



普通高等教育规划教材

数控机床故障诊断

夏庆观 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

数控机床故障诊断

主编 夏庆观
参编 高 荣 任 皓
主审 汤文成



机械工业出版社

本书系统地介绍了数控机床故障诊断的基本原理、诊断技术和方法,全书分为8章。第1章介绍数控机床故障诊断的基本概念;第2章介绍信号的基本描述;第3章介绍故障诊断信号分析与处理技术基础;第4章介绍数控机床机械故障的诊断方法;第5章介绍数控机床故障的系统诊断,着重介绍数控系统的自诊断功能;第6章介绍数控机床辅助设备故障诊断;第7章介绍数控机床故障诊断技术的进展,分别介绍小波变换、模糊诊断、人工神经网络诊断和专家系统;第8章介绍制造系统的监测与故障诊断。

本书主要作为本科数控技术应用专业、机电一体化专业和相关专业的教材,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床故障诊断/夏庆观主编. —北京:机械工业出版社, 2004.7

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-14594-1

I. 数... I. 夏... III. 数控机床—故障诊断—高等学校—教材
IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第052299号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王小东、王玉鑫

责任编辑:冯春生 版式设计:冉晓华 责任校对:张媛

封面设计:陈沛 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年7月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/16·10.75印张·261千字

定价:15.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材 编审委员会名单

主任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
 陈力华 上海工程技术大学
 鲍 泓 北京联合大学
 王文斌 机械工业出版社

委员：（按姓氏笔画排序）

刘向东 华北航天工业学院
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）
童幸生 江汉大学

数控技术应用专业分委员会名单

主任：朱晓春 南京工程学院
副主任：赵先仲 华北航天工业学院
 龚仲华 常州工学院

委员：（按姓氏笔画排序）

卜云峰	淮阴工学院
汤以范	上海工程技术大学
朱志宏	福建工程学院
李洪智	黑龙江工程学院
吴 祥	盐城工学院
宋德玉	浙江科技学院
钱 平	上海应用技术学院
谢 骐	湖南工程学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名列世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证

学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色,强化应用

围绕培养目标,以工程应用为背景,通过理论与工程实际相结合,构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针:知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为:“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上,挑选出最基本的内容、方法及典型应用;“新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容,以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容,并将这些按新的教学系统重新组织;“广”指在保持本学科基本体系下,处理好与相邻以及交叉学科的关系;“用”指注重理论与实际融会贯通,特别是注入工程意识,包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点,合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课(专业基础课、专业课)教材的建设。并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设,力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者,确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验,又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务,以确保教材质量。

我们相信,本套系列教材的出版,对我国工程应用型人才培养质量的提高,必将产生积极作用,会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光,高瞻远瞩,及时提出并组织编写这套系列教材,他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作,并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件,在此深表衷心感谢!

编委会主任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

前 言

数控机床是综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量及现代机械制造技术等多种先进技术的机电一体化产品,数控机床故障诊断是数控机床生产和使用过程中重要的组成部分。本书编者参阅了大量的资料,结合多年来的实践和教学经验,系统地介绍数控机床故障诊断的技术和方法,内容涉及数控机床各个组成部分。

本书按数控机床故障诊断的技术体系划分章节,共分8章,学时安排为40左右。第1章介绍数控机床故障诊断的基本概念;第2章简要介绍信号的基本描述;第3章介绍故障诊断信号分析与处理技术基础;第4章介绍数控机床机械故障的诊断方法;第5章介绍数控机床故障的系统诊断,着重介绍数控系统的自诊断功能;第6章介绍数控机床辅助设备故障诊断;第7章简要介绍数控机床故障诊断技术的进展,分别介绍小波变换、模糊诊断、人工神经网络诊断和专家系统;第8章介绍制造系统的监测与故障诊断。

本书主要作为本科数控技术应用专业、机电一体化专业和相关专业的教材,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员参考书。

本书的第1章、第5章、第6章、第7章、第8章由夏庆观编写,第2章、第3章由高荣编写,第4章由任皓编写,夏庆观担任主编并对全书进行统稿。本书由东南大学汤文成教授担任主审,他对本书提出了许多宝贵的意见,在此表示感谢。

在编写过程中,编者参考了诸多论著和教材,在此对参考文献中的各位作者深表谢意。

限于编者的水平,本书中难免有错误和不妥之处,恳请读者不吝指正。

编者

目 录

序

前言

第 1 章 绪论 1

1.1 数控机床故障诊断研究的意义 1

1.2 数控机床故障诊断的特点 5

1.2.1 数控机床故障的特点 5

1.2.2 故障诊断技术的分类 6

1.2.3 故障诊断过程的基本环节 8

1.2.4 故障诊断技术的发展趋势 9

思考题 10

第 2 章 信号的基本描述 11

2.1 信号的描述 11

2.1.1 信号的分类 11

2.1.2 连续时间信号和离散时间信号 13

2.1.3 实信号和复信号 16

2.1.4 能量信号和功率信号 16

2.2 信号的常用数学变换 17

2.2.1 傅里叶变换 17

2.2.2 离散傅里叶变换 21

2.2.3 快速傅里叶变换 21

思考题 23

第 3 章 故障诊断信号分析与处理技术基础 24

3.1 信号的时域分析 24

3.1.1 幅值分析 24

3.1.2 随机信号分析 25

3.1.3 相关分析 28

3.1.4 互相关分析 29

3.2 信号的频域分析 30

3.2.1 幅度谱分析 30

3.2.2 功率谱分析 31

3.3 倒频谱分析 33

3.3.1 实倒频谱 33

3.3.2 复倒频谱 35

3.4 时间序列分析 35

思考题 36

第 4 章 数控机床机械故障诊断 37

4.1 数控机床机械故障诊断的实用诊断

方法 37

4.2 机械故障诊断技术 39

4.2.1 振动诊断技术 39

4.2.2 油样分析技术 44

4.2.3 无损检测技术 51

4.2.4 温度诊断技术 57

4.3 主要机械部件的故障诊断与维护 60

4.3.1 主轴部件的故障诊断与维护 60

4.3.2 滚珠丝杠螺母副的维护 64

4.3.3 导轨副的故障诊断与维护 65

4.3.4 刀库及换刀装置的故障诊断与维护 67

4.4 数控机床机械故障诊断实例 67

思考题 69

第 5 章 数控机床故障的系统诊断 70

5.1 数控系统自诊断 70

5.1.1 常用数控系统简介 70

5.1.2 数控系统的故障诊断 72

5.2 伺服系统的故障诊断 78

5.2.1 主轴伺服系统的故障分析 79

5.2.2 进给伺服系统的故障分析 84

思考题 104

第 6 章 数控机床辅助设备故障诊断 107

6.1 数控机床液压设备故障的诊断

方法 107

6.1.1 液压设备故障诊断参数	107	7.2.3 模糊故障诊断示例	134
6.1.2 液压元件的故障分析	110	7.3 数控机床故障诊断的神经网络诊断技术	137
6.1.3 液压系统的故障诊断	113	7.3.1 神经网络结构	137
6.2 数控机床气动设备故障的诊断方法	115	7.3.2 前馈神经网络	139
思考题	117	7.3.3 模糊神经网络故障诊断	142
第7章 数控机床故障诊断技术的进展	118	7.3.4 模糊神经网络故障诊断示例	143
7.1 数控机床故障诊断的小波分析技术	118	7.4 数控机床故障诊断的专家系统	144
7.1.1 概述	119	7.4.1 专家系统	144
7.1.2 小波变换故障诊断示例	122	7.4.2 神经网络与专家系统	146
7.2 数控机床故障诊断的模糊诊断技术	124	7.4.3 专家系统故障诊断示例	147
7.2.1 模糊集的概念	124	第8章 制造系统的监测与故障诊断	150
7.2.2 模糊故障诊断	133	8.1 系统构成	150
		8.2 系统运行实例	156
		参考文献	160

第1章 绪 论

随着计算机技术、自动控制技术、测试技术、信号分析、数据处理技术与相关学科的发展,为数控机床故障诊断技术开辟了应用前景。数控机床故障诊断是依据数控机床在运行过程中伴随故障必然产生的振动、噪声、温度、压力、力矩、电压、电流、功率等物理参数的变化,来判断和识别数控机床的工作状态。它的研究内容包括对数控机床运行现状的识别诊断、运行过程的监测以及对运行趋势的预测。应用故障诊断技术对数控机床进行监测和诊断,可以及时发现数控机床的故障,预防事故的发生。数控机床故障诊断的重要意义是改革了数控机床的维修制度,将数控机床的定期维修变为预知维修,从而提高数控机床的使用率,增加经济效益。

在20世纪60年代末至70年代初,美国、英国和日本等国家着手设备故障诊断技术的研究,我国从20世纪80年代开始研究设备故障诊断技术。近20年来,设备故障诊断技术已逐步形成为一门综合性工程学科。

1.1 数控机床故障诊断研究的意义

1. 数控机床故障的含义 数控机床故障(Fault)是指数控机床丧失了达到自身应有功能的某种状态,它包含两层含义:一是数控机床功能降低,但是没有完全丧失功能,产生故障的原因可能是自然寿命、工作环境的影响、性能参数的变化、误操作等因素;二是故障加剧,数控机床已不能保证其基本功能,这称为失效(Failure)。在数控机床中,个别零件失效不至于影响整机的功能,关键零件失效会导致整机丧失功能。

数控机床故障诊断的目的是预防数控机床故障的发生,提高数控机床的可靠性和安全性。这需要了解数控机床各类故障产生的原因,对失效的零部件的工作状态进行全面的分析和研究,即失效分析。清楚了失效的原因,才能排除故障,预防故障的再发生,因此数控机床故障诊断包括失效分析。

2. 可靠性、维修性与故障诊断的关系 发挥数控机床的效率就是要求机床开动率高,这对数控机床提出了可靠性的要求。衡量可靠性的主要指标是平均无故障工作时间 $MTBF$ (Mean Time Between Failures)

$$MTBF = \frac{\text{总工作时间}}{\text{总故障次数}}$$

平均无故障工作时间是指设备在一个比较长的使用过程中,两次故障间隔的平均时间。当数控机床发生了故障,需要及时排除。排除故障直到数控机床能正常使用所需要的时间称为平均修复时间 $MTTR$ (Mean Time To Repair),它反映了数控机床的可维修性。

衡量数控机床的可靠性和可维修性的指标是平均有效度 A

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

平均有效度是指可维修的数控机床或设备在某一段时间内维持其性能的概率,是小于1的数。数控机床故障的平均修复时间越短,则 A 越接近1,那么数控机床的使用性能就越好。数控机床的可维修性是数控机床的固有特性,取决于数控机床的合理设计。

3. 故障的分类 数控机床和数控加工设备是高度自动化、高度集成的系统。其加工条件、类型及工件等因素复杂多变,所以故障种类多、随意性大。数控机床和数控加工设备故障有多种分类,分类的目的是从数控机床故障不同的侧面对故障进行分析和研究。数控机床和数控加工设备故障可以按故障形成的原因、故障的程度、故障形成的速度、故障发生的频率和故障造成的后果进行分类。

(1) 按形成原因分类的故障有内在薄弱性故障、磨损性故障和错用性故障。

1) 内在薄弱性故障是指由于设计、制造和装配不当,机床存在某些薄弱环节所造成的故障。

2) 磨损性故障是指数控机床或数控加工设备在使用过程中,因正常磨损而引发的故障,这类故障反映了机床的寿命。

3) 错用性故障是指由于管理或操作失误而造成的故障。

(2) 按程度分类的故障有局部性故障和整机性故障。

1) 局部性故障是指数控机床或数控加工设备某部分丧失功能,但不影响整机的功能。

2) 整机性故障是指数控机床或数控加工设备某部分丧失功能,造成了整机功能无法实现。

(3) 按形成速度分类的故障有逐渐性故障、急剧性故障和突发性故障。

1) 逐渐性故障是指数控机床或数控加工设备的零部件功能指标逐渐恶化,但可以继续运行。

2) 急剧性故障是指数控机床或数控加工设备的零部件功能指标急剧恶化,不能继续运行。

3) 突发性故障是指无征兆、难预测的故障。

(4) 按发生频率分类的故障有偶发性故障和多发性故障。

1) 偶发性故障是指故障发生的频率较低。

2) 多发性故障是指经常发生的故障。

(5) 按造成后果分类的故障有一般性故障、严重故障和恶性故障。

1) 一般性故障是指数控机床或数控加工设备的某些零部件的功能降低,影响了整机的运行。

2) 严重故障是指数控机床或数控加工设备的某些零部件丧失功能,造成停机。

3) 恶性故障是指数控机床或数控加工设备遭受严重损伤,甚至危及人身安全。

4. 故障模式与故障机理 故障模式是指故障发生时的具体表现形式或现象的一种表征。如磨损、振动、变形、松弛、龟裂、破损、泄漏、堵塞、发热、脱落、短路、断路等。一般来讲,某种功能故障的发生往往是由多种故障模式中的一种或数种造成的。例如,放大器无输出的故障可能对应于短路故障、断路故障或两者都有。短路或断路的位置可以是输入端、输出端或放大器本身。因此,确定了故障模式,并不等于找到了故障部位,要证实故障的实际部位,还需要进行故障的查找与分离。

所谓故障机理是指诱发零件、部件、设备、系统发生故障的物理、化学过程,或者说是形成故障源的原因。故障机理因产品的种类、使用环境而异,通常以磨损、疲劳、腐蚀、氧

化、老化、衰退等形式表现出来。在实际应用中，故障模式和故障机理之间的区别，有时不易区分。一般来讲，故障机理往往因系统的结构和元器件材料的不同而异，有的是由最基本的形态来表达，有些与设计、制造、使用等阶段联系起来，其分类显得比较详细、具体。故障模式并不揭示故障的实质原因，只有通过故障机理的研究，才有可能从根本上找到提高系统可靠性的有效方法。在研究故障机理时，要考察三个基本要素：对象、原因、结果。

对象是指发生故障的本体，其内部状态与结构对故障的抑制或诱发起到根本的作用。例如，设备或系统的功能、特性、强度、内部应力、内部缺陷、设计方法、安全系数、使用条件等。

原因是指引起设备或系统发生故障的破坏因素，如工作应力（电流、电压、辐射能等）、环境应力（温度、湿度、放射线等）、人为的失误（误操作、装配错误等）和时间因素（时间变化、负荷周期等）等故障诱因。

结果是指输出异常状态或故障模式等。对象的状态超过某种界限，就会输出故障。因此，故障机理可以写成

对象（状态、内因）+ 原因（外因、诱因）→ 结果（输出故障）

故障模式反映故障机理的差别，故障模式相同，其故障机理不一定相同。同一个故障机理，可能出现不同的故障模式。一般来讲，零部件发生最基本的故障机理有蠕变或应力断裂（Stress）、腐蚀（Corrosion）、磨损（Wear）、冲击断裂（Impact）、疲劳（Fatigue）和热（Temperature）等六类，简称 SCWIFT 分类，其中磨损所占比例最大。图 1-1 表示了故障机理的输入应力和作为输出的故障模式之间的关系。

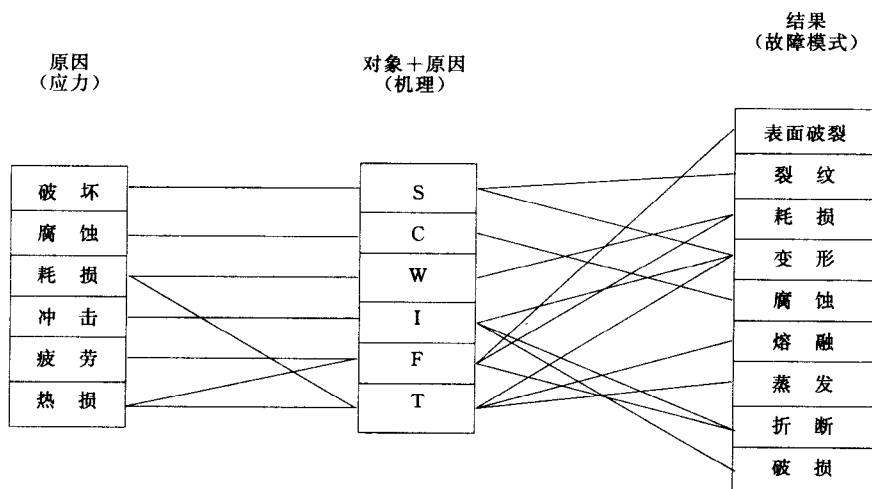


图 1-1 故障机理与故障模式

现代制造系统是一个具有多层次结构的复杂系统，它可以分为系统级、子系统级、功能模块级、零部件级等多个层次，故障是在某一个层次上发生。系统级故障对应于系统的功能失调或破坏，一定层次的子系统故障对应于该子系统的功能失调或破坏，零部件级故障为最深层次的故障。对于某一指定层次的子系统产生故障的原因有以下几个方面：

- 1) 与该子系统相关的下一层次的子系统发生故障。
- 2) 与该子系统相关的同一层次的子系统发生故障。

3) 该子系统与其他相关子系统之间的联系或该子系统内部各子系统之间的联系失调。

4) 由于外部因素,使得系统的工作条件被破坏。

对某一层次的某子系统来说,它的一个故障对应于系统固有特性的一种不允许的劣化,这种劣化通常是在外界作用下引起的。当外界输入异常时,将导致该系统的功能失调,即产生故障,这是故障的产生机理。

5. 故障模型 所谓模型是指用图形、符号、数学表达式、表格等表现主题,故障模型表现的主题是故障。把与设备或系统的故障机理相关的环境条件、外部应力、信息流、人的行为等事件,用图形、符号、数学表达式、表格等加以表现,就称为故障模型。常见的故障模型有故障树形图模型、流程图模型和逻辑图模型。

1) 故障树形图模型是把系统、子系统、设备、零部件、人的因素等与功能联系起来,制成分层次的功能图,用以考察故障的图形模式。串联模型、并联模型和故障树形图等属于这一类。故障树形图如图 1-2 所示。

2) 流程图模型。信息流程图、坐标图、矢线图等都可以作为流程图模型。信息流程图如图 1-3 所示,矢线图如图 1-4 所示。

3) 逻辑图模型。逻辑图、阀体图、直线图属于这一类。逻辑图如图 1-5 所示。

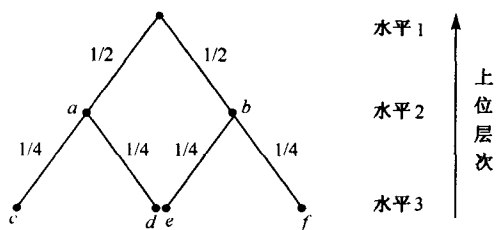


图 1-2 故障树形图



图 1-3 信息流程图

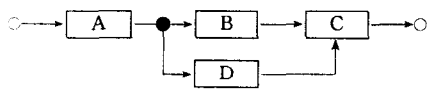


图 1-4 矢线图

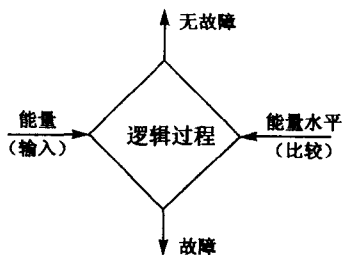


图 1-5 逻辑图

另外,二元表、多元表、真值表、真积表等属于表示模型,都可以用于表示故障模型。

6. 数控机床故障诊断的意义 人们对数控机床故障缺乏认识之前,根据经验或参考其他设备的维修和保养规定,对数控机床采用定期预防维修(Time Based Maintenance)。定期预防维修方式是对数控机床设定维修周期,到了维修时间,不论数控机床或数控设备有无故障,都要停机检修。不在维修期间,数控机床或设备只要没有严重故障,仍然在运行。定期预防维修方式无疑优于数控机床损坏或无法使用时才进行的事后维修(Breakdown Maintenance),它可以及时排除数控机床的某些故障,对数控机床的安全使用起到积极的作用。定期预防维修的缺点是正在运行着无故障的机床可能会被人为停机检修造成过剩维修。机床有故障而没

有停机维修, 会使故障恶化, 使得在停机维修期间的维修难度增加, 维修时间增长, 这两方面都会降低数控机床的使用率。另外, 定期预防维修无法预防各种随机因素所引起的故障。1980 年, 美国全年税收为 7500 亿美元, 全年工业维修费达 2460 亿美元, 其中过剩维修和失修而浪费的资金约为 750 亿美元, 占总维修费用的 30%。显然, 定期预防维修不是理想的维修制度。

状态维修 (Condition Maintenance) 或预知维修 (Predictive Maintenance) 是使用监测诊断仪器或设备对数控机床和加工设备进行在线诊断, 预报数控机床的工作状态和故障隐患, 确定数控机床维修工作的时间和内容。这种方式可以避免定期预防维修制度中因过剩维修造成的材料消耗、维修费用增加以及停产减效, 还可以减少因维修安排不当造成的过失维修。

国外的一些资料表明, 采用故障诊断技术所产生的经济效益是明显的。英国对 2000 个工厂进行了调查, 调查结果表明, 采用设备诊断后维修费用每年节约 3 亿英镑, 除去诊断技术费用 0.5 亿英镑, 净获利 2.5 亿英镑。美国 Pekrul 电厂投入 20 万美元的设备诊断费用, 年获利达 126 万美元。日本新日铁八幡厂热轧车间在采用诊断技术的第一年, 带钢卷取机的事故由原来 29 次/年减为 8 次/年。

国内情况是: 化工系统的 30 万吨合成氨厂以前每年大修一次需要 45 天, 检修费占年产值 15%, 采用诊断技术后改为三年内检修二次, 一次不到 30 天, 检修费占年产值 10%; 铁路系统采用设备诊断技术后, 1986 年与 1979 年相比燃轴事故减少 14 倍, 相当于增加运输年收入 20000 多万元。

经济效益的评估是一个复杂的问题, 较一致的看法是经济效益主要表现在减少事故、降低维修费用、减少维修时间、增加运行时间。从维修制度改革的角度来看故障诊断, 会对它所产生的经济效益和重要性有更深刻的理解。

1.2 数控机床故障诊断的特点

1.2.1 数控机床故障的特点

数控机床一般由计算机数控 (CNC) 装置、输入/输出 (I/O) 装置、伺服驱动系统、机床电器逻辑控制装置、机床等组成。数控机床的各部分之间有着密切的联系。数控装置将数控加工程序信息按两类控制量分别输出: 一类是连续控制量, 送往伺服驱动系统; 另一类是离散的开关控制量, 送往机床电器和逻辑控制装置。伺服驱动系统位于数控装置与机床之间, 它通过电信号与数控装置连接, 通过伺服电动机、检测元件与机床的传动部件连接。机床电器、逻辑控制装置的形式可以是继电器控制线路或者是可编程控制器 (PLC) 控制线路, 它接受数控装置发出的开关命令, 主要完成主轴起停、工件装夹、工作台交换、换刀、冷却、液压、气动和润滑系统及其他机床辅助功能的控制。另外要将主轴起停结束、工件夹紧、工作台交换结束、换刀到位等信号送回数控装置。数控机床的复杂性使其故障具有复杂性、特殊性和多层次性。数控机床故障与现象一般没有一一对应的关系, 有些故障的现象是机械方面的, 但是引起故障的因素是电气方面的; 有些故障的现象是电气方面的, 然而引起故障的因素是机械方面的; 有些故障是电气方面和机械方面共同引起的。在进行数控机床故障的诊断时, 要重视机床各部分的连接点。

故障诊断有两个方面的含义:一是查明导致设备或系统发生故障的子系统或相关的联系;二是找到使这些子系统或相关联系处于故障状态的初始原因。故障诊断的过程可以认为是模式识别的过程,因为不同的状态可以认为是不同的模式,而状态识别被认为是模式识别。系统的诊断内容和过程可以简单地表述如下:

(1) 在设备或系统合适的部位,采用合适的检测方式,检测与设备或系统状态有关的特征信号。特征信号一般有两种表现形式:一种是以能量方式表现出来的特征信号,如振动、噪声、压力、温度、电流、电压等;另一种是以物理形态表现出来的特征信号,如气体、液体、烟雾等。

(2) 采取合适的征兆提取方法,从特征信号中提取与设备或系统有关的状态和征兆。对于物理形态的特征信号,一般通过特定的物理或化学方法,得到诸如铁谱、光谱、浓度以及化学成分等图形形式或参数形式的征兆。

(3) 采用合适的状态识别方法,根据征兆和其他诊断信息(如历史档案、环境因素等)进行推理,识别出设备或系统的有关状态。如果这些状态为异常,则需要故障诊断。

(4) 采用合适的状态趋势分析法,依照征兆与状态进行推理,识别出有关状态的发展趋势,这称为故障预测。

(5) 采用合适的决策方法,根据有关状态趋势及故障初始原因形成正确的决策。

1.2.2 故障诊断技术的分类

各类数控机床和数控加工设备的运行状况是千差万别的,工作环境又各不相同,因此数控机床或数控加工设备的故障诊断技术的分类比较多。一般可以按诊断形式、监测和诊断信息、诊断对象分类。

1. 根据诊断形式分类 根据诊断形式可以分为四种类型,即定期诊断和连续诊断、直接诊断和间接诊断、功能诊断和运行诊断、在线诊断和离线诊断。

(1) 定期诊断是每隔一定的时间对服役的机床和加工设备进行一次常规检查和诊断。连续诊断是利用检测设备或仪器对运行的机床或加工设备的工作状态进行连续的检测和监控。对于重要的或一旦发生故障将引起严重影响的机床和加工设备,适合采用连续诊断。

(2) 直接诊断是根据机床或加工设备的零部件的运行状态的信息来确定设备所处的工作状态。间接诊断是通过机床或加工设备运行中的二次信息来间接判断设备的工作状况。例如,通过测量流过主轴的润滑油的油温来判断主轴轴承的运行状态等。

(3) 功能诊断是检测机床或加工设备的功能是否正常。运行诊断是对机床或加工设备的运行状态进行监控,这是对机床或加工设备可能发生的故障以及故障发展趋势进行早期诊断。

(4) 在线诊断(On Line)是对正在运行的机床或加工设备进行实时监测或诊断。离线(Off Line)诊断是通过现场机床或加工设备所测量、记录或保留的工作状态信息,结合设备的技术档案及相关信息,作分析和诊断,判断加工设备的故障部位或故障发展趋势。

2. 根据监测和诊断信息分类 根据监测和诊断的不同信息,利用振动声学、热学、光学、力学、电学等理论以及现代检测技术,形成声振诊断、无损诊断、污染诊断、电气诊断、交叉诊断、压力强度诊断和温度诊断等多种诊断技术。

(1) 声振诊断是利用测量振动和噪声来识别加工设备故障的方法。机械振动反映了加工设备的机械特性和工作状况,其包含了较丰富的故障信息。

(2) 无损诊断是利用无损探测技术,检测加工设备主要零部件可能产生的裂纹、腐蚀、机械性能超差、损坏等变化,并根据这些变化的种类、大小、部位、应力水平、应力方向等信息,预测损伤和缺陷的发展趋势。无损诊断有光学检测诊断、射线探伤诊断、超声探伤诊断、磁性探测诊断、涡流探测诊断、声发射诊断等。

(3) 污染诊断是对加工设备在工作过程中或故障形成过程中所产生的固体、液体和气体污染物进行监测,并根据检测参数的变化来判断故障的发展趋势。污染诊断有油液污染监测诊断、气体污染监测诊断等。

(4) 数控加工设备一般都配备较复杂的电气系统。电气诊断是对电气系统的工作状态进行监测,根据电气系统各部分的工作状态和参数(电流、电压、功率)的变化来判断形成故障的原因。

(5) 数控加工设备是一个复杂的系统,其故障具有复杂性、特殊性。数控加工设备故障的产生或发展会通过一些现象反映出来,但是故障和现象不一定有一一对应的关系。对故障现象可能反映的故障进行交叉判断,判别故障的部位和原因,这称为交叉诊断,也称为综合诊断。

另外,根据压力(油压、气压等)、强度(应力、扭矩等)、温度等参数可分为压力强度诊断、温度诊断等。

3. 根据诊断对象分类 数控机床主要由控制系统、机械系统和辅助系统组成。根据诊断对象可以分为控制系统诊断、机械系统诊断和辅助系统诊断。

(1) 控制系统诊断主要有计算机数控装置、伺服系统和电气装置,每个部分有不同的职能和软、硬件结构。控制系统有着监控和诊断功能,其内容包括自诊断和人工智能诊断。自诊断是在控制系统设计之初就从硬件和软件两方面作了严谨的考虑。人工智能诊断是根据控制系统与机械系统、辅助系统协调工作来确定的。

数控机床故障自诊断是数控机床重要的功能,当数控机床发生了故障,借助数控系统的自诊断功能,可以较方便地查寻原因和判断故障部位。自诊断功能一般分为启动自诊断、在线自诊断和离线诊断。

1) 启动自诊断是指当数控装置通电后,系统自诊断软件对数控装置中关键的硬件和控制软件,如中央处理器(CPU)、随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)等芯片,手动数据输入(MDI)、阴极射线管显示器(CRT)、输入输出等模块、系统软件、监控软件等逐一进行检测,并将检测结果在显示器上显示出来。一旦检测通不过,即在显示器上显示报警信息或报警号,指示故障部位。当全部诊断项目都正常通过后,系统才能进入正常运行准备状态。

2) 在线自诊断是数控系统正常工作时,数控装置运行内部诊断程序对系统本身、伺服驱动单元、可编程序控制器以及与数控装置相连接的其他外部装置进行自动检测,显示有关状态信息和故障信息。

数控系统具有丰富的在线自诊断功能,它不仅能在显示器上显示故障报警信息,而且还能以多页的“诊断地址”和“诊断数据”的形式为用户提供各种机床状态信息。这些状态信息有数控装置与机床之间的输入输出接口信号状态、数控装置与PLC之间输入输出接口信号状态、PLC与机床之间输入输出接口信号状态、各坐标轴位置的偏差值、刀具相距机床参考点的距离、数控装置内部各存储器的状态信息、伺服系统的状态信息、MDI面板和机床操作面板的状态信息等。充分利用数控系统提供的这些状态信息,能较准确地查明和排除故障。