由长安大学焦生杰编写,由陈新轩统稿。石家庄铁道学院易新乾教授对全书进行了审稿。

由于诸多因素,本教材中难免有错误和疏漏之处,欢迎广大读者提出宝贵意见,以利我们进一步完善。在编写过程中参阅了许多书籍和资料,在此我们对这些著作的作者表示衷心的感谢!

作 者

2004 年 1 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 机械设备故障诊断的意义、目的和任务	1
第二节 设备故障诊断技术的定义、内容和类型	4
第三节 机械设备故障诊断的基本方法	6
第四节 机械设备故障的信息获取和检测方法	7
第二章 振动诊断技术	11
第一节 概述	11
第二节 测振系统的组成和功用	13
第三节 振动检测、分析与处理系统	15
第四节 机械振动信号的分析	17
第五节 振动检测技术运用	20
第三章 故障诊断的数学方法	23
第一节 贝叶斯法	23
第二节 时间序列法	27
第三节 灰色系统法	31
第四节 模糊诊断法	32
第五节 故障树分析法	35
第四章 智能诊断	47
第一节 概述	47
第二节 故障诊断专家系统	50
第三节 故障诊断神经网络	54
第五章 油样分析	59
第一节 概述	59
第二节 光谱分析	60
第三节 铁谱分析	63
第四节 其他油液检测技术	67
第六章 工程机械的一般检测与诊断方法	70
第一节 工程机械的简易检测与诊断	70
第二节 噪声诊断技术	71
第三节 温度检测与诊断技术	74
第四节 无损探伤技术	76
第七章 工程机械发动机的诊断与检测	84
第一节 发动机功率的检测	85
第二节 气缸密封性的检测	89

第三节	柴油机燃油供给系的诊断与检测	93
第四节	发动机润滑系的诊断与检测	103
第五节	发动机冷却系统的诊断与检测	108
第六节	发动机异响的诊断与检测	111
第八章	工程机械底盘的诊断与检测	115
第一节	概述	115
第二节	传动系的检测与诊断	115
第三节	转向系的诊断与检测	126
第四节	制动系的诊断与检测	129
第九章	工程机械液压系统的诊断	133
第一节	液压系统检测与诊断的基本原理和方法	135
第二节	液压系统状态检测	138
第三节	典型液压系统的故障诊断与分析	141
第四节	液压系统故障分析实例	143
第十章	工程机械电气系统的检测与诊断	176
第一节	电气系统检测与诊断的基本步骤与方法	176
第二节	电气设备系统的检测与故障诊断	180
第十一章	典型工程机械电液系统分析与故障诊断	201
第一节	沥青混凝土摊铺机电液控制系统简介	201
第二节	行驶系统	202
第三节	供料系统	208
第四节	振动、振捣系统	211
第五节	熨平板提升系统	213
第六节	熨平板延伸	214
第七节	熨平板自动调平回路	217
第八节	液压与电路系统典型故障分析	221
参考文献		227

第一章 概 述

第一节 机械设备故障诊断的意义、目的和任务

一、机械设备故障诊断的意义

随着现代科学技术在设备上的应用,现代设备的结构越来越复杂,功能越来越齐全,自动化程度也越来越高。由于许多无法避免的因素影响,会导致设备出现各种故障,从而降低或失去预定的功能,甚至会造成严重的以至灾难性的事故。国内外接连发生的由设备故障引起的各种空难、海难、爆炸、断裂、倒塌、毁坏、泄漏等恶性事故,造成了极大的经济损失和人员伤亡。生产过程中经常发生的设备故障事故,也会使生产过程不能正常运行或机器设备遭受损坏而造成巨大的经济损失。因此保证设备的安全运行,消除事故,是十分迫切的问题。

现代设备运行的安全性与可靠性取决于两个方面,一是设备设计与制造的各项技术指标的实现;二是设备安装、运行、管理、维修和诊断措施的实施。现在设备诊断技术、修复技术和润滑技术已列为我国设备管理和维修工作的三项基础技术,成为推进设备管理现代化,保证设备安全可靠运行的重要手段。

故障诊断会带来重大的经济效益,这方面国内外已有许多报道:

(1)对生产单位,配置故障诊断系统能减少事故停机率,具有很高的收益/投资比。

美国帕克鲁(Perkul)发电厂诊断技术经济效益的计算方法可供参考。该厂装机容量为 $100 \times 10^4 \text{ kW}$,电费为 $0.015 \text{ 美元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$,年度值为 1 亿美元,事故停产损失为 15 万美元/天,该厂共有 50 个部位要监测,需投资 20 万美元。监测费用为 1.5 万美元/年。根据可靠性计算,整个系统每年可能有 14 次事故停机。决定采用诊断技术后有 50% 的事故能被检查出来,其中的 50% 是由诊断系统监测出来的,又有 20% 是假警报,每次事故停车平均要花 3 天时间检修。则该诊断系统能节约的费用 B 为:

$$\begin{aligned} B &= 0.5 \times 0.5 \times 14 \times 3 \times 15 \times (1 - 0.2) \\ &= 126 \text{ 万美元/年} \end{aligned}$$

诊断成本为:

$$\begin{aligned} A &= (20/10 \text{ 年折旧}) + 1.5 \\ &= 3.5 \text{ 万美元/年} \end{aligned}$$

则经济效益系数 C 为:

$$C = \frac{A}{B} = \frac{126}{3.5} = 36$$

由以上可见,故障诊断系统的收益甚至可达到投入的 36 倍

日本资料报道,实施故障诊断后,事故率可减少 75%,维修费用可降低 25% ~ 50%。英国报道,对 2000 个大型工厂调查表明,采用诊断技术后每年节省维修费用 3 亿英镑,而用于故障

诊断系统的成本为 0.5 亿英镑,收益为投入的 6 倍,净获益达 2.5 亿英镑/年。

(2)对生产单位,配置故障诊断系统能延长设备检修周期,缩短维修时间,为制定合理的检测维修制度提供基础,可极大地提高经济效益。

例如,石化系统的 $30 \times 10^4 \text{t}$ 合成氨厂,过去每年需大修一次,需时 45 天,检修费用占年产值 15%。采用故障诊断后改为三年内修二次,一次不到 30 天,检修费用降为年产值的 10%,经济效益十分显著。又如一个装机容量 $100 \times 10^4 \text{kW}$ 的电厂,每天发电 $2400 \times 10^4 \text{kW}$ 时,产值几百万元,如对各台机组都能延长维修周期,每年缩短检修时间以 10 天计,则带来的经济效益可达几千万元之巨。许多实例都说明实施故障诊断的经济效益是显著的。

(3)宏观上从全社会生产的角度看,花费的设备维修费用是一笔巨大的数目,而实施故障诊断带来的经济效益是巨大的。

例如美国 1980 年税收总额为 7500 亿美元,而花费在工业设备维修上的费用达到 2460 亿美元。根据专家分析,在这 2460 亿美元中,有将近 $1/3$,即 750 亿美元是浪费掉的,这是由于不恰当的维修方法,包括缺乏正确的状态监测和故障诊断所造成的。

我国的情况是,1987 年我国国营公交企业有 40 万个以上,总固定资产约 7000 亿元,每年用于设备大修、小修及处理故障的费用一般占固定资产原值的 $3\% \sim 5\%$ 。采用诊断技术改善设备维修方式和方法后,一年取得的经济效益达数百亿元。

从上面的分析可以看出,设备故障诊断技术在保证设备的安全可靠运行,以及获取很大的经济效益和社会效益上,其意义是十分明显的。

二、设备故障诊断的目的

设备故障诊断的目的是:

(1)能及时地、正确地对各种异常状态或故障状态做出诊断,预防或消除故障,对设备的运行进行必要的指导,提高设备运行的可靠性、安全性和有效性,以期把故障损失降低到最低水平。

(2)保证设备发挥最大的设计能力。制定合理的检测维修制度,以便在允许的条件下充分挖掘设备潜力,延长服役期限和使用寿命,降低设备全寿命周期费用。

(3)通过检测监视、故障分析、性能评估等,为设备结构改造、优化设计、合理制造及生产过程提供数据和信息。

总起来说,设备故障诊断既要保证设备的安全可靠运行,又要获取更大的经济效益和社会效益。

事实上,如果加强状态监测与故障诊断工作,有许多事故是可以防患于未然的。下面是一些事故增加的原因,也正是设备故障诊断所要解决的问题:

(1)现代生产设备向大型化、连续化、快速化、自动化方向发展,一方面在提高生产率、降低成本、节约能源和人力等方面带来很大好处;但另一方面,由于设备故障率增加和因设备故障停工而造成的损失却成十倍,甚至成百倍地增长,维修费用也大幅度增加。

(2)高新技术的采用对现代化设备,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,多年来航天、航空、核电站的多次事故更说明了进行故障诊断的迫切性。

(3)现有大量生产设备的老化要求加强安全监测和故障诊断。许多老设备、老机组,服役已接近其寿命期,进入“损耗故障期”,故障率增多,有的甚至超期服役,全部更新经济负担很

重,此时如有完善的故障诊断系统,将能延长设备的使用期。

(4)维修人员的高龄化和经验丰富的年轻设备维护人员的培养也是许多工业化国家所关心的问题。故障诊断专家系统将能部分地解决这一困难。利用人工智能理论和方法,将有经验的维护人员关于故障诊断的经验和知识加以系统化,形成故障诊断专家系统的知识库,将有利于故障知识的积累和扩大。

三、机械设备故障诊断的任务

设备故障诊断的任务是监视设备的状态,判断其是否正常;预测和诊断设备的故障并消除故障;指导设备的管理和维修。

1. 状态监测

状态监测的任务是了解和掌握设备的运行状态,包括采用各种检测、测量、监视、分析和判别方法,结合系统的历史和现状,考虑环境因素,对设备运行状态进行评估,判断其处于正常或非正常状态,并对状态进行显示和记录,对异常状态做出报警,以便运行人员及时加以处理,并为设备的故障分析、性能评估、合理使用和安全生产工作提供信息和准备基础数据。

通常设备的状态可分为正常状态、异常状态和故障状态几种情况。正常状态指设备的整体或其局部没有缺陷,或虽有缺陷但其性能仍在允许的限度以内。异常状态指缺陷已有一定程度的扩展,使设备状态信号发生一定程度的变化,设备性能已劣化,但仍能维持工作;此时应注意设备性能的发展趋势,即设备应在监护下运行。故障状态则是指设备性能指标已有大的下降,设备已不能维持正常工作。设备的故障状态尚有严重程度之分,包括已有故障萌生并有进一步发展趋势的早期故障;程度尚不很重,设备尚可勉强“带病”运行的一般功能性故障;已发展到设备不能运行必须停机的严重故障;已导致灾难性事故的破坏性故障,以及由于某种原因瞬间发生的突发性紧急故障等。对应不同的故障,应有相应的报警信号,一般用指示灯光的颜色表示,绿灯表示正常,黄灯表示预警,红灯表示报警。对设备状态演变的过程均应有记录,包括对灾难性破坏事故的状态信号的存储、记忆功能,以利事后分析事故原因。

2. 故障诊断

故障诊断的任务是根据状态监测所获得的信息,结合已知的结构特性和参数以及环境条件,结合该设备的运行历史(包括运行记录和曾发生的故障及维修记录等),对设备可能要发生的或已经发生的故障进行预报和分析、判断,确定故障的性质、类别、程度、原因、部位,指出故障发生和发展的趋势及其后果,提出控制故障继续发展和消除故障的调整、维修、治理的对策措施,并加以实施,最终使设备复原到正常状态。

设备上不同部位、不同类型的故障,将会引起设备功能的不同变化,导致设备整体及各部位状态和运行参数的不同变化。故障诊断的任务,就是当设备上某一部位出现某种故障时,要从这些状态及其参数的变化推断出导致这些变化的故障及其所在部位。由于状态参数的数量浩大,必须找出其中的特征信息,提取特征量,才便于对故障进行诊断。由某一故障引起的设备状态的变化称为故障的征兆。故障诊断的过程就是从已知征兆判定设备上存在的故障的类型及其所在部位的过程。因此,故障诊断的方法实质上是一种状态识别方法。

故障诊断的困难在于,故障和征兆之间通常不存在简单的一一对应的关系:一种故障可能对应多种征兆,而一种征兆也可能对应着多种故障。例如旋转机械转子的不平衡故障引起振

动增大,其中相应于转速的工频分量占主要成分,是其主要征兆,同时还存在一系列其他征兆。反过来工频分量占主要成分这一征兆不只是不平衡的独特征兆,还有许多其他故障也都对应这一征兆。这就为故障诊断增加了难度,因此通常故障诊断有一个反复试验的过程:先按已知信息提取征兆,进行诊断,得出初步结论,提出处理对策,对设备进行调整和试验,甚至停机维修,再启机进行验证,检查设备是否已恢复正常。如尚未恢复,则需补充新的信息,进行新一轮的诊断和提出处理对策,直至状态恢复正常。

3. 指导设备的管理维修

设备的管理和维修方法的发展经历了三个阶段,即早期的事后维修方式(Run - to - Breakdown Maintenance),发展到定期预防维修方式(Time - based Preventive Maintenance),现在正向视情维修(Condition - based Maintenance)发展。定期维修制度可以预防事故的发生,但可能出现过剩维修或不足维修的弊病,视情维修是一种更科学、更合理的维修方式,但要能做到视情维修,其条件是有赖于完善的状态监测和故障诊断技术的发展和实施,这也是国内外近年来对故障诊断技术如此重视的一个原因。随着我国故障诊断技术的进一步发展和实施,我国的设备管理、维修工作将上到一个新水平,我国工业生产设备完好率将会得到进一步提高,恶性事故将会进一步得到控制,我国的经济建设将会得到更健康的发展。

第二节 设备故障诊断技术的定义、内容和类型

一、设备故障诊断技术的定义

设备故障诊断技术就是在设备运行中或基本不拆卸设备的情况下,掌握设备运行状况,判定产生故障的部位和原因,以及预测预报设备状态的技术。包括三个方面的内容:其一是了解设备现状;其二是了解设备异常或故障特征;其三是预知或预测设备状态的发展。其中,预知是指对具体的对象和参数运用决策论方法做出判据;预测是指对不确定的对象运用概率和统计方法进行推测。

二、机械设备诊断技术的内容

设备故障诊断的内容包括状态监测、分析诊断和故障预测三个方面,其具体实施过程可以归纳为以下四个方面:

1. 信号采集 设备在运行过程中必然会有力、热、振动及能量等各种量的变化,由此会产生各种不同信息,根据不同的诊断需要,选择能表征设备工作状态的不同信号,如振动、压力、温度等,是十分必要的。这些信号一般是用不同的传感器来拾取的。

2. 信号处理 这是将采集到的信号进行分类处理、加工,获得能表征机器特征的过程,也称特征提取过程,如对振动信息从时域变换到频域进行频谱分析即是这个过程。

3. 状态识别 将经过信号处理获得的设备特征参数与规定的允许参数或判别参数进行比较、对比以确定设备所处的状态,是否存在故障及故障的类型和性质等,为此应正确制定相应的判别准则和诊断策略。

4. 诊断决策 根据对设备状态的判断,决定应采取的对策和措施,同时应根据当前信号预测及设备状态可能发展的趋势,进行趋势分析,上述诊断内容可用图 1-1 来表示。

三、机械设备诊断技术的分类

设备诊断技术的分类根据对象、目的等不同可以有各种分类方法。

(一)按诊断对象分类

1. 旋转机械诊断技术 如汽轮发电机组、燃气轮机组、压缩机组、水轮机组、风机及泵等；
2. 往复机械诊断技术 包括内燃机、往复式压缩机及泵等；

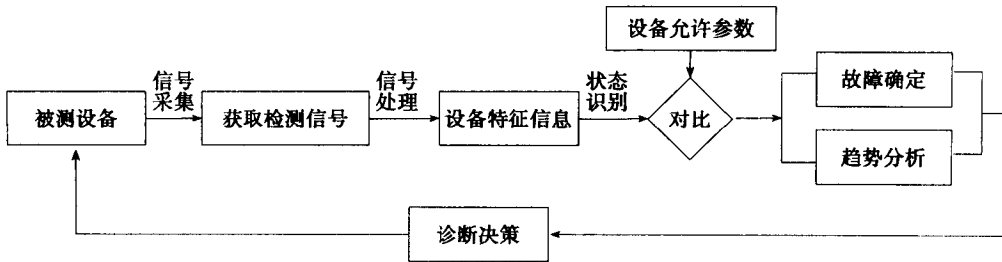


图 1-1 设备诊断过程框图

3. 工程结构诊断技术 如海洋平台、金属结构、框架、桥梁、容器等；
4. 运载器和装置诊断技术 如飞机、火箭、航天器、舰艇、火车、汽车、坦克、火炮、装甲车等；
5. 通信系统诊断技术 如雷达、电子工程等；
6. 工艺流程诊断技术 主要是生产流程、传送装置及冶金压延等设备。

(二)按诊断的目的和要求分类

1. 功能诊断与运行诊断 功能诊断是对新安装的机器设备或刚维修的设备检查其功能是否正常，并根据检查结果对机组进行调整，使设备处于最佳状态；而运行诊断是对正在运行的设备进行状态诊断，了解其故障的情况；其中也包括对设备的寿命进行评估。

2. 定期诊断和连续诊断 定期诊断是每隔一定时间对监测的设备进行测试和分析；连续诊断是利用现代测试手段对设备连续进行监控和诊断，究竟采用何种方式取决于设备的重要程度及事故影响程度等。

3. 直接诊断和间接诊断 直接诊断是直接根据主要零部件的信息确定设备状态，如主轴的裂纹、管道的壁厚等；当受到条件限制无法进行直接诊断时就采用间接诊断，间接诊断是利用二次诊断信息判断主要零部件的故障，多数二次诊断信息属于综合信息，如利用轴承的支承油压来判断两根转子对中状况等。

4. 常规工况与特殊工况诊断 大多数是在机器设备常规运行工况下进行监测和诊断的，有时为了分析机组故障，需要收集机组在启停时的信号，这时就需要在启动或停机的特殊工况下进行监测和诊断。

5. 在线诊断和离线诊断 在线诊断是指对于大型、重要的设备为了保证其安全和可靠运行需要对所监测的信号自动、连续、定时的进行采集与分析，对出现的故障及时做出诊断，离线诊断是通过磁带记录仪或数据采集器将现场的信号记录并储存起来，再在实验室进行回放分析，对于一般中小型设备往往采用离线诊断方式。

(三)按诊断方法的完善程度分类

1. 简易诊断 利用一般简易测量仪器对设备进行监测，根据测得的数据，分析设备的工作状态。如利用测振仪对机组轴承座进行测量，根据测得的振动值对机组故障进行判别或者应用便携式数据采集器将振动信号采集下来后再进行频谱分析用以诊断故障。

2.精密诊断技术 利用较完善的分析仪器或诊断装置,对设备故障进行诊断,这种装置配有较完善的分析、诊断软件。精密诊断技术一般用于大型、复杂的设备,如电站的大型汽轮发电机组、石油化工系统的关键压缩机组等。

第三节 机械设备故障诊断的基本方法

由于设备故障的复杂性和设备故障与征兆之间关系的复杂性,形成了设备故障诊断是一种探索性的过程这一特点。就设备故障诊断技术这一学科来说,重点不仅在于研究故障本身,而且在于研究故障诊断的方法。故障诊断过程由于其复杂性,不可能只采用单一的方法,而要采用多种方法,可以说,凡是对故障诊断能起作用的方法就要利用,必须从各种学科中广泛探求有利于故障诊断的原理、方法和手段,这就使得故障诊断技术呈现多学科交叉这一特点。

一、传统的故障诊断方法

首先是利用各种物理的和化学的原理和手段,通过伴随故障出现的各种物理和化学现象,直接检测故障。例如:可以利用振动、声、光、热、电、磁、射线、化学等多种手段,观测其变化规律和特征,用以直接检测和诊断故障。这种方法形象、快速、十分有效,但只能检测部分故障。

其次,利用故障所对应的征兆来诊断故障是最常用、最成熟的方法,以旋转式机械为例,振动及其频谱特性的征兆是最能反映故障特点、最有利于进行故障诊断的手段。为此,要深入研究各种故障的机理,研究各种故障所对应的征兆。在诊断过程中,首先分析设备运转中所获取的各种信号,提取信号中的各种特征信息,从中获取与故障相关的征兆,利用征兆进行故障诊断,由于故障与各种征兆间并不存在简单的一一对应的关系,因此利用征兆进行故障诊断往往是一个反复探索和求解的过程。

二、故障的智能诊断方法

在上述传统的诊断方法的基础上,将人工智能(Artificial Intelligence)的理论和方法用于故障诊断,发展智能化的诊断方法,是故障诊断的一条全新的途径,目前已广泛应用,成为设备故障诊断的主要方向。

人工智能的目的是使计算机去做原来只有人才能做的智能任务,包括推理、理解、规划、决策、抽象、学习等功能。专家系统(Expert System)是实现人工智能的重要形式,目前已广泛用于诊断、解释、设计、规划、决策等各个领域。现在国内外已发展了一系列用于设备故障诊断的专家系统,获得了很好的效果。

专家系统由知识库、推理机以及工作存储空间(包括数据库)组成。实际的专家系统还应有知识获取模块,知识库管理维护模块,解释模块,显示模块以及人机界面等。

专家系统的核心问题是知识的获取和知识的表示。知识获取是专家系统的“瓶颈”,合理的知识表示方法能合理地组织知识,提高专家系统的能力。为了使诊断专家系统拥有丰富的知识,必须进行大量的工作。要对设备的各种故障进行机理分析,可建立数学模型,进行理论分析;进行现场测试和模型试验;总结领域专家的诊断经验,整理成适合于计算机所能接受的形式化知识描述;研究计算机的知识自动获取的理论和方法。这些都是使专家系统有效工作所必需的。

三、故障诊断的数学方法

设备故障诊断技术作为一门学科,尚处在形成和发展之中,必须广泛利用各学科的最新科技成就,特别要借助各种有效的数学工具。这包括基于模式识别诊断方法,基于概率统计的诊断方法,基于模糊数学的诊断方法,基于可靠性分析和故障树分析的诊断方法,以及神经网络、小波变换、分形几何等新发展的数学分支在故障诊断中的应用等等。

第四节 机械设备故障的信息获取和检测方法

一、机械设备故障信息的获取方法

前面已经提到,要对设备故障进行诊断,首先应获取有关信息。信息是提供人们判断或识别状态的重要依据,是指某些事实和资料的集成。信号是信息的载体,因而设备故障诊断技术在一定意义上是属于信息技术的范畴。充分地检测足够量的能反映系统状态的信号对诊断来说是至关重要的。一个好的诊断系统首先应该能正确地、全面地获取监测和诊断所必需的全部信息。下面介绍信息获取的几种方法。

(一)直接观测法

应用这种方法对机器状态做出判断主要靠人的经验和感官,且限于能观测到的或接触到的机器零部件。这种方法可以获得第一手资料,更多的是用于静止的设备。在观测中有时使用了一些辅助的工具和仪器,如倾听机器内部声音的听棒,检查零件内孔有无表面缺陷的光学内窥镜,探查零件表面有无裂纹的磁性涂料及着色渗透剂等,来扩大和延伸人的观测能力。

(二)参数测定法

根据设备运动的各种参数的变化来获取故障信息是广泛应用的一种方法。因为机器运行时由于各部件的运行必然会有各种信息,这些信息参数可以是温度、压力、振动或噪声等,它们都能反映机器的工作状态。为了掌握机器运行的状态可以用一种或多种信号,如根据机器外壳温度的变化可以掌握其变形情况,根据轴瓦下部油压变化可以了解转子对中情况,又如分析油中金属碎屑情况可以了解轴瓦磨损程度等。在运转的设备中,振动是重要的信息来源,在振动信号中包含了各种丰富的故障信息。任何机器在运转时工作状态发生了变化,必然会从振动信号中反映出来。对旋转机械来说,目前在国内外应用最普遍的方法是利用振动信号对机器状态进行判别。从测试手段来看,利用振动信号进行测试也最方便、实用,要利用振动信号对故障进行判别,首先应从振动信号中提取有用的特征信息,即利用信号处理技术对振动信号进行处理。目前应用最广泛的处理方法是进行频谱分析,即从振动信号中的频率成分和分布情况来判断故障。

其他如噪声、温度、压力、变形、胀差、阻值等参数也是故障信息的重要来源。

(三)磨损残渣测定法

测定机器零部件如轴承、齿轮、活塞环等的磨损残渣在润滑油中的含量,也是一种有效的获取故障信息的方法。根据磨损残渣在润滑油中含量及颗粒分布可以掌握零件磨损情况,并可预防机器故障的发生。有关这方面的详细内容将在第五章中叙述。

(四)设备性能指标的测定

设备性能包括整机及零部件性能,通过测量机器性能及输入、输出量的变化信息来判断机器的工作状态也是一种重要方法。例如,柴油机耗油量与功率的变化,机床加工零件精度的变化,风机效率的变化等均包含着故障信息。

对机器零部件性能的测定,主要反映在强度方面,这对预测机器设备的可靠性,预报设备破坏性故障具有重要意义。

二、机械设备故障的检测方法

机器设备有各种类型,因而出现的故障类型也多种多样,不同的故障需要采用不同的方法来诊断。本节将对具体的各种故障应采用的方法及各种诊断方法的应用范围进行介绍。有关各种诊断方法的详细论述可参阅后面各章。

(一)振动和噪声的故障检测

这是大部分机器所共有的故障表现形式,一般采用以下方法进行诊断:

1. 振动法 对机器主要部位的振动值如位移、速度、加速度、转速及相位值等进行测定,与标准值进行比较,据此可以宏观地对机器的运行状况进行评定,这是最常用的方法;

2. 特征分析法 对测得的上述振动量在时域、频域、时-频域进行特征分析,用以确定机器各种故障的内容和性质;

3. 模态分析与参数识别法 利用测得的振动参数对机器零部件的模态参数进行识别,以确定故障的原因和部位;

4. 冲击能量与冲击脉冲测定法 利用共振解调技术测定滚动轴承的故障。

5. 声学法 对机器噪声的测量可以了解机器运行情况并寻找振动源。

(二)材料裂纹及缺陷损伤的故障检测

材料裂纹包括应力腐蚀裂纹及疲劳裂纹,一般可采用下述方法进行检测:

1. 超声波探伤法 该方法成本低,可测厚度大,速度快,对人体无害,主要用来检测平面型缺陷;

2. 射线探伤法 主要采用 X 和 γ 射线;该法主要用于展示体积型缺陷,适用于一切材料,测量成本较高,对人体有一定损害,使用时应注意;

3. 渗透探伤法 主要有荧光渗透与着色渗透两种,该法操作简单、成本低,应用范围广,可直观显示,但仅适用于有表面缺陷的损伤类型;

4. 磁粉探伤法 该法使用简便,较渗透探伤更灵敏,能探测近表面的缺陷,但仅适用于铁磁性材料;

5. 涡流探伤法 这种方法对封闭在材料表面下的缺陷有较高检测灵敏度,它属于电学测量方法,容易实现自动化和计算机处理;

6. 激光全息检测法 它是 20 世纪 60 年代发展起来的一种技术,可检测各种蜂窝结构、叠层结构、高压容器等;

7. 微波检测技术 它也是近几十年来发展起来的一种新技术,对非金属的贯穿能力远大于超声波方法,其特点是快速、简便,是一种非接触式的无损检测;

8. 声发射技术 它主要对大型构件结构的完整性进行监测和评价,对缺陷的增长可实行动态、实时监测且检测灵敏度高,目前在压力容器,核电站重点部位及放射性物质泄漏,输送管道焊接部位缺陷等方面的检测获得了广泛的应用。

(三)设备零部件材料的磨损及腐蚀故障检测

这类故障除采用上述无损检测中的超声探伤法外尚可应用下列方法:

1. 光纤内窥技术 它是利用特制的光纤内窥技术直接观测到材料表面磨损及腐蚀情况;
2. 油液分析技术 油液分析技术可分为两大类,一类是油液本身物理、化学性能分析;另一类是对油液中残渣的分析。具体的方法有光谱分析法与铁谱分析法。

(四)温度、压力、流量变化引起的故障检测

机器设备系统的有些故障往往反映在一些工艺参数,如温度、压力、流量的变化中。在温度测量中除常规使用的装在机器上的热电阻、热电偶等接触式测温仪外,目前在一些特殊场合使用的非接触式测温方法有红外测温仪和红外热像仪,它们都是依靠物体的热辐射进行测量的。

三、诊断参数的选择和判断标准

(一)诊断参数的选择

对机械进行状态检测,必须测出与机械状态有关的信息参数,然后与正常值、极限值进行比较,才能确定目前机械的状态。因此,检测的置信程度与参数选择、测量误差以及评价标准有密切关系。为了对机械进行准确、快速检测与诊断,其参数的选择是主要工作之一。由于诊断目的和对象不同,参数也可能是多种多样的。诊断参数是指为达到诊断目的而定的特征量。信息参数是表征检测对象状态的所有参数。选择诊断参数应遵循以下几个原则:

1. 诊断参数的多能性 一个参数的多能性应理解为它能全面地表征诊断对象状态的能力。机械中的一种劣化或故障可能引起很多状态参数的变化,而这些参数均可以作为诊断的信息参数,最终要从它们当中选出包含最多诊断信息、具有多性能的诊断参数。

2. 诊断参数的灵敏性 选取的参数在机械发生劣化或故障时随着劣化或故障趋势而变化,该参数的变化较其他参数更为明显。例如,发动机气缸活塞副磨损后,即使磨损比较严重,输出的参数中,功率下降只有 5%~7%,而压缩空气泄漏率可达 40%~50%,则选择后者为诊断参数更适宜。

3. 诊断参数应呈单值性 随着劣化或故障的发展,诊断参数的变化应该是单值递增或递减,即诊断参数值的大小与劣化或故障的严重程度有较确定的关系

4. 诊断参数的稳定性 在相同的测试条件下,所测得的诊断参数值离散度要小,即重复性好。

5. 诊断参数的物理意义 诊断参数应具有一定的物理意义,且能量化,即可以用数字表示且便于测量。

(二)诊断的周期

诊断工作伴随着机械的整个寿命周期。在使用阶段,根据机械的运行状况可对机械实行正常运行诊断和服务于维修的定期诊断。对定期诊断的机器,需要确定其诊断周期。

确定诊断周期时,最重要之点是对劣化速度进行充分的研究。测量周期一般根据机器两次故障之间的平均运行时间确定。为了获得理想的预测能力,在一个平均运行周期内至少应该测 5~6 次。还应指出,所能确定的测量周期毕竟只是基本测定周期,如果一旦发现测定数据出现加速变化趋势时,就应该缩短测定周期。例如,高速旋转零件变形后可能立即造成机械的故障,则需要实时监测。对于劣化速度缓慢的参数,例如磨损、疲劳等等,可以采用较长的检测周期。总而言之,检测周期必须充分反映机械劣化程度。

此外,根据当前的测定值和过去的测定值确定下一次检测时间的“适时检测”是比较好的方法。图 1-2 表示适时检测的实例。这种一方面进行劣化预测,同时定量地确定下次检测日

期的方法,是值得借鉴的。

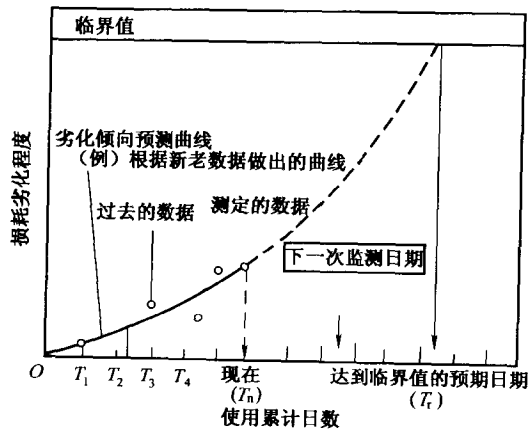


图 1-2 确定诊断日期实例

(三)诊断标准的确定

在测得检测参数后,就需要判断所测出的值是正常还是异常。其方法是将实测数据与标准值进行比较。判断标准共有三种,需按诊断对象来确定采用哪一种。

1.绝对判断标准 绝对判断标准是根据对某类机械长期使用、观察、维修与测试后的经验总结,并由企业、行业协会或国家颁布,作为标准供工程实践使用。和任何其他标准一样,诊断标准有其制定的前提条件和适用范围,使用时必须注意。

2.相对判断标准 相对判断标准是对机器的同一部位定期测定,并按时间先进行比较,以正常情况下的值为初始值,根据实测值与该值的比值来判断的方法。如果我们把新机械某点的初始振动值 a_0 的 n 倍(n 一般取 10)作为允许的极限值,当该点的振动值超过 na_0 时,即认为该机械已发生故障,需要立刻维修。图 1-3 表示在机械投入使用到大修之间允许幅值变化 10 倍为维修极限的判断标准。

3.类比判断标准 类比判断标准是指数台同样规格的机械在相同条件下运行时,通过对各台机械的同一部位进行测定并进行互相比较来掌握其劣化程度的方法。图 1-4 是这种标准的实例。

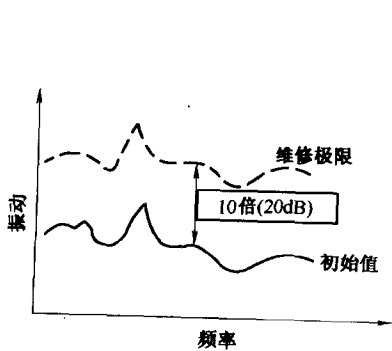


图 1-3 相对判断标准

诊断对象	与正常值(初始值)的比(倍数)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
旋转机构								
齿 轮								
滚动轴承 滑动轴承								
	良好		注意					危险

图 1-4 类比判断标准

从维修角度出发,最好是兼用绝对判断标准和相对标准,从两方面进行研究。