

# 第 1 章 绪 论

**教学提示:**数控机床是采用数字控制技术对机床各移动部件相对运动进行控制的机床,它是典型的机电一体化产品,是现代制造业的关键设备。计算机、微电子、信息、自动控制、精密检测及机械制造技术的高速发展,加速了数控机床的发展。目前数控机床正朝着高速度、高精度、高工序集中度、高复合化和高可靠性等方向发展,同时其应用范围也越来越广泛。

**教学要求:**本章主要讲述数控机床的基本概念和特点、主要技术参数、分类以及技术与发展水平等。本章内容是数控机床的基本知识和内容,要求学生理解并掌握数控机床的基本概念、组成与特点以及分类,了解其发展趋势和在先进制造技术中的作用。

## 1.1 概 述

### 1.1.1 数控机床的定义

数控即数字控制(Numerical Control, NC)。数控技术是指用数字信号形成的控制程序对一台或多台机械设备进行控制的一门技术。

数控机床,简单的说,就是采用了数控技术的机床。即将机床的各种动作、工件的形状、尺寸以及机床的其他功能用一些数字代码表示,把这些数字代码通过信息载体输入给数控系统,数控系统经过译码、运算以及处理,发出相应的动作指令,自动地控制机床的刀具与工件的相对运动,从而加工出所需要的工件。

实际上,数控机床就是一种具有数控系统的自动化机床。所以说数控机床是最典型的机电一体化产品。

### 1.1.2 数控机床的组成及特点

#### 1. 数控机床的组成

数控机床主要由程序介质、数控装置、伺服系统、机床主体四部分组成,如图 1.1 所示。

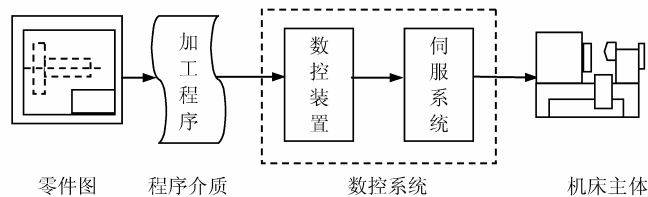


图 1.1 数控机床的组成

其中，程序介质用于记载机床加工零件的全部信息。如零件加工的工艺过程、工艺参数、位移数据、切削速度等。常用的程序介质有磁带、磁盘等。也有一些数控机床采用操作面板上的按钮和键盘将加工程序直接输入或通过串行接口将计算机上编写的加工程序输入到数控系统。在计算机辅助设计与计算机辅助制造(CAD/CAM)集成系统中，加工程序可不需要任何载体而直接输入到数控系统。

数控装置是控制机床运动的中枢系统，它的基本任务是接收程序介质带来的信息，按照规定的控制算法进行插补运算，把它们转换为伺服系统能够接收的指令信号，然后将结果由输出装置送到各坐标控制的伺服系统。

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成，是数控系统的执行部件。它的基本作用是接收数控装置发来的指令脉冲信号，控制机床执行部件的进给速度、方向和位移量，以完成零件的自动加工。

通常数控系统由数控装置和伺服系统两部分组成，各公司的数控产品也是将两者作为一体的。

机床主体也称主机，包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件，如底座、立柱、滑鞍、工作台(刀架)、导轨等。数控机床与普通机床不同，它的主运动和各个坐标轴的进给运动都是由单独的伺服电动机驱动，所以它的传动链短、结构比较简单。为了保证数控机床的快速响应特性，在数控机床上还普遍采用精密滚珠丝杠副和直线滚动导轨副。在加工中心上还配备有刀库和自动换刀装置。同时还有一些良好的配套设施，如冷却、自动排屑、自动润滑、防护和对刀仪等，以利于充分发挥数控机床的功能。此外为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工，数控机床的其他机械结构也产生了很大的变化。

## 2. 数控机床的特点

数控机床与普通机床加工零件的区别，在于数控机床是按照程序自动加工零件，而普通机床由工人手工操作来加工零件。在数控机床上只要改变控制机床动作的程序，就可以达到加工不同零件的目的。由于是一种程序控制过程，数控机床相应形成了以下几个特点。

(1) 采用数控机床可以提高零件的加工精度、稳定产品的质量。因为数控机床按照预定的加工程序进行加工，加工过程中消除了操作者人为的操作误差，所以零件加工的一致性好，而且加工精度还可以利用软件来进行校正补偿，因此可以获得比机床本身所能达到的精度还要高的加工精度及重复定位精度。

(2) 数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的具有复杂曲面的零件的加工。因此它在航空航天、造船、模具等加工业中得到广泛应用。

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

(4) 可以实现一机多用。一些数控机床将几种普通机床功能合一，加上刀库与自动换刀装置构成加工中心，如果能配置数控转台或分度转台，则可以实现一次安装、多面加工。

(5) 采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展，为实现生产过程自动化创造了条件。

### 1.1.3 数控机床的主要技术参数

#### 1. 主要规格尺寸

数控车床的主要规格尺寸有床身上最大工件回转直径、刀架上最大工件回转直径、加工最大工件长度、最大车削直径等。数控铣床、加工中心的主要规格尺寸有工作台面尺寸、工作台 T 形槽、工作行程等。

#### 2. 主轴系统

数控机床主轴采用直流或交流电动机驱动，具有较宽的调速范围和较高的回转精度，主轴本身的刚度与抗振性比较好。现在数控机床的主轴转速普遍能达到 5000r/min~10000r/min 甚至更高，对提高加工质量和各种小孔加工极为有利；主轴转速可以通过操作面板上的转速倍率开关直接改变。

#### 3. 进给系统

进给系统有进给速度范围、快速(空行程)速度范围、运动分辨率(最小位移增量)、定位精度和螺距范围等主要技术参数。

(1) 进给速度。是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素，直接受到数控装置运算速度、机床动特性和工艺系统刚度的限制。其中，最大进给速度为加工的最大速度，最大快进速度为不加工时移动的最快速度。进给速度可通过操作面板上的进给倍率开关调整。

(2) 脉冲当量(分辨率)。是指两个相邻分散细节之间可以分辨的最小间隔，是重要的精度指标。其有两个方面的内容，一是机床坐标轴可达到的控制精度(可以控制的最小位移增量)，表示数控装置每发出一个脉冲信号时坐标轴移动的距离，称为实际脉冲当量或外部脉冲当量；二是内部运算的最小单位，称之为内部脉冲当量，一般内部脉冲当量比实际脉冲当量设置的要小，目的是在运算过程中不损失精度。数控系统在输出位移量之前，自动将内部脉冲当量转换成外部脉冲当量。

实际脉冲当量决定于丝杠螺距、电动机每转脉冲数及机械传动链的传动比，其计算公式为

$$\text{实际脉冲当量} = \text{传动比} \times \frac{\text{丝杠螺距}}{\text{电动机每转脉冲数}}$$

脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一，其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。目前数控机床的脉冲当量一般为 0.001mm，精密或超精密数控机床的脉冲当量为 0.1 μm。脉冲当量越小，数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

(3) 定位精度和重复定位精度。定位精度是指数控机床工作台等移动部件在确定的终点所达到的实际位置的精度。因此移动部件实际位置与理想位置之间的误差称为定位误差。定位误差包括伺服系统误差、检测系统误差、进给系统误差和移动部件导轨的几何误差等。定位误差将直接影响零件加工的位置精度。

重复定位精度是指在同一台数控机床上，应用相同程序、相同代码加工一批零件，所得到的连续结果的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统的间隙与刚性以及摩擦特性等因素的影响。一般情况下，重复定位精度是成正态分布的偶然性误差，它影响

一批零件加工的一致性，是一项非常重要的性能指标。对于中小型数控机床，定位精度普遍可达 $\pm 0.01\text{mm}$ ，重复定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

#### 4. 刀具系统

数控车床刀具系统的主要技术参数包括刀架工位数、工具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间、重复定位精度等各项内容。加工中心刀库容量与换刀时间直接影响其生产率，通常中小型加工中心的刀库容量为 16~60 把，大型加工中心可达 100 把以上。

换刀时间是指自动换刀系统将主轴上的刀具与刀库中刀具进行交换所需要的时间。

## 1.2 数控机床的分类

数控机床种类很多，规格不一，人们从不同的角度对其进行了分类。

### 1.2.1 按机械运动轨迹分类

数控机床按其刀具与工件相对运动的方式，可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制。

#### 1. 点位控制数控机床

这类数控机床的特点是要求保证点与点之间的准确定位。它只能控制行程的终点坐标值，对于两点之间的运动轨迹不作严格要求。对于点位控制的孔加工机床只要求获得精确的孔系坐标，在刀具运动过程中，不进行切削加工。如图 1.2 所示为点位控制钻孔加工示意图。

此类数控机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床、三坐标测量机、印制电路板钻床等。

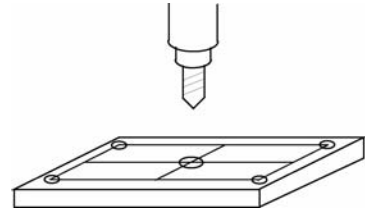


图 1.2 点位控制钻孔加工示意图

#### 2. 直线控制数控机床

这类数控机床的特点是不仅要控制行程的终点坐标值，还要保证在两点之间机床的刀具走的是一条直线，而且在走直线的过程中往往要进行切削。如图 1.3 所示为直线控制切削加工示意图。

此类数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控镗床等。

现代组合机床采用数控技术，驱动各种动力头、多轴箱轴向进给钻、镗、铣等加工，也算是一种直线控制数控机床。直线控制也称为单轴数控。

#### 3. 轮廓控制数控机床

这类数控机床的特点是不仅要控制行程的终点坐标值，还要保证两点之间的轨迹要按一定的曲线进行。即这种系统必须能够对两个或两个以上坐标方向的同时运动进行严格的连续控制。如图 1.4 所示为轮廓控制铣削加工示意图。

现代数控机床绝大部分都具有两坐标或两坐标以上联动的功能，除此之外还具有刀具半径补偿、刀具长度补偿、机床轴向运动误差补偿、丝杠螺距误差补偿、齿侧间隙误差补偿等一系列功能。

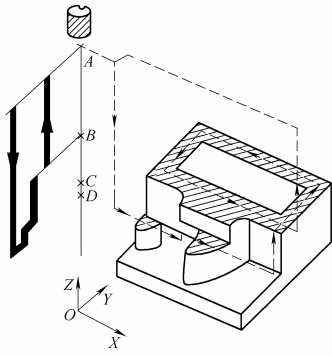


图 1.3 直线控制切削加工示意图

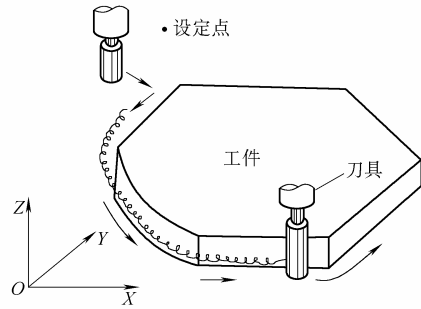


图 1.4 轮廓控制铣削加工示意图

## 1.2.2 按伺服系统的类型分类

### 1. 开环伺服系统数控机床

这类机床没有来自位置传感器的反馈信号，数控系统将零件程序处理后，输出数字指令信号给伺服系统，驱动机床运动。例如采用步进电动机的伺服系统就是一个开环伺服系统，如图 1.5 所示。

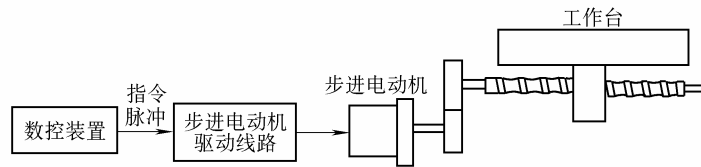


图 1.5 开环伺服系统

这类机床的优点是结构简单、较为经济、维护维修方便，但是速度及精度低，适于精度要求不高的中小型机床，多用于对旧机床的数控化改造。

### 2. 闭环伺服系统数控机床

这类机床上装有位置检测装置，直接对工作台的位移量进行测量。数控装置发出进给信号后，经伺服驱动使工作台移动；位置检测装置检测出工作台的实际位移，并反馈到输入端，与指令信号进行比较，驱使工作台向其差值减小的方向运动，直到差值等于零为止。图 1.6 所示为闭环伺服系统。

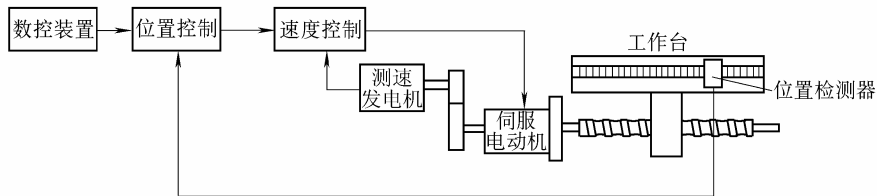


图 1.6 闭环伺服系统

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，从而得到很高的精度。但是由于很多机械传动环节包括在闭环控制的环路内，各部件的摩擦特性、刚性以及间隙等都是非线性量，直接影响到伺服系统的调节参数。因此，闭环伺服系统的设计和调整都非常困难。

闭环伺服系统的优点是精度高。但其系统设计和调整困难、结构复杂、成本高，主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精密车床、超精密铣床、加工中心等。

### 3. 半闭环伺服系统数控机床

这类数控机床采用安装在进给丝杠或电动机端头上的转角测量元件测量丝杠旋转角度，来间接获得位置反馈信息。图 1.7 所示为半闭环伺服系统。

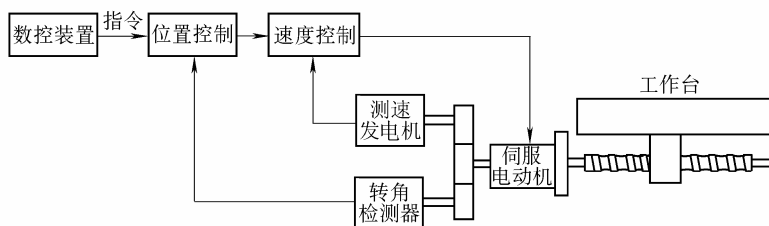


图 1.7 半闭环伺服系统

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。大多数数控机床采用半闭环伺服系统，如数控车床、数控铣床、加工中心等。

### 1.2.3 按功能水平分类

数控机床按功能水平分为高、中、低档三类。数控机床功能水平的高低主要由它们的主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平等决定，主要包括以下内容。

#### 1. 中央处理单元(CPU)

低档数控机床一般采用 8 位 CPU；而中、高档数控机床已经由 16 位 CPU，发展到 32 位或 64 位 CPU，并用具有精简指令集(RISC)的 CPU。

#### 2. 分辨率和进给速度

低档数控机床的分辨率为  $10\mu\text{m}$ ，进给速度为  $6\text{m}/\text{min}\sim 15\text{m}/\text{min}$ ；中档数控机床的分辨率为  $1\mu\text{m}$ ，进给速度为  $12\text{m}/\text{min}\sim 24\text{m}/\text{min}$ ；高档数控机床的分辨率为  $0.1\mu\text{m}$  或更小，进给速度为  $24\text{m}/\text{min}\sim 100\text{m}/\text{min}$ ，或更高。

#### 3. 多轴联动功能

低档数控机床多为 2~3 轴联动；中、高档数控机床则都是 3~5 轴联动，或更多。

#### 4. 显示功能

低档数控机床一般只有简单的数码显示或简单的阴极射线管(CRT)字符显示功能；中档数控机床有较齐全的 CRT 显示功能，如字符、图形、人机对话、自诊断等功能显示；高档

数控机床还有三维动态图形显示功能。

### 5. 通信功能

低档数控机床无通信功能；中档数控机床有 RS232C 或直接数控(DNC, 也称群控)等接口。高档数控机床有制造自动化协议(MAP)等高性能通信接口, 且具有联网功能。

数控机床按功能水平的另一种分类是将数控机床分为经济(简易)型、普及(多功能)型和高档型。多功能型机床并不追求过多功能, 以实用为准, 也称为标准型。经济型数控机床是根据实际机床的使用要求制造的, 并合理地简化了系统, 降低了价格。在我国, 经济型数控机床是指装备了功能简单、价格低、使用方便的低档数控系统的机床, 主要用于车床、线切割机床及其他普通机床的数控化改造等。

## 1.2.4 按加工方式分类

### 1. 金属切削类数控机床

如数控车床、数控钻床、数控磨床、数控铣床、数控齿轮加工机床、加工中心、虚拟轴加工机床等。

### 2. 金属成型类数控机床

如数控折弯机、数控弯管机、数控冲床、数控回转头压力机等。

### 3. 数控特种加工机床

如数控线切割机床、数控电火花成型机、数控激光切割机、数控火焰切割机等。

## 1.3 数控机床的发展与作用

### 1.3.1 数控机床的产生与发展

科学技术和社会生产的不断发展, 对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化是实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品的质量和生产效率、降低生产成本, 还能够大大改善工人的劳动条件。许多生产企业(例如汽车、拖拉机、家用电器等制造厂)已经采用了自动机床、组合机床和专用自动生产线。采用这种高度自动化和高效率的设备, 尽管需要很大的初始投资以及较长的生产准备时间, 但在大批量的生产条件下, 由于分摊在每一个工件上的费用很少, 经济效益仍然是非常显著的。

但是, 在机械制造工业中并不是所有的产品零件都具有很大的批量, 单件与小批生产的零件(批量在 10~100 件)占机械加工总量的 80% 以上。尤其是在造船、航空航天、机床、重型机械以及国防部门, 其生产特点是加工批量小、改型频繁、零件的形状复杂而且精度要求高, 采用专用化程度很高的自动化机床加工这类零件就显得很不合适, 因为生产过程中需要经常改装与调整设备, 对于专用生产线来说, 这种改装与调整甚至是不可能实现的。

为了解决这些问题, 满足多品种、小批量的自动化生产, 迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。数控机床就是在这样的背景下产生与发展起来的。它极其有效地解决了上述一系列矛盾, 为单件、小批量生产的精密复杂零件提供

了自动化加工手段。

随着电子技术的发展,1946年世界上第一台电子计算机问世,由此掀开了信息自动化的新篇章。1948年美国北密支安的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司(Parsons Co.)在制造飞机的框架及直升飞机的转动机翼时,提出了采用电子计算机对加工轨迹进行控制和数据处理的设计,后来得到美国空军的支持,并与美国麻省理工学院(MIT)合作,于1952年研制出第一台三坐标数控铣床,用于加工直升飞机叶片轮廓检查用样板。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,专用计算机采用电子管器件,逻辑运算与控制采用硬件连接的电路。

1955年,该类机床进入实用化阶段,在复杂曲面的加工中发挥了重要作用。这时数控机床的控制系统(专用电子计算机)采用了电子管,其体积庞大,功耗高。此种机床仅在一些军事部门中用于加工普通机床难以加工的形状复杂的零件。这是第一代数控系统。

1959年晶体管出现,电子计算机应用了晶体管器件和印制电路板,从而使机床数控系统跨入了第二代。

1965年,数控装置开始采用小规模集成电路,使数控装置的体积减小、功耗降低及可靠性提高,但它仍然是硬件逻辑数控系统。数控系统发展到第三代。

以上三代,都属于硬件逻辑数控系统,称为NC系统。由于点位控制的数控系统比轮廓控制的数控系统要简单得多,在该阶段,点位控制的数控机床得到大发展。有资料统计,到1966年,世界上实际使用的6000台数控机床中,85%是点位控制的数控机床。

1970年,美国芝加哥国际机床展览会首次展出用小型计算机控制的数控机床,这是世界上第一台计算机数字控制(CNC)的数控机床。数控系统进入第四代。

20世纪70年代初,随着微处理机的出现,美、日、德等国都迅速推出了以微处理机为核心的数控系统,这样组成的数控系统,称为第五代数控系统,即MNC系统。在近20多年内,生产中实际使用的数控系统大多为第五代数控系统,其性能和可靠性随着技术的发展得到了根本性的提高。

从20世纪90年代开始,微电子技术和计算机技术的发展突飞猛进,个人计算机(PC)的发展尤为突出,无论是其软、硬件还是外围器件,都得到了迅速的发展,计算机采用的芯片集成化程度越来越高,功能越来越强,而成本却越来越低,原来在大、中型机上才能实现的功能现在微型机上就可以实现。美国首先推出了基于个人计算机的数控系统,即PCNC系统,它被划入所谓的第六代数控系统。

目前,世界主要工业发达国家的数控机床已进入批量生产阶段,如美国、日本、德国、法国等,其中日本发展最快。1977年时,日本年产数控机床5400多台,到1985年,日本产数控机床约为50000台,数控化率约为70%,居世界第一位。

我国1958年试制成功第一台电子管数控机床,如图1.8所示。

我国从1965年开始研制晶体管数控系统,到20世纪70年代初曾研究出数控劈锥铣床、非圆插齿机、数控立铣床、数控车床、数控镗床、数控磨床和加工中心等。这一时期国产数控系统的稳定性、可靠性问题尚未得到很好地解决,因而也限制了国产数控机床的发展。而数控线切割机床由于其结构简单、价格低廉、使用方便,得到了较快的发展,据资料统计,1973~1979年期间,我国共生产数控机床4108台,而其中数控线切割机床就占了86%左右。



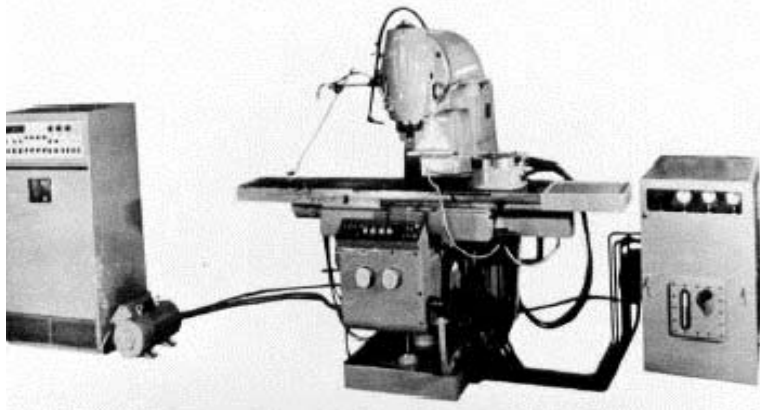


图 1.8 我国第一台电子管数控机床

20 世纪 80 年代初随着改革开放政策的实施,我国从国外引进先进技术,并在消化、吸收国外先进技术的基础上,进行了大量的开发工作,进而推动了我国数控机床新的发展高潮,使我国数控机床在品种上、性能上以及水平上均有了新的飞跃。2002 年,我国机床市场消费额达 59 亿美元,成为世界第一。

目前,在数控领域中,我国和先进的工业国家之间还存在一定的差距。我国数控机床的生产还远远满足不了国内生产的需要,更不能满足出口的要求。在现有数控机床中,还有相当一部分有待于进一步提高其利用率。加入 WTO 后,我国将成为世界制造中心,各行各业对数控机床的需要将会很大,数控机床也必然在国家建设中发挥更大的作用。

### 1.3.2 数控机床的发展趋势

随着计算机、微电子、信息、自动控制、精密检测及机械制造技术的高速发展,机床数控技术有了长足的进步。近几年一些相关技术的发展,如刀具及新材料的发展,主轴伺服和进给伺服、超高速切削等技术的发展,以及对机械产品质量的要求越来越高等,加速了数控机床的发展。目前数控机床正朝着高速度、高精度、高工序集中度、高复合化和高可靠性等方向发展。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

高生产率。由于数控装置及伺服系统功能的改进,主轴转速和进给速度大大提高,减少了切削时间和非切削时间。加工中心的进给速度已达到  $80\text{m}/\text{min}\sim 120\text{m}/\text{min}$ ,进给加速度达  $9.8\text{m}/\text{s}^2\sim 19.6\text{m}/\text{s}^2$ ,换刀时间小于 1s。

高加工精度。以前汽车零件精度的数量级通常为  $10\mu\text{m}$ ,对精密零件要求为  $1\mu\text{m}$ ,随着精密产品的出现,对精度要求提高到  $0.1\mu\text{m}$ ,有些零件甚至已达到  $0.01\mu\text{m}$ ,高精密零件要求提高机床加工精度,包括采用温度补偿等。

微机电加工,其加工零件尺寸大小一般在  $1\text{mm}$  以下,表面粗糙度为纳米数量级,要求数控系统能直接控制纳米机床。

#### 2. 柔性化

柔性化包括两个方面的柔性:一是数控系统本身的柔性,数控系统采用模块化设计,

功能覆盖面大,便于不同用户的需求;二是 DNC 系统的柔性,同一 DNC 系统能够依据不同生产流程的要求,使物料流和信息流自动进行动态调整,从而最大限度地发挥 DNC 系统的效能。

### 3. 工艺复合化和多轴化

数控机床的工艺复合化,是指工件在一台机床上装夹后,通过自动换刀、旋转主轴头或旋转工作台等各种措施,完成多工序、多表面的复合加工。已经出现了集钻、镗、铣功能于一身的数控机床,可完成钻、镗、铣、扩孔、铰孔、攻螺纹等多工序的复合数控加工中心,以及车削加工中心,钻削、磨削加工中心,电火花加工中心等。此外数控技术的进步也提供了多轴控制和多轴联动控制功能。

### 4. 实时智能化

早期的实时系统通常针对相对简单的理想环境,其作用是如何调度任务,以确保任务在规定时间内完成。而人工智能,则试图用计算模型实现人类的各种智能行为。科学发展到今天,实时系统与人工智能已实现相互结合,人工智能正向着具有实时响应的更加复杂的应用领域发展,由此产生了实时智能控制这一新的领域。在数控技术领域,实时智能控制的研究和应用正沿着几个主要分支发展,如自适应控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、前馈控制等。例如,在数控系统中配置编程专家系统、故障诊断专家系统、参数自动设定和刀具自动管理及补偿等自适应调节系统;在高速加工时的综合运动控制中引入提前预测和预算功能、动态前馈功能;在压力、温度、位置、速度控制等方面采用模糊控制,使数控系统的控制性能大大提高,从而达到最佳控制的目的。

### 5. 结构新型化

20 世纪 90 年代一种完全不同于原来数控机床结构的新型数控机床被开发成功。这种新型数控机床被称为“6 条腿”的加工中心或称虚拟轴机床(有的还称为并联机床),它能在没有任何导轨和滑台的情况下,采用能够伸缩的“6 条腿”(伺服轴)支撑并联,并与安装主轴头的上平台和安装工件的下平台相连。它可实现多坐标联动加工,其控制系统结构复杂,加工精度、加工效率较普通加工中心高 2~10 倍。这种数控机床的出现将给数控机床技术带来重大变革和创新。

### 6. 编程技术自动化

随着数控加工技术的迅速发展,设备类型的增多,零件品种的增加以及零件形状的日益复杂,迫切需要速度快、精度高的编程,以便于对加工过程的直观检查。为弥补手工编程和 NC 语言编程的不足,近年来开发出多种自动编程系统,如图形交互式编程系统、数字化自动编程系统、会话式自动编程系统、语音数控编程系统等,其中图形交互式编程系统的应用越来越广泛。图形交互式编程系统是以计算机辅助设计(CAD)软件为基础,首先形成零件的图形文件,然后再调用数控编程模块,自动编制加工程序,同时可动态显示刀具的加工轨迹。其特点是速度快、精度高、直观性好、使用简便,已成为国内外先进的 CAD/CAM 软件所采用的数控编程方法。目前常用的图形交互式软件有 Master CAM、Cimatron、Pro/E、UG、CAXA、Solid Works、CATIA 等。

## 7. 集成化

数控系统采用高度集成化芯片,可提高数控系统的集成度和软、硬件运行速度,应用平板显示技术可提高显示器性能。平板显示器(FPD)具有科技含量高、质量小、体积小、功耗低、便于携带等优点,可实现超大规模显示,成为与 CRT 显示器抗衡的新兴显示器,是 21 世纪显示器主流。它应用先进封装和互连技术,将半导体和表面安装技术融于一体,通过提高集成电路密度,减小互连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。

## 8. 开放式闭环控制模式

采用通用计算机组成的总线式、模块化、开放、嵌入式体系结构,便于裁减、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数控系统仅有的专用型封闭式开环控制模式提出的。由于制造过程是一个有多变量控制和加工工艺综合作用的复杂过程,包括诸如加工尺寸、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。在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、多媒体技术、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为一体,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。

### 1.3.3 数控机床在先进制造技术中的作用

自从 20 世纪中期,人们将计算机技术引用到控制机床加工飞机机翼样板的复杂曲线中以来,数控技术在机床控制方面取得了广泛、深入的发展,开始是数控铣床,接着是数控车床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控线切割机床,之后是加工中心、车削中心、数控冲床、数控弯管机、数控折弯机、板材加工中心、数控齿轮机床、数控激光加工机床、数控火焰切割机等。这些都成为现代制造业的关键设备,是它们保证了现代制造业向高精度、高速度、高效率、高柔性化的方向发展。

由于数控机床的出现,带动了 CAD/CAM 技术向实用化、工程化发展,特别是计算机技术的迅速发展,推动 CAD/CAM 技术向更高层次和更高水平发展,而且进一步发展了计算机辅助工艺设计(CAPP)数据库、集成制造生产系统相关信息的自动生成、自动处理、自动传输。可以说数控技术既是联系 CAD/CAM 的纽带,也是进一步通向集成化 CAD/CAM 的桥梁。

20 世纪末,由于微电子技术的飞快发展,数控系统的性能有了极大的提高,功能不断丰富,满足了数控机床自动交换刀具、自动交换工件(包括交换工作台,工作台立、卧式转换等)的需要;而且还进一步满足了在数控机床之间,增加自动输送工件的托盘站(APC)或机器人传输工件,构成柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)的需要;以及实现了由多台数控机床(含加工中心、车削中心)传送带、自动制导车辆(Automated Guide Vehicles, AGV)、工业机器人(robot)以及专用的起吊运送机等组成的柔性制造系统(FMS)的控制。此外,还有由加工中心、CNC 机床、专用机床或数控专用机床组成的柔性制造线(Flexible Manufacturing Line, FML);或多条 FMS 配备自动化立体仓库连接起来的柔性制

造工厂(Flexible Manufacturing Factory, FMF)。

随着信息技术、网络技术、自动化技术的发展,在数控技术(机械制造业中则体现在数控机床上)的基础上,人们将以往企业中相互独立的工程设计、生产制造及经营管理等过程,在计算机及其软件的支撑下,构成了一个覆盖整个企业的完整而有机的、以实现全局动态最优化、总体高效益、高柔性,并进而赢得竞争全胜的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。

## 小 结

数控机床涉及的内容和知识比较多,本章仅对数控机床的基本概念、分类及其发展与作用做了概述。

(1) 数控机床的基本概念。介绍了数控机床的概念、组成及特点、主要技术参数。

(2) 数控机床的分类。按机械运动轨迹、伺服系统的类型、功能水平及加工方式四方面对数控机床进行了分类。

(3) 数控机床的发展与作用。介绍了数控机床的产生与发展、发展趋势、在先进制造技术中的作用。

## 思考题与习题

1. 什么是数控机床?
2. 数控机床由哪几部分组成?各组成部分的主要作用是什么?
3. 数控机床按运动轨迹的特点可分为几类?它们的特点是什么?
4. 什么是开环、闭环、半闭环伺服系统数控机床?它们之间有什么区别?
5. 数控机床的主要技术参数有哪些?
6. 解释下列名词术语:脉冲当量、定位精度、重复定位精度、FMC、FMS、CIMS。
7. 数控技术的主要发展方向是什么?
8. 请查阅资料了解数控技术最近有哪些新发展。