

954



21 世纪高等学校  
机械设计制造及其自动化专业系列教材

# 数 控 技 术

张 建 钢   胡 大 泽   主 编

廖 效 果   主 审

张 建 钢   胡 大 泽   王 三 武   杨 光 友   吴 华 鹏   编



A0935518

华中科技大学出版社

(华中理工大学出版社)

**图书在版编目(CIP)数据**

数控技术/张建钢 胡大泽 主编  
武汉:华中科技大学出版社, 2000年8月  
ISBN 7-5609-2159-0

I. 数…  
II. ①张… ②胡…  
III. 数字控制-教材  
IV. TP273

21世纪高等学校  
机械设计制造及其自动化专业系列教材  
**数控技术**

张建钢 胡大泽 主编

责任编辑:钟小珉

封面设计:潘群

责任校对:张欣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经 销:新华书店湖北发行所

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:华中科技大学出版社印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:16.25

字数:320 000

版次:2000年8月第1版

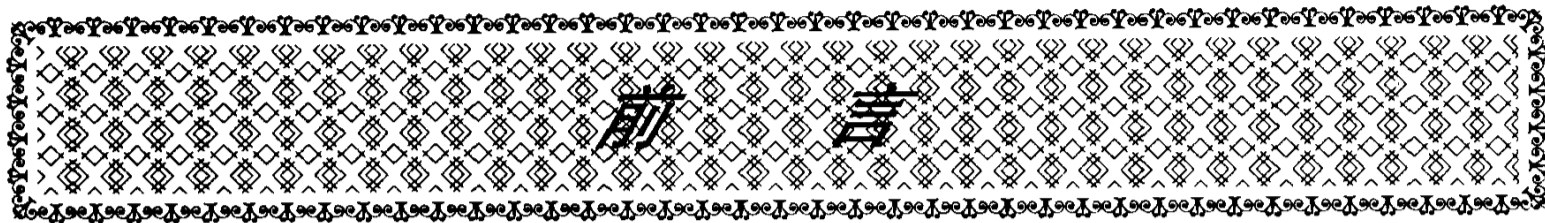
印次:2000年8月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5609-2159-0/TP·388

定价:18.00元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)



## 前言

数控技术是用数字程序控制数控机械实现自动工作的技术。它广泛用于机械制造和自动化领域,较好地解决多品种、小批量和复杂零件加工以及生产过程自动化的问题。随着计算机、自动控制技术的飞速发展,数控技术已广泛地应用于数控机床、机器人以及各类机电一体化设备上。同时,社会经济的飞速发展,对数控装置和数控机械要求在理论和应用方面有迅速的发展和提高。

根据各方面的需求,我们组织编写了《数控技术》这一教材。考虑到本、专科教学的特点,书中以数控技术的基本原理和基本知识为根基,以数控机床为主线,较全面地反映了数控技术的各方面内容。本书介绍了数控技术的原理和基本概念、基本计算方法及设计方法。

本书可作为机械设计制造及其自动化专业专科与相近专业本科教学用书,并可供广大工程技术人员参考。

本书由张建钢、胡大泽、王三武、杨光友、吴华鹏共同编写,由张建钢、胡大泽担任主编。在编写中,参阅了有关教材和资料,并得到了许多同行专家、教授的支持和帮助,特别是得到华中科技大学廖效果教授的指导,在此谨致谢意。

由于编者的水平有限,书中难免有不少缺点或错误,恳请读者批评指正。

编者

2000年1月



# 数控技术概述

## 1-1 数控技术的基本概念与特点

### 一、数控技术的基本概念

数控技术就是以数字量编程实现控制机械或其他设备自动工作的技术。如果一种设备的控制过程是以数字形式来描述的,其工作过程是可编程序的并能在程序控制下自动地进行,那么这种设备就称为数控设备。数控机床、数控火焰切割机、数控绘图机、数控冲剪机、数控肋骨冷弯机等都是属于这个范围的自动化设备。图 1-1 是数控设备的一般工作原理图。

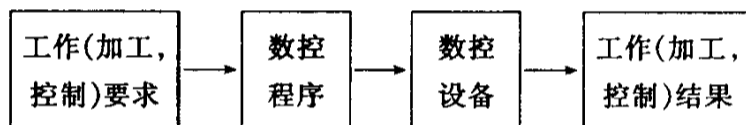


图 1-1 数控设备的工作原理图

操作者根据数控工作要求编制数控程序,并将数控程序记录在控制介质上(常用的控制介质有纸带、磁带和磁盘等)。数控程序经数控设备的输入接口输入数控设备,控制系统按程序控制设备完成工作任务。数控机床是典型的数控设备,它的产生和发展是数控技术产生和发展的重要标志。

### 二、数控技术的特点

社会经济与科学技术的发展与竞争,使机械产品日趋精密、复杂,而且产品的生命期缩短,改型频繁。这不仅对机床设备提出精度与效率的要求,也提出了通用性与灵活性的要求。特别是航空、造船、武器、模具生产等工业部门,所加工的零件具有精度高、形状复杂、经常变动的特点。使用普通机床去加工这类零件,不仅劳动强度大、生产效率低,而且还难以保证精度,有些零件甚至无法加工。

仿型机床借助靠模能加工出比较复杂的零件,有一定的灵活性,使小批量、复杂零件的自动化加工得到了部分的解决。程序控制机床不使用靠模,用事先调整好尺寸的挡块或凸轮来

控制刀具对工件的相对运动,由行程开关发出信号以控制机床按预定顺序动作切削。在程序控制机床中使用的信号均属模拟量信号,如电压、电流等。这种机床对形状不太复杂的零件进行加工,有一定通用性;但精度较差,加工准备时间长,使用不很方便。专用自动化单机、组合机床,以及由它们组合的加工自动线,可以得到高的加工效率,适用于大批量的零件加工。但是,对约占机械加工总量 80% 的单件及小批量零件的加工,不宜使用这类不易变更的“刚性”自动化设备。

数控机床把加工的要求、步骤与零件尺寸用代码和数字表示为数控程序,通过信息载体将数控程序输入数控装置。经过数控装置中的电脑处理与计算,发出各种控制信号,控制机床的动作,按程序加工出图纸上要求的形状与尺寸的零件。在数控机床中使用的是可编程的数字量信号,当被加工零件改变时,只要编写“描写”该零件加工的程序即可。

数控机床较好地解决了复杂、精密、多变的零件加工问题,是一种灵活的、高效能的自动化机床。它是机床控制技术的一个重要发展方向。随着电子、自动化、计算机、精密机械、测量及人工智能技术的发展,数控机床也在迅速发展和演变,以适应社会生产的需要。

数控机床以其精度高、效率高、能适应小批量复杂零件的加工等特点,在机械加工中得到日益广泛的应用。概括起来,采用数控机床有以下几个方面的优点。

### 1. 提高加工精度

数控机床有较高的加工精度,而且数控机床的加工精度不受零件形状复杂程度的影响。这对于一些用普通机床难以保证精度甚至无法加工的复杂零件来说是非常重要的。另外,用数控机床加工,消除了操作者的人为误差,提高了同批零件加工的一致性,使产品质量稳定。

### 2. 提高生产效率

使用数控机床加工,因对工夹具的要求降低,又免去了划线工作,使加工准备工作时间缩短了。因为有高的精度,可以简化检验工作,在加工过程中省去了对工件多次测量,节省检验时间。在加工零件改变时用更换程序的方法,可节省准备与调整的时间。这些都有效地提高了生产效率。如果使用能自动换刀的数控加工中心机床,则可进行多道工序的连续加工,避免了多次定位误差,缩短了半成品的周转时间,生产效率的提高更为显著。

### 3. 减轻了劳动强度,改善了劳动条件

数控机床在输入程序并启动后,就自动地连续加工,直至工件加工完毕,自动停车。这样简化了工人的操作,也使操作时的紧张程度大为减轻。

### 4. 有利于生产管理

用数控机床加工,能准确地计划零件的加工工时,简化了检验工作,减轻了工夹具、半成品的管理工作,减少了因误操作而出废品及损坏刀具的可能性。这些都有利于管理水平的提高。当然,要相应地增加程序的准备与管理工作。

### 5. 有利于向高级计算机控制与管理方面发展

数控机床使用数字量信号与标准代码输入,最宜于与数字计算机网联接。所以它是将来

计算机控制与管理系统的基础。

数控机床毕竟是一种高度自动化的机床,技术复杂,成本较高。从其使用时的经济效果出发,在我国目前阶段,仍然多用于精度高、形状复杂的中、小批量零件加工。发达国家目前拥有的数控机床占拥有机床总台数的 10% ~ 20%。数控机床在汽车制造业中已广泛使用。随着数控技术的普及和电子器件成本的降低,特别是计算机数控系统与微型计算机的迅速发展,数控机床正在不断地扩展它的适用范围。

## 1-2 数控机床的工作原理与数控系统的分类

### 一、数控机床的工作原理

数控机床的工作原理如图 1-2 所示。

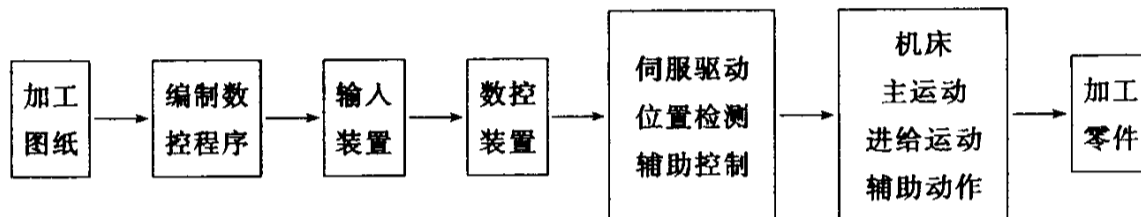


图 1-2 数控机床的工作原理图

数控机床加工零件时,首先应根据零件图纸编制零件的数控加工程序,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,以及其他诸如刀具的选择与交换、工件的夹紧与松开和冷却与润滑的启停等辅助动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路线和参数进行工作,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

#### 1. 编制数控程序

首先在对加工零件进行充分的工艺分析的基础上,确定零件的编程坐标系,计算零件的几何元素的坐标参数,如:孔的中心坐标,直线的两端点坐标,圆弧的中心坐标和两端点坐标。然后确定:零件加工的工艺路线或加工顺序;主运动的启、停、方向、变速;进给运动的速度大小;选择刀具等工艺参数,以及冷却液开、关等辅助装置的动作。得到零件加工的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,按标准格式用文字、数字和符号编制零件加工的数控程序单。编程的工作,可由人工进行,或者由自动编程计算机系统来完成。比较先进的数控机床,可以在它的数控装置上直接编程。

编好的数控程序,存放在便于保存和输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是打印纸、穿孔纸带、磁带、磁盘等。采用哪一种存储载体,取决于数控机床的输入装置类型和企业管理要求。

## 2. 输入装置

编制好的程序载体上的数控程序代码,经输入装置传送并存入数控装置内。输入装置可以是光电阅读机、磁带机、软盘驱动器或是数控装置上的键盘。有些数控装置,可与计算机用通信方式直接传送数控程序。

## 3. 数控装置

数控装置是数控机床的控制单元,它由专用或通用计算机作为核心,输入装置接收的数控程序,经数控装置系统软件和逻辑电路进行编译、运算和处理后,输出控制信号控制机床的各个部分,进行规定的、有序的动作。具体过程为:数控装置根据程序的坐标代码,作插补运算并输出插补控制信号,插补控制信号控制伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动,从而确定了机床的进给运动的方向、速度、位移量。数控装置根据辅助机能代码输出辅助机能控制信号驱动强电控制装置,控制主运动部件的变速、换向和启停,控制刀具的选择和交换,控制冷却、润滑的启停,控制工件和机床部件的松开和夹紧,控制分度工作台的转位等辅助机能。

## 4. 伺服驱动、位置检测、辅助机能控制装置

伺服驱动系统接收数控装置发来的速度和位移信号,控制伺服电机的运动速度、方向。伺服驱动系统一般由伺服电路和伺服电机组成,并与机床上的机械传动部件组成数控机床的进给系统。对机床的每个作伺服进给运动的轴,都配有一套伺服驱动系统。伺服驱动系统有开环和闭环之分。

位置检测装置与伺服系统配套组成闭环伺服驱动系统,它测量执行部件的实际进给位置,并把这一信息送给伺服系统与指令位置进行比较,将其误差转换、放大后控制执行部件的进给运动。

辅助机能控制装置是介于数控装置和机床的机械、液压部件之间的强电控制装置,其主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具的选择与交换、辅助装置的动作等信号,经必要的逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,完成指令所规定的动作。此外,还有机床的某些状态经它送给数控装置进行处理。

## 5. 机床的机械部件

数控机床的机械部件包括:主运动部件(如:主轴组件、变速箱等)、进给运动执行部件(如:工作台、拖板、丝杠、导轨及其传动部件)和支承部件(如:床身、立柱等),此外,还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于能同时进行多道工序加工的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,但其传动结构要求更为简单,在精度、刚度、抗振性及其动态特性等方面要求更高,而且对其传动和变速系统要求实现自动控制。

# 二、数控系统的分类

数控技术首先在机床行业获得广泛的应用。现在已有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、数控钻床、数控线切割机床等。在其他行业也出现了许多数控设备。例如,造船

行业的火焰切割机、肋骨冷弯机;还有压力机、冲切机、坐标测量机、绘图机、服装剪裁机、绣花缝纫机等都实现了数控化。事实上,所有能计算确定运动要求的设备,都可能实现数控化。数控设备的数据处理和电路以及伺服系统,统称为数控系统。在使用上,虽然各自的控制对象不同,但在原理上却万变不离其宗。按照数控系统的基本原理,可以进行下述分类。

### 1. 按运动轨迹分类

#### (1) 点位控制系统(又称 P 系统)

这类控制系统只要求控制刀具从一点移到另一点的准确位置,而对于运动轨迹原则上不加控制。例如,某些数控钻床、数控镗床、数控测量仪等,就属于这种点位控制系统。图 1-3 (a)所示为典型的点位控制运动方式。图中,刀具由点  $A(2,0,0)$  运动到点  $D(0,1,3)$ :第一阶段, $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个坐标运动方向的电机同时工作,将工具移至点  $B(1,1,1)$ ,此时  $y$  方向控制电机停止工作;第二阶段, $x$ 、 $z$  两个坐标运动方向的电机同时工作,将刀具移至点  $C(0,1,2)$ ,此时  $x$  方向控制电机停止工作;第三阶段, $z$  坐标运动方向的电机工作,将刀具移至点  $D(0,1,3)$ 。这种控制系统较为简单,价格较低。

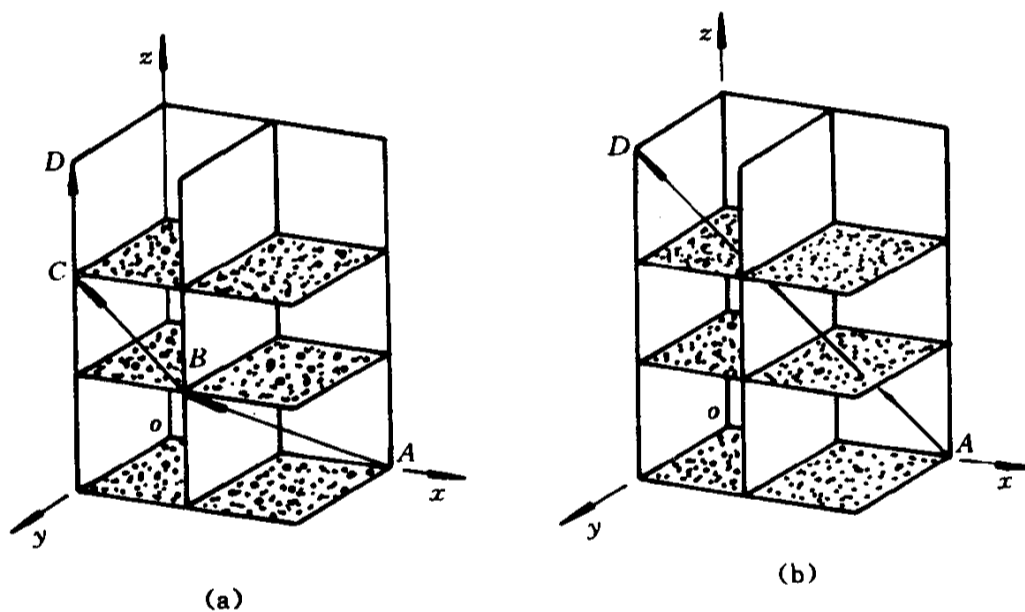


图 1-3 控制方式

(a) 点位控制方式; (b) 连续控制方式

#### (2) 连续控制系统(又称 C 系统)

连续控制系统又称为轮廓控制系统。这类控制系统能对两个或两个以上坐标方向的位移进行严格的不间断的控制。轮廓控制系统较为复杂,因为它需要进行复杂的插补运算。插补运算的作用是:根据给定的运动代码指令和进给速度,计算刀具相对于工件的运动轨迹,实现轮廓控制。图 1-3(b)所示为连续控制运动方式。图中,工具由点  $A(2,0,0)$  作直线运动直接到达点  $D(0,1,3)$ 。



### 2. 按伺服系统的控制方式分类

#### (1) 开环控制系统

这种控制方式通常以步进电机或电液伺服马达为驱动元件。输入的数据经过数控系统的运算分配指令脉冲,每一个脉冲送给环形分配器驱动步进电机或电液伺服马达,使其转动一个角度带动传动机构,从而使被控制对象移动。

这种方式对实际传动机构的动作完成与否不进行检查,驱动控制指令发送出去后不再反馈回数控系统,所以称为开环控制。

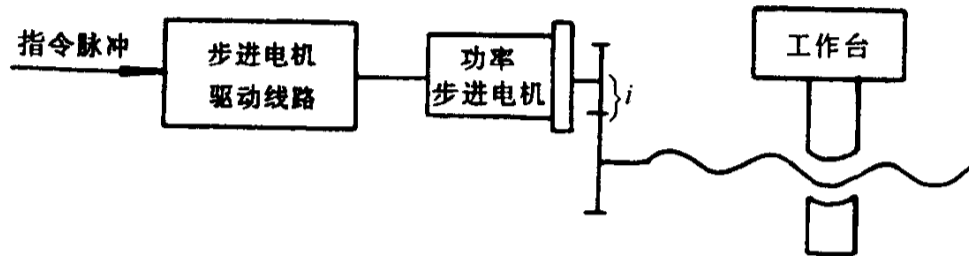


图 1-4 开环控制系统

图 1-4 所示为机床中常用的开环进给系统,步进电机通过齿轮传动,驱动丝杠和工作台。开环控制方式容易掌握,调试方便,维修简单。但开环进给系统的精度完全依赖于步进电机的步距精度及齿轮、丝杠的传动精度,因此精度控制受到限制。在工作中,如果出现突然过载现象,控制系统由于得不到反馈信息,依旧发出控制进给脉冲,从而造成“失步”误差。

#### (2) 闭环控制系统

如图 1-5 所示,在数控设备的运动部件上装有测量元件,将运动部件的位置、速度信息及

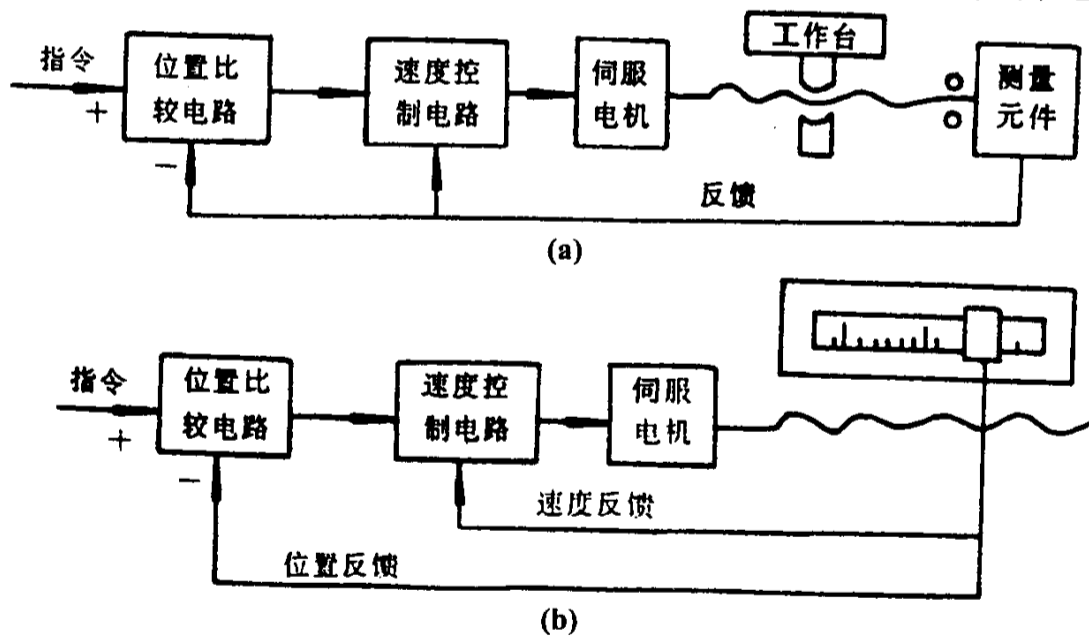


图 1-5 闭环控制系统

(a) 半闭环系统; (b) 全闭环系统

时反馈给伺服系统,伺服系统将指令位置、速度信息与实际信息进行比较并及时发出补偿控制命令。如果测量元件装在机械传动链末端部件上,如装在机床工作台上,则该系统为全闭环系统(或简称为闭环系统),如图 1-5(b)所示。如果测量元件装在机械传动链中间部件上,如装在滚珠丝杠上,则该系统为半闭环系统,如图 1-5(a)所示。闭环控制方式的优点是精度高、速度快,但调试和维修比较困难。

闭环控制系统由于有位置测量装置和反馈元件的联系,因此,系统的精度取决于测量装置的精度。目前采用的检测装置有感应同步器、磁尺、光栅等,精度一般为  $0.5 \sim 1\mu\text{m}$ 。从图 1-5(a)可以看出,在半闭环控制系统中由于末端件工作台没有完全包括在控制回路内,因而其控制精度比全闭环的要低。

## 1-3 数控技术的发展状况

### 一、数控设备的发展历史

数控设备首先在机床行业产生并得到广泛应用。第二次世界大战结束后,美国由于生产复杂的飞机零件的需要,提出了数控机床的初始设想。1949年麻省理工学院(MIT)和巴森兹公司(Pasron Co.)共同研究,1952年发表了三坐标连续控制铣床的系统研究结果,它是伺服系统与刚刚发展起来的数字计算机技术相结合而产生的。1953年,麻省理工学院发射实验室(MIT Radiation Laboratory)展出了该种机床。此后,数控机床就如雨后春笋一样,在各国发展起来。

40多年来,随着电子工业与计算机技术的发展,数控系统的更新换代是十分迅速的。

第一代数控系统:1952年至1959年,采用电子管元件。

第二代数控系统:1959年开始,采用晶体管元件。

第三代数控系统:1965年开始,采用集成电路。

第四代数控系统:1970年开始,采用大规模集成电路及小型通用计算机。

第五代数控系统:1974年开始,采用微处理机和微型计算机。

随着数控系统的发展,其功能不断增多,可靠性不断提高,使用灵活和方便程度不断提高,价格不断下降。与此同时,伺服系统和测量元件的性能不断改善,其精度也有所提高。

由于数控技术的发展极大地推动了数控机床的发展,在所有品种的机床实现单机数控化的同时,出现了一次装夹可完成多道工序加工的数控加工中心(Machining Center)。它配备有装载多把刀具的刀具库,并具有自动更换刀具的功能,在一次装夹中可以完成钻、镗、铣、铰等工序,特别适用于箱体类零件的多面、多工序加工。近年来用于回转体的车削加工中心在迅速增多,它能完成车削加工的同时,兼有铣、镗、钻孔、攻丝等功能。加工中心机床的出现,加之CAD技术、信息技术、网络控制技术以及系统工程学的发展,为单机数控自动化向计算机控制

的多机制造系统自动化方向发展,创造了必要的条件。60年代末期出现的计算机群控系统即直接数控(Direct NC-DNC)系统,就是这一发展趋向的具体体现。DNC系统使用一台较大的计算机,控制与管理多台数控机床和数控加工中心,能进行多品种、多工序的加工。

柔性制造技术的发展,已经形成了自动化程度和规模上不同的多种层次和级别的柔性制造系统。带有自动换刀装置(Automatic Tool Changer-ATC)的数控加工中心,是柔性制造的硬件基础,是制造系统的基本级别。其后出现的柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell-FMC),是较之高一级的柔性制造系统,它一般由加工中心机床与自动更换工件(Automated Work-piece Changer-AWC)的随行托盘(pallet)或工业机器人以及自动检测与监控技术装备所组成。在多台加工中心机床或柔性制造单元的基础上,增加刀具和工件在加工设备与仓储之间的流通传输和存储,以及必要的工件清洗和尺寸检查设备,并由高一级的计算机对整个系统进行控制和管理。这样,就构成了柔性制造系统(Flexible Manufacturing System-FMS),它可以实现多品种的全部机械加工。

随着科学技术和制造工业的飞速发展,迫切需要机器的智能化和脑力劳动的自动化,以适应市场产品需求多变的要求。自动化制造技术不仅需要发展车间制造过程的自动化,而且要全面实现从生产决策、产品设计、市场预测直到销售的整个生产活动的自动化,特别是技术和管理科室工作的自动化,将这些要求综合成一个完整的生产制造系统,即所谓的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System-CIMS),它将一个制造工厂的生产活动进行有机的集成,以实现更高效益、更高柔性的智能化生产。这是当今自动化制造技术发展的最高阶段。

## 二、直接数字控制系统

直接数字控制 DNC 系统是用一台通用计算机直接控制和管理一群数控机床进行零件加工或装配的系统。计算机将一组数控机床与储有零件加工程序和机床控制程序的公共存储器相连接,根据加工要求向机床分配数据和指令。在 DNC 系统保留原来各数控机床的数控系统,并与 DNC 系统的中央计算机组成计算机网络,实现分级控制管理。中央计算机并不取代各数控装置的常规工作。

DNC 系统中央计算机房配有自动编程终端,也可在加工现场安装自动编程终端与中央计算机通信进行现场自动编程和对零件程序进行编辑、修改,使编程与控制相结合,而且中央计算机零件程序存储容量大。此外,DNC 系统还具有生产管理、作业调度、工况显示监控和刀具寿命管理等功能。

DNC 系统可以分为间接控制型和直接控制型两大类。

### 1. 间接控制型系统

间接控制型 DNC 系统是由已有的数控机床,配上集中管理和控制的中央计算机,并在中央计算机和数控机床的数控装置之间加上通信接口所组成,如图 1-6(a)所示。中央计算机配

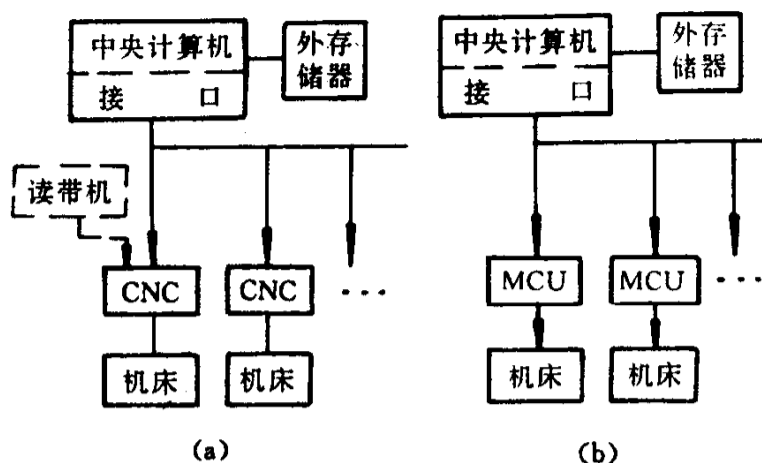


图 1-6 直接数字控制 DNC 系统

(a)间接控制型系统； (b)直接控制型系统

备有大容量的外存储器,存放每台数控机床所需的零件加工计划和加工程序,适时调至计算机的内存中。计算机顺次查询各台数控机床的状态和请求信号,根据需要计算机向某台数控机床传送所需的加工程序。由于传递一个零件加工程序的时间很短,而机床的加工时间很长,所以一台中央计算机为多台机床服务时,不会发生机床暂停加工等待的现象。

间接型 DNC 系统中,各数控机床的数控装置仍然承担着原来的控制功能,中央计算机与数控机床接口,只起了原有数控机床的纸带阅读机的作用。这样的控制功能,称之为读带机旁路控制(Behind the Tape Reader-BTR)。间接型 DNC 系统比较容易建立,并且当中央计算机出了故障时,数控机床仍可用原有的纸带阅读机工作,但由于机床的数控装置并未简化,故硬件成本较高。

## 2. 直接控制型系统

组成直接控制型 DNC 系统的数控机床不再配置普通的数控装置,如图 1-6(b)所示。原来由数控装置完成的插补运算功能全部或部分由中央计算机集中完成,各台数控机床只需配置一个简单的机床控制器(Machine Control Unit-MCU)用于数据传递,驱动控制和手动操作。一种常用的方法:将插补分成粗、精插补,由中央计算机完成粗插补,由接口电路或 MCU 完成精插补,这种方案综合考虑了运算速度与硬件成本。

直接控制型 DNC 系统的数控机床,其控制功能主要由计算机软件执行,所以灵活性较大,适应性较强,可靠性也较高,但是一次性投资比较大。

## 三、柔性制造单元和柔性制造系统

### 1. 柔性制造单元

柔性制造单元(FMC)是由中心控制计算机、加工中心与自动交换工件(AWC, APC)装置所组成。工件一次装夹后可在柔性制造单元中的加工中心上加工,使得加工的柔性(可编程性)、加工精度和生产效率更高。在柔性制造单元中,中心控制计算机负责作业调度、自动检测与工

况自动监控等功能;工件装在自动交换工件装置(工作台)上在中心控制计算机控制下传送到加工中心上加工;加工中心接收中心控制计算机传送来的数控程序进行加工,并将工况数据送中心控制计算机处理,如工件尺寸自动检测和补偿,刀具损坏和寿命监控等。

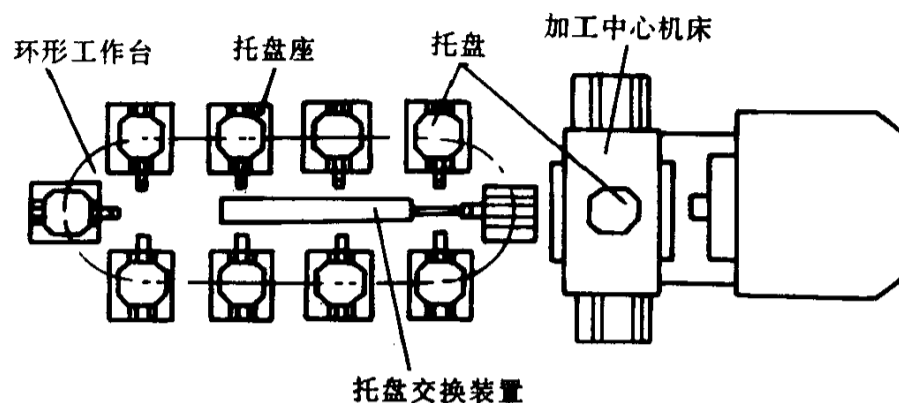


图 1-7 FMC-1 型柔性制造单元

图 1-7 所示为北京精密机床厂生产的 FMC-1 型柔性制造单元的示意图。它由刀具容量为 40 把的卧式加工中心、环形工件交换工作台、工件托盘及托盘交换装置组成。环形工作台是一个独立的通用部件,与加工中心并不直接相连,装有工件的托盘在环形工作台的导轨上由环形链条驱动进行回转,每个托盘上有地址编码。当一个工件加工完毕后,托盘交换装置将加工完的工件连同托盘一起拖回至环形工作台的空位;然后,按指令将下一个加工的托盘与工件转到交换位置,由托盘交换装置将它送到机床工作台上,定位夹紧以待加工。已加工好的工作连同托盘转至工件的装卸工位,由人工卸下,并装上待加工的工件。托盘搬运的方式多用于箱体类零件或大型零件。托盘上可装夹几个相同的零件,也可装夹数个不同的零件。

对于车削或磨削中心等机床,可以使用工业机器人进行工件的交换。由于机器人的抓重能力及同一规格的抓取手爪对工件形状与尺寸的限制,这种搬运方式主要适用于小件或回转型的搬运。

柔性制造单元可以作为组成柔性制造系统的基础,也可以作独立的自动化加工设备。由于柔性制造单元自成体系,占地面积小,成本低而且功能完善,加工适应范围广,故有廉价小型柔性制造系统之称。

## 2. 柔性制造系统

柔性制造系统(FMS)公认的特征:由一个物料运输系统将所有设备连接起来,这些设备不限于切削加工设备,也可以是电加工、激光加工、热处理、冲压剪切设备以及装配、检验等设备;可以进行没有固定加工顺序和无节拍的随机自动制造。

柔性制造系统的组成:一般认为 FMS 应由加工、物流、信息流三个子系统组成,每一个子系统还可以有分系统,如图 1-8 所示。

加工系统多数是由 CNC 机床按 DNC 的控制方式构成。系统中的机床,有互补和互替两种配置原则:互补是指在系统中配置有完成不同工序的机床,彼此互相补充而不能代替,一个工

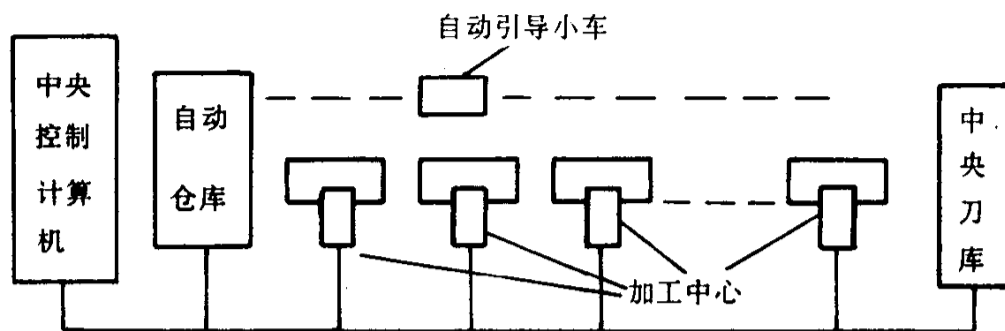


图 1-8 柔性制造系统

件顺次通过这些机床进行加工；互替是指在系统中配置有相同的机床，一台机床有故障则另一台机床可以代替加工，以免整个系统停工等待。当然，一个系统的机床设备也可以按这两种方式混合配置，这要根据预期生产性质来确定。

物流系统包括工件和刀具两个物流系统。

刀具系统设有中央刀库，由机器人在中央和各机床的刀库之间进行输送和交换刀具。而刀具的制备和预调一般都不包括在自动监控的范围之内。刀具的数目要少，必须采用标准化、系列化，并有较长的刀具寿命。系统应有监控刀具寿命和刀具故障的功能。对刀具寿命的监控，目前多采用定时换刀的方法，即记录每一把刀具的使用时间，达到预定的使用寿命后即强行更换。还有一种直接检测刀具磨损情况更换刀具的方法，由于这一技术不成熟，还没有在生产中得到应用。

工件系统包括有工件、夹具的输送、装卸以及仓储等装置。在 FMS 中工件和夹具的存储仓库多用立体仓库，由仓库计算机进行控制和管理。其控制功能有：记录在库货物的名称、货位、数量、重量以及入库时间等内容；接受中央计算机的出、入库指令，控制堆垛机和输送车的运动；监督异常情况和故障报警等。各设备之间的输送路线以直线往复方式居多，输送设备中使用最多的是有轨小车和使用灵活的无轨小车。无轨小车又称自动引导小车（Automated Guide Vehicle-AGV）。小车上设有托盘交换台，工件放在托盘上，托盘由交换台推上机床的工作台，对工件进行加工；加工好的工件连同托盘拉回到小车上的交换台上，送装卸工位，由人工卸下并装上新的待加工件。小车的行走路线常用电缆或光电引导。

信息流系统包括作业计划，加工系统和物流系统的调度与自动控制，在线状态监控及其数据和信息处理，以及故障在线检测和处理等。

此外，在 FMS 中排屑、去毛刺、清洗等工作设备都要纳入系统的管理与自动控制范围之内。

目前产品的更新换代加速，刚性生产线已日渐不能适应竞争要求。全世界的柔性制造系统正在以很快的速度增多。柔性制造系统加工对象很广，生产批量为 10~1 000 件，其中 300 件以下的最多，年产量约在 2 000~30 000 件。一个柔性制造系统加工对象的品种为 5~300

种,一般为 30 种以下。使用柔性制造系统的行业主要集中在汽车、飞机、机床以及某些家用电器行业。采用柔性制造系统由于减少了零部件的存放、运输以及等待时间,可以提高生产率 50% 以上,并使生产周期缩短 50% 以上,从而减少了在制品,缩短了资金周转期。由于装夹、测量、工况监视、质量控制等功能的采用,使机床的利用率由单机使用的 50% 提高到 70% ~ 90%,而且加工质量稳定。

#### 四、计算机集成制造系统简述

计算机集成制造系统(CIMS)是采用现代计算机技术将制造工厂全部生产活动所需的各种分散的自动化系统有机地集成起来。随着科学技术的进步和生产的发展,产品多样化,中小批量产品比重日益增加,产品交货期和更新换代周期越来越短。据国际生产工程协会(CIRP)对美、日等国调查,目前中小批零件品种占整个机加工零件品种的 50% 以上。CIMS 将计算机辅助设计、计算机辅助制造、计算机辅助管理集成在一起,将制造过程中的物料流和信息流组成一个协调平衡的运动系统,实现总体的优化来适应市场竞争的需要。

目前 CIMS 技术还处于发展的初期阶段,但它的重要战略意义已得到广泛的重视。美国把 CIMS 看作是今后 60 年科技方向;欧共体将 CIMS 列为信息技术研究三个重大项目之一;日本在 80 年代初就提出了立国和面向 21 世纪的科技发展战略,对开发 CIMS 有关的各种新技术都作了巨额投资。我国为推进和加快经济改革的步伐,争取缩短与发达国家的差距,在 1986 年制定了国家科技研究发展计划(即“863”计划),将 CIMS 确定为自动化研究领域的主题之一。

由于不同厂商的经营方式、产品结构和技术优势不同,对 CIMS 的理解和要求存在不同,因而对 CIMS 的发展也有所区别。例如,英格索尔(INGERSOLL)公司,先建立了经营信息系统(Computer Information Management-CIM),后安装柔性制造系统(FMS),采用  $CIM + FMS = CIFM$  的发展模式;约翰迪尔(John Deere)拖拉机公司在成组技术(Group Technology-GT)方面具有优势,采用以 GT 作为开发应用核心的 CIMS 发展模式;波音飞机公司和德国 MBB 飞机公司,采用以 CAD/CAM 作为基础的 CIMS 的发展模式。由此可以看出,企业应依据自己的技术基础和原有的优势来发展 CIMS,而不应盲目追求其他先进性和全面性。

CIMS 实现工作计划、成本核算、CAD、制定生产规程等方面的指挥、协调、检查和维护。CIMS 系统虽然具有强大的功能,但它的核心是人,未来 CIMS 技术关键依然是人。



# 数控程序编制

## 2-1 概 述

### 一、数控机床程序编制的内容与步骤

在普通机床上加工零件时,首先应由工艺人员对零件进行工艺分析,制定零件加工的工艺规程,包括机床、刀具、定位夹紧方法及切削用量等工艺参数。同样,在数控机床上加工零件时,也必需对零件进行工艺分析,制定工艺规程,同时要将工艺参数、几何图形数据等,按规定的信息格式记录在控制介质上,将此控制介质上的信息输入到数控机床的数控装置,由数控装置控制机床完成零件的全部加工。这里,将零件图纸到制作数控机床的控制介质的全部过程称之为程序编制,简称“编程”。记录工艺过程、工艺参数和零件几何数据的表格称为零件加工程序清单。如何根据零件图纸编写出正确的程序清单,是数控加工中最关键的问题之一,编程工作的优劣直接影响数控机床的合理使用、加工质量的高低和数控加工优势的发挥。数控程序编制的顺序及过程如图 2-1 所示,它包括如下几方面的内容。

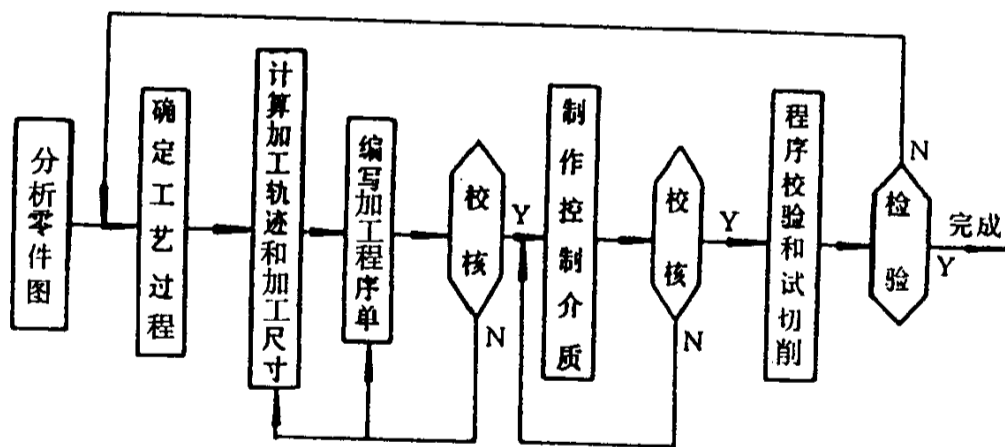


图 2-1 数控程序编制

#### 1. 分析零件图

首先要分析零件的材料、形状、尺寸、精度、批量、毛坯形状和热处理要求等,通过分析,以



便确定该零件是否适宜在数控机床上加工,或适宜在何种数控机床上加工,甚至还要确定零件的哪几道工序在数控机床上加工。

## 2. 确定工艺过程

在分析零件图的基础上,进行工艺分析,选定机床、刀具与夹具,确定零件加工的工艺路线、工步顺序以及切削用量等工艺参数。

## 3. 计算加工轨迹和加工尺寸

根据零件图纸、加工路线和零件加工允许的误差,计算出零件轮廓的坐标值,如零件轮廓几何元素的交点和切点等。对于无刀具补偿功能的机床,还要算出刀具中心的轨迹。这一步骤常称为数值计算。

## 4. 编写加工程序单和校核

根据加工路线、切削用量、刀具号码、刀具补偿量、机床辅助动作及刀具运动轨迹,按照数控系统使用的指令代码和程序段的格式编写零件加工的程序单,并校核上述两个步骤的内容,纠正其中的错误。

## 5. 制作控制介质

零件加工程序单是数控机床加工过程的文字记录,要控制机床加工,还需将程序单上的内容记录在控制数控机床的控制介质上,作为数控系统的输入信息。控制介质随数控系统的类型不同而不同,一般为穿孔纸带、穿孔卡片、磁带和磁盘等。在 CNC 机床上,若加工程序简单,可直接通过键盘将其输入。

## 6. 程序校验和试切削

所制作的控制介质,在正式使用之前必须经过进一步的校验和试切削。一般是将控制介质上的程序内容输入数控系统,进行空运转检验。在进行平面轮廓试切时,可在数控机床上用笔代替刀具,用坐标纸代替工件,进行机床运行工作图的绘制;对空间曲面零件,可用木料或石蜡工件进行试切,以此检验机床运动轨迹与动作的正确性。在具有 CRT 屏幕动态图形显示的数控机床上,可动态模拟零件的加工过程。但当刀具调整不当及其他原因造成零件的加工误差时,用上述方法无法检验出来。首件试切的方法,不仅可以检验出程序的和控制介质的错误,而且还可检验加工精度是否符合要求。当发现错误时,通过分析错误的性质来修改程序或调整刀具尺寸补偿量,直至达到零件图纸的要求。

# 二、数控机床程序编制的方法

数控加工程序的编制方法分为手工编程和自动编程。

手工编程是由人工完成上述全部步骤,因此,要求编程人员不仅要熟悉数控代码及编程规则,而且还要具备机械加工工艺知识和数值计算能力。对点位加工和几何形状简单的零件加工,程序段较少,计算简单,用手工编程即可完成。但是对复杂型面的零件,以及几何元素虽不