



21 世纪全国高职高专机电类规划教材

数控机床 编程与操作

Shukong Jichuang Biancheng Yu Caozuo

主 编 胡育辉 袁晓东



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电类规划教材

数控机床编程与操作

主 编 胡育辉 袁晓东

参 编 朱显明



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以突出操作技能为主导,立足于应用,在内容组织和编排上,选用了技术先进、占市场份额最大的日本 FANUC 系统和国产华中系统作为典型数控系统进行剖析,介绍了数控机床、铣床及加工中心的编程与操作;在素材的组织上,突出实用的特点,搜集了大量的实例,这些实例或来源于院校学生实习加工的零件,或来源于企业加工的零件,书后还附有从历届数控大赛中精选的题目与答案。全书的系统性强、实用性高、需求性大。

本书可作为高职或本科数控专业及机械类专业的教材,也可作为数控机床编程操作人员或从事数控加工技术人员的培训教材或参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作/胡育辉,袁晓东主编. —北京:北京大学出版社, 2008.6

(21 世纪全国高职高专机电类规划教材)

ISBN 978-7-301-13065-0

I. 数… II. ①胡…②袁… III. 数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 192181 号

书 名: 数控机床编程与操作

著作责任者: 胡育辉 袁晓东 主编

责任编辑: 傅 莉 刘晶平

标准书号: ISBN 978-7-301-13065-0/TH·0064

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 16.25 印张 332 千字

2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 29.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024; 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国高职高专机电类规划教材

编 委 会

编委会主任：黄泽森 闫瑞涛

编委会副主任（排名不分先后）

栾敏 秦庆礼 张晓翠 赵世友

编委会委员（排名不分先后）

邓先智 耿南平 何晶 侯长来 胡育辉 黄仕君

马光全 汤承江 王军红 王新兰 吴春玉 谢婧

辛丽 宇海英 袁晓东 张琳 张明 朱福明

前 言

数控技术人才需求量的大小和人才需求的类型、层次、质量等取决于国民经济和制造业的发展程度、水平，也取决于用人单位自身的管理要求、发展趋势等。据统计，制造业较发达的德国、美国、日本等国家的数控机床占生产设备的 70% 以上。我国制造业与国际先进工业国家相比存在着很大的差距，据机械协会统计，目前我国制造业数控机床拥有量不足总量的 2%，并且对于我国现有的有限数量的数控机床也未能充分利用。虽然原因是多方面的，但数控人才的匮乏无疑是主要原因之一。为此，我们编写了此书，希望能对我国数控技术人才的培养有所帮助，让那些正在或将要从事数控技术的人在本书中获得收益。

本书以突出操作技能为主导，立足于应用，在内容组织和编排上，选用了技术先进、占市场份额最大的日本 FANUC 系统和国产华中系统作为典型数控系统进行剖析，介绍了数控车床、铣床及加工中心的编程与操作，具有很强的系统性和实用性。

同时，本书搜集了大量的实例。这些实例或来源于院校学生实习加工的零件，或来源于企业的加工零件，实用且具有代表性。书后还有附有从历届数控大赛中精选的题目与答案。

本书在编写过程中参考了在数控技术方面的诸多论述、书籍以及 FANUC 和华中系统编程与操作说明书，通过多年的研究与实践，结合丰富的教学经验，力求解决企业中疑难的问题。本书由沈阳职业技术学院胡育辉老师主编，其中第 2 章和 3.3 节由四川机电职业技术学院袁晓东老师编写，3.2 节由黑龙江省农业经济职业学院朱显明老师编写。此外，本书在编写过程中还得到沈阳职业技术学院领导和机械系老师的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

本书可作为高职或本科数控专业和机械类专业的教材，也可作为数控机床编程操作人员或从事数控加工技术人员的培训教材或参考用书。

限于编者的水平有限以及数控技术的迅猛发展，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 5 月

目 录

第1章 数控机床概述.....	1
1.1 数控机床的种类.....	1
1.1.1 按加工工艺用途分类.....	1
1.1.2 按运动轨迹分类.....	3
1.1.3 按伺服系统分类.....	4
1.1.4 按数控系统的功能水平分类.....	5
1.2 数控机床的组成及其功能.....	6
1.2.1 数控加工过程.....	6
1.2.2 数控机床的组成及其功能.....	6
1.2.3 数控机床常用的数控系统.....	7
1.3 我国数控机床发展的技术水平.....	8
1.4 总结.....	9
1.5 思考题.....	10
第2章 数控机床的典型结构与伺服系统.....	11
2.1 数控机床机械结构的组成.....	11
2.2 数控机床的进给系统.....	12
2.2.1 滚珠丝杠螺母副.....	12
2.2.2 联轴器.....	16
2.2.3 齿轮传动副的消隙措施.....	17
2.2.4 数控机床常用导轨.....	19
2.3 伺服系统与检测装置.....	22
2.3.1 伺服驱动电动机.....	22
2.3.2 检测装置.....	25
2.4 总结.....	28
2.5 思考题.....	28
第3章 数控车床的编程.....	29
3.1 数控车床编程基础.....	29
3.1.1 数控车床的编程特点.....	29
3.1.2 数控车床的坐标系统.....	29

3.1.3	程序的结构与格式.....	30
3.1.4	数控系统的功能.....	31
3.2	日本 FANUC 数控系统的编程方法.....	35
3.2.1	数控车床的基本指令.....	35
3.2.2	车削固定循环.....	41
3.2.3	数控车床的刀具补偿.....	50
3.2.4	数控车床宏程序.....	52
3.2.5	FANUC 数控系统编程综合实例.....	54
3.3	华中数控系统编程方法及实例.....	68
3.3.1	华中数控系统编程方法.....	68
3.3.2	综合编程实例.....	90
3.4	总结.....	95
3.5	思考题.....	95
第 4 章	数控车床的操作.....	96
4.1	日本 FANUC 数控车床的基本操作.....	96
4.1.1	数控系统数控机床操作面板.....	96
4.1.2	手动操作.....	102
4.1.3	自动运行.....	103
4.1.4	机床的急停.....	104
4.1.5	程序的输入与输出.....	104
4.1.6	设定和显示数据.....	105
4.1.7	图形模拟.....	107
4.2	华中数控系统数控车床的操作简介.....	108
4.2.1	HNC-21T 世纪星车床数控装置操作台.....	109
4.2.2	HNC-21T 世纪星车床软件操作界面.....	109
4.2.3	HNC-21T 世纪星车床功能菜单.....	110
4.2.4	数控机床手动操作.....	111
4.2.5	手动数据输入 (MDI) 运行.....	114
4.2.6	机床自动运行.....	115
4.2.7	数据设置.....	116
4.2.8	程序输入.....	118
4.2.9	程序运行.....	119
4.2.10	图形显示.....	121
4.3	总结.....	124
4.4	思考题.....	124

第 5 章 数控铣床及加工中心的编程	125
5.1 数控铣床及加工中心编程基础	125
5.1.1 数控系统的功能	125
5.1.2 坐标系	129
5.1.3 几种常见的坐标系	131
5.2 FANUC0i-MA 数控系统的编程	132
5.2.1 基本编程指令	132
5.2.2 固定循环	150
5.2.3 子程序	160
5.2.4 用户宏程序	163
5.2.5 FANUC 数控系统编程实例	172
5.3 华中数控系统编程综合实例	182
5.3.1 孔系零件编程实例	182
5.3.2 用镜像指令编程实例	184
5.4 总结	187
5.5 思考题	187
第 6 章 数控铣床加工中心的操作	188
6.1 数控铣床的操作	188
6.1.1 数控系统操作面板	188
6.1.2 XK716 型数控铣床操作面板	191
6.1.3 数控铣床基本操作	194
6.2 FANUC 系统加工中心的操作	201
6.2.1 FANUC 数控系统简介	201
6.2.2 TH6350 卧式加工中心的操作面板	203
6.2.3 数控系统操作面板控制键功能	205
6.2.4 机床操作面板控制键功能	207
6.2.5 数控系统的操作	210
6.2.6 刀具参数设置与自动换刀	214
6.3 华中世纪星数控系统加工中心的操作	215
6.3.1 华中世纪星数控系统简介	215
6.3.2 HNC-21M 数控系统操作面板	216
6.3.3 HNC-21M 数控系统的菜单结构	217
6.3.4 开、关机与返回参考点操作	218
6.3.5 机床手动操作	220
6.3.6 数据设置	223

6.3.7	程序编辑及传递.....	225
6.3.8	自动加工.....	229
6.3.9	模拟显示.....	230
6.4	总结.....	233
6.5	思考题.....	233
附录 A	全国数控工艺员历届数控车床考试题精选及答案(一).....	234
附录 B	全国数控工艺员历届数控铣床考试题精选及答案(二).....	244
参考文献		250

第 1 章 数控机床概述

1.1 数控机床的种类

数控机床的品种规格很多，分类方法也各不相同。一般可根据功能和结构，按下面 4 种原则进行分类。

1.1.1 按加工工艺用途分类

1. 一般数控机床

一般数控 (numerical control, NC) 机床是在普通机床的基础上发展起来的，这种类型的数控机床工艺用途与相应普通机床相似，不同的是它可以完成普通机床难以加工的复杂形状的零件，而且零件的加工质量好，它的生产率和自动化程度比传统机床高，其种类主要如下。

(1) 数控车床 (NC lathe)，结构上可分为较常见的卧式（主轴与水平面平行）数控车床和较少见的立式（主轴与水平面垂直）数控车床，如图 1-1 (a)、(b) 所示。



(a) 卧式数控车床



(b) 立式数控车床

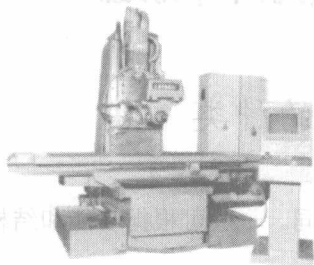
图 1-1 数控车床

(2) 数控铣床 (NC milling machine)，也分为卧式和立式，如图 1-2 (a)、(b) 所示。

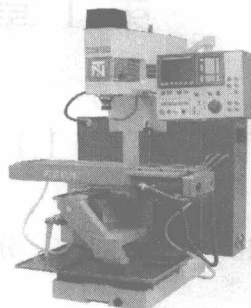
(3) 数控钻床 (NC drilling machine)。

(4) 数控镗床 (NC boring machine)。

- (5) 数控平面磨床 (NC surface grinding machine)。
- (6) 数控外圆磨床 (NC external cylindrical grinding machine)。
- (7) 数控冲床 (NC punching press)。



(a) 卧式数控铣床

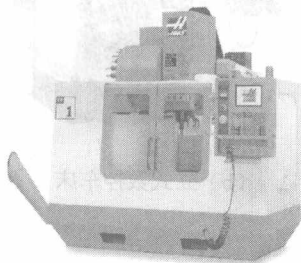


(b) 立式数控铣床

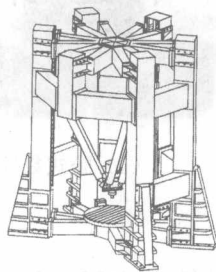
图 1-2 数控铣床

2. 数控加工中心

数控加工中心与一般数控机床的区别在于数控加工中心备有可自动换刀的装置和刀库系统, 刀库中存放着若干事先准备好的刀具, 可对工件进行多工序加工。加工中心也分为立式和卧式两种。图 1-3 (a) 所示为立式数控加工中心。加工中心在机械制造业中的应用非常广泛, 各种平面轮廓和立体曲面的零件都可在加工中心上加工。加工中心同样可以进行钻、扩、铰、镗孔和攻螺纹等加工。加工中心有两轴联动、三轴联动、四轴联动和五轴联动等不同档次, 现在应用最广泛的是三轴联动的加工中心, 四轴联动和五轴联动的加工中心一般都应用在军工、汽车和航天工业。目前, 还有虚轴加工中心, 如图 1-3 (b) 所示。虚轴加工中心改变了以往传统机床的结构, 通过连杆的运动, 实现主轴多自由度的运动, 完成对工件复杂曲面的加工, 同时由于工件不做运动, 还可提高工件的加工精度。



(a) 立式数控加工中心



(b) 虚轴加工中心示意图

图 1-3 数控加工中心

3. 特种加工机床

特种加工机床常见有以下几种。

(1) 数控线切割加工机床 (NC wire electric discharge machine), 如图 1-4 所示。

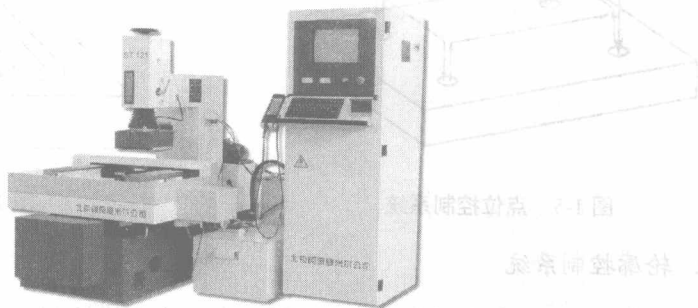


图 1-4 数控线切割机床

(2) 数控电火花加工机床 (NC electric discharge machine)。

(3) 数控激光加工机床 (NC laser beam machine)。

(4) 数控超声波加工机床 (NC ultrasonic machine)。

4. 其他数控机床

除了以上在机械行业较常用的数控机床以外, 还有一些其他类型的数控机床, 如金属成形类的数控机床, 常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机等, 另外还有测量、绘图类数控设备, 如三坐标测量仪、数控绘图仪等。

1.1.2 按运动轨迹分类

1. 点位控制系统

这类控制系统只控制刀具相对工件从一点移动到另一点的准确位置, 而对于点与点之间移动的轨迹不进行控制, 且移动过程中不进行切削 (如图 1-5 所示)。采用这一类系统的设备有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。

2. 直线控制系统

这类控制系统不但要控制点与点的准确位置, 而且要保证两点之间刀具移动的轨迹是一条直线, 且在移动过程中刀具能以给定的进给速度进行切削加工 (如图 1-6 所示)。采用此类控制方式的设备有数控车床、数控磨床等。

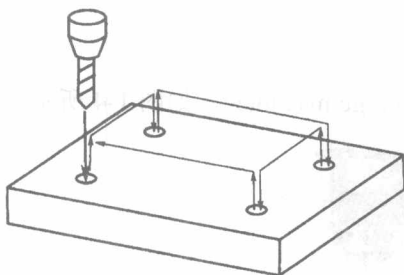


图 1-5 点位控制系统

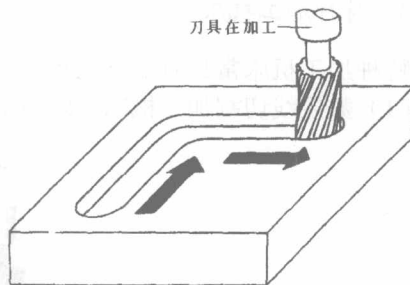


图 1-6 直线控制系统

3. 轮廓控制系统

这类系统能对两个或两个以上的坐标方向进行严格控制（如图 1-7 所示）。轮廓控制装置要比点位、直线控制装置结构复杂得多，功能齐全得多。采用此类控制方式的设备有数控铣床、数控线切割机床、数控加工中心等。

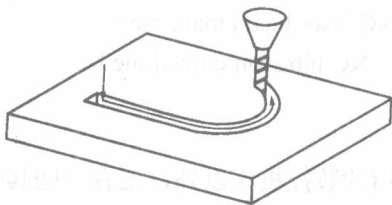


图 1-7 轮廓控制系统

1.1.3 按伺服系统分类

1. 开环控制系统

开环数控系统结构简单，没有测量反馈装置。同时，数控装置发出的指令信号流是单向的，调试方便，工作比较稳定，维修简便，成本也较低；但因为无位置反馈，所以精度不高。

2. 半闭环控制系统

这类系统的位置检测装置安装在电动机或丝杠轴端，通过角位移的测量间接得出机床工作台的实际位置，其工作原理如图 1-8 所示。半闭环控制系统的特点是精度及稳定性较高，价格适中，调试、维修也较容易，目前应用比较普遍。

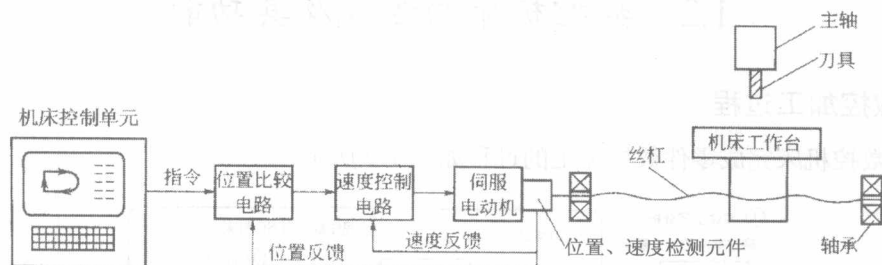


图 1-8 半闭环控制系统工作原理框图

3. 闭环控制系统

这类系统的位置检测装置安装在机床工作台上，将工作台的实际位置检测出来，并与 CNC 装置的指令位置进行比较，用差值进行控制。闭环控制系统的特点是加工精度高；但调试和维修比较复杂，稳定性难以控制，成本也较高。

1.1.4 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高 3 类。低、中、高 3 档的界限是相对的，不同时期划分标准也会不同。就目前的发展水平看，可以根据表 1-1 所列的一些功能及指标，将各种类型的数控系统分为低、中、高档 3 类。其中，中、高档一般称为全功能数控或标准型数控。经济型数控属于低档数控，主要用于车床、线切割机床及旧机床改造等。

表 1-1 数控系统不同档次的功能及指标

功能	低档	中档	高档
系统分辨率	10 μm	1 μm	0.1 μm
GOO 速度	3~8 m/min	10~24 m/min	24~100 m/min
伺服类型	开环及步进电机	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2~3	2~4	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS232 或 DNC	RS232、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT：图形、人机对话	CRT：三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	功能强大的内装 PLC
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结构	单片机或单板机	单微处理器或多微处理器	分布式多微处理器

1.2 数控机床的组成及其功能

1.2.1 数控加工过程

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1-9 所示。

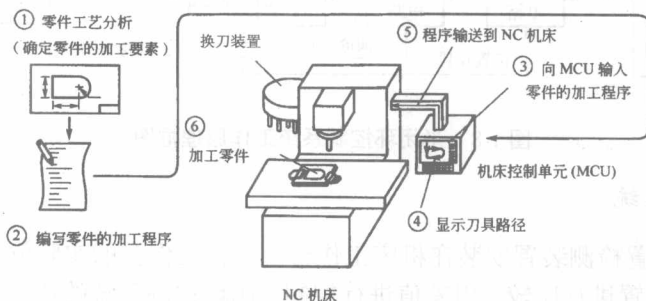


图 1-9 数控加工过程示意图

其过程如下:

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析, 确定加工方案、工艺参数和位移数据;
- (2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单; 或用自动编程软件进行 CAD/CAM 操作, 直接生成零件的加工程序代码文件;
- (3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序, 可以通过数控机床的操作面板输入, 由编程软件生成的程序, 通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床控制单元 (MCU);
- (4) 将输入或传输到数控单元的加工程序, 进行试运行、刀具路径模拟等;
- (5) 通过对机床的正确操作, 自动运行, 首样试切;
- (6) 对加工的零件检验。

1.2.2 数控机床的组成及其功能

数控机床一般由数控系统、包含伺服电动机和检测反馈装置的伺服系统、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成, 如图 1-10 所示。

(1) 控制介质。要对数控机床进行控制, 就必须在人与机床之间建立某种联系, 这种联系的媒介物即称为控制介质。在控制介质上保存着加工零件所必需的数控代码。控制介质可以是穿孔纸带、磁带和磁盘, 从更广的意义上理解, 计算机直接控制 (DNC) 也可属于控制介质之列。

(2) 数控系统。数控主要由输入装置、监视器、主控制系统、可编程序控制器、各类输入/输出接口等组成。主控制系统主要由 CPU、存储器、控制器等组成。其中控制器内的

插补模块就是根据所读入的零件程序,通过译码、编译等处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号的比较,从而控制机床各坐标轴的位移。

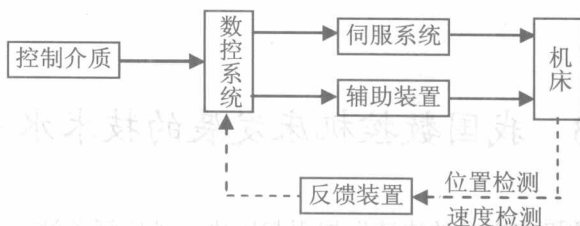


图 1-10 数控机床的组成框图

(3) 伺服系统。伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节,主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置检测与反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件,驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令,再经过驱动控制系统的功率放大后,驱动伺服电动机运转,通过机械传动装置带动工作台或刀架运动。

脉冲当量是衡量数控机床的重要参数。数控装置每输出一个脉冲信号使机床工作台移动的位移量叫做脉冲当量。一般的数控机床脉冲当量可达到 0.001 mm/脉冲 ,精密机床要求达到 0.0001 mm/脉冲 。

(4) 辅助装置。辅助装置主要包括自动换刀装置 (automatic tool changer, ATC)、自动交换工作台机构 (automatic pallet changer, APC)、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。

(5) 机床本体。数控机床的本体指其机械结构实体。它传统的普通机床相比较,同样由主传动系统、进给传动机构、工作台、床身及立柱等部分组成,但由于数控机床具有加工精度高、加工效率高等特点,因此对机床床身的刚度和抗震性也提出了更高的要求,其设计要求比普通机床更严格,制造要求更精密。

1.2.3 数控机床常用的数控系统

国外常见的数控系统有日本 FANUC 公司推出的 0 系统、15 系统、16 系统、18 系统;德国西门子公司生产的 3、8、802、810、850、880、840C 及全数字化的 840D 系统;法国 NUM 公司生产的 NUM1020、1040、1060;日本三菱公司生产的 MELDAS 系列数控系统以及德国海得汉公司生产的 TNC 系列数控系统等。

国内的高档数控系统有华中理工大学生产的华中 I 型、华中世纪星,北京航天数控集团生产的航天 I 型,中国科学院沈阳计算所生产的蓝天 I 型及广州数控系统等。

目前国内应用较多的是日本 FANUC 数控系统和国内的华中数控系统, 每种数控系统的编程和操作方法各有不同, 但又都有很多相通之处。本书主要就这两种数控系统的编程和操作方法做具体介绍, 愿读者能够通过对本书的学习, 达到触类旁通, 以适应企业对人才的需求。

1.3 我国数控机床发展的技术水平

近年来, 我国数控机床产品的快速发展引起国内、外广泛关注。其中, 多轴、高速、复合型数控机床格外引人注目。

1. 5 轴 (及以上) 联动数控机床

5 轴 (及以上) 联动数控机床是现代国防工业急需的战略性装备, 也是制造现代模具的基础装置, 一直被西方某些大国列为对我禁运的战略物资。1999 年, 江苏多棱机床公司率先推出我国第一台 5 轴联动龙门加工中心。接着, 北京第一机床厂于 2000 年、桂林机床厂于 2001 年、济南第二机床厂于 2002 年、上海重型机床厂于 2002 年也相继推出 5 轴联动龙门镗铣/加工中心。

同时, 北京机电研究院、四川长征机床厂也推出 5 轴联动数控铣床。天津第一机床厂、重庆机床厂、南京第二机床厂、秦川机床厂先后推出多轴联动数控齿轮机床。昆明机床厂与清华大学合作、天津第一机床厂与天津大学合作、哈尔滨量具刃具厂与哈尔滨工业大学合作、大连机床厂与清华大学合作, 先后推出 5 轴 (及以上) 联动虚拟机床。

2. 快速发展的高速机床

为适应市场对调整加工设备的需求, 目前我国能够生产高速切削机床的企业已有约 20 家, 大部分以引进技术为主, 基本上是高速加工中心。主轴转速 $10000 \sim 40000 \text{ r/min}$, 快移速度 $30 \sim 60 \text{ m/min}$, 加速度 $0.5 \sim 1\text{G}$, 换刀时间在 $1.5 \sim 2\text{s}$ 。其中, 已有达到国际一流水平的产品, 如大连机床公司与德国阿亨 (Aachen) 大学共同研发的 DHSC500 高速加工中心, 相当国际 20 世纪 90 年代后期水平。

3. 复合化数控机床

上述 5 轴联动龙门加工中心, 同时也是复合化数控机床的典型实例。此外, 还有值得称道的代表, 如沈阳机床股份有限公司开发的 5 轴车铣中心。刀库容量 16, 数控系统为 Siemens840D, 可控制 X 、 Y 、 Z 、 B 、 C 5 个轴, 具有车削中心加铣削中心的特点。

沈阳第一机床厂、齐齐哈尔第一机床厂开发的立式车削中心, 配有刀库, 能在一次装