



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 数控机床 故障诊断技术

第二版

王贵成 主编

裴宏杰 沈春根 副主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 数控机床故障诊断技术

第二版

王贵成 主 编  
裴宏杰 沈春根 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以系统讲述数控机床结构及原理为基础,以阐明数控技术的基础理论和基本知识为重点,以突出数控机床及其系统的故障诊断与检测维修为关键,力图构建集数控机床的基础知识、数控系统的故障诊断理论和数控机床及其系统的检测维护为一体的数控机床故障诊断技术新体系。

本书主要包括:数控机床故障诊断的基本知识,数控机床典型结构及其故障诊断,数控系统及其故障诊断,数控机床伺服系统及其故障诊断,故障检测技术及常用诊断仪器仪表,数控机床维修实例,数控机床的安装、调试与保养。每章均配有本章小结与思考题。

可作为普通高等学校机械工程类专业及相关专业的教材,也可供从事数控机床结构设计、制造工艺、故障诊断、系统维护、检测维修等方面技术开发及应用的工程技术人员和研究生参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

数控机床故障诊断技术/王贵成主编. —2版. —北京:  
化学工业出版社, 2010.3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-122-05041-0

I. 数… II. 王… III. ①数控机床-故障诊断-高等学校-教材②数控机床-维修-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第006589号

---

责任编辑:程树珍 金玉连  
责任校对:顾淑云

装帧设计:尹琳琳

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张13¼ 字数335千字 2010年3月北京第2版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:34.00元

版权所有 违者必究

## 第二版前言

随着机械科学和先进制造技术的发展,数控技术应用越来越广泛,机械产品的更新及机械制造产业的升级对高级专门人才的知识结构及工程能力提出了新的更高要求。进而,《数控机床故障诊断技术》课程已成为高等工科院校机械设计制造及其自动化专业一门重要的专业课程。

2004年,我们编写了《数控机床故障诊断技术》一书,较好地满足了机械类专业人才培养的需要。随着我国机械制造业的迅猛发展,数控技术得到了更加广泛的应用。为进一步满足教学的需要,我们按照普通高等教育“十一五”国家级规划教材建设的要求,结合近年的教学实践,对《数控机床故障诊断技术》进行了修订,主要在以下两个方面进行了改编:

首先,重组课程体系。不断优化课程内容,将原“计算机数控系统”和“数控系统故障诊断”两部分整合为“数控系统及其故障诊断”,“数控机床传动及其典型结构”和“数控机床常见机械结构故障及其诊断”整合为“数控机床典型结构及其故障诊断”,并将“伺服系统的故障诊断”调整为“数控机床伺服系统及其故障诊断”,使全书的内容体系更加完整;

其次,汲取先进技术。跟踪数控技术发展,在原“故障检测技术及常用诊断仪器仪表”部分,新增加了国内外最新检测技术和方法,如温度检测技术、振动检测技术、油液检测技术、噪声检测技术及相应的诊断仪表等。在“数控机床维修实例”部分中,适当增加了数控磨床、数控电火花机床等维修实例。力图使课程内容与数控技术发展相适应,与企业(集团)数控生产实际同步。

同时,本次改编注重理论联系实际,适当减少纯故障诊断理论性内容,尽可能联系数控机床(加工中心)生产实际,进一步增强教材的可读性和实用性。同时,为本课程涉及的主要专业术语和词组增加了英语单词或词组标注,以适应学生英语能力不断提高的新形势及深化国际交流的迫切需要。

本书由王贵成任主编,裴宏杰和沈春根任副主编。具体编写为:绪论由王贵成编写;第1章由裴宏杰、王贵成编写;第2章由裴宏杰编写;第3章由沈春根、邹晔编写;第4章由邹晔、王贵成编写;第5章由裴宏杰编写;第6章由沈春根编写;第7章由董广强、孙序泉编写。最后,由王贵成、裴宏杰和沈春根统稿。在本书的编写过程中,聂文武、郑文杰、沈玉杰等也参加了部分文稿的整理工作。

由于作者水平所限,不当之处恳请广大师生和读者提出宝贵意见。

编者  
2009年11月  
于镇江金山

# 第一版前言

数控技术是集计算机技术、自动控制技术、测试技术和机械制造技术为一体的综合性高新技术，它将机械装备的功能、可靠性、效率、质量及自动化程度等提高到一个新的水平。为主动适应新时期机械工程领域数控技术人才培养的需要，根据“数控系列教材编委会”的统一安排，我们结合多年来从事机械类专业主干课程“数控技术”的教学研究与改革实践，编写出《数控机床故障诊断技术》一书。

本教材编写过程中，在以下几个方面进行了大胆的探索和尝试。

## 1. 先进性

数控技术是先进制造技术的基础，也是当代制造技术发展最快的部分，已成为世界各国机械制造领域激烈竞争的重点之一。在教材内容的取舍方面，在紧紧围绕实现培养目标的同时，适当注重其学术上的先进性，把握其选材的典型性，尽可能吸收本领域及相关领域的最新成果，使教材具有鲜明的时代特征。

## 2. 综合性

现代机械制造技术的发展呈现出高度分化又高度综合，而以高度综合为主的趋势。各学科专业之间不断渗透、交叉和融合，其传统特征与界限也逐渐淡化。在教材体系构建方面，在加强其基础知识、基本理论和基本技能的同时，注意突出其综合交叉，以拓宽学生的知识视野，逐步确立大工程系统学习观。

## 3. 实用性

数控机床故障诊断涉及数控系统、机床传动、系统控制、故障诊断、检查测试和维护保养等多方面的理论知识与实用技术。在教材的编写方面，尽可能用较为通俗易懂的语言予以阐述，以利于学生自主学习与提高。同时，尽可能选用较为典型的数控机床结构，着重讲述其常见的故障及其排除方法，以利于提高学生实际操作数控机床的技能。

本书以系统讲述数控机床结构及原理为基础，以阐明数控技术的基本知识和基本理论为重点，以突出数控机床及其系统的故障诊断与检测维修为关键，以激发和培养学生创新意识、创新思维和创新能力的目标，力图构建出集数控机床的基础知识、数控系统的故障诊断理论和数控机床及其系统的检测维修为一体的数控机床故障诊断技术新体系。

本书可作为普通高等院校机械工程及相关专业的教材，也可供数控技术人员、高级技术工人参考。

本书由王贵成任主编，孙序泉、裴宏杰和董广强任副主编。具体编写为：绪论由王贵成编写；第1章由裴宏杰、董广强编写；第2章由董广强、吴卫国编写；第3章由董广强、王维新编写；第4章由邹晔、王贵成编写；第5章由王贵成、邹晔编写；第6章由王贵成、裴宏杰、吴卫国编写；第7章由王贵成、裴宏杰编写；第8章由孙序泉、阮启伟编写；第9章由董广强、孙序泉、阮启伟编写。王贵成、孙序泉、裴宏杰和董广强统稿。

由于本书编写是一种新的探索和尝试，错误和不当之处在所难免，恳请广大师生和读者提出宝贵意见。

编者  
2004年9月

# 目 录

<b>0 绪论</b> .....	1	2.2.4 机床导轨的结构	40
0.1 数控机床故障诊断的意义及作用	1	2.2.5 机床导轨的维护及故障	42
0.2 数控机床故障诊断及维修的主要内容	2	2.3 自动换刀装置的结构及故障诊断	45
0.3 数控机床故障诊断技术的形成及发展	4	2.3.1 自动换刀装置的形式	45
0.3.1 初期阶段	4	2.3.2 刀库形式 (tool library mode)	49
0.3.2 迅速发展阶段	4	2.3.3 加工中心的换刀方式	51
0.3.3 智能集成阶段	5	2.3.4 换刀装置故障诊断	53
<b>1 数控机床故障诊断的基本知识</b> .....	7	2.4 液压和气动系统及故障诊断	54
1.1 数控机床故障的基本概念	7	2.4.1 液压和气动系统	54
1.1.1 数控机床故障的特点	7	2.4.2 液压系统的故障及维修	55
1.1.2 数控机床维修技术指标	8	2.4.3 气动系统的故障及维修	58
1.1.3 常见故障分类	8	本章小结	60
1.2 故障诊断流程	10	思考题	60
1.2.1 故障现场调查	10	<b>3 数控系统及其故障诊断</b> .....	62
1.2.2 故障信息的整理和分析	11	3.1 概述	62
1.2.3 故障诊断与排除	15	3.1.1 数控系统的技术性能指标	62
1.2.4 经验总结和记录	15	3.1.2 数控系统设计开发规范和标准	63
1.3 数控系统故障的检查方法	16	3.1.3 数控系统的发展	64
1.3.1 数控系统的自诊断	16	3.2 数控系统的基本组成	65
1.3.2 其他常见故障检查方法	19	3.2.1 数控系统的组成	65
1.4 现场维修的实施和注意事项	21	3.2.2 数控系统的工作过程	66
1.4.1 现代数控系统维修工作的基本 条件	21	3.2.3 数控系统的功能和优点	67
1.4.2 现场维修的基本原则	22	3.3 典型数控系统的结构及其故障诊断	70
1.4.3 现场维修的实施	23	3.3.1 CNC 的硬件结构	70
本章小结	27	3.3.2 数控系统的硬件故障诊断	73
思考题	27	3.3.3 数控系统的软件结构	79
<b>2 数控机床典型结构及其故障诊断</b> .....	28	3.3.4 数控系统的软件故障诊断	80
2.1 数控机床主传动	28	3.4 利用数控机床参数诊断故障	82
2.1.1 主传动变换方式	28	3.4.1 数控机床的参数	83
2.1.2 主轴组件	30	3.4.2 数控机床的参数故障及诊断	83
2.1.3 主传动链的常见故障诊断	33	3.4.3 参数故障的诊断与维修实例	84
2.1.4 主传动链的维护	34	3.5 可编程控制器的应用	87
2.1.5 主轴部件的维护	35	3.5.1 PLC 的基本组成和作用	87
2.2 数控机床进给传动	36	3.5.2 PLC 对继电器控制系统的仿真	88
2.2.1 机床的进给方式及要求	36	3.5.3 PLC 的工作原理和工作方式	89
2.2.2 滚珠丝杠螺母副的结构	37	3.5.4 PLC 控制 I/O 延迟响应	90
2.2.3 滚珠丝杠螺母副的维护及故障 诊断	39	3.5.5 数控机床中的 PLC 数据处理 功能	92
		3.5.6 数控机床中 PLC 故障的表现	

形式 .....	93	5.3.1 概述 .....	138
3.5.7 数控机床中 PLC 故障诊断的 方法 .....	94	5.3.2 油液检测常用仪器设备 .....	140
本章小结 .....	98	5.3.3 油液检测的应用实例 .....	142
思考题 .....	98	5.4 声音和噪声诊断技术 .....	143
<b>4 数控机床伺服系统及其故障诊断</b> .....	100	5.4.1 概述 .....	143
4.1 伺服系统的组成及其工作原理 .....	100	5.4.2 声音和噪声诊断常用仪器设备 .....	144
4.1.1 伺服系统的基本概念 .....	100	5.4.3 声音和噪声诊断应用实例 .....	146
4.1.2 伺服系统的组成 .....	101	5.5 电子电路故障诊断技术 .....	148
4.1.3 伺服系统的工作原理 .....	102	5.5.1 概述 .....	148
4.2 主轴伺服系统的故障诊断 .....	103	5.5.2 模拟电路故障诊断技术 .....	148
4.2.1 主轴伺服系统常见故障形式及 诊断方法 .....	103	5.5.3 数字电路故障诊断技术 .....	150
4.2.2 直流主轴驱动故障诊断 .....	104	5.5.4 电子电路故障检测常用仪器 .....	153
4.2.3 交流主轴驱动故障诊断 .....	106	本章小结 .....	169
4.2.4 通用变频器与变频控制的故障 诊断 .....	108	思考题 .....	170
4.3 进给伺服系统的故障诊断 .....	111	<b>6 数控机床维修实例</b> .....	171
4.3.1 伺服系统结构形式 .....	111	6.1 N084 数控车床维修实例 .....	171
4.3.2 进给伺服系统的故障形式及诊断 方法 .....	112	6.2 XK716 数控铣床维修实例 .....	176
4.3.3 进给驱动故障诊断 .....	113	6.3 加工中心维修实例 .....	179
4.4 位置检测装置的故障诊断 .....	118	6.4 数控磨床维修实例 .....	184
4.4.1 位置检测装置故障形式 .....	119	6.5 数控电火花机床维修实例 .....	188
4.4.2 位置检测装置的故障诊断 .....	119	本章小结 .....	190
本章小结 .....	123	<b>7 数控机床的安装、调试及保养</b> .....	191
思考题 .....	123	7.1 数控机床的安装 .....	191
<b>5 故障检测技术及常用诊断仪器     仪表</b> .....	124	7.1.1 机床就位前的准备 .....	191
5.1 温度诊断技术 .....	124	7.1.2 机床就位 .....	191
5.1.1 概述 .....	124	7.1.3 通电前的准备 .....	191
5.1.2 温度诊断常用设备 .....	127	7.1.4 试机 .....	192
5.1.3 温度诊断应用实例 .....	130	7.2 数控机床的调试 .....	192
5.2 振动诊断技术 .....	131	7.2.1 机床各动作调试 .....	192
5.2.1 概述 .....	131	7.2.2 整机联调 .....	194
5.2.2 振动诊断的常用仪器设备 .....	133	7.2.3 精度调整 .....	195
5.2.3 振动诊断的应用实例 .....	136	7.3 数控机床的日常维护和保养 .....	201
5.3 油液诊断技术 (oil diagnosis technology) .....	138	7.3.1 日常维护的规章制度 .....	201
		7.3.2 每个工作日的保养 .....	201
		7.3.3 定期的维护 .....	202
		7.3.4 机床备件的保养 .....	203
		本章小结 .....	203
		思考题 .....	203
		<b>参考文献</b> .....	204

# 0 绪 论

数控技术 (numerical control technology) 是集计算机技术 (computer technology)、自动控制技术 (automatic control technology)、测试技术 (testing technology) 和机械制造技术 (mechanical manufacturing technology) 为一体的综合性高新技术, 它将机械装备的功能、可靠性、效率、质量及自动化程度等提高到一个新的水平。数控机床 (numerical control machine, 简称 NC 机床) 故障诊断及维护在内容、手段和方法上与传统机床有很大的区别, 掌握数控机床故障诊断技术是正确使用数控机床的基础。因此, 学习和掌握数控机床故障诊断技术已成为当今机械设计制造及其自动化专业学生的自觉行动, 各企业 (集团) 工程技术人员越来越重视对数控机床故障诊断技术的学习与研究, 其目的就是为最大限度地发挥数控机床的效能, 快速振兴中国机械制造业, 进一步推动经济发展和社会进步做出新的、更大的贡献。

## 0.1 数控机床故障诊断的意义及作用

制造业 (manufacturing industry) 及制造技术 (manufacturing technology) 在国家的国民经济发展中具有举足轻重的作用, 而反映制造业及制造能力的一个非常重要的指标就是机床的消费量, 自 2002 年以来, 中国连续六年机床消费量居世界第一位, 约占世界机床消费总额的 20%, 如图 0-1 所示。

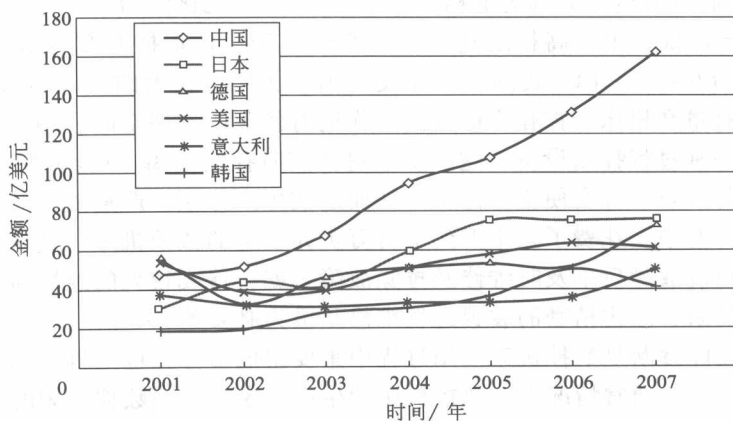


图 0-1 2001~2007 年世界主要国家机床消费量

数控机床自产生开始就占有重要的地位。1948 年, 美国帕森斯公司接受美国空军委托, 研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样, 精度要求高, 一般加工设备难以适应, 于是提出计算机控制机床的设想。1949 年, 该公司在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下, 开始数控机床的研究, 并于 1952 年试制成功第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控铣床, 不久即开始正式生产。

数控技术是因国防工业的需要而诞生的。国防工业中复杂、高精度零件加工 (如飞机发



动机叶片、导弹尾喷管、导航系统反射镜等)比例大,一些曲面按照特定理论函数设计,非用多轴联动、高速高精度的数控机床加工不可,故高性能数控机床属于战略物资。冷战时期,高性能、高精度数控机床被列入“巴统”禁运清单。1982~1983年著名的“东芝事件”,起因于日本东芝公司卖给前苏联几台大型五轴联动数控铣床,从而大大提高了苏核潜艇螺旋桨加工精度,大幅度降低了潜艇噪声,导致美国对日本制裁。当时,三轴以及三轴以上联动的数控系统,曾先后被列为对我国禁运物资。现在,“巴统”尽管已取消,但西方国家在与我方有关先进数控机床及其重要配套装备的贸易中,仍对我多方歧视和限制。如我国企业想进口五轴联动、高精度的数控机床,需要经对方政府批准,而且不得用于军事用途。

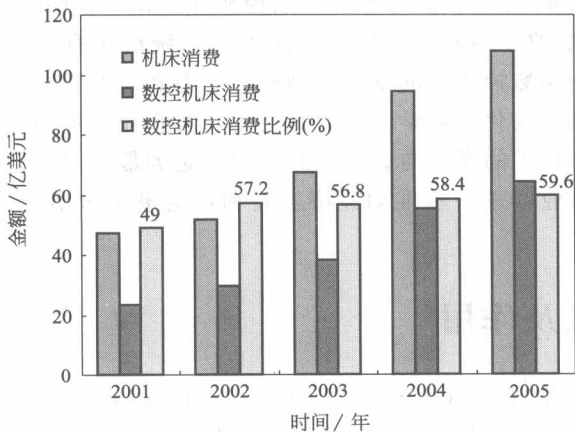


图 0-2 2001~2005 年中国数控机床消费额及比例

数控机床具有高精度、高效率、高自动化和高柔性等特点,能够较充分地适应当前市场快速变化、用户需求个性化、竞争激烈化的发展趋势,并为企业增强市场竞争力提供了必备的基础和技术手段,在一定程度上带动了制造业,乃至一个国家整个工业的可持续发展。因此,很多国家特别是工业发达国家都非常重视数控机床的拥有量及数控机床的消费,如图 0-2,是我国 2001~2005 年数控机床的消费额及所占机床消费的比例,其中机床消费的 60%,将近 60 亿美元的消费为数控机床。2007 年,中国机床拥有量(金属切削和成形)约 500

万台,数控机床约 60 万台(50%为低档),低、中、高档之比约为 50:48:2。美国拥有数控机床约 60 万台,低、中、高档之比约为 0:50:50。日本拥有数控机床 50 万台,低、中、高档之比约为 0:60:40。我国与工业发达国家相比有较大的差距。从某种意义上讲,中国数控机床拥有量和机床数控化率的提高工作还有较大的发展空间和相当大的发展潜力。

数控机床是一种过程控制设备。这就要求它在实时控制的每一时刻都准确无误地工作。任何部分的故障与失效,都会使机床停机,从而造成生产停顿,严重地影响和制约生产效率的提高。在许多行业中,花费了几十万到上百万美元引进的数控机床,其设备均处于关键的工作岗位。若其出现故障后不及时维修及排除故障,就会造成较大的经济损失。因而,对数控系统这样原理复杂、结构精密的装置进行维修是极为必要的。

数控机床的故障诊断是数控机床使用过程中重要组成部分,也是目前制约数控机床发挥作用的主要因素之一。通常情况下,数控机床的生产厂家会加强数控机床的故障诊断与维修的力量,可以提高数控机床的可靠性,有利于数控机床的推广和使用。与此同时,数控机床的使用单位也要培养掌握数控机床的故障诊断与维修的技术人员,有利于提高数控机床的加工能力和使用效率。随着数控机床的进一步推广和应用,社会企业(集团)也越来越迫切地需要培养更多的熟悉和掌握数控机床故障诊断技术的高素质人才。

## 0.2 数控机床故障诊断及维修的主要内容

数控机床主要由数控系统(numerical control system)、伺服系统与位置检测装置(ser-

vo system and position measurement device)、辅助控制单元 (PLC control unit) 及机床本体构成, 如图 0-3 所示。



图 0-3 数控机床的组成

#### (1) 数控系统 (numerical control system)

数控系统是数控机床的中枢。数控系统从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序, 经过数控系统的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后, 输出各种控制信息和指令, 进而控制机床各部分的工作, 使其进行规定的有序运动和动作。

#### (2) 伺服系统和位置检测装置 (servo system and position measurement device)

驱动系统接受来自数控系统的指令信息, 经功率放大后, 严格按照指令信息的要求去驱动机床的移动部件, 以加工出符合图样要求的零件。伺服系统包括控制器 (含功率放大器) 和执行机构两大部分。目前, 大都采用直流或交流伺服电机作为执行机构。

位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来后, 经反馈系统输入到机床的数控系统中。数控系统将反馈回来的实际位移量值与其设定值进行比较, 控制伺服系统按指令设定值运动。

#### (3) 辅助控制单元 (PLC control unit)

辅助控制单元的主要作用是接收数控系统输出的开关量指令信号, 经过编译、逻辑判别和运算, 再经功率放大后驱动相应的电器, 带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令, 刀具的选择和交换指令, 冷却、润滑装置的启停, 工件和机床部件的松开、夹紧, 分度工作台转位分度等开关辅助动作。

#### (4) 机床本体

数控机床的机床本体与传统的机床相类似, 由主轴传动机构、进给传动机构、床身、工作台以及辅助运动单元、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的优势。

从图 0-3 可知, 数控机床各部分之间有着密切的联系。CNC 系统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 PLC 控制单元。伺服驱动系统位于 CNC 系统与机床之间, 它一方面通过电信号与 CNC 系统连接, 另一方面通过伺服电机、检测元件与机床的传动部件连接。机床 PLC 控制线路接受 CNC 系统发出的开关命令, 主要完成主轴启停、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。另外要将主轴启停结束、工件夹紧、工作台交换结束、换刀到位等信号传送回 CNC 系统。

数控机床故障诊断由两部分组成：①数控机床本体，也就是主轴传动机构、进给传动机构、床身、工作台以及辅助运动单元、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等机械故障诊断与维修；②数控系统、PLC 控制单元、伺服系统与位置检测装置、机床强电等电气系统故障诊断与维修。其中，位置检测装置维护的好坏将直接影响到机床的运动精度和定位精度，而电气系统的故障诊断与维修是维护和故障诊断的重点部分。

## 0.3 数控机床故障诊断技术的形成及发展

数控机床的故障诊断技术 (fault diagnosis technology) 的发展可以简单地划分为三个阶段。

### 0.3.1 初期阶段

初期阶段出现在数控机床故障诊断技术发展的早期，在此阶段内数控机床一旦出现故障，操作人员必须马上采取措施，停止系统运行，保护好现场，先进行故障检测，随之对故障判定及隔离，分离出故障的部位或模块，最后对故障进行定位。具体方法有直观法、参数检查、替换法、测量法、原理分析法、电压拉偏法、开环检测法、敲击法和局部升温法等多种方法。

### 0.3.2 迅速发展阶段

近年来随着电子测量技术、信号处理技术、通信技术、计算机及人工智能技术的发展，数控机床故障诊断技术也有了很大的发展。该时期的诊断方法主要有以下几种。

#### (1) 通信诊断 (communication diagnosis)

通信诊断也称为远距离系统诊断或“海外诊断”。德国的西门子公司在 CNC 系统诊断中采用了这种诊断功能。用户只需把 CNC 系统中专用“通信接口”连接到普通电话线上，而在西门子公司维修中心的专用通信诊断计算机的“数据接口”也连接到网络上，然后由计算机向 CNC 系统发送诊断程序，并将测试数据输回到计算机进行分析并得出诊断结论。随后，又将诊断结论和处理方法通知用户。通信诊断系统除用于故障发生后的诊断外，还可为用户作定期的预防性诊断，维修人员不必到现场，只需按预定的时间对机床作一系列试运行检查，在维修中心分析数据，以诊断出数控机床可能存在的故障隐患。但这类 CNC 系统必须具备远距离诊断接口及联网功能。

#### (2) 自修复系统 (self-repairing system)

所谓自修复系统就是在系统内设置有备用模块，在 CNC 系统的软件中装有自修复程序，当该软件在运行时，一旦发现某个模块有故障时，系统一方面将故障信息显示在 CRT 上，同时自动寻找是否有备用模块。如有备用模块则系统能自动使故障模块脱机而接通备用模块，从而使系统较快地进入正常工作状态。由此可见，所谓自修复实际上是“冗余”概念的一种应用。这个方案非常适用于无人管理的自动化工厂或是不允许长时间停止工作的重要场合。

美国的 Cincinnati 公司生产的 950 CNC 系统就已采用了这种自修复技术。在 950 CNC 系统的机笼空余处安装了一块备用的 CPU 板，一旦系统中所用的 4 块 CPU 板中任何一块出现故障，它均能立即用备用板替代故障板。

但自修复技术需要将备用板插到机笼中备用插槽上，从理论上讲备用模块的品种越多越好，但这无疑增加了系统的成本。所以，往往系统只是配备一些极其重要的或易出故障的备

用板。另一方面,要求备用板与系统的其他部分通信联系应与替代的模板相同。因此,本方案只适用于总线结构的 CNC 系统。

### (3) 人工智能与专家系统 (artificial intelligence and expert system)

这种方法从数据库出发,调用知识库中的相应知识、经过推理机构的推理获得所需的结论。应用于数控系统故障诊断的人工智能技术有两方面内容,即诊断专家系统和人工智能数据库。

专家系统是人工智能最活跃的一个分支,以其智能化程序高和实时性强而应用于很多领域。20 世纪 80 年代初,专家系统才开始应用于故障诊断领域,故障诊断专家系统与传统诊断技术相比具有如下特点:①通过对各种诊断的经验性专门知识形式化描述,不仅可以使这些知识突破专家个人的局限性而广为传播,而且也是对科学方法论的一个发展;②克服人类诊断专家供不应求的矛盾;③故障诊断专家系统可以结合其他诊断方法,综合利用各类专家的知识、经验,实现在线监测故障、离线诊断与分离故障;④故障诊断专家系统具有人一机联合诊断功能,可充分发挥人的主观能动性。专家系统具有知识获取和自学习功能,它能在使用过程中日趋完善。

人工智能数据库以提高系统可靠性、可维修性和高效率性为目的。这种数据库主要包括加工参数的自动设定和图形功能等。加工参数的自动设定功能,实际是一个工艺参数库,系统能根据被加工工件的材料、加工余量等自动确定切削用量、加工刀具的选取及加工条件的设定等,这种数据库不但需要积累大量工艺数据,还必须具有某种学习功能及推理能力。通常,将人工智能数据库与故障诊断专家系统联系在一起,建立一个综合专家系统,既提高系统的可靠性,又提高了系统的诊断维修性能。

### (4) 神经网络诊断 (neural network diagnosis)

由于神经网络具有联想、容错、自适应、自学习和处理复杂多模式等特点,近年来开展了诸多研究和应用。这种方法将被诊断系统的症状作为网络的输入,将所要求得到的故障原因作为网络的输出,并且神经网络将经过学习所得到的知识以分布的方式隐式地存储在网络上,每个输出神经元对应着一个故障原因。目前常用的几种算法有:误差反向传播 (BP) 算法、双向联想记忆 (BAM) 模型和模糊认识映射 (FCM) 等。

## 0.3.3 智能集成阶段

随着高新技术的快速发展,数控机床的故障诊断必将进入一个新的阶段。未来数控机床的故障诊断发展的方向是多信息量融合、多传感器融合技术、故障诊断与控制系统的集成以及智能化集成等。

### (1) 多信息量融合 (multi-information mergence)

多信息量融合主要是对状态监测所得到的信息进行融合,充分合理地选取各种传感器,提取对象的有效信息,把空间或时间上的冗余信息或互补信息依据某种准则进行组合,以获得被测对象的一致性解释或描述,由此获得比各组成部分的子集所构成的系统更为优越的性能结合层次诊断模型,依照深浅结合的推理进行诊断。把监测所得到的信息处理集成到诊断系统中,进行在线数据处理与诊断推理,实现非实时诊断到实时诊断的转变,集信息诊断与智能诊断的统一。

### (2) 多传感器信息融合技术 (information fusion technology of multi-sensors)

要保证数控机床长期无故障运行,以及在故障情况下快速诊断和排除故障,常常需要监测系统对加工状态进行加工状态监视,以及提供故障情况下的状态信息。另外,还需要信息处理技术对状态信息分析提取特征以供监视或故障诊断使用。由于数控系统内在的复杂性和关联性,过

去传统单因素监测和信息处理已显得力不从心。多传感器信息融合概念的提出,为 CNC 状态监测开辟了新途径。

多传感器信息融合就是充分地选取各种传感器,提取对象的有效性信息,充分利用多个传感器资料,通过对它们合理支配和使用,把多个传感器在空间或时间上冗余信息或互补信息依据某种准则来进行组合,以获得被测对象的一致性解释或描述,使该信息系统由此获得比它的各组成部分的子集所构成的系统更为优越的性能。

利用多传感器对 CNC 进行诊断能大大降低误判率、漏判率,提高诊断准确度。采用信息融合技术,先对同一层次的信息进行融合,获得更高层次的信息,再汇入相应的信息融合层次,这样从底层至顶层对多元信息进行整理合并,逐层抽象,从而取得比单一传感器更准确更具体的诊断结果。由于神经网络具有大规模并行处理能力、抗干扰能力及高度的非线性特性,可将它用于多传感器信息融合。

### (3) 故障诊断与控制系统的集成

把诊断系统与控制系统结合起来,达到集成监测、诊断、控制、管理于一体。它是分布式诊断系统,全系统对各子诊断系统的结论进行综合,子系统有一定的决策能力,但在信息的处理方法、对设备的干预和决策等方面受控于上层诊断单元。

### (4) 智能化集成诊断 (intelligence-integrated diagnosis)

将传感器信息融合与人工智能技术、ANN 技术相结合,建立起集监测、诊断为一体的智能集成系统,是 CNC 故障诊断的新方向。集成诊断专家系统能充分利用多种形式的知识(经验知识、状态知识、物理知识等)诊断推理,结合多种故障信息(征兆信息,状态监测信息等)进行综合诊断,可实现实时监测与诊断。它进一步提高了智能诊断与决策水平和 CNC 机床诊断的自动化程度。因此,开展 CNC 机床智能集成诊断系统的研究具有重要的理论意义和较大的实用价值。

# 1 数控机床故障诊断的基本知识

随着电子技术 (electronic technology) 和自动化技术 (automatics technology) 的发展, 数控技术 (numerical control technology) 的应用越来越广泛。以微处理器为基础, 以大规模集成电路为标志的数控设备, 为机械装备 (mechanical equipment) 及制造业 (manufacturing industry) 的快速发展创造了条件, 并带来了巨大的经济效益。与此同时, 数控技术的先进性、复杂性和智能化, 使数控设备的故障诊断方法、维修技术和手段等都发生了显著的变化。从某种意义上讲, 故障诊断和维修技术不仅是保障数控机床正常运行的前提, 对促进数控技术的发展起到了巨大的推动作用。

## 1.1 数控机床故障的基本概念

### 1.1.1 数控机床故障的特点

数控机床故障通常是指数控机床整机或零部件在规定的时间和使用条件下不能完成规定的功能, 或者各项技术经济指标偏离了它的正常状况, 但在某种情况下尚能维持一段时间工作, 若不能得到妥善处理将导致事故的发生。数控机床的故障发生率随机床使用年限而发生变化, 其关系如图 1-1 所示。

从图 1-1 中可以看出, 机床使用的故障发生率大致可以分为三个阶段: 磨合期、稳定工作期和衰退期。

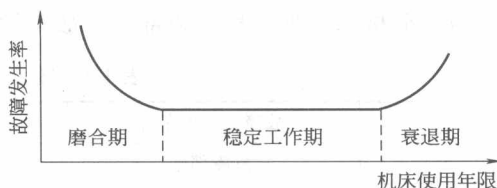


图 1-1 机床使用年限与故障发生率的关系

#### (1) 磨合期 (breaking-in period)

新机床在安装调试后的半年到一年左右的时间里, 由于机械零部件的工作表面还存在着加工所遗留的几何形状偏差, 其接触表面比较粗糙, 特别是机床的电气元件受到交变负荷等冲击, 导致故障频率较高。一般说来, 处于磨合期的机床故障发生率几乎不具有规律性。其中, 电气、液压和气动系统故障的频率约为 90%。

#### (2) 稳定工作期 (stable-working period)

机床在经历了初期磨合后, 进入了稳定的工作期。这时, 机床故障发生率较低, 但由于使用条件和人为的因素, 偶发故障在所难免。所以, 在稳定期内故障诊断非常重要。在此期间, 机械和电气的故障发生的概率差不多, 并且大多数可以排除。通常机床稳定工作期大约 6~10 年。

#### (3) 衰退期 (decline period)

当机床的零部件使用到达预定寿命之后, 开始迅速磨损和老化, 故障发生率逐渐增大。此时期的故障大多数具有规律性, 属于渐变性和器质性的, 并且大部分可以排除。

数控机床的复杂性使其故障诊断具有较高的难度和特殊性。通常引起数控机床故障的因素是多方面的综合作用, 有些故障的现象是机械方面的, 但是引起故障的原因却是电气方面的; 有些故障的现象是电气方面的, 然而引起故障的原因却是机械方面的; 有些故障是由电气方面和机械方面共同作用引起的。因而, 对同一个现象, 既可能是机械的问题, 也可能是

电气的原因,或许两者兼而有之,非常复杂。这就要根据实际情况进行综合分析,才能做出正确的判断。

### 1.1.2 数控机床维修技术指标

数控机床是集电子技术、测量技术、自动化技术、电子半导体技术、计算机技术及电机技术等于一体的自动化设备,具有高精度、高效率和高柔性的特点。数控机床故障诊断的目的在于避免机床发生故障,即首先注重“防”。再者,当机床发生故障后,能够尽快找到原因进行快速修复,这属于事后行为,它属于“治”。无论是“防”还是“治”,都是提高机床的稳定性和可靠性,延长机床两次故障之间能正常工作的有效时间,即平均无故障时间  $MTBF$  (mean time between failure); 减少故障的修理时间,即平均修复时间  $MTTR$  (mean time to restore)。通常用一个参数表示有效度  $A$ :

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1-1)$$

有效度  $A$  是一个小于 1 的数。为了使有效度  $A$  尽可能接近 1,就要提高  $MTBF$ ,降低  $MTTR$ 。由此看来,提高有效度  $A$  的一个重要的方面就是加强日常维护,以“防”为主,以“治”为辅,适时进行故障诊断,快速进行数控机床维修,以期最大限度地发挥数控机床的效能。

### 1.1.3 常见故障分类

数控机床的故障表现多种多样,可按照故障发生的部件分类,也可按照故障性质分类。为了便于分析和处理,按故障部件、故障性质及故障原因等作如下分类(见表 1-1)。

表 1-1 数控机床常见故障分类表

序号	故障分类的条件	具体分类
1	故障部件	主机故障;电气故障
2	故障性质	系统性故障;随机性故障
3	有无报警	有报警显示故障;无报警显示故障
4	破坏性	破坏性故障;非破坏性故障
5	发生的原因	数控机床自身故障;数控机床外部引起的故障
6	发生部位	软故障;硬故障
7	发生时间	早期故障;偶然故障;耗损故障
8	故障范围	局部故障;分布式故障
9	故障过程	突然故障;渐变故障

#### (1) 按故障发生的部件分类

① 主机故障 (host down) 数控机床的主机部分主要包括机械、润滑、冷却、排屑、气动与防护等。常见的主机故障有:因机械安装、调试及操作使用不当等原因引起的机械传动故障,导轨运动摩擦过大故障。表现为噪声大,加工精度低。比如轴向传动链的挠性联轴器松动,主轴振动引起加工精度低,导轨润滑不良以及系统参数设置不当等原因都可以引发以上故障。对于液压、润滑与气动系统的故障现象主要是阻塞管道和密封不严。比如,某厂 XH716 数控立式加工中心,系统为 FANUC-0M 系统,这台机床在加工中经常出现过载报警,报警号为 434,表现形式为 Z 轴电机电流过大,电机发热,停车 40min 左右报警消失。但再工作一段时间后又出现同类故障报警。经检查分析,认为电气伺服系统无故障,估计是

负载过大造成故障。为了区分是电气故障还是机械故障，将 Z 轴电机拆下与机械脱开，再运行时该故障不再出现。由此，可确认该故障是由机械丝杠或运动部位过紧造成的。但调整 Z 轴丝杠防松螺母后，效果不明显，后来又调整 Z 轴导轨斜铁，机床负载明显减轻，该故障消除。

② 电气故障 (electrical fault) 电气故障又可分为弱电与强电故障两种。弱电部分主要指 CNC 装置、PLC 控制器、CRT 显示器以及伺服单元，输入、输出装置等电子电路。常见故障有集成电路芯片、分力元件、插接件等硬件故障和加工程序、系统程序和参数的改变等软件故障。强电部分故障是指继电器、接触器、开关、电源变压器、电机、电磁铁、行程开关等电气元件及所组成的电路，这类故障比较常见。

### (2) 按故障性质分类

① 系统性故障 (systematic fault) 系统性故障是指只要满足一定的条件就必然会发生故障。比如，液压或气压系统的压力升高或降低到一定的数值时，就会产生液压或气压报警；当电网电压过高和过低时，系统就会产生电压过高或过低报警；如果在加工时，切削用量选择过大，超过机床负荷，必然产生过载或超温报警，导致系统迅速停机。

② 随机性故障 (random fault) 随机性故障通常在同样的条件下，偶尔出现一次或两次，这类故障判断较难。因为要重复出现不太容易，有时很长时间也很难碰到。相对来讲，这类故障往往与机械结构的局部松动、错位，数控系统中部分元件工作特性的漂移，元器件品质下降，操作失误，维护不当和工作环境等影响有关。例如，印制电路板上的元器件虚焊、继电器触点、各类开关触头污染锈蚀造成的接触不可靠等。

### (3) 按故障产生时有无报警分类

① 有报警显示故障 在数控系统中有许多指示故障部位的警示灯，如控制操作面板、位置控制印刷线路板、伺服控制单元、主轴单元、电源单元等部位常设有这类警示灯，这可根据硬件指示灯的情况，很快找到故障部位。如某厂一台 SINUMERIK840C 系统的车削中心，工作时 CRT 显示 9160 报警“9160 NO PART WITH GRIPPER 1 CLOSED VERIFY V14-5”。这是指未抓起工件报警。但实际上抓工件的机械手已将工件抓起，却显示机械手未抓起工件报警。查阅 PLC 图可知，此故障是测量感应开关发出的。经查机械手部位，机械手工作行程不到位，未完全压下感应开关引起的。随后调整机械手的夹紧力，此故障排除。

② 无报警显示的故障 有时数控机床没有任何报警显示，但机床却处于不正常状态。排除这类故障比较困难，需要根据故障前后的变化状况来判断。例如：CK300 数控机床，采用 FANUC 系统，各部分不能工作，CRT 无任何报警信息。检查机床各部分，发现系统及系统与各接口的连接单元都是好的，分析是由于外部干扰引起滋泡存储器内存储数据混乱造成的，因此，对存储内容进行了全部清除，然后再重新输入参数，机床恢复正常。

### (4) 按故障有无破坏性分类

① 破坏性故障 (destructive fault) 指故障发生时会对机床或操作者造成伤害，如飞车、部件碰撞、超程运动等。这类故障发生后，维修人员来维修时，绝不能出现第二次伤害。

② 非破坏性故障 (nondestructive fault) 大部分故障属于非破坏性故障，可以通过现象对这种故障分析、判断，找到原因所在。

### (5) 按故障发生的原因分类

① 数控机床自身故障 是由于数控机床自身的原因引起的，与外部环境没有关系。绝



大多数故障属于此类。

② 数控机床外部引起的故障 是由外部原因所造成的。比如外部电压波动太大, 温度、湿度过高过低, 粉尘侵入, 人为因素等。

#### (6) 按故障发生的部位分类

① 软故障 (soft fault) 大多由于程序编制错误、操作错误或者电磁干扰等偶然因素造成的, 经过修改程序或作适当调整后故障即可消除。当首次使用 CNC 系统时, 绝大部分故障属于这一类。只要认真消化有关资料, 熟悉机床和系统的正确操作方法及编程知识, 这类故障是不难排除的。

② 硬故障 (hard fault) 由于数控机床元件损坏而造成的, 需要更换元器件。

除上述常见故障分类外, 还可按故障发生的时间分, 有早期故障、偶然故障和耗损故障; 从故障范围看, 有局部故障和分布式故障; 按故障过程分, 有突然故障和渐变故障等。

## 1.2 故障诊断流程

数控机床是机、电、液、气相结合的复杂设备, 尽管故障原因各不相同, 但在故障发生后, 大体的步骤是相同的。如图 1-2 所示为故障分析的一般流程。

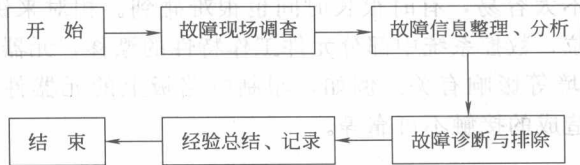


图 1-2 数控机床故障分析的一般流程

故障现场调查是维修人员取得第一手材料的一个重要手段。一方面要向操作者调查, 详细询问出现故障的全过程, 查看故障记录单, 了解发生过什么现象, 曾采取过什么措施等; 另一方面, 要对现场作细致的勘察。从系统的外观到系统内部各印刷电路板都应细心地查看是否有异常之处。在确认系统通电无危险的情况下, 方可通电, 观察系统有何异常, CRT 显示的内容等。故障现场需要了解的内容见表 1-2。

### 1.2.1 故障现场调查

当数控系统出现报警发生故障时, 维修人员不要急于动手处理。首先, 要调查事故现场。这是维修人员取得第一

表 1-2 现场需要了解的内容

序号	主要内容	具体内容
1	故障的种类	① 发生故障时, 系统处于何种工作方式: 是 MDI(手动数据输入方式)、MEMORY(存储器方式); 或者是 EDIT(编辑)、HANDLE(手轮)、JOG(点动)方式 ② 系统状态显示: 有时系统发生故障却没有报警, 此时需要通过诊断画面观察系统处于何种状态。如系统是在执行 M、S、T 辅助功能, 还是在自动运转, 又如系统是处于暂停还是急停, 或者系统处于互锁状态还是倍率为 0% 状态等 ③ 定位误差超差情况 ④ 在 CRT 上有报警出现吗? 报警信号如何 ⑤ 刀具轨迹出现误差, 此时的速度是否正常
2	故障的频繁程度	① 故障发生的时间, 一共发生了几次, 是否频繁发生, 数控机床旁边其他机械设备工作是否正常 ② 加工同类工件时, 发生故障的概率如何 ③ 故障是在特定方式下发生的吗? 是否与进给速度、换刀方式或与螺纹切削有关 ④ 出现故障的程序段 ⑤ 将该程序段的编程值与系统内的实际值进行比较, 确认两者是否有差异, 是否是程序输入有错误 ⑥ 重复出现的故障是否与外界因素有关