

高职高专规划教材

SHUKONG JIQUANG JIQI YINGYONG

数控机床及其应用

李业农 主编 郝静 徐明喜 曹健 副主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

高职高专规划教材

数控机床及其应用

李业农 主编

郝静 徐明喜 曹健 副主编

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及其应用 / 李业农主编. —北京: 国防工业出版社, 2006. 1

高职高专规划教材

ISBN 7-118-04252-8

I. 数... II. 李... III. 数控机床-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 146842 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 30 $\frac{3}{4}$ 555 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 45.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

本书是根据“高职高专教育专业人才培养目标及规格”的要求,结合江苏省“高职高专人才培养规格、模式、方案及其实践”课题的研究成果,总结编者在数控机床应用领域的教学和工程实践经验而编写的。

制造自动化技术是先进制造技术中的重要组成部分,其核心技术是数控技术。数控技术是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物。当今世界各国制造业广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为各发达国家加速经济发展、提高综合国力的重要途径。数控技术也是关系我国制造业发展和综合国力提高的关键技术,尽快加速培养掌握数控技术的应用型人才已成为当务之急。

为了适应我国高等职业技术教育发展及应用型技术人才培养的需要,做好数控应用技术及相关专业的教材建设,突出学生数控技术应用能力的培养,编者在该专业的教学改革上做了大量的尝试,探索出一条培养数控技术应用型人才的路子。本书是按高职高专教学要求,严格依据“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论概念,较好地反映了国内外有关数控技术的新发展和新成果,详细介绍了数控机床的组成、工作原理、常用的数控编程指令及其应用,是一本内容新颖、实例丰富、深入浅出、系统性强、有较高实用价值的教材。

为了适应市场的需要,在数控系统选型上,注重了市场应用的普遍性。选用了世界知名的 FANUC、SIEMENS 等公司的数控系统。在数控自动编程方面,重点介绍 Master CAM 自动编程软件。使学生从知识与技能两方面,适应目前的技能培训与考核,以便在今后的工作中能达到触类旁通的效果。

与本书配套的《数控机床实训教程》教材,围绕数控加工的工艺基础、编程技术和操作技能三大核心环节,采用了模块式结构体系,精选了大量经过实践验证的典型实例,突出了学生操作技能的培养。

南通职业大学“数控技术应用”专业,是江苏省教委首批确定的特色专业。本书是在该专业教改基础上集体智慧的结晶。本书由李业农教授任主编,郝静(副教授、高工)、徐明喜(副教授)、曹健(副教授、高工)任副主编。参加编写的有李业农(第1章)、郝静(第8、9、10、11、12章)、徐明喜(第2、3、6章)、曹健(第4、5、7章)、张凯(第8章)、顾玉萍(第10章)、王叶萍、彭淑华也参加书中部分内容的编写工作,全书由李业农统稿。

由于编者水平有限,数控技术发展迅速,所以本书难免有不足之处,望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编 者

2005. 9

目 录

第1章 数控机床的基本知识	1
1.1 数控机床的产生与发展	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 数控机床的发展	2
1.1.3 我国数控机床的发展概况	3
1.2 数控机床的组成及工作原理	4
1.2.1 数控机床的组成	4
1.2.2 数控机床的工作原理	6
1.3 数控机床的分类	8
1.3.1 按工艺用途分类	8
1.3.2 按控制运动的方式分类	9
1.3.3 按进给伺服系统类型分类	9
1.3.4 按数控系统的功能水平分类	11
1.4 数控机床的主要性能指标与功能	12
1.4.1 数控机床的主要性能指标	12
1.4.2 数控机床的主要功能	15
1.5 数控机床的特点及发展趋势	16
1.5.1 数控机床的特点	16
1.5.2 数控系统的发展趋势	19
习题与思考题	22
第2章 数控系统的软硬件	23
2.1 数控系统的基本构成及其功用	23
2.2 数控系统的硬件	24
2.2.1 数控系统硬件概述	24
2.2.2 数控装置硬件结构类型	25

2.2.3 数控系统的输入/输出接口电路	32
2.3 数控系统的可编程控制器	33
2.3.1 可编程控制器工作原理	33
2.3.2 PLC 在数控系统中的应用	38
2.4 数控系统软件结构	44
2.4.1 CNC 系统的软件、硬件界面	44
2.4.2 CNC 系统两种典型的软件结构	45
2.5 数控系统的通信	56
2.5.1 数字通信概述	56
2.5.2 数据通信系统	56
2.5.3 数控系统常用串行通信接口标准	57
习题与思考题	60
第3章 数控加工信息的输入及数据处理	61
3.1 数控系统控制面板	61
3.2 数控加工程序的输入	65
3.2.1 数控加工程序的输入过程	65
3.2.2 键盘输入方式	67
3.2.3 纸带阅读机输入方式	69
3.3 数控加工程序的译码与诊断	70
3.3.1 软件译码过程	70
3.3.2 数控加工程序的诊断	75
3.3.3 译码和诊断过程的软件实现	76
3.4 轮廓控制插补原理	77
3.4.1 概述	77
3.4.2 逐点比较法	79
3.4.3 数字积分插补法	93
3.5 刀具补偿	101
3.5.1 概述	101
3.5.2 刀具补偿原理	102
3.5.3 刀具半径补偿算法	104
3.5.4 刀具补偿的几种特殊情况	108
3.6 其它补偿机能	110
3.6.1 齿隙补偿	110

3.6.2 螺距补偿	110
3.6.3 计算机数控系统的误差补偿	112
习题与思考题	114
第4章 数控机床的伺服系统	115
4.1 概述	115
4.1.1 伺服系统的组成、工作原理和结构	115
4.1.2 进给伺服系统的分类	116
4.1.3 数控机床对伺服系统的要求	119
4.1.4 伺服系统的发展趋势	120
4.2 数控机床位置检测	121
4.2.1 概述	121
4.2.2 旋转变压器	123
4.2.3 感应同步器	125
4.2.4 光电编码器	127
4.2.5 光栅	132
4.2.6 磁栅	136
4.3 数控机床进给伺服系统	139
4.3.1 数控机床的驱动电机	140
4.3.2 数控机床的驱动装置	148
4.3.3 数控机床的进给伺服系统	159
4.3.4 进给伺服系统运动控制参数设置	166
4.4 主轴驱动及控制	171
4.4.1 概述	171
4.4.2 数控系统与主轴驱动系统的信号连接	173
4.4.3 主轴的分段无级调速及控制	178
4.4.4 主轴准停控制	180
习题与思考题	186
第5章 典型数控系统介绍	187
5.1 FANUC 数控系统	187
5.2 SIEMENS 数控系统	192
5.3 KND 数控系统	199
习题与思考题	201

第 6 章 数控机床的机械结构	202
6.1 数控机床的机械结构要求及特点	203
6.1.1 数控机床机械系统结构应满足的要求	203
6.1.2 数控机床机械系统结构特点	205
6.2 数控机床的主传动系统	206
6.2.1 数控机床主传动的特点	206
6.2.2 数控机床主轴的变速方式	206
6.2.3 主轴部件	208
6.3 数控机床进给运动传动部件	210
6.3.1 对进给运动的要求	210
6.3.2 滚珠丝杠螺母副	211
6.3.3 传动齿轮间隙消除机构	217
6.3.4 回转工作台	221
6.3.5 导轨	227
6.4 自动换刀装置	228
6.4.1 自动换刀装置的结构类型	229
6.4.2 刀库类型及刀具的选择与识别	235
6.4.3 刀具交换装置	241
习题与思考题	244
第 7 章 数控机床的使用与维修	246
7.1 数控机床的选用	246
7.1.1 确定典型加工零件	246
7.1.2 数控机床规格的选择	247
7.1.3 机床精度的选择	248
7.1.4 数控系统的选择	250
7.1.5 生产能力的估算	251
7.1.6 机床选择功能及附件的选择	253
7.1.7 自动换刀装置及使用刀具(刀柄)的选择	254
7.1.8 技术服务功能的选择	256
7.2 数控机床的安装调试与验收	257
7.2.1 数控机床的安装调试	257
7.2.2 数控机床的试车验收	262

7.3 数控机床的使用	273
7.3.1 机床使用要点	273
7.3.2 使用数控机床的成套工程要求	278
7.4 数控设备的管理	279
7.4.1 数控设备的管理内容	279
7.4.2 数控设备管理的发展趋势	280
7.5 数控机床的维修	280
7.5.1 机床维修的一些基本概念	281
7.5.2 机床的预防性维修与保养	282
7.5.3 数控系统维修的阶段划分与维修的实施	286
7.6 数控机床常见故障分析与排除	289
7.6.1 数控机床系统软件故障	289
7.6.2 数控机床系统硬件故障	291
7.6.3 数控机床无报警故障	297
7.6.4 数控机床机械运动故障	300
7.7 数控机床故障诊断与维修综合分析步骤	305
习题与思考题	306
第8章 程序编制基础及加工工艺	307
8.1 数控程序编制基础	307
8.1.1 数控程序编制的概念	307
8.1.2 数控编程的基础知识	310
8.1.3 数控机床的坐标系	318
8.2 数控编程的加工工艺	321
8.2.1 数控加工工艺基础	321
8.2.2 数控机床刀具及切削用量的选择	331
8.3 数控编程的数值计算	340
8.4 数控加工技术文件	342
8.4.1 数控加工工艺卡片	342
8.4.2 数控加工刀具卡片	343
8.4.3 数控加工程序单	343
习题与思考题	344
第9章 数控车床的程序编制	345
9.1 数控车床概述	345

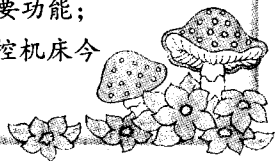
9.1.1 数控车床的基本构成及特点	345
9.1.2 数控车床的分类	347
9.1.3 数控车床的加工特点	347
9.2 数控车床的编程技术	348
9.2.1 数控车床的编程特点	348
9.2.2 数控车床的坐标系	348
9.2.3 数控车床编程指令	350
9.3 数控车削加工综合举例	368
习题与思考题	371
第10章 数控铣床的程序编制	373
10.1 数控铣床概述	373
10.1.1 数控铣床的基本构成及特点	373
10.1.2 数控铣床的分类	375
10.1.3 数控铣床的主要加工对象	375
10.1.4 典型数控铣床的性能和参数	377
10.2 数控铣床的基本编程技术	378
10.2.1 数控铣床的编程特点	378
10.2.2 数控铣床的坐标系	378
10.2.3 数控铣床的编程指令	379
10.2.4 数控铣床的基本编程方法	381
10.3 数控铣床典型零件的应用举例	393
习题与思考题	396
第11章 加工中心的程序编制	398
11.1 加工中心简介	398
11.1.1 加工中心概述	398
11.1.2 加工中心的构成及分类	398
11.1.3 加工中心的工艺特点	401
11.1.4 加工中心的刀库及自动换刀装置	401
11.2 加工中心的编程技术	404
11.2.1 加工中心的坐标系	404
11.2.2 加工中心常用指令的编程方法	405
11.3 加工中心典型零件的应用举例	424
习题与思考题	426

第 12 章 自动编程及其应用	429
12.1 常用自动编程软件.....	429
12.1.1 语言式自动编程系统.....	429
12.1.2 图形交互式自动编程系统.....	431
12.2 图形交互式自动编程系统 MasterCAM 简介	432
12.2.1 MasterCAM9 软件系统简介	433
12.2.2 MasterCAM9 系统的 CAD 功能	436
12.2.3 MasterCAM9 系统的 CAM 功能及后处理	440
12.2.4 MasterCAM9 的综合应用实例	459
习题与思考题.....	477
参考文献.....	479

第1章 数控机床的基本知识

学习要点:

- (1) 了解数控机床的产生和发展过程;
- (2) 掌握数控机床的组成和工作原理;
- (3) 熟悉数控机床的分类方法;
- (4) 熟悉数控机床的主要性能指标及主要功能;
- (5) 熟悉数控机床的加工特点,了解数控机床今后的发展趋势。



1.1 数控机床的产生与发展

1.1.1 数控机床的产生

随着科学技术和生产的不断发展,对各种产品的质量和生产效率提出了越来越高的要求。产品加工工艺过程的自动化是实现高质量、高效率的重要措施之一。飞机、汽车、农机、家电等生产企业大多采用了自动机床、组合机床和自动生产线,从而保证了产品质量,提高了生产效率,减轻了操作者的劳动强度。

但是,在产品加工中,大批量生产的零件并不很多,据统计,单件与小批量生产的零件约占机械加工总量的80%以上。对这些多品种且加工批量小、零件形状复杂、精度要求高的零件的加工,采用专业化程度很高的自动机床和自动生产线就显得很不合适。在市场经济的大潮中,产品的竞争日趋激烈,为在竞争中求得生存与发展,各企业纷纷在提高产品技术档次、增加产品种类、缩短试制与生产周期和提高产品质量上下功夫,即使是批量较大的产品,也不大可能是多年一成不变,必须经常开发新产品,频繁地更新换代。传统的自动化生产线难以适应小批量、多品种生产要求。

已有的各类仿形加工设备在过去的生产中部分地解决了小批量、复杂零件

的加工。但在更换零件时,必须重新制造靠模并调整设备,不但要耗费大量的手工劳动,延长了生产准备周期,而且由于靠模加工误差的影响,零件的加工精度很难达到较高的要求。

为了解决上述这些问题,一种灵活、高精度、通用、高效率的“柔性”自动化生产设备——数控机床应运而生。

1952 年美国帕森斯公司和麻省理工学院在美国空军的委托下,合作研制出世界上第一台三坐标数控铣床,完成了直升机叶片轮廓检查用样板的加工。这是一台采用专用计算机进行运算与控制的直线插补轮廓控制数控铣床。经过三年的试用、改进与提高,数控机床于 1955 年进入实用化阶段,在复杂曲面的加工中发挥了重要作用。

尽管这种初期数控机床采用电子管和分立元件硬接线电路来进行运算和控制,体积庞大而功能单一,但它采用了先进的数字控制技术,且具有普通设备和各种自动化设备无法比拟的优点,具有强大的生命力,它的出现开辟了工业生产技术的新纪元。从此,数控机床在全世界得到了迅速发展。

1.1.2 数控机床的发展

最早采用数字控制技术进行机械加工的想法,是在 20 世纪 40 年代初提出的。当时,美国北密执安的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司在制造飞机框架及直升机叶片轮廓用样板时,利用计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理,并考虑了刀具半径对加工路径的影响,使得加工精度达到 $\pm 0.0015\text{in}$ (英寸,1 英寸 = 2.45cm)。

1952 年,美国麻省理工学院研制出的三坐标联动、利用脉冲乘法器原理的试验性数字控制系统是数控机床的第一代。

1959 年,电子行业研制出晶体管元器件,因而数控系统中广泛采用晶体管和印制电路板技术,跨入了第二代。1959 年 3 月,由美国克耐·杜列克公司发明了带有自动换刀装置的数控机床,称为“加工中心”。

1960 年,出现了小规模集成电路。由于其体积小、功耗低,使数控系统的可靠性进一步提高,数控系统发展到第三代。

以上三代,都是采用专用控制的硬件逻辑数控系统(NC)。

1967 年,英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统,这就是最初的柔性制造系统(FMS, Flexible Manufacturing System)。之后美、欧、日也相继进行开发和应用。

随着计算机技术的发展,小型计算机开始取代专用控制的硬件逻辑数控系统(NC),数控的许多功能由软件程序实现。由计算机作控制单元的数控系统(CNC),

称为第四代。1970年,在美国芝加哥国际展览会上,首次展出了这种系统。

1970年前后,美国英特尔公司开发和使用微处理器。1974年,美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统的数控机床。20多年来,微处理器数控系统的数控机床得到了飞速发展和广泛应用,这就是第五代数字控制(MNC)。后来,人们将MNC也统称为CNC。

20世纪80年代初,国际上又出现了柔性制造单元(FMC, Flexible Manufacturing Cell)。FMC和FMS被认为是实现计算机集成制造系统(CIMS, Computer Integrated Manufacturing System)的基础。

数字控制系统有如下特点:

(1) 可用不同的字长表示不同精度的信息,表达信息准确。

(2) 可进行逻辑、算术运算,也可以进行复杂的信息处理。

(3) 可不用改动电路或机械机构,通过改变软件来改变信息处理的方式,具有柔性化。

由于数字控制系统具有上述特点,使数控机床得到广泛发展。除此之外,数控技术还被广泛应用于工业机器人、数控线切割机、数控火花切割机、坐标测量机、绘图仪等设备上。

1.1.3 我国数控机床的发展概况

我国对数控系统的研究开发始于20世纪50年代,但真正得到发展是从80年代开始,经历了“六五”、“七五”期间的消化吸收引进技术,“八五”期间科技攻关开发自主知识产权数控系统两个阶段,已为数控机床的产业化奠定了良好的基础,并取得了长足的进步。“九五”期间数控机床发展已进入实现产业化阶段。数控机床新开发品种300多个,已有一定的覆盖面。新开发的国产数控机床产品大部分达到国际80年代中期水平,部分达到90年代水平,为国家重点建设提供了一批高水平数控机床。在技术上也取得了突破,如高速主轴制造技术(12000r/min ~ 18000r/min),快速进给(60m/min)、快速换刀(1.5s)、柔性制造、快速成型制造技术等为下一代国产数控机床的发展奠定了基础。

我国数控系统在技术上已趋于成熟,在重大关键技术(包括核心技术),已达到国际先进水平。目前,已新开发数控系统80多种。自“七五”以来,国家一直把数控系统的发展作为重中之重来支持,现已开发出具有中国版权的数控系统,掌握了国外一直对我国封锁的一些关键技术。例如,曾长期困扰我国,并受到西方国家封锁的多坐标联动技术对我们已不再是难题,0.1 μ m当量的超精密数控系统、数控仿型系统、非圆齿轮加工系统、高速进给数控系统、实时多任务操作系统都已研制成功。尤其是基于PC机的开放式智能化数控系统,可实施

多轴控制,具备联网进线等功能,既可作为独立产品,又是一代开放式的开发平台,为机床厂及软件开发商二次开发创造了条件。特别重要的是,我国数控系统的可靠性已有很大提高,MTBF 值可以在 15000h 以上。同时大部分数控机床配套产品已能国内生产,自我配套率超过 60%。这些成功为中国数控系统的自行开发和生产奠定了基础。

1.2 数控机床的组成及工作原理

1.2.1 数控机床的组成

数字控制(NC, Numerical Control)简称数控,是一种利用数字化的信息对设备运动及加工过程进行控制的一种自动化技术。将数控技术实施到加工控制中去的机床,或者说装备了数控系统的机床被称为数控(NC)机床。数控机床是集机、电、液、气、光一体化的产品。

数控机床作为目前一种使用广泛、典型的机电一体化产品,综合应用了微电子技术、计算机技术、自动控制、精密测量和机床结构等方面的最新成就,是一种高效的自动化机床。数控机床的控制系统不仅能控制机床各种动作的先后顺序,还能控制机床运动部件的运动速度以及刀具相对工件的运动轨迹。由于数控机床集高效率、高精度和高柔性于一身,很好地代表了机床的主要发展方向,所以它已经逐步成为目前机械加工自动化生产过程中最具代表性的核心设备,并且成为计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等柔性加工和柔性制造系统的基础。

数控机床主要由以下几个部分组成,如图 1-1 所示。

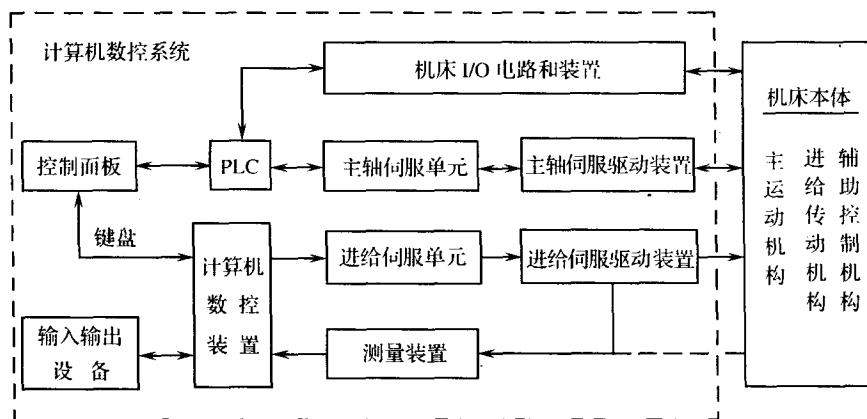


图 1-1 数控机床的组成

1. 计算机数控装置(CNC 装置)

计算机数控装置是计算机数控系统的核心。其主要作用是根据输入的零件加工程序或操作命令进行相应的处理,然后输出控制命令到相应的执行部件(伺服单元、驱动装置和 PLC 等),完成零件加工程序或操作所要求的工作。所有这些都是在 CNC 装置的协调控制及合理组织下,使整个系统有条不紊地工作。它主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、扩展功能模块以及相应的控制软件等组成。

2. 伺服单元、驱动装置和测量装置

伺服单元和驱动装置包括主轴伺服驱动装置、主轴电机、进给伺服驱动装置及进给电机。测量装置是指位置和速度测量装置,它是实现主轴控制、进给速度闭环控制和进给位置闭环控制的必要装置。主轴伺服系统的作用是实现零件加工的切削运动,其控制量为速度。进给伺服系统的作用是实现零件加工所需的成形运动,其控制量为速度和位置,特点是能灵敏、准确地实现 CNC 装置的位置和速度指令。

3. 控制面板

控制面板又称操作面板,是操作人员与数控机床(系统)进行信息交互的工具。操作人员可以通过它对数控机床进行操作、编程、调试或对机床参数进行设定和修改,也可以通过它了解或查询数控机床的运行状态。它是数控机床的一个输入输出部件,主要由按钮站、状态灯、按键阵列(功能与计算机键盘一样)和显示器等部分组成。

4. 控制介质与程序输入输出设备

控制介质是记录零件加工程序的媒介,是人与机床建立联系的介质。程序输入输出设备是 CNC 系统与外部设备进行信息交互的装置,其作用是将记录在控制介质上的零件加工程序输入 CNC 系统,或将已调试好的零件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的介质上。目前数控机床常用的控制介质和程序输入输出设备是磁盘和磁盘驱动器等。

此外,现代数控系统一般可利用通信方式进行信息交换。这种方式是实现 CAD(计算机辅助设计)/CAM(计算机辅助制造)的集成、FMS(柔性制造系统)和 CIMS(计算机集成制造系统)的基本技术。目前在数控机床常用的通信方式有:

- (1) 串行通信;
- (2) 自动控制专用接口;
- (3) 网络技术。

5. PLC(可编程序控制器)、机床 I/O(输入/输出)电路和装置

PLC 是用于进行与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制,它由硬件和软件组