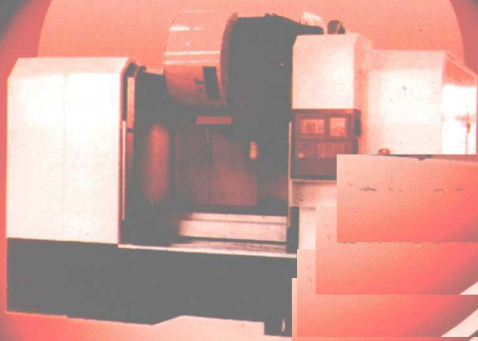


数控机床安装调试 与维护保养技术

严峻 编著



数控机床安装调试与维护 保养技术

严 峻 编著



机械工业出版社

本书按照数控机床装配与调试工作过程,结合数控机床安装、调试与维修保养的有关要求,以数控机床的调试与装配生产为案例,阐述数控机床安装调试与维护保养技术。内容包括:机械部件的装配、调整要点;电气控制元器件的选择、性能测试与装接;CNC 控制单元的电气连接与调试;进给驱动系统和主轴驱动系统的安装、调试;机床现场安装与验收;以及数控机床整机调试技术。并以目前我国常用的几类数控系统为例,着重讲述数控系统的连接、调整、参数的设置、保存与恢复、数控机床的维护和保养等几个方面内容。本书具有理论与实践相统一,并且重在实践的特点。

本书适合于企业数控机床维修人员使用,也可供从事数控机床技术研究的工程技术人员、生产管理人员、数控机床的使用者及职业技术学院的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床安装调试与维护保养技术/严峻编著. —北京:机械工业出版社, 2010.2

ISBN 978-7-111-29583-9

I. 数… II. 严… III. ①数控机床—安装②数控机床—调试③数控机床—维修 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 012713 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:周国萍 责任编辑:王治东 版式设计:霍永明

责任校对:陈立辉 封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京富生印刷厂印刷

2010 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.75 印张·540 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-29583-9

定价:42.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

数控技术已经用它所显示的效益和巨大潜力，引起整个制造业的普遍重视。它的广泛使用给制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来了深刻的变化，是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。

数控系统是一种综合性的控制系统，涉及自动化的各个领域。随着计算机技术、控制技术、电动机技术和电力电子技术的发展，代表数控机床技术水平的数控系统和伺服系统也得到了很大的发展。要维护好这些设备，使其正常服务于工业生产，充分发挥数控机床的经济效益，企业需要一批既具有较高专业理论水平又具有较高实践动手能力的安装、调试和维修人员。目前接受过专业培训，能自主解决现场常见问题，并可以与专家进行沟通的一线技术人员还十分缺乏。

本书着眼于行业应用较多、较广、较普遍的数控机床和系统，力求接近工业应用实际情况，注重内容的实用性；并广泛收集近期数控系统的相关资料，以及数控机床调试的相关经验；同时结合我国的国家标准、行业标准、行业中常用的国外标准，重点阐述了典型数控系统、数控机床电气控制系统、数控机床安装与调试、数控设备的维护与保养。

本书内容重点突出，强调理论知识与实践的结合，突出国家及行业标准的应用，文字简练，图文并茂。本书编著者结合近年来一体化教学的实践，对数控调试维护人员应了解和掌握的知识进行了合理的分类与编排，实践范围全面、内容典型，有很强的可操作性。

本书在编写过程中，参考了数控技术方面的诸多论著、教材和数控机床调试手册，编著者对参考文献中各书的作者深表谢意。由于编著者水平有限，书中难免存在错误，恳请同行及读者批评指正。

编著者

目 录

前言

第1章 数控机床概论 1

- 1.1 数控机床产生的历史背景及其现状 1
 - 1.1.1 数控机床产生的历史背景 1
 - 1.1.2 数控机床的现状 2
- 1.2 数控机床的发展状况 3
 - 1.2.1 数控机床的发展趋势 3
 - 1.2.2 数控机床各部件的发展趋势 6
 - 1.2.3 体系结构的发展方向 7
 - 1.2.4 智能化新一代 PCNC 数控系统 8
- 1.3 中国数控机床的发展 8
 - 1.3.1 中国数控机床的现状 8
 - 1.3.2 中国发展数控机床存在的主要问题 9
 - 1.3.3 中国数控系统的技术水平 9
- 1.4 数控机床的适用范围和特点 10
 - 1.4.1 数控机床的适用范围 10
 - 1.4.2 数控机床的特点 11
- 1.5 数控系统设计开发规范和标准 12
 - 1.5.1 数控系统设计开发规范 12
 - 1.5.2 数控系统标准 12
- 1.6 数控功能的基本术语 13
 - 1.6.1 数控系统术语 13
 - 1.6.2 数控机床术语 14
- 1.7 数控系统的技术性能指标 15
 - 1.7.1 数控系统的性能 15
 - 1.7.2 系统的高分辨率 15
 - 1.7.3 控制功能 15
 - 1.7.4 伺服驱动系统的性能 15
 - 1.7.5 数控系统内 PLC 功能 16
 - 1.7.6 系统的通信接口功能 16
 - 1.7.7 数控系统的开放性 16

1.7.8 数控系统的可靠性与故障自

诊断 16

第2章 数控机床机械结构的装配与

调试 17

- 2.1 机床本体装配与调试 17
 - 2.1.1 床身安装 17
 - 2.1.2 导轨安装与校正 19
- 2.2 数控机床的主传动系统和主轴部件的结构与调整 20
 - 2.2.1 数控机床主传动系统的参数 20
 - 2.2.2 对数控机床主传动系统的要求 21
 - 2.2.3 主传动系统的配置 21
 - 2.2.4 主轴部件 25
 - 2.2.5 主轴的准停 28
- 2.3 主轴的拆卸与调整 31
 - 2.3.1 数控车床主轴部件的结构与调整 32
 - 2.3.2 加工中心主轴部件的结构与调整 33
 - 2.3.3 数控铣床主轴部件的结构与调整 38
- 2.4 主轴部件的调整与维护 39
 - 2.4.1 主轴润滑 39
 - 2.4.2 防泄漏 39
 - 2.4.3 刀具夹紧装置的清洁 41
 - 2.4.4 主轴滚动轴承的预紧 41
- 2.5 数控机床进给传动部件的调整 43
 - 2.5.1 对进给运动系统的要求 43
 - 2.5.2 电动机与丝杠间的连接 43
 - 2.5.3 传动间隙补偿机构的调整 44
 - 2.5.4 滚珠丝杠螺母副的间隙消除 46
 - 2.5.5 滚珠丝杠的支承 49
 - 2.5.6 制动装置 49

2.5.7 滚珠丝杠副的保护及润滑·····	50	3.3.2 多微处理器系统结构·····	90
2.6 数控机床导轨类型与调整·····	50	3.4 CNC 系统软件结构及控制·····	92
2.6.1 导轨的基本类型·····	50	3.4.1 计算机数字控制系统的软硬件 界面·····	92
2.6.2 塑料滑动导轨·····	51	3.4.2 CNC 系统的软件结构及控制·····	93
2.6.3 静压导轨·····	51	3.5 CNC 系统常用外设及接口·····	97
2.6.4 滚动导轨·····	53	3.5.1 数控机床输入/输出 (I/O) 接口·····	97
2.6.5 滚动导轨的预紧·····	54	3.5.2 异步串行通信接口·····	99
2.6.6 导轨副的调整·····	55	3.5.3 网络通信接口·····	101
2.6.7 导轨的润滑·····	56	3.6 可编程序控制器在数控机床中的应用 与调试·····	102
2.7 数控机床回转工作台的结构与 调试·····	57	3.6.1 可编程序控制器系统的组成与 分类·····	103
2.7.1 数控回转工作台·····	57	3.6.2 PLC 的接口·····	105
2.7.2 分度工作台·····	59	3.6.3 PLC 的几种控制功能·····	107
2.7.3 数控工作台的拆装与调试·····	60	3.6.4 可编程序控制器对继电器控制 系统的仿真·····	107
2.8 数控机床自动换刀装置的调试与 维护·····	61	3.6.5 可编程序控制器 I/O 延迟 响应·····	109
2.8.1 回转刀架换刀·····	61	3.6.6 PLC 的数据处理功能·····	112
2.8.2 更换主轴换刀·····	63	3.6.7 数控机床中 PLC 的程序编制 步骤·····	113
2.8.3 更换主轴箱换刀·····	63	3.6.8 PLC 在数控机床上的调试·····	114
2.8.4 带刀库的自动换刀系统·····	64	3.7 数控系统的调试技术·····	121
2.8.5 刀库·····	65	3.7.1 分辨率的计算·····	121
2.8.6 刀库及换刀机械手的维护·····	71	3.7.2 输入机床参数的顺序·····	122
2.9 数控机床液压、气动系统的调试与 维护·····	71	3.7.3 各坐标轴的控制调整·····	122
2.9.1 液压传动系统·····	71	3.7.4 各坐标轴软极限的调整·····	122
2.9.2 液压系统的维护与调整·····	72	3.7.5 偏置值和最大进给率的调整·····	122
2.9.3 气动系统·····	74	3.7.6 输入机床参数·····	123
2.9.4 气动系统的维护与调整·····	78	3.7.7 设置 M 功能代码·····	123
第 3 章 数控系统的结构与调试·····	80	3.7.8 各直线坐标轴滚珠丝杠的误差 补偿·····	124
3.1 数控系统的组成及工作过程·····	80	3.7.9 机床各坐标轴参考点及机床零点 的设定·····	124
3.1.1 数控系统各部分组成·····	80	3.7.10 进给保持的应用·····	125
3.1.2 数控系统的特点·····	82	第 4 章 数控机床电气控制系统的连接 与调试·····	126
3.1.3 计算机数控系统的工作过程·····	82		
3.2 计算机数字控制系统的数据信息·····	84		
3.2.1 数控机床的控制信息·····	84		
3.2.2 数控机床的接口信息·····	85		
3.2.3 CNC 装置的数据转换信息·····	86		
3.3 CNC 装置的硬件结构·····	87		
3.3.1 单微处理器结构·····	87		

4.1 数控机床的电气控制系统	126	5.2.2 FANUC Oi 数控系统的连接	190
4.1.1 电气控制系统的构成形式	126	第6章 典型数控系统的调试与参数	
4.1.2 电气系统连接的基本过程	128	调整	204
4.1.3 数控系统电源的连接	130	6.1 FANUC Oi 系统调试	204
4.2 数控机床电器部件的安装与连接	132	6.1.1 调试前的检查	204
4.2.1 基本单元连接	132	6.1.2 系统参数设定	205
4.2.2 总体连接	133	6.1.3 FANUC Oi Mate-MB 基本	
4.2.3 伺服/主轴放大器连接	134	参数	210
4.2.4 急停的连接	135	6.1.4 伺服系统设定与调试	212
4.2.5 电动机制动器的连接	136	6.1.5 主轴参数设置与调整	214
4.2.6 电源的连接	137	6.1.6 刀具参数设置	215
4.2.7 电气接线的关键技术	138	6.1.7 PMC 梯形图的调试	215
4.3 电气系统的通电与调试	142	6.1.8 伺服参数的优化	217
4.3.1 电气系统的通电检查	142	6.1.9 螺距误差补偿与反向间隙	
4.3.2 电气系统的调试	143	补偿	219
4.4 机床电气手册的识别	146	6.2 通电试车	220
4.4.1 电气手册的识读	146	6.2.1 各控制回路的调试	220
4.4.2 查找回路的方法	147	6.2.2 资料整理和数据备份	221
4.5 数控机床电气系统与 PLC 的关联		6.2.3 使用外接 PC 进行数据的备份与	
控制	155	恢复	222
4.5.1 数控机床 PLC 的控制对象	155	6.3 SINUMERIK 802C 系统的调试	224
4.5.2 PLC 和 NC 的关系	157	6.3.1 通电和系统引导	224
4.5.3 PLC 在数控机床中的作用	157	6.3.2 PLC 调试	225
4.5.4 PLC 和外围电路的关系	159	6.3.3 初始化调试	226
第5章 典型数控系统的硬件构成与		6.3.4 主轴调试	228
连接	167	6.3.5 调试完成后的工作	230
5.1 SIEMENS 数控系统的硬件组成与		6.4 SINUMERIK 802CBL 系统参数的设置	
连接	167	和调整	231
5.1.1 SINUMERIK 840D 数控系统的		6.4.1 SINUMERIK 802CBL 系统	
组成	167	口令	231
5.1.2 SINUMERIK 840D 数控系统的		6.4.2 系统数据的显示和修改	232
连接	169	6.4.3 参数设置	233
5.1.3 SINUMERIK 802C 数控系统的		6.5 SINUMERIK 802CBL 系统数据备份与	
组成	176	传输	235
5.1.4 SINUMERIK 802C 数控系统的		6.5.1 系统的数据保护	235
连接	180	6.5.2 SINUMERIK 802CBL 数据	
5.2 FANUC 数控系统的硬件构成与		保存	236
连接	188	6.6 SINUMERIK 840D 系统的调试	238
5.2.1 FANUC Oi 数控系统的组成	188	6.6.1 开机准备	238

6.6.2 开机和起动	239	调试	285
6.6.3 NC 和 PLC 总清	242	7.4.1 数控机床空运行与功能检验的 一般要求	285
6.6.4 PLC 软件系统的安装与调试 ..	242	7.4.2 数控卧式车床空运行及功能 检验	287
6.6.5 机床数据 MD (Machine Data) 的 调试	248	7.4.3 数控车床的整机调试与负荷 试验	289
6.6.6 MMC 软件的安装	251	7.4.4 加工中心的空运行及功能 检验	292
6.7 SINUMERIK 840D 的数据备份	252	7.4.5 卧式加工中心的整机调试与负荷 试验	298
6.7.1 数据备份的方法	252	7.5 数控机床的检测验收	300
6.7.2 系列备份	252	7.5.1 机床外观检查	301
6.7.3 分区备份	254	7.5.2 几何精度检验	301
6.8 数据的恢复	254	7.5.3 定位精度检验	303
6.8.1 MMC100.2 的操作步骤	255	7.5.4 切削精度检验	305
6.8.2 MMC103 的操作步骤	255	7.5.5 机床性能及 NC 功能试验	307
6.9 螺距误差补偿	255	第 8 章 数控机床的维护与保养	309
6.9.1 螺距误差补偿的方法	256	8.1 数控机床的维护管理	309
6.9.2 螺距误差补偿的操作步骤	256	8.1.1 数控设备维护管理的基本 要求	309
第 7 章 数控机床的整机安装、调试与 验收	257	8.1.2 数控设备维护管理的主要 内容	309
7.1 数控机床的安装	257	8.1.3 对维修人员的素质要求	310
7.1.1 数控机床安装前的技术准备 ..	257	8.1.4 数控设备维护管理常用的仪器、 仪表、工具及功能测试	311
7.1.2 机床的安装连接	260	8.1.5 机床标准实施细则	314
7.1.3 数控机床的抗干扰	263	8.1.6 数控机床运行使用中的注意 事项	315
7.2 数控机床调试前的检查工作	268	8.1.7 机械部件及辅助装置的维护 ..	316
7.2.1 机床内部部件的紧固和外部连接 电缆检查	268	8.1.8 位置检测元件的维护	318
7.2.2 机床数控系统性能的全面检查和 确认	268	8.1.9 数控系统日常维护	319
7.2.3 机床机械部分与辅助系统的 检查	271	8.1.10 不定期与定期点检	320
7.2.4 接通电源后的检查	272	8.1.11 日常点检	324
7.3 CNC 系统的功能检查和调试	274	8.1.12 月检查要点	325
7.3.1 CRT 显示内容检查和功能 调试	274	8.1.13 半年检查要点	325
7.3.2 数控机床 CNC 系统通电后的硬件 检查和调试	280	8.1.14 数控机床的可视化管理	326
7.3.3 数字伺服系统的检查和调试 ..	282	8.2 数控机床强电控制系统的维护与 保养	327
7.3.4 交流主轴驱动系统的检查和 调试	283		
7.4 数控机床的空运行功能检验与			

8.2.1 普通继电接触器控制系统的维护 与保养	327	规程	332
8.2.2 PLC 的维护与保养	328	8.4 数控机床的保养	332
8.2.3 预防性维护的主要内容	328	8.4.1 数控机床一级保养的内容和 要求	333
8.3 数控机床的安全操作规程	330	8.4.2 数控机床二级保养的内容和 要求	334
8.3.1 数控车床及车削加工中心的安全 操作规程	330	8.4.3 数控机床三级保养的内容和 要求	337
8.3.2 数控铣床及加工中心的安全操作 规程	331	参考文献	340
8.3.3 特种加工机床的安全操作			

第 1 章 数控机床概论

1.1 数控机床产生的历史背景及其现状

1.1.1 数控机床产生的历史背景

从工业化革命以来，人们实现机械加工自动化的手段有：自动机床、组合机床和专用自动生产线。这些设备的使用大大提高了机械加工自动化的程度，提高了劳动生产率，促进了制造业的发展。但它也存在固有的缺点：初始投资大，准备周期长，柔性差。随着市场竞争的日趋激烈，产品更新换代加快，大批量产品越来越少，小批量产品生产的比重越来越大，迫切需要一种精度高、柔性好的加工设备来满足上述需求。而电子技术和计算机技术的飞速发展则为 NC 机床的进步提供了坚实的技术基础，数控技术正是在这种背景下诞生和发展起来的。它的产生给自动化技术带来了新的概念，推动了加工自动化技术的发展。

数控机床是新型自动化机床，它是具有广泛的通用性和很高自动化的全新型机床，是用数字代码形式的信息来控制机床按给定的动作顺序进行加工的自动化机床。

采用数字控制技术进行机械加工的思想最早来源于 20 世纪 40 年代，数控机床最早产生于美国。

1947 年，为精确制作直升机叶片的样板，美国帕森斯（PARSONS）公司设想并利用全数字计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理，使得加工精度达到 0.0381mm，这是最早地将数字控制技术运用到机械加工中的实例。

1949 年，美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件，委托帕森斯公司并通过该公司与麻省理工学院伺服机构研究所协作，开始了数控机床的研制工作。经过三年的研制，于 1952 年研制成功了世界上第一台数控铣床，当时所用的电子元件是电子管。

从 1952 年至今，数控机床按数控系统的发展经历了五代。

第一代：1955 年，数控系统以电子管组成，体积大，功耗大。

第二代：1959 年，数控系统以晶体管组成，广泛采用印制电路板。

第三代：1965 年，数控系统采用小规模集成电路作为硬件，其特点是体积小，功耗低，可靠性进一步提高。

以上三代数控系统，由于其数控功能均由硬件实现，故历史上又称其为“硬件数控”。

第四代：1970 年，数控系统采用小型计算机取代专用计算机，其部分功能由软件实现，它具有价格低、可靠性高和功能多等特点。

第五代：1974 年，数控系统以微处理器为核心，不仅价格进一步降低，而且体积进一步缩小，使实现真正意义上的机电一体化成为可能。这一代又可分为六个发展阶段。

1974 年：系统以位片微处理器为核心，有字符显示、自诊断功能。

1979 年：系统采用 CRT 显示、VLIC（大规模和超大规模集成电路）、大容量磁泡存储器、可编程接口和遥控接口等。

1981 年：具有人机对话、动态图形显示、实时精度补偿功能。

1986 年：数字伺服控制诞生，大惯量的交直流电动机进入实用阶段。

1988 年：采用高性能 32 位机为主机的主从结构系统。

1994 年：基于 PC 的数控系统诞生，使数控系统的研发进入了开放性、柔性化的新时代，新型数控系统的开发周期日益缩短。它是数控技术发展的又一个里程碑。

综上所述，由于微电子技术和计算机技术的不断发展，数控机床的数控系统也随着不断更新，发展非常迅速，几乎 5 年左右时间就更新换代一次。

而我国关于数控机床的研究有以下几个发展阶段：

1958 年：开始起步。

20 世纪 50 年代~60 年代：处于研发阶段。

20 世纪 60 年代~70 年代：研制了晶体管式数控系统。

20 世纪 80 年代：引进设备，进行技术吸收更新。

20 世纪 80 年代~90 年代（七五）：数控大发展的阶段。

20 世纪 90 年代：我国有自主产权的中高档数控设备产生。高校和研究所加入，推出了基于 PC 的 CNC 系统。

进入 21 世纪中国数控机床其重点是以提高系统的可靠性、实用化为前提，以易于联网和集成为目标；注意加强单元技术的开拓、完善；CNC 单机向高精度、高速度和高柔性方向发展；数控机床及其构成柔性制造系统能方便地与 CAD、CAM、CAPP、MTS 联结，向信息集成方向发展；网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

1.1.2 数控机床的现状

近年来，世界上许多数控系统生产厂家利用微型计算机（Person Computer）丰富的软、硬件资源开发开放式体系结构的新一代数控系统。其硬件、软件和总线规范都是对外开放的，由于有充足的软、硬件资源可以利用，不仅使数控系统制造商和用户的系统集成得到有力的支持，而且也针对用户的二次开发带来极大的方便，促进了数控系统多档次、多品种的开发和广泛应用，既可通过升级或剪裁制成各种档次的数控系统，又可以通过扩展构成不同类型数控机床的数控系统，大大缩短了开发生产周期，并可随 CPU 升级而升级。随着人工智能在计算机领域的渗透和发展，数控系统引入了自适应控制、模糊系统和神经网络的控制机理，不但具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿、温差刚性变形补偿等功能，而且人机界面极为友好，故障诊断专家系统使自诊断和故障监控功能更趋完善。

当前，随着制造业对一次装夹、多种工序加工的复合化要求的提高，国外已经出现了加工中心与车削中心复合机床，加工中心与激光加工复合机床，集车、磨、铣、钻、铰、滚齿等工序于一身的车磨复合机床，集平磨、内圈磨、外圈磨于一身的磨削中心，集各种机床及测量机于一身的虚拟轴机床，五轴联动激光切割机。

1.2 数控机床的发展状况

1.2.1 数控机床的发展趋势

数控机床随着科技,特别是微电子、计算机技术的进步而不断发展。美、德、日三国是在数控机床科研、设计、制造和使用上技术最先进、经验最多的国家,因其社会条件不同而各有特点。

美国政府重视机床工业,美国国防部等部门不断提出机床的发展方向、科研任务,并提供充足的经费,且网罗世界人才,特别讲究“效率”和“创新”,注重基础科研。因而在机床技术上不断创新,如1952年研制出世界上第一台数控机床、1958年研制出加工中心、20世纪70年代初研制成FMS(柔性制造系统)、1987年首创开放式数控系统等。由于美国首先结合汽车、轴承生产需求,充分发展了大批量生产自动化所需的自动线,而且电子、计算机技术在世界上领先。因此,其数控机床的主机设计、制造及数控系统基础扎实,且一贯重视科研和创新,故其高性能数控机床技术在世界上也一直领先。

当今美国不仅生产宇航等行业使用的高性能数控机床,也为中小企业生产廉价实用的数控机床(如Haas、Fadal公司等)。其存在的教训是,偏重于基础科研,忽视应用技术,且在20世纪80年代政府一度放松了引导,致使数控机床产量增加缓慢,于1982年被后进的日本超过,并大量进口。从20世纪90年代起,美国政府纠正过去偏向,数控机床在技术上转向实用,产量又逐渐上升。

德国政府一贯重视机床工业的重要战略地位,在多方面大力扶植。特别讲究“实际”与“实效”,坚持“以人为本”,师徒相传,不断提高人员素质。在发展大批量生产自动化的基础上,于1956年研制出第一台数控机床后,一直坚持实事求是,讲求科学精神,不断稳步前进。

德国特别注重科学试验,理论与实际相结合,基础科研与应用技术科研并重。企业与大学科研部门紧密合作,对用户产品、加工工艺、机床布局结构、数控机床的共性和特性问题进行深入的研究,在质量上精益求精。德国数控机床的质量及性能良好、先进实用、货真价实,出口遍及世界,尤其是大型、重型、精密数控机床。德国特别重视数控机床主机及配套的先进实用,其机、电、液、气、光、刀具、测量、数控系统和各种功能部件,在质量、性能上居世界前列。如西门子公司的数控系统和Heidenhain公司的精密光栅均世界闻名,各地竞相采用。

日本政府对机床工业的发展异常重视,通过规划、法规(如“机振法”、“机电法”、“机信法”等)引导发展。在重视人才及机床元部件配套上学习德国,在质量管理及数控机床技术上学习美国,甚至青出于蓝而胜于蓝。

日本也和美、德两国相似,充分发展大批量生产自动化,继而全力发展中小批量柔性生产自动化的数控机床。自1958年研制出第一台数控机床后,1978年产量(7342台)超过美国(5688台),至今产量、出口量一直居世界首位(2001年产量46604台,出口27409台,占59%)。在战略上,一开始就生产量大而面广的中档数控机床,大量出口,占去世界广大市场。

日本在 20 世纪 80 年代开始进一步加强科研,向高性能数控机床发展。在策略上,首先通过学习美国全面质量管理(TQC)变为职工自觉群体活动,保证产品质量,进而加速发展电子、计算机技术,进入世界前列,为发展机电一体化的数控机床开道。日本在发展数控机床的过程中,狠抓关键,突出发展数控系统。

日本 FANUC 公司战略正确,仿、创结合,针对性地发展市场所需的各种低、中、高档数控系统,在技术上领先,在产量上居世界第一。该公司现有职工 3674 人,科研人员超过 600 人,月产能力 7000 套,销售额在世界市场上占 50%,在国内约占 70%,对加速日本和世界数控机床的发展起到了重大促进作用。

当前,世界数控技术及其装备发展趋势主要体现在以下几个方面。

1. 高速、高效、高精度、高可靠性

要提高加工效率,必须首先提高切削和进给速度,同时,还要缩短加工时间。要确保加工质量,必须提高机床部件运动轨迹的精度,而可靠性则是上述目标的基本保证。为此,必须要有高性能的数控装置作保证。

(1) 高速、高效

机床向高速化方向发展,可充分发挥现代刀具材料的性能,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有广泛的适用性。

新一代数控机床(含加工中心)只有通过高速化大幅度缩短切削工时才可能进一步提高其生产率。超高速加工特别是超高速铣削与新一代高速数控机床,特别是高速加工中心的开发应用紧密相关。20 世纪 90 年代以来,欧洲、美国、日本争相开发应用新一代高速数控机床,加快机床高速化发展步伐。高速主轴单元(电主轴,转速 15000~100000r/min)、高速且高加/减速度的进给运动部件(快移速度 60~120m/min,切削进给速度高达 60m/min)、高性能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破,达到了新的技术水平。随着超高速切削机理、超硬耐磨长寿命刀具材料和磨料磨具,大功率高速电主轴、高加/减速度直线电动机驱动进给部件以及高性能控制系统(含监控系统)和防护装置等一系列技术领域关键技术的解决,应不失时机地开发应用新一代高速数控机床。

依靠快速、准确的数字量传递技术对高性能的机床执行部件进行高精密度、高响应速度的实时处理,由于采用了新型刀具,车削和铣削的切削速度已达到 5000~8000m/min 以上;主轴转数在 30000r/min(有的高达 10 万 r/min)以上;工作台的移动速度(进给速度)在分辨率为 1 μ m 时为 100m/min(有的到 200m/min)以上,在分辨率为 0.1 μ m 时,为 24m/min 以上;自动换刀速度在 1s 以内;小线段插补进给速度达到 12m/min。根据高效率、大批量生产的需求和电子驱动技术的飞速发展,高速直线电动机的推广应用,开发出一批高速、高效、高速响应的数控机床以满足汽车、农机等行业的需求。还由于新产品更新换代周期加快,模具、航空、军事等工业的加工零件不但复杂而且品种增多,也需要高效的数控机床实现优质、低成本的生产。

(2) 高精度

从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工)是世界各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级(<10nm),其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削(车、铣)、超精密磨削、超精密研磨抛光以及超精密特种加工(激光

束、电子束和离子束加工及微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等)。随着现代科学技术的发展,对超精密加工技术不断提出了新的要求。新材料及新零件的出现,更高精度要求的提出等都需要超精密加工工艺,发展新型超精密加工机床,完善现代超精密加工技术,以适应现代科技的发展。

当前,机械加工高精度的要求如下:普通的加工精度提高了一倍,达到 $5\mu\text{m}$;精密加工精度提高了两个数量级,超精密加工精度进入纳米级($0.001\mu\text{m}$),主轴回转精度要求达到 $0.01\sim 0.05\mu\text{m}$,加工圆度为 $0.1\mu\text{m}$,加工表面粗糙度 $R_a=0.003\mu\text{m}$ 等。

精密化是为了适应高新技术发展的需要,也是为了提高普通机电产品的性能、质量和可靠性,减少其装配时的工作量,从而提高装配效率的需要。随着高新技术的发展和对机电产品性能与质量要求的提高,机床用户对机床加工精度的要求也越来越高。为了满足用户的需要,近十多年来,普通级数控机床的加工精度已由 $\pm 10\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\mu\text{m}$,精密级加工中心的加工精度则从 $\pm (3\sim 5)\mu\text{m}$ 提高到 $\pm (1\sim 1.5)\mu\text{m}$ 。

(3) 高可靠性

高可靠性是指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,仍然是适度可靠,因为是商品,受性能价格比的约束。对于每天工作两班的无人工厂而言,如果要求在16h内连续正常工作,无故障率 $P(t)=99\%$ 以上,则数控机床的MTBF(Mean Time Between Failures,当产品的寿命服从指数分布时,其故障率的倒数就叫做平均故障间隔时间)就必须大于3000h。MTBF大于3000h,对于由不同数量的数控机床构成的无人化工厂差别就大多了,只对一台数控机床而言,如主机与数控系统的失效率之比为10:1(数控的可靠性比主机高一个数量级),则此时数控系统的MTBF就要大于33333.3h,而其中的数控装置、主轴及驱动等的MTBF就必须大于10万h。

当前国外数控装置的MTBF值已达6000h以上,驱动装置达30000h以上。

2. 模块化、智能化、柔性化和集成化

(1) 模块化

为了适应数控机床多品种、小批量的特点,机床结构模块化,数控功能专门化,机床性能价格比显著提高并加快优化。个性化是近几年来特别明显的发展趋势。

(2) 智能化

智能化的内容包括在数控系统中的各个方面。

为追求加工效率和加工质量方面的智能化,如自适应控制、工艺参数自动生成等。

为提高驱动性能及使用连接方便方面的智能化,如前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等。

简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等。

智能诊断、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

(3) 柔性化和集成化

数控机床向柔性自动化系统发展的趋势是:从点(数控单机、加工中心和数控复合加工机床)、线(柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、柔性制造生产线(FML)、专用机床或数控专用机床组成的柔性制造(FML))向面(工段车间独立制造岛、自动化工厂(FA))、体(计算机集成制造(CIMS)、分布式网络集成制造系统)的方向发展,另一方面向注重应用性和经济性方向发展。柔性自动化技术是制造业适应动态市场需求及产品迅

速更新的主要手段,是各国制造业发展的主流趋势,是先进制造领域的基础技术。其重点是以提高系统的可靠性、实用化为前提,以易于联网和集成为目标;注重加强单元技术的开拓、完善;CNC 单机向高精度、高速度和高柔性方向发展;数控机床及其构成柔性制造系统能方便地与计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、机床自动编程的编辑程序(CAMP)、信息系统(MIS)连接,向信息集成方向发展;网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

3. 开放性

为适应数控进线、联网、普及型个性化、多品种、小批量、柔性化及数控迅速发展的要求,最重要的发展趋势是体系结构的开放性,设计生产开放式的数控系统,如美国、欧共体及日本发展开放式数控的计划等。

4. 出现新一代数控加工工艺与装备

为适应制造自动化的发展,向 FMC、FMS 和 CIMS 提供基础设备,要求数字控制制造系统不仅能完成通常的加工功能,而且还要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头(有时带坐标变换)、自动误差补偿、自动诊断、进线和联网等功能,广泛地应用机器人、物流系统。围绕数控技术、制造过程技术在快速成型、并联机构机床、机器人化机床、多功能机床等整机方面和高速电主轴、直线电动机、软件补偿精度等单元技术方面先后有所突破,并连杆结构的新型数控机床实用化。这种虚拟轴数控机床用软件的复杂性代替传统机床机构的复杂性,开拓了数控机床发展的新领域。

以计算机辅助管理和工程数据库、互联网等为主体的制造信息支持技术和智能化决策系统对机械加工中海量信息进行存储和实时处理。应用数字化网络技术使机械加工整个系统趋于资源合理支配并高效地应用。

由于采用了神经网络控制技术、模糊控制技术、数字化网络技术,机械加工向虚拟制造的方向发展。

1.2.2 数控机床各部件的发展趋势

1. 数控系统的发展趋势

从 1952 年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统,到现在已走过了 54 年的历程。数控系统由当初的电子管式起步,经历了以下几个发展阶段:分立式晶体管式→小规模集成电路式→大规模集成电路式→小型计算机式→超大规模集成电路→微机式的数控系统。到 20 世纪 80 年代,总体发展趋势是:数控装置由 NC 向 CNC 发展;广泛采用 32 位 CPU 组成多微处理器系统;提高系统的集成度,缩小体积,采用模块化结构,便于裁剪、扩展和功能升级,满足不同类型数控机床的需要;驱动装置向交流、数字化方向发展;CNC 装置向人工智能化方向发展;采用新型的自动编程系统,增强通信功能;数控系统可靠性不断提高。数控机床技术不断发展,功能越来越完善,使用越来越方便,可靠性越来越高,性能价格比也越来越高。国外数控系统技术发展的总体发展趋势如下。

(1) 新一代数控系统采用开放式体系结构

进入 20 世纪 90 年代以来,由于计算机技术的飞速发展,推动数控机床技术更快地更新换代。世界上许多数控系统生产厂家利用 PC 丰富的软、硬件资源开发开放式体系结构的新一代数控系统。开放式体系结构使数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性,并向

智能化、网络化方向大大发展。近几年,许多国家纷纷研究开发这种系统,如美国科学制造中心(NCMS)与空军共同领导的“下一代工作站/机床控制器体系结构”NGC、欧盟的“自动化系统中开放式体系结构”OSACA、日本的 OSEC 计划等。开发研究成果已得到应用,如 Cincinnati-Milacron 公司从 1995 年开始在其生产的加工中心、数控铣床、数控车床等产品中采用了开放式体系结构的 A2100 系统。开放式体系结构可以大量采用通用微机的先进技术,如多媒体技术,实现声控自动编程、图形扫描自动编程等。数控系统继续向高集成度方向发展,每个芯片上可以集成更多个晶体管,使系统体积更小,更加小型化、微型化,可靠性大大提高。利用多 CPU 的优势实现故障自动排除,增强通信功能,提高进线、联网能力。

(2) 新一代数控系统控制性能大大提高

数控系统在控制性能上向智能化发展。随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,数控系统引入了自适应控制、模糊系统和神经网络的控制机理,不但具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好,并具有故障诊断专家系统,使自诊断和故障监控功能更趋完善。伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置,能自动识别负载并自动优化调整参数。直线电动机驱动系统已实用化。

新一代数控系统技术水平大大提高,促进了数控机床性能向高精度、高速度、高柔性化方向发展,使柔性自动化加工技术水平不断提高。

2. 数控分度头的发展趋势

当前国产数控机床发展迅猛,向高速、高效、高精、柔性化、环保方面发展,与之相应的机床附件也应随之发展。数控分度头未来的发展趋势是:在规格上向两头延伸,既开发小规格也开发大规格的分度头,同时注意相关技术的开发;在性能方面将向进一步提高刹紧力矩、主轴转速及可靠性方面发展;要求采用新材料;产品要价格低、操作方便。

3. 数控转台的发展趋势

随着我国制造业的发展,加工中心的需求也在增加,特别是四轴、五轴的加工中心。估计近几年要求配备数控转台的加工中心将会越来越多。

数控转台的发展趋势是:在规格上向两头延伸,既开发小型转台,也开发大型转台以适应市场需求;在性能上将研制以钢为材料的蜗轮,大幅度提高工作台转速和转台的承载力;在形式上继续研制两轴和多轴并联的数控转台。

4. 数控刀架的发展趋势

今后国产数控车床将向中高档发展,中档采用普及型数控刀架配套,高档采用动力型数控刀架配套,兼有液压刀架、伺服刀架、立式刀架等品种,预计近年来对数控刀架需求量将大大增加。数控刀架的发展趋势是:随着数控车床的发展,数控刀架开始向快速换刀、电液组合驱动和伺服驱动方向发展。

1.2.3 体系结构的发展方向

1. 集成化

采用高度集成化的 CPU、RISC 芯片和大规模可编程集成电路 FPGA、EPLD、CPLD 以及专用集成电路 ASIC 芯片,可提高数控系统的集成度和软、硬件运行速度。应用 FPD 平板显示技

术,可提高显示器性能。平板显示器具有科技含量高、重量轻、体积小、功耗低、便于携带等优点,可实现超大尺寸显示,成为和 CRT 抗衡的新兴显示技术,是 21 世纪显示技术的主流。应用先进封装和互联技术,将半导体和表面安装技术融为一体。通过提高集成电路密度、减少互联长度和数量来降低产品价格,改进性能,减小组件尺寸,提高系统的可靠性。

2. 模块化

硬件模块化易于实现数控系统的集成化和标准化。根据不同的功能需求,将基本模块,如 CPU、存储器、位置伺服、PLC、输入/输出接口、通信等模块,制作成为标准的系列化产品,通过积木方式进行功能裁剪和模块数量的增减,构成不同档次的数控系统。

3. 网络化

数控机床联网可进行远程控制和无人化操作。通过机床联网,可在任何一台机床上对其他机床进行编程、设定、操作、运行,不同机床的画面可同时显示在每一台机床的屏幕上。

4. 通用型开放式闭环控制模式

采用通用计算机组成总线式、模块化、开放式、嵌入式体系结构,便于裁剪、扩展和升级,可组成不同档次、不同类型、不同集成程度的数控系统。闭环控制模式是针对传统的数控系统仅有的专用型单机封闭式开环控制模式提出的。由于制造过程是一个具有多变量控制和加工工艺综合作用的复杂过程,包含诸如加工尺寸、形状、振动、噪声、温度和热变形等各种变化因素。因此,要实现加工过程的多目标优化,必须采用多变量的闭环控制,在实时加工过程中动态调整加工过程变量。加工过程中采用开放式通用型实时动态全闭环控制模式,易于将计算机实时智能技术、网络技术、多媒体技术、CAD/CAM、伺服控制、自适应控制、动态数据管理及动态刀具补偿、动态仿真等高新技术融于一体,构成严密的制造过程闭环控制体系,从而实现集成化、智能化、网络化。

1.2.4 智能化新一代 PCNC 数控系统

当前开发研究适应于复杂制造过程的、具有闭环控制体系结构的、智能化新一代 PCNC 数控系统已成为可能。

智能化新一代 PCNC 数控系统将计算机智能技术、网络技术、CAD/CAM、伺服控制、自适应控制、动态数据管理及动态刀具补偿、动态仿真等高新技术融于一体,形成严密的制造过程闭环控制体系。

智能化现代数控机床将引进自适应控制技术,根据切削条件的变化,自动调节工作参数,使加工过程中能保持最佳工作状态,从而得到较高的加工精度和较好的表面粗糙度,同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。具有自诊断、自修复功能,在整个工作状态下,系统随时对 CNC 系统本身以及与其相连的各种设备进行自诊断、检查。一旦出现故障,立即采用停机等措施,并进行故障报警,提示发生故障的部位、原因等。还可自动使故障模块脱机,而接通备用模块,以确保无人化工作环境的要求。

1.3 中国数控机床的发展

1.3.1 中国数控机床的现状

目前,中国机床工业厂多人众。2005 年,精密机床制造厂约 358 家(约 20.6 万人),