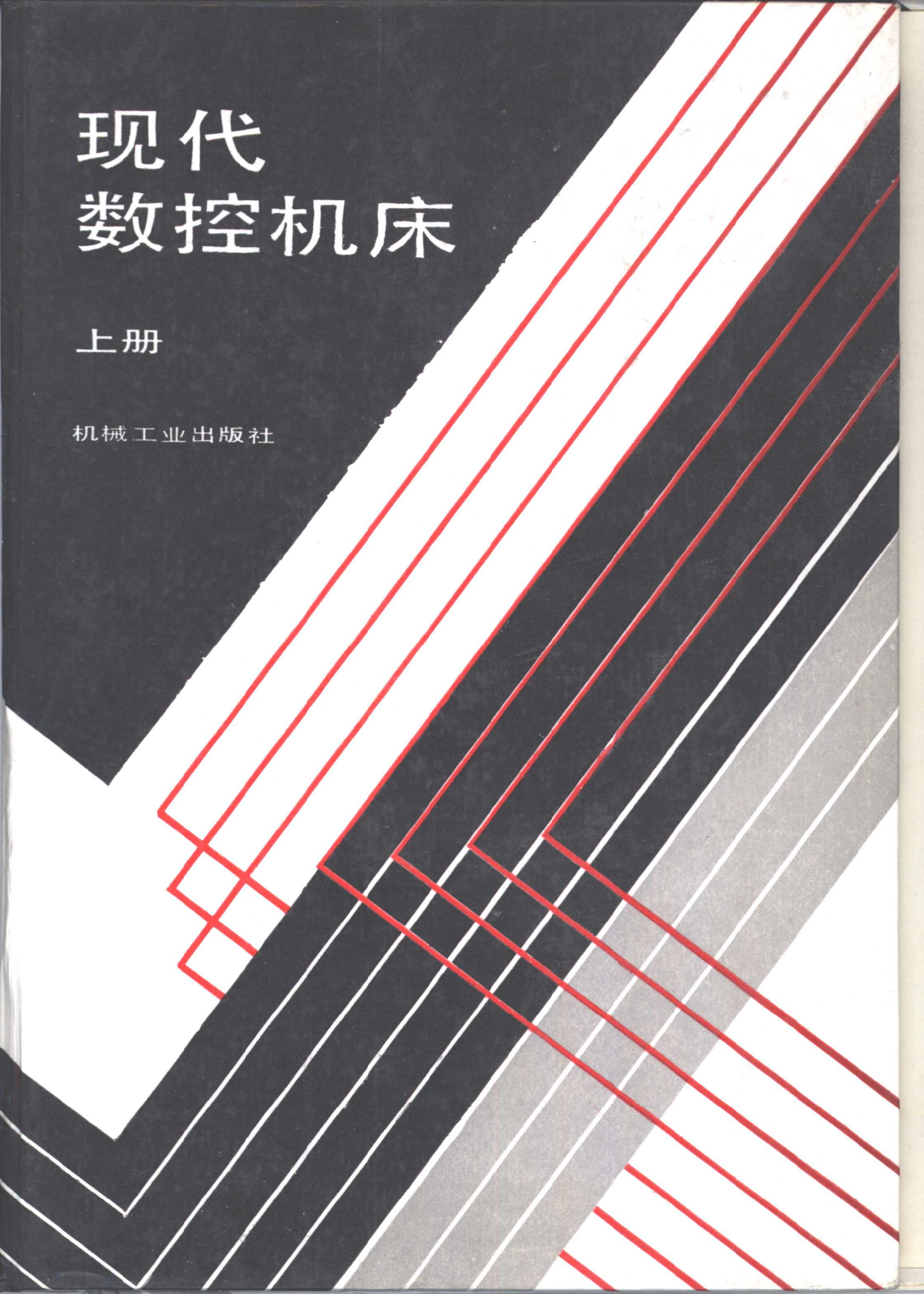


现代 数控机床

上册

机械工业出版社



现代数控机床

(上册)

毕承恩 丁乃建 等编著

机械工业出版社

(京)新登字054号

本书着重叙述了现代数控机床的机械结构、计算机数字控制装置、伺服驱动和控制电机的工作原理和设计思想,同时还叙述了数控编程、机床用可编程控制器、数控机床的使用和维修、数控技术与计算机集成制造系统(CIMS),以及数控的标准化和可靠性等技术。在附录中,列出一些常用的标准和技术参数,最后列有中英对照的数控技术名词。特别适合高等院校,研究设计单位和工厂的数控技术人员使用,也可以作科研工作者的参考书。

现代数控机床

(上册)

毕承恩 丁乃建 等编著

*

责任编辑:孙本绪 徐 彤 责任校对:丁丽丽
封面设计:刘 代 版式设计:冉晓华

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)
机械工业出版社京丰印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₄·印张24¹/₄·字数596千字
1991年12月北京第1版·1993年7月北京第1次印刷
印数 00,001—1500 定价 30元

*

ISBN 7-111-03177-6/TG·700(x)

《现代数控机床》编辑委员会

主 编	毕 承 恩
副主编	丁 乃 建
编 委	杨 惕 新
	郭 学 礼
	张 顺 花
	韩 克 礼
	厉 承 兆
	丘 家 秀
	孙 圣 渝
	俞 圣 梅
	张 重 力
	何 重 远

2006/01

前 言

数控机床已经用它所显示的效益和巨大潜力,引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。发展现代数控机床是当前机械制造业技术改造,技术更新的必由之路,是未来工厂自动化的基础。数控技术作为计算机集成制造(CIM)技术的基础之一,正在注入新的动力。为了提高和发展数控技术,我们联合编写了《现代数控机床》一书,并配合电视系列录像片以飧读者。

本书着眼于80年代以来的国外新技术和国内实际应用的技术,力求做到先进性、科学性和实用性。我们广泛收集了近期的科技成果、设计资料,有些是我们实际科技工作中成熟的经验,为从事现代数控机床设计、科研、使用、维修工作者,提供一个内容丰富的科技参考书。同时,又可以为高等院校和工厂,作为培训教材使用。为了统一概念和技术术语,本书除了介绍数控标准外,在附录中,还列出中英文对照的数控技术名词。

本书第一章由丁乃建编写;第二章由杨惕新、孙渝编写;第三章由张曰敏编写;第四章由邬学礼、张顺花、丘家秀、张力编写;第五章由韩克礼、厉承兆编写;第六章由何重远编写;第七章由厉承兆、俞圣梅编写;第八章和第九章由毕承恩编写;附录由上述同志分别编写。全书由毕承恩、丁乃建等审定。参加第二章部分编写的还有陈诗良、裘易乡、王俊峰、于胜军、于永亲、吴作霖、王杏卿、张铁铭、罗振璧、鄂牧人、盛伯浩等,参加第三章编写的还有周汉祥、刘晓云。为本书提供资料的,还有一些研究所、服务中心,机床行业的工厂中的几十名科技工作者。他们为本书提供了宝贵的意见、资料和插图照片等,在此一并致以衷心的感谢。

本书组织编著过程中,中国机床工具工业协会、前进音像出版社、国家教委录像中心和机械电子工业部北京数控技术开发中心等单位,均给以有力的支持和帮助,在此致以衷心的感谢。

由于我们水平有限,经验不足,书中难免存在错误疏漏之处,诚恳希望广大读者提出宝贵意见。

编 者

1990年10月于北京

目 录

第一章 概论	1	三、加工中心的进给系统	75
第一节 数控机床的基本概念	1	四、自动换刀系统	92
一、什么是数控机床	1	第三节 数控车床	100
二、数控机床是怎样加工机械零件的	1	一、数控车床的结构与分类	100
三、为什么要发展数控机床	3	二、主传动系统	103
第二节 数控机床的构成及分类	4	三、进给系统	111
一、构成	4	四、数控车床的刀架系统	112
二、功能和特点	4	第四节 数控落地铣镗床	123
三、数控机床的分类	6	一、数控落地铣镗床的分类	123
第三节 典型的数控机床	10	二、主轴箱与主传动系统	126
一、数控车床	10	三、数控落地铣镗床的进给传动系统	129
二、数控铣床	11	四、静压导轨	132
三、数控仿形铣床	11	五、滑枕和主轴箱的平衡补偿	132
四、加工中心	12	六、热变形的控制	133
五、数控钻床及镗床	14	七、刀具和附件	136
六、数控磨床	15	第五节 数控机床的辅助装置	139
七、数控电加工机床	16	一、液压和气动装置	139
八、柔性制造单元(FMC)	17	二、排屑装置	148
九、数控重型机床	19	三、数控机床用回转工作台和数控分度头	150
十、其他数控机床	20	四、高速动力卡盘	154
第四节 数控机床的发展	24	第六节 数控机床用刀具和监控与补偿技术	160
一、数控机床发展简述	24	一、数控机床用刀具	160
二、中国数控机床发展概况	25	二、对刀仪	172
三、数控机床的发展趋势	26	三、切削过程的监视与控制	176
第五节 数控功能的基本术语	29	四、精度检测与监控	186
一、数控系统的术语	29	第三章 数控机床的程序编制	208
二、程序编制的术语	33	第一节 概述	208
三、数控机床的术语	33	一、数控机床程序编制的目的与步骤	208
第二章 数控机床的机械结构	35	二、数控机床程序编制的方法	210
第一节 概述	35	第二节 手工程序编制	211
一、数控机床机械结构的主要组成	35	一、数字控制的标准与代码	211
二、数控机床机械结构的主要特点和要求	37	二、常用的程序编制指令	212
第二节 加工中心	62	三、零件加工程序结构与格式	214
一、加工中心的结构与分类	62	四、手工程序编制	215
二、加工中心的主传动系统	65		

第三节 数控自动程序编制系统 219	第四节 CNC装置插补原理295
一、数控自动程序编制系统的组成 及其特点..... 219	一、概述..... 295
二、数控语言及其应用..... 220	二、脉冲增量插补..... 296
第四节 数控自动程序编制系统的程序 设计 255	三、数据采样插补..... 304
一、数控自动程序编制系统程序的总体 结构..... 255	第五节 CNC装置的刀具半径补偿和 加减速控制 318
二、计算机数控程序编制系统的主要 数学模型及算法..... 257	一、刀具半径补偿..... 318
三、计算机数控自动程序编制系统后 置处理程序设计..... 261	二、C功能刀具半径补偿..... 321
第五节 数控程序编制技术的发展趋势 264	三、CNC装置加减速控制.....331
第四章 计算机数字控制(CNC)	第六节 图形显示和程序编制功能 337
装置 265	一、CNC装置的显示功能.....337
第一节 概述 265	二、对话式程序编制功能..... 341
一、CNC系统的组成.....265	三、蓝图程序编制功能..... 342
二、CNC装置的组成.....265	第七节 CNC装置的故障诊断351
三、CNC装置是怎样工作的.....265	一、CNC装置故障诊断的基本要求.....351
四、CNC装置的优点.....268	二、CNC装置故障诊断方法.....352
五、CNC装置的功能.....268	第八节 CNC装置的数据输入输出和 通信功能 354
第二节 CNC装置硬件结构271	一、CNC装置的数据输入输出和通 信要求..... 354
一、单微处理机结构..... 271	二、CNC装置的异步串行接口——RS- 232C/20mA和RS-422..... 355
二、多微处理机结构..... 279	三、近代CNC装置的网络通信接口.....358
第三节 CNC装置软件结构特点282	第九节 典型的CNC装置361
一、CNC装置的软硬件界面.....283	一、国外几家主要生产厂历年产品..... 361
二、CNC装置的数据转换流程.....283	二、国外几家主要生产厂的CNC 装置..... 362
三、CNC装置的软件结构特点.....285	三、国内几家主要生产厂的CNC 装置..... 375
四、典型CNC装置软件结构.....291	

第一章 概 论

第一节 数控机床的基本概念

一、什么是数控机床

数字控制 (numerical control) 是近代发展起来的一种自动控制技术, 是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法, 简称为数控 (NC)。

数控机床, 就是采用了数控技术的机床, 或者说是装备了数控系统的机床。

国际信息处理联盟 (International Federation of Information Processing, 即IFIP) 第五技术委员会, 对数控机床作了如下定义:

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。

定义中所指的那种程序控制系统, 就是所说的数控系统。

数控系统是一种控制系统, 它自动阅读输入载体上事先给定的数字值, 并将其译码, 从而使机床动作和加工零件。

数控系统包括: 数控装置、可编程序控制器、主轴驱动及进给驱动装置等部分。

数控机床是一种高度机电一体化的产品。

二、数控机床是怎样加工机械零件的

金属切削机床加工零件, 是操作者根据图样的要求, 不断地改变刀具与工件之间的运动参数 (位置、速度……等), 使刀具对工件进行切削加工, 最终得到所需要的合格的零件。

数控机床的加工, 是把刀具与工件的运动坐标分割成一些最小的单位量, 即最小位移量, 由数控系统按照零件程序的要求, 使坐标移动若干个最小位移量, 从而来实现刀具与工件的相对运动, 以完成零件的加工。

通过图1-1, 可以了解数控机床加工机械零件的原理。

例如, 在平面上, 要加工任意曲线 L 的零件。要求刀具 T 沿工件形状的曲线轨迹运动, 进行切削加工。

可以将曲线 L 分解成: $\Delta L_0, \Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_i$ 等线段。

设 切削 ΔL_i 的时间为 Δt_i

则 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 折线段之和接近曲线

$$\text{即 } \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{\infty} \Delta L_i = L$$

如果在 Δt_i 时间内, 在 x 坐标及 y 坐标方向移动量分别是 $\Delta x_i, \Delta y_i$,

$$\text{即 } \Delta L_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$$

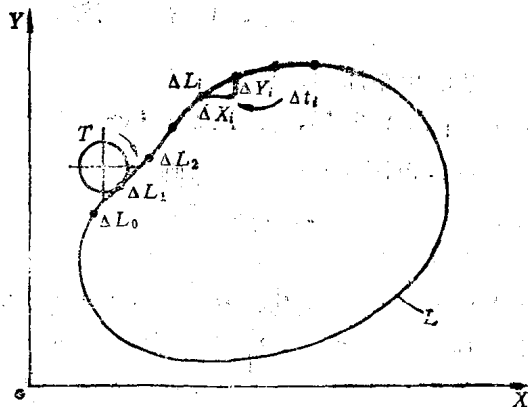


图1-1 数控机床加工原理

进给速度

$$v_i = \frac{\Delta l_i}{\Delta t_i} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_i}{\Delta t_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y_i}{\Delta t_i}\right)^2}$$

在 v_i = 常数保持不变时, 称为恒定进给速度。

由于 Δl_i 的斜率是不断变化的, 因此进给速度在 x 方向及 y 方向的分量 $\Delta v_{x,i}$ 与 $\Delta v_{y,i}$ 之间的比值 $\Delta v_{y,i}/\Delta v_{x,i}$ 是在不断变化的。只要能连续地自动控制 x, y 两个坐标方向运动速度的比值, 就可以实现曲线零件的数控加工。

在数控加工中, 使数控机床动作的是数控装置给数控机床传递运动命令的脉冲群, 每一个脉冲对应于机床的单位位移量。

在进行曲线加工时, 可以用一给定的数学函数, 来模拟线段 Δl_i 。

根据给定的数学函数, 如线性函数、圆函数或高次函数, 在理想的轨迹或轮廓上的已知点之间, 进行数据点的密化, 确定一些中间点的方法, 称之为插补。

按照规定的直线, 给出两端点间的插补数字信息, 借此信息控制刀具的运动, 加工出理想的曲面, 称为直线插补。

而按照规定的圆弧、其他二次曲线或高次函数, 给出两端点间的插补数字信息, 控制刀具运动, 加工出理想的曲面, 则称为圆弧插补、二次曲线插补(如抛物线插补)或高次函数插补(如螺旋线插补)等。

处理这些插补的算法, 称之为插补运算。

数控装置, 就是一台能够接受零件图样加工要求的信息, 并按照一定的数学模型进行插补运算。实时地向各坐标轴发出速度控制指令(如 $\Delta v_{x,i}, \Delta v_{y,i}, \dots$ 等)及切削用量的特殊用途的电子计算机。

除了数控装置以外, 为了使数控机床运转, 还需要有一个有足够的功率, 能快速响应的驱动装置。

在数控机床上采用的驱动装置, 按其原理基本上是两种控制方式。它是按照任意轨迹信息(path-information)的指令 W , 与实际测量值(控制变量) X , 在比较器中比较, 形成的控制分量来区分的。

1. 关断电路(cut-off) 在关断电路中, 比较器发出的一个信号, 符合

$$X - W = 0$$

2. 调节电路(regulating) 信号由调节电路送到执行机构时

$$X - W \neq 0$$

关断电路原理, 用于点位(point-to-point)控制, 而调节电路则用于连续轨迹(continuous-path)控制。

点位控制和直线控制一般是单轴或两轴联动。而连续轨迹控制则是两轴或两轴以上的联动。

当然, 数控机床要实现数控加工, 还必须要有能满足和实现上述加工方式要求的机床主机、刀具以及其他一整套辅助、配套设备。

所以, 只要具备了数控装置、驱动装置、机床主机以及相应的配套设备, 就可以组成一台数控机床, 完成各种零件的数控加工。

三、为什么要发展数控机床

近代，大工业生产大量采用了刚性自动化。在汽车工业及轻工消费品生产方面，采用了大量的组合机床自动线，生产流水线；在标准件（如螺钉，螺母及带轮等）的生产中则采用凸轮控制等用于特殊加工的专用机床。这类机床，适合于大批量零件的生产；但由于建立制造过程较难，所以更换产品及修改生产工艺需要较长的时间和比较多的费用。

进入80年代以来，由于市场竞争激烈，产品更新极为迅速，中、小批量零件的生产越来越多。对于工业国家来说，中、小批零件的生产几乎占产品数量的75%~80%。而且随着航空工业、汽车工业以及轻工消费品生产的高速增长，复杂图形的零件越来越多，精度要求也越来越高。这就使传统的刚性自动化不能满足要求，而柔性加工的重要性更加突出，可调的柔性自动化也就迅速地发展起来。

数控机床就是实现柔性自动化最重要的装备，是发展柔性生产的基础。

数控机床的优点：

1) 能完成很多普通机床难以完成，或者根本不能加工的复杂型面的零件加工。因此，数控机床首先在航空、航天等领域获得应用。在复杂型面的模具加工中，在蜗轮叶片及螺旋桨的加工中，也都得到了广泛的应用。

2) 采用数控机床，可以提高零件的加工精度，稳定产品的质量。由于数控机床是按照预定的程序自动加工，加工过程不需要人工干预。而且加工精度还可以利用软件来进行校正及补偿。因此，可以获得比机床本身精度还要高的加工精度及重复精度。

3) 可以提高生产率。采用数控机床比普通机床可提高生产率2~3倍。尤其对某些复杂零件的加工，生产率可提高十几倍甚至几十倍。

4) 可以实现一机多用。一些数控机床，例如加工中心、车削中心等，都可以自动换刀。一次装卡后，几乎能完成零件的全部加工部位的加工，可以替代5~7台普通机床，并节省了厂房面积。

5) 几乎不需要专用的工装夹具。采用普通的通用工夹具，只需更换程序，就可适应不同品种及尺寸规格零件的自动加工。

6) 减少了在制品，从而加速了流动资金的周转，提高经济效益。

7) 大大减轻了工人的劳动强度。

数控机床与普通机床的性能对比见表1-1。

表1-1 数控机床与普通机床的对比

序号	项 目	数控机床	普通机床	序号	项 目	数控机床	普通机床
1	加工异形复杂零件的能力	强	弱	7	初期投资	高	低
2	改变加工对象的柔性程度	高	低	8	对操作人员素质的要求	高	低
3	加工零件质量和加工精度	高	低	9	对生产计划、生产准备和生产调度的要求	高	低
4	加工效率	高	低	10	运转费(包括人力、原材料、电力、厂房)	低	高
5	设备利用率	高	低	11	维修技术及费用	高	低
6	产品优化设计与CAD连接功能	高	低	12	对不合格品再加工(即回用)的费用	低	高

从表1-1可以看出，数控机床不仅可以节约劳动力，提高劳动生产率，而且可以提高产品质量，对开发新产品和促进老产品的更新换代、加速流动资金运转和缩短交货期，都起着很大作用。

但是，数控机床的初期投资及维修技术等费用较高，要求管理及操作人员的素质也较高。合理地选择及使用数控机床，可以降低企业的生产成本和提高企业的经济效益与竞争能力。

综上所述，对于单件、中小批量生产；形状比较复杂，精度要求较高的零件加工；产品更新频繁，生产周期要求短的加工，大都采用数控机床，可以提高产品质量，降低生产成本，满足用户的要求，获得很好的经济效益。

第二节 数控机床的构成及分类

一、构成

数控机床一般由下列几个部分组成（见图1-2）。

1) 主机 是数控机床的主体，包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。

2) CNC装置 是数控机床的核心，包括硬件（印刷电路板、CRT显示器、键盘、纸带阅读机……等）以及相应的软件。

3) 驱动装置 是数控机床执行机构的驱动部件，包括主轴驱动单元、进给驱动单元、主轴电机及进给电机……等。

4) 数控机床的辅助装置 指数控机床的一些必须的配套部件，用以保证数控机床运行。它包括液压和气动装置、排屑装置、交换工作台、数控转台和数控分度头，还包括刀具及监控检测装置。

5) 编程机及其他一些附属装备。

二、功能和特点

(一) 主机

主机是数控机床的主体，是用于完成各种切削加工的机械部分。根据不同的零件加工要求，有车床、铣床、钻床、镗床、磨床、重型

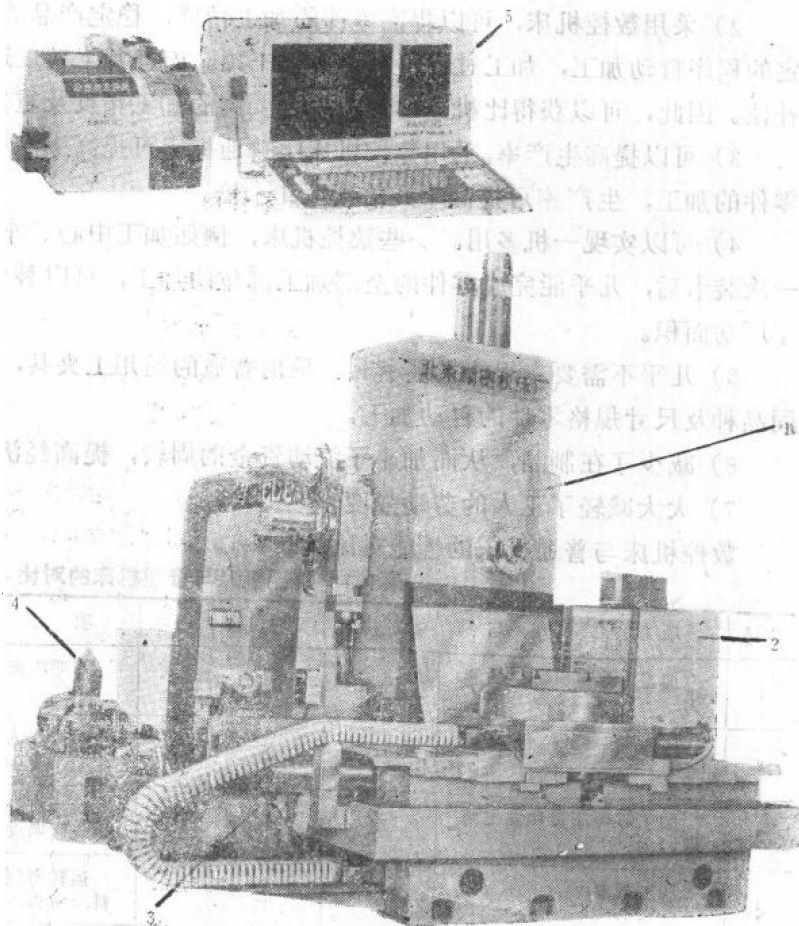


图1-2 数控机床构成

1—主机 2—CNC装置 3—驱动装置 4—辅助装置
5—编程机及其他附属设备

机床、电加工机床以及其它类型。与普通机床不同的是，数控机床的主机结构上具有以下特点：

- 1) 由于大多数数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统，因此，数控机床的机械传动结构得到了简化，传动链较短。
- 2) 为了适应数控机床连续地自动化加工，数控机床机械结构具有较高的动态刚度，阻尼精度及耐磨性，热变形较小。
- 3) 更多地采用高效传动部件，如滚珠丝杠副，直线滚动导轨等。

(二) CNC (computerized numerical control) 装置

这是数控机床的核心。用于实现输入数字化的零件程序，并完成输入信息的存储、数据的变换、插补运算以及实现各种控制功能。

现代数控机床的数控装置都具备下面一些功能。

- 1) 多坐标控制 (多轴联动)。
- 2) 实现多种函数的插补 (直线、圆弧、抛物线等)。
- 3) 代码转换 (EIA/ISO代码转换、英制/公制转换、二-十进制转换、绝对值/增量值转换等)。
- 4) 人机对话、手动数据输入，加工程序输入，编辑及修改。
- 5) 加工选择，各种加工循环，重复加工、凹 (凸) 模加工，镜象加工等。
- 6) 可实现各种补偿功能，进行刀具半径、刀具长度、传动间隙、螺距误差的补偿。
- 7) 实现故障自诊断。
- 8) CRT显示，实现图形、轨迹、字符显示。
- 9) 联网及通信功能。

(三) 驱动装置

是数控机床执行机构的驱动部件。

普通机床的主轴和进给系统，主要由电机驱动进给箱及主轴箱的齿轮来实现运动和变速。而数控机床主轴和进给则是由数控装置发出进给指令，通过电气或电液伺服系统实现的。当几个进给轴实现了联动时，可以完成点位、直线、平面曲线或空间曲面的加工。

一般来说，数控机床的伺服驱动，要求有好的快速响应性能，能灵敏而准确的跟踪由数字控制装置发送来的数字指令信号。

(四) 数控机床的辅助装置

他是保证数控机床功能充分发挥所需要的配套部件。

由于这些配套装置包括的面很广，有电器、液压、气动元件及系统，冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等一系列装置，它对开发数控机床本身的功能具有很大的作用，因此受到了各产业部门的重视，发展极为迅速。

(五) 程编机及其他一些附属设备

现代数控机床，不仅可以利用CNC装置上的键盘直接输入零件的程序，也可以利用自动程编机，在机外进行零件的程序编制，将程序记录在信息载体上 (如纸带、磁带、磁盘等)，然后送入数控装置。对于较为复杂的零件，一般都是采用这种办法。对这种方式，我们称为自动程序编制，或计算机程序编制。

数控机床构成框图见图1-3。

大型的，特殊曲面的零件程序，往往要用小型计算机来实现，还可以利用电子计算机的通用外围设备，如打印机、自动穿孔机来制作程序单及控制带。

现在随着微电子技术及计算技术的发展，大多数零件的程序编制工作，已经可以由微型计算机来实现了。

为了便于使用，一些公司还可以提供一些专用的程编机，并配有完整的附属设备。使用专用的程编软件，可以方便的，高质量的编制出各种需要的零件程序。

三、数控机床的分类

目前，为了研究数控机床，可从不同的角度对数控机床进行分类。

(一) 按控制系统的特点分类

1. 点位控制数控机床 对于一些孔加工用数控机床，只要求获得精确的孔系坐标定位精度（见图1-4），而不管从一个孔到另外一个孔是按照什么轨迹运动，如坐标钻床，坐标镗床以及冲床等，就可以采用简单而价格低廉的点位控制系统。

这种点位控制系统，为了确保准确的定位，系统在高速运行后，一般采用3级减速，以减小定位误差。但是由于移动件本身存在惯性，而且在低速运动时，摩擦力有可能变化。所以即使系统关断后，工作台并不立即停止，形成定位误差 Δd ，而且这个值有一定的分散性。

2. 直线控制数控机床 某些数控机床不仅要求具有准确定位的功能，而且要求从一点到另一点之间按直线移动，并能控制位移的速度（见图1-5）。因为这一类型的数控机床在两点间移动时，要进行切削加工。所以对于不同的刀具和工件，需要选用不同的切削用量及进给速度。

这一类的数控机床包括：数控镗铣床、数控车床、加工中心等。一般情况下这些数控机床，有两个到三个可控轴，但同时控制轴只有一个。

为了能在刀具磨损或更换刀具后，可得到合格的零件，这类机床的数控系统常常具有刀具半径补偿功能、刀具长度补偿的功能，和主轴转速控制的功能。

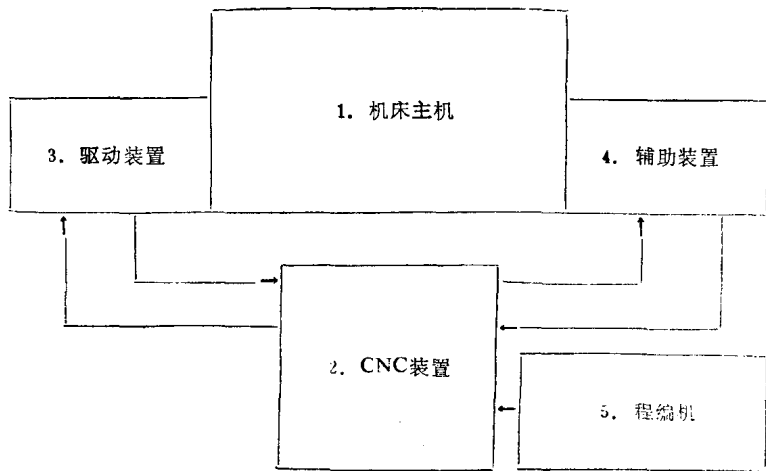


图1-3 数控机床构成框图

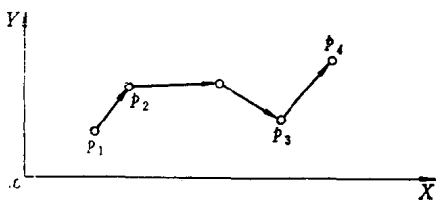


图1-4 数控机床的点位加工

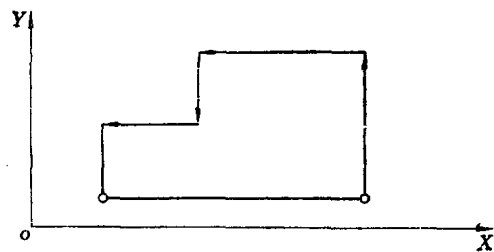


图1-5 数控机床的直线加工

3. 轮廓控制的数控机床 更多的数控机床, 具有轮廓控制的功能 (见图1-6), 即可以加工曲线或者曲面的零件。这类机床有二坐标及二坐标以上数控铣床, 可加工曲面的数控车床, 加工中心等。

这类数控机床应能同时控制两个或两个以上的轴具有插补功能 (见图1-7), 对位移和速度进行严格的不间断控制。

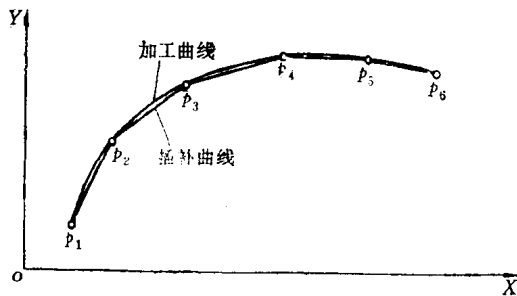


图1-6 数控机床连续轮廓加工的理想加工曲线与插补曲线

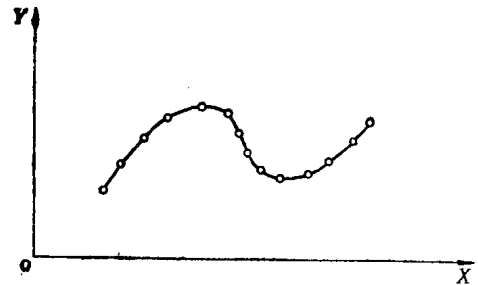


图1-7 数控机床的连续轮廓加工

现代数控机床绝大多数都具有两坐标或两坐标以上联动的功能, 不仅有刀具半径补偿、刀具长度补偿、还有机床轴向运动误差补偿、丝杠、齿轮的间隙误差补偿…等一系列功能。

按照可联动 (同时控制) 轴数, 且相互独立的轴数, 可以有 2 轴控制、2.5 轴控制、3 轴控制、4 轴控制、5 轴控制等。

2.5 轴控制 (两个轴是连续控制, 第三轴是点位或直线控制) 的原理, 实现了三个主要轴 X, Y, Z 内的两维控制。

3 轴控制是三个坐标轴 X, Y, Z 都同时插补, 是三维连续控制 (见图1-8)。

5 轴连续控制是一种很重要的加工形式 (见图1-9), 这时 3 个坐标 X, Y, Z, 与转台的回转, 刀具的摆动, 同时联动 (也可以是与两轴的数控转台联动, 或刀具做两个方向的摆动)。

由于刀尖可以按数学规律导向, 使之垂直于任何双倍曲线平面 (double curve), 因此特别适合于加工透平叶片、机翼等。

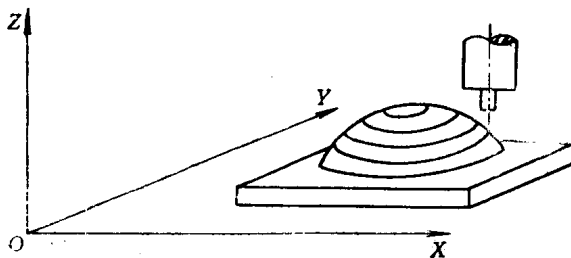


图1-8 三轴联动的数控加工

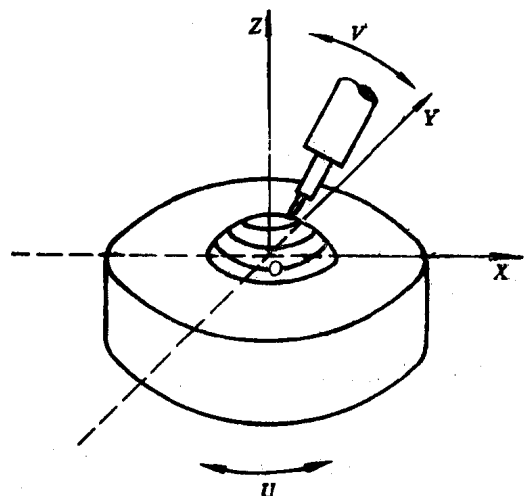


图1-9 五轴联动的数控加工

(二) 按执行机构的伺服系统类型分类

1. 开环伺服系统数控机床 这是比较原始的一种数控机床, 这类机床的数控系统将零件的程序处理后, 输出数字指令信号给伺服系统, 驱动机床运动。没有来自位置传感器的反馈信号。最典型的系统就是采用步进电机的伺服系统。这类机床较为经济, 但是速度及精度都较低。因此, 目前在国内, 仍作为一种经济型的数控机床, 多用于对旧机床的改造。

2. 闭环伺服系统数控机床 这类机床可以接受插补器的指令, 而且随时接受工作台端测得的实际位置反馈信号进行比较, 并根据其差值不断地进行误差修正。这类数控机床可以消除由于传动部件制造中存在的精度误差给工件加工带来的影响。

这种采用闭环伺服系统的数控机床(见图1-10), 可以得到很高的加工精度, 但是由于很多的机械传动环节, 如丝杠副、工作台都包括在反馈环路内, 而各种机械传动环节, 包括丝杠与螺母、工作台与导轨的摩擦特性, 各部件的刚性,

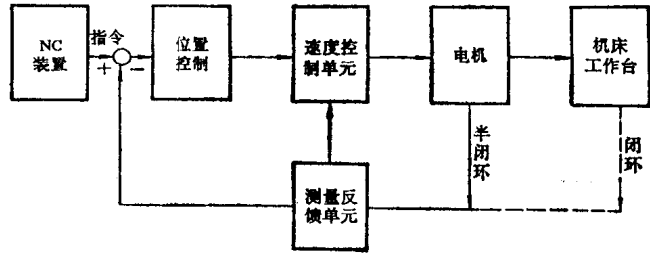


图1-10 数控机床按执行机构伺服系统的类型分类

以及位移测量元件安装的传动链间隙等等, 都是可变的, 都直接影响伺服系统的调节参数。有一些是非线性的参数, 因此闭环系统的设计和调整都有较大的难度。设计和调整得不好, 很容易形成系统的不稳定。

所以, 闭环伺服系统数控机床, 主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精铣床等。

3. 半闭环伺服系统的数控机床 大多数数控机床是半闭环伺服系统, 将测量元件从工作台移到电机端头或丝杠端头。这种系统的闭环环路内不包括丝杠、螺母副及工作台, 因此可以获得稳定的控制特性。而且由于采用了高分辨率的测量元件, 可以获得比较满意的精度及速度。

(三) 按数控装置类型分类

1. 硬件式数控机床(即NC机床) 这是早期的数控机床, 数控装置中的输入、运算、插补运算以及控制功能均由集成电路或晶体管等器件组成。一般来说, 不同的数控机床都需要专门设计不同的逻辑电路。这类数控机床数控装置的通用性较差, 因其全部由硬件组成, 所以功能和灵活性也较差。

2. 软件式数控机床(即CNC机床) 70年代中期, 随着微电子技术的发展, 芯片的集成度越来越高。利用中、大规模及超大规模的集成电路, 组成CNC装置成为可能。采用这一类装置的数控机床, 其主要的功能, 几乎全由软件来实现, 对于不同的数控机床, 只需编制不同的软件就可以实现。而硬件几乎可以通用。这就为硬件的大批量生产提供了条件。批量生产有利于保证产品的质量、缩短生产周期, 降低生产成本, 所以现代数控机床, 都采用CNC装置。

这种软件式数控, 由于有很高的柔性, 给机床厂以及机床的用户以很大的方便。他们可以根据各自的需要开发出不同的用户程序, 使得数控机床的应用更为广泛, 并能深入到机械加工业的各个领域中。

(四) 按加工方式分类

1. 金属切削类数控机床 如数控车床、加工中心、数控钻床、数控磨床、数控镗床等。
2. 金属成型类数控机床 如数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机等。
3. 数控特种加工机床 如数控线(电极)切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。
4. 其他类型的数控机床 如火焰切割机、数控三坐标测量机等(见表1-2)。

表1-2 数控机床分类表

数控机床的种类	控制系统类别	执行机构类别	加工对象类别
数 控 车 床	点位、直线控制	开环、半闭环	没锥度、圆弧的轴
	轮廓控制	开环、半闭环、闭环	有锥度、圆弧的轴
加 工 中 心 机 床	点位、直线控制	开环、半闭环	齿轮箱、框架等箱体
	特殊用途的轮廓控制	开环、半闭环、闭环	飞机零件的轮廓加工
数 控 铣 床	点位、直线控制	开环、半闭环	箱体
	轮廓控制	开环、半闭环、闭环	平面轮廓的凸轮、样板、冲模、压、铸模
数 控 钻 床	点位控制	开环、半闭环	印刷电路板、多孔零件
数 控 镗 床	点位、直线控制	开环、半闭环	箱体
		闭环	精密箱体
数 控 磨 床	轮廓控制	半闭环、闭环	凸轮、轧辊、冲模
数控电加工机床	轮廓控制	开环、半闭环	模具
数控金属成型机床	点位直线轮廓控制	半闭环、开环	冲压、板材、弯管等

(五) 按照功能水平分类

可以把数控机床分为高、中、低档(经济型)三类:

这种分类方法, 目前在我国用的很多, 但是因为没有一个确切的定义, 所以涵意不很明确。这里, 我们试图对按照功能水平分类的界限作一个限定。

1. 分辨率和进给速度 分辨率为 $10\mu\text{m}$, 进给速度在 $8\sim 15\text{m}/\text{min}$ 为低档; 分辨率为 $1\mu\text{m}$, 进给速度为 $15\sim 24\text{m}/\text{min}$ 为中档; 分辨率为 $0.1\mu\text{m}$, 进给速度为 $15\sim 100\text{m}/\text{min}$ 为高档。

2. 伺服进给类型 采用开环、步进电机进给系统为低档; 中高档则采用半闭环的直流伺服系统及交流伺服系统(也包括采用闭环伺服系统)。

3. 联动轴数 低档数控机床最多联动轴数为 $2\sim 3$ 轴, 中、高档则为 $2\sim 4$ 轴或 $3\sim 5$ 轴以上。

4. 通信功能 低档数控一般无通信功能。中档可以有RS-232或DNC(direct numerical control直接数字控制)接口。高档的还可能有MAP(manufacturing automation protocol制造自动化协议)通信接口, 具有联网功能。

5. 显示功能 低档数控一般只有简单的数码管显示或简单的CRT(Cathode Ray Tube

阴极射线管)字符显示。而中档数控则具有较齐全CRT显示,不仅有字符,而且有图形,人机对话,自诊断等功能。高档数控还可以有三维图形显示。

6. 内装PC (programmable controller可编程控制器) 低档数控一般无内装PC,中、高档数控都有内装PC。高档数控具有强功能的内装PC,有轴控制的扩展功能。

7. 主CPU (central processing unit中央处理单元) 低档数控一般采用8位CPU,中档及高档已经逐步的由16位CPU向32位CPU过渡。外国的一些新的数控系统已经选用了64位CPU,并选用具有精简指令集的RISC中央处理单元,以提高运算速度。

根据以上的一些功能及指标,就可以将各种类型的产品分为低、中、高档三类数控系统。

所谓经济型数控,都是相对标准型数控而言。在不同的国家和不同的时期含意是不同的。其目的是根据实际机床的使用要求,合理地简化系统,以降低产品价格。

在我国,把由单板机、单片机和步进电机组成的数控系统和其它功能简单、价格低的系统称为经济型数控。主要用于车床、线切割机床、以及老机床改造等。它是属于低档数控的一种,目前在我国,这类数控有一定批量的生产。

区别于经济型数控,则把功能比较齐全的数控系统,称为全功能数控,或称标准型数控。

第三节 典型的数控机床

数控机床的品种很多,几乎各种类型的机床,都有成功的数控产品。下面介绍几种典型的数控机床产品,其中包括数控车床、数控铣床、加工中心、数控钻、镗床、数控磨床、数控电加工机床及一些特殊类型的数控机床。介绍各类数控机床的特点,以及这类数控机床的典型产品。介绍的产品将以我国在最近几年新开发的品种为代表。至于国外最近推出的新产品、新结构、新的功能将在以后的一些章节中介绍。

由于每一类机床,品种都很多,功能和应用范围也有差别。受篇幅限制,这里不能一一列举,只能选择其中的主要品种和机型作简要介绍,以此了解数控机床的概貌。

一、数控车床

数控车床是目前使用较广泛的数控机床,主要用于轴类和盘类回转体零件的加工,能自动完成内外圆柱面、锥面、圆弧、螺纹等工序的切削加工,并能进行切槽、钻、扩、铰孔等工作,特别适宜复杂形状零件的加工。

在车床上由程序确定主轴转速是很必要的,应该有刀具补偿功能,由程序选定刀具并控制转塔刀架。

对于工件轮廓形状不太复杂,控制系统带有圆弧插补器,有一个转塔刀架的数控车床,常常采用手工编制程序。只有在加工复杂轮廓或同时有两把刀具进行加工时,才采用计算机自动编制程序。

例如S3-1200型数控车床,(图1-11)是沈阳第三机床厂与美国Pratt & Whitney.公司合作生产的产品。这台车床是美国P & W公司1980年设计完成的新产品。结构先进、精度高、刚性好。机床总体布局采用机、电、液一体化,有完善的安全保护装置,除有硬件保护外,还可设定软件区域保护,有多种诊断功能;主传动采用交流无级调速系统。主轴采用预加载荷