

项目一 数控车床加工零件

数控车床是一种高精度、高效率的机电一体化自动机床,也是使用数量最多的数控机床,大约占数控机床总数的 25%,其主要用于轴套类和盘类等回转体零件的加工。FANUC Oi 系统是目前应用于我国数控车床上较多的一种数控系统,它的编程方法和指令格式具有一定的代表性。图 1-1 所示为常用的数控车床结构。

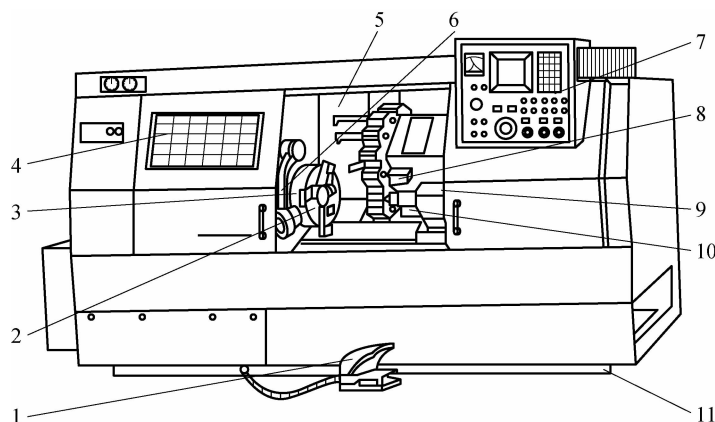


图 1-1 常用的数控车床结构

1—夹盘松夹脚踏开关；2—夹盘；3—主轴；4—防护门；5—导轨防护罩；
6—对刀仪；7—操作面板；8—刀架；9—尾座；10—滑板；11—床身

任务一 数控车床的认知与基本操作

能力目标

◇ 能够设定数控加工编程常用的坐标系及设定方法。

- ◇ 能够划分出数控程序的结构。
- ◇ 培养安全文明生产的习惯。



知识目标

- ◇ 了解数控技术与数控机床的概念。
- ◇ 掌握数控机床的组成与工作原理。
- ◇ 熟悉数控车床操作面板的基本结构。
- ◇ 熟悉数控车床编程和加工的一般步骤。

任务描述

在卧式数控车床上加工图 1-2 所示的台阶轴,材料为 45 号钢。

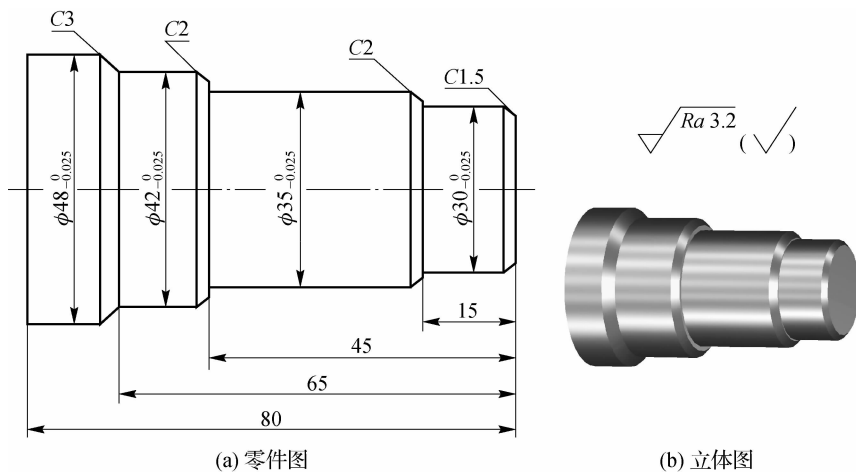


图 1-2 台阶轴



相关知识

一、数控机床概述

1. 数控机床的产生

随着现代科学技术和社会生产的不断发展,机械加工业的要求也越来越高。机械加工过程的自动化、智能化是实现上述要求的基础。

在机械制造业中,不是所有零件都具有很大的批量,尤其是造船、航天、航空、机床、重型机械及国防等行业,其生产特点是加工批量小、改型频繁、零件形状复杂且精度要求高。采用专用化程度很高的自动化机床加工这类零件,成本会很高,生产过程中需要经常改装与调整设备。

满足多品种、小批量的自动化生产,迫切需要一种灵活、通用、能够适应产品频繁变化的自动化机床。数字控制(简称数控)机床就是在这样的背景下诞生并发展起来的,它有效地解决了上述问题,适合加工单件、小批生产、精密复杂的零件。

1952 年,美国帕森斯公司和麻省理工学院合作研制了世界上第一台三坐标立式数控铣

床,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数控铣床。1955年,该类机床进入实用化阶段,在复杂曲面的加工上发挥了重要作用。

2. 数控技术与数控机床的组成

(1)数控技术。数控技术是采用数字化信息实现自动化控制的技术。数控机床是用数字化信号对机床的运动及加工过程进行控制的机床,是一种高效、高精度的自动化加工设备,它能严格按照加工程序自动地对被加工工件进行加工。因此,人们要使用数控机床,就必须能够编写出正确的程序。数控程序是从数控系统外部输入的直接用于加工的程序。数控机床将加工过程所需的各种操作(主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、选择刀具、供给切削液等)、刀具与工件之间的相对位移量等都用数字化的代码来表示,通过控制介质将数字信息送入数控装置,计算机对输入的信息进行处理与运算。计算机发出各种指令来控制机床的伺服系统和自动换刀装置,使机床自动加工出所需要的工件。其加工过程如图1-3所示。

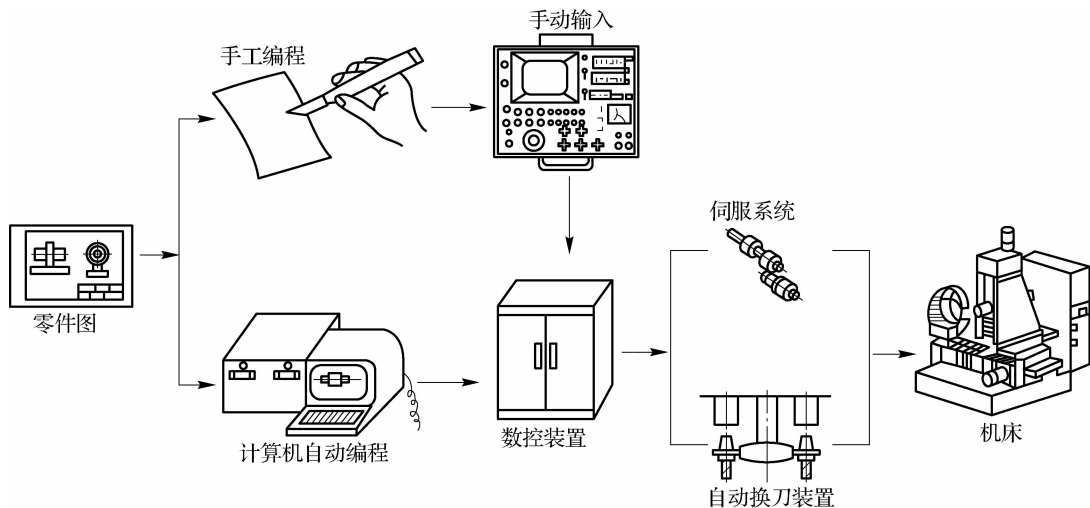


图 1-3 数控机床的加工过程

(2)数控机床的组成。数控机床主要由数控系统和机床本体两大部分组成,而数控系统又由输入输出装置、数控装置、伺服驱动系统和辅助控制装置部分组成,如图1-4所示。

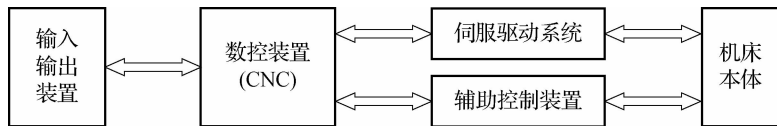


图 1-4 数控机床的组成框图

①机床本体。机床本体由主传动系统、进给传动系统及辅助装置等构成。与普通机床结构相比,数控机床本体的刚度显著增强,传动装置简单。

②输入输出装置。输入输出装置包括键盘、显示器和输入介质软盘等,它可以实现程序的输入、显示命令与图形、打印数据等功能。

③数控装置。数控装置是数控机床的控制核心。初期的数控装置是由各种记忆元件、逻辑元件等组成的分离元件逻辑电路。数控装置采用固定接线的硬件结构,该装置由硬件

来接受和处理信息。目前,数控装置采用微型计算机和硬件电路结合的方式控制,硬件包括通用的 I/O 接口、CPU 存储器、可编程控制器(PLC)及数字通信接口等。数控装置的软件包括管理软件和控制软件。管理软件完成零件程序的输入、输出、显示程序、刀具位置系统参数及报警等功能,控制软件完成译码、刀具补偿、插补运算和位置控制等功能。

④伺服驱动系统。数控机床的伺服驱动系统分为主轴伺服驱动系统和进给伺服驱动系统。伺服系统是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节,主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置等组成。数控系统发出的指令信号与位置检测反馈信号比较后作为位移指令,经驱动控制系统功率放大后,驱动电动机运转,从而通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

⑤辅助控制装置。数控机床除对各坐标轴方向进给运动部件的速度和位置进行控制以外,还要完成程序中的辅助功能所规定的动作,如主轴电动机的起动和变速、刀具的选择和交换、冷却液的开启与关闭、工件的装夹等。可编程控制器(PLC)具有响应快、性能可靠、易于编程等优点,所以目前的辅助控制装置普遍采用 PLC 控制。

二、数控车床概述

1. 数控车床的分类

(1)数控车床按主轴的布置形式可以分为卧式数控车床和立式数控车床。

①卧式数控车床。卧式数控车床的主轴轴线处于水平位置,如图 1-5 所示。

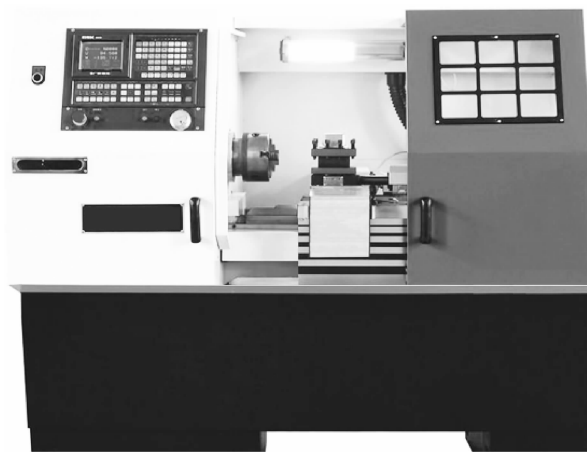


图 1-5 卧式数控车床

②立式数控车床。立式数控车床的主轴轴线处于垂直位置,如图 1-6 所示。

(2)数控车床按机床控制的轴数可分为两轴控制的数控车床、四轴控制的数控车床和多轴控制的数控车床。

①两轴控制的数控车床。两轴控制的数控车床上只有一个回转刀架,可实现 X、Z 两坐标轴联动控制。普通数控车床大多是两轴控制的机床。

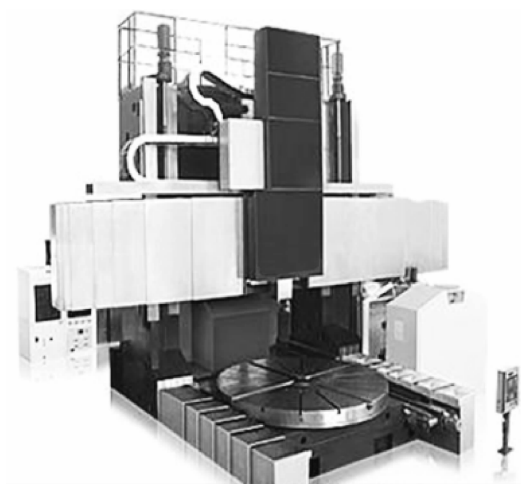


图 1-6 立式数控车床

②四轴控制的数控车床。四轴控制的数控车床有两个回转刀架,可实现 X 、 Z 和 U 、 W 四坐标轴联动控制。图 1-7 所示为双主轴、双刀架数控车床。

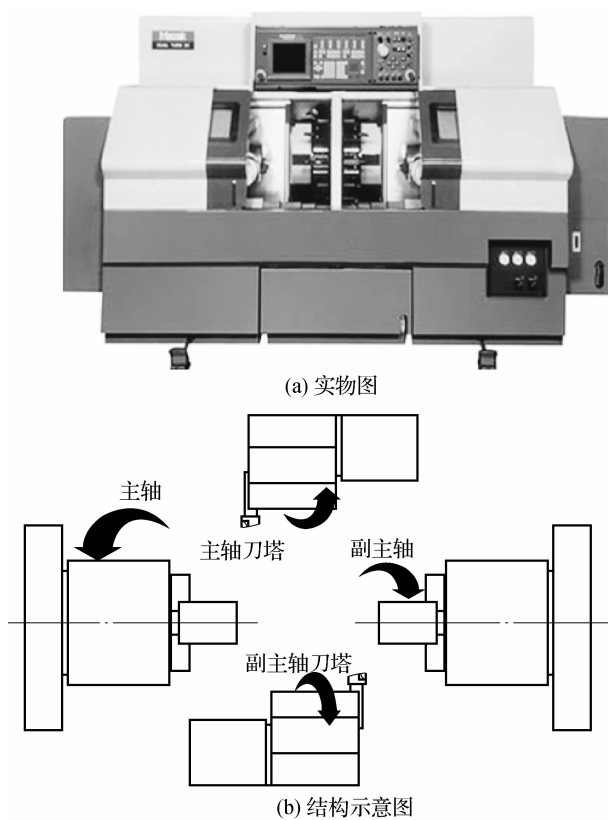


图 1-7 双主轴、双刀架数控车床

③多轴控制的数控车床。多轴控制的数控车床除了控制 X 、 Z 两坐标轴以外,还可以控制其他坐标轴,实现多轴控制,如 C 轴控制功能。图 1-8 所示为多轴控制的数控车床。



图 1-8 多轴控制的数控车床

(3) 数控车床按机床刀轨方位可分为水平导轨式数控车床、倾斜导轨式数控车床和垂直导轨式数控车床。

① 水平导轨式数控车床。水平导轨式数控车床(见图 1-9)的刀架受力好,但排屑差。

② 倾斜导轨式数控车床。倾斜导轨式数控车床(见图 1-10)排屑好。

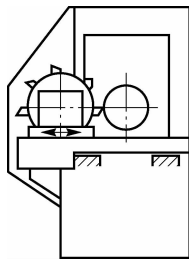


图 1-9 水平导轨式数控车床

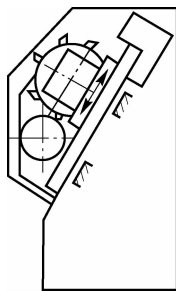
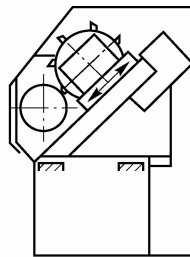


图 1-10 倾斜导轨式数控车床



③ 垂直导轨式数控车床。垂直导轨式数控车床(见图 1-11)的刀架受力差,排屑好。

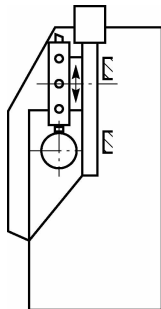


图 1-11 垂直导轨式的数控车床

2. 数控车床的加工特点

数控车床有以下加工特点:

(1) 适应性强。在普通车床上加工不同的零件,一般需要调整车床和附件,使车床适应

加工零件的要求;而数控车床在加工不同形状的零件时,只要重新编制或修改加工程序就可以达到加工要求,大大缩短了生产准备时间。

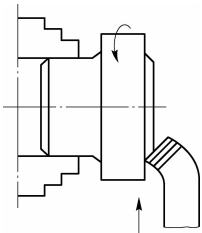
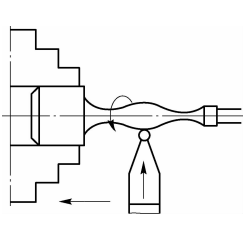
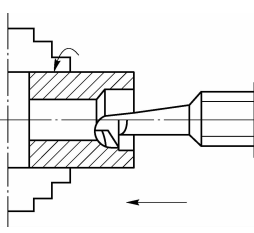
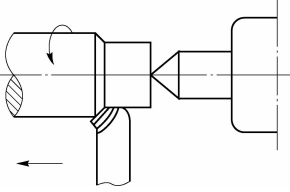
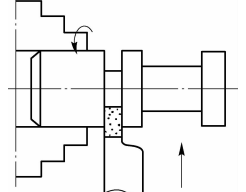
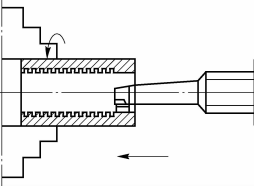
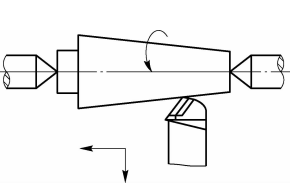
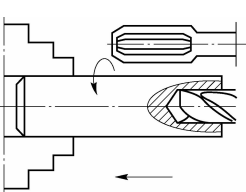
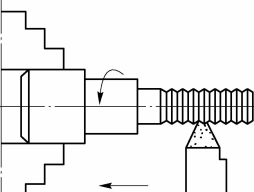
(2)加工精度高。数控车床加工出的零件互换性好,数控加工的尺寸精度通常为 0.001~0.01 mm,不受零件复杂程度的影响。数控加工消除了操作者的人为误差,提高了同批零件尺寸的一致性,使产品质量保持稳定,降低了废品率。

(3)具有较高的生产效率和较低的加工成本。数控车床的生产率主要是指加工一个零件所需要的时间(机动时间和辅助时间)。数控车床的主轴转速和进给速度变化范围大,并可以无级调速。加工时,操作者可选用最佳切削速度和进给速度,实现数控车床恒转速和恒线速运动,使切削参数最优,大大地提高了生产效率,降低了加工成本。

3. 数控车床的主要用途

数控车床主要用于加工精度要求高、表面粗糙度值要求小、零件形状复杂、单件和小批生产的回转表面(轴类、盘套类、内外圆柱面、圆锥面、圆弧面等)的加工。数控车床可以进行钻孔、扩孔、镗孔及切槽加工,还可以在内、外圆柱面上和内、外圆锥面上加工各种螺距的螺纹。普通数控车床所能加工的各种表面见表 1-1。

表 1-1 普通数控车床所能加工的各种表面

名称	加工示意图	名称	加工示意图	名称	加工示意图
车端面		车曲面		车内孔	
车外圆		切槽、切断		车内螺纹	
车圆锥		钻孔、铰孔		车外螺纹	

4. 数控车削刀具的种类与选择

(1)数控车削刀具的种类。

①数控车削刀具按刀具材料可分为高速钢刀具、硬质合金刀具、金刚石刀具、立方氮化

硼刀具、陶瓷刀具和涂层刀具等。其中,应用最多的是硬质合金和涂层硬质合金刀片。加工数控车削刀具时,主要依据被加工工件的材料、被加工表面的精度、表面质量要求和切削载荷的大小等选择刀片材质。

②数控车削刀具按刀具结构可分为整体式(高速钢)、镶嵌式(硬质合金)和机械夹固式(可转位和不可转位两种)。整体式数控车削刀具的刀杆材料和刀头相同,刀头和刀杆为一体。数控车削刀具多采用镶嵌式和机夹式(可转位外圆车刀和不可转位切槽刀)两种,如图 1-12 所示。



图 1-12 数控车削刀具的结构

③数控车削刀具按用途可以分为中心钻、外圆左偏粗车刀、麻花钻、外圆左偏精车刀、外圆切槽刀和外圆螺纹刀等,如图 1-13 所示。

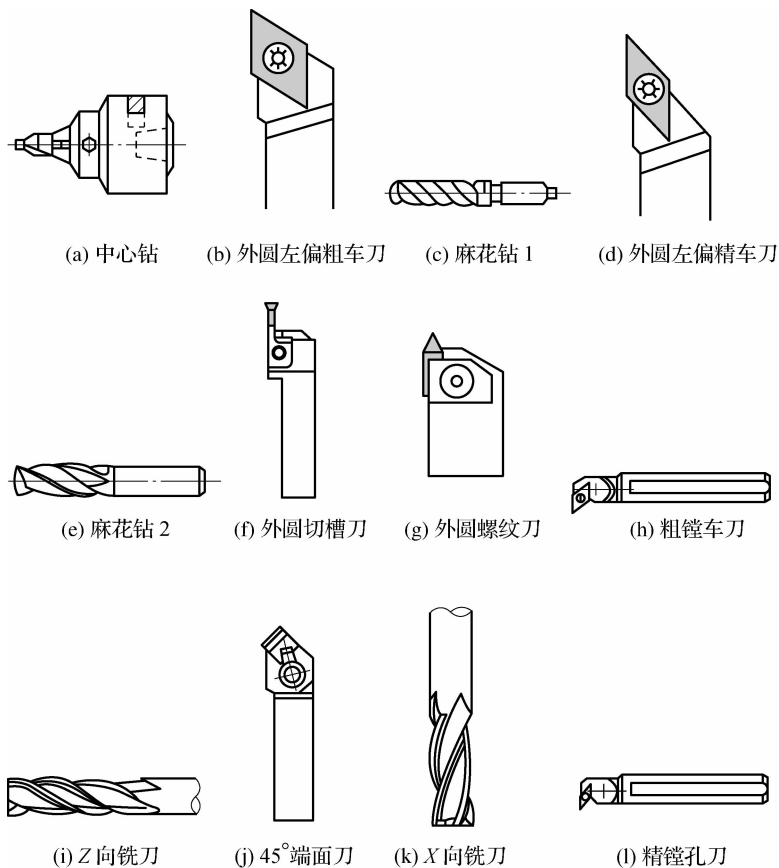


图 1-13 常用的数控车削刀具

④数控车床按刀刃形状可以分为直线切削刃车刀、圆弧切削刃车刀和成型车刀。直线切削刃车刀的切削刃为直线,刀尖(刀位点)由直线形的主切削刃构成,如 90° 内(外)圆车刀、切槽(断)刀等。圆弧形车刀是较为特殊的数控加工用车刀,其主切削刃形状为圆度误差或轮廓误差很小的圆弧,车刀圆弧半径根据需要灵活确定或经测定后确认。成型车刀又称为样板车刀,被加工零件的轮廓形状完全由车刀刀刃的形状和尺寸决定。数控加工中应尽量少用或不用成型车刀,若要选用,则应在工艺文件或加工程序单上进行详细说明。

(2) 数控车削刀具的选择。

①可转位车刀的选用。如图 1-14 所示,可转位刀具一般由刀片、刀垫、夹紧元件和刀体组成。

可转位刀具是将预先加工好的多边形刀片,用机械夹固方法夹紧在刀体上的一种刀具。在使用过程中当一个切削刃磨钝时,只要将刀片的夹紧装置松开、转位或更换刀片,使新的切削刃进入工作位置,再经夹紧就可以继续使用。刀片一般无须重磨,有利于涂层刀片的推广使用。

可转位刀具与焊接式刀具相比有两个特点:可转位刀具由切削部分(刀片)和夹持部分(刀体)组成,在刀体上安装的刀片,至少要有两个预先加工好的切削刃供使用;可转位刀具的刀片转位后,仍可保证切削刃与工件的相对位置并具有相同的几何参数,卷屑、断屑稳定可靠,减少了停机调刀时间,提高了生产效率。

可转位刀具的刀片可以成为独立的功能元件,可以扩展和提高切削性能,避免了因焊接而引起的缺陷。可转位刀具的切削效率高,切削刃空间位置相对刀体固定不变,节省了换刀、对刀等所需的辅助时间,提高了机床的利用率。常见的可转位车削刀具刀片的形式如图 1-15 所示。

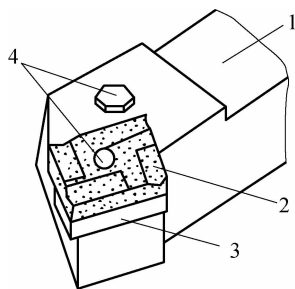


图 1-14 可转位车削刀具的组成

1—刀体；2—刀片；3—刀垫；4—夹紧元件

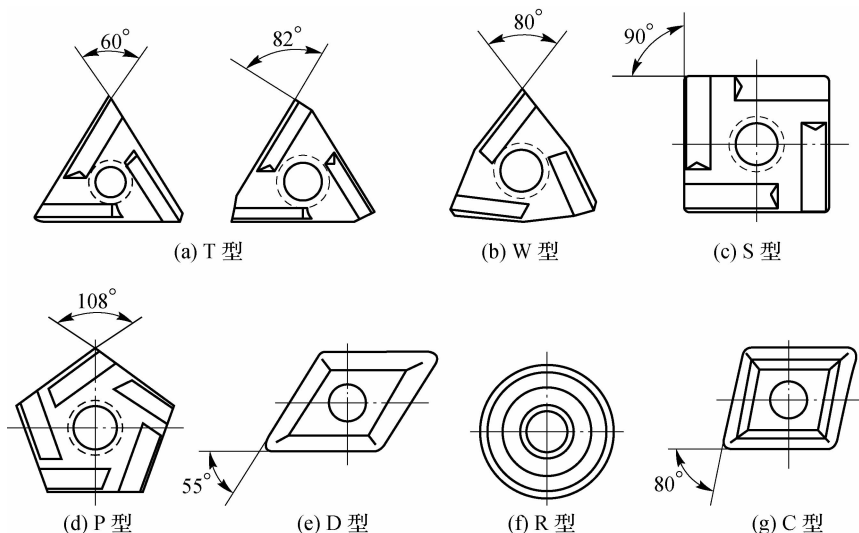


图 1-15 常见的可转位车削刀具刀片的形式

②刀片形状的选择。刀片形状主要依据被加工工件的表面形状、切削方法、刀具寿命和

刀片的转位次数等因素选择。

以半精车和精车钢件材料为例,数控车削刀具的选择如下:

a. 选择刀片牌号为硬质合金 YT15。

b. 选择合适的断屑槽。

c. 车端面时,选用 45° 主偏角的车刀。其刀片为四方形,可以转位 8 次,经济性好,其结构如图 1-16(a)所示。

d. 车外圆时,粗加工常用 75° 主偏角的车刀。其刀片为四方形,可以转位 8 次,经济性好,其结构如图 1-16(b)所示。精加工时采用 90° 或 95° 主偏角的车刀, 90° 主偏角车刀的刀片为三角形,可以转位 6 次,经济性好,其结构如图 1-16(c)所示。 95° 主偏角车刀的刀片为菱形,通用性好,其结构如图 1-16(d)所示。车刀主偏角决定所加工表面的形状,因此,首先应根据工件形状选用合适角度的主偏角车刀。车刀的主偏角对径向力与走刀力的比例影响较大。主偏角越小,径向力增大而走刀力减小。当机床-工件-刀具系统的刚性小时,径向力容易引起振动,因此,一般车细而长的轴时选取 90° 主偏角,以尽量减小径向力。

e. 车槽时,刀具可以采用正前角以利于排屑,采用较小后角以加强刀尖的强度。

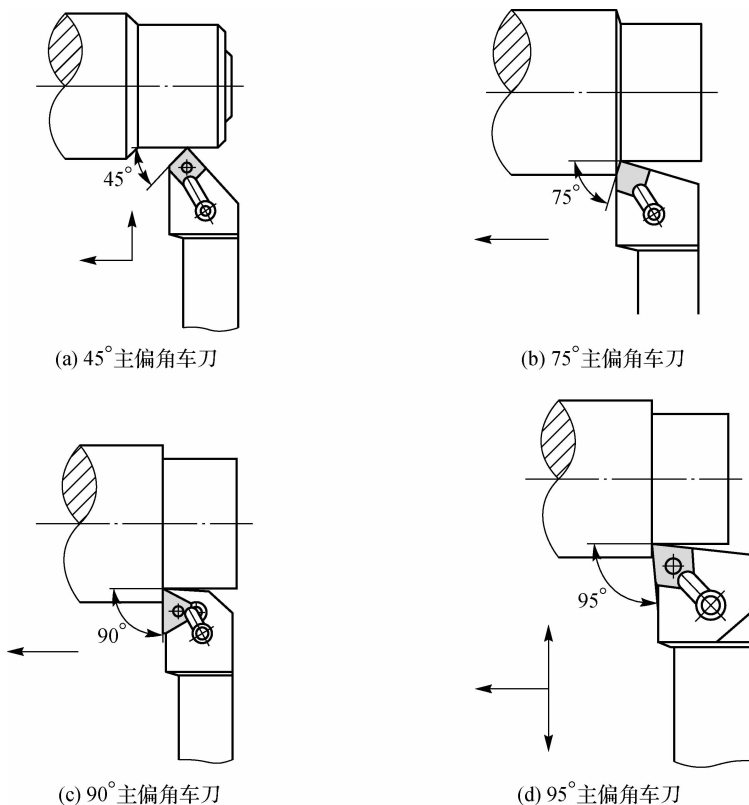


图 1-16 常用主偏角刀具加工示意图

f. 车曲面时,首先采用 45° 车刀、 60° 尖刀粗车,然后用圆弧形车刀精车。圆弧形车刀是以圆度或线轮廓度误差很小的圆弧形切削刃为特征的车刀。该车刀圆弧刃的每个点都是圆弧形车刀的刀尖,因此,刀位点不在圆弧上,而在该圆弧的圆心上。圆弧形车刀可以用于车削内外表面,特别适于车削各种光滑连接(凹形)的成形面。在选择车刀圆弧半径时,应考虑车

刀切削刃的圆弧半径小于或等于零件凹形轮廓的最小曲率半径,以免发生加工干涉。车刀圆弧半径不宜选择太小,否则不但制造困难,而且会因刀尖强度太弱或刀体散热能力差而导致车刀损坏。精车时,应保持刀头前面与工件中心等高,前角为 0° ,以确保被加工工件形状准确。

g. 车外螺纹时,应控制刀具角度的准确性,并采用正前角以利于排屑。外形加工的刀具在安装时,注意刀杆的伸出量应在刀杆高度尺寸的 1.5 倍以内,以保证刀具的刚性。车深槽、深孔时,应采用半月形加强筋加强刀具刚性。

h. 车内孔、内螺纹时,刀杆的伸出量(长径比)应在刀杆直径的 4 倍以内。当刀杆的伸出量大于 4 倍刀杆直径或加工刚性差的工件时,应选用带有减振机构的刀柄。当加工精度很高的孔时,应选用重金属(硬质合金)制造的刀柄。在加工过程中若刀尖部需要冷却,应选用有切削液输送孔的刀柄。内孔加工的断屑、排屑可靠性比外圆车刀的更重要,因而刀具头部应留有足够的排屑空间。当车内孔、内螺纹刀具长径比为 2 时,切削参数选取的原则是:切削用量应比外形加工降低 30% 左右;刀具长径比每增加 1 倍,切削用量就降低 25%。

常用的车刀有三种不同截面形状的刀柄,即圆柄、矩形柄和正方形柄。矩形柄和正方形柄多用于外形加工,内形(孔)加工优先选用圆柄车刀。圆柄车刀的刀尖高度是刀柄高度的 $1/2$,且柄部为圆形,有利于排屑,在加工相同直径的孔时,圆柄车刀的刚性明显高于正方形柄车刀,所以在条件许可时应尽量采用圆柄车刀。在卧式车床上因受四方形刀架限制,一般多采用正方形或矩形柄车刀。

三、数控车床操作面板的基本结构

数控车床操作面板的结构与其他类型数控机床的操作面板大体一致,数控车床的操作面板分为地址输入键区、功能键区和屏幕显示区,如图 1-17 所示。下面重点介绍 FANUC Oi Mate 系统中的控制面板。



图 1-17 数控车床的操作面板

1. 地址输入键区

地址输入键区用于输入数据到数控系统中。数控系统能够自动判别选取的是数字还是字母。例如,直接输入上面的地址键,将在 CRT 屏幕上显示字母 G。若按下键,再按下键,则将在 CRT 屏幕上显示字母 R,用同样的方法可以切换数字和字母,如 F 与 L、9 与 D 等。

地址输入键区图标及功能见表 1-2。

表 1-2 地址输入键区图标及功能

序 号	图 标	功能说明
1		此键可以通过显示坐标位置屏幕显示机床现有的位置,按下此键可以显示位置屏幕,位置显示有三种方式,即相对坐标、绝对坐标和综合坐标。其中,综合坐标包括机械坐标、相对坐标、绝对坐标和剩余进给四项内容
2		此键需要在 EDIT 的方式进行编辑和修改程序,它是程序显示与编辑的按键,可以显示存储器里的程序
3		此键用于坐标系设定、显示补偿值和宏程序变量。按第一次进入坐标系设定页面,按第二次进入刀具补偿参数页面
4		此键是系统参数设定页面键,按下此键可以显示系统参数屏幕及自诊断数据的显示等
5		此键是信息页面键,按下此键可以显示屏幕中的信息,如报警信息等
6		此键是图形显示页面键,通过此键可以显示用户加工完成的图形
7		此键是换挡键,一般具备两种功能,按下 SHIFT 键可以在两种功能间相互切换
8		此键是替代键,此键用于输入域内的数据替代光标所在位置处的数据
9		此键是取消键,取消已输入缓冲器中的最后一个字符或数据。例如,当前输入 G02 X30 Z500 后按下此键,则最后的数字 0 被删除
10		此键是插入键,此键可以把输入域区的数据插入到当前光标位置之后
11		此输入键,把输入域内的数据输入参数的页面或输入一个外部的数控程序

续表

序 号	图 标	功能说明
12		此键为删除键,可以删除光标处所在的数据,也可以删除一个程序或者删除全部程序
13		此键用于屏幕显示时页面向前翻页
14		此键用于屏幕显示时页面向后翻页
15		此键用于光标向上移动
16		此键用于光标向下移动
17		此键用于光标向右移动
18		此键用于光标向左移动
19		此键为系统帮助键,操作者在对系统控制面板不熟悉或不清楚时可按下此键,能获得帮助
20		此键为复位键,该键具备以下功能: (1)当机床自动运行时按下此键,机床的所有操作都将停止。 (2)能取消机床报警。 (3)可以使机床复位,光标回到整段程序的句首。 (4)在 MDI 方式下清除编辑的程序
21		此键为结束程序段键,结束一行程序段的输入,若在编程中其中一行的最后出现“;”,则进行换行

2. 屏幕显示区

数控车床的屏幕显示区位于系统操作面板的左上侧,由屏幕区和软键区两部分组成,如图 1-18 所示。屏幕区位于屏幕显示区的上方,用于监控程序内容的显示、具体的加工位置及参数设定的情况。

软键区位于屏幕显示区的下方,通过按下此软键可以得到更详细的加工内容。软键区和面板上的功能键组合能显示此功能的详细内容。左向箭头为此软键的菜单返回键,右向箭头为此软键的菜单继续键。通过不同的画面,此软键有着不同的功能。

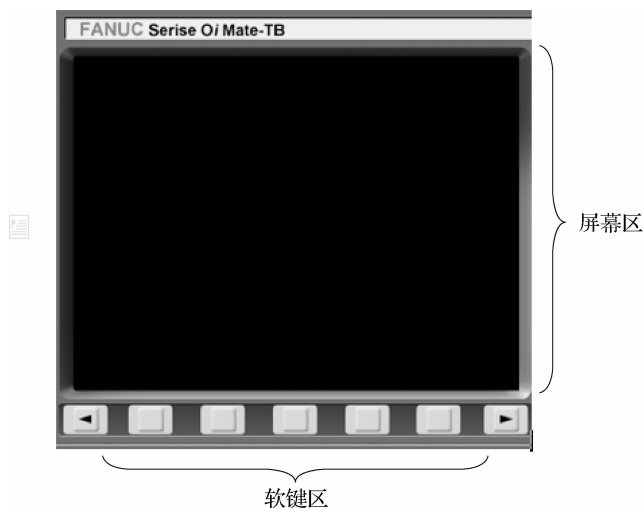


图 1-18 数控车床的屏幕显示区

3. 功能键区

数控车床的功能键区位于控制面板下方,其主要控制机床的运动和选择机床运行的状态,由数控程序运行开关、方式选择按钮等多个部分组成,如图 1-19 所示。数控车床功能键区的图标及功能见表 1-3。

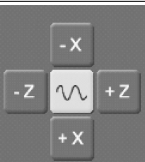


图 1-19 数控车床的功能键区

表 1-3 功能键区的图标及功能

序 号	操作方式	图 标	说 明
1	操作选择	 单段	按下此键,进入单段运行方式,每次执行一行数控指令
2		 照明	按下此键,机床上的照明灯开启,使操作者便于观察加工零件
3		 回零	按下此键,机床回零,可以行进机床参考点返回
4	速度变化	 X1	此键为单步进给量倍率控制键,与手轮配合使用,表示工作台面的每步进给量,X1 为 0.001 mm
5		 X10	此键为单步进给量倍率控制键,与手轮配合使用,表示工作台面的每步进给量,X10 为 0.01 mm
6		 X100	此键为单步进给量倍率控制键,与手轮配合使用,表示工作台面的每步进给量,X100 为 0.1 mm
7	方式选择	 编辑	此键为 EDIT 键,按下此键,可直接通过操作面板输入编辑程序和数控程序
8		 自动	此键为 AUTO 键,按下此键,进入自动加工模式
9		 MDI	按下此键,进入手动编辑模式。若在此模式下输入 M03 S500,再按下循环启动键,则主轴转速为 500 r/min
10		 JOG	此键为手动方式,通过手动能连续移动台面或刀具
11		 手摇	按下此键,可通过手轮方式进行工作台面或刀具的移动
12	主轴转速	 主轴 降速	按下此键,可调整程序中的主轴速度,并按照主轴修调 5% 倍率递减
13		 主轴 100%	按下此键,主轴修调倍率为 100%,按照编程设定时的主轴转速倍率执行
14		 主轴 升速	按下此键,可调整程序中的主轴速度,并按照主轴修调 5% 倍率递增
15	主轴转向	 正转	按下此键,主轴正转
16		 停止	按下此键,主轴停转
17		 反转	按下此键,主轴反转

续表

序 号	操作方式	图 标	说 明
18	循环方式		按下此键,可以运行编辑完的程序,通常在自动加工和 MDI 功能下运用
19			按下此键,可以停止正在运行的程序,通常在自动加工和 MDI 功能下运用
20	辅助操作		当发生超程警报时,此键左上角红灯亮,按下此键,利用 JOG 功能向反向移动,可解除超程警报
21			按下此键,将喷出雾状或液状切削液。切削液主要有油基和水基两种,起到冷却、润滑、防锈和清洁的作用
22	系统运行		按下此键,可开启机床数控系统,在开机时使用
23			按下此键,可关闭机床数控系统,在关机时使用
24	回零指示灯		此键用于显示机床数控系统是否开机和回零的情况。机床数控系统开启,电源灯始终点亮。当机床回零操作时,X、Z 轴的指示灯点亮
25	进给轴方向选择开关		中间键为快进开关,按下此键后,此键变成红颜色,代表快进功能开启,配合 -X、+X、-Z、+Z 四个方向的移动,移动速度由进给速率决定
26	进给速率		调节数控程序运行中的进给速度,调节范围为 0~150%。例如,当数控程序中进给速率 F 为 80 时,表示进给速度为 80 mm/min
27	手轮脉冲		在此模式下可以控制机床移动,手轮顺时针旋转为机床正方向移动,手轮逆时针旋转为机床负方向移动。手轮刻度盘上的每格表示移动倍率的一个单位,移动的单位有 0.1 mm、0.01 mm 和 0.001 mm 三个挡位,与速度变化的三个键配合使用
28	手轮进给轴		此开关为手轮移动工作台轴选择开关,扳动此开关,开关扳手向上为 X,表示 X 方向可以移动;开关扳手向下为 Z,表示 Z 方向可以移动,配合手轮使用
29	急停按钮		当遇到突发事件或紧急情况时按下此键,机床则处于紧急停止状态;排除故障后,可以向按钮上箭头的方向旋转使紧急按钮键复位。紧急停止状态的复位还需按 MDI 面板上的 RESET 键

注:其他功能键在模拟仿真中没有实际意义,故不一一介绍。

四、数控加工程序的编制基础

1. 数控编程的方法

数控编程的方法有手工编程和自动编程两种。

(1) 手工编程。从零件图样分析、工艺处理、数值计算、书写程序单、制穿孔纸带到程序的校验等各个步骤,均由人工完成,这种方法称为手工编程。对于点位加工或几何形状不太复杂的零件,编程较简单,程序量不大,手工编程即可实现。但对于形状复杂和轮廓不是由直线、圆弧组成的非圆曲线零件或空间曲面零件,程序量很大,计算烦琐,手工编程困难且易出错,应采用自动编程。

(2) 自动编程。编程中的大部分或全部工作由计算机完成,这种方法称为自动编程。编程人员只要根据零件图纸和工艺要求,用规定的语言编写源程序,将图形信息输入到计算机中,由计算机自动地进行处理,计算出刀具中心的轨迹,编写出加工程序清单,并自动制成所需控制介质。由于走刀轨迹可由计算机自动绘出,因而可以方便地对编程错误及时予以修正。

2. 数控机床的坐标系

在数控编程时,为了描述机床的运动、简化程序编制的方法及保证记录数据的互换性,数控机床的坐标系和运动方向均已标准化,并拟定了命名的标准。

(1) 机床坐标系。在数控机床上,机床的动作是由数控装置来控制的,为了确定数控机床上的成形运动和辅助运动,必须先确定机床上运动的位移和运动的方向,这就需要通过坐标系来实现,此坐标系称为机床坐标系。

机床坐标系建立的基本原则为:

① 机床相对运动的规定。工件静止,而刀具是运动的。这样,编程人员在不考虑机床上工件与刀具具体运动的情况下,就可以依据零件图样确定机床的加工过程。

② 机床坐标系的规定。标准机床坐标系中 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡尔直角坐标系确定,如图 1-20 所示。

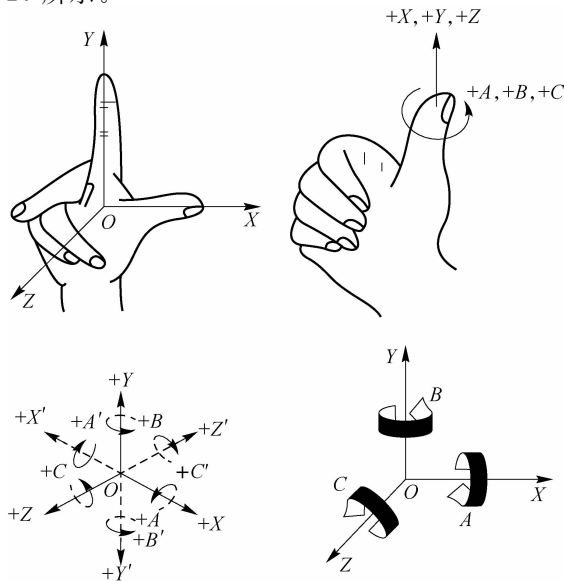


图 1-20 右手笛卡尔直角坐标系

伸出右手的大拇指、食指和中指并互为 90° , 则大拇指代表 X 轴, 食指代表 Y 轴, 中指代表 Z 轴。大拇指的指向为 X 轴的正方向, 食指的指向为 Y 轴的正方向, 中指的指向为 Z 轴的正方向。围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的旋转坐标分别用 A 、 B 、 C 表示, 根据右手螺旋定则, 大拇指的指向为 X 、 Y 、 Z 轴任意轴的正向, 则其余四指的旋转方向即为旋转坐标 A 、 B 、 C 的正向。

③机床坐标系方向的规定。增大刀具与工件距离的方向, 即为各坐标轴的正方向。

(2)坐标轴方向的确定。图 1-21~图 1-24 所示为几种典型机床的标准坐标系, 其确定的基本原则如下:

①确定 Z 坐标。 Z 坐标的运动方向是由传递切削动力的主轴所决定的, 平行于主轴轴线的坐标轴即为 Z 坐标, Z 坐标的正向为刀具离开工件的方向。

若机床上有几个主轴, 则选一个垂直于工件装夹平面的主轴方向为 Z 坐标方向。若主轴能够摆动, 则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向。若机床无主轴, 则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向。

②确定 X 坐标。 X 坐标平行于工件的装夹平面, 一般在水平面内。在确定 X 轴的方向时, 要考虑两种情况: 若工件做旋转运动, 则刀具离开工件的方向为 X 坐标的正方向; 刀具做旋转运动, 若 Z 坐标水平, 观察者沿刀具主轴向工件看时, 则 $+X$ 运动方向指向右方, 若 Z 坐标垂直, 观察者面对刀具主轴向立柱看时, 则 $+X$ 运动方向指向右方。

③确定 Y 坐标。在确定 X 、 Z 坐标的正方向后, 可以根据 X 和 Z 坐标的方向, 按照右手直角坐标系来确定 Y 轴的方向。

④确定 A 、 B 、 C 坐标。 A 、 B 、 C 坐标分别为绕 X 、 Y 、 Z 轴回转运动的坐标, 在确定了 X 、 Y 、 Z 坐标的正方向后, 可以按右手螺旋定则来确定 A 、 B 、 C 坐标正方向。

⑤附加坐标系。为了编程和加工的方便, 有时还要设置附加坐标系。对于直线运动, 指定平行于 X 、 Y 、 Z 坐标轴的附加坐标系有第二组 U 、 V 、 W 坐标和第三组 P 、 Q 、 R 坐标。指定除 A 、 B 、 C 第一回转坐标轴以外, 还有其他的回转运动坐标轴, 命名为 D 、 E 等。

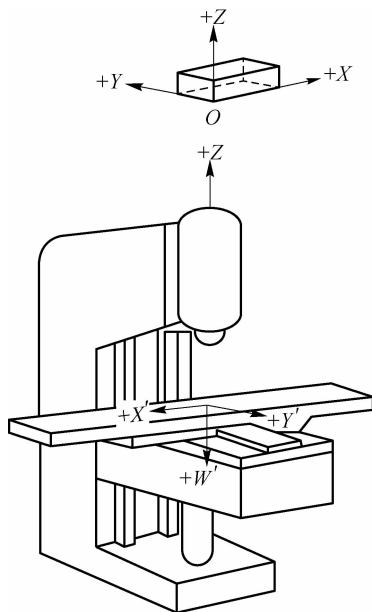


图 1-21 立式升降台铣床坐标系

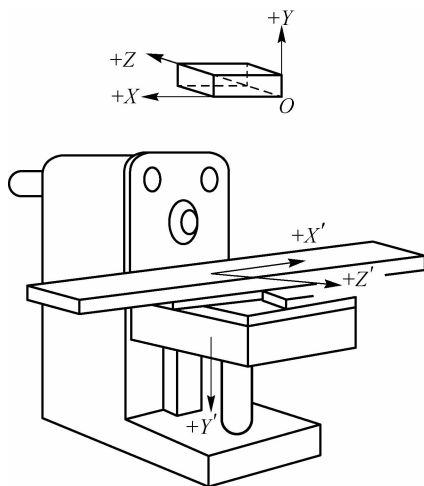


图 1-22 卧式升降台铣床坐标系

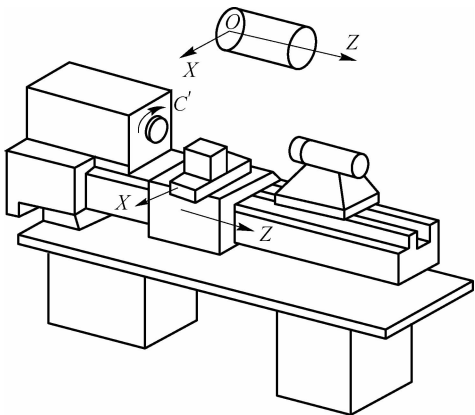


图 1-23 卧式车床坐标系

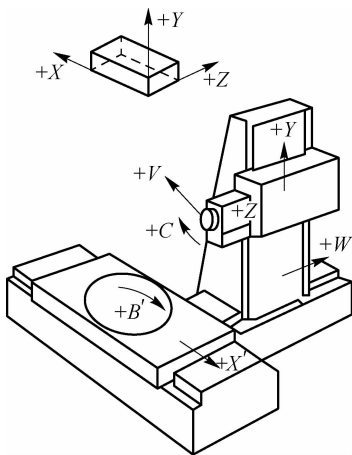


图 1-24 卧式镗铣床坐标系

(3) 机床原点。机床原点是指在机床上设置的一个固定点,作为机床坐标系的原点。它在机床装配、调试时就已确定,是数控机床进行加工运动的基准参考点。

① 数控车床的机床原点。在数控车床上,机床原点一般取在卡盘端面与主轴中心线的交点处,如图 1-25 所示。同时,通过设置参数的方法,也可将机床原点设定在 X 、 Z 坐标的正方向极限位置上。

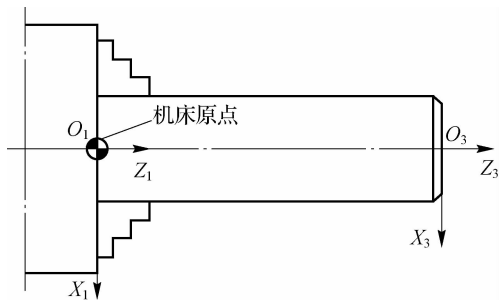


图 1-25 数控车床的机床原点

② 数控铣床的机床原点。在数控铣床上,机床原点一般取在 X 、 Y 、 Z 坐标的正方向极限位置上,如图 1-26 所示。

(4) 机床参考点。机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点。机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的,其坐标值已输入数控系统中。因此,机床参考点对机床原点的坐标是一个已知数。

通常在数控铣床上机床原点和机床参考点是重合的,而在数控车床上机床参考点是离机床原点最远的极限点。图 1-27 所示为数控车床的机床原点与机床参考点。

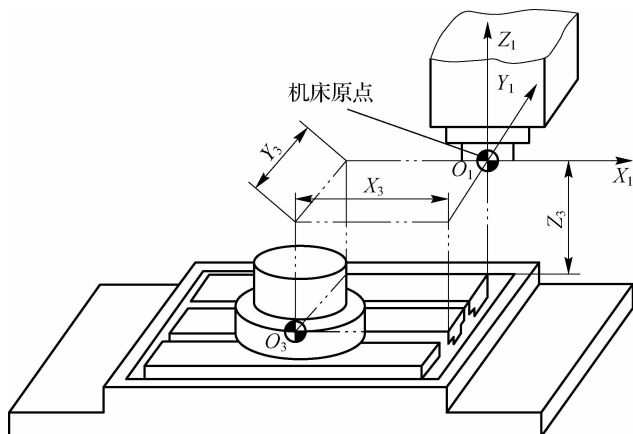


图 1-26 数控铣床的机床原点

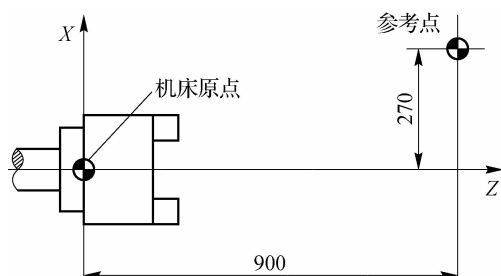


图 1-27 数控车床的机床原点与机床参考点

数控机床开机时,必须先确定机床原点,而机床机床原点就是刀架返回机床参考点,只要确认了机床参考点,就确定了机床原点。只有机床参考点被确认后,刀具或工作台的移动才有了基准。

3. 编程坐标系

编程坐标系是编程人员根据零件图样及加工工艺等建立的坐标系。编程坐标系一般供编程使用,在确定编程坐标系时不必考虑工件毛坯在机床上的实际装夹位置。编程原点是根据加工零件图样及加工工艺要求选定的编程坐标系的原点。编程原点应尽量选择在设计基准或工艺基准上,编程坐标系中各轴的方向应与所使用的数控机床相应的坐标轴方向一致。图 1-28 所示为车削类零件的编程原点位置。

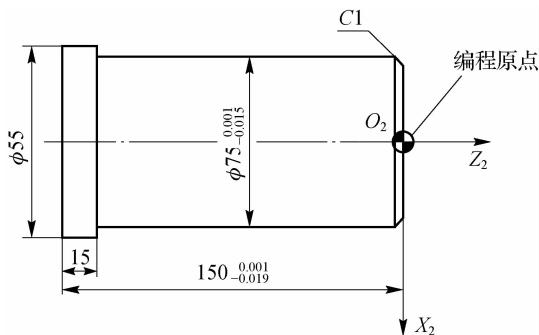


图 1-28 车削类零件的编程原点位置

设定编程坐标系前,需要在机床坐标系中设定编程原点,编程原点设置在工件轴心线与工件底端面的交点上。例如,在立式数控铣床上设定编程原点,如图 1-29 所示。假设编程原点 O_2 在机床原点 O_1 的 (X_3, Y_3, Z_3) 处,并且 $X_3 = -345.700 \text{ mm}$, $Y_3 = -196.220 \text{ mm}$, $Z_3 = -53.165 \text{ mm}$ 。

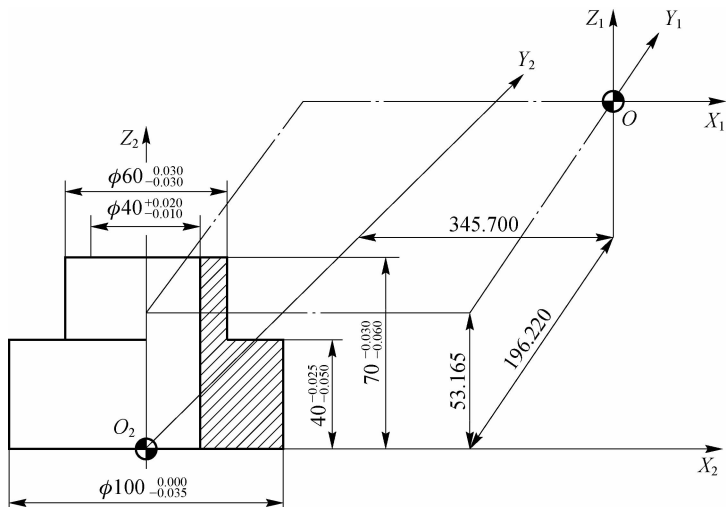


图 1-29 立式铣床上设定编程原点的位置

设定加工坐标系指令为 G54~G59, G54 对应 1 号工件坐标系,其余以此类推。可在 MDI 方式的参数设置的操作界面中设定加工坐标系,如图 1-30 所示。例如,对于已选定的编程原点 O_1 ,其坐标值为

$$X_3 = -345.700 \text{ mm}, Y_3 = -196.220 \text{ mm}, Z_3 = -53.165 \text{ mm}$$

若编程原点设在 G54 中,则表明在数控系统中设定了 1 号工件加工坐标。G54~G59 在加工程序中出现时,即选择了相应的加工坐标系。

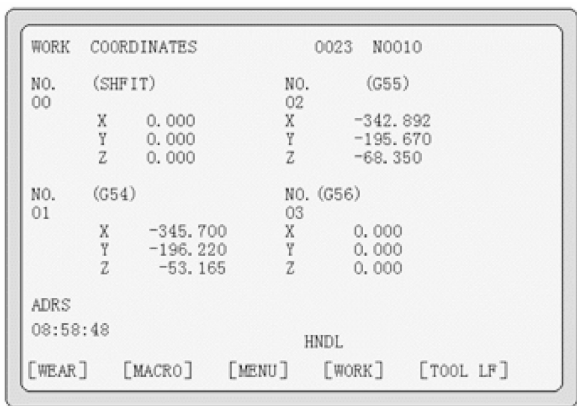


图 1-30 铣床加工坐标系原点设定界面

4. 数控加工程序的结构与格式

数控加工程序是由各种功能字按照规定的格式组成的。正确地理解各个功能字的含

义、恰当地使用各种功能字、按规定的程序指令编写程序是编好数控加工程序的关键。程序编制的规则是由所采用的数控系统决定的,编程前应详细阅读数控系统编程、操作说明书。

(1)程序的组成。

O1113;(程序名)

N1 G0 G90 G54 X35 Y45 Z50;(快速定位到 G54 坐标系下某点上方,起始平面为 Z50,使用绝对坐标编程)

N2 S800 M03;(主轴正转,转速为 800 r/min)

N3 M07;(切削液开)

N4 G43 H01 G0 Z5;(建立刀具长度补偿,使用 H01 补偿地址)

N5 G01 Z0 F80;(下刀到工件表面 Z0 位置)

.....

N17 G01 Z5 F120;(抬刀至退刀平面)

N18 M09;(切削液关)

N19 M05;(主轴停转)

N20 G49 G0 Z100;(撤销刀具长度补偿,抬刀至返回平面)

N21 M30;(程序结束)

数控程序由三部分组成,即程序名、程序内容和程序结束。程序内容是由若干程序段组成的。

(2)程序段的组成与格式。零件的加工过程是依靠一段一段的程序去完成的。不同的数控系统有不同的程序段格式,目前最常用的是采用字符地址可变程序格式,如图 1-31 所示。

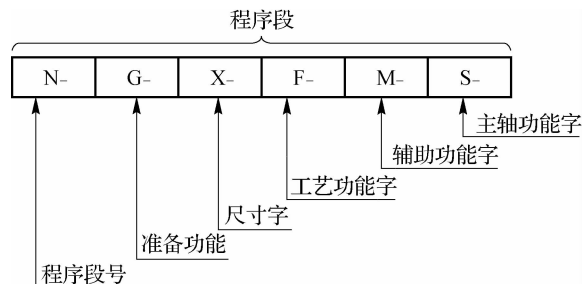


图 1-31 字符地址可变程序格式

程序段由若干字组成,每个字是由一个英文字母与其后的若干位十进制的数字组成的。字中的英文字母称为地址符。例如,“X100”是一个字,“X”为地址符,数字“100”为地址中的内容。常用地址符及说明见表 1-4。

表 1-4 常用地址符及说明

机 能	地 址 符	说 明
程序段号	N	程序段号地址
坐标字	X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R	直线坐标轴
	A、B、C、D、E	旋转坐标轴
	R	圆弧半径
	I、J、K	圆弧中心坐标

续表

机 能	地 址 符	说 明
准备功能	G	指令机床动作方式
辅助功能	M	机床辅助动作指令
补偿值	H、D	补偿值地址
切削用量	S	主轴转速功能
	F	进给功能
刀具功能	T	刀具功能

(3)主程序和子程序。数控加工程序可以分为主程序和子程序。在一个数控加工程序中如果包含一些在写法上完全相同或相似的内容,为了简化程序,可以把这些重复的程序单独抽出来,并按一定的格式编写成子程序,像主程序一样将它们存储到程序存储区中。程序中子程序以外的部分为主程序。



任务实施

在卧式数控车床上加工图 1-2 所示的台阶轴,材料为 45 号钢。

一、结构分析

该零件属于轴类零件,零件由圆柱面和圆锥面组成,最高精度要求为轴的圆柱面,即 $\phi 30_{-0.025}^0$ mm、 $\phi 35_{-0.025}^0$ mm、 $\phi 42_{-0.025}^0$ mm、 $\phi 48_{-0.025}^0$ mm,表面粗糙度为 $Ra3.2$ 。根据尺寸标注可知最大直径为 $\phi 48$ mm,长度为 80 mm,所以选用 $\phi 50$ mm $\times$ 120 mm 的 45 号钢圆钢棒料。

二、加工工艺设计

(1)加工工艺过程。该零件的加工过程为车端面(手动)一粗、精车外轮廓一切断。

(2)加工所用的刀具材料为硬质合金。T01 用于粗、精外轮廓(93°偏刀),T02 用于车端面,T03 为中心钻。

(3)选择切削参数。

①粗车外轮廓。主轴转速 $S=500$ r/min,进给速度 $F=0.2$ mm/r,切削深度 $\Delta d=2$ mm,退刀量 $r=0.5$ mm,循环起点为 A(52,2)。

②精车外轮廓。切削速度 $S=1\ 200$ m/min,进给速度 $F=0.1$ mm/r,精车余量 $\Delta u=0.5$ mm, $\Delta w=0.2$ mm。

(4)夹具。夹具为鸡心夹头、双顶尖。

三、编写程序

其数控加工程序如下:

O1234;

T0101;(换刀 T01,执行 1 号刀补)

G99 G97 M03 S500;(起动主轴)

G00 X52.0 Z2.0 M08;(刀具快速点位到循环起点,冷却液开)

G71 U2.0 R0.5;(粗车复合固定循环 G71)

```
G71 P10 Q20 U0.5 W0.2 F0.2;  
N10 G00 X27.0;  
G01 Z0 F0.2;  
X30.0 Z-1.5;  
Z-15.0;  
X31.0;  
X35.0 W-2.0;  
Z-45.0;  
X38.0;  
X42.0 Z-65.0;  
X48.0 W-3.0;  
N20 X52.0;  
M03 S1200;  
G70 P10 Q20;(精车循环)  
G00 X100.0 Z200.0 T0100 M09;(刀具退到安全地方,取消刀补,冷却液关)  
M05;  
M30;
```

四、程序的输入与校验

利用仿真软件,对编写好的程序进行调试。

(1)在机床操作面板的方式选择键中按编辑键,进入编辑方式。

(2)按系统面板上的 PROG 键,数控屏幕上显示程式画面。

(3)使用字母和数字键,输入程序号,如“O0001”(程序号为 0001)。

(4)按插入键。

(5)程序屏幕上显示新建的程序名和结束符后,输入程序内容。

新建的程序会自动保存到 DIR 画面中的零件程序列表里。但此保存是暂时的,在退出 VNUC 系统后,零件程序列表里的程序列表消失。

五、对刀

对刀是确定工件坐标系与机床坐标系的相互位置关系,是数控机床加工的一个重要环节。对刀直接影响零件的加工精度。对刀过程一般从各坐标方向分别进行,通过找正刀具与一个在工件坐标系中有确定位置的点(对刀点)来实现。对刀分为手动对刀和自动对刀。

(1)手动对刀(试切法)。一般对刀是指在机床上使用相对位置检测手动对刀。以 Z 向对刀为例,如图 1-32 所示,说明手动对刀。

刀具安装后,先移动刀具手动切削工件右端面,然后沿 X 向退刀,将工件右端面与编程原点距离 N 输入数控系统,完成刀具 Z 向对刀。

手动对刀是基本对刀方法,仍是“试切—测量—调整”对刀模式,占用较多时间。

(2)自动对刀。自动对刀是通过刀尖检测系统实现的,刀尖以设定的速度向接触式传感器接近,当刀尖与传感器接触并发出信号时,数控系统立即记下该瞬间的坐标值,如图 1-33 所示。

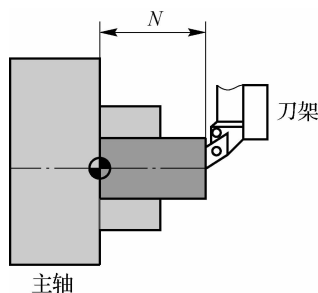


图 1-32 手动对刀

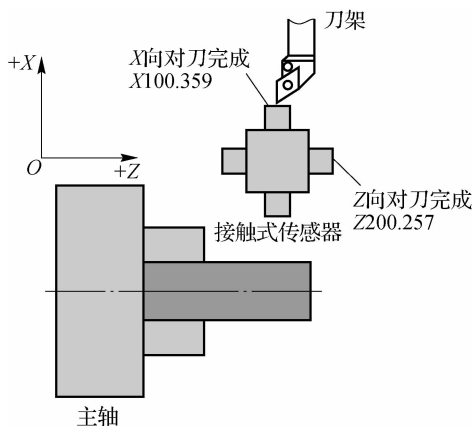


图 1-33 自动对刀

六、自动加工

将控制面板调整到自动状态,检查倍率和主轴转速按钮,按下键,等待工件生成。

知识拓展

一、数控高速切削

数控切削加工作为制造技术的主要基础工艺,随着制造技术的发展,在 20 世纪末取得了很大的进步,以发展高速切削、开发新的切削工艺和加工方法、提供成套技术为特征,进入了发展新阶段。数控切削加工在制造业中应用广泛,是汽车工业、航空航天工业、能源工业、军事工业、模具工业和电子工业等部门主要的加工技术。因此,数控切削加工技术在制造业发达的美、德、日等国家保持着快速发展的势头。金属切削刀具作为数控机床必不可少的配套工艺装备,在数控加工技术的带动下,进入了新的发展阶段,显示出“三高一专”(高效率、高精度、高可靠性和专用化)的特点。

在 21 世纪初,尽管堆积成形技术等是非常有前途的新工艺,但切削加工作为制造技术主要基础工艺,其地位没有改变。从当前制造业发展的趋势可以看出,制造业发展对切削加工提出的双重挑战是 21 世纪初切削加工技术发展的主要趋势。

当前以高速切削为代表的干切削、硬切削等新的切削工艺已经显示出很多的优点和强大的生命力,成为制造技术提高加工效率和质量、降低成本的主要途径。因此,发展高速切削等新的切削工艺是现代切削技术面临的新任务。当代的高速切削不是切削速度的少量提高,而是需要在制造技术全面进步和进一步创新的基础上,包括数控机床、刀具材料、涂层、刀具结构等技术的重大进步。把当前的高速切削技术实用化,可以使我国的机加工整体切削效率提高 1~2 倍,缩小与工业发达国家之间的差距。

硬切削是高速切削技术的一个应用领域,即用单刃或多刃刀具加工淬硬零件。硬切削具有效率高、柔性好、工艺简单、投资少等优点,已应用在一些领域。长期以来,难加工材料,如奥氏体不锈钢、高锰钢、淬硬钢、复合材料和耐磨铸铁等,一直是切削加工中的难题,切削效率低,刀具寿命短。随着制造业的发展,难加工材料的用量将迅速增加,加工的

矛盾将更加突出。与此同时,产品的材料构成将不断优化,新的工程材料也不断出现,而每种新型材料的应用都对切削加工提出了新的要求。例如,在切削加工比较集中的汽车工业,发动机、传动器零件中硅铝合金的比例持续增加,并开始引入镁合金和新的强度高铸铁,以减轻汽车的重量和节省能耗。在航空航天工业,钛合金、镍基合金、超耐热合金和陶瓷等难加工材料的应用比例和加工难度也都将进一步增加。能否高效加工这些材料,直接关系到我国汽车、航空航天、能源等重要工业领域的发展。我们必须从现在开始探索,以从根本上解决难加工材料大量使用及品种性能多样化带来的难题,创新加工技术,开发新的加工方法。

进入 21 世纪以后,随着产品多样化和个性化的趋势进一步加剧,制造业的产品更新速度大大加快。每种新产品的开发都意味着零件功能、结构、材料的重大变更,对切削加工提出了新的开发任务,如螺杆泵、等速万向节、底径定心的花键和电子工业印刷线路板等产品,无不反映着切削技术和刀具的成果。随着产品更新速度的加快,切削加工将迎来新的挑战。当前利用切削加工的柔性、现代切削加工和刀具技术的成果,新的零件加工方法展现出投入少、产出大、见效快的特点。例如,缸体孔系的整体硬质合金钻削工艺、缸盖的金刚石高速铣削工艺、同步器齿轮的筒式拉削工艺等新的加工工艺,使新建生产线的生产节拍时间缩短、产品质量提高、投资大量减少,充分显示出切削加工的巨大潜力。

二、高速切削刀具材料的使用性能和应用范围

随着切削速度的提高,金属切除率也得到极大的提高,材料的高应变率使切屑成形过程、刀具与工件之间接触面上发生的各种现象与传统切削条件下的情况不同,使刀具的热硬性和刀具磨损问题成为关键。为了实现高速切削,必须有适合于高速切削的刀具材料和刀具制造技术的支持。

现在使用的金属切削刀具材料可分为 9 种,包括从切削速度最低、耐磨性能最差的高速钢到高速性能最好的聚晶金刚石刀具。高速切削还需要同时具有韧性好、抗冲击能力强和耐磨性好的刀具材料。

性能较低的刀具,如高速钢和非涂层硬质合金,在普通切削加工中应用较广,但高速性能较差。而高性能的刀具,如聚晶金刚石刀具,是所有刀具材料中最硬的,具有非常高的耐磨性和耐热性,在高速加工有色金属和非金属材料时充分体现出了它的优越性。但是聚晶金刚石刀具的抗冲击能力差,在切削钢和铸铁类材料时的热性能很差。因为在高速切削铁质金属时,刀具材料中的碳原子会向工件扩散,引起刀具磨损加剧。

硬质合金刀具的应用量最大,占各种刀具销售总量的 80%。普通速度的金属切削 90% 采用硬质合金刀具。硬质合金具有比较好的抗冲击韧度,但是高速性能不好。另外,高速切削刀具还要求具有极高的热硬性和化学稳定性,但硬质合金不能满足这方面的要求。

CBN 刀具耐热性极好,可以在高温下切削硬材料,但价格昂贵,而且不能加工软金属材料。化学稳定性好的铝基陶瓷材料,缺乏热硬性,不能用于高速加工。

集中不同特性刀具材料的优点,开发新的刀具材料,使之同时具有抗冲击韧度和高的耐磨性,是高速切削刀具研究中要解决的主要问题之一。在具有较好抗冲击韧度刀具的基体材料上,用热硬性和耐磨性好的材料进行表面涂层所产生新的刀具,常常具有两种材料的优点,在高速切削中具有很大的适用范围。例如,先后出现的硬质合金涂层刀具、CBN 涂层刀具和 PCD 涂层刀具等复合材料新刀具,适用了高速切削不同的金属材料。

适用于高速切削的涂层硬质合金刀具,由于其使用了耐热性好、硬度高的涂层材料,采用了多层涂层技术,使涂层硬质合金刀具的切削范围增大,使用寿命长,切削性能优于非涂层硬质合金。因此,涂层硬质合金有取代普通非涂层硬质合金的趋势。

刀具涂层技术可以用在硬质合金刀具上,也可以用在其他刀具材料上,如金属陶瓷、陶瓷等。

陶瓷刀具也是可以用于高速切削的刀具,是近年来刀具材料研究发展的一个重要组成部分。晶须增强陶瓷刀具是一种特殊材料的刀具,它具有抗冲击韧度好、抗热冲击性能强的特点,很适合于高速加工。

高速切削刀具要解决的另一个问题是在刀片上磨出或压出一定几何形状的断屑槽,以便实现断屑和控制切屑方向,这也是提高加工效率和刀具耐用度的重要技术。

高速切削刀具具有优良的抗冲击韧度、抗热冲击性能、耐热性、耐磨性、化学稳定性和断屑效果等,金属切削范围更大。



思考与练习

一、判断题

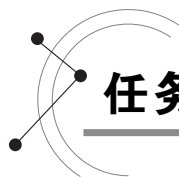
- (1)数控机床适合加工精度要求高、形状复杂、单件和小批量生产的零件。 ()
- (2)全功能数控系统应配置高速、功能强的可编程序控制器。 ()
- (3)世界上第一台数控机床是三坐标立式数控铣床。 ()
- (4)数控加工程序的程序段号必须顺序排列。 ()
- (5)对于几何形状不复杂的零件,自动编程的经济性较好。 ()
- (6)传递切削动力的主轴为Z坐标的运动方向。 ()

二、选择题

- (1)下列指令属于准备功能字的是()。
A. S500 B. M08 C. T01 D. G01
- (2)数控机床的进给运动是由()完成的。
A. 进给伺服系统 B. 主轴伺服系统
C. 液压伺服系统 D. 数字伺服系统
- (3)数控折弯机床按用途分是一种()数控机床。
A. 金属切削类 B. 金属成形类
C. 电加工 D. 特殊加工类
- (4)只有装备了()的数控机床才能完成曲面的加工。
A. 点位控制 B. 直线控制
C. 轮廓控制 D. B-SURFACE 控制
- (5)闭环控制系统与半闭环控制系统的区别主要在于()的位置不同。
A. 控制器 B. 比较器 C. 反馈元件 D. 检测元件
- (6)世界上第一台数控机床是()年研制出来的。
A. 1942 B. 1948 C. 1952 D. 1958

三、简答题

- (1) 简述数控机床加工程序的编制步骤。
- (2) 数控机床加工程序的编制方法有哪些？它们分别适用于什么场合？
- (3) 数控机床由哪几部分组成？伺服系统的作用是什么？
- (4) 简述数控车床的主要用途。
- (5) 简述坐标系建立的基本原则。
- (6) 数控车床常用的刀具材料有哪几种？
- (7) 数控车刀按结构分为哪三种类型？其中最常用的是哪种？
- (8) 数控车床的参考点位于什么位置？参考点有何用途？
- (9) 数控车床编程有何特点？



任务二 简单轴类零件的加工

轴类零件是轴向尺寸大于径向尺寸的回转体零件,也是各种机械设备和工艺装备中的常用组成零件。在模具中,导柱、凸模、模柄及其他杆件都属于轴类零件,这些零件都可以用数控车削加工。



能力目标

- ◇ 能够分析轴类零件的工艺并能制定加工工艺。
- ◇ 能够完成轴类零件的粗、精加工程序的编制。



知识目标

- ◇ 了解轴类零件毛坯的选择、刀具的选择、切削用量的选择和坐标系的选择等。
- ◇ 掌握常用 G 指令(G00、G01、G02、G03、G28、G29)的格式及应用。
- ◇ 掌握刀具位置补偿和刀尖圆弧半径补偿指令(G40、G41、G42)的应用。
- ◇ 掌握数控车削简化编程指令(G90、G70、G71)及子程序的应用。
- ◇ 掌握常用辅助功能字 M 的功能及应用。
- ◇ 掌握刀具功能字 T、主轴转速功能字 S 和进给速度功能字 F 等的应用。



任务描述

在卧式数控车床上加工图 1-34 所示的凸模类零件,该零件属于轴类零件,材料为 45 号钢。试编写其粗、精车外轮廓程序。