

第 1 章 数控车床的基础知识

在机械加工中,数控车削加工是数控加工中最广泛、最基本的加工方法,主要用来完成零件内外圆柱面、端面、沟槽、内外圆锥面、成形面、螺纹等回转表面的车削加工。

1.1 数控车床加工概述

数控车床是一种高精度、高效率的自动化机床,也是使用数量最多的数控机床,约占国内数控机床总数的 25%。它是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物,是一种完全新型的自动化数控机床。

数控即数字控制(Numerical Control,简称为 NC),数控机床是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的机床,或者说是装备了数控系统的机床,它是一种技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备,是数控技术与机床相结合的产物。

随着现代科学技术和社会生产的不断发展,人们对机械加工业的要求越来越高。在机械加工过程中,单件与小批量生产的零件(批量在 10~100 件)占机械加工总量的 80%以上,尤其在造船、航空航天、重型机械以及国防部门,其产品具有加工批量小、改型频繁、零件的形状复杂及精度要求高的生产特点。为有效地保证产品质量,提高生产率和降低生产成本,不仅要求机床有较好的通用性和灵活性,而且要求加工过程能够实现自动化、智能化。在通用机械、汽车、拖拉机、家用电器等制造厂大都采用了自动机床、组合机床和专用自动生产线。但采用这种高度自动化和高效率的设备一次性投资费用大,生产准备时间长,不适宜频繁改型和多种产品生产的需要。

为了解决这些问题,满足多品种、小批量的自动化生产需要,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。

数控车床加工与普通车床加工有很大不同,在数控车床加工前,需要把原先在普通车床上加工时需要操作工人考虑和决定的操作内容及动作,如走刀路线、切削参数、位移量、开车、停车、换向、主轴变速和开关切削液等各种动作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,自动地控制数控车床的刀具与工件的相对运动,从而加工出所需要的工件。数控车床与普通车床的一个显著区别在于,当加工对象改变时,除了重新装夹工件和更换刀具之外,只需更换新程序即可,不需要对数控车床作任何调整。采用数控车床加工可以大大提高产品质量,保证零件的精度,减轻劳动强度,为新产品的研制与改型换代节省大量时间和费用,提高产品的竞争能力。

数控车床与普通车床不仅在加工上有很大不同,在结构上也有很大改进。普通车床的主运动和进给运动是由一台电动机驱动的,它只能在一次调整完毕后,以固定的速度和方向进行加工,在加工过程中不允许变速。数控车床的主运动和进给运动是由不同的电动机进行驱动的,而且这些电动机都可以在数控车床的控制系统控制下实现无级调速。数控车床的进给系统与普通车床有质的区别,传统普通车床有进给箱和交换齿轮架,而数控车床是直接由伺服电机通过滚珠丝杠驱动溜板和刀架,从而实现进给运动。进给系统的结构大为简化,因而可以加工精度高、几何形状复杂的零件。

数控车床配有旋转刀架或旋转刀盘,在零件加工过程中由程序自动选用刀具和更换刀位。车削加工中心可以把车削、铣削、螺纹加工、钻削等功能集中在一台设备上,使其具有多种工艺手段。因此,采用数控车削加工可以大大提高产品质量,保证加工零件的精度,减轻劳动强度,改善劳动条件。

随着我国数控车床用户的不断增加,应用领域的不断扩大,努力提高数控加工技术水平,已成为推动我国数控技术在制造业中应用与发展的重要环节。数控加工技术水平的提高,除与数控车床的性能和功能紧密相关外,数控加工工艺与数控程序也起着相当重要的作用。在数控加工过程中,如果说数控车床是硬件的话,数控加工工艺和数控程序则相当于软件,两者缺一不可。

1.2 数控车床的组成及加工原理

1.2.1 数控车床的组成

数控车床由数控加工程序、输入装置、数控系统、伺服系统、辅助控制装置、检测反馈装置及车床本体等组成,如图 1-1 所示。

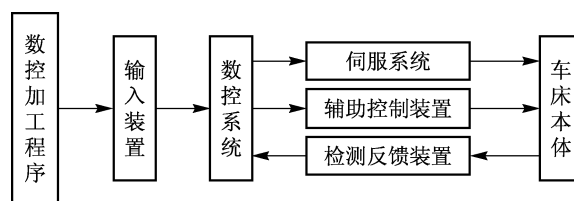


图 1-1 数控车床的组成

实际上,数控加工程序并非数控车床的物理组成部分,但从逻辑上讲,数控车床加工过程必须按数控加工程序的规定进行,数控加工程序是数控车床加工的一个重要环节,因此常将数控加工程序视为数控车床的一个组成部分。

1. 输入装置

输入装置的作用是将数控程序和各种参数、数据传送并存入数控装置内。常用的输入装置有穿孔纸带、穿孔卡、磁带和磁盘等。近年来,穿孔纸带及穿孔卡已极少使用。也有一些数控车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装置。随着计算机辅助设计与计算机辅助制造技术的发展,在

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装置。

2. 数控系统

数控系统(Computer Numerical Control, 简称为 CNC)是数控车床的核心。它的任务是接收控制介质上的数字化信息,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,然后输出装置将结果送到控制各坐标的伺服系统,控制数控车床的各个部分,进行规定的、有序的动作。数控系统一般由专用(或通用)计算机、输入/输出接口板及可编程控制器 PLC 等组成。可编程控制器主要用于对数控车床辅助功能、主轴转速功能和刀具功能的控制。

3. 伺服系统

伺服系统是数控车床的执行机构,由伺服驱动电路和伺服驱动装置两大部分组成。

伺服驱动电路的作用是接收数控装置的指令信息,并按指令信息的要求控制执行部件的进给速度、方向和位移。指令信息是以脉冲信号体现的,每一脉冲使车床移动部件产生的位移量叫脉冲当量。

伺服驱动装置主要由主轴电动机、进给系统的功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等组成,后两者均带有光电编码器等位置测量元件。

4. 辅助控制装置

数控车床为了提高生产率、加工精度等,还配备许多辅助控制装置,如自动换刀装置、自动工作台交换装置、自动对刀装置、自动排屑装置等。它的作用是接收数控装置输出的指令信号,经必要的编译、逻辑判断和功率放大后直接驱动相应的电器,液压、气动和机械部件,以完成各种规定的动作。

5. 检测反馈装置

检测反馈装置也称反馈元件,通常安装在车床的工作台上或滚珠丝杠上,作用相当于普通车床上的刻度盘或人的眼睛。检测反馈装置可以将工作台的位移量转换成电信号,并且反馈给数控系统。数控系统可将反馈值与指令值进行比较,如果两者之间的误差超过某一个预先设定的数值,就会驱动工作台向消除误差的方向移动。在移动的同时,检测反馈装置向数控系统发出新的反馈信号,数控系统再进行信号的比较,直到误差值小于设定值为止。

6. 车床本体

车床本体是数控车床的主体,是用于完成各种切削加工的机械部分,包括车床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件,如刀架、主轴箱、尾座、导轨及其传动部件等。数控车床与普通车床不同,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。

为了保证数控车床的快速响应特性,数控车床普遍采用精密滚珠丝杠副和直线滚动导轨副,车削加工中心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,如冷却装置、自动排屑装置、自动润滑装置、防护装置和对刀仪等,以利于充分发挥数控车床的功能。此外,为了保证数控车床的高精度、高效率和高自动化加工,数控车床的其他机械结构也与普通车床有很大的不同。

1.2.2 数控车床的加工原理

数控车床的加工原理如图 1-2 所示。

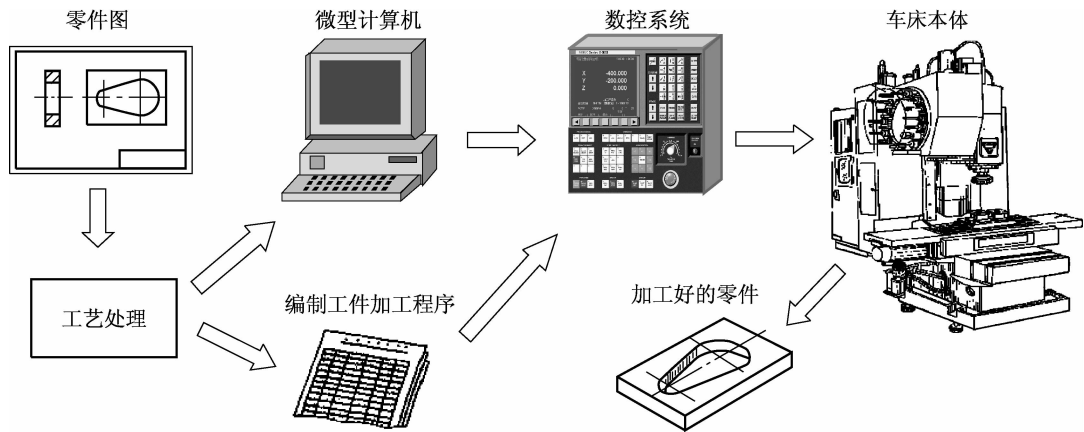


图 1-2 数控车床的加工原理

当使用车床加工零件时,通常都需要对车床的各种动作进行控制,不但要控制动作的先后次序,而且要控制车床各运动部件的位移量。采用普通车床加工时,这种开车、停车、走刀、换向、主轴变速和切削液的开关等操作都是由人工直接控制的;采用数控车床加工零件时,只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式编成零件加工程序。程序简单时,可以采用手工编程;程序复杂时,可以通过计算机编程。然后将编好的数控程序输入到车床控制系统中,再由其进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号,从而控制车床主运动的变速、启动,进给运动的方向、速度和位移大小,以及换刀,工件的夹紧、松开和切削液的开关等动作,自动地加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。当更换加工对象时,只需要重新编写程序代码,输入给车床,即可由数控装置控制加工的全过程制造出任意复杂的零件。

1.3 数控车床的分类

随着数控车床制造技术的不断发展,人们对数控车床的使用范围要求越来越宽,从而出现了各种不同配置和技术等级的数控车床。数控车床的种类繁多,规格不一,尚无统一规定的分类方法,可以从不同的角度对其进行分类。下面介绍几种常用的分类方法。

1.3.1 按数控系统的功能分类

按数控系统的功能可将数控车床分为经济型数控车床、普通数控车床、车削中心和 FMC 车床 4 种。

1. 经济型数控车床

经济型数控车床也称简易型数控车床,一般是以普通车床的机械结构为基础,采用步进电动机和单片机对普通车床的进给系统进行改造后形成的数控车床。经济型数控车床一般

采用由步进电动机驱动的开环伺服驱动系统,也有一些采用较为简单的成品数控系统。此类车床的特点是结构简单、价格低廉,具有刀尖自动补偿和恒表面线速度切削功能等。同时,由于是使用普通车床的结构或者是由普通车床改造而成,自动化程度和功能都比较差,车削加工精度也不高,因此适用于要求不高的回转类零件的车削加工。经济型数控车床在中小型企业中应用广泛,如图 1-3 所示为某经济型数控车床的外形。



图 1-3 经济型数控车床

2. 普通数控车床

普通数控车床是根据车削加工要求,在结构上进行专门设计并配备通用数控系统而形成的数控车床,如图 1-4 所示。普通数控车床的数控系统功能强,自动化程度和加工精度也比较高,适用于一般回转体类零件的车削加工。它可同时控制两个坐标轴,即 X 轴和 Z 轴。



图 1-4 普通数控车床

3. 车削中心

车削中心在普通数控车床的基础上配备刀库、自动换刀器、分度装置、铣削动力头和机械手等部件,可控制 X、Z 和 C 这 3 个坐标轴,联动控制轴可以是(X,Z)、(X,C)或(Z,C)。

由于增加了 C 轴和铣削动力头,这种数控车床的加工功能大大增强,除可以进行一般车削外,还可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的钻削加工等。在车削中心上,工件一次装夹后,可以完成回转类零件的车、钻、铰、螺纹加工等多种加工工序。车削中心的功能全面,加工质量和速度都很高,但价格也较贵。车削中心的内部结构如图 1-5 所示。

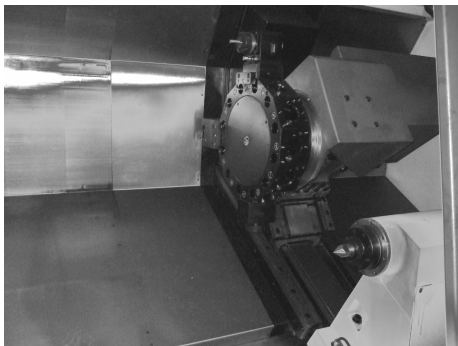


图 1-5 车削中心内部结构图

4. FMC 车床

FMC 车床实际上就是一个由数控车床、机器人等构成的柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, 简称为 FMC),它能实现工件搬运、装卸的自动化和加工调整准备的自动化操作。

1.3.2 按主轴的配置形式分类

按主轴的配置形式可将数控车床分为卧式数控车床和立式数控车床两类。

1. 卧式数控车床

卧式数控车床(主轴轴线为水平位置的数控车床)又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床两类。数控倾斜导轨卧式车床的倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性,并易于排除切屑。

2. 立式数控车床

立式数控车床(主轴轴线为垂直位置的数控车床)又称为数控立车,其车床主轴垂直于水平面一个直径很大的圆形工作台,用来装夹工件。这类数控车床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

1.3.3 按加工零件的基本类型分类

按加工零件的基本类型可将数控车床分为卡盘式数控车床和顶尖式数控车床两种。

1. 卡盘式数控车床

卡盘式数控车床没有尾座,适合车削盘类(含短轴类)零件。夹紧方式多为电动或液动控制,卡盘结构多具有可调卡爪或不淬火卡爪(即软卡爪)。

2. 顶尖式数控车床

顶尖式数控车床配有普通尾座或数控尾座,适合车削较长的零件及直径不太大的盘类零件。

1.3.4 按刀架数量分类

按刀架数量可将数控车床分为单刀架数控车床和双刀架数控车床两类。

1. 单刀架数控车床

数控车床一般都配置有各种形式的单刀架,如4工位自动转位刀架或多工位转塔式自动转位刀架。单刀架数控车床结构如图1-6所示。



图 1-6 单刀架数控车床

2. 双刀架数控车床

双刀架数控车床的双刀架配置可以是平行分布,也可以是相互垂直分布。双刀架数控车床结构如图1-7所示。

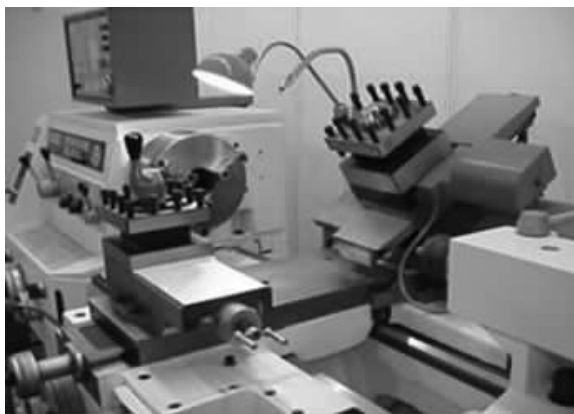


图 1-7 双刀架数控车床

1.3.5 按进给伺服系统的不同分类

按进给伺服系统的不同可将数控车床分为开环伺服系统、闭环伺服系统和半闭环伺服系统3类。

1. 开环伺服系统

开环伺服系统数控车床没有位置检测反馈装置,伺服驱动装置主要是步进电动机。由

数控系统送出的进给指令脉冲,通过功率放大后驱动步进电动机旋转,再经机械传动机构驱动执行部件即工作台移动。每给一个脉冲信号,步进电动机转过一定的角度,工作台就走过一个脉冲当量。数控装置按程序加工要求控制指令脉冲的数量、频率和通电顺序,从而达到控制执行部件运动的位移量、速度和运动方向的目的。指令信号单向传送,并且没有检测和反馈系统,故称为开环伺服系统。如图 1-8 所示为开环伺服系统框图。

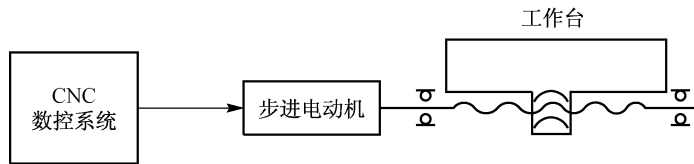


图 1-8 开环伺服系统框图

开环伺服系统数控车床的特点是结构简单,维护方便,成本较低,但加工精度不高,适用于精度要求不高的中小型数控车床及对旧车床的数控化改造。

2. 闭环伺服系统

闭环伺服系统的数控车床上装有位置检测装置,直接对工作台的位移量进行测量。伺服驱动装置主要有直流伺服电动机或交流伺服电动机。数控系统发出进给信号后,经伺服驱动系统使工作台移动,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 0 为止。如图 1-9 所示为闭环伺服系统框图。

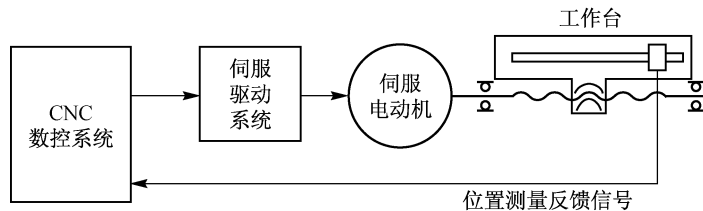


图 1-9 闭环伺服系统框图

闭环伺服系统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。由于很多机械传动环节包括在控制环之内,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,闭环伺服系统的结构较复杂,控制稳定性较难保证,成本高,调试、维修困难。闭环伺服系统主要用于一些精度要求很高的超精密车床、车削中心等。

3. 半闭环伺服系统

半闭环伺服系统数控车床的位置检测装置安装在进给丝杠的端部或伺服电动机轴上,不直接反馈车床的位移量,而是用转角测量元件测量丝杠或电机的旋转角度,进而推算出工作台的实际位移量,经反馈回路送回控制系统和伺服系统,并与控制指令值相比较。如果有偏差,用差值控制电机经机械传动装置带动移动部件向偏差减小的方向移动,直至差值为 0。由于这种系统的闭环环路内不包括丝杠、螺母副及工作台,只对中间环节进行反馈控制,因此称为半闭环伺服系统。如图 1-10 所示为半闭环伺服系统框图。

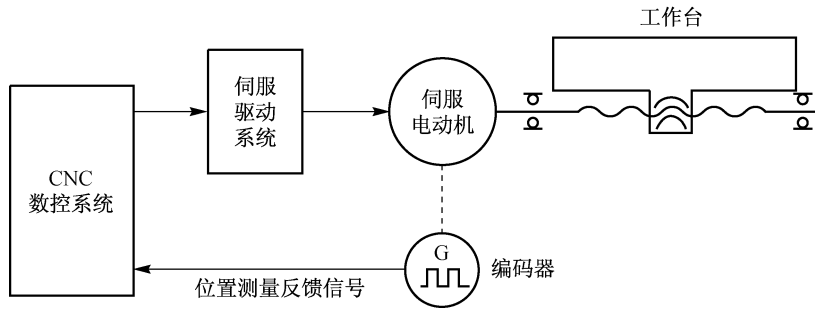


图 1-10 半闭环伺服系统框图

由于半闭环伺服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。又由于其采用了高分辨率的测量元件,因此具有比较满意的精度及速度。大多数数控车床采用半闭环伺服系统。

1.3.6 其他分类方法

按数控系统的不同控制方式等指标还可将数控车床分成很多种类,如直线控制数控车床、轮廓控制数控车床等;按特殊或专门工艺性能又可分为螺纹数控车床、活塞数控车床、曲轴数控车床等。

1.4 数控车床的特点与应用

数控车床与普通车床加工零件的区别在于,数控车床是按照程序自动加工零件,而普通车床由工人手工操作来加工零件。在数控车床上只要改变控制车床动作的程序,就可以达到加工不同零件的目的。由于数控车床的加工是一种程序控制过程,因此其具有以下特点和应用。

1.4.1 数控车床的加工特点

1. 自动化程度高,劳动强度低

除手工装夹毛坯外,其余全部加工过程都可由数控车床自动完成。一般情况下,操作者主要是进行程序的输入和编辑、工件的装卸、刀具的准备、加工状态的监测等工作,而不需要进行繁重的重复性的手工操作。若配合自动装卸手段,体力劳动强度和紧张程度可大为减轻,从而改善了劳动条件。

2. 加工精度高,质量稳定

首先,数控车床本身具有很高的定位精度,车床的传动系统与车床的结构具有很高的刚度和热稳定性,在设计传动结构时采取了减少误差的措施,并由数控系统进行补偿;其次,数控车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,零件加工的一致性,更重要的是数控加工精度不受工件形状及复杂程度的影响,这一点是普通车床无法与之相比的。

3. 对加工对象的适应性强

在数控车床上加工工件,主要取决于加工程序。它与普通车床不同,不必制造、更换许多工具、夹具等,一般不需要很复杂的工艺装备,也不需要经常重新调整车床,就可以通过编程把形状复杂和精度要求较高的工件加工出来。因此能大大缩短产品研制周期,给产品的改型、改进和新产品研制开发提供了捷径。

4. 生产效率较高

由于数控车床具有良好的刚性,允许进行强力切削,主轴转速和进给量范围都较大,可以更合理地选择切削用量,而且空行程采用快速进给,从而节省了机动和空行程时间。数控车床加工时能在一次装夹中加工出很多待加工部件,既省去了通用车床加工时原有的不少辅助工序(如划线、检验等),也大大缩短了生产准备时间。数控车床的加工一致性好,整批工件一般只进行首件检验即可,节省了检测时间。因此其综合效率比普通车床加工有明显提高。如果采用加工中心,实现自动换刀,工作台自动换位,一台车床上完成多工序加工,缩短半成品周转时间,生产效率的提高也就更加明显。

5. 良好的经济效益

改变数控车床加工对象时,只需重新编写加工程序,不需要制造、更换许多工具、夹具和模具,更不需要更新车床,从而节省了大量工艺装备费用。又因为加工精度高,质量稳定,减少了废品率,使生产成本下降,生产率提高,所以能够获得良好的经济效益。

6. 有利于生产管理信息化

数控车床按数控加工程序自动进行加工,能准确计算加工工时,预测生产周期,所用工装简单,采用刀具标准化,这些特点都有利于生产管理信息化。

现代数控车床易于建立与计算机间的通信联络。由于数控车床采用数字信号控制,易与计算机辅助设计系统连接,形成 CAD/CAM 一体化系统,并且可以建立各数控车床间的联系,容易实现群控。

1.4.2 数控车床的机械特点

1. 传动链短

与普通车床相比,数控车床的主运动和进给运动传动路线不再是电机—皮带—挂轮—齿轮副机构变速,而是纵向和横向进给分别由两台步进电动机或伺服电动机直接驱动刀架运动,传动链大大缩短。

2. 刚性高

为了与数控系统的高精度相匹配,数控车床的刚性高,适应高精度的加工。

3. 轻拖动

刀架移动采用滚珠丝杠副,摩擦小,移动轻便。丝杠两端的支撑采用专用轴承,其压力角比普通轴承大,在出厂时已选配好。数控车床的润滑部分采用油雾自动润滑,这些措施都使数控车床移动轻便。

1.4.3 数控车床的应用

数控车床是一种高度自动化的车床,有普通车床所不具备的许多优点,所以数控车床加工技术的应用范围在不断扩大。但数控车床这种高度机电一体化产品技术含量高,成本高,

使用与维修都有较高的要求。根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践,数控车床一般适用于以下零件的加工:

- (1)多品种、小批量生产的零件。
- (2)形状结构比较复杂的零件。
- (3)需要频繁改型的零件。
- (4)价格昂贵,不允许报废的关键零件。
- (5)需要最短周期的急需零件。
- (6)批量较大、精度要求高的零件。

1.5 数控车床的发展趋势与作用

1.5.1 数控车床的发展趋势

随着制造业对数控车床的大量需求以及计算机技术和现代设计技术的飞速进步,数控车床的应用范围还在不断扩大,并且不断发展,以适应生产加工的需要。目前,数控车床正朝着高速度、高精度、复合化、柔性化、智能化、开放化、网络化等方向发展。

1. 高速度和高精度

速度和精度是数控设备的两个重要指标,它直接关系到加工效率和产品质量。人们对新一代数控设备在运行高速化、加工高精度化等方面都有了更高的要求。

高速切削可通过高速运算技术、快速插补运算技术、超高速通信技术和高速主轴等技术来实现。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,如数控车床采用电主轴,取消了皮带、带轮和齿轮等环节,大大减少了主传动的转动惯量,提高了主轴动态响应速度和工作精度,彻底解决了主轴高速运转时皮带和带轮等传动的振动和噪声问题。采用电主轴结构可使主轴转速达到 10 000 r/min 以上。微处理器的迅速发展为数控系统采用高速处理技术提供了保障,CPU 已由 20 世纪 80 年代的 16 位发展到现今的 32 位以及 64 位的数控系统,频率提高到几百兆赫乃至上千兆赫。由于运算速度的极大提高,使得当分辨率为 0.1 μm 、0.01 μm 时仍能获得高达 100~240 m/min 的进给速度。

高精度化一直是数控车床技术发展追求的目标,也是为了提高产品的性能、质量和可靠性,减少其装配时的工作量,从而满足装配效率的需要。直线电机驱动速度高,加减速特性好,有优越的响应特性和跟随精度。用直线电机做伺服驱动,省去了滚珠丝杠这一中间传动环节,消除了传动间隙(包括反向间隙),运动惯量小,系统刚性好,在高速下能精密定位,从而极大地提高了伺服精度。由于直线滚动导轨副各向间隙为 0,具有非常小的滚动摩擦,磨损小,发热可忽略不计,有非常好的热稳定性,因此提高了全程的定位精度和重复定位精度。

从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工),是世界各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级提高到亚微米级,乃至纳米级,使数控车床的应用范围日趋广泛。

2. 复合化

数控车床的加工复合化是指工件在一台数控车床上装夹后,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,实现一机多用、一机多能,即一台数控车床既可以实现车削功能,也可以实现铣削加工。它把钻、镗、铣、扩孔、铰孔、攻螺纹等多工序复合到同一台数控车床上,一次装夹完成零件的粗、精加工,减少了工件在其加工过程中的装夹次数和定位调整时间,提高了加工精度和效率。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。

3. 柔性化

柔性是指车床适应加工对象变化的能力。目前,在进一步提高单机柔性自动化加工的同时,正努力向单元柔性和系统柔性化发展。

柔性自动化技术是制造业适应市场动态需求及产品迅速更新的主要手段。数控车床向柔性自动化系统方向发展,是世界各国制造业发展的主流趋势,是先进制造领域的基础技术。

4. 智能化

随着科学技术的发展,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。数控车床的智能化具体体现在以下几个方面:

(1)应用自适应控制技术。数控系统能监测加工过程中一些重要信息,如通过监测加工过程中的切削力、主轴和进给电机的功率、电流、电压等信息,利用传统的或现代的算法进行识别,以辨识出刀具的受力、磨损、破损状态及数控车床加工的稳定性状态,并根据这些状态实时调整系统有关参数,使设备处于最佳运行状态。

(2)加工参数的智能优化与选择。将工艺专家或技师的经验、零件加工的一般与特殊规律存入系统中,用现代智能方法,构造基于人工智能的专家系统,利用它获得优化的加工参数,从而达到提高编程效率和加工工艺水平、缩短生产准备时间的目的。

(3)故障诊断专家智能系统。智能监控系统能够对数控车床的机械、电气、液压系统出现的故障进行自动诊断、报警、故障显示等,直至停机处理。随着网络技术的发展,远程故障诊断专家智能系统开始应用。对数控车床发生的各种错误和事故进行快速准确定位,用以确定错误引起的原因,找出解决问题的办法。

(4)智能化伺服驱动装置。智能化伺服驱动装置是通过自动识别负载而自动调整参数的伺服系统,包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置。这种驱动装置能自动识别电机及负载的转动惯量,并自动对控制系统参数进行优化和调整,使伺服驱动系统获得最佳运行状态。

(5)智能 4M 数控系统。在生产过程中,将测量 Measurement、建模 Modelling、加工 Manufacturing、机器操作 Manipulator 四者(即 4M)融合在一个系统中,实现信息共享,促进测量、建模、加工、装夹和操作的一体化。

5. 开放化

随着计算机的发展,以个人微机为平台的开放式数控系统有了很大的发展,数控系统生产厂家都在进行开放式数控系统的研究。如美国、日本等几大开放数控系统计划正在执行中。理想的开放系统为数控软件和硬件均可选择、重组和添加,这就要求软硬件接口都遵循公认的标准协议,只需少量的重新设计和调整,新一代的通用软硬件资源就可能被现有系统所采纳、吸收和兼容,这就意味着系统的开发费用将大大降低,而系统性能与可靠性将不断

改善并处于较长的生命周期。

目前,国际上正在研究和制定一种新的 CNC 系统标准 ISO 14649(STEP-NC),以提供一种不依赖于具体系统的中性机制,能够描述产品整个生命周期内的统一数据模型,从而实现整个制造过程乃至各个工业领域产品信息的标准化。标准化的编程语言,既方便用户使用,又降低了和操作效率直接有关的劳动消耗。

6. 网络化

数控车床支持网络通信协议,既满足单机需要,又能满足柔性制造单元、柔性制造系统、计算机集成制造系统对基层设备的要求。配置网络接口,通过 Internet 可实现远程监视和控制加工,进行远程检测和诊断,使维修变得简单。建立分布式网络化制造系统,可便于形成“全球制造”。

1.5.2 数控车床在先进制造技术中的作用

先进的制造技术和装备就是人类生产活动的最基本的生产资料,而数控技术又是当今先进制造技术和装备最核心的技术。自从 20 世纪中期第一台数控车床问世以来,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、数控线切割车床,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、数控齿轮车床、数控激光加工车床、数控火焰切割机等。数控车床是发展新兴高新技术产业和尖端工业(如信息技术及其产业、生物技术及其产业、航空航天等国防工业产业)的最基本的装备,保证现代制造业向高精度、高速度、高效率、高柔性化的方向发展。

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车床之间,增加自动输送工件的托盘站或机器人传输工件,构成柔性制造单元的需要,以及实现了由多台数控车床(含加工中心、车削中心)传送带、自动引导小车、工业机器人以及专用的起吊运送机等组成的柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, 简称为 FMS)的控制。此外,还有由加工中心、CNC 车床、专用车床或数控专用车床组成的柔性制造线(Flexible Manufacturing Line, 简称为 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, 简称为 FMF)。

高科技产品、复杂产品、高性能产品、高技术要求产品等都需要用数控机床进行加工,而数控车床在数控机床中的应用范围是非常广泛的,可见,数控车床在先进制造中也起着非常关键、决定性的作用。

本章小结

数控车床涉及的内容和知识比较多,本章主要对数控车床的组成及加工原理作了介绍;按数控系统的功能、主轴的配置形式、加工零件的基本类型、刀架数量、进给伺服系统 5 个方面对数控车床进行了分类;对数控车床的特点及应用进行了阐述;同时还介绍了数控车床的发展趋势以及在先进制造技术中的作用等。

习 题 1

- 1-1 什么是数控车床？
- 1-2 数控车床由哪几部分组成？各组成部分的主要作用是什么？
- 1-3 数控车床按数控系统的功能可分为几类？它们的特点是什么？
- 1-4 什么是开环、闭环、半闭环伺服系统数控车床？它们之间有什么区别？
- 1-5 解释下列名词术语：FMC、FMS、FML、FMF。
- 1-6 数控车床的主要发展方向是什么？

第 2 章 数控车削工艺

数控车床作为数控机床的主要组成部分,主要用于加工轴类、盘类等回转体零件。通过数控程序的执行,可以自动完成特征型面的加工和孔的加工。因此,在学习、应用数控车床时应首先了解其加工工艺特征,才能对加工内容、加工方法、加工路径等熟练掌握。本章针对数控车削加工工艺的内容进行详细阐述。

2.1 数控车床加工内容的选择

数控车床和普通车床在加工范围上基本一致,但是由于数控车床拥有 CNC 装置,精度高,能做直线和圆弧插补,在加工过程中能自动变速,因此,数控车床主要用于轴类和盘类回转体零件的多工序加工,具有高精度、高效率、高柔性化等综合特点,适合中小批量、形状复杂零件的多品种、多规格生产。

随着数控技术的发展,除了常见的通用 X、Z 二轴控制(卧式)车床(见图 2-1)和单刀架(见图 2-2)车床以外,数控车床的工艺和工序将更加复合化和集中化,即把各种工序(如车、铣、钻等)都集中在一台数控车床上来完成,这就是数控车加工中心。数控车加工中心包括二轴(X,Z)联动、三轴(X,Z,C)联动、四轴(X,Y,Z,C)联动等。如图 2-3 至图 2-6 所示数控车床可进行端面和圆周上任意部位的钻削、铣削和攻螺纹等加工。



图 2-1 通用 X、Z 二轴控制(卧式)

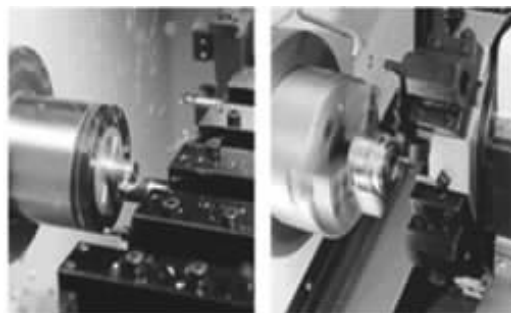


图 2-2 单刀架



图 2-3 双刀架



图 2-4 双刀架复合加工四轴控制数控车床

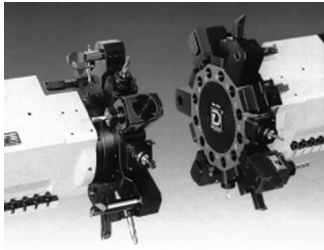


图 2-5 双主轴、双刀架



图 2-6 双主轴、双刀架数控车床

数控车床主要用于以下类型零件的加工：

(1)结构形状复杂,加工精度要求高,表面质量要求高,普通加工设备无法加工,或虽能加工但加工质量很难保证的零件,如图 2-7 和图 2-8 所示,原因如下:

①数控车床刚性好,制造和对刀精度高,可以进行人工和自动补偿,因此可以得到高的尺寸精度。

②数控车床具有恒线速功能,因此可以保证各处表面粗糙度的不同要求。

③数控车床具有直线和圆弧插补功能,因此对普通车床很难加工的非圆曲线可以采用先用直线或圆弧去逼近,然后用直线或圆弧插补功能进行加工。



图 2-7 高精度的数控车床主轴



图 2-8 高速电机主轴

(2)带特殊螺纹的回转体零件,如图 2-9 所示。一台普通车床加工螺纹只能限定若干种导程,并且只能是等导程的公制或英制直螺纹或锥螺纹,而数控车床却能够完成增、减导程

螺纹的加工,同时可以有效地保证螺纹之间的平滑过渡。又由于数控车床需要不断地调整车床的转向和起刀点,可以连续自动完成整个螺纹的加工,因此加工效率和精度都很高。

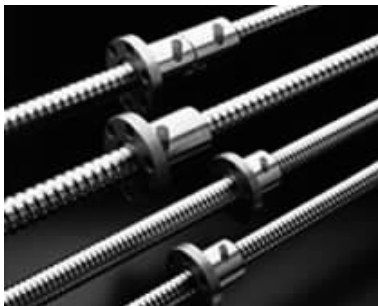


图 2-9 非标丝杠

2.2 数控车床加工工艺分析

加工工艺分析是程序编制和零件加工的前期准备工作,工艺分析将直接影响到工艺制定是否合理,而工艺制定是否合理,对程序编制、数控车床加工效率和零件的加工精度都有重要的影响。

1. 零件图的工艺分析

1) 分析零件的结构工艺性

零件结构工艺性是指零件结构的设计是否便于加工,因此对于数控车床上的工件,应该考虑工件的外形、结构,工件上需加工的部位,其结构特点是否适应于数控车床的加工特点。

2) 分析零件的精度及技术要求

零件的精度及技术要求是设计者根据零件的工作性质而设计的,因此在加工过程中对零件的精度和技术要求必须认真对待,只有在加工前对零件的精度及技术要求有了全面的理解,才能对加工方法、装夹方法、刀具选用、切削用量选用做出合理的选择。

精度和技术要求分析主要包括精度和技术要求是否完善,尺寸精度等级需要什么样的加工方法,所有的精度等级要求是否能够在一次装夹中完成,表面粗糙度要求是否能够实现等。

3) 分析零件的工艺基准

对零件的工艺基准进行分析,了解零件的设计基准,从而确定零件的工艺基准,进而设定零件的定位基准、测量基准。

4) 分析工件的加工类型

根据产品生产的批量(单件生产、成批生产或大量生产)和生产类型不同,所采用的加工工艺方案也不同。

2. 表面的加工方法

表面的加工方法是设计加工工艺时一个非常重要的环节,能否实现加工目的主要就看有没有合适的加工方法。另外,加工方法要根据零件的加工精度要求来设计。

1) 经济加工精度和经济表面粗糙度

机械加工过程中,各种不同的加工方法和路径得到的加工精度和表面粗糙度也不相同。每种加工方法在不同的加工条件下,得到的加工精度也会有很大的区别。得到的加工精度和表面质量越好,需要的加工难度也会越大,加工成本也就越高。在实际生产中,对零件精度要求的原则是加工达到经济加工精度即可。经济加工精度是指在正常加工条件下所能达到的加工精度。经济表面粗糙度是指在正常加工条件下所能达到的表面粗糙度。正常加工条件是指采用符合质量标准的设备、工艺装备和标准技术等级的工人,并且不延长加工时间。

2) 加工方法

一般零件都由不同的加工表面组成,每一种表面都有其专用的加工方法,合理地选择加工方法和方案是机械加工工艺中的一个重要环节。一般情况下,外圆加工采用车削、磨削等;内孔加工采用钻、扩、铰、镗等;平面加工采用铣、刨、车、磨等方法。在选择加工方法时要根据表面特征以及现有生产条件来选择,切不可盲目选择,造成加工工艺脱离实际,成为一纸摆设。

3. 加工方案的确定

制定加工方案是制定工艺方案中非常重要的一步,要做到所有设计尽量符合本厂数控车床设备条件,减少产品上市时企业的资金投入。尽量把加工任务指定给最适宜的工种,以利于发挥车床的加工特长与使用效率。合理安排加工顺序,以便满足零件的精度和技术要求。

根据零件的加工精度、表面质量及生产类型特点,数控加工外圆表面的方案设计见表 2-1。

表 2-1 外圆表面加工方案

序号	精度等级	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	加工方法	备注
1	IT11	50~12.5	普通型数控车床:粗车	淬火钢除外
2	IT10~IT8	6.3~3.2	普通型数控车床:粗车一半精车	
3	IT8~IT7	1.6~0.8	普通型数控车床:粗车一半精车一精车	
4	IT8~IT7	0.8~0.4	普通型数控车床:粗车一半精车一磨床磨削	不适用于 有色金属
5	IT7~IT6	0.4~0.1	精密型数控车床:粗车一半精车一磨床粗磨一精磨	
6	IT5	0.1~0.012	精密型数控车床:粗车一半精车一精车一细车	极高精度 的外圆加工
7	IT5 以上	0.025~0.006	高档精密型数控车床:粗车一半精车一精车一精密车	
8	IT5 以上	0.1~0.006	高档精密型数控车床:粗车一半精车一磨床粗磨一精磨一研磨	

以上是外圆表面加工的常用方法,另外,还要根据工件的加工批量大小,确定加工工序的集中与分散,充分估计加工中可能出现的问题,有针对性地予以解决。

4. 划分加工阶段

为了达到特定的加工目的,在进行机械加工时一般会对整个加工进行阶段性划分。

1) 各加工阶段的主要任务

划分加工阶段的目的是为了实现加工精度和表面粗糙度的要求,其中粗加工阶段的目的是切除毛坯大部分余量,使毛坯接近成品的形状和尺寸,为后面的加工提供方便;半精加工阶段的目的是使主要表面达到一定的精度,并且留下一定的精加工余量,为精加工(如精车、精磨)做好准备,同时完成一些次要表面的加工,如扩孔、攻螺纹、铣键槽等;精加工阶段的目的是保证各主要表面达到规定的精度和表面粗糙度;光整加工阶段的目的是对零件精度和表面粗糙度要求很高(IT6 级以上、 $R_a 0.2 \mu\text{m}$ 以下)的表面进行光整加工,获得很高的尺寸精度,降低表面粗糙度或使其表面得到强化。

2) 划分加工阶段的原因

工件加工划分阶段后,粗加工因加工余量大、切削力大等因素造成的加工误差,可通过半精加工和精加工逐步得到纠正,保证加工质量;粗加工要求功率大、刚性好、生产率高的设备,可用精度不高的普通车床来完成;毛坯的各种缺陷,如气孔、砂眼和加工余量不足等,在粗加工后即可发现,便于及时修补或报废,以免继续加工后造成工时和费用的浪费;粗加工后一般要安排时效处理,消除残余应力,精加工则要求在精度高的设备或数控车床上完成;划分加工阶段后,可充分发挥粗、精加工设备的特点,避免以精干粗,做到合理使用设备;精加工前要安排淬火等最终热处理,引起的变形又可在精加工中消除,使冷热工序配合得更好;精加工、光整加工安排在后,可保护精加工和光整加工过的表面少受磕碰损坏。

因此,加工阶段的划分可以达到以下目的:保证加工质量;便于及时发现毛坯缺陷;有利于合理使用设备;便于安排热处理工序。

5. 工序的划分

1) 工序划分的原则

在确定各工序的具体加工内容时,可以有以下两种方法:一是将工件的加工集中在少数几道工序内完成,每道工序的加工内容较多,称为工序集中,这种方法适合采用数控车床、高效专用设备及工装;二是将工件的加工,分散在较多的工序内进行,每道工序的加工内容很少,称为工序分散,这种方法使用的设备及工艺装备比较简单,调整和维修方便。

工序集中和工序分散主要根据零件的生产类型、产品的结构特点、零件的技术要求、产品的市场前景、现有的生产条件等因素来决定。随着数控技术的不断发展,灵活高效的数控车床使加工工序高度集中,给中小企业和多品种的生产带来了很大的竞争空间,因此,在现代市场中工序集中越来越多地得到广泛应用。

2) 工序划分的方法

工序的划分要根据零件的结构特点,对于不同的加工内容分别设定不同的加工工序,一般情况下,工序划分的方法如下:

- (1)需要多种车床加工的零件工序要以不同的车床划分工序。
- (2)需要多次装夹才能完成加工的往往以每一次安装作为一道工序。
- (3)精度要求高、容易变形的零件,为了避免粗加工的强切削力把零件的变形带到下一步的精加工,以粗、精加工划分工序。
- (4)加工表面较多的零件,可以按零件结构特点将各个表面组合在一起作为一道工序加工。
- (5)为了避免由于程序太长而引起编制程序困难或者系统的某些限制,可以考虑以一定的程序段长度来划分工序。
- (6)对回转类零件需要安排的非数控车削加工,如渐开线齿形、键槽、花键表面、喷丸、滚压加工、抛光、热处理等,应独立安排工序。

6. 加工顺序的安排和进给路线的确定

加工顺序通常包括切削加工工序、热处理工序和辅助工序等,工序安排的科学与否将直接影响到零件的加工质量、生产率和加工成本。

1) 切削加工工序安排的一般原则

切削加工工序安排的一般原则如下:

- (1)先进行粗加工,粗加工之后再进一步进行半精加工、精加工。粗加工是对各个表面的大余量

加工,一般切削厚度大,切削力大,切削产生的热量多,工件有较大的变形量。如果粗加工和精加工混合进行,必然会使粗加工产生的工件变形量带到精加工中来,就会使零件的加工质量受到影响。因此,为了保证零件的加工精度,应把精加工安排在粗加工完全结束之后再进行。

(2)内外表面加工交叉进行。对内表面和外表面都需加工的零件,为了提高加工精度,安排加工顺序时,通常应先进行内外表面粗加工,后进行内外表面精加工。切不可将零件一部分表面(外表面或内表面)加工完毕后,再加工其他表面(内表面或外表面)。

(3)先近后远。先近后远就是按加工部位相对于加工所设定的对刀点(起刀点)距离的远近而言,为了缩短刀具移动距离,减少空行程时间,一般情况下,离对刀点近的部位先加工,离对刀点远的部位后加工。

2) 热处理工序的安排

热处理可以提高材料的力学性能,改善金属加工性能以及消除残余应力。在制定工艺路线时应根据零件的材料性质、技术要求合理安排热处理工序。常用的热处理方式有退火、正火、调质、时效、淬火、渗碳等,按照其目的可以分为预备热处理、消除残余应力处理和最终热处理。

(1)预备热处理。如正火、退火和调质等,其目的是改善工件的加工性能,消除内应力,改善金相组织,为最终热处理做好准备。预备热处理一般安排在粗加工前,但调质常安排在粗加工后进行。如低碳钢在加工前应安排正火处理提高硬度,以防加工时粘刀。

(2)消除残余应力处理。如时效和退火等,其目的是消除毛坯制造和切削加工过程中产生的残余应力。除铸造件以外,对于刚性差、精度高的零件可以安排多次时效处理,以利于稳定加工精度。

(3)最终热处理。如调质、淬火一回火,以及各种表面处理(渗碳淬火、氰化和氮化等),其目的是提高零件的力学性能,如强度、硬度、耐磨性,一般安排在精加工前。

3) 辅助工序的安排

辅助工序对产品的最终质量有着非同小可的作用,主要有检验、去毛刺、倒棱、清洗、防锈、去磁和平衡等,其中检验不仅要求各工序操作人员自检,而且在粗加工之后、关键工序前后、送外车间加工前后、全部工作完成之后都要安排。

4) 进给路线的确定

确定进给路线的一般原则如下:

(1)保证零件的加工精度和表面粗糙度要求。

(2)缩短走刀路线,减少进退刀时间和其他辅助时间。如图 2-10 所示,矩形进给路线适用于棒料毛坯,进给路线较短;三角形进给路线适用于棒料毛坯,进给路线较长;仿形进给路线适用于铸、锻件毛坯,进给路线较短。

(3)方便数值计算,减少编程工作量。

(4)尽量减少程序段数。

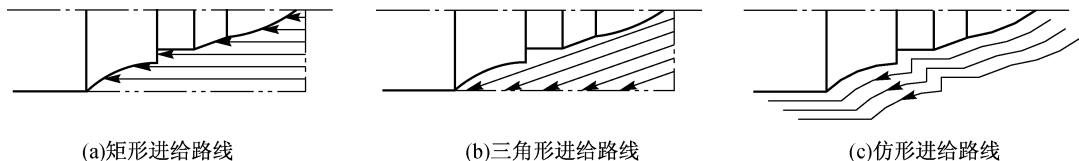


图 2-10 3 种进给路线

2.3 夹具与刀具的选择

2.3.1 车床夹具的选择

数控车床是企业最常用的车床种类,它主要用于加工内外圆柱面、圆锥面、回转成形面、螺纹及端平面等。由于其加工范围以及结构特征的原因,常用的车床夹具可以分为如下两种类型。

1. 安装在车床主轴上的夹具

安装在车床主轴上的夹具包括各种卡盘、顶尖等通用夹具、其他数控车床附件以及根据加工的需要设计的各种心轴或其他专用夹具,它们与车床主轴连接,从而带动工件一起随主轴旋转,在实际生产中用得相对较多。这类夹具主要有三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘、花盘、心轴等。

(1)三爪自定心卡盘。三爪自定心卡盘如图 2-11 所示,它是车床上的通用夹具,其特点是拥有自动定心作用,适用于装夹轴类、盘套类零件。

(2)四爪单动卡盘。四爪单动卡盘如图 2-12 所示,其各个卡爪可以分别自由移动,适用于外形不规则、非圆柱体、偏心、有孔距要求(孔距不能太大)及位置与尺寸精度要求高的零件,是车床扩大加工范围的一种夹具。

(3)花盘。花盘如图 2-13 所示,其主要由大圆盘、角铁、配重块等组成,可以与其他车床附件一起使用,适用于外形不规则、偏心及需要端面定位夹紧的工件。由于花盘本身比较重,所以一般用花盘装夹工件时车床转速较低。



图 2-11 三爪自定心卡盘



图 2-12 四爪单动卡盘

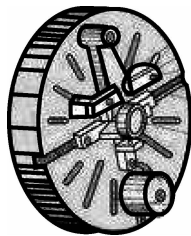


图 2-13 花盘

(4)心轴。心轴主要有圆柱心轴、圆锥心轴和花键心轴等多种类型。一般情况下圆柱心轴主要用于套筒和盘类零件的装夹,采用轴向夹紧的原理工作;圆锥心轴(小锥度心轴)的定心精度高,但工件的轴向位移误差加大,多用于以孔为定位基准的工件,采用锥面夹紧的原理工作;花键心轴用于以花键孔定位的工件,采用键槽侧面配合的原理工作。在使用时要根据不同的工件要求来选择或者制造不同类型的心轴。

2. 安装在滑板或床身上的夹具

安装在滑板或床身上的夹具常常直接安装在车床滑板上做直线进给运动,刀具则安装在车床主轴做旋转运动,主要适用于某些形状不规则和尺寸较大的工件的加工,如在卧式车床上镗削加工箱体类零件的轴承孔。

在数控车床中对夹具提出了特别的要求:尽量避免专用夹具的设计,以降低生产成本;尽量采用自动夹具,以利于提高生产效率;夹具要敞开,其定位、夹紧机构元件不能影响加工中的走刀(如产生碰撞等);为提高数控加工的效率,批量较大的零件加工可以采用多工位、气动或液压夹具。

2.3.2 刀具与切削用量的选择

1. 刀具的选择

选择刀具通常要考虑车床的加工能力、工序内容和工件材料等因素。数控加工不仅要求刀具的精度高、刚度好、耐用度高,而且要求尺寸稳定,安装调整方便。

数控车床兼做粗精车削。粗车时,要选用强度高、耐用度好的刀具,以满足粗车时大吃刀量、大进给量的要求。精车时,要选用精度高、耐用度好的刀具,以保证加工精度的要求。此外,为减少换刀时间和方便对刀,应尽可能采用机夹刀和机夹刀片。夹紧刀片的方式要选择得比较合理,刀片最好选择涂层硬质合金刀片。刀片的选择是根据零件的材料种类、硬度、加工表面粗糙度要求和加工余量等已知条件来决定刀片的几何结构(如刀尖圆角)、进给量、切削速度和刀片型号。具体选择可参考相关切削用量手册。

数控车床所用刀具的要求应高于普通车床所用刀具,因此还应注意以下几点:

(1)同一批刀具的切削性能和使用寿命要稳定,以便实现按刀具使用寿命换刀或由数控系统对刀具寿命进行管理。

(2)刀具必须具有较高的精度,以适应数控加工的高精度和自动换刀的要求。

(3)刀具及其刀柄等附件的可靠性及适应性要高,以免在数控加工中发生意外损坏。

(4)刀具的耐用度应比普通车床用的刀具更高,以减少更换、刃磨刀具及对刀次数,发挥数控车床的效益。

(5)刀具的断屑和排屑性能要好。因为在数控车床加工时不能像普通车床加工那样,可以由人工进行及时断屑和排屑。如果切屑缠绕在刀具和工件上,轻则损坏刀具、划伤已加工表面;重则会损坏设备或发生伤人事故。

2. 常用刀具材料

1) 高速钢

高速钢是在合金工具钢中加入较多的钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金工具钢。它具有较高的强度、韧性和耐热性,是目前应用最广泛的刀具材料。因为刃磨时易获得锋利的刃口,所以高速钢又称为“锋钢”。高速钢按用途不同,可分为普通高速钢和高性能高速钢。常用的普通高速钢有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 等。高性能高速钢包括高碳高速钢(如 9W18Cr4V)、高钒高速钢(如 W12Cr4V2Mo)、超硬高速钢(如 W6Mo5Cr4V2Al、W10Mo4Cr4V3Al)3 种。

2) 硬质合金

硬质合金是由硬度和熔点都很高的碳化物(WC、TiC、TaC、NbC 等)粉末和黏结剂(Co、Mo、Ni 等)经高压成形,再经过高温烧结而成的粉末冶金制品。其中的金属碳化物熔点高,硬度高,热稳定性好,所以其常温硬度可达 78~82 HRC,允许切削温度达 850~1 000 °C,切削速度远远高于高速钢,其不足之处是抗震性、耐冲击韧性以及抗弯强度较差。我国常用的硬质合金主要分为如下 3 类:

(1)钨钴类,又称为 K 类,代号 YG。钨钴类刀具材料主要成分有碳化钨和钴。这类硬

质合金韧性较好,但硬度和耐磨性较差,常用的钨钴类硬质合金牌号有 YG3X、YG3、YG6X、YG6、YG8、YG6A,其中的数字表示钴含量的百分数,如 YG6 含钴为 6%。含钴越多,则韧性越好。钨钴类硬质合金主要适用于加工铸铁、有色金属及其合金等脆性材料,亦可用于高锰钢、淬硬钢的半精加工和精加工。

(2)钨钛钴类,又称为 P 类,代号 YT。钨钛钴类刀具材料主要成分有碳化钨、碳化钛和钴。这类硬质合金的耐热性和耐磨性较好,但抗冲击韧性较差。常用的钨钛钴类硬质合金牌号有 YT5、YT14、YT15、YT30 等,其中的数字表示碳化钛含量的百分数。如 YT5 含碳化钛为 5%。碳化钛的含量越高,则耐磨性越好,韧性越低。钨钛钴类硬质合金主要适用于加工碳素钢、合金钢等韧性材料。

(3)钨钴钛钽铌类,又称为 M 类,代号 YW。钨钴钛钽铌类刀具材料是在钨钛钴类硬质合金中加入少量的稀有金属碳化物(TaC 或 NbC)而形成,常用的钨钴钛钽铌类硬质合金牌号有 YW1、YW2,这种材料称为万能硬质合金。应用这种材料制造的刀具既能加工脆性材料,又能加工韧性材料,同时还能加工难加工材料,如铸铁、有色金属及其合金、普通钢材、高锰钢和不锈钢等。

3)其他刀具材料

除了上述介绍的高速钢和硬质合金两种材料以外,刀具材料还包括以下几种:

(1)涂层刀具材料。涂层刀具材料就是在硬质合金基体上或其他刀具材料基体上,涂覆一层耐磨性极高的难熔金属(或非金属)化合物而得到的刀具材料。常用的涂层材料有 TiC、TiN、Al₂O₃、TiAlN 和超硬材料。由于涂层与基体之间有一层富钴层,因此有效提高了刀具的抗崩损破坏能力,可加工各种结构钢、合金钢、不锈钢、硅铝合金、铜合金、石墨、非铁金属等。由于这种刀具既具有基体材料的强度和韧性,又具有很高的耐磨性,因此在工业发达国家涂层刀片的使用已经占到可转位刀片的 50%~60%。

(2)陶瓷刀具材料。陶瓷刀具材料是以 Al₂O₃ 或 Si₃N₄ 为基体材料在高温下烧结而成的。刀片硬度可达 91~95 HRC,在 1 200 °C 的高温时仍然能够进行切削加工,耐磨性、化学惰性、抗黏结性、抗扩散磨损能力好,但抗弯强度低,冲击韧性差,易崩刃。陶瓷刀具材料主要用于钢、铸铁、高硬度材料及高精度零件的精加工。

(3)超硬材料。超硬材料包括天然金刚石、聚晶金刚石、立方氮化硼等。天然金刚石硬度极高,可达 8 000~12 000 HV,耐磨性极好,刃口锋利,刀具寿命长,主要用于硬质合金、玻璃纤维塑料、硬橡胶、石墨、陶瓷、有色金属等材料的高速精加工,不宜加工黑色金属。聚晶金刚石是由金刚石微粉在高温下聚合而成的,性能类同天然金刚石,价格便宜,可在大部分场合代替天然金刚石。聚晶立方氮化硼 PCBN 是由单晶体立方氮化硼在高温下聚合而成的。其硬度仅次于金刚石,热稳定性好,在 1 000 °C 的温度不与铁、镍、钴发生化学反应,可以弥补金刚石的不足,主要用于加工淬火钢、冷硬铸铁、高温合金等难加工材料。由于金刚石、立方氮化硼等材料韧性差,硬度高,因此要求使用这类刀具的车床刚性好,速度高,功率大,主轴摆动小。

3. 刀具种类

车削刀具具有加工外圆、内孔、螺纹、切断和切槽等多种,如图 2-14 所示。常用车削刀具具有高速钢整体刃磨刀具、硬质合金焊接式刀具和机夹可转位刀具等。目前,在数控加工中机夹可转位刀具的应用已非常普遍,采用这种刀具可大大缩短工艺辅助时间,提高切削效率。机夹可转位车刀的夹紧结构有如图 2-15 所示的楔块夹紧式(M 类)、杠杆夹紧式(S 类)和上压夹紧式(P 类)3 种形式。

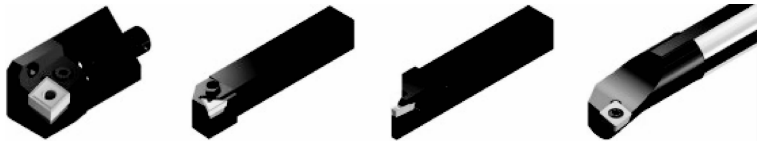


图 2-14 车削刀具种类

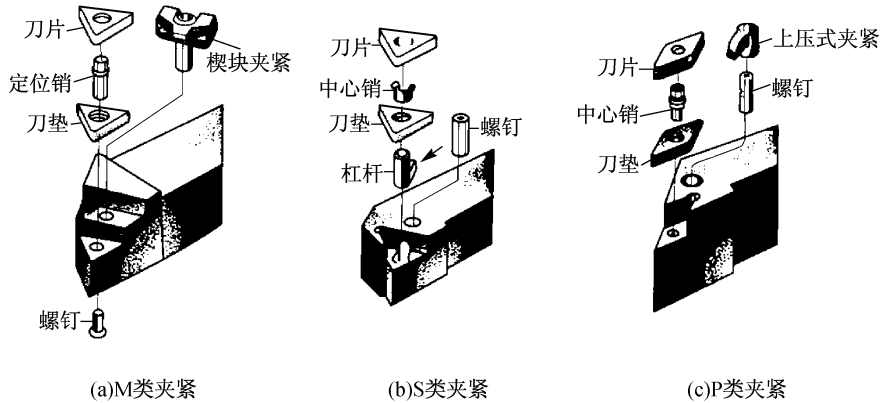


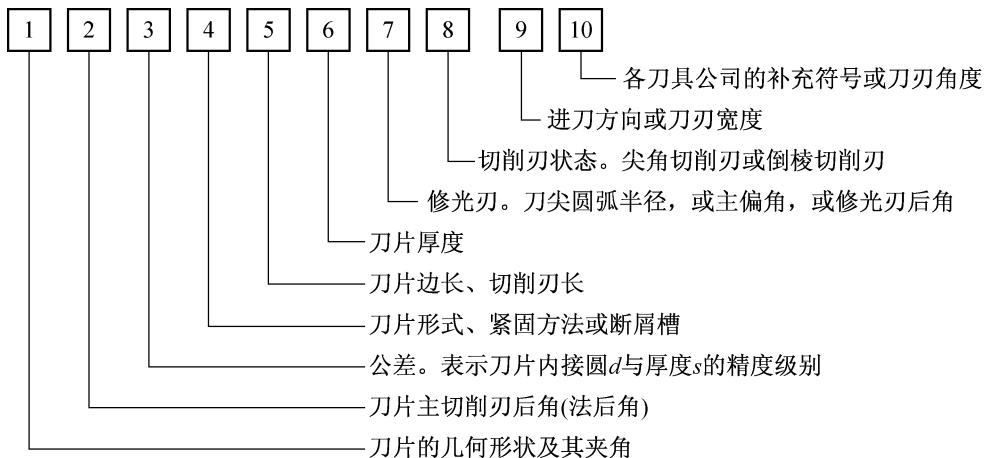
图 2-15 机夹可转位车刀夹紧形式

车削刀具的选用步骤如下：

- (1) 确定工序类型——外圆、内孔。
- (2) 确定加工类型——外圆车削、端面车削、仿形车削、插入车削。
- (3) 确定刀具夹紧系统——M 类夹紧、S 类夹紧、P 类夹紧。
- (4) 选定刀具类型——外圆车刀、切断刀、螺纹刀等。
- (5) 确定刀柄尺寸——16、20、25、32、40。
- (6) 选择刀片——形状、型号、槽型、刀尖半径、牌号。

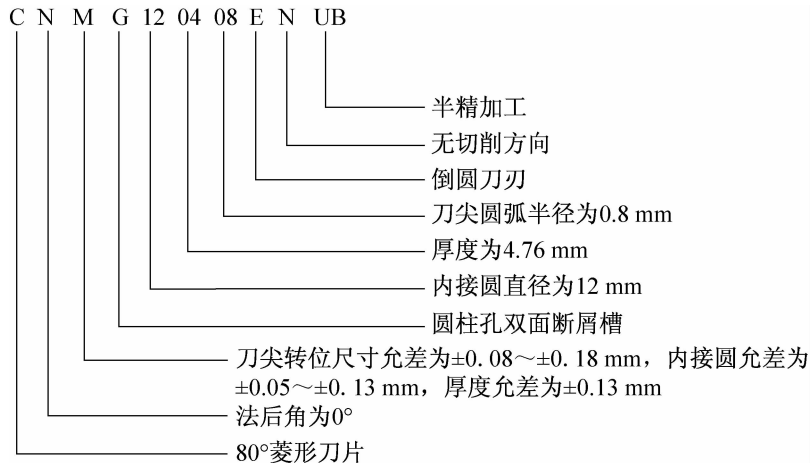
4. 可转位刀片的代码

按国际标准 ISO1832—2004,可转位刀片的代码表示方法是由 10 个字符串组成的,其排列如下：



例 2-1 请写出车刀可转位刀片 CNMG120408ENUB 公制型号的含义。

解



5. 切削用量的确定

切削用量包括主轴转速(切削速度)、背吃刀量和进给量。对于不同的加工方法,需要选择不同的切削用量,并应编入程序单内。合理选择切削用量的原则为:粗加工时,一般以提高生产率为主,但也应考虑经济性和加工成本,通常选择较大的背吃刀量和进给量,采用较低的切削速度;半精加工和精加工时,应在保证加工质量的前提下,兼顾切削效率、经济性和加工成本,通常选择较小的背吃刀量和进给量,并选用切削性能高的刀具材料和合理的几何参数,以尽可能提高切削速度。具体数值应根据数控车床说明书、切削用量手册并结合经验而定。

(1)背吃刀量 a_p 。背吃刀量又称为切削深度,主要根据数控车床、夹具、刀具和工件的刚度来决定。在刚度允许的情况下,应以最少的进给次数切除加工余量,最好一次切除余量,以便提高生产效率。精加工时,则应着重考虑如何保证加工质量,并在此基础上尽量提高生产率。在数控车床上,精加工余量可小于普通车床,一般取 0.2~0.5 mm。

(2)主轴转速 n 。主轴转速主要根据允许的切削速度 v_c 选取。

$$v_c = \frac{\pi D n}{1\ 000}$$

式中, v_c 为切削速度,由刀具的耐用度决定, m/min; D 为工件或刀具直径, mm; n 为主轴转速, r/min。

要根据计算值在数控车床说明书中选取标准值,并填入程序单中。

(3)进给量 f 。进给量又称为进给速度,单位为 mm/min 或 mm/r,它是数控车床切削用量中的重要参数,主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具、工件材料性质选取。最大进给量则受数控车床刚度和进给系统的性能限制,并与脉冲当量有关。当加工精度、表面粗糙度要求高时,进给速度(进给量)应选小些,一般在 20~50 mm/min 范围内选取。粗加工时,为缩短切削时间,一般进给量就取得大些。工件材料较软时,可选用较大的进给量;反之,应选较小的进给量。

(2)数控加工工序卡。数控加工工序卡(见表 2-3)是编程的主要依据和指导操作人员进行数控加工的主要工艺文件。其内容包括工步顺序、工步内容、各工步所用的刀具和切削用量等,多用于大批量生产和成批生产中的重要零件。

表 2-3 加工工序卡

工厂名		加工工序卡			产品名称及型号	零件名称	零件图号	工序名称	工序号	第 页								
										共 页								
						车间	工段	材料名称	材料牌号	力学性能								
						同时加工件数			每台件数			技术等级	单件时间	准终时间				
						设备名称			设备编号			夹具名称	夹具编号	切削液				
工步号	工步内容	计算数据 /mm			切削用量			工时定额 /min			刀具、量具及辅助工具							
		直径或长度	进给长度	单边余量				走刀次数	基本时间	辅助时间				工作地服务时间	工步号	名称	规格	编号
					进给量 / (mm/r 或 mm/min)	背吃刀量 /mm	切削速度 / (r/min 或 m/min)											
编制	抄写			校对			审核			批准								

(3)数控加工刀具卡。数控加工刀具卡(见表 2-4)是装刀和调整刀具的依据。其内容包括刀具号、刀具型号、刀柄型号、刀长及半径补偿量等。

表 2-4 数控加工刀具卡

零件号		零件名称		编制	审核
程序号				日期	日期
工步号	刀具号	刀具型号	刀柄型号	刀长及半径补偿量	备注
	T__			H__=_____ D__=_____	
	T__			H__=_____ D__=_____	
	T__			H__=_____ D__=_____	
	T__			H__=_____ D__=_____	

4. 制定工艺规程的基本要求和步骤

1) 制定工艺规程的基本要求

制定工艺规程的基本要求是在保证产品质量的前提下,能尽量提高生产率和降低成本。同时,还应注意做到技术上的先进性、经济上的合理性,保证工人具有良好的劳动条件。因此,在制定工艺规程时,工艺人员必须认真研究原始资料,如产品图样、生产纲领、毛坯资料及生产条件的状况等。然后参照同行业工艺技术的发展,综合本部门的生产实践经验,进行工艺文件的编制。

2) 制定工艺规程的步骤

制定工艺规程可按以下步骤进行:

- (1)对零件工作图和产品装配图进行分析、研究与工艺审查。
- (2)根据产品的生产纲领确定生产类型。
- (3)确定毛坯的种类、制造方法和外形尺寸。
- (4)确定零件的定位基准以及主要表面的加工方法。
- (5)拟订零件的加工工艺路线。
- (6)根据零件图纸要求以及尺寸链确定工序尺寸、公差及其技术要求。
- (7)根据企业设备情况确定车床、工艺装备,对需要改装或新增的设备提出任务书。
- (8)确定工序余量、切削用量及时间定额。
- (9)确定各个工序的技术要求和检验方法,进行方案对比,确定最佳方案。
- (10)填写工艺文件。

5. 机械加工工艺规程设计原则

机械加工工艺规程设计原则如下:在保证零件加工质量,达到设计图纸规定的各项技术要求的前提下尽量提高生产效率和降低生产成本;在充分考虑和利用现有生产条件的情况下,尽可能采用先进技术和工艺,减少材料和能源消耗,并尽量减轻工人劳动强度,保证良好的生产环境;同时工艺规程应该完整、正确、统一、清晰,所用术语、符号、计量单位和编号都要符合相应的标准。

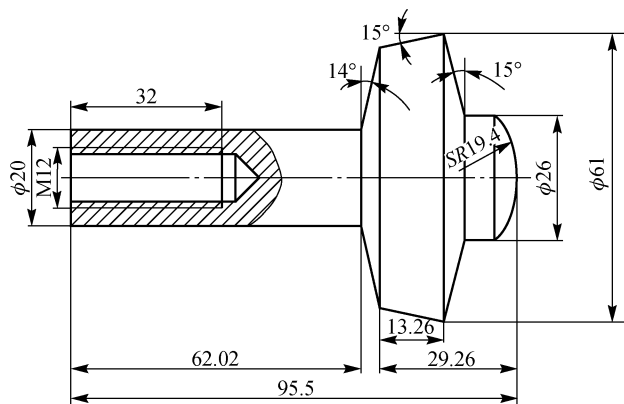
本章小结

数控车削的工艺对程序编制、加工效率和加工精度等都有重要的影响。通过学习本章的内容,需要了解数控车床的加工内容和刀具的种类,掌握数控车削的加工方法与选择,工序和加工阶段的划分,零件的装夹方式与夹具的选择,切削加工进给路线的确定,加工刀具的作用与选择,粗加工、半精加工和精加工时的切削用量的选择,工艺规程的设计步骤等内容。

习 题 2

- 2-1 简述数控车床的主要特点。
- 2-2 数控车床适合于什么样的零件加工?
- 2-3 简述加工工序的安排原则。
- 2-4 什么是经济加工精度?
- 2-5 简述工艺规程的作用。
- 2-6 为什么要划分加工阶段?
- 2-7 零件图的工艺分析的内容是什么?
- 2-8 简述机械加工工艺规程设计原则。
- 2-9 简述工序集中与工序分散的区别。

2-10 如图题 2-10 所示零件的材料为 45 钢,毛坯尺寸为 $\phi 66 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$,零件的径向尺寸公差为 $\pm 0.01 \text{ mm}$,角度公差为 $\pm 0.1^\circ$,生产批量为 40 件。请对该零件进行加工工艺分析。



图题 2-10

第 3 章 数控车床编程基础

在普通车床上加工零件时,所有动作都是由操作人员按工艺员制定的零件加工工艺规程手动操作,而在数控车床上加工零件时,数控车床的动作是由数控程序来控制的。本章主要介绍数控编程的基础知识。对配有不同数控系统的车床,加工指令的格式可能会有所不同,但基本方法和步骤是相同的。

3.1 数控编程内容与方法

数控车床是按事先编好的加工程序进行零件加工的,程序编制的好坏将直接影响零件的加工质量、生产效率和刀具寿命。因此,编制数控加工程序是使用数控车床的一项重要技术工作。

数控编程是数控加工的重要步骤。在用数控车床对零件进行加工时,首先要对零件进行加工工艺分析,以确定加工方法和加工工艺路线。然后按照加工工艺要求,根据所用数控车床规定的指令代码及程序格式,将刀具的运动轨迹、位移量、切削参数(如主轴转速、进给量、吃刀深度等)以及辅助功能(如换刀、主轴正转/反转、切削液开/关等)编写成加工程序单,传送或输入到数控装置中,从而指挥车床加工零件。数控编程是指从零件图纸到获得数控加工程序的全部工作过程,如图 3-1 所示。

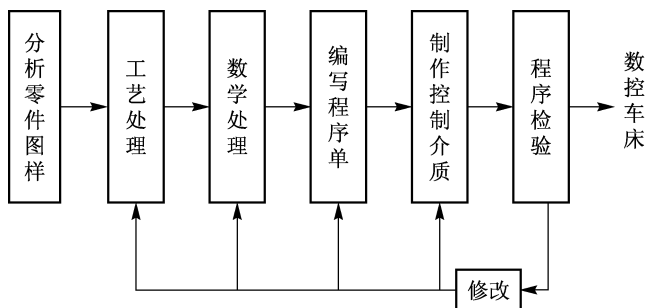


图 3-1 数控加工程序编制过程

3.1.1 数控编程的内容

一般来说,数控编程工作主要包括以下几个方面。

1. 分析零件图样

首先明确图纸上标明的零件材料、形状、尺寸精度及毛坯形状和热处理要求,以便确定零件毛坯形状是否适合在数控车床上加工,或适合在哪种类型的数控车床上加工,并明确加工的内容和要求,从而确定工件在数控车床上进行加工的可行性。

2. 制定工艺方案

选择适合数控加工的加工工艺,是提高数控加工技术经济效果的首要因素。制定数控加工工艺除需考虑一般工艺原则外,还应考虑充分发挥所有数控车床的指令功能,正确选择对刀点,尽量缩短加工路线,减少空行程时间和换刀次数,尽量使数值计算方便,程序段要少等。这一工作要求编程人员能够对零件图样的技术特性、几何形状、尺寸及工艺要求进行分析,并结合数控车床使用的基础知识,如数控车床的规格、性能、数控系统的功能等,确定加工方法和加工路线。

3. 数值计算

在确定了工艺方案后,需要根据零件的几何尺寸、加工路线等,计算刀具中心的运动轨迹。数控系统一般均具有直线插补与圆弧插补功能,对于加工由圆弧和直线组成的较简单的平面零件,只需要计算出零件轮廓上相邻几何元素交点或切点的坐标值,得出各几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标值等即可;对于形状比较复杂的零件(如由非圆曲线、曲面组成的零件),需要用直线段或圆弧段逼近,根据加工精度的要求计算出节点坐标值,这种数值计算一般要用计算机来完成。

4. 编写零件加工程序单

加工路线、工艺参数、刀具号码、刀具补偿要求及辅助动作等确定以后,即可编写零件加工程序。程序编制人员按照车床数控系统使用的指令代码和程序格式要求,逐段编写零件加工程序清单。此外,还应填写有关的工艺文件,如数控加工工序卡片、数控刀具卡片、数控刀具明细表、数控走刀路线图等。

5. 程序检验和首件试切

将编写好的加工程序输入数控系统,控制数控车床工作。一般在正式加工之前,程序必须经过检验或试切才能正式使用。通常可采用车床空运转的方式,来检查车床动作和运动轨迹的正确性,以检验程序。在具有图形模拟显示功能的数控车床上,可以用模拟刀具对工件切削过程进行检验,但这种方法只能检验运动轨迹是否正确,不能检测出零件的加工精度。对于形状复杂和加工精度要求高的零件,也可采用铝件、塑料或石蜡等易切材料进行试切来检验程序,或进行零件的首件试切。通过试加工可以检查其加工工艺及有关切削参数设定得是否合理,加工精度能否满足零件图要求,加工工效如何,以便进一步改进。当发现加工的零件不符合加工技术要求时,可修改程序或采取尺寸补偿等措施,直到加工出满意的零件为止。

3.1.2 数控编程的方法

数控加工程序的编制方法主要有手工编程和自动编程两种。

1. 手工编程

手工编程是指各个步骤均由人工编制,即从零件图分析、工艺处理、数据计算、编写程序单、输入程序到程序检验等各步骤主要由人工完成的编程过程。对形状简单的工件,计算比较简单,程序不多,采用手工编程较容易完成,而且经济、及时。因此,在点定位加工及由直线与圆弧组成的轮廓加工中,手工编程仍广泛应用。但对于几何形状复杂的零件,特别是具有列表曲线、非圆曲线及曲面组成的零件(如叶片、复杂模具),或者表面的几何元素并不复

杂而程序量很大的零件(如复杂的箱体),手工编程就有一定的困难,出错的概率大,有的甚至无法编出程序,必须采用自动编程的方法编制程序。手工编程指主要由人工来完成数控编程中各个阶段的工作,如图 3-2 所示。

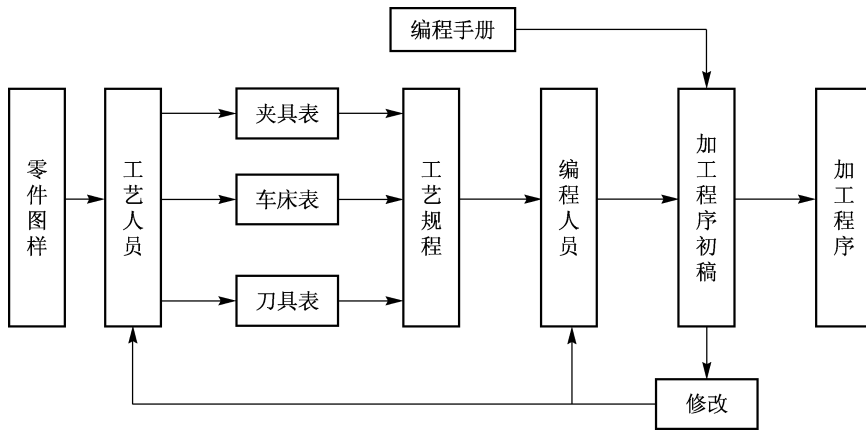


图 3-2 手工编程

2. 自动编程

自动编程是利用计算机专用软件来编制数控加工程序,它充分发挥了计算机快速运算和存储的功能。其特点是编程人员只需根据零件图样的要求,采用简单、习惯的语言对加工对象的几何形状、加工工艺、切削参数及辅助信息等内容按规则进行描述,再由计算机自动地进行数值计算、刀具中心运动轨迹计算、后置处理,产生出零件加工程序。加工程序通过直接通信的方式送入数控车床,数控车床按照加工程序指定的轨迹进行工作。对于形状复杂的零件编写加工程序,采用自动编程方法效率高,可靠性好。在编程过程中,程序编制人员能及时检查程序是否正确,发现错误可及时修改。由于计算机代替编程人员完成了繁琐的数值计算工作,并省去了书写程序单等工作量,因而可大大提高编程效率,解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。

自动编程包括数控语言式自动编程和图形交互式自动编程。

1) 数控语言式自动编程

数控语言式自动编程是编程人员编程时依据所用数控语言的编程手册以及零件图样,将加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成源程序后,输入到计算机中,再由计算机进一步处理得到零件加工程序。早期的自动编程都是数控语言式自动编程。

最典型的数控语言式自动编程就是 20 世纪 50 年代由美国麻省理工学院 MIT 开发的 APT 语言,它是一种类似车间用语的工艺语言,是由一些基本符号、字母以及数字组成并有一定词法和语法的语句。用它来描述零件图的几何形状、尺寸、几何元素间的相互关系(相交、相切和平行等)以及加工时的运动顺序、工艺参数等。按照零件图样用数控语言编写的计算机输入程序称为零件源程序,它与手工编程时用数控指令代码写出的数控加工程序不同,因为数控语言编写的零件源程序,计算机是不能直接识别和处理的,必须根据具体的数控语言(高级语言或汇编语言)以及具体指令,事先给计算机编好一套能处理零件源程序的编译程序(又称为数控编程软件),将这种编译程序存入计算机中,计算机才能对输入的零件

源程序进行翻译、计算,并执行数控车床控制系统所编译的后置处理程序。

这种方式的自动编程系统一般无图形显示,不直观,易出错。虽然后来增加了一些图形校验功能,但还是要反复地在源程序方式和图形校验方式之间来回切换,并且还需要掌握数控语言,初学者用起来不太方便。

2) 图形交互式自动编程

图形交互式自动编程是以加工零件的 CAD 模型为基础,集加工工艺规程与数控编程为一体的自动编程方法,具有计算机辅助设计、绘图、工艺分析和数控编程集成功能,可实现三维设计、分析和数控编程一体化。从工件的图形定义、刀具的选择、起刀点的确定、走刀路线的安排一直到各种工艺指令的及时插入,全在对话过程中传递给了计算机,最后得到的是所需车床的数控程序单。

目前,图形交互式自动编程是使用最为广泛的自动编程方式。其特点是零件的几何形状可以在图形交互方式下定义、显示和修改,在零件设计的基础上通过定义刀具、运动方式和切削加工参数,生成走刀轨迹,完成加工过程的动态仿真和后置输出,这种自动编程具有图形显示的直观性和及时性,能较方便地进行对话修改,易学且不易出错。从 20 世纪 80 年代以后,各种不同的 CAD/CAM 集成数控编程系统如雨后春笋般发展起来,如 EZ-CAM、Master CAM、UG II、PRO/E 和 CAXA 制造工程师等。

3.2 数控程序的结构和格式

3.2.1 程序的结构

零件加工程序是由主程序和可被主程序调用的子程序组成,子程序有多级嵌套。不论是主程序还是子程序,每一个程序都是由程序号、程序内容和程序结束 3 部分组成。程序的内容则由若干按规定格式书写的程序段组成,程序段是由若干程序字组成,每个程序字又由字母和数字组成。即字母和数字组成程序字,程序字组成程序段,程序段组成程序内容。

如: O2000	程序号
N001 G91 G18 G00 X85. Z5. ;	} 程序内容
N002 S400 M03 M08;	
N003 G01 Z-10. F0.3;	
N004 X90. ;	
N005 Z-35. ;	
N006 X100. ;	
N007 Z-80. M05 M09;	
N008 G00 X120. Z50. ;	
N009 M30;	程序结束

1. 程序号

程序号为程序的开始部分,为了区别存储器中的程序,每个程序都要有程序编号,在编号前采用程序编号地址码。程序号有两种形式:一种是由英文字母 O 和 1~4 位正整数组成;另一种是由英文字母开头,字母数字混合组成的。程序名具体采用何种形式由数控系统

决定,一般要求单列一段。

2. 程序内容

程序内容是整个程序的核心,由许多程序段组成,每个程序段由一个或多个指令组成,表示数控车床要完成的全部动作。

3. 程序结束

程序结束是以程序结束指令 M02 或 M30 结束整个程序,一般要求单列一段。

3.2.2 程序的格式

1. 字符与代码的含义

字符是用来组织、控制或表示数据的一些符号,如数字、字母、标点符号、数学运算符等,它是加工程序的最小组成单位。常规加工程序用的字符分为 4 类:第一类是字母,它由 26 个大写字母组成;第二类是数字和小数点,它由 0~9 共 10 个数字及一个小数点组成;第三类是符号,由正号(+)和负号(-)组成;第四类是功能字符,它由程序开始(结束)符“%”、程序段结束符“;”、跳过任选程序段符“/”等组成。

代码由字符组成,国际上广泛采用 ISO 国际标准化组织标准代码和 EIA 美国电子工业协会标准代码两种。这两种标准代码的编码方法不同,在大多数现代数控车床上都可以使用,只需用系统控制面板上的开关来选择,或用 G 功能指令来选择。

2. 字

每个字由字母、数字和符号组成。字首是一个英文字母,称为字的地址,它决定了字的功能类别。如“X-2500”是一个坐标字,“X”为地址符,“-2500”为地址中的内容。

3. 字的功能

组成程序段的每一个字都有其特定的功能含义,不同的数控系统其含义不同。实际工作中,应遵照车床数控系统说明书来使用各个功能字。

1) 顺序号字 N

顺序号又称程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首,由顺序号字 N 和后续数字组成。顺序号字 N 是地址符,后续数字一般为 1~4 位的正整数。顺序号可用于对程序的校对和检索修改,还可作为条件转移的目标。更重要的是,标注了顺序号的程序还可以进行程序段的复归操作,这是指操作可以回到程序的运行中断处重新开始。数控加工中的顺序号实际上是程序段的名称,与程序执行的先后次序无关。数控系统不是按顺序号的次序来执行程序,而是按照程序段编写时的排列顺序逐段执行。

使用时,数字部分应为正整数,一般最小正整数为 N001。顺序号的数字可以不连续,也不一定按从小到大顺序排列,如第一段用 N005,第二段用 N015,第三段用 N010。编程时可以在每个程序段都设顺序号,也可以只在部分程序段中设顺序号,还可以整个程序段都不设顺序号。编程时一般将第一程序段冠以 N010,以后以间隔 10 递增的方法设置顺序号,这样,在调试程序时,如果需要在 N010 和 N020 之间插入程序段时,就可以使用 N011、N012 等。

2) 准备功能字 G

准备功能字 G 又称 G 功能、G 指令和 G 代码,G 指令是使数控车床做好某种操作准备的指令,用地址 G 和两位数字表示,从 G00~G99 共 100 种。目前,有的数控系统也用到 00~99

之外的数字。需要指出的是,不同生产厂家数控系统的 G 指令的功能相差大,编程时必须遵照车床使用说明书进行,FANUC 0-TD II 数控系统和 SIEMENS 802S 数控系统 G 指令见表 3-1。

表 3-1 G 指令含义表

G 指令	FANUC 系统	SIEMENS 系统
G00	快速移动点定位	快速移动点定位
G01	直线插补	直线插补
G02	顺时针圆弧插补	顺时针圆弧插补
G03	逆时针圆弧插补	逆时针圆弧插补
G04	暂停	暂停
G05	—	通过中间点圆弧插补
G17	XY 平面选择	XY 平面选择
G18	ZX 平面选择	ZX 平面选择
G19	YZ 平面选择	YZ 平面选择
G20	英制(in)	—
G21	公制(mm)	—
G25	—	主轴转速下限
G26	—	主轴转速上限
G32	螺纹切削	—
G33	—	恒螺距螺纹切削
G40	刀尖圆弧半径补偿注销	刀尖圆弧半径补偿注销
G41	刀尖圆弧半径左补偿	刀尖圆弧半径左补偿
G42	刀尖圆弧半径右补偿	刀尖圆弧半径右补偿
G50	工件坐标系设置,主轴最高转速限制	—
G52	局部坐标系设置	—
G54~G59	加工坐标系设定	可设定零点偏移
G65	用户宏指令	—
G70	精加工循环	英制
G71	内、外径粗车循环	公制
G72	端面粗车循环	—
G73	封闭切削循环	—
G74	深孔钻循环	回参考点
G75	外径切槽循环	返回固定点
G76	复合螺纹切削循环	—
G90	内、外径切削循环	绝对尺寸
G91	—	增量尺寸
G92	螺纹切削循环	—
G94	端面切削循环	每分钟进给速度
G95	每转进给量	每转进给速度
G96	恒线速控制	恒线速度
G97	恒线速取消	注销 G96
G98	每分钟进给速度	—
G99	每转进给速度	—

G 指令分为模态指令和非模态指令。模态指令(也称保持型代码或续效代码)一经在一个程序段中指定,其功能一直保持到被取消或被同组其他指令所代替,即在后续程序段中不写该指令,功能仍然起作用;非模态指令只在写有该指令的程序段中才有效。

3) 尺寸字

尺寸字也叫坐标字,用于确定车床各坐标轴的移动方向和位移量。它是由坐标地址字符和带正、负号的数字组成。其中,坐标的地址代码为:第一组 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R 用于确定终点的直线坐标尺寸;第二组 A、B、C、D、E 用于确定终点的角度坐标尺寸;第三组 I、J、K 用于确定圆弧轮廓的圆心坐标尺寸。坐标的数量由插补指令决定,数值部分为正值时“+”号可省略。如 X100 Y100。

4) 进给功能字 F

进给功能字的地址符是 F,又称为 F 功能或 F 指令,表示刀具运动时的进给速度。对于车床,F 可分为每分钟进给和主轴每转进给两种,对于其他数控机床,一般只用每分钟进给。进给速度的表示方法因数控系统的不同而异,现在一般都是使用直接给定法,即可用 F 后面的数字指定进给速度。此外还有时间倒数指定法和几何级数法。

5) 主轴转速功能字 S

主轴转速功能字的地址符是 S,又称为 S 功能或 S 指令,主要用来指定主轴转速或速度。单位为 r/min 或 m/min。S 指令的指定方法一般采用直接指定法,即在 S 后面直接写上要求的主轴转速。

6) 刀具功能字 T

刀具功能字的地址符是 T,又称为 T 功能或 T 指令,用于指定加工时所用刀具的编号。不同的数控系统有不同的指定方法和含义。对于数控车床,其后的数字还兼做指定刀具长度补偿和刀尖半径补偿用。如 FANUC 0-TD II 系统采用 T0304 的形式,表示选择 3 号刀具,按存储在内存中的 4 号补偿值进行长度补偿。又如 SIEMENS 802S 系统采用 T1 D2 的形式,表示选择 1 号刀具,按存储在内存中的 2 号补偿值进行长度补偿。

7) 辅助功能字 M

辅助功能字的地址符是 M,又称为 M 功能或 M 指令,用于指定主轴的启停、冷却液的通断等辅助动作,由字母和其后的两位数字组成。此外,还用于指定数控车床辅助装置的开关动作,M 指令因数控系统的不同而异。

4. 程序段格式

零件的加工程序由程序段组成。程序段格式是指一个程序段中字、字符、数据的书写规则,通常有字地址程序段格式、使用分隔符的程序段格式和固定程序段格式,最常用的为字地址程序段格式。

字地址程序段格式由语句号字、数据字和程序段结束组成。各字后有地址,字的排列顺序要求不严格,数据的位数可多可少,不需要的字以及与上一程序段相同的续效字可以不写。该格式的优点是程序简短、直观以及容易检查、修改。因此,该格式目前广泛使用。数控加工程序内容、指令和程序段格式虽然在国际上有很多标准,但实际上并不完全统一。因此在编制某型号具体车床的加工程序之前,必须详细了解该车床数控系统的编程说明书中的具体指令格式和编程方法。字地址程序段格式的编排顺序如下:

N _ G _ X _ Y _ Z _ I _ J _ K _ P _ Q _ R _ A _ B _ C _ F _ S _ T _ M _ LF

上述程序段中包括的各种指令并非在加工程序的每个程序段中都必须有,而是根据各

程序段的具体功能来编入相应的指令。如：

N020 G01 X35. Z46. F0.3;

3.3 数控车床坐标系

为了便于编程时描述车床的运动,进行正确的数值计算,需要明确数控车床的坐标轴和运动方向。ISO 841 制定了关于《数控机床 坐标和运动方向的命名》的国际标准,我国也相应制定了等效于 ISO 841 的标准 JB/T 3051—1999。

3.3.1 坐标系的确定原则

1. 刀具相对于静止的工件而运动的原则

刀具相对于静止的工件而运动的原则为永远假定刀具相对于静止的工件坐标系而运动。这一原则使编程人员能够在不知道刀具运动还是工件运动的情况下确定加工工艺,并且只要依据零件图样即可进行数控加工的程序编制。这一假定使编程工作有了统一的标准,无须考虑数控车床执行部件的具体运动方向。

2. 标准机床坐标系的规定

数控机床的动作是由数控系统来控制的,为了确定机床上的成形运动和辅助运动,必须先确定机床上运动的方向和运动的距离,这就需要一个坐标系才能实现,这个坐标系就称为机床坐标系。

标准的机床坐标系是一个右手笛卡尔坐标系,如图 3-3 所示。规定 X、Y、Z 这 3 个直角坐标轴的方向,这个坐标系的各个坐标轴与机床的主要导轨平行。根据右手螺旋法则,可以很方便地确定出 A、B、C 这 3 个旋转坐标的方向。

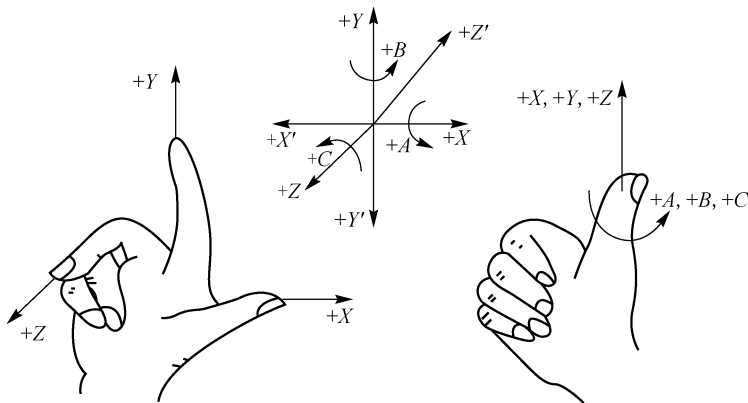


图 3-3 机床右手笛卡尔坐标系

3.3.2 运动方向的确定

数控车床某一部件运动的正方向规定为增大刀具与工件之间距离的方向,但此规定在应用时是以刀具相对于静止的工件运动为前提条件的,也就是说刀具离开工件的方向便是车床某一运动的正方向。

1. Z 坐标轴的确定

Z 坐标轴的运动由传递切削力的主轴所决定,与主轴轴线平行的标准坐标轴即为 Z 坐标轴。如图 3-4 所示,Z 轴与车床导轨平行(取卡盘中心线),正方向是远离卡盘的方向,车床及其他成形表面的机床是主轴带动工件旋转。在图 3-4 中,Z 轴的正方向是增加刀具与工件之间距离的方向。

2. X 坐标轴的确定

X 坐标轴运动一般是水平的,它平行于工件的装夹平面,是刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。

在图 3-4 中,X 轴运动方向在径向上,且平行于横向滑板,以刀具离开工件回转中心的方向为正方向。

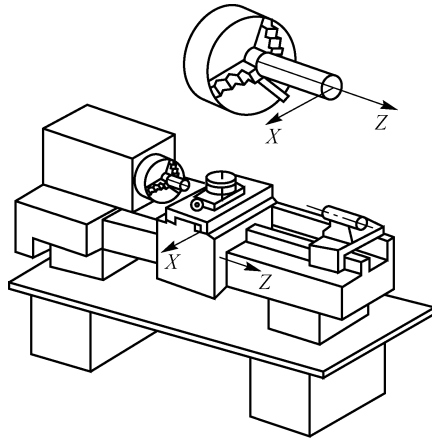


图 3-4 数控车床坐标系

3. Y 坐标轴的确定

正向 Y 坐标轴的运动根据 X 轴和 Z 轴的运动,按照右手笛卡尔坐标系来确定。

4. 旋转运动坐标

A、B、C 相应地表示其轴线平行于 X、Y、Z 轴的旋转运动,A、B、C 的正向在相应 X、Y、Z 轴正向上,按照右手螺旋法则取右旋螺纹前进的方向。

5. 机床坐标系的原点及附加坐标

标准坐标系的原点位置是任意选择的。如果在 X、Y、Z 轴主要直线运动之外另有第二组平行于它们的坐标运动,则称为附加坐标,它们应分别被指定为 U、V、W。若还有第三组运动,则分别指定为 P、Q 和 R。如果在第一组回转运动 A、B、C 之外,还有平行或不平行于 A、B、C 的第二组回转运动,可分别指定为 D、E 或 F。

6. 工件的运动

为了体现机床的移动部件是工件而不是刀具,在图中往往以加“'”的字母来表示运动的正方向,即带“'”的字母表示工件的运动正向,不带“'”的字母则表示刀具运动正向,两者所表示的运动方向正好相反。即

$$+X = -X', +Y = -Y', +Z = -Z';$$

$$+A=-A', +B=-B', +C=-C'$$

机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局,对车床而言:

- (1) Z 轴与主轴轴线重合,沿着 Z 轴正方向移动将增大零件与刀具间的距离。
- (2) X 轴垂直于 Z 轴,平行于横向拖板的方向,以轴心线为界,刀架沿着 X 轴正方向移动将增大零件与刀具间的距离。
- (3) Y 轴(通常是虚设的)与 X 轴和 Z 轴一起构成遵循右手定则的坐标系。

3.3.3 机床坐标系、机床参考点和工件坐标系

1. 机床坐标系

机床坐标系是机床固有的坐标系,机床坐标系的原点称为机床原点或机床零点。在机床经过设计、制造和调整,这个原点便被确定下来,它是机床上固定的点。由生产厂家事先确定,不能随意改变。不同数控机床坐标系的原点也不同,数控车床的机床原点在主轴前端面的中心上,如图 3-5 所示。

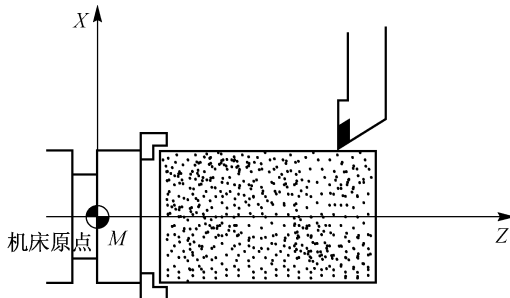


图 3-5 数控车床的机床原点

2. 机床参考点

数控装置上电时并不知道机床原点的位置,为了正确地在机床工作时建立机床坐标系,通常在每个坐标轴的移动范围内设置一个机床参考点(测量起点)。

为了正确地建立机床坐标系,许多数控机床都设有机床参考点,它是机床上一个基准点,是具有增量位置测量系统的数控机床所必须具有的。其固定位置是以硬件方式用固定的机械挡块或限位开关来确定的,该点与机床原点的相对位置是固定的,机床出厂之前由机床制造商精密测量确定,用户不得改变。机床每次通电后,通常都要手动或自动回参考点,以建立机床坐标系。

机床参考点可以与机床原点重合,也可以不重合,通过参数指定机床参考点到机床原点的距离。

当机床回到了参考点位置,也就知道了该坐标轴的原点位置,找到所有坐标轴的参考点,数控系统就建立起了机床坐标系。

数控机床开机时,必须先确定机床原点。而确定机床原点的运动就是刀架返回参考点的操作,这样通过确认参考点,就确定了机床原点。只有机床参考点被确认后,刀具(或工作台)移动才有基准。

3. 工件坐标系

工件坐标系是编程人员在编程时使用的,编程人员选择工件上的某一已知点为原点(也

称程序原点),建立一个新的坐标系,称为工件坐标系。工件坐标系一旦建立便一直有效,直到被新的工件坐标系所取代。

工件坐标系的程序原点是人为设定的,选择时要尽量满足编程简单、尺寸换算少、引起的加工误差小等条件。一般情况下,程序原点应选在尺寸标注的基准或定位基准上。对车床编程而言,工件坐标系程序原点一般选在工件轴线与工件的左端面或后端面的交点上,如图 3-6 所示的 W 处。

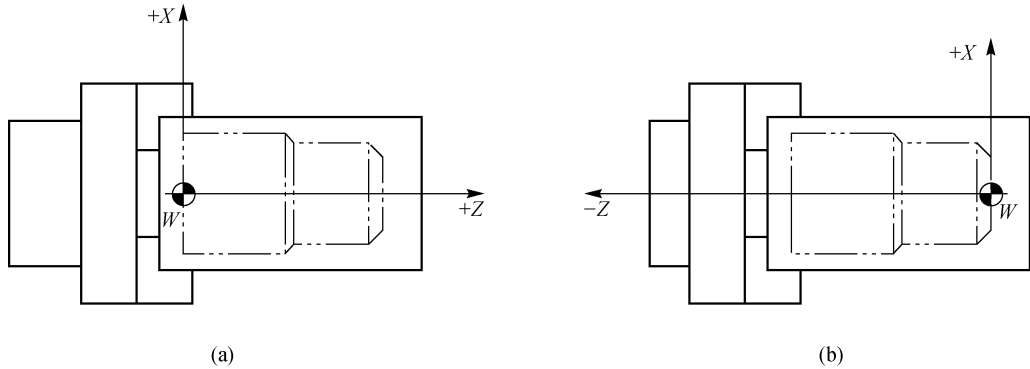


图 3-6 车床工件坐标系的程序原点

3.3.4 绝对值坐标和增量值坐标

数控编程通常都是按照组成图形的线段或圆弧的端点坐标来进行的,刀具或机床运动位置的坐标值通常有两种表达方式,即绝对值坐标和相对(增量)值坐标。刀具或机床的位置坐标都是以固定的坐标原点(工件坐标系原点)为基准计算的,称为绝对值坐标,按这种方式进行编程称为绝对值坐标编程;刀具或机床的位置坐标值都是相对于前一位置计算的,称为相对值坐标或增量值坐标,按这种方式进行编程称为相对(增量)值坐标编程。相对值坐标与运动方向有关。

如图 3-7 所示 A、B 两点的绝对值坐标分别为 $X_A=30, Y_A=35, X_B=12, Y_B=15$ 。从 A 点走到 B 点,则绝对值坐标为 $X=12.0, Y=15.0$;如果增量值坐标用 U、V 表示,则增量值坐标为 $U=-18.0, V=-20.0$ 。

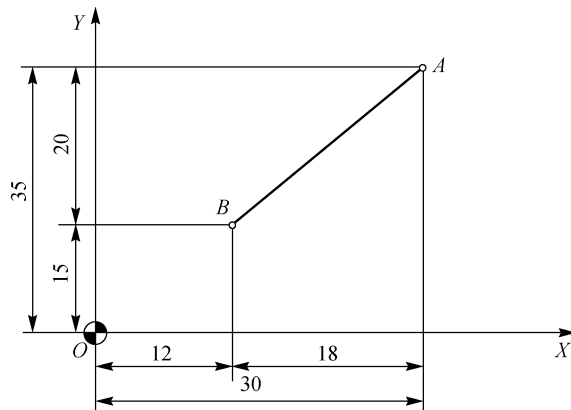


图 3-7 绝对值坐标与相对值坐标

采用绝对值坐标编程时,程序指令中的坐标值随着程序原点的不同而不同;而采用相对值坐标编程时,程序指令中的坐标值则与程序原点的位置没有关系。同样的加工轨迹,既可用绝对值编程也可用增量值编程,但有时候,采用恰当的编程方式可以大大简化程序的编写。因此,实际编程时应根据使用状况选用合适的编程方式,这可在以后章节的编程训练中体现出来。

本章小结

本章主要讲述了数控编程的一些基本知识。通过对本章的学习,要求了解数控编程的内容、结构等基础知识,掌握各种坐标系及其坐标原点的作用与建立,掌握数控系统运动与运动方向的规定和控制,建立起数控加工的崭新立体空间。常用 G 功能代码指令和 M 功能代码指令都是编制数控加工程序的重要基础,应熟练掌握。

习 题 3

- 3-1 简述数控编程的内容和步骤。
- 3-2 手工编程和自动编程比较,各有何特点?
- 3-3 简述数控车床坐标系及运动方向的规定。
- 3-4 数控车床坐标系的原点与参考点是如何确定的?
- 3-5 什么是右手笛卡尔坐标系? Z 轴、X 轴在数控车床上分布的原则是什么?
- 3-6 机床坐标系和工件坐标系有什么不同? 如何建立?
- 3-7 绝对值坐标编程与增量值坐标编程有何区别?