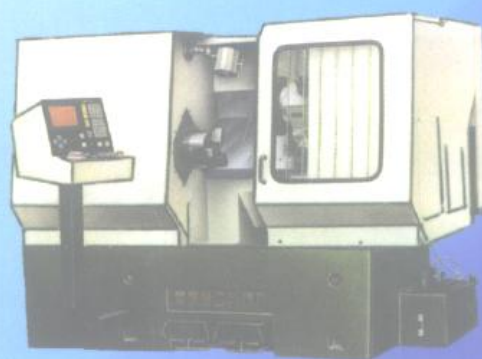


数控技术及应用

主编 卓迪仕 副主编 安玉德 主审 白天祐



国防工业出版社

G F G Y G B S

数 控 技 术 及 应 用

主 编 卓迪仕

副主编 安玉德

主 审 白天祐

國 防 工 業 出 版 社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及应用 / 卓迪仕主编. - 北京: 国防工业出版社, 1997.8

ISBN 7-118-01761-2

I. 数… II. 卓… III. 数字控制-技术 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 10509 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)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 21 480 千字

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 27.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

《数控技术及应用》编写委员会

主任委员	王兆泉	高级工程师
副主任委员	丁福泉	高级工程师
	罗万达	高级工程师
	廖明光	高级经济师
成 员	袁世增	教授
	李为民	经济师
	陈永华	
	尹国民	
主 编	卓迪仕	讲 师
副 主 编	安玉德	工 程 师
主 审	白天祐	副 教 授

前 言

继续工程教育是适应新技术挑战和经济竞争的重要战略措施。随着新产品的不断开发,在发展商品经济的工业企业中,大量采用了新科技、新工艺、新材料及现代管理方法,使军工企业的产品结构发生了重大变化。从而要求广大专业技术人员对新科学和新知识不断地进行拓宽、加深和提高,以具有较高的技术业务素质。

本书是根据兵器工程师进修大学继续教育教材改革的要求,由具有坚实理论基础和丰富教学经验的大学教师,以及具有科研、生产实践经验的工程技术人员,在国内近十年来军民品开发生产中的数控新技术和从国外引进先进设备的基础上编写而成。在编写中坚持理论联系实际的原则,并考虑到适宜成人学习的特点,使教材具有较强的实用性和先进性。

本书的编写自始至终得到兵器工程师进修大学和西南兵工教材编写委员会的精心组织和具体指导,同时得到长安汽车有限责任公司和重庆兵工大学的大力支持和热情帮助,在此一并表示感谢!

本书参与编写的人员有:叶树森(第一、二、三章)、查金池(第四章一~六节)、安玉德(第四章七节、第八章)、卓迪仕(第五章)、康保昌(第六章)、赵心武(第七章)。

内 容 简 介

本书从数控机床入手,详述了计算机数字控制系统的机械传动及其结构,伺服进给传动原理,数控加工程序编制方法,数控装置,伺服系统及位置检测装置原理与应用,最后还介绍了数控系统诊断和维修技术,并附有维修实例,具有较强的理论性和实用性,可作为对数控机床加工工艺、程序编制、数控装置改造及维修的工程技术人员继续教育的教材,也可作为数控技术培训和大专院校及成人高等教育有关专业的教材和参考用书。

目 录

第一章 数控机床概述	1
第一节 数控机床的概念	1
一、引言	1
二、数控机床的定义	1
三、数控机床的加工原理	2
四、数控加工实施过程	3
第二节 数控机床的组成	4
一、数控装置	4
二、伺服系统	5
三、机床本体	5
第三节 数控机床的分类	5
一、按工艺用途划分	5
二、按机床数控运动轨迹划分	7
三、按伺服系统控制方式划分	7
四、按同时控制的坐标轴数划分	8
五、按数控功能水平划分	9
第四节 数控机床的特点与发展趋势	10
一、数控机床的特点	11
二、数控机床的发展趋势	11
第二章 数控机床的传动及其结构	14
第一节 数控机床的主传动与主轴箱	14
一、对主传动的要求	14
二、主传动配置方式及变速机构	14
三、主轴箱	17
第二节 数控机床进给传动与传动装置	20
一、对进给传动的要求	20
二、进给传动装置	20
三、进给传动常用的消隙结构	22
第三节 加工中心自动换刀简介	25
一、无机械手形式的自动换刀	26
二、有机械手形式的自动换刀	26
第三章 数控机床伺服进给传动基础	29
第一节 数控机床伺服进给传动概述	29
第二节 半闭环进给传动系统工作原理	30

一、半闭环进给传动系统构成原理	30
二、半闭环进给传动系统控制原理	34
第三节 伺服电动机的选择计算	36
一、惯量匹配计算	36
二、伺服电动机转矩计算	37
第四节 半闭环进给传动系统的定位精度	38
一、机电传动综合刚度计算	38
二、定位精度确定	40
第五节 半闭环进给传动机电匹配计算实例	41
第四章 数控加工程序编制	46
第一节 基本知识	46
一、数控机床坐标系和运动方向	46
二、数控加工控制方式及工艺特点	49
三、数控加工中的常用术语	51
四、程序编制	53
第二节 数控加工工艺设计和数学处理	72
一、数控加工工艺设计	72
二、数控加工的数学处理	82
三、制备控制介质	86
第三节 数控钻床、镗床的程序编制	86
一、孔加工固定循环指令的应用	86
二、孔加工中的子程序应用	90
三、数控镗、钻床编程举例	93
第四节 数控车床的程序编制	97
一、编程特点	97
二、程序的编制	97
三、数控车床编程举例	110
第五节 数控铣床的程序编制	114
一、数控铣床的主要加工对象及加工方法	115
二、程序编制	117
第六节 加工中心的程序编制	126
一、自动换刀装置	126
二、自动换刀程序的编制	132
三、加工中心编程举例	133
第七节 数控自动编程简介	140
一、自动编程的一般工作原理	140
二、APT 语言源程序	141
三、FAPT 语言源程序	144
第五章 计算机数字控制装置	146
第一节 计算机数字控制(CNC)装置的基本概念	146
一、数控机床的控制系统	146

二、CNC 装置	146
三、CNC 装置的性能	148
第二节 CNC 装置的基本信息	150
一、CNC 装置的控制信息	150
二、数控机床的接口信息	151
三、CNC 的数据转换信息	153
第三节 CNC 装置的硬件结构	156
一、单微处理器结构	157
二、多微处理器结构	161
第四节 CNC 装置的软件结构	164
一、CNC 装置软件结构特点	165
二、FANUC 7M 系统软件结构	167
第五节 CNC 装置的插补原理	170
一、插补的基本概念	170
二、脉冲增量插补	171
三、数据采样插补	176
第六章 数控机床的伺服系统及 PC 控制	181
第一节 进给驱动闭环位置伺服系统的一般问题	181
一、闭环位置伺服系统的一般结构	181
二、对进给伺服系统的要求	182
三、半闭环伺服系统与全闭环伺服系统	184
第二节 数控机床伺服系统的位置控制	185
一、脉冲比较伺服系统	185
二、相位比较伺服系统	186
三、幅值比较伺服系统	187
第三节 直流电动机晶闸管供电的速度控制系统	187
一、直流电机拖动的基本概念	188
二、具有转速负反馈的单闭环晶闸管——电动机调速系统 (V-M 单闭环不可逆调速系统)	194
三、PI 调节器与无静差转速负反馈单闭环调速系统	197
四、晶闸管供电转速电流双闭环直流调速系统	200
第四节 直流电动机晶闸管供电的可逆调速系统	205
一、直流电动机的四象限运行状态	205
二、可逆调速的电源主电路	206
三、晶闸管可逆电路中的环流	207
四、有环流可逆调速系统	208
五、逻辑无环流可逆调速系统	213
第五节 晶体管直流脉宽(PWM)调速系统	224
一、概述	224
二、直流脉宽调速系统的结构框图	226
三、H 型倍频单极式开关放大器工作分析	227
四、系统保护电路	234

五、报警及封锁电路	234
六、调节器	235
第六节 交流调速系统概述	238
一、交流调速的基本技术途径	238
二、异步电动机的等效电路及机械特性	239
三、交流变频调速系统基本分析	240
四、正弦波脉宽调制 (SPWM) 变频器	242
五、交流电动机的矢量控制调速系统	246
六、无整流子电机调速系统	254
七、交流伺服系统的发展动向	256
第七节 数控机床主轴驱动的特殊问题	257
一、对主轴驱动的要求及实现	257
二、主轴驱动对主轴电机的要求	257
三、数控机床主轴的其他控制	258
第八节 可编程控制器在数控机床上的应用	259
一、PC 的构成	259
二、PC 用户程序的表达方法	261
三、PC 的工作情况	262
四、PC 的主要技术性能	263
五、数控机床用 PC	263
六、数控机床专用 FANUC PC 简介	266
第七章 数控机床位置检测装置	283
第一节 检测装置的要求与分类	283
第二节 旋转变压器	284
一、结构和工作原理	284
二、旋转变压器的应用	285
第三节 感应同步器	286
一、基本原理	286
二、结构	287
三、感应同步器的检测系统	287
四、感应同步器特点	292
五、感应同步器安装使用的注意事项	293
第四节 绝对值脉冲编码器	293
一、基本原理	293
二、编码器的应用	294
第五节 光栅	296
一、光栅的种类与精度	296
二、工作原理	299
三、光栅检测装置	300
第六节 磁栅	303
一、磁性标尺	303
二、磁头	304

第八章 数控系统的维修	307
第一节 数控系统的可靠性	307
一、数控系统常见故障类型	307
二、数控系统的可靠性	308
第二节 数控系统维修的基本概念	309
一、维修的含义	309
二、维修人员应具备的技术素质	309
三、预防性日常维护	310
第三节 数控系统的诊断技术	312
一、数控系统的诊断技术的发展	312
二、故障诊断的基本要求	313
三、启动诊断	313
四、在线诊断	314
五、离线诊断	315
第四节 数控系统的维修技术	315
一、故障的常规处理	315
二、故障排除的一般办法	316
三、故障维修综合实例	320
参考文献	323

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床的概念

一、引言

机电一体化技术是一门新兴的综合性的高技术,是机械技术与电子技术(特别是微电子技术)的有机结合。即从系统观点出发,应用机械、电子、信息等技术,在信息论、控制论、系统工程等基础上建立起来的一门科学技术。通过机械和电子技术的有机结合,互相渗透,从而产生出一批功能更强,性能更好的新一代的机械产品和系统。

数控机床和数控技术正是微电子技术同传统机械技术相结合的产物,是一种技术密集型的产物和技术。它是根据机械加工工艺的要求,使电子计算机对整个加工过程进行信息处理与控制,实现生产过程自动化。较好地解决了复杂、精密、多品种、中小批量机械零件加工问题,是一种通用、灵活、高效能的自动化机床。同时,数控技术又是柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)的技术基础之一,是机电一体化高新技术的重要组成部分。

二、数控机床的定义

计算机技术与工程技术的结合是现代科技发展的一个重要方向。数控机床是计算机在机械制造领域中应用的重要产物。它综合了计算机技术、自动控制、精密检测和精密制造等方面的科技成果,是从 50 年代初发展起来的新型自动化机床。

国际信息处理联盟(IFIP)第五技术委员会对数控机床的定义是:数控机床是一个装有程序控制系统的机床。该系统能够逻辑地处理具有使用号码,或其他符号编码指令规定的程序。

这里所说的程序控制系统,通常称作数控系统。现代数控机床的数控系统是由机床控制程序、数控装置、可编程控制器、主轴控制系统及进给伺服系统等组成的。图 1-1 为数控系统组成的框图,通常也称其为 CNC(Computer Numerical Control)系统。

数控系统对机床的控制包含顺序控制和数字控制两个方面。顺序控制是指对刀具交换、主轴调速、冷却液开停、工作台极限位置等一类开关量的控制;数字控制则用于机床进给传动的控制,以实现对工作台或刀架的行程、速度这一类数字量的控制。在数控机床上,这两类控制信息都以数字化代码表示。通过控制介质,如穿孔带或磁带记录并送入数控装置的计算机中,经其译码、运算等处理后,再发出相应指令来控制机床的主轴及进给部件的运动,从而使机床自动加工出所需零件。

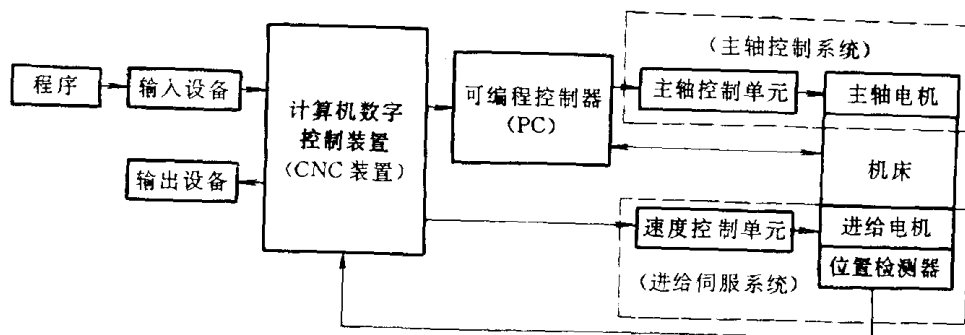


图 1-1 CNC 系统框图

由此可知,数控机床是由计算机根据加工信息自动进行控制的自动机床。由于这类机床对加工信息具有独特的记录、处理和控制方式,从而使得该类机床的调整有别于传统控制形式的自动机床,如机械式凸轮分配轴控制的自动机床或电液程序控制机床。当加工对象改变时,数控机床只需重新编制相应的加工程序,适当更换刀具,而无需再作其他的调整。

三、数控机床的加工原理

工件在机床上的加工,是通过刀具相对工件的运动来实现的。为定量描述数控机床上刀具相对工件的运动位置,可建立机床加工用的坐标系——工件坐标系。该坐标系设置在工件上,即把工件视为静止,只需保证刀尖在坐标系中的运动轨迹符合工件的轮廓形状,就可加工出图纸所要求的零件。

刀尖轨迹的控制是由数控装置来担任的。该装置可按加工程序的要求,不断地向各坐标轴方向上输出脉冲形式的指令,控制刀具沿各坐标轴移动相应的位移量,从而使刀尖到达一系列规定的位置。在刀具运动的过程中,同时还对刀具的速度进行控制。

现以图 1-2 所示零件进一步说明数控加工成形的原理。

图中曲线 L 被分成 $\Delta L_0, \Delta L_1, \dots, \Delta L_i$ 等微线段,设切削 ΔL_i 的时间为 Δt_i ,曲线 L 划分的段数越多,线段 ΔL_i 越短,加工 Δt_i 的时间也越少,当 $\Delta t_i \rightarrow 0$ 时,刀具在两个数控轴上的分运动合成轨迹越能很好地逼近各曲线段,从而最终实现曲线 L 的加工成形,即有:

$$\lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{\infty} \Delta L_i = L$$

在 Δt_i 时间内,刀尖在 X 、 Y 轴上的移动量为 ΔX_i 、 ΔY_i ,曲线段 ΔL_i 视作直线段,则有:

$$\Delta L_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}$$

合成进给速度:

$$\begin{aligned} V_i &= \Delta L_i / \Delta t_i = \sqrt{(\Delta X_i / \Delta t_i)^2 + (\Delta Y_i / \Delta t_i)^2} \\ &= \sqrt{\Delta V_{xi}^2 + \Delta V_{yi}^2} \end{aligned}$$

加工直线时, ΔL_i 斜率不变,两速度分量比 $\Delta V_{yi} / \Delta V_{xi}$ 不变,故进给速度 V_i 可保持

常量。

加工曲线时, ΔL_i 斜率不断变化, 两速度分量比 $\Delta V_{yi} / \Delta V_{xi}$ 也不断变化。这就要求数控装置能连续地自动实现对各进给速度分量的调整控制。CNC 系统中, 是通过以下述及的对插补速度控制而实现的。

数控机床加工时, 数控装置需要在规定加工轮廓的起点和终点之间进行中间点的坐标计算, 然后按计算结果向各坐标轴分配适量的脉冲, 从而得到相应轴方向上的数控运动。这种坐标点的“密化计算”称作插补。现代数控机床的数控装置, 都具有对基本数学函数, 如线性函数、圆函数等进行插补的功能。显然, 插补的速度关系到进给速度。在 CNC 系统中, 进给速度控制正是通过对插补速度控制而实现的。数控装置拥有的插补能力直接关系到机床数控加工能力。插补能力越强, 工件在机床上数控成型的方法越简单, 反之则复杂。

图 1-3 所示是采用直线插补功能的机床加工曲线零件的例子。图中, $a, b, c, d, \dots$ 各

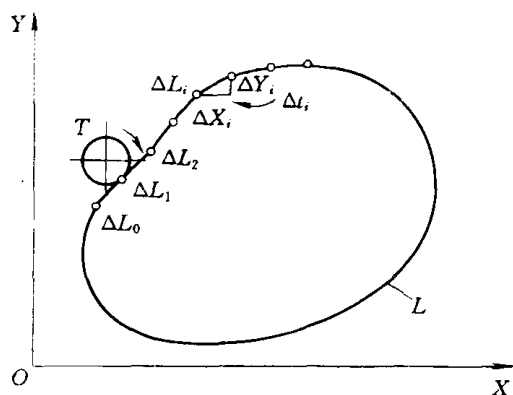


图 1-2 数控加工原理

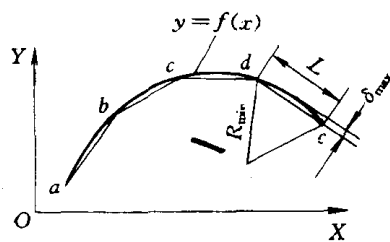


图 1-3 直线逼近曲线加工

点是考虑加工误差后确定的加工线段节点。加工前, 先由人工算出各节点的坐标值, 之后, 再按节点编制相应的直线段加工程序, 加工开始后, 机床数控装置才自动进行各节点间的直线插补, 进而引导刀具作相应运动, 直到整个加工结束。

由此可知, 采用插补功能较弱的机床加工具有复杂型面的工件, 是一种精度不高的近似加工, 且前期准备工作量大。

四、数控加工实施过程

图 1-4 所示是数控加工实施的操作过程。其步骤是:

- (1) 根据零件图设计数控加工工艺规程。内容包括: 工步、加工路线、切削用量、行程等;
- (2) 用规定的加工信息代码(如 ISO 码)编制加工程序单;
- (3) 由加工程序单制作控制介质, 如穿孔带、磁带;
- (4) 将控制介质记录的加工信息输入数控装置内存;
- (5) 数控装置对信息进行处理, 同时向数控轴的驱动装置发出相应的控制指令;
- (6) 运动部件按控制指令进行运动, 从而实现数控加工。

加工程序的输入, 除上述自动输入方式外, 还可采取键盘输入方式, 即由操作者通过

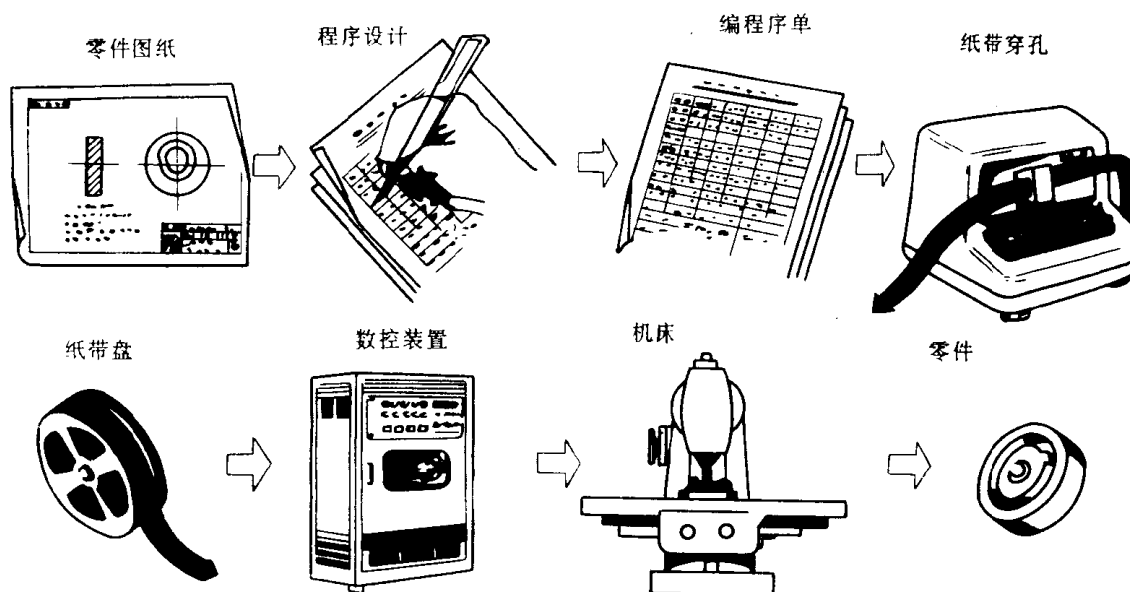


图 1-4 数控加工实施过程

数控装置上的键盘,逐一输入加工程序单上的指令。显然,采用这种方式输入时,不需制作其他控制介质。但当数控装置的内存容量有限时,不便保存周期性复杂加工用的程序。

第二节 数控机床的组成

数控机床主要由数控装置,包括伺服电动机及检测装置的伺服系统和机床本体三大部分组成。如图 1-5 所示。

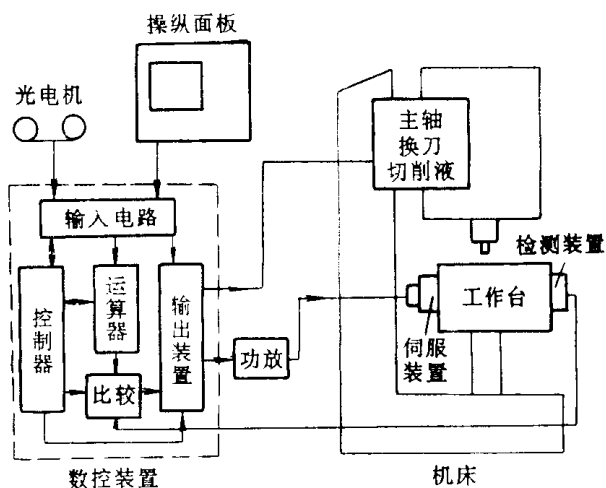


图 1-5 数控机床的组成

一、数控装置

图 1-5 中,数控装置由虚线框内包含的部分组成。该装置是机床实现自动加工的控制核心。它具有零件程序的读入、存储,输入信息的处理和计算,以及加工过程的实时控

制等机能。现代数控机床采用计算机数控装置,习惯上称作 CNC 机床。其数控装置的计算机一般为通用的小型计算机或微型计算机;机床及加工所需的控制功能,则由专用的系统程序即控制软件来完成。不同用途的机床有不同的控制软件。相对早期所谓的硬件型数控机床(NC 机床)来说,CNC 机床具有的不同控制功能,只需通过改变控制软件即能实现,因而对机床的控制更为灵活、方便,数控能力也就有了一定的柔性。

二、伺服系统

伺服系统是数控装置与机床本体间的电传动联系环节。它是由伺服电动机、驱动装置、以及部分机床具有的位置检测装置等组成。伺服电动机是系统的执行件,驱动装置则是伺服电动机的动力源。数控装置发出的指令信号经驱动装置功率放大后,带动电动机运转,进而通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

数控机床的伺服系统按其控制方式分为开环伺服系统、半闭环伺服系统和闭环伺服系统三大类。数控机床按照它们对加工精度、生产率和成本的要求,可选用适合的伺服系统。

三、机床本体

机床本体指的是数控机床机械构造实体。它与普通机床的差别,主要是机械传动结构及功能性部件,由此形成数控机床构造上的特色。归纳起来有以下几个方面:

- (1)采用高性能主传动及主轴部件,具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点;
- (2)进给传动为数字式伺服传动,传动链短,结构简单,传动精度高;
- (3)有较完善的刀具自动交换和管理系统,工件在加工中心类机床上一次安装后,能自动地完成或者接近完成工件各面的所有加工工序;
- (4)采用高效传动件,较多采用的如滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等;
- (5)机架具有很高的动、静刚度。

第三节 数控机床的分类

数控机床发展至今,已形成一个品种齐全的机床群体。通常按下列原则分类。

一、按工艺用途划分

1. 普通数控机床

此类机床的工艺范围与传统的通用机床相似,但加工精度和生产效率高。适合对形状复杂的零件作批量加工,是数控机床中的主体类型。图 1-6 是该类机床的图例。

2. 加工中心

这是带有自动换刀装置的一类机床。主要用于箱体零件和复杂曲面零件的多工序集



图 1-6 普通数控机床图例——数控车床

中加工。其中以铣镗加工中心和车削加工中心最为广泛。图 1-7 是这类机床的图例。

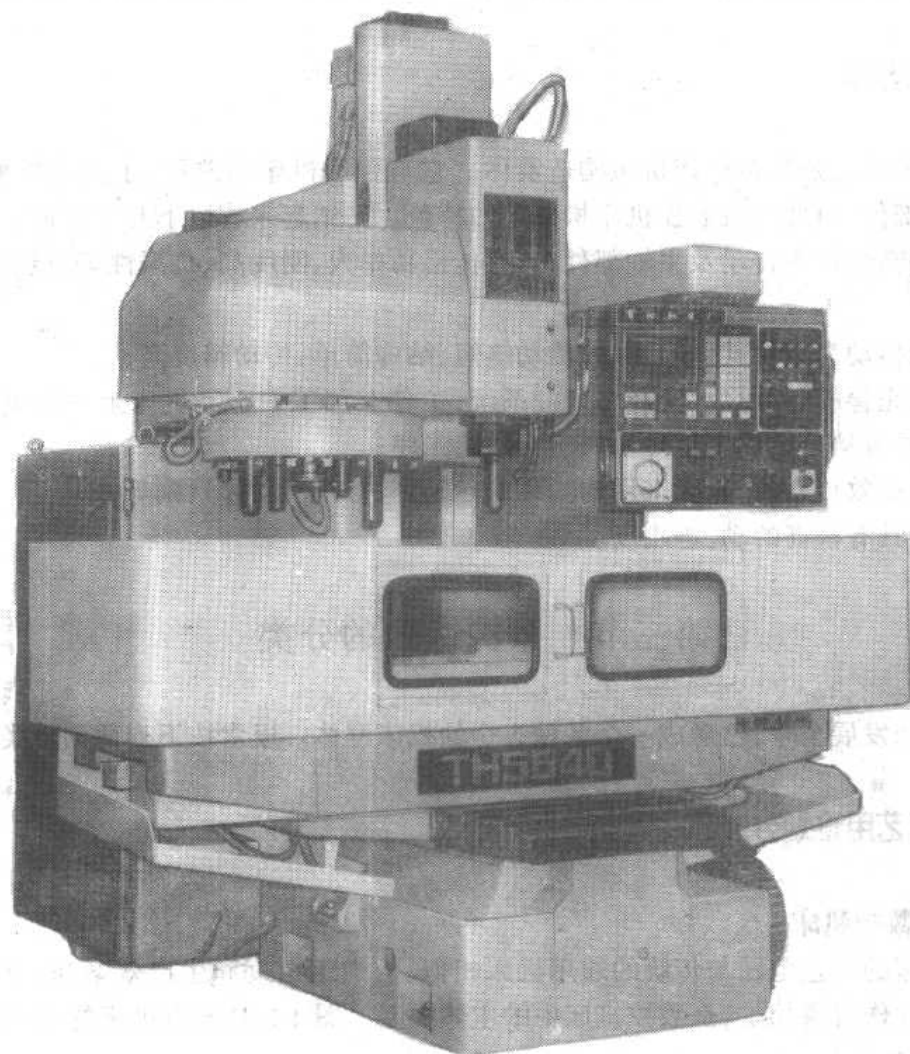


图 1-7 立式加工中心