

# 第 1 章 概 述

## 1.1 数控机床简介

### 1.1.1 数控机床的产生及其重要性

随着科学技术的飞速发展,社会对产品多样化的要求日益强烈,产品更新越来越快,多品种、中小批量生产的比重明显增大。同时,随着航空工业、汽车工业和轻工消费品生产的高速增长,复杂形状的零件越来越多,精度要求也越来越高。此外,激烈的市场竞争要求产品研制生产周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已难以适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高效高质量加工要求。

为了实现单件、小批量、特别是复杂型面零件加工的自动化并满足质量要求,采用数字控制技术成为一个必然的选择,因此数字控制机床应运而生。1947年,美国Parsons公司为了制造高精度的直升机机翼、桨叶和框架,开始探讨用三坐标曲线数据来控制机床的运动,并进行实验,加工飞机零件。1949年,为了能在短时间内制造出经常变更设计的零件,美国空军(U. S. Air Force)与Parsons公司签订了制造第一台数控机床的合同。1951年,美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)承担了这一项目。1952年,MIT伺服机构研究所用实验室制造的控制装置和辛辛那提公司(Cincinnati Hydrotel)的立式铣床成功地实现了三轴联动数控运动,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,揭开了数控加工技术的序幕。随着不断地改进与完善,1955年NC(numerical control)机床开始应用于工业生产。

计算机数控(computer numerical control, CNC)系统是综合应用微电子、计算机、自动控制、网络技术、自动检测以及精密机械等技术的最新成果而发展起来的新型控制系统,装有计算机数控系统的机床简称CNC机床,它标志着机床工业进入一个新的阶段。从第一台数控机床问世到现在的60多年中,数控技术的发展非常迅速,使制造技术发生了根本性的变化,几乎所有品种的机床都实现了数控化。数控机床的应用领域也从航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造行业。此外,数控技术也在机器人、3D打印、绘图仪、坐标测量仪、激光加工与线切割机机械等设备中得到广泛的应用。2016年,虽然受到市场疲软的影响,全球机床产量较2015年略有下降,但其产量总值仍有676亿欧元。无论是德国提出的“工业4.0”计划,还是中国提出的“中国制造2025”,都是以装备制造,特别是数控技术为基础。

数控机床是装备制造业的关键装备,关系到国家经济建设与战略地位,也是发展军事工业的重要战略技术,是体现国家综合水平的重要标志。数控技术是机械加工现代化的重要基础与关键技术。应用数控加工可大大提高生产率、稳定加工质量、缩短加工周期、增加生产柔性,实现对各种复杂精密零件的自动化加工,易于在工厂或车间实行计算机管理,可使

车间设备总数减少、节省人力、改善劳动条件,有利于加快产品的开发和更新换代,提高企业对市场的适应能力并提高企业综合经济效益。数控加工技术的应用,使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程联为一体,使零件的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)和计算机辅助制造(CAM)的一体化成为现实,使机械加工的柔性自动化水平不断提高。

数控加工技术也是发展军事工业的重要战略技术。美国与西方各国在高档数控机床与加工技术方面,一直通过巴黎统筹委员会对我国进行封锁限制,因为许多先进武器装备如飞机、导弹、坦克等关键零件的制造,都离不开高性能数控机床的加工。如著名的“东芝事件”,就是由于苏联利用从日本获得的大型五坐标数控铣床制造出具有复杂曲面的潜艇螺旋桨,使潜艇的噪声大为降低,西方的反潜设施顿时失效,对西方构成了重大威胁。我国的航空、能源、交通等行业也从西方引进了一些五坐标机床等高档数控设备,但其使用受到国外的监控和限制,不准用于军事用途的零件加工。特别是1999年美国的考克斯报告,其中一项主要内容就是指责我国将从美国购买的二手数控机床用于军事工业。这一切均说明数控加工技术在国防现代化方面所起的重要作用。

### 1.1.2 数控机床的应用范围及特点

目前,数控加工主要应用于以下两个方面:

第一个方面的应用是常规零件加工,如二维车削、箱体类镗铣等。其目的在于:提高加工效率,避免人为误差,保证产品质量;以柔性加工方式取代高成本的工装设备,缩短产品制造周期,适应市场需求。这类零件一般形状较简单,实现上述目的的关键一方面在于提高机床的柔性自动化程度、高速高精加工能力、加工过程的可靠性与设备的操作性能;另一方面在于进行合理的生产组织、计划调度和工艺过程安排。

另一个方面的应用是复杂形状零件如模具型腔、涡轮叶片等的加工。该类零件在众多的制造行业中占有重要的地位,其加工质量直接影响以至决定着整机产品的质量。这类零件型面复杂,常规加工方法难以实现,它不仅促使了数控加工技术的产生,而且也一直是数控加工技术的主要研究及应用对象。由于零件型面复杂,在加工技术方面,除要求数控机床具有较强的运动控制能力(如多轴联动)外,更重要的是如何有效地获得高效优质的数控加工程序,并从加工过程整体上提高生产效率。

数控机床在机械制造领域得到日益广泛的应用,是因为它具有如下特点:

(1) 高柔性。数控机床是按照被加工零件的数控程序来进行自动加工的,只需改变程序即可适应不同品种的零件的加工,且几乎不需要制造专用的凸轮、靠模、样板、钻镗模等工装夹具,有利于缩短产品的研制与生产周期,适应多品种、中小批量的现代生产需要。

(2) 生产效率高。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,有效地节省了机加工时间;自动换速、自动换刀、快速的空行程运动和其他辅助操作自动化功能,加上更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,使辅助时间大为缩短。通常,数控机床比普通机床的生产率高3~4倍甚至更高。

(3) 加工精度高,加工质量稳定可靠。数控机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控机床能达到比较高的加工精度。此外数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,特别是数控机床的自动加工方式,避免

了生产者的人为操作误差,加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量稳定。

(4) 自动化程度高。操作者除了操作键盘、装卸零件、安装刀具、完成关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到相应的改善。

(5) 能完成复杂型面的加工。数控加工运动的任意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或者无法进行的复杂型面加工。

(6) 有利于生产管理的现代化。用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点都有利于使生产管理现代化,便于实现计算机辅助制造。数控机床及其加工技术是计算机辅助制造系统的基础。

## 1.2 数控机床的工作原理和组成

国家标准《工业自动化系统 机床数值控制 词汇》(GB/T 8129—2015)将数控定义为:用数值数据的控制装置,在运行过程中,不断地引入数值数据,从而对某一生产过程实现自动控制。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing, IFIP)将数控机床定义为:数控机床是一种装有程序控制系统的机床,机床的运动和动作按照这种程序控制系统发出的由特定代码和符号编码组成的指令进行。这种程序控制系统称为机床的数控系统。

### 1.2.1 数控机床的工作原理

数控机床是用数字信息进行控制的机床,即把机械零件的形状尺寸以及加工过程的工艺信息,以数字化的形式进行表示,通过信息载体输入数控装置,经过译码和运算处理,由数控装置发出各种控制信号,控制机床的动作,按图纸要求的形状和尺寸,自动地将零件加工出来。数控加工基本过程如图 1-1 所示。

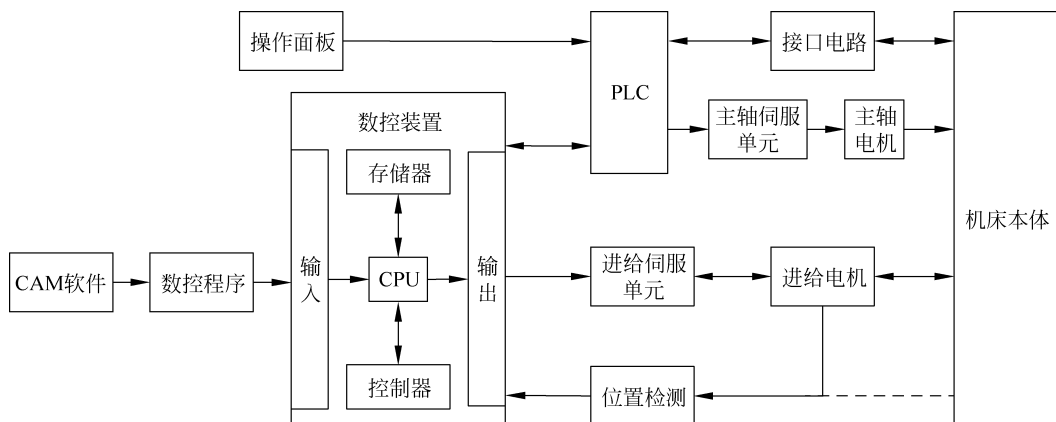


图 1-1 CNC 系统框图

数控机床加工零件时,首先应编制零件的数控程序,这是数控机床的工作指令。将数控程序输入到数控装置,再由数控装置控制机床主运动的变速、启停,进给运动的方向、速度和位移大小,以及诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启停等动作,使刀具与工件

及辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路程和参数进行工作,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

### 1.2.2 数控机床的组成

数控机床的种类繁多,但对于一台完整的数控机床,它由数控程序、数控装置、伺服驱动装置、可编程控制器 PLC、机床本体及辅助装置组成。

#### 1. 数控程序

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令,即程序员根据零件的工艺图纸给出的零件几何数据和加工控制需要的工艺数据,按照规定的由字母、数字与符号组成的标准代码(如 ISO 标准代码或 EIA 标准代码)编写出的加工程序清单。编制程序的工作可由人工进行,也可在计算机上用软件自动完成。编好的数控程序存放在便于输入到数控装置的一种控制介质上。

#### 2. 数控装置(CNC 单元)

数控装置是数控机床的核心,它是由中央处理器 CPU、存储器、各种 I/O 接口等设备组成的计算机系统。数控装置的任务首先是对输入装置输入的代码信息进行译码和数据转换,处理成便于控制和加工运算的信息并分别存入各自的存储区域内。其次是根据上述信息进行必要的运算,输出各种信号和指令控制机床的各个部分进行规定的、有序的动作,如:将经插补运算得出的各坐标轴的进给速度、进给方向和位移量指令,送伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动;主轴的启停、变速、换向信号;控制冷却、润滑的启停,工件和机床部件松开、夹紧等辅助指令信号。因此,数控装置主要由输入、信息处理和输出三个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序进行合理的组织,使整个系统协调地进行工作。

##### 1) 输入装置

将 NC 程序代码读入数控装置。它可以是磁盘驱动器、读卡器或一个接口,近年生产的数控机床一般都采用微处理器数控装置,它有专用接口,可以直接接收外界计算机中的 NC 程序代码信息,甚至可从网络远程调入加工程序,并将加工状态信息通过网络传送出去,以进行远程实时监控。现代数控机床还可以通过手动方式(MDI 方式),将工件数控程序用数控系统操作面板上的按键,直接键入 CNC 单元,并在显示器上显示。

##### 2) 信息处理

输入装置将加工信息传给 CNC 单元,编译成计算机能识别的信息,由信息处理单元按照控制程序规定,逐步存储并进行处理后,通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。

##### 3) 输出装置

输出装置与伺服机构相连,根据控制器的命令接收运算器的输出脉冲,并把它送到各坐标的伺服控制系统,经过功率放大,驱动伺服系统,从而控制机床按规定要求运动。

#### 3. 伺服系统和位置测量反馈系统

伺服系统是数控机床的执行部件,其主要任务是把数控装置发来的命令信息进行功率放大,然后驱动机床的运动部件,完成指令规定的运动。伺服系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成,并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。每个进给

运动的执行部件都配有一套伺服系统。目前数控机床常用的伺服驱动装置有功率步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机和直线电动机。

测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中,数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较,并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

#### 4. 机床本体及辅助装置

数控机床的机械部件包括主运动部件、进给运动执行部件(如工作台、拖板及其传动部件)和床身立柱等支承部件,此外,还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床,还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但传动结构要求更为简单,机床的静态和动态刚度要求更高,传动装置的间隙要求尽可能小,滑动副的摩擦系数要小,并要有恰当的阻尼,以适应对数控机床高定位精度和良好的控制性能的要求。

#### 5. 可编程控制器(PLC)

接收数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号,经编译、逻辑判断、功率放大以后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,以完成指令所规定的动作。此外,行程开关和监控检测等开关也要经过 PLC 送到数控装置进行处理。有的数控系统将 PLC 装在数控装置之外,成为独立式 PLC;也有数控系统将 PLC 与数控装置合为一体,成为内装型 PLC。

## 1.3 数控机床的分类

数控机床的种类繁多,根据数控机床的功能和组成的不同,可以从多种角度对数控机床进行分类。

### 1. 按工艺用途分类

#### 1) 普通数控机床

数控机床是在传统的普通机床的基础上发展起来的,各种类型的数控机床基本上起源于同类型的普通机床,可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等,而且每一类又包含很多品种,例如数控铣床中就有立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等,这类机床的工艺性能和通用机床相似。

#### 2) 加工中心机床

这是一种在普通数控机床上加装一个刀具库和自动换刀装置而构成的数控机床。它和普通数控机床的区别是工件经一次装夹后,数控系统能控制机床自动地更换刀具,自动连续地对工件各加工面进行铣(车)、镗、钻、铰、攻螺纹等多工序加工。加工中心可分为铣削加工中心和车削加工中心。

#### 3) 金属成形类数控机床

成形机床可以通过其配套的模具对材料施加强大的作用力使其发生物理变形从而得到想要的几何形状,比如折弯机、剪板机、冲床及锻压机床等。另外,通过挤压、烧结、熔融、光固化、喷射等方式进行逐层堆积的 3D 打印机也属于此类机床。



#### 4) 数控特种加工机床

如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

#### 5) 其他类型的数控机床

如数控火焰切割机、数控三坐标测量机等。

### 2. 按运动方式分类

#### 1) 点位控制(point-to-point control)数控机床

点位控制数控机床只控制刀具或部件从一点到另一点位置的精确定位,而不控制移动轨迹,在移动和定位过程中不进行任何加工。因此,为了尽可能减少移动刀具或部件的运动与定位时间,通常先以快速移动接近终点坐标,然后以低速准确移动到定位点,以保证定位精度。例如数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机、数控折弯机等都是点位控制机床。图 1-2 所示为点位控制系统的工作原理。

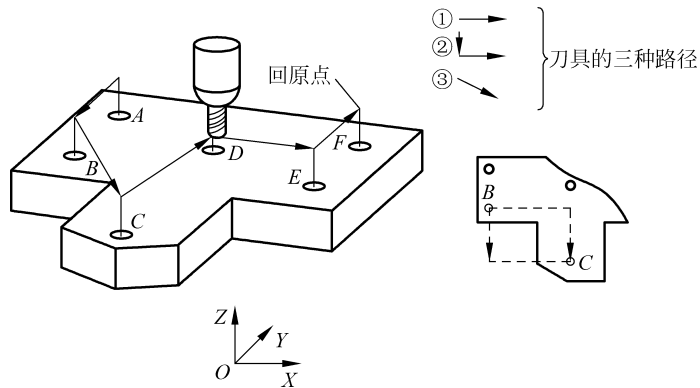


图 1-2 点位控制系统的工作原理

#### 2) 直线控制(straight-line control)数控机床

直线控制数控机床有时也称为点位直线控制数控机床,它不仅能控制刀具或移动部件从一个位置到另一个位置的精确移动,而且能以适当的进给速度,沿平行于坐标轴的方向进行直线移动和加工;或者控制两个坐标轴以同样的速度运动,沿 $45^\circ$ 斜线进行切削加工。部分数控车床、数控镗铣床、数控磨床属于直线控制数控机床。直线控制的数控车床只有两个坐标轴,可用于阶梯轴加工。直线控制的数控铣床有三个坐标轴,可用于平面铣削加工。图 1-3 所示为直线控制系统的加工原理。

#### 3) 轮廓控制(continuous path control)数控机床

轮廓控制数控机床也称连续控制系统,其特点是能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行连续控制,它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且要控制整个加工过程每一点的速度与位移量。也就是说,要控制移动轨迹,按给定的平面直线、曲线或空间曲面轮廓运动,加工出形状复杂的零件。这种系统要比点位直线系统更复杂,在加工过程中需要不断进行插补运算,然后进行相应的速度与位移控制,且其一般具有刀具长度和刀具半径补偿功能。图 1-4 所示为两坐标轮廓控制系统的工作原理。大多数数控机床具有轮廓控制功能,如数控车床、数控铣床、加工中心等。

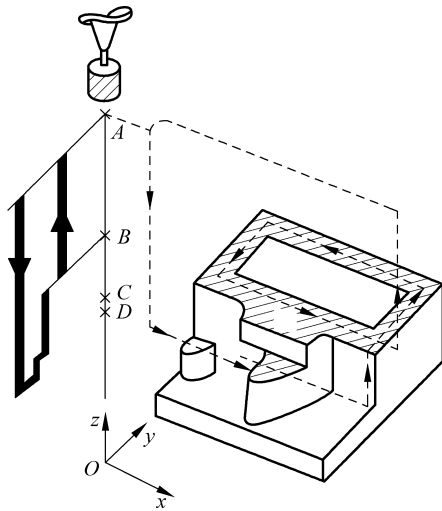


图 1-3 直线控制系统的加工原理

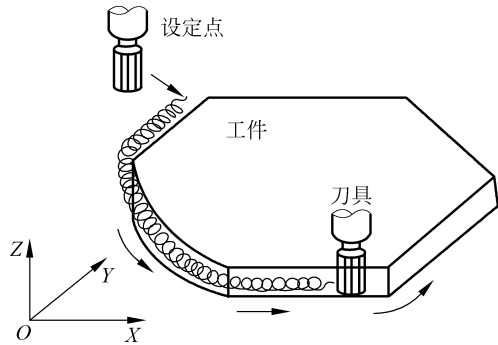


图 1-4 两坐标轮廓控制系统的加工原理

### 3. 按控制方式分类

#### 1) 开环控制(open loop control)系统

开环控制系统是指不带反馈装置的控制系統。数控装置根据信息载体上的指令信号，经控制运算发出指令脉冲，使伺服驱动元件转过一定的角度，并通过传动齿轮、滚珠丝杠螺母副，使执行机构(如工作台)移动或转动。开环控制系统框图如图 1-5 所示，这种控制方式没有来自位置测量元件的反馈信号，对执行机构的动作情况不进行检查，指令流向为单向，因此被称为开环控制系统。

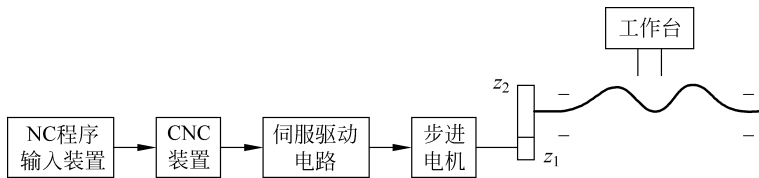


图 1-5 典型开环控制系统框图

步进电动机伺服系统是最典型的开环控制系统，这种控制系统的特点是系统简单、调试维修方便、工作稳定、成本较低。由于开环系统的精度主要取决于伺服元件和机床传动元件的精度、刚度和动态特性，也不能进行误差校正，因此控制精度较低，所以，开环控制系统一般应用于精度要求不高的经济型数控系统。

#### 2) 闭环控制(closed loop control)系统

闭环数控机床的进给伺服系统是按闭环原理工作的。图 1-6 所示为典型的闭环进给系统。将位置检测装置安装在机床运动部件上，加工中将测量到的实际位置值反馈到数控装置中，将反馈信号与位移指令值随时进行比较，根据其差值与指令进给速度的要求，按一定规律转换后，得到进给伺服系统的速度指令，最终实现移动部件的精确定位。闭环伺服系统的优点是精度高、速度快，因此主要应用于精度要求较高的数控镗铣床、数控超精车床和数控超精镗床等。

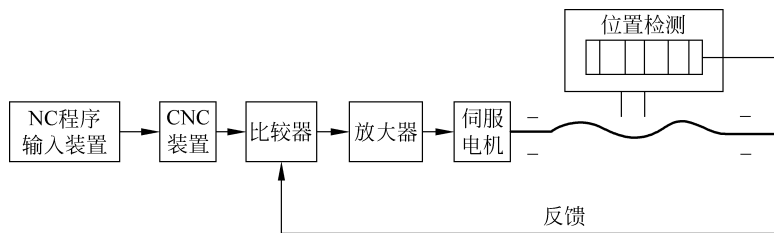


图 1-6 典型闭环控制系统框图

从理论上讲,闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的精度,而与传动链的误差无关。但由于该系统受进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响,给测试工作带来很大的困难。若各种参数匹配不适当,会引起系统振荡,造成系统工作不稳定,影响定位精度。所以闭环控制系统安装调试非常复杂,一定程度上限制了其应用范围。

### 3) 半闭环控制(semi-closed loop control)系统

半闭环控制系统与闭环系统不同之处是检测元件安装在伺服电动机的尾部,通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的位移,然后反馈到数控装置中。由于电动机到工作台之间的传动有间隙和弹性变形、热变形等因素,因而检测的数据与实际的坐标值有误差。由于角位移检测装置比直线位移检测装置的结构简单,安装方便,检测元件不容易受损害,且惯性较大的机床移动部件不包括在闭环之内,系统的调试比较方便,因此配有精密滚珠丝杠和齿轮的半闭环系统目前应用较多。图 1-7 所示为半闭环控制系统框图。

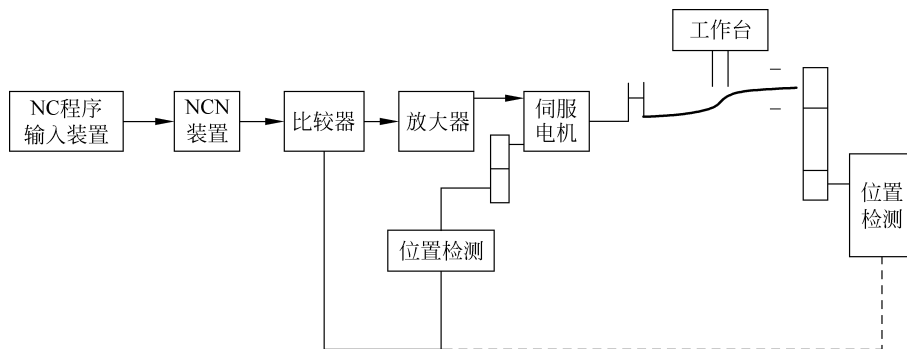


图 1-7 半闭环控制系统框图

## 4. 其他分类方法

### 1) 按数控机床的功能水平分类

数控机床按其功能水平可分为低档、中档和高档数控机床。

低档数控机床也称经济型数控机床。其特点是根据实际的使用要求,合理地简化系统,以降低产品价格。目前,我国把由单片机或单板机与步进电机组成的数控系统和功能简单、价格低的系统称为经济型数控系统,主要用于车床、线切割机床以及旧机床的数控化改造等。低档数控机床的主 CPU 一般为 16 位或 32 位,采用开环步进电动机驱动,脉冲当量为 0.005~0.01mm,快进速度为 4~10m/min。

中档数控机床的主 CPU 一般为 32 位,具备较齐全的 LCD 显示,可以处理字符和图形,



还可以进行人机对话、自诊断等。伺服系统为半闭环直流或交流伺服系统,脉冲当量为 $0.005\sim 0.001\text{mm}$ ,快进速度为 $15\sim 24\text{m}/\text{min}$ 。

高档数控机床的主 CPU 一般为 32 位或 64 位,LCD 显示除具备中档的功能外,还具有三维图形显示功能等。伺服系统为闭环的直流或交流伺服系统,脉冲当量为 $0.001\sim 0.0001\text{mm}$ ,快进速度为 $15\sim 240\text{min}$ 。

## 2) 按可联动的坐标数分类

某些种类的数控机床,由于可联动的坐标数不同,其加工能力区别很大。如数控镗铣床,如果只能两坐标联动,则只能加工平面曲线表面。若能三坐标联动,则能加工三维空间表面。为使刀具能合理切削,刀具的回转中心线也要转动,因此需要更多的坐标联动,五坐标联动的镗铣床能够加工螺旋桨表面。因此在识别数控机床时,还要考察坐标联动数。机床具有的坐标轴数不等于坐标联动数,具有的伺服电机数也不等于坐标联动数。坐标联动数是指由同一个插补程序控制的移动坐标数,这些坐标的移动规律是按照所加工的轮廓表面规定的。

# 1.4 数控技术的发展

## 1.4.1 数控系统及数控机床的发展历程

自 1952 年第一台数控机床问世,随着计算机、自动控制、伺服驱动与自动检测等技术的迅速发展,表征数控机床的水平 and 决定数控机床功能与特性的数控系统,取得了长足的发展。数控系统最早是由电子管、继电器和模拟电路组成的,一般称之为第一代数控系统。其后在 20 世纪 50 年代末出现了采用晶体管电路的第二代数控系统。60 年代中期,中、小规模集成电路在数控系统中的应用使数控系统发展到了第三代。这三代数控系统均为硬件式数控,其输入处理、插补运算和控制功能都由专用的固定组合逻辑电路来实现,不同功能的机床,其组合逻辑电路也不相同。改变或增减控制、运算功能时,需要改变数控装置的硬件电路,因此通用性、灵活性差,制造周期较长,成本高。20 世纪 70 年代初,小型计算机逐渐普及并被应用于数控系统,数控系统中的许多功能由软件实现,简化了系统设计并增加了系统的灵活性和可靠性,计算机数控(CNC)技术从此问世,数控系统发展到第四代。1974 年,以微处理器为基础的 CNC 系统问世,标志着数控系统进入了第五代。1977 年,麦道飞机公司推出了多处理器的分布式 CNC 系统。到 1981 年,CNC 达到了全功能的技术特征,其体系结构朝柔性模块化方向发展。1986 年以来 32 位 CPU 在 CNC 中得到了应用,CNC 系统进入了面向高速、高精度、柔性制造系统(FMS)和自动化工厂(FA)的发展阶段。

20 世纪 90 年代以来,受通用微机技术飞速发展的影响,数控系统正朝着以通用微机(个人计算机——PC)为基础、体系结构开放和智能化的方向发展。1994 年基于 PC 的 NC 控制器在美国首先出现于市场,此后得到迅速发展。由于基于 PC 的开放式数控系统可充分利用通用微机丰富的软硬件资源和适用于通用微机的各种先进技术,已成为数控技术发展的潮流和趋势。

在伺服驱动方面,随着微电子、计算机和控制技术的发展,伺服驱动系统的性能也在不断提高,从最初的电液伺服控制和功率步进电机开环控制驱动发展到直流伺服电机和目前

广泛应用的交流伺服电机闭环(半闭环)控制驱动,并由模拟控制向数字化控制方向发展。在高性能的数控系统上已普遍采用数字化的交流伺服驱动,使用高速数字信号处理器(DSP)和高分辨率的检测器,以极高的采样频率进行数字补偿,实现伺服驱动的高速和高精度化。同时,新的控制方法,如 FANUC-15M 采用的前馈预测控制和非线性补偿控制方法以及 FANUC-16M 中的逆传递函数控制法也被不断采用,以进一步提高伺服控制精度。

1958 年美国 Kearney&Trecker 公司开发了世界上第一台加工中心,从而揭开了加工中心的序幕。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 FMS。20 世纪 70 年代,由于 CNC 系统和微处理机数控系统的研制成功,使数控机床进入一个较快的发展时期。80 年代以后,随着数控系统和其他相关技术的发展,数控机床的效率、精度、柔性和可靠性进一步提高,品种规格系列化,门类扩展齐全,FMS 也进入实用化阶段。80 年代初出现了投资较少、见效快的 FMC。

目前,以发展数控单机为基础,并加快了向 FMC、FMS 及计算机集成制造系统(CIMS)全面发展的步伐。数控加工装备的范围也正迅速延伸和扩展,除金属切削机床外,不但扩展到铸造机械、锻压设备等各种机械加工装备,而且延伸到非金属加工行业中的玻璃、陶瓷制造等各类装备。数控机床已成为国家工业现代化和国民经济建设中的基础与关键装备。

### 1.4.2 数控机床的发展现状与趋势

近十多年来,数控机床借助于微电子、计算机技术的飞速进步,正向着高精度、多功能、高速化、高效率、复合加工功能、网络化、开放式、智能化等方向迈进,明显地反映出时代的特征,主要表现在以下几方面。

#### 1. 高速度化

高速化指数控机床的高速切削和高速插补进给,目标是在保证加工精度的前提下,提高加工速度。这不仅要求数控系统的处理速度快,同时还要求数控机床具有大功率和大转矩的高速主轴、高速进给电动机、高性能的刀具、稳定的高频动态刚度。

(1) 机床广泛采用电主轴(内装式主轴电机),主轴最高转速达 200 000r/min。

(2) 在分辨率为  $0.01\mu\text{m}$  时,最大进给率达到  $24\text{m}/\text{min}$ ,且可获得复杂型面的精确加工。

(3) 微处理器的迅速发展为数控系统向高速、高精度方向发展提供了保障,现代数控系统 64 位处理器已经普遍应用。由于运算速度的极大提高,使得当分辨率为  $0.01\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$  时仍能获得高达  $24\sim 240\text{m}/\text{min}$  的进给速度。

(4) 目前先进加工中心的刀具交换时间普遍已在 1s 左右,高的已达 0.5s。

#### 2. 高精度化

当代工业产品对精度提出了越来越高的要求,像仪器、钟表、家用电器等都有相当高精度的零件,典型的高精度零件如陀螺框架、伺服阀体、涡轮叶片、非球面透镜、光盘、磁头、反射鼓等,这些零件的尺寸精度要求均在微米、亚微米级。因此,加工这些零件的机床也必须受到需求的牵引而向高精度发展。数控机床精度的要求现在已经不局限于静态的几何精度,机床的运动精度、热变形以及对振动的监测和补偿越来越获得重视。

(1) 采用高速插补技术,其中以前瞻插补以及 NURBS 插补技术为代表,以微小程序段实现连续进给,使 CNC 控制单位精细化,并采用高分辨率位置检测装置,提高位置检测精