A decorative border with a repeating wavy pattern surrounds the text.

# 第五篇

## 数控加工中心 安全操作技术



# 第一章 数控加工中心加工工艺

## 1 加工中心的工艺特点

与普通机床加工相比,加工中心具有许多显著的工艺特点。

### (1) 工艺范围宽,能加工复杂曲面

与数控铣床一样,加工中心也能实现多坐标轴联动而容易实现许多普通机床难以完成或无法加工的空间曲线、曲面的加工,大大增加了机床的工艺范围。

### (2) 具有高度柔性,便于研制、开发新产品

所谓柔性即“灵活”、“可变”,是相对“刚性”而言的。过去,许多企业采用组合机床、专用机床进行高效、自动化生产,但这些组合机床、专用机床是专门针对某种零件的某道工序而设计的,适用于产品稳定的大批量生产,无法适应多品种、小批量生产。现在,即便是大批量生产的产品,品种多年一成不变的历史也已一去不复返,一旦品种发生变化,这些组合机床、专用机床基本就无法继续使用,组合机床、专用机床的应用越来越少,正在被数控设备所取代。一般的机械仿形加工机床能加工一些较复杂的零件,但产品变型后,必须重新设计和制造凸轮、靠模、样板或钻模等,生产准备周期较长。而加工中心当加工对象改变后,只需变换加工程序、调整刀具参数等即可进行新零件加工,生产准备周期大大缩短,给新产品的研制开发、产品的改进、改型提供了捷径。同时,由于加工中心具有自动换刀功能,在加工各种不同种类的零件、各种各样的表面方面比数控铣床更有优势。

### (3) 加工精度高,表面质量好

加工的零件一致性好,质量稳定,加工中心的脉冲当量一般为 $1\mu\text{m}$ ,高精度的加工中心可达 $0.1\mu\text{m}$ ,其运动分辨率远高于普通机床。加工中心多采用半闭环甚至全闭环的位置补偿功能,有较高的定位精度和重复定位精度,在加工过程中产生的尺寸误差能及时得到补偿,能获得较高的尺寸精度,加工中心采用插补原理确定加工轨迹,加工的零件形状精度高;在加工中心上加工,工序高度集中,一次装夹即可加工出零件上大部分表面,精度要求高、表面质量要求好的零件宜选用加工中心加工。

另外,加工中心的整个加工过程由程序自动控制,不受操作者人为因素的影响,同时,没有凸轮、靠模等硬件,省去了制造和使用中磨损等所造成的误差,加上机床的位置补偿功能、较高的定位精度和重复定位精度,加工出的零件尺寸一致性好。这对于批量和大量生产特别有利。

### (4) 生产率高

零件的加工时间包括机动时间和辅助时间,加工中心能有效地减少这两部分时间。加工中心刚度大、功率大,主轴转速和进给速度范围大且为无级变速,所以每道工序都可选择较大而合理的切削用量,减少了机动时间。加工中心加工时能在一次装夹中加工出很多待加工的部位,省去了通用机床加工时原有的不少中间工序(如划线、检验等)。加工中心具有自动变速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,使辅助时间大为缩短。所以,它比普通机床的生产效率高3~4倍甚至更高,对复杂型面零件的加工,其生产效率可提高十几倍甚至几十倍。此外,加工中心加工出的零件也为后续工序(如装配等)带来了许多方便,其综合效率更高。

### (5) 减轻了工人的体力劳动强度

一般情况下,操作者只要在机床旁边观察和监督机床的运行情况,此外再做一些装卸零件及更换刀具的工作。当然,加工中心操作者的脑力劳动强度相应增大,要处理许多在普通机床加工时很少见的数学问题、数控加工程序问题、微电子问题、信息问题、自动控制技术应用问题等。

### (6) 一机多用

加工中心具备了多台普通机床的功能,可自动换刀,一次装夹后,几乎可完成全部加工部位的加工。

### (7) 便于实现计算机辅助制造

计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)已成为航空航天、汽车、船舶及各种机械工业实现现代化的必由之路。而将用计算机辅助设计出来的产品图纸及数据变为实际产品的最有效途径,就是采取计算机辅助制造技术直接制造出零部件。加工中心等数控设备及其加工技术正是计算机辅助制造系统的基础。

## 2 加工中心的刀具

### 2.1 加工中心对刀具的基本要求

#### (1) 高刚度、高强度

为提高生产效率,往往采用高速、大切削用量的加工,因此加工中心采用的刀具应具有能承受高速切削和强力切削所必须的高刚度、高强度。

#### (2) 高耐用度

加工中心可以长时间连续自动加工,但若刀具不耐用而使磨损加快,轻则影响工件的表面质量与加工精度,增加换刀引起的调刀与对刀次数,降低效率,也会使工作表面留下因对刀误差而形成的接刀台阶,重则因刀具破损而发生严重的机床乃至人身事故。除上述两点之外,与普通切削一样,加工中心刀具的切削刃的几何角度参数的选择及排屑性能等也非常重要,积屑瘤等弊端在数控铣削中也是十分忌讳的。

### (3) 刀具精度

随着对零件的精度要求越来越高,对加工中心刀具的形状精度和尺寸精度的要求也在不断提高,如刀柄、刀体和刀片必须具有很高的精度才能满足高精度加工的要求。

总之,根据被加工工件材料的热处理状态、切削性能及加工余量,选择刚性好、耐用度高、精度高的加工中心刀具,是充分发挥加工中心的生产效率和获得满意加工质量的前提。

## 2.2 加工中心刀具的材料

### (1) 高速钢(High Speed Steel)

自1906年Taylor和White发明高速钢以来,通过许多改进至今仍被大量使用着,大体上可分为W系和Mo系两大类。其主要特征有:合金元素含量多且结晶颗粒比其他工具钢细,淬火温度极高(1200℃)而淬透性极好,可使刀具整体的硬度一致。回火时有明显的二次硬化现象,甚至比淬火硬度更高且耐回火软化性较高,在600℃仍能保持较高的硬度,较之其他工具钢耐磨性好,且比硬质合金韧性高,但压延性较差,热加工困难,耐热冲击较弱。因此高速钢刀具仍是数控机床刀具的选择对象之一。目前国内外应用比较普遍的高速钢刀具材料以WMo、WMoAl、WMoCo为主,其中WMoAl是我国所特有的品种。

### (2) 硬质合金(Cemented Carbide)

硬质合金是将钨钴类WC、钨钛钴类WC-TiC、钨钛钽(铌)钴类WC-TiC-TaC等硬质碳化物以Co为结合剂烧结而成的物质,于1926年由德国的Krupp公司发明,其主体为WC-Co系,在铸铁、非铁金属和非金属的切削中大显身手。1929~1931年前后,TiC以及TaC等添加的复合碳化物系硬质合金在铁系金属的切削中显示出极好的性能,从而使硬质合金得到了很大程度的普及。

按ISO标准,主要以硬质合金的硬度、抗弯强度等指标为依据,将硬质合金刀片材料分为P、M、K三大类,大致如下。

- a. WC + Co :K类、YG类;
- b. WC + TiC + Co :P类、YT类;
- c. WC + TiC + TaC + Co :M类、YW类。

K类适于加工切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料。主要成分为碳化钨和3%~10%的钴,有时还含有少量的碳化钽等添加剂。

P类适于加工长切屑的黑色金属。主要成分为碳化钛、碳化钨和钽(或镍),有时还加入碳化钽等添加剂。

M类适于加工长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属。成分和性能介于K类和P类之间,可用来加工钢和铸铁。

以上为一般切削工具所用硬质合金的大致分类。除此之外,还有超微粒子硬质合金,一般地可以认为其从属于K类,但因其烧结性能上要求结合剂Co的含量较高,故高温性能较差,大多只适用于钻、铰等低速切削工具。

在国际标准(ISO)中通常又分别在K、P、M三种代号之后附加01、05、10、20、30、40、50等数字进行更进一步的细分。一般来讲,数字越小者,硬度越高但韧性越低,而数字越大则韧性越高但硬度越低。

表 1-1 中列出了部分高速钢、硬质合金刀具材料的应用范围。

表 1-1 部分高速钢、硬质合金刀具材料的应用范围

类别	牌号	应用范围
普通高速钢	W18Cr4V	用于制造麻花钻、铰刀、丝锥、铣刀、齿轮刀具、拉刀等
	W6Mo5Cr4V2	用于制造要求塑性好的刀具(如轧制麻花钻)及承受较大冲击载荷的刀具
高性能高速钢	W2Mo9Cr4VCo8 W12Mo3Cr4V3Co5Si	用于制造加工难加工材料的各种刀具,不宜用于冲击载荷及工艺系统刚性不足的条件
	W6M05Cr4V2A1	用于制造麻花钻、丝锥、铰刀、铣刀、车刀和刨刀等,其用于加工铁基高温合金的麻花钻时,效果显著,用于制造形状复杂刀具
硬质合金	YG3X	铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工,不能承受冲击载荷
	YG3	铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工,不能承受冲击载荷
	YG6X	普通铸铁、冷硬铸铁、高温合金的精加工、半精加工
	YG6	铸铁、有色金属及其合金的半精加工和粗加工
	YG8	铸铁、有色金属及其合金、非金属材料的粗加工,也可用于断续切削
	YG6A	冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工,亦可用于高锰钢、淬硬钢的半精加工和精加工
	YT30	碳素钢、合金钢的精加工
	YT15	碳素钢、合金钢在连续切削时的粗加工、半精加工,亦可用于断续切削时的精加工
	YT14	同 YT15
	YT5	碳素钢、合金钢的粗加工,可用于断续切削
	YW1	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的半精加工和精加工
	YW2	高温合金、不锈钢、高锰钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的粗加工和半精加工

涂层硬质合金刀片是在韧性较好的工具表面涂上一层耐磨损、耐溶着、耐反应的物质,使刀具在切削中同时具有既硬又不易破损的性能。英文称其为 COatedTool。

### (3) 陶瓷 (Ceramics)

从 20 世纪 30 年代人们就开始研究以陶瓷作为切削工具了。陶瓷刀具基本上由两大类组成,一类为氧化铝类(白色陶瓷),另一类为 TiC 添加类(黑色陶瓷),另外还有在  $Al_2O_3$  中添加  $SiC$ (晶须)、 $ZrO_2$ (青色陶瓷)来增加韧性的,以及以  $Si_3N_4$  为主体的陶瓷刀具。

陶瓷材料具有高硬度、高温强度高(约  $2000^\circ C$  下亦不会熔融)的特性,化学稳定性亦很好,但韧性很低。对此,最近热等静压技术的普及对改善结晶的均匀细密性、提高陶瓷的各向性能均衡乃至提高韧性都起到了很大的作用,作为切削工具用的陶瓷抗弯强度已经提高到  $900MPa$  以上。

一般来说,陶瓷刀具相对于硬质合金和高速钢来说仍是极脆的材料,因此,多用于高速连续切削中,例如铸铁的高速加工。另外,陶瓷的热导率相对于硬质合金来说非常低,是现有工具材料中最低的一种,故在切削加工中容易积蓄加工热,且对于热冲击的变化较难承受。所以,加工中陶瓷刀具很容易因热裂纹产生崩刃等损伤,且切削温度较高。

陶瓷刀具因其材质的化学稳定性好、硬度高,在耐热合金等难加工材料的加工中有广泛的应用。金属切削加工所用刀具的研究开发,总是在不断地追求硬度,从而自然遇到了韧性问题。金属陶瓷就是为了解决陶瓷刀具的脆性大而出现的,其成分以 TiC(陶瓷)为基体, $Ni$ 、 $Mo$ (金属)为结合剂,故取名为金属陶瓷。

金属陶瓷刀具的最大优点是与被加工材料的亲和性极低,故不易产生粘刀和积屑瘤现象,使加工表面非常光洁平整,是良好的精加工刀具材料。但由于韧性差,大大限制了它的应用范围。如今人们通过添加  $WC$ 、 $TaC$ 、 $TiN$ 、 $TaN$  等异种碳化物,使其抗弯强度达到了硬质合金的水平,因而得到广泛的应用。日本黛杰(DIJET)公司新近推出通用性更为优良的 CX 系列金属陶瓷,可以适应各种切削状态的加工要求。

### (4) 立方氮化硼 (CBN)

立方氮化硼是靠超高压、高温技术人工合成的新型刀具材料,其结构与金刚石相似,此种工具材料由美国 GE 公司研制开发。它的硬度略低于金刚石,但热稳定性远高于金刚石,并且与铁族元素亲和力小,不易产生“积屑瘤”。CBN 粒子硬度高达  $4500HV$ ,热导率高,在大气中加热至  $1300^\circ C$  仍保持性能稳定,且与铁的反应性很低,是迄今为止能够加工铁族金属和钢铁材料最硬的刀具材料。它的出现使无法进行正常切削加工的淬火钢、耐热钢的高速切削变成了可能。淬火硬度  $60-70HRC$  的烧结钢等高硬度材料均可采用 CBN 刀具来进行切削。目前,很多场合都用 CBN 刀具进行切削,取代了以前只能用磨削才能进行的加工,使加工效率得到了极大的提高。

切削加工普通灰铸铁时,一般来说线速度  $300m/min$  以下采用涂层硬度合金, $300-500m/min$  以内采用陶瓷, $500m/min$  以上用 CBN 刀具材料。而且最近的研究表明,用 CBN 切削普通灰铸铁,当速度超过  $800m/min$  时,刀具寿命随着切削速度的增加反而更长。其原因一般认为是在切削过程中,刃口表面会形成  $Si_3N_4$ 、 $Al_2O_3$  等保护膜替代刀刃的磨损。因此,可以说 CBN 将是超高速加工的首选刀具材料。

### (5) 聚晶金刚石 (PCD)

1975 年美国 GE 公司开发了用人造金刚石颗粒通过添加  $Co$ 、硬质合金、 $NiCr$ 、 $Si-SiC$  以及陶瓷结合剂在高温( $1200^\circ C$  以上)、高压下烧结成形的 PCD 刀具,使其得到了广泛的应用。





### (1) 铣削类刀具

因为加工中心主要用于复杂曲面的铣削,所以铣刀的选择是非常重要的。铣刀的种类繁多,功能也不尽相同。如平面铣刀(盘铣刀)适合于大面积的平面类零件的加工,端铣刀(圆柱铣刀、立铣刀)既适合于平面加工,也可以加工侧面,即它除用其端刃铣削外,还可用其侧刃铣削。球头铣刀和成型刀具适合于曲面类零件的加工。曲面加工用铣刀,适用于加工空间曲面零件,有时也用于平面类零件较大的转接凹圆弧的补加工。部分铣刀的形状如图1-1所示。除上述几种类型的铣刀外,还有特殊的铣刀,如下所述。

①专用成型铣刀 一般都是为特定的工件或加工内容专门设计制造的,适用于加工平面类零件的特定形状(如角度面、凹槽面等),适应于特定形状的孔或台。

②鼓形铣刀 主要用于对变斜角类零件中变斜角面的近似加工。

### (2) 孔加工类刀具

在加工中心上可进行钻孔、扩孔和镗孔,其刀具分别称为浅孔钻、扩孔钻(粗镗刀)、精镗刀。

①浅孔钻 用于在实体工件上打孔,一般加工的长径比在4:1以内。这种钻头的刚性很好,可保证钻孔的精度,有易于排屑的容屑槽,其加工效率很高。

②扩孔钻(粗镗刀) 用于对铸造孔和预加工孔的加工,由于刀体上的容屑空间可通畅地排屑,因此可以扩盲孔,有些扩孔刀的直径还可进行调整,可满足一定范围内不同孔径的要求。高档的扩孔刀还带有内冷功能,可使冷却液直接到达刀刃上,这样不仅可以有效防止刀具的升温,而且还可帮助排屑。

③精镗刀 用于孔的精加工,加工中心用的精镗刀通常采用模块式结构,通过高精度的调整装置调节镗刀的径向尺寸,可加工出高精度的孔。另外,镗刀还采用平衡块调整其动平衡,以减少振动,从而保证孔的表面粗糙度和尺寸精度。

## 3 加工中心工件装卡与定位

### 3.1 工件在数控机床上的装夹

#### (1) 工件定位的基本原理

##### 1) 六点定位原理

如图1-2所示,工件在空间具有六个自由度,即沿 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 三个直角坐标轴方向的移动自由度 $\vec{x}$ 、 $\vec{y}$ 、 $\vec{z}$ 和绕这三个坐标轴的转动自由度 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ 。因此,要完全确定工件的位置,就必须消除这六个自由度,通常用六个支承点(即定位元件)来限制工件的六个自由度,其中每一个支承点限制相应的一个自由度,如图1-3所示,在 $xOy$ 平面上,不在同一直线上的三个支承点限制了工件的 $\vec{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 三个自由度,这个平面称为主基准面;在 $yOz$ 平面上,沿长度方向布置的两个支承点限制了工件的 $\vec{x}$ 、 $\hat{z}$ 两个自由度,这个平面称为导向平面;工件在 $xOz$ 平

面上,被一个支承点限制了 $\vec{y}$ 一个自由度,这个平面称为止动平面。

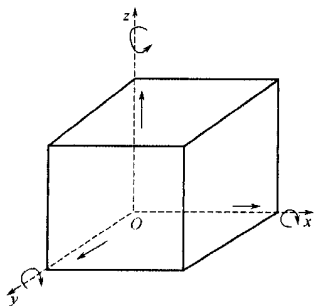


图 1-2 工件在空间的六个自由度

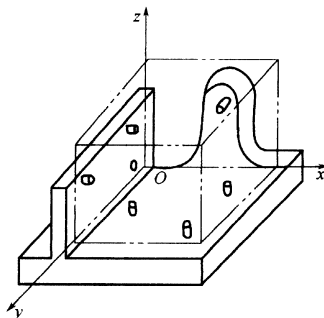


图 1-3 工件的六点定位

综上所述,若要使工件在夹具中获得惟一确定的位置,就需要在夹具上合理设置相当于定位元件的六个支承点,使工件的定位基准与定位元件紧贴接触,即可消除工件的所有六个自由度,这就是工件的六点定位原理。

### 2) 六点定位原理的应用

六点定位原理对于任何形状工件的定位都是适用的,如果违背这个原理,工件在夹具中的位置就不能完全确定。然而,用工件六点定位原理进行定位时,必须根据具体加工要求灵活运用,工件形状不同,定位表面不同,定位点的布置情况会各不相同,宗旨是使用最简单的定位方法,使工件在夹具中迅速获得正确的位置。

①完全定位 工件的六个自由度全部被夹具中的定位元件所限制,而在夹具中占有完全确定的惟一位置,称为完全定位。

②不完全定位 根据工件加工表面的不同加工要求,定位支承点的数目可以少于六个。有些自由度对加工要求有影响,有些自由度对加工要求无影响,只要分布与加工要求有关的支承点,就可以用较少的定位元件达到定位的要求,这种定位情况称为不完全定位。不完全定位是允许的,下面举例说明。

五点定位如图 1-4 所示,钻削加工小孔  $\phi D$ ,工件以内孔和一个端面在夹具的心轴和平面上定位,限制工件 $\vec{x}$ 、 $\vec{y}$ 、 $\vec{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 五个自由度,相当于五个支承点定位。工件绕心轴的转动 $\hat{z}$ 不影响对小孔  $\phi D$  的加工要求。

四点定位如图 1-5 所示,铣削加工通槽  $B$ ,工件以长外圆在夹具的双 V 形块上定位,限制工件的 $\vec{z}$ 、 $\vec{y}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 四个自由度,相当于四个支承点定位。工件的 $\vec{x}$ 、 $\hat{z}$ 两个自由度不影响对通槽  $B$  的加工要求。

③欠定位 按照加工要求应该限制的自由度没有被限制的定位称为欠定位。欠定位是不允许的。因为欠定位保证不了加工要求。如铣削图 1-6 所示零件上的通槽,应该限制 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\vec{z}$ 三个自由度以保证槽底面与  $A$  面的平行度及尺寸  $60_{-0.2}^0\text{mm}$  两项加工要求,应该限制 $\vec{x}$ 、 $\hat{z}$ 两个自由度以保证槽侧面与  $B$  面的平行度及尺寸  $30\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$  两项加工要求。 $\vec{y}$ 自由

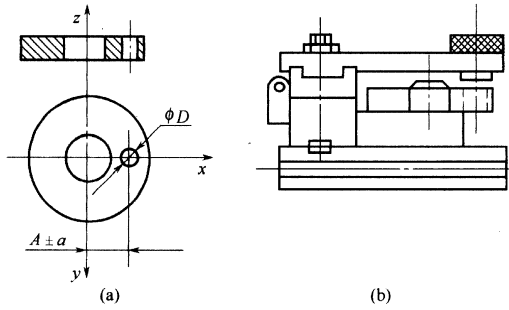


图 1-4 五点定位示例

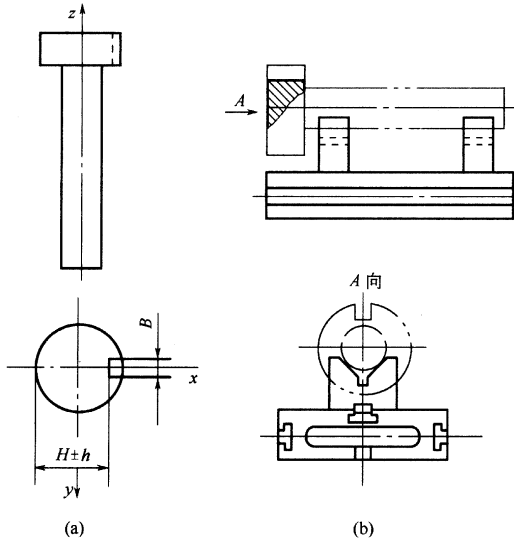


图 1-5 四点定位

度不影响通槽加工,可以不限。如果 $\vec{z}$ 没有限制, $60_{-0.2}^0 mm$ 就无法保证,如果 $\hat{x}$ 或 $\hat{y}$ 没有限制,槽底与A面的平行度就不能保证。

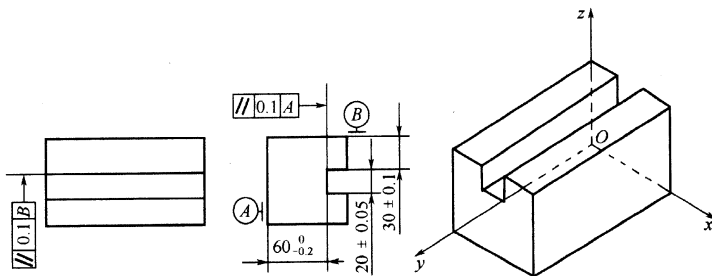


图 1-6 限制自由度与加工要求的关系

④过定位 工件的一个或几个自由度被不同的定位元件重复限制的定位称为过定位。

如图 1-7 所示的连杆定位方案,长销限制了 $\vec{x}$ 、 $\vec{y}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 四个自由度,支承板限制了 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\vec{z}$ 三

个自由度,其中 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 被两个定位元件重复限制,这就产生了过定位。当连杆小头孔与端面有较大的垂直度误差时,夹紧力 $F_j$ 将使长销弯曲或使连杆变形[图1-7(b)(c)],造成连杆加工误差。若采用图1-7(d)所示方案,将长销改为短销,就不会产生过定位。当过定位导致工件或定位元件变形,影响加工精度时,应该严禁采用。但当过定位并不影响加工精度,反而对提高加工精度有利时,也可以采用,要具体情况具体分析。

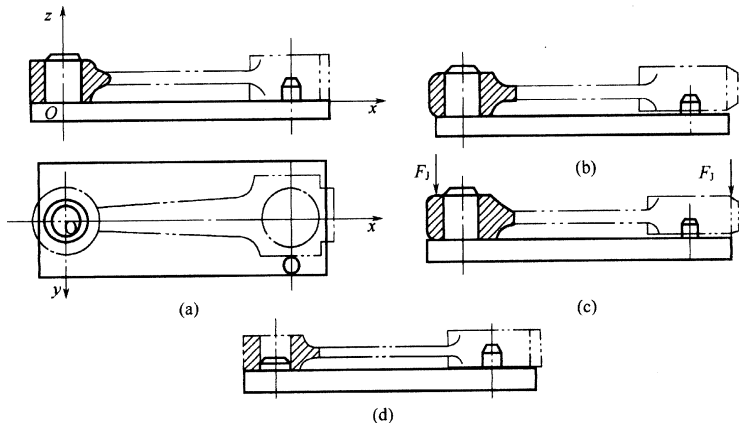


图1-7 连杆定位方案

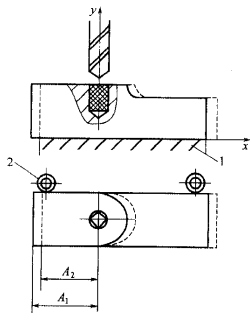


图1-8 定位与夹紧的关系示意

### 3) 定位与夹紧的关系

定位与夹紧的任务是不同的,两者不能互相取代。若认为工件被夹紧后其位置不能动了,所以自由度都已限制了,这种理解是错误的。图1-8所示为定位与夹紧的关系图,工件在平面支承1和两个长圆柱销2上定位,工件放在实线和虚线位置都可以夹紧,但是工件在 $x$ 方向的位置不能确定,钻出的孔的位置也不确定(出现尺寸 $A_1$ 和 $A_2$ )。只有在 $x$ 方向设置一个挡销时,才能保证钻出的孔在 $x$ 方向获得确定的位置。另一方面,若认为工件在挡销的反方向仍然有移动的可能性,因此位置不确定,这种理解也是错误的。定位时,必须使工件的定位基准紧贴在夹具的定位元件上,否则不能称其为定位,而夹紧则是使工件不离开定位元件。

## (2) 定位基准的选择原则

### 1) 粗基准的选择原则

①相互位置要求原则 选取与加工表面相互位置精度要求较高的不加工表面作为粗基准,以保证不加工表面与加工表面的位置要求。如图 1-9 所示的套筒毛坯,以不加工的外圆 1 作粗基准,不仅可以保证内孔 2 加工后壁厚均匀,还可以在—次安装中加工出大部分要加工的表面。

②加工余量合理分配原则 以余量最小的表面作为粗基准,以保证各加工表面有足够的加工余量。图 1-10 所示的阶梯轴毛坯大小端外圆有 5mm 的偏心,应以余量较小的  $\phi 58\text{mm}$  外圆表面作粗基准,如果选  $\phi 114\text{mm}$  外圆作粗基准加工  $\phi 58\text{mm}$  外圆,则无法加工出  $\phi 50\text{mm}$  外圆。

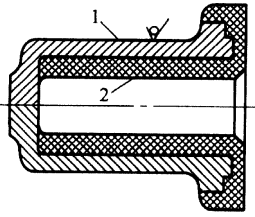


图 1-9 套筒粗基准的选择

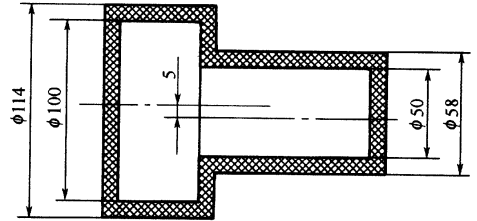


图 1-10 阶梯轴的粗基准选择

③重要表面原则 为保证重要表面的加工余量均匀,应选择重要加工面为粗基准。图 1-11 所示的床身导轨加工,为了保证导轨面的金相组织均匀—致并且具有较高的耐磨性,应使其加工余量小而均匀。因此,应先选择导轨面为粗基准,加工与床腿的连接面,如图 1-11(a)所示。然后再以连接面为精基准,加工导轨面,如图 1-11(b)所示。这样才能保证导轨面加工时被切去的金属层尽可能薄而且均匀。

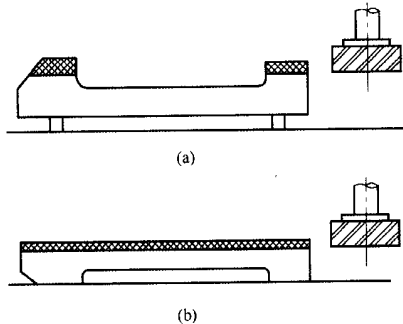


图 1-11 床身导轨加工粗基准的选择

④不重复使用原则 粗基准未经加工,表面比较粗糙且精度低,二次安装时,其在机床上(或夹具中)的实际位置可能与第一次安装时不一样,从而产生定位误差,导致相应加工表面出现较大的位置误差。因此,粗基准—般不应重复使用。图 1-12 所示零件,若在加工端面 A、内孔 C 和钻孔 D 时均使用未经加工的 B 表面定位,则钻孔的位置精度就会相对于内孔和端面产生偏差。当然,若毛坯制造精度较高,而工件加工精度要求不高时,则粗基准也可重复使用。

⑤便于工件装夹原则 作为粗基准的表面,应尽量平整光滑,没有飞边、冒口、浇口或其他缺陷,以便使工件定位准确、夹紧可靠。

2) 精基准的选择原则

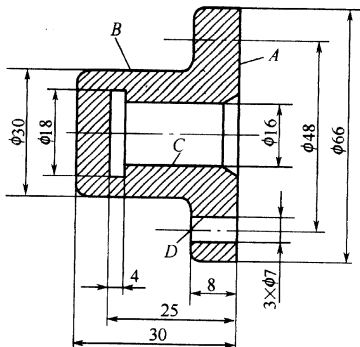


图 1-12 粗基准重复使用的误差

①基准重合原则 直接选择加工表面的设计基准为定位基准,称为基准重合原则。采用基准重合原则可以避免由定位基准与设计基准不重合而引起的定位误差(基准不重合误差)。

图 1-13(a)所示零件,欲加工孔 3,其设计基准是面 2,要求保证尺寸 A。在用调整法加工时,若以面 1 为定位基准,如图 1-13(b)所示,则直接保证的尺寸是 C,尺寸 A 是通过控制尺寸 B 和 C 来间接保证的。因此,尺寸 A 的公差为:

$$T_A = A_{\max} - A_{\min} = C_{\max} - B_{\min} - (C_{\min} - B_{\max}) = T_B + T_C \quad (1-1)$$

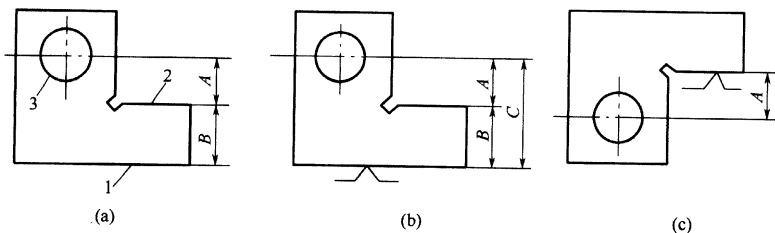


图 1-13 设计基准与定位基准的关系

由此可以看出,尺寸 A 的加工误差中增加了一个从定位基准(面 1)到设计基准(面 2)之间尺寸 B 的误差,这个误差就是基准不重合误差。由于基准不重合误差的存在,只有提高本道工序尺寸 C 的加工精度,才能保证尺寸 A 的精度;当本道工序 C 的加工精度不能满足要求时,还需提高前道工序尺寸 B 的加工精度,这就增加了加工的难度。

若按图 1-13(c)所示用面 2 定位,则符合基准重合原则,可以直接保证尺寸 A 的精度。

应用基准重合原则时,要具体情况具体分析。定位过程中产生的基准不重合误差,是在用夹具装夹、调整法加工一批工件时产生的。若用试切法加工,设计要求的尺寸一般可直接测量,不存在基准不重合误差问题。在带有自动测量功能的数控机床上加工时,可在工艺中安排坐标系测量检查工步,即每个零件加工前由 CNC 系统自动控制测量头检测设计基准并

自动计算、修正坐标值,消除基准不重合误差,因此,不必遵循基准重合原则。

②基准统一原则 同一零件的多道工序尽可能选择同一个定位基准,称为基准统一原则。这样既可保证各加工表面间的相互位置精度,避免或减少因基准转换而引起的误差,而且简化了夹具的设计与制造工作,降低了成本,缩短了生产准备周期。例如轴类零件加工,采用两端中心孔作统一定位基准,加工各阶梯外圆表面,可保证各阶梯外圆表面的同轴度误差。

基准重合和基准统一原则是选择精基准的两个重要原则,但实际生产中有时会遇到两者相互矛盾的情况。此时,若采用统一定位基准能够保证加工表面的尺寸精度,则应遵循基准统一原则;若不能保证尺寸精度,则应遵循基准重合原则,以免使工序尺寸的实际公差值减小,增加加工难度。

③自为基准原则 精加工或光整加工工序要求余量小而均匀,选择加工表面本身作为定位基准,称为自为基准原则。

图 1-14 所示的床身导轨面磨削,在磨床上用百分表找正导轨面相对于机床运动方向的正确位置,然后磨去薄而均匀的一层磨削余量,以满足对床身导轨面的质量要求。采用自为基准原则时,只能提高加工表面本身的尺寸精度和形状精度,而不能提高加工表面的位置精度,加工表面的位置精度应由前道工序保证。此外,研磨、铰孔都是自为基准的例子。

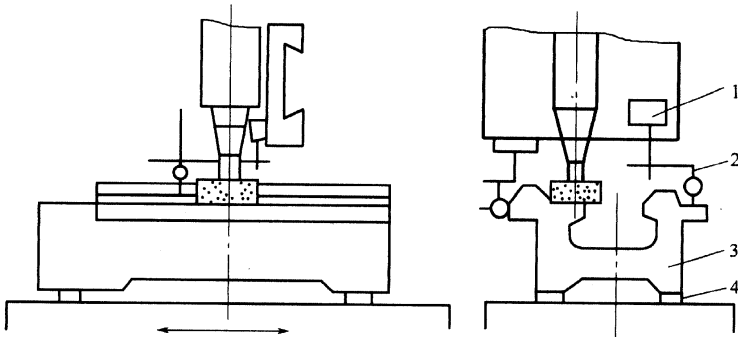


图 1-14 自为基准实例

1—磁力表座 2—百分表 3—床身 4—垫铁

④互为基准原则 为使各加工表面之间具有较高的位置精度,或使加工表面具有均匀的加工余量,可采取两个加工表面互为基准反复加工的方法,称为互为基准原则。

例如,图 1-15 所示的精密齿轮齿面磨削,因齿面淬硬层磨削余量小而均匀,为此需先以齿面分度圆为基准磨内孔,再以内孔为基准磨齿面,这样反复加工才能满足要求。

⑤便于装夹原则 所选精基准应能保证工件定位准确稳定,装夹方便可靠,夹具结构简单适用,操作方便灵活。同时,定位基准应有足够大的接触面积,以承受较大的切削力。

### 3 辅助基准的选择

辅助基准是为了便于装夹或易于实现基准统一而人为制成的一种定位基准,如轴类零件加工所用的两个中心孔,它不是零件的工作表面,只是出于工艺上的需要才作出的。又如图 1-16 所示的零件,为安装方便,毛坯上专门铸出工艺搭子,也是典型的辅助基准,加工完

毕后应将其从零件上切除。

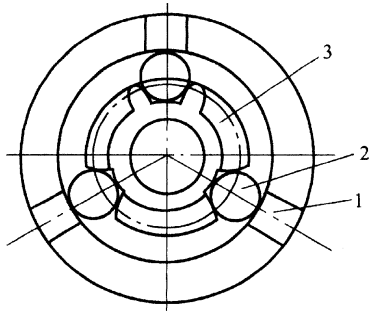


图 1-15 互为基准实例  
1-卡盘 2-滚柱 3-齿轮

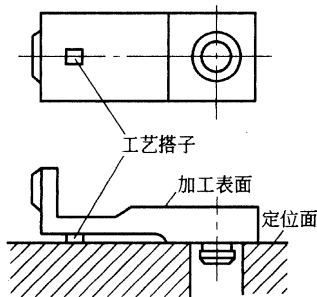


图 1-16 辅助基准典型实例

### (3) 常见定位方式及定位元件

如表 1-2 所示,工件的定位是通过工件上的定位基准面和夹具上定位元件工作表面之间的配合或接触实现的,一般应根据工件上定位基准面的形状来选择相应的定位元件。

#### 1) 工件以平面定位

工件以平面定位时,常用定位元件有固定支承、可调支承、浮动支承、辅助支承四类。

① 固定支承 固定支承有支承钉和支承板两种形式,如图 1-17 所示,平头支承钉和支承板用于已加工平面的定位,球头支承钉主要用于毛坯面定位,齿纹头支承钉用于侧面定位,以增大摩擦系数。

② 可调支承 可调支承用于工件定位过程中,支承钉高度需调整的场所,如图 1-18 所示,高度尺寸调整后,用锁母 2 固定,就相当于固定支承。可调支承大多用于毛坯尺寸、形状变化较大,以及粗加工时的定位。

③ 浮动支承 工件定位过程中,能随着工件定位基准位置的变化而自动调节的支承,称为浮动支承。浮动支承常用的有三点式[图 1-19(a)]和两点式[图 1-19(b)]。无论哪种形式的浮动支承,其作用相当于一个固定支承,只限制一个自由度,主要目的是提高工件的刚性和稳定性。浮动支承用于毛坯面定位或刚性不足的场所。

④ 辅助支承 辅助支承是指由于工件形状、夹紧力、切削力和工件重力等原因,可能使工件在定位后还产生变形或定位不稳,为了提高工件的装夹刚性和稳定性而增设的支承。因此,辅助支承只能起提高工件支承刚性的辅助定位作用,而不起限制自由度的作用,更不

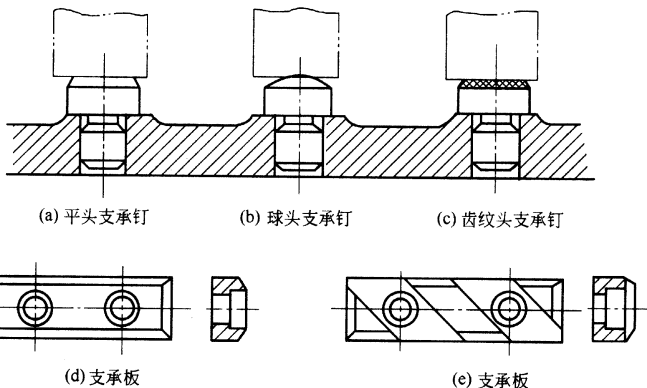


图 1-17 支承钉和支承板



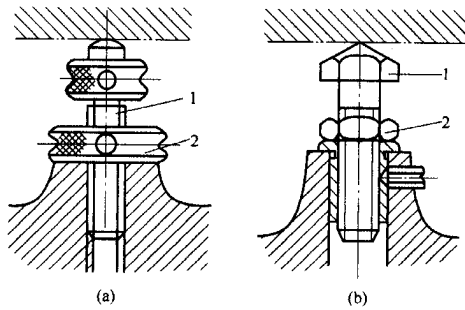


图 1-18 可调支承  
1-调整钉 2-锁紧螺母

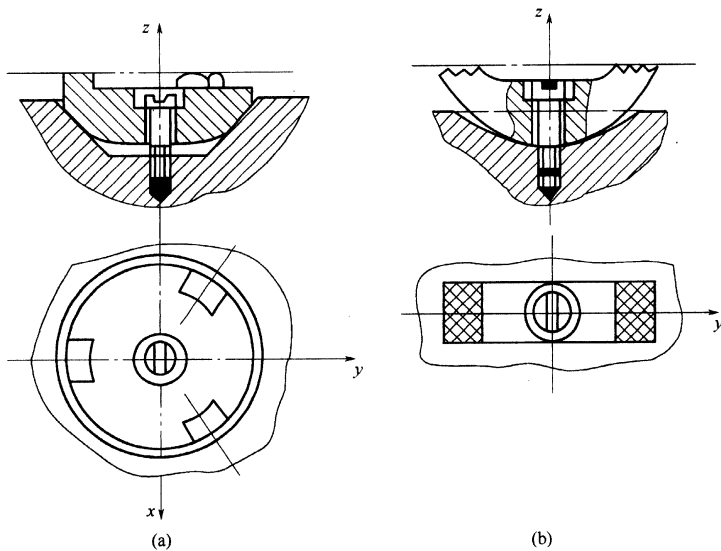


图 1-19 浮动支承

能破坏工件原有定位。

## 2) 工件以圆孔定位

工件以圆孔定位时,常用的定位元件有定位销、圆柱心轴和圆锥销。

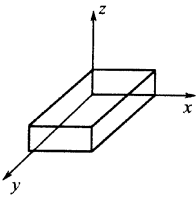
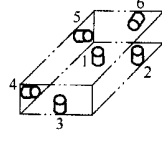
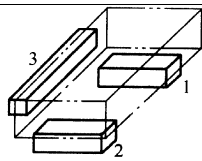
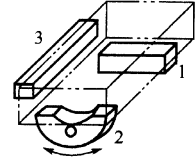
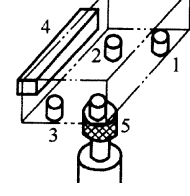
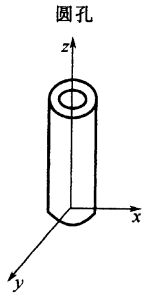


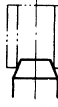
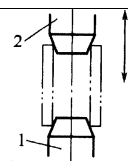
①定位销 如表 1-2 所示,定位销分为短销和长销。短销只能限制两个移动自由度,而长销除限制两个移动自由度外,还可限制两个转动自由度。

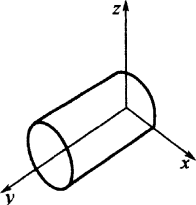
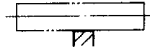
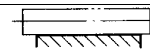
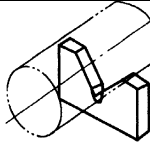
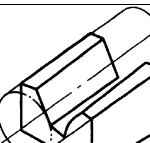
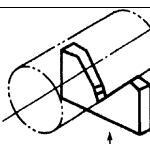

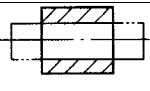
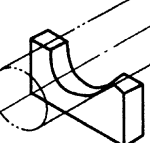
②圆柱心轴 圆柱心轴定位有间隙配合和过盈配合两种。间隙配合拆卸方便,但定心精度不高,过盈配合定心精度高,不用另设夹紧装置,但装拆工件不方便。

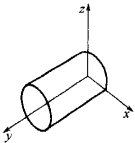
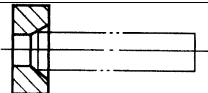
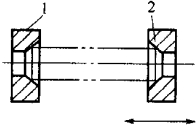
③圆锥销 采用圆锥销定位时,圆锥销与工件圆孔的接触线为一个圆,限制工件的三个移动自由度。

表 1-2

常见定位元件及定位方式

工件定位基准面	定位元件	定位方式简图	定位元件特点	限制的自由度
平面 	支承钉			1、2、3—z、 x、y 4、5—x、z 6—y
	支承板		每个支承板也可设计为两个或两个以上的小支承板	1、2—z、x、y 3—x、z
	固定支承与浮动支承		1、3—固定支承 2—浮动支承	1、2—z、x、y 3—x、z
	固定支承与辅助支承		1、2、3、4—固定支承 5—辅助支承	1、2、3—z、x、y 4—x、z 5—增加刚性，不限制自由度
圆孔 	定位销 (心轴)		短销 (短心轴)	x、y
			长销 (长心轴)	x、y x、y
	锥销		单锥销	x、y、z
			1—固定销 2—活动销	x、y、z x、y

工件定位基准面	定位元件	定位方式简图	定位元件特点	限制的自由度
外圆柱面 	支承板 或 支承钉		短支承板或支承钉	$z$ (或 $x$ )
			长支承板或两个支承钉	$z$ 、 $x$
	V形块		窄V形块	$x$ 、 $z$
			宽V形块或两个窄V形块	$x$ 、 $z$ $x$ 、 $z$
			垂直运动的窄活动V形块	$x$ (或 $x$ )
	定位套		短套	$x$ 、 $z$
			长套	$x$ 、 $z$ $x$ 、 $z$
	半圆孔衬套		短半圆孔	$x$ 、 $z$
			长半圆孔	$x$ 、 $z$ $x$ 、 $z$

工件定位基准面	定位元件	定位方式简图	定位元件特点	限制的自由度
外圆柱面 	锥套		单锥套	$x、y、z$
			1—固定锥套 2—活动锥套	$x、y、z$ $x、z$

### 3) 工件以外圆柱面定位

工件以外圆柱面定位时的定位元件有支承板、V形块、定位套、半圆孔衬套、锥套和三爪自动定心卡盘等形式，最常见的是V形块和三爪自动定心卡盘。

V形块的优点是对中性好，可以使工件的定位基准轴线保持在V形块两斜面的对称平面上，而且不受工件直径误差的影响，安装方便。V形块有窄V形块、宽V形块和两个窄V形块组合等三种结构形式。窄V形块定位限制工件的两个自由度，宽V形块或两个窄V形块组合定位，则限制工件的四个自由度。

三爪自动定心卡盘能够自动地将工件的轴线确定在要求的位置上。

### 4) 工件以一面两孔定位

如图1-20所示，一面二孔定位是机械加工过程中最常用的定位方式之一，即以工件上的一个较大平面和平面上相距较远的两个孔组合定位。平面支承限制 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ 三个自由度，一个圆柱销限制 $x$ 和 $y$ 两个自由度，另一个圆柱销限制 $z$ 自由度。为保证工件能够顺利安装，第二个销通常采用削边结构(参考表1-3)。削边销与孔的最小配合间隙 $X_{\min}$ 可由下式计算。

$$X_{\min} = \frac{b(T_D + T_d)}{D} \quad (1-2)$$

- 式中  $b$ ——削边销的宽度；  
 $T_D$ ——两定位孔中心距公差；  
 $T_d$ ——两定位销中心距公差；  
 $D$ ——与削边销配合的孔的直径。

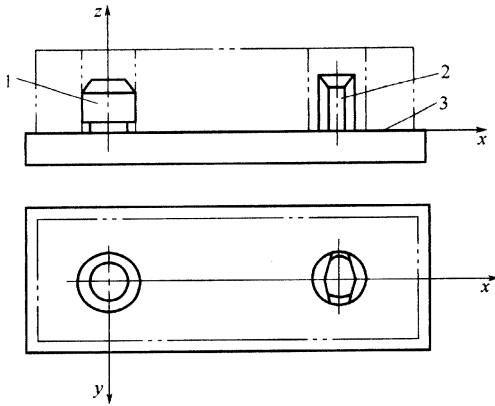


图 1-20 一面两孔定位

1-圆柱销 2-削边销 3-定位平面

表 1-3

削边销结构尺寸

	D	3~6	>6~8	>8~20	>20~25	>25~32	>32~40	>40~50
	b	2	3	4	5	6	7	8
	B	D-0.5	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	

#### (4) 定位误差

工件在夹具中的位置是以其定位基面与定位元件的相互接触(配合)来确定的,由于定位基面、定位元件的工作表面本身存在一定的制造误差,导致一批工件在夹具中的实际位置不可能完全一样,使加工后各工件的加工尺寸存在误差。这种因工件在夹具上定位不准而造成的加工误差,称为定位误差,它包括基准位移误差和基准不重合误差两种类型。

①基准位移误差 定位基准相对于其理想位置的最大变动量,称为基准位移误差,用 $\Delta_Y$ 表示。

②基准不重合误差 定位基准和工序基准不重合而造成的加工误差,称为基准不重合误差,用 $\Delta_B$ 表示。

定位误差的计算与工件的具体定位方式和定位基准、定位元件的制造精度有关,限于篇幅,此处不再一一列举。

#### (5) 工件的夹紧

夹紧是工件装夹过程中的重要组成部分。工件定位后必须通过一定的机构产生夹紧力,把工件压紧在定位元件上,使其保持准确的定位位置,不会由于切削力、工件重力、离心力或惯性力等的作用而产生位置变化和振动,以保证加工精度和安全操作。这种产生夹紧力的机构称为夹紧装置。

1) 夹紧装置应具备的基本要求

① 夹紧过程可靠, 不改变工件定位后所占据的正确位置。

② 夹紧力的大小适当, 既要保证工件在加工过程中其位置稳定不变、振动小, 又要使工件不会产生过大的夹紧变形。

③ 操作简单方便、省力、安全。

④ 结构性好, 夹紧装置的结构力求简单、紧凑, 便于制造和维修。

2) 夹紧力方向和作用点的选择

① 夹紧力应朝向主要定位基准。如图 1-21(a) 所示, 工件被镗孔与 A 面有垂直度要求, 因此加工时以 A 面为主要定位基准, 夹紧力  $F_j$  的方向应朝向 A 面。如果夹紧力改朝 B 面, 由于工件侧面 A 与底面 B 的夹角误差, 夹紧时工件的定位位置被破坏 [图 1-21(b)] 影响了孔与 A 面的垂直度要求。

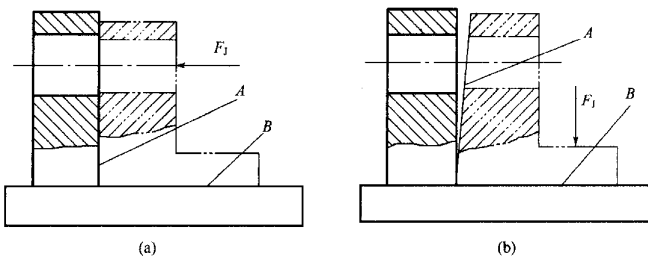


图 1-21 夹紧力方向示意

② 夹紧力的作用点应落在定位元件的支承范围内, 并靠近支承元件的几何中心。如图 1-22 所示, 夹紧力作用在支承面之外, 导致工件产生倾斜和移动, 破坏了工件的定位。正确位置应是图中虚线所示的位置。

③ 夹紧力的方向应有利于减小夹紧力的大小。如图 1-23 所示, 钻削 A 孔时, 夹紧力  $F_j$  与轴向切削力  $F_H$ 、工件重力  $G$  的方向相同, 加工过程所需的夹紧力为最小。

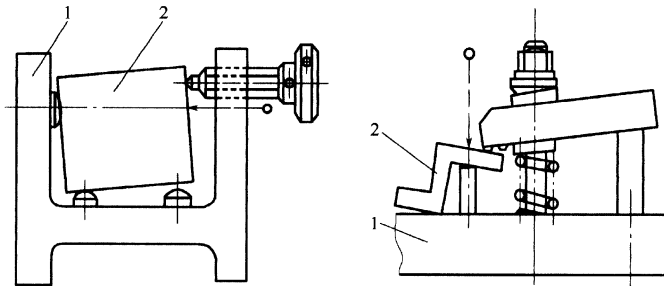


图 1-22 夹紧力作用点示意

1 - 夹具 2 - 工件

④ 夹紧力的方向和作用点应施加于工件刚性较好的方向和部位, 如图 1-24(a) 所示, 薄壁套筒工件的轴向刚性比径向刚性好, 应沿轴向施加夹紧力; 图 1-24(b) 所示薄壁箱体夹紧时, 应作用于刚性较好的凸边上; 箱体没有凸边时, 可以将单点夹紧改为三点夹紧 [图 1-24(c)]。

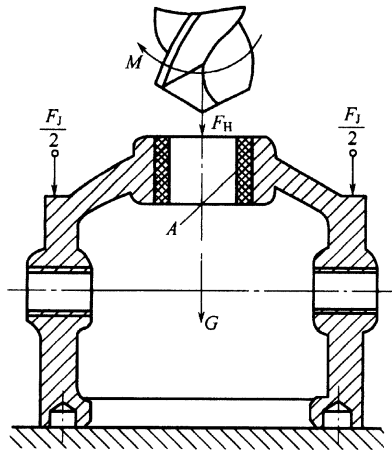


图 1-23 夹紧力与切削力、重力的关系

⑤ 夹紧力作用点应尽量靠近工件加工表面。为提高工件加工部位的刚性,防止或减少工件产生振动,应将夹紧力的作用点尽量靠近加工表面。如图 1-25 所示,拨叉装夹时,主要夹紧力  $F_1$  垂直作用于主要定位基面,在靠近加工面处设辅助支承,再施加适当的辅助夹紧力  $F_2$  可提高工件的安装刚度。

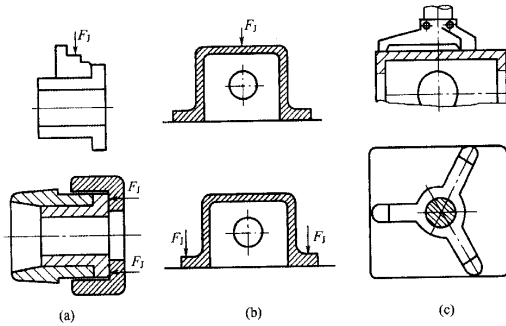


图 1-24 夹紧力与工件

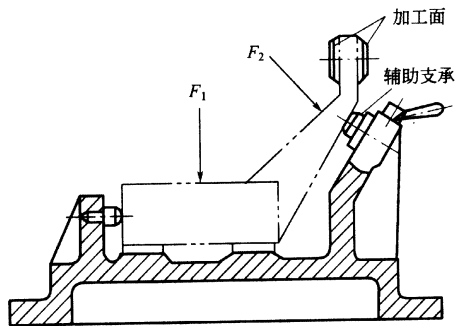


图 1-25 夹紧力作用点靠近加工表面

### 3) 夹紧力大小的估算

夹紧力的大小,对工件安装的可靠性、工件和夹具的变形、夹紧机构的复杂程度等有很大关系。

加工过程中,工件受到切削力、离心力、惯性力和工件自身重力等的作用。一般情况下加工中小工件时,切削力(矩)起决定性作用;加工重、大型工件时,必须考虑工件重力的作用;工件高速运动条件下加工时,则不能忽略离心力或惯性力对夹紧作用的影响。此外,切削力本身是一个动态载荷,在加工过程中也是变化的。夹紧力的大小还与工艺系统刚度、夹紧机构的传动效率等因素有关。因此,夹紧力大小的计算是一个很复杂的问题,一般只能作粗略的估算。为简化起见,在确定夹紧力大小时,可只考虑切削力(矩)对夹紧的影响,并假设工艺系统是刚性的,切削过程是平稳的,根据加工过程中对夹紧最不利的瞬时状态,按静力平衡原理求出夹紧力的大小,再乘以安全系数作为实际所需的夹紧力,即:

$$F_j = kF \quad (1-3)$$

式中  $F_j$ ——实际所需夹紧力;

$F$ ——确定条件下,按静力平衡计算出的夹紧力;

$k$ ——安全系数,考虑切削力的变化和工艺系统变形等因素,一般取  $k = 1.5 \sim 3$ 。

实际应用中并非所有情况下都需要计算夹紧力,手动夹紧机构一般根据经验或类比法确定夹紧力。若确实需要比较准确地计算夹紧力,可采用上述方法计算夹紧力的大小。

### 3.2 数控机床夹具介绍

为保证加工精度,在数控机床上加工零件时,必须先使工件在机床上占据一个正确的位置,即定位,然后将其夹紧。这种定位与夹紧的过程称为工件的装夹。用于装夹工件的工艺装备就是机床夹具。

#### (1) 机床夹具的分类

机床夹具的种类很多,按使用机床类型分类,可分为车床夹具、铣床夹具、钻床夹具、镗床夹具、加工中心夹具和其他机床夹具等。按驱动夹具工作的动力源分类,可分为手动夹具、气动夹具、液压夹具、电动夹具、磁力夹具、真空夹具和自夹紧夹具等。按专门化程度可分为以下几种类型的夹具。

##### 1) 通用夹具

通用夹具是指已经标准化、无需调整或稍加调整就可以用来装夹不同工件的夹具。如三爪卡盘、四爪卡盘、平口虎钳和万能分度头等。这类夹具主要用于单件小批生产。

##### 2) 专用夹具

指专为某一工件的某一加工工序而设计制造的夹具。其结构紧凑,操作方便,主要用于固定产品的大批量生产。

##### 3) 组合夹具

是指按一定的工艺要求,由一套预先制造好的通用标准元件和部件组装而成的夹具。使用完毕后,可方便地拆散成元件或部件,待需要时重新组合成其他加工过程的夹具。适用于数控加工、新产品的试制和中、小批量的生产。

##### 4) 可调夹具

包括通用可调夹具和成组夹具,它们都是通过调整或更换少量元件就能加工一定范围



内的工件,兼有通用夹具和专用夹具的优点。通用可调夹具适用范围较宽,加工对象并不十分明确;成组夹具是根据成组工艺要求,针对一组形状及尺寸相似、加工工艺相近的工件加工而设计的,其加工对象和范围很明确,又称为专用可调夹具。

数控机床夹具常用通用可调夹具、组合夹具。

## (2) 机床夹具的组成

机床夹具的种类虽然很多,但其基本组成是相同的。下面以一个数控铣床夹具为例,说明机床夹具的组成。

图 1-26 所示为连杆铣槽夹具结构简图,该夹具靠工作台 T 形槽和夹具体上定位键 9 确定其在数控铣床上的位置,并用 T 形螺栓紧固。

加工时,工件在夹具中的正确位置靠夹具体 1 的上平面、圆柱销 11 和菱形销 10 保证。夹紧时,转动螺母 7,压下压板 2,压板 2 一端压着夹具体,另一端压紧工件,保证工件的正确位置不变。

从该例子可以看出,数控机床夹具一般由以下几部分组成。

### 1) 定位装置

定位装置是由定位元件及其组合而构成,用于确定工件在夹具中的正确位置,常见定位方式是以平面、圆孔和外圆定位。图 1-26 中的圆柱销 11、菱形销 10 等都是定位元件。

### 2) 夹紧装置

夹紧装置用于保持工件在夹具中的既定位置,保证定位可靠,使其在外力作用下不致产生移动,包括夹紧元件、传动装置及动力装置等。图 1-26 中的压板 2、螺母 3 和 7、垫圈 4 和 5、螺栓 6 及弹簧 8 等元件组成的装置就是夹紧装置。

### 2) 夹具体

用于连接夹具各元件及装置,使其成为一个整体的基础件,以保证夹具的精度、强度和刚度。

### 4) 其他元件及装置

如定位键、操作件、分度装置及连接元件。

## (3) 典型夹紧机构简介

以数控铣床为例,铣床夹具中使用最普遍的是机械夹紧机构,这类机构大多数是利用机械摩擦的原理来夹紧工件的。斜楔夹紧是其中最基本的形式,螺旋、偏心等机构是斜楔夹紧机构的演变形式。

①斜楔夹紧机构 采用斜楔作为传力元件或夹紧元件的夹紧机构,称为斜楔夹紧机构。图 1-27(a)所示为斜楔夹紧机构的应用示例,敲入斜楔 1 的大头,使滑柱 2 下降,装在滑柱上的浮动压板 3 可同时夹紧两个工件 4。加工完后,敲斜楔 1 的小头,即可松开工件。采用斜楔直接夹紧工件的夹紧力较小,操作不方便,因此实际生产中一般与其他机构联合使用。图 1-27(b)所示为斜楔与螺旋夹紧机构的组合形式,当拧紧螺旋时楔块向左移动,使杠杆压板转动夹紧工件;当反向转动螺旋时,楔块向右移动,杠杆压板在弹簧力的作用下松开工件。

②螺旋夹紧机构 采用螺旋直接夹紧或采用螺旋与其他元件组合实现夹紧的机构,称为螺旋夹紧机构。螺旋夹紧机构具有结构简单、夹紧力大、自锁性好和制造方便等优点,很

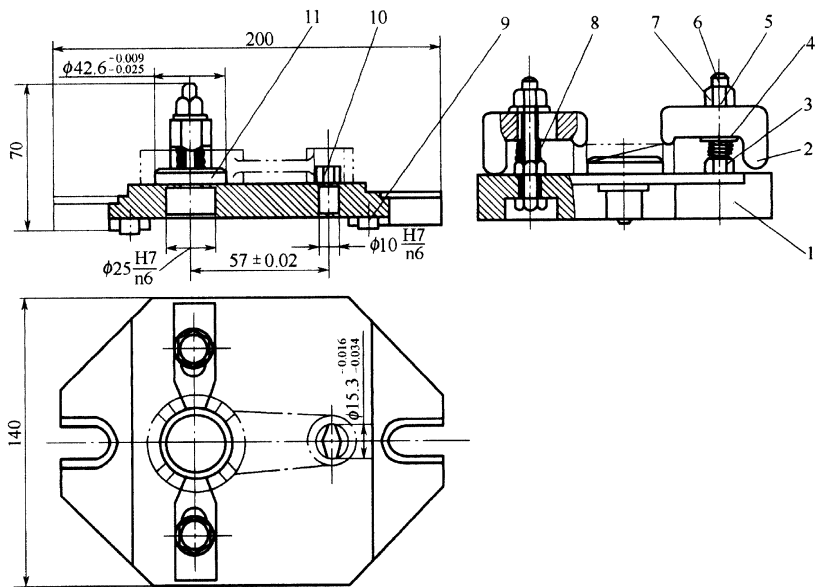


图 1-26 连杆铣槽夹具结构

1—夹具体 2—压板 3—螺母 4—垫圈 5—螺栓 6—弹簧；  
9—定位键；10—菱形销；11—圆柱销

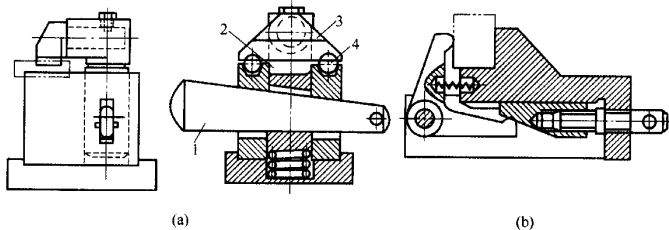


图 1-27 斜楔夹紧机构

1—斜楔 2—滑柱 3—浮动压板 4—工件

适合于手动夹紧,因而在机床夹具中得到了广泛的应用。其缺点是夹紧动作较慢,因此在机动夹紧机构中应用较少。螺旋夹紧机构分为简单螺旋夹紧机构和螺旋压板夹紧机构。

图 1-28 所示为最简单的螺旋夹紧机构。图 1-28(a) 螺栓头部直接对工件表面施加夹紧力,螺栓转动时,容易损伤工件表面或使工件转动,解决这一问题的办法是在螺栓头部套上一个摆动压块,如图 1-28(b)所示,这样既能保证与工件表面有良好的接触,防止夹紧时螺栓带动工件转动,并可避免螺栓头部直接与工件接触而造成压痕。摆动压块的结构已经标准化,可根据夹紧表面来选择。

实际生产中使用较多的是图 1-29 所示的螺旋压板夹紧机构,利用杠杆原理实现对工件的夹紧,杠杆比不同,夹紧力也不同。其结构形式变化很多,图 1-29(a)(b)为移动压板,图 1-29(c)(d)为转动压板。其中图 1-29(d)的增力倍数最大。

③ 偏心夹紧机构 用偏心件直接或间接夹紧工件的机构,称为偏心夹紧机构。常用的偏心件有圆偏心轮[图 1-30(a)(b)],偏心轴[图 1-30(c)]和偏心叉[图 1-30(d)]。

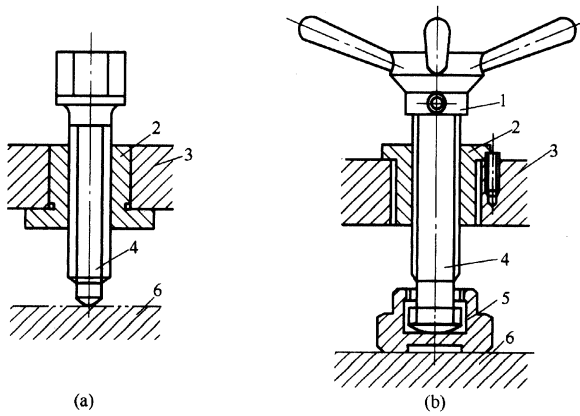


图 1-28 简单螺旋夹紧机构

1—手柄 2—螺母 3—夹具体 4—丝杠 5—压块 6—工件

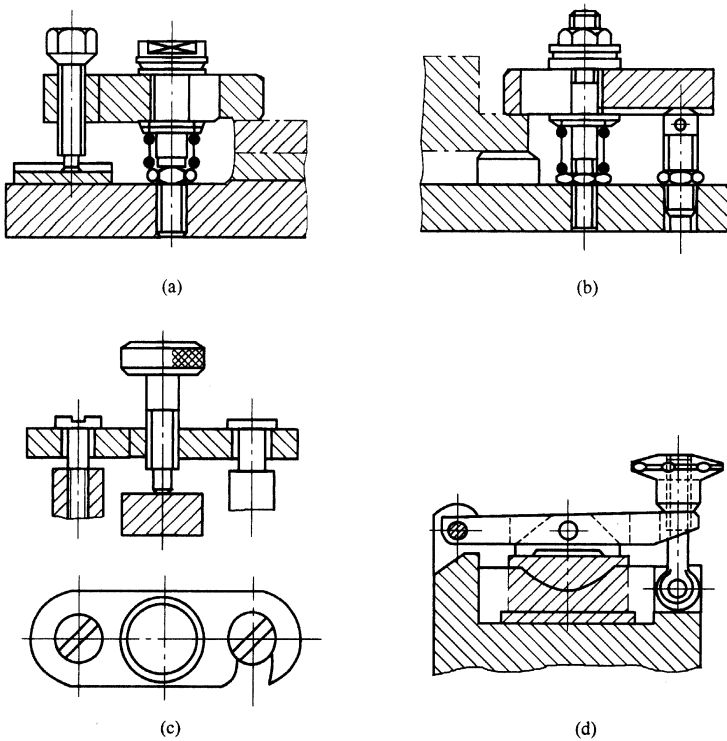


图 1-29 螺旋压板夹紧机构

偏心夹紧机构操作简单、夹紧动作快,但夹紧行程和夹紧力较小,一般用于没有振动或振动较小、夹紧力要求不大的场合。

### 3.3 组合夹具简介

由于近代科学技术的高速发展,机械工业产品不仅品种日益繁多,而且产品更新改进很快,因此在机械加工中缩短工艺装备生产周期,保证加工质量、提高生产率、降低加工成本,

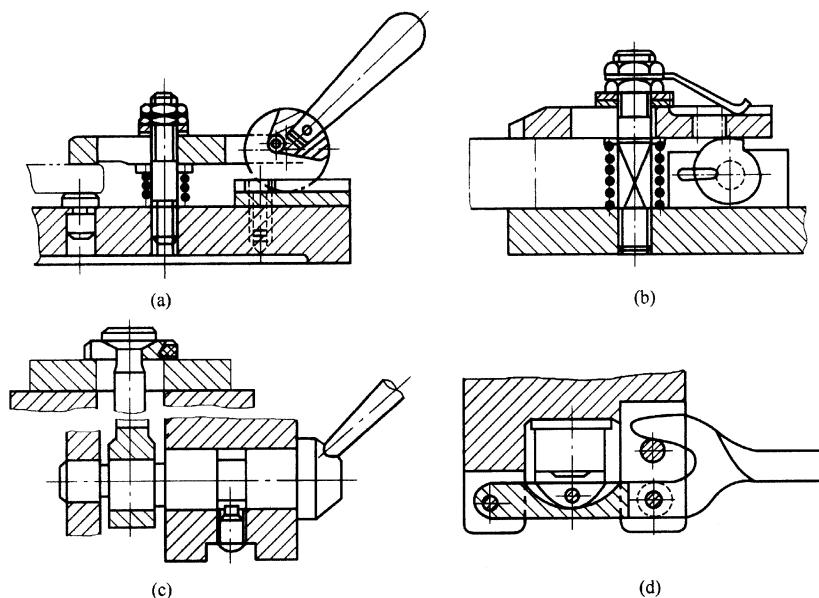


图 1-30 偏心夹紧机构

便成为一个突出的问题。于是在夹具零部件标准化的基础上,出现了组合夹具。组合夹具的出现和发展,为数控机床在机械工业中单件小批生产和新产品试制工作,创造了极为有利的条件。

### (1) 组合夹具的工作原理、特点及应用

#### 1) 组合夹具的工作原理与特点

组合夹具是机床夹具中一种标准化、系列化、通用化程度很高的新型工艺装备。它是由一套预先制造好的标准元件组合而成的。这些元件具有各种不同形状、尺寸和规格,并且有较好的互换性、耐磨性和较高的精度。根据工件的工艺要求,采用搭积木的方式组装成各种专用夹具。使用完毕后,可方便地拆开元件,洗净后存放起来,待重新组装时重复使用。图 1-31 所示为一套组合成的回转式钻床夹具及该夹具的元件组成。组合夹具具有以下特点:

- ① 灵活多变,为生产迅速提供夹具,缩短生产准备周期;
- ② 保证加工质量,提高生产效率;
- ③ 节约人力、物力和财力;
- ④ 减少夹具存放面积,改善管理工作。

组合夹具也存在一些不足之处,如比较笨重,刚性也不如专用夹具好,但随着组合夹具元件品种的不断发展和组装技术的不断提高,其性能必将逐步得到改善。此外,组装成套的组合夹具,必须有大量元件储备,因此开始投资费用较大。

#### 2) 组合夹具的应用

组合夹具应用范围很广,它不仅成熟地应用于机床、汽车、农机、仪表等行业,而且在重型、矿山等机械行业也进行了推广使用。

① 从生产类型方面看,组合夹具的特点决定了它最适用于产品经常变换的生产,如单件小批生产(包括工具和机修零件制造)、新产品试制和临时突击性的生产任务等。对于成批

生产的产品,也可利用组合夹具以补充专用夹具数量之不足,或者用于当专用夹具损坏以及生产工艺变更时。对于大批量生产的产品,有时也可适当考虑采用组合夹具。

②从加工工种方面看,组合夹具可用于钻、车、铣、刨、磨、镗、检验等工种,其中以钻床夹具应用量为最大。若与气动、液压等传动装置相结合,还能组成高效率的夹具。

③从加工工件的几何形状和尺寸方面看,组合夹具一般可不受工件形状复杂程度的限制,很少遇到因工件形状特殊而不能组装夹具的情况。目前我国大量采用的中型系列组合夹具,一般适用于外形尺寸在 20~600mm 的工件,有时根据生产需要,也能组装出更大的组合夹具。

④从加工工件的公差等级方面看,由于组合夹具元件本身为 IT2 公差等级,因此在一般情况下,通过各组装环节的累积误差,工件加工公差等级可达 IT3 级,如果经过精心选配与调整,也能使工件加工公差等级达 IT2 级或更高。

### (2) 组合夹具的系列和基本要素

组合夹具按其尺寸大小有小型、中型和大型等三种系列,其区别主要在于元件的基本要素。组合夹具的基本要素为外形尺寸、T形槽宽度和螺栓及其螺孔的直径。

小型系列组合夹具主要适用于仪器、仪表、电讯和电子工业,该系列元件的螺栓直径为  $M8 \times 1.25$ ,定位键与键槽宽的配合为  $8H7/js6$ ,T形槽之间的距离为 30mm。中型系列组合夹具主要适用于机械制造业,该系列元件的螺栓直径为  $M12 \times 1.5$ ,定位键与键槽宽的配合尺寸为  $12H7/h6$ ,T形槽之间的距离为 60mm。大型系列组合夹具主要适用于重型机械制造业,该系列元件的螺栓直径为  $M16 \times 2$ ,定位键与键槽宽的配合尺寸为  $16H7/h6$ ,T形槽之间的距离为 60mm。

### (3) 组合夹具元件的分类

组合夹具的元件,按其用途不同,可分为八大类。

#### 1) 基础件

包括各种规格尺寸的方形、矩形、圆形基础板和基础角铁等,如图 1-32 所示。基础件主要用作夹具体,但也有其他用途,例如用方块形或矩形基础板可组成一个角度,作为角度支承使用。基础件上的 T形槽、键槽、光孔和螺孔起定位和紧固其他元件的作用。

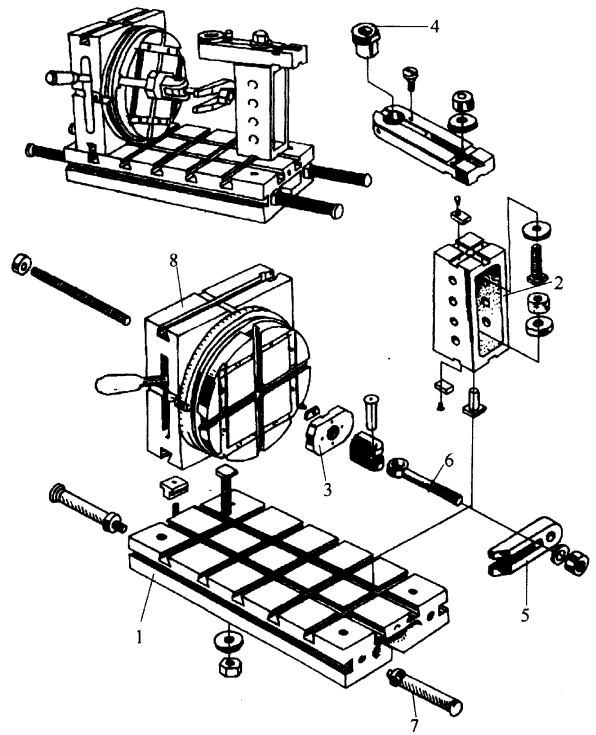


图 1-31 回转式钻床夹具

1—长方形基础板 2—方形支撑件 3—菱形定位盘 4—快换钻套 5—叉形压板 6—螺栓 7—手柄杆 8—分度合件

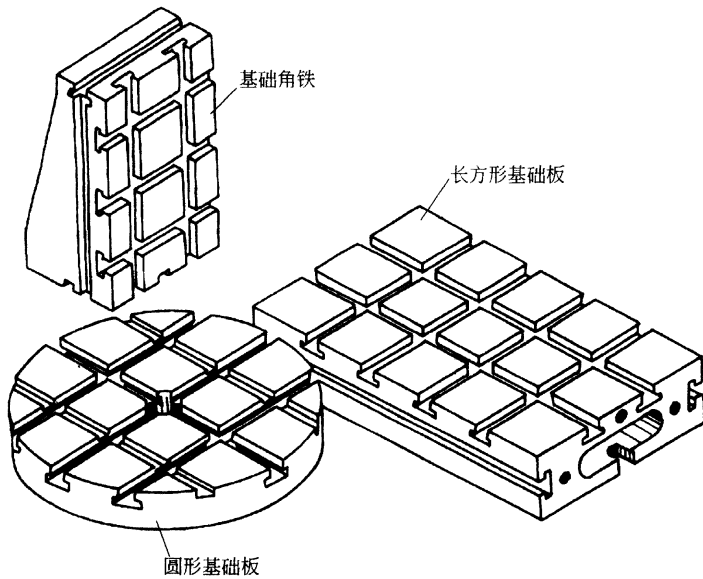


图 1-32 基础件

2) 支承件

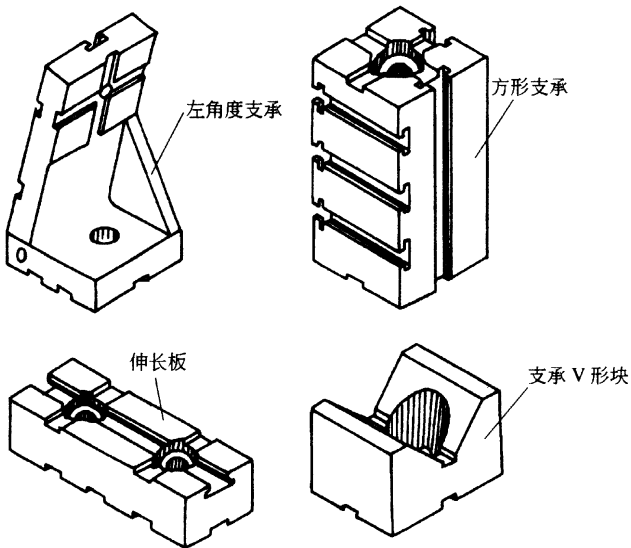


图 1-33 支承件

包括各种规格尺寸的垫片、垫板、方形和矩形支承、角度支承、角铁、菱形板、V形块、螺孔板、伸长板等,如图 1-33 所示。支承件主要用作不同高度的支承和各种定位支承平面,是夹具体的骨架。另外,也可把尺寸大的支承件用作基础件。支承件在组合夹具元件中型号多、用途广,组装时应充分发挥其作用。支承件上一般也有 T形槽、键槽、光孔和螺孔,以便将各支承件与基础件和其他元件连成整体。

### 3) 定位件

包括各种定位销、定位盘、定位键、对位轴、各种定位支座、定位支承、镗孔支承、顶尖等，如图 1-34 所示。定位件主要用于确定元件与元件、元件与工件之间的相对位置尺寸，以保证夹具的装配精度和工件的加工精度，另外还用于增强元件之间的连接强度和整个夹具的刚度。

### 4) 导向件

包括各种钻模板、钻套、铰套和导向支承等，如图 1-35 所示。导向件主要用来确定刀具与工件的相对位置，并在加工时起引导刀具的作用，有时也可用作定位件。

### 5) 夹紧件

包括各种形状尺寸的压板，如图 1-36 所示。夹紧件主要用来将工件夹紧在夹具上，保证工件定位后的正确位置在外力作用下不变动。由于各种压板的主要表面都经过磨光，因此也常作定位挡块、连接板或其他用。

### 6) 紧固件

### 7) 其他件

包括除了上述六类以外的各种用途的单一元件，例如连接板、回转压板、浮动块、各种支承钉、支承帽、二爪支承、三爪支承、平衡块等，如图 1-37 所示。其中有些有比较明显的用途，而有些常无固定用途，但只要用得合适，在组装中能起到极为有利的辅助作用。

### 8) 组合件

指在组装过程中不拆散使用的独立部件。按其用途可分为定位合件、导向合件、夹紧合

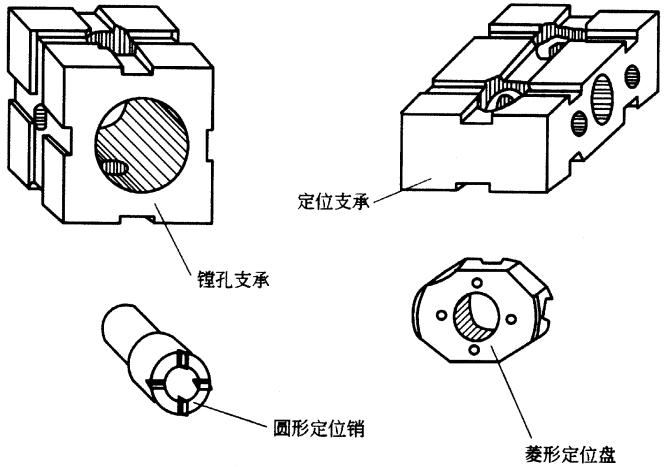


图 1-34 定位件

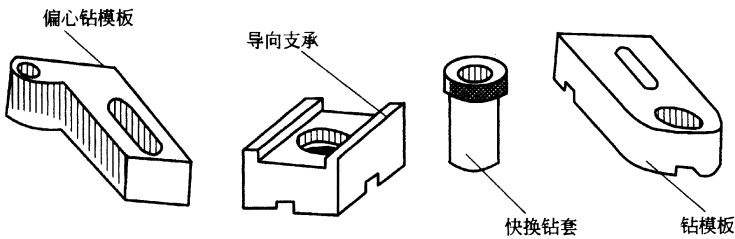


图 1-35 导向件

包括各种螺栓、螺钉、螺母和垫圈等。紧固件主要用来把夹具上各种元件连接紧固成一体，并可通过压板把工件夹紧在夹具上。组合夹具上使用的紧固件要求强度高、寿命长、体积小，因此所用的材料比一般标准紧固件的要好，且有较高的加工要求。

### 7) 其他件

包括除了上述六类以外的各种用途的单一元件，例如连接板、回转压板、浮动块、各种支承钉、支承帽、二爪支承、三爪支承、平衡块等，如图 1-37 所示。其中有些有比较明显的用途，而有些常无固定用途，但只要用得合适，在组装中能起到极为有利的辅助作用。

### 8) 组合件

指在组装过程中不拆散使用的独立部件。按其用途可分为定位合件、导向合件、夹紧合

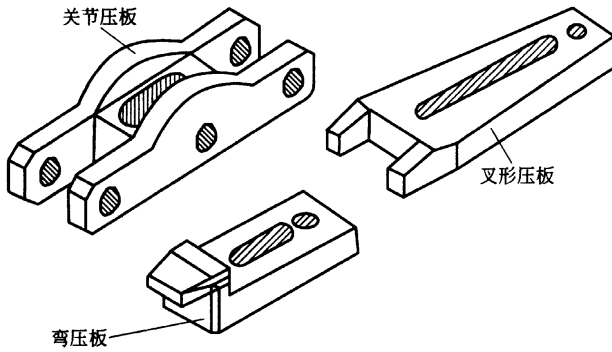


图 1-36 夹紧件

件和分度合件等,图 1-38 所示为分度合件。在合件中,使用最多的是导向合件和分度合件。

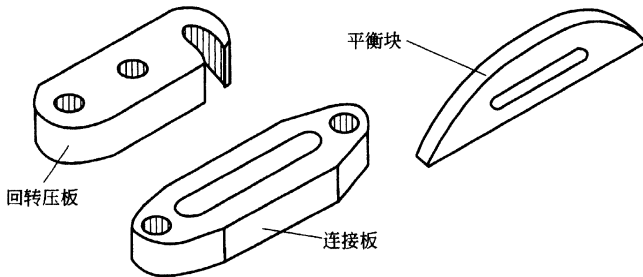


图 1-37 其他件

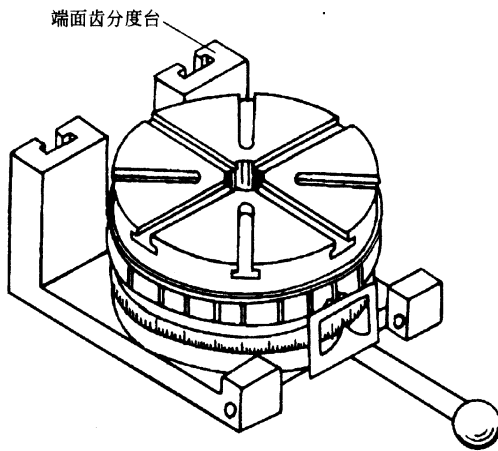


图 1-38 分度合件

### 3.4 夹具的选择

#### (1) 对夹具的要求

数控加工的特点对夹具提出了两个基本要求:一是保证夹具的坐标方向与机床的坐标



方向相对固定 ;二是要能协调零件与机床坐标系的尺寸。除此之外 ,重点考虑以下几点。

①单件小批量生产时 ,优先选用组合夹具、可调夹具和其他通用夹具 ,以缩短生产准备时间和节省生产费用。

②在成批生产时 ,才考虑采用专用夹具 ,并力求结构简单。

③零件的装卸要快速、方便、可靠 ,以缩短机床的停顿时间。

④夹具上各零部件应不妨碍机床对零件各表面的加工 ,即夹具要敞开 ,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)。

⑤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)选择举例

铣削加工图 1-39 所示零件 ,毛坯尺寸为  $68 \times 40 \times 6$  ,其装夹方式及夹具选择如下。

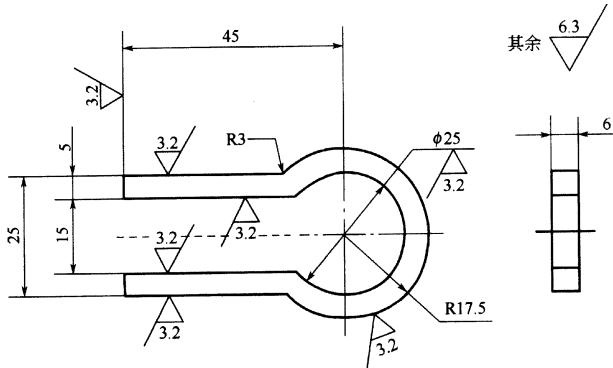


图 1-39 数控铣削加工典型零件

①铣削内轮廓时 ,以毛坯底面为主要定位基面 ,侧面用三个定位销定位 ,按图 1-40 所示方式装夹工件 ,选用螺旋压板机构夹紧。

②铣削外轮廓时 ,按图 1-41 所示方式装夹工件 ,采用螺旋压板机构夹紧工件。

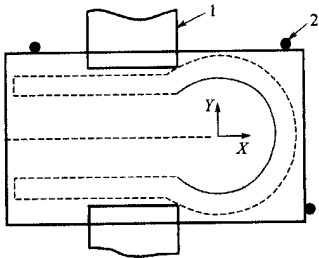


图 1-40 铣削内轮廓装夹方式

1-压板 2-定位销

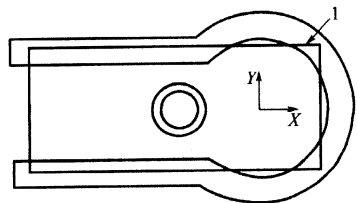


图 1-41 铣削外轮廓装夹方式

## 4 加工中心工艺规程

本节结合加工实例,分析加工中心加工工艺的制定过程。

试分析图 1-42 所示泵体零件的加工工艺。

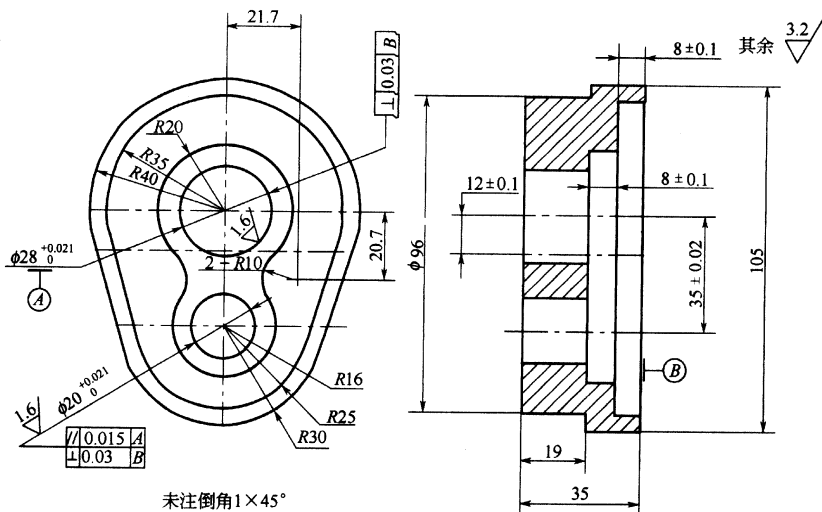


图 1-42 泵体

### (1) 工艺分析

加工一个零件首先遇到的问题就是采取什么样的工艺方案,工艺方案不仅影响机床的效率发挥,而且直接影响零件的加工质量。普通机床用的加工工艺,实际上只是一个工艺过程卡,机床的切削用量、走刀路线、工序、工步等往往都由操作工人自行选定,而在加工中心上所用的零件加工程序,不仅包括零件的工艺过程,而且还包括切削用量、走刀路线、刀具尺寸以及机床的运动过程。因此,要求编程人员对加工中心的性能、特点、以及工件的装卡、定位等都非常熟悉,一个好的编程人员应该是一个好的工艺人员和机床操作者。为了了解零件加工的全过程,以及正确、合理地确定零件的加工程序,在编制零件的加工程序之前,编程人员要根据零件图纸及技术要求和机床说明书,对零件进行工艺分析,确定合理的工艺方案。在保证零件质量的前提下,选择最佳的走刀路线、切削要素,以充分发挥加工中心的效率。

#### 1) 图纸分析

图纸分析主要包括零件轮廓形状、尺寸精度和技术要求、定位基准等。

从零件图可以看出,零件轮廓形状与凸轮相似。图中尺寸精度和表面粗糙度要求较高的是两个轴孔,位置精度要求较高的是孔与端面的垂直度和两孔之间的平行度,在加工过程中,这几项在加工过程中应重点保证。

#### 2) 确定定位基准

根据定位基准原则和图纸分析,首先以 B 面为基准加工底面和  $\phi 96$  外圆,然后,以底面和  $\phi 96$  外圆定位,一次装卡,将所有表面和轮廓全部加工完成,这样就可以保证图纸要求的尺寸精度和位置精度。

### (2) 工件的装夹

此零件外形简单,可用平口虎钳来装夹工件。在安装工件时,注意工件安装要放在钳口中间部位。安装虎钳时,要对它的固定钳口找正,工件被加工部分要高出钳口,避免刀具与钳口发生干涉。夹紧工件时,注意工件上浮。

### (3) 选择刀具

应根据零件材料、形状和尺寸来选择刀具。粗加工时,铣削外轮廓应尽可能地选择直径大一些的刀具,这样可以提高效率,可以用  $\phi 30$  或  $\phi 40$  的立铣刀;铣削内轮廓时要注意内轮廓的圆弧的大小,也就是说刀具的半径要小于或等于内圆弧的半径,此处选用  $\phi 12$  立铣刀;精加工时,应更换精加工刀具。刀具材料可根据具体零件材料选择,如果是铸铁材料可以选择 YG 类硬质合金,如果是钢件应选择 YT 类硬质合金。当然也可以选择高速钢或其他材料的刀具。

### (4) 确定加工所用各种工艺参数

切削条件的好坏直接影响加工的效率和经济性,这主要取决于编程人员的经验、工件的材料及性质、刀具的材料及形状、刀柄的刚性、切削深度及余量、加工位置、工件的刚性、工件安装及夹具的刚性、刀具寿命的估计、加工精度、表面质量、冷却等。

### (5) 数值计算

根据零件图样,按已确定的加工路线和允许的程序,保证误差,计算出数控系统所需数值,数值计算内容有以下几个方面。

① 基点和节点的计算。

② 刀位点轨迹的计算。

由于以上计算工作量比较大,现在主要由计算机来完成。

### (6) 确定加工顺序

### (7) 编写加工程序

### (8) 零件加工

### (9) 检验

## 第二章 数控加工中心编程技术

### 1 数控编程基础

数控编程是数控加工的重要步骤。用数控机床对零件进行加工时,首先对零件进行加工工艺分析,以确定加工方法、加工工艺路线;正确地选择数控机床刀具和装卡方法;然后,按照加工工艺要求,根据所用数控机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(主轴转速、进给量、吃刀深度等)以及辅助功能(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,从而指挥机床加工零件。

#### 1.1 数控编程的内容与方法

一般来讲,程序编制包括以下几个方面的工作。

##### (1) 加工工艺分析

编程人员首先要根据零件图纸,对零件的材料、形状、尺寸、精度和热处理要求等,进行加工工艺分析。合理地选择加工方案,确定加工顺序、加工路线、装卡方式、刀具及切削参数等;同时还要考虑所用数控机床的指令功能,充分发挥机床的效能,加工路线要短,正确地选择对刀点、换刀点,减少换刀次数。

##### (2) 数值计算

根据零件图的几何尺寸确定工艺路线并设定坐标系,计算零件粗、精加工运动的轨迹,得到刀位数据。对于形状比较简单的零件(如直线和圆弧组成的零件)的轮廓加工,要计算出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值,有的还要计算刀具中心的运动轨迹坐标值。对于形状比较复杂的零件(如非圆曲线、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。

##### (3) 编写零件加工程序单

加工路线、工艺参数及刀位数据确定以后,编程人员根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式,逐段编写加工程序单。此外,还应附上必要的加工示意图、刀具布置图、机床调整卡、工序卡以及必要的说明。

##### (4) 制备控制介质

把编制好的程序单上的内容记录在控制介质上,作为数控装置的输入信息,通过程序的

手工输入或通信传输入入数控系统。

### (5) 程序校对与首件试切

编写的程序单和制备好的控制介质,必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法是直接将控制介质上的内容输入到数控装置中,让机床空运转,以检查机床的运动轨迹是否正确。在有 CRT 图形显示的数控机床上,用模拟刀具与工件切削过程的方法进行检验更为方便,但这些方法只能检验运动是否正确,不能检验被加工零件的加工精度。因此,必须进行零件的首件试切。当发现有加工误差时,要分析误差产生的原因,找出问题所在,并加以修正。

整个数控编程的内容及步骤,可用图 2—1 的框图表示。

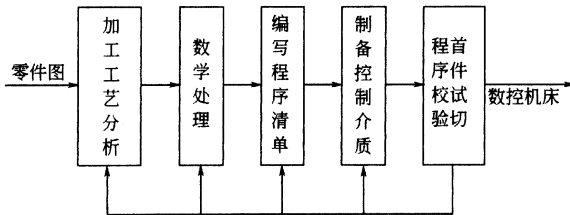


图 2-1 数控编程的步骤

## 1.2 数控编程的种类

数控编程一般分为手工编程和自动编程两种。

### (1) 手工编程

手工编程就是从分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、制备控制介质到程序校验都是由人工完成。对于加工形状简单、计算量小、程序不多的零件,采用手工编程较容易,而且经济、及时。因此,在点位加工或由直线与圆弧组成的轮廓加工中,手工编程的应用仍较广泛。对于形状复杂的零件,特别是具有非圆曲线、列表曲线及曲面组成的零件,用手工编程就有一定困难,出错的概率增大,有时甚至无法编出程序,必须用自动编程的方法编制程序。

### (2) 自动编程

自动编程是利用计算机专用软件编制数控加工程序的过程。编程人员只需根据零件图样的要求,使用数控语言,由计算机自动地进行数值计算及后置处理,编写出零件加工程序单,加工程序通过直接通信的方式送入数控机床,指挥机床工作。自动编程使得一些计算繁琐、手工编程困难或无法编出的程序能够顺利地完。有关自动编程的内容,下一章将作详细介绍。

## 1.3 程序结构与格式

### (1) 加工程序的组成结构

数控加工中零件加工程序的组成形式,随数控系统功能的强弱而略有不同。对于功能较强的数控系统,其加工程序可分为主程序和子程序,结构见表 2-1。

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三部分组

成。程序的内容则由若干程序段组成,程序段由若干字组成,每个字又由字母和数字组成。即字母和数字组成字,字组成程序段,程序段组成程序。

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。如在 FANUC 系统中,采用英文字母“O”作为程序编号地址,而其他系统有的采用“P”、“%”以及“:”等。

表 2-1 主程序与子程序的结构形式

主程序	子程序
<p>O3001</p> <p>N10 G90 G21 G40 G80</p> <p>N20 G91 G28 X0 Y0 Z0</p> <p>N30 S2000 M03 T0101</p> <p>...</p> <p>N70 M98 P4001 L3</p> <p>N80 G80</p> <p>...</p> <p>N100 M09</p> <p>N110 G91 G20 X0 Y0 Z0</p> <p>N120 M30</p>	<p>O4001</p> <p>N10 G91 G83 Y12 Z-12.0 R3.0 Q3.0 F250</p> <p>N20 X12 L9</p> <p>N30 Y12</p> <p>...</p> <p>N40 X-12 L9</p> <p>内容</p> <p>N50 M99</p>
<p>主程序号</p> <p>程序内容</p> <p>程序结束</p>	<p>子程序号</p> <p>程序</p> <p>程序返回</p>

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,表示数控机床要完成的全部动作。

③程序结束 以程序结束指令 M02 或 M30 作为整个程序结束的符号,来结束整个程序。

### (2)程序段格式

零件的加工程序是由程序段组成的。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、直观以及容易检查和修改。因此,该格式目前使用广泛。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机床的加工程序之前,必须详细了解机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—L—F

注意: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。

例如 N20 G01 X40 Y-46.3 F150 ;

### (3) 程序段内各字的说明

① 语句号字 用以识别程序段的编号,由地址码 N 和后面的若干位数字组成。例如: N20 表示该语句的句号为 20。表示地址的英文字母的含义见表 2-2。

表 2-2 地址码中英文字母的含义

地址	功能	含义
A	坐标字	绕 X 轴旋转
B	坐标字	绕 Y 轴旋转
C	坐标字	绕 Z 轴旋转
D	补偿号	刀具半径补偿指令
E		第二进给功能
F	进给速度	进给速度的指令
G	准备功能	指令动作方式
H	补偿号	补偿号的指定
I	坐标字	圆弧中心 X 轴向坐标
J	坐标字	圆弧中心 Y 轴向坐标
K	坐标字	圆弧中心 Z 轴向坐标
L	重复次数	固定循环及子程序的重复次数
M	辅助功能	机床开/关指令
N	顺序号	程序段顺序号
O	程序号	程序号、子程序号的指定
P		暂停或程序中某功能的开始使用的顺序号
Q		固定循环终止段号或固定循环中的定距
R	坐标字	固定循环中定距离或圆弧半径的指定
S	主轴功能	主轴转速的指令
T	刀具功能	刀具编号的指令
U	坐标字	与 X 轴平行的附加轴的增量坐标值或暂停时间
V	坐标字	与 Y 轴平行的附加轴的增量坐标值
W	坐标字	与 Z 轴平行的附加轴的增量坐标值
X	坐标字	X 轴的绝对坐标值或暂停时间
Y	坐标字	Y 轴的绝对坐标
Z	坐标字	Z 轴的绝对坐标

②准备功能字 G G 功能是使数控机床作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。

G 代码分为模态代码(又称续效代码)和非模态代码。代码表中按代码的功能进行了分组,标有字母所对应的 G 代码为模态代码,字母相同的为一组,其中 00 组(或没标字母)的 G 代码为非模态代码。模态代表该代码已经在一个程序段中指定(如 01 组中的 G01),直到出现同组(01 组)的另一个代码(如 G02、G03)时才失效;没有字母的表示 G 代码为非模态代码,只在写有该代码的程序段中才有效。

③尺寸字 尺寸字由地址码、+/- 符号和绝对(或增量)数值构成。例如 X20 Y-40。尺寸字的 '+' 可省略。

④进给功能字 F 表示刀具中心运动时的进给速度,由地址码 F 和后面若干位数字构成。

⑤主轴转速功能字 S 由地址码 S 和在其后面的若干位数字组成。

⑥刀具功能字 T 由地址功能码 T 和其后面的若干位数字组成。刀具功能的数字是指定的刀号,数字的位数由所用的系统决定。

⑦辅助功能字 辅助功能也叫 M 功能或 M 代码,它是控制机床或系统的开关功能的一种命令。由地址码 M 和后面的两位数字组成,从 M00~M99 共 100 种。各种机床的 M 代码规定有差异,必须根据说明书的规定进行编程。

⑧程序段结束 写在每一程序段之后,表示程序结束。当用“EIA”标准代码时,结束符为“CR”;用“ISO”标准代码时为“NL”或“LF”;有的用符号“:”或“\*”表示;有的直接回车即可。

#### 1.4 典型的数控系统与指令代码

数控系统是数控机床的核心。数控机床根据功能和性能要求,配置不同的数控系统。系统不同,其指令代码也有差别,因此,编程时应按所使用数控系统代码的编程规则进行编程。

##### (1)常用的数控系统介绍

FANUC(日本)、SIEMENS(德国)、FAGOR(西班牙)、HEIDENHAN(德国)、MITSUBISHI(日本)等公司的数控系统及相关产品,在数控机床行业占据主导地位,我国数控产品以华中数控、航天数控为代表,也已将高性能数控系统产业化。

##### 1)FANUC 公司的主要数控系统

①高可靠性的 Power Mate 0 系列:用于控制 2 轴的小型车床,取代步进电机的伺服系统;可配画面清晰、操作方便、中文显示的 CRT/MDI,也可配性能/价格比好的 DPL/MDI。

②普及型 CNC 0-D 系列 0-TD 用于车床 0-MD 用于铣床及小型加工中心 0-GCD 用于圆柱磨床 0-GSD 用于平面磨床 0-PD 用于冲床。

③全功能型的 0-C 系列 0-TC 用于通用车床、自动车床 0-MC 用于铣床、钻床、加工中心 0-GCC 用于内、外圆磨床 0-GSC 用于平面磨床 0-TTC 用于双刀架 4 轴车床。

④高性能价格比的 0i 系列 整体软件功能包,高速、高精度加工,并具有网络功能。0i-MB/MA 用于加工中心和铣床 4 轴 4 联动 0i-TB/TA 用于车床 4 轴 2 联动 0i-mate MA 用



于铣床 3 轴 3 联动 ;i-mate TA 用于车床 2 轴 2 联动。

⑤具有网络功能的超小型、超薄型 CNC 16i/18i/21i 系列 :控制单元与 LCD 集成于一体 ,具有网络功能 ,超高速串行数据通信。其中 FS 16i-MB 的插补、位置检测和伺服控制以纳米为单位。16i 最大可控 8 轴 6 轴联动 ;18i 最大可控 6 轴 4 轴联动 ;21i 最大可控 4 轴 4 轴联动。

除此之外 ,还有实现机床个性化的 CNC 16/18/160/180 系列。

### 2)SIEMENS 公司的主要数控系统

①SINUMERIK 802S/C :用于车床、铣床等 ,可控 3 个进给轴和 1 个主轴 ,802S 适于步进电机驱动 ,802C 适于伺服电机驱动 ,具有数字 I/O 接口。

②SINUMERIK 802D 控制 4 个数字进给轴和 1 个主轴 ,PLC/I/O 模块 ,具有图形式循环编程、车削、铣削/钻削工艺循环 ,FRAME(包括移动、旋转和缩放)等功能 ,为复杂加工任务提供智能控制。

③SINUMERIK 810D :用于数字闭环驱动控制 ,最多可控 6 轴(包括 1 个主轴和 1 个辅助主轴) ,紧凑型可编程输入/输出。

④SINUMERIK 840D :全数字模块化数控设计 ,用于复杂机床、模块化旋转加工机床和传送机 ,最大可控 31 个坐标轴。

### 3)FAGOR 数控系统

①CNC 8070 是目前 FAGOR 最高档的数控系统 ,代表 FAGOR 顶级水平。是 CNC 技术与 PC 技术的结晶 ,是与 PC 兼容的数控系统 ,采用 Pentium CPU ,可运行 WINDOWS 和 MS-DOS。可控制 16 轴 + 3 电子手轮 + 2 主轴 ,可运行 VISUAL BASIC ,VISUAL C++ 程序段处理时间 < 1ms ,PLC 可达 1024 输入点/1024 输出点 ,具有以太网、CAN、SERCOS 通信接口 ,可选用土 10V 模拟量接口。

②8055 系列数控系统是 FAGOR 高档数控系统 ,可实现 7 轴 7 联动 + 主轴 + 手轮控制。按其处理速度不同分为 8055/A、8055/B、8055/C 三种档次。适用于车床、车削中心、铣床、加工中心及其他数控设备。具有连续数字化仿形、RTCP 补偿、内部逻辑分析仪、SERCOS 接口、远程诊断等许多高级功能。

③8040/8055-i 标准系列属中高档数控系统 ,采用中央单元与显示单元合为一体的结构 ,8040 可控 4 轴 4 联动 + 主轴 + 2 个手轮。8055-i 可实现 7 轴 7 联动 + 主轴 + 2 个手轮 ,两者用户内存均可达到 1MB 字节且具有  $\pm 10V$  模拟量接口及数字化 SERCOS 光缆接口 ,可配置带 CAN 接口的分布式 PLC。

④8040/8055-i/8055 TCO/MCO 系列是一种开放式的数控系统 ,可供 OEM 二次开发成为专用数控系统 ,适用于任何机床设备。

⑤8040/8055-i/8055 TC/MC 系列是人机对话式数控系统 ,其主要特点是无须采用 ISO 代码编程 ,可将零件图中的数据通过人机交互图形界面直接输入系统 ,从而实现编程(俗称傻瓜式数控系统)。

⑥8025/8035 系列。8025 系列是 FAGOR 公司的中档数控系统 ,适用于铣床、加工中心、车床及其他数控设备。可控 2~5 轴不等 ,该数控系统是操作面板、显示器、中央单元合一的紧凑结构。8035 是 8040/8055-i/8055 的简化型 ,采用 32 位 CPU ,同时也是 8025 的更新换代

产品。

#### 4)华中数控系统

华中数控以“世纪星”系列数控单元为典型产品，HNC-21/22T为车削系统，最大联动轴数为4轴，HNC-21/22M为铣削系统，最大联动轴数为4轴，采用开放式体系结构，内置嵌入式工业PC。

伺服系统的主要产品包括：HSV-11系列交流伺服驱动装置，HSV-16系列全数字交流伺服驱动装置，步进电机驱动装置，交流伺服主轴驱动装置与电机，永磁同步交流伺服电机等。

#### 5)北京航天数控系统

主要产品为CASNUC 2100数控系统，是以PC机为硬件基础的模块化、开放式的数控系统，可用于车床、铣床、加工中心等8轴以下机械设备的控制，具有2轴、3轴、4轴联动功能。

#### (2)数控系统的功能与代码

数控机床常用的功能指令有准备功能G、辅助功能M、刀具功能T、主轴转速功能S和进给功能F。表2-3、表2-4和表2-5给出了几种常用的典型数控铣削系统的功能代码，供读者学习参考。

表2-3 SIMENS 802S/C系统常用指令

功能	指令	功能	指令
路径数据		暂停时间	G4
绝对/增量尺寸	G90 ,G91	程序结束	M02
公制/英制尺寸	G71 ,G70	主轴运动	
半径/直径尺寸	G22 ,G23	主轴速度	S
可编程零点偏置	G158	旋转方向	M03/M04
可设定零点偏置	G54 ~ G57 ,G500 ,G53	主轴速度限制	G25 ,G26
轴运动		主轴定位	SPOS
快速直线运动	G0	特殊功能	
进给直线插补	G1	恒速切削	G96/G97
进给圆弧插补	G2/G3	圆弧倒角/直线倒角	CHF/RND
中间点的圆弧插补	G5	刀具及刀具偏置	
定螺距螺纹加工	G33	刀具	T
接近固定点	G75	刀具偏置	D
回参考点	G74	刀具半径补偿选择	G41 ,G42
进给率	F	转角处加工	G450 ,G451
准确停/连续路径加	G9 ,G60 ,G64	取消刀具半径补偿	G40
在准确停时的段转换	G601/G602	辅助功能	M

## 第二章 数控加工中心编程技术

表 2-4

FANUC Oi 系统常用 G 指令

G 代码	功能	G 代码	功能
G00	快速定位	G16	极坐标指令
G01	直线插补	G17	主平面 $X - Y$ 纵轴为 $Z$
G02	顺时针圆弧插补	G18	主平面 $Z - X$ 纵轴为 $Y$
G03	逆时针圆弧插补	G19	主平面 $Y - Z$ 纵轴为 $X$
G04	停顿/程序段准备停止	G20	英制输入
G05	预读控制	G21	公制输入
G07	圆柱插补	G22	存储行程检查
G08	预读控制	G27	返回参考点检测
G09	准确停止	G28	返回参考点
G10	程序变更偏置量	G29	从参考点返回到起始点
G15	极坐标指令	G30	返回第二参考点
G31	跳转功能	G69	坐标系旋转
G33	螺纹切削	G73	固定循环
G40	取消刀具半径补偿	G74	固定循环
G41	刀具半径左补偿	G75	固定循环
G42	刀具半径右补偿	G76	固定循环
G43	刀具长度正补偿	G77	固定循环
G44	刀具长度负补偿	G78	固定循环
G49	取消刀具长度补偿	G79	固定循环
G50	比例缩放	G80	取消固定循环
G51	比例缩放	G81	固定循环
G52	局部坐标系设定	G82	固定循环
G53	机床坐标系选择	G83	固定循环
G54	工件坐标系选择	G84	固定循环
G55	工件坐标系选择	G85	固定循环
G56	工坐标系选择	G86	固定循环
G57	工件坐标系选择	G87	固定循环
G58	工件坐标系选择	G88	固定循环
G59	工件坐标系选择	G89	固定循环
G60	单向定位	G90	绝对坐标编程
G61	准确停止	G91	增量坐标编程
G62	自动拐角	G92	坐标预置/主轴速度限制
G63	攻丝方式	G93	极坐标原点
G65	用户宏程序	G94	直线进给率 $\mu\text{m}(\text{in})/\text{min}$
G66	用户宏程序	G95	旋转进给率 $\mu\text{m}(\text{in})/\text{r}$
G67	用户宏程序	G96	恒速切削
G68	坐标系旋转	G97	主轴转速 $r/\text{min}$

表 2-5

FAGOR 8055M 系统常用 G 指令

G 代码	功能	G 代码	功能
G00	快速定位	G06	绝对圆心坐标
G01	直线插补	G07	方角过渡
G02	顺时针圆弧插补	G08	圆弧切于前一路径
G03	逆时针圆弧插补	G09	三点定义圆弧
G04	停顿/程序段准备停止	G10	图像镜像取消
G05	圆角过渡	G11	图像相对于 X 轴镜像
G12	图像相对于 Y 轴镜像	G63	固定循环
G13	图像相对于 Z 轴镜像	G64	固定循环
G14	图像相对于编程的方向镜像	G68	固定循环
G15	纵向轴的选择	G69	固定循环
G16	用 2 个方向选择主平面	G70	以英寸为单位编程
G17	主平面 X - Y 纵轴为 Z	G71	以毫米为单位编程
G18	主平面 Z - X 纵轴为 Y	G72	通用和特定缩放比例
G19	主平面 Y - Z 纵轴为 X	G74	机床参考点搜索
G20	定义工作区下限	G75	探针运动直到接触
G21	定义工作区上限	G76	探针接触
G22	激活/取消工作区	G77	从动轴
G28	第二主轴选择	G78	主轴速度同步
G29	主轴选择	G79	从动轴取消
G30	主轴同步(偏移)	G80	取消固定循环
G32	进给率“F”用作时间的反函数	G81	固定循环
G33	螺纹切削	G82	固定循环
G36	自动半径过渡	G83	固定循环
G37	切向入口	G84	固定循环
G38	切向出口	G85	固定循环
G39	自动倒角连接	G86	固定循环
G40	取消刀具半径补偿	G87	固定循环
G41	左手刀具半径补偿	G88	固定循环
G42	右手刀具半径补偿	G89	固定循环
G45	切向控制	G90	绝对坐标编程
G50	受控圆角	G91	增量坐标编程
G54 ~ G57	绝对零点偏置	G92	坐标预置/主轴速度限制
G58	附加零点偏置	G93	极坐标原点
G59	附加零点偏置	G94	直线进给率 $\mu\text{m}(\text{in})/\text{min}$
G60	固定循环	G95	旋转进给率 $\mu\text{m}(\text{in})/r$
G61	固定循环	G96	恒速切削
G62	固定循环	G97	主轴转速 $r/\text{min}$

从这几种代码表可以看出,对于同一 G 代码而言,不同的数控系统所代表的含义不完全一样,同样,实现同一功能,不同数控系统所采用的代码有听差异。读者在编写加工程序时,应注意仔细阅读所使用机床的编程手册。

## 2 加工中心坐标系统

### (1) 机床坐标系

机床坐标系是用来确定工件位置和机床运动的基本坐标系,其坐标和运动方向视机床的种类和结构而定。如数控车床、数控铣床、数控镗床都有自己的坐标系。为了使用户在编程时方便,国际标准统一规定:数控机床的坐标系为刀具相对于工件的进给运动坐标系。

标准坐标系定义为右手笛卡尔坐标系。机床直线坐标轴命名为  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ,使用右手定则判定方向,如图 2-2 所示,右手的大拇指、食指和中指相互垂直时,则拇指的方向为  $X$  坐标轴的正方向,食指为  $Y$  坐标轴的正方向,中指为  $Z$  坐标轴的正方向。以  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标轴线或与  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标轴平行的坐标轴为中心旋转的坐标轴,分别称为  $A$ 、 $B$ 、 $C$  旋转轴。 $A$ 、 $B$ 、 $C$  坐标轴的正方向按右手螺旋定则确定,如图 2-3 所示,当右手握紧坐标轴时,拇指指向  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴正向,则其余四指方向为  $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$  轴的旋转方向。确定机床坐标时,通常先确定  $Z$  轴,再确定  $X$ 、 $Y$  轴。坐标的正方向为刀具远离工件的方向。以加工中心为例,凡是钻入、镗入的方向均为负方向。目前常见到的加工中心有三种运动方式。第一种是工件静止,刀具相对于工件运动;第二种是工件沿各坐标轴方向运动,刀具不动(只回转,不进给);第三种是刀具和工件各做部分进给运动。但无论哪一种,编程时都统一认为是刀具相对于静止的工件运动。

### (2) 机床坐标系的原点

机床坐标系的原点也称机械原点或零点,这个原点是机床固有的点,在机床制造出来时就已经确定,不能随意改变。

机床启动前,通常要进行机动或手动回零。所谓回零,就是指运动部件回到正向极限位置,这个极限位置就是机械原点(零点)。数控机床在接通电源后要回零操作,这是因为数控机床断电后就失去了对各坐标位置的记忆,所以在接通电源后,要让各坐标轴回到机械原点,并记住这一初始化位置,从而使机床恢复位置记忆。

### (3) 工件坐标系和程序原点

编程时一般是选择工件上的某一点作为程序原点(或程序零点),并以这个原点作为坐标系的原点,建立一个新的坐标系,该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。加工开始时要设置工件坐标系,关于工件坐标系的建立和选择请参阅本章 3.3 节(5)的 G92 指令和 3.3 节(6)(7)的 G54~G59 指令。

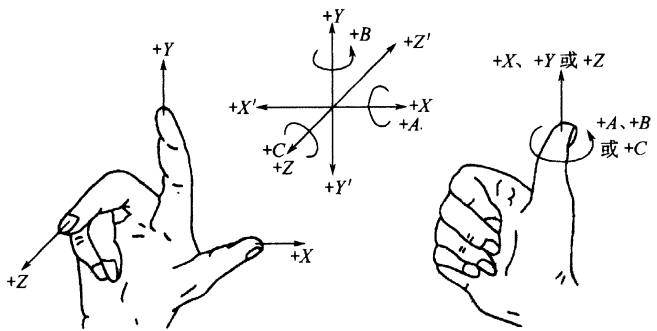


图 2-2 右手笛卡尔坐标系

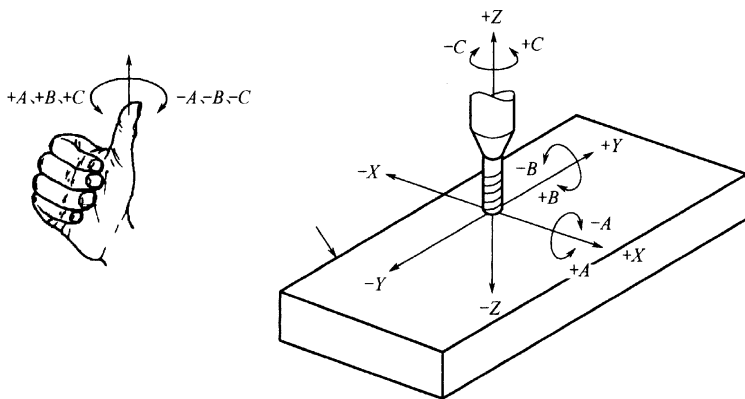


图 2-3 坐标系旋转轴判断

#### (4) 局部坐标系

为进一步方便编程,有时需要在不改变工件坐标系的情况下,在某几个程序段中临时变动一下坐标系。这个坐标系就称为局部坐标系。用户可以通过指令代码将选定的工件坐标平移或旋转形成局部坐标系,这样做不会改变原来设定的各工件坐标系。

#### (5) 绝对坐标系与增量(相对)坐标系(G90、G91)

在坐标系中,描述运动点位置常采用绝对坐标方式(G90)和增量方式(G91)。绝对坐标方式描述所有点的坐标值均以某一固定坐标原点作为计算起点,这个坐标系称为绝对坐标系。增量坐标方式描述运动轨迹的终点坐标是以起点坐标开始计算的,这样的坐标系称为增量坐标系。采用绝对坐标系可以避免尺寸计算的积累误差;采用相对坐标系可以减少坐标点的计算。

## 3 加工中心常用指令的编程方法

### 3.1 刀具功能 T、进给功能 F 和主轴转速功能 S

#### (1) 选择刀具与刀具偏置

选择刀具和确定刀具参数是数控编程的重要步骤,其编程格式因数控系统不同而异,主要格式有以下几种。

##### 1) 采用“T”指令编程

由地址功能码 T 和其后面的若干位数字组成。刀具功能的数字是指定的刀号,数字的位数由所用的系统决定。例如:

T0303 表示选择第 3 号刀,3 号偏置量;

T0300 表示选择第 3 号刀,刀具偏置取消。

##### 2) 采用“T、D”指令编程

利用“T”功能可以选择刀具,利用“D”功能可以选择相关的刀偏。

在定义这两个参数时,其编程的顺序为 T、D。“T”和“D”可以编写在一起,也可以单独编写,例如:

T5 D18 表示选择 5 号刀,采用刀具偏置表 18 号的偏置尺寸;

D22 表示仍用 5 号刀,采用刀具偏置表 22 号的偏置尺寸;

T3 表示选择 3 号刀,采用刀具与该刀相关的刀具偏置尺寸。

### (2) 进给功能 F

进给功能 F 表示刀具中心运动时的进给速度。由地址码 F 和后面若干位数字构成。这个数字的单位取决于每个系统所采用的进给速度的指定方法。具体内容见所用机床的编程说明书。

注意事项如下。

①进给率的单位是直线进给率  $\text{mm}/\text{min}$ (或  $\text{in}/\text{min}$ ),还是旋转进给率  $\text{mm}/\text{r}$ (或  $\text{in}/\text{r}$ ),取决于每个系统所采用的进给速度的指定方法。

②当编写程序时,第一次遇到直线(G01)或圆弧(G02/G03)插补指令时,必须编写进给率 F,如果没有编写 F 功能,CNC 采用 F0。当工作在快速定位(G00)方式时,机床将以通过机床轴参数设定的快速进给率移动,与编写的 F 指令无关。

③F 功能为模态指令,实际进给率可以通过 CNC 操作面板上的进给倍率旋钮,在 0% ~ 120% 之间控制。

### (3) 主轴转速功能 S

由地址码 S 和其后面的若干数字组成,单位为转速单位  $\text{r}/\text{min}$ 。例如:S260 表示主轴转速为 260  $\text{r}/\text{min}$ 。

注意:有些数控机床没有伺服主轴,即采用机械变速装置,编程时可以不编写 S 功能。

## 3.2 常用辅助功能

辅助功能也叫 M 功能或 M 代码,它是控制机床或系统开关功能的一种命令。常用的辅助功能编程代码见表 2-6。

表 2-6 常用辅助功能的 M 代码、含义及用途

代码	含义	用途
M00	程序停止	实际上是一个暂停指令。当执行有 M00 指令的程序段后,主轴的转动、进给、切削液都将停止。它与单程序段停止相同,模态信息全部被保存,以便进行某一手动操作,如换刀、测量工件的尺寸等。重新启动机床后,继续执行后面的程序
M01	选择停止	与 M00 的功能基本相似,只有在按下“选择停止”后,M01 才有效,否则机床继续执行后面的程序段;按“启动”键,继续执行后面的程序

代码	含义	用途
M02	程序结束	该指令编在程序的最后一条,表示执行完程序内所有指令后,主轴停止、进给停止、切削液关闭,机床处于复位状态
M03	主轴正转	用于主轴顺时针方向转动
M04	主轴反转	用于主轴逆时针方向转动
M05	主轴停止转动	用于主轴停止转动
M06	换刀	用于加工中心的自动换刀动作
M08	冷却液开	用于切削液开
M09	冷却液关	用于切削液关
M30	程序结束	使用 M30 时,除表示执行 M02 的内容之外,还返回到程序的第一条语句,准备下一个工件的加工
M98	子程序调用	用于调用子程序
M99	子程序返回	用于子程序结束及返回

注意:各种机床的 M 代码规定有差异,编程时必须根据说明书的规定进行。

### 3.3 加工中心常用指令的编程

#### (1) 直线进给指令(G00、G01)

##### 1) 快速定位指令 G00

用 G00 指定点的定位,命令刀具以点位控制方式,从刀具所在点以设定的最大进给量,移动到目标点,合成的路径根据不同的数控系统有所不同,有些是起始点和终止点之间的直线,而有些却是折线,因此,一定要在刀具脱离工件的状态下才能执行 G00 指令。程序格式为:

G00 X—Y—Z—;

X—Y—Z—为目标点坐标。用绝对编程时,X—Y—Z—为目标点在工件坐标系中的坐标;用相对编程时,X—Y—Z—是刀具从所在点移动过的距离,用符号表示方向,如图 2-4 所示。其程序为:

X100 Y100 ;	起点
G00 G90 X400 Y300 ;	绝对坐标编程
G00 G91 X300 Y200 ;	相对坐标编程

##### 2) 直线插补指令 G01

用 G01 指定直线进给,其作用是指令两个坐标(或三个坐标)以联动的方式,按指定的进给速度 F 编写的进给速度 F 可以通过 CNC 的控制面板上的旋钮在 0~120% 之间变化),插补加工出任意斜率的平面(或空间)直线。程序格式为:

G01 X—Y—Z—F



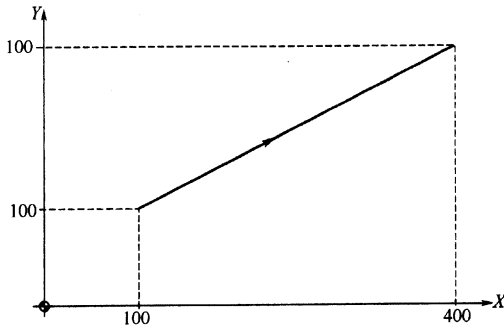


图 2-4 G00 快速定位指令

X—Y—Z—为目标点坐标。可以用绝对值坐标,也可以用增量坐标。F(mm/min)为刀具移动的速度。如图 2-5 所示,刀具从起始点 A 沿 AB 切削。

程序为:

```
G01 G90 X650 Y400 F150 ;
```

绝对坐标编程

```
G00 G91 X400 Y150 F150 ;
```

相对坐标编程

G01 与 F 都是续效指令,G01 程序中必须含有 F 指令,如无 F 指令则认为进给速度为零。

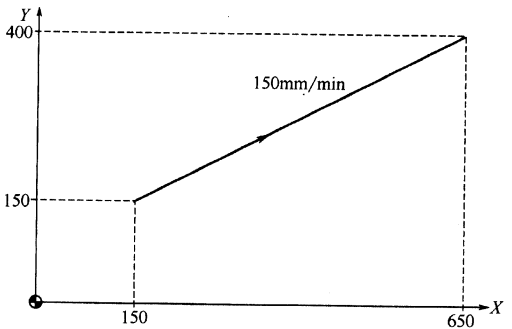


图 2-5 G01 直线插补指令

(2) 圆弧插补指令(G02、G03)

有 2 种方法完成圆弧插补 顺时针圆弧插补和逆时针圆弧插补。

顺时针圆弧(G02)和逆时针圆弧(G03)的定义可根据图 2-6 所示的坐标系确定。该坐标系指刀具在机床上的运动,用 G02、G03 指定的圆弧进给,只能在平面上执行,G02 和 G03 编写的运动以圆弧路径执行,并以编写的进给率 F 进行。圆弧插补的指令格式如下。

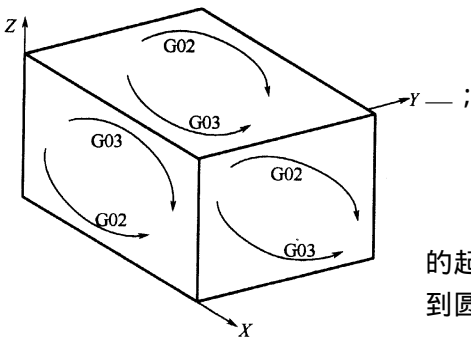


图 2-6 圆弧插补方向

1) 笛卡尔坐标系下

XY 平面: G02(G03) G17 X—Y—I—J—F—

XZ 平面: G02(G03) G18 X—Z—I—K—F—;

YZ 平面: G02(G03) G19 Y—Z—J—K—F—;

圆弧的终点和圆心位置的坐标相对于工作平面的起点,圆心通过字母 I、J、K 格式定义,它是指从起点到圆心在坐标轴上的增量,有大小和方向,其中,X 轴用 I、Y 轴用 J、Z 轴用 K 表示。如图 2-7 所示:

2) 极坐标系下

XY 平面:G02(G03)G17 Q—:—J—F—;

XZ 平面:G02(G03)G18 Q—I—K—F—;

YZ 平面 :G0X G03 XG19 Q—J—K—F— ;

定义  $Q$  为加工圆弧的角度,  $J$ 、 $J$ 、 $K$  为起点到圆心在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标轴的增量, 工作平面  $I$ 、 $J$ 、 $K$  和各个轴的对应关系如下。

- $X$  轴  $I$
- $Y$  轴  $J$
- $Z$  轴  $K$

如果圆弧的圆心没有定义, CNC 假定圆心与当前的极坐标原点重合。

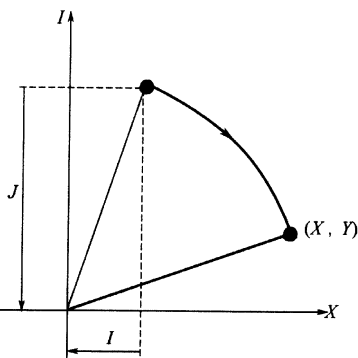


图 2-7 笛卡尔坐标圆弧插补

### 3) 用半径编程

定义圆弧的终点坐标和半径。编写格式如下。

XY 平面 :G0X G03 XG17 X—Y—R— ;

XZ 平面 :G0X G03 XG18 X—Z—R— ;

YZ 平面 :G0X G03 XG19 Y—Z—R— ;

如果编写完整的圆, 则不能采用半径编程, 因为以  $R$  为半径的起点和终点重合的圆有无数个, CNC 将显示相应的错误提示。如果圆弧小于  $180^\circ$ , 编写半径时用正号; 如果圆弧大于  $180^\circ$ , 编写半径时用负号。如图 2-8 所示, 如果  $P_0$  是起点,  $P_1$  是终点, 通过两点的路径有 4 个数值相同的圆弧, 依据圆弧插补 G02 或 G03 和半径的符号, 定义相应的圆弧, 编写圆弧的编程格式如下。

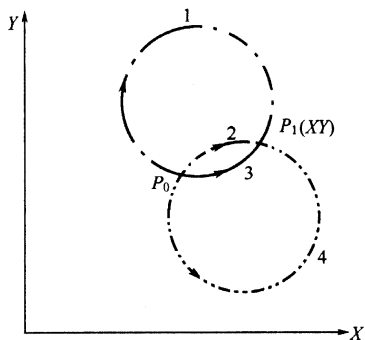


图 2-8 半径编程

圆弧 1 :G02 X—Y—R— ;

圆弧 2 :G02 X—Y—R+ ;

圆弧 3 :G03 X—Y—R+ ;

圆弧 4 :G03 X—Y—R— ;

### 4) 圆弧编程方法举例

编写图 2-9 所示的圆弧路径, 各种编程方法如下。

①在笛卡尔坐标系:

G90 G17 G03 X10 Y90 J50 F200 ;

G03 X160 Y40 150 J0 ;

②在极坐标系:

G93 160 J50 ; 定义极坐标原点

G90 G17 G03 Q0 10 J50 F2001

Q-90 150 J0 ;

③用半径编程:

G90 G17 G-03 X110 Y90 R50 F200 ;

X160 Y40 R50 ;

### (3) 刀具长度补偿指令(G43、G44、G49)

当一个加工程序内要使用几把刀时, 由于每把刀具的长度总会有所不同, 因而在同一坐

标系内,在 $Z$ 值不变的情况下可能使每把刀具的端面在 $Z$ 方向的实际位置有所不同,这就给编程带来了困难。为此先将一把刀作为标准刀具,并以此为基础,将其他刀具的长度相对于标准刀具长度的增加或减少值作为补偿值记录在机床数控系统的某个单元内。在刀具作 $Z$ 方向运动时,数控系统将根据已记录的补偿值作相应的修正。如图2-10所示,要在一个加工程序中同时使用三把刀,它们的长度各不相同。现以第一把刀作为

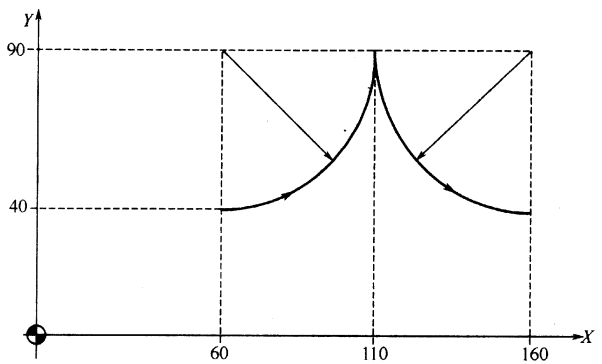


图2-9 圆弧编程方法举例

标准刀具,第二和第三把刀分别较第一把短10mm和长10mm。故这三把刀的长度补偿量分别为0、-10、10,并将后两个数分别记录在代号为“H02”和“H03”表示的数控机床的数控系统的数据库的对应位置上。这样就可以在同一个坐标系内使三把刀处于同一个 $Z$ 向高度。刀具长度补偿指令格式为:

G43 H02 ;刀具增长补偿即正补偿

G44 H03 ;刀具缩短补偿即负补偿

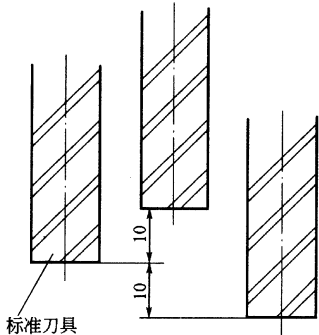


图2-10 刀具长度补偿

由于刀具长度补偿指令是模态的,故要取消刀具长度补偿就必须用G49指令。数控机床开机时,系统自动进入“刀补取消”状态。

对于不同的数控系统,有时长度补偿指令有些区别,如FAGOR 8055系统,用G43指令表示刀具长度补偿,正补偿或负补偿由刀具表中参数L的“+”、“-”号决定,即“+”号表示正补偿,“-”号表示负补偿,取消刀具长度补偿用G44指令。

#### (4) 刀具半径补偿指令(G40、G41、G42)

零件轮廓加工过程中,由于刀具有半径,刀具中心运动轨迹并不等于加工零件的实际轮廓。因此,在实际加工时,刀具中心轨迹要偏移零件轮廓表面一个刀具半径值,即进行刀具半径补偿。刀具半径补偿功能的应用具有以下优点:在编程时可以不考虑刀具的半径,直接按图样所给尺寸编程,只要在实际加工时输入刀具的半径即可;可以使粗加工的程序简化;通过改变刀具补偿量,可用一个加工程序完成不同尺寸要求的工件加工。

##### 1) 刀具半径补偿指令格式

由于刀具半径补偿只限于在两维平面内进行,故在补偿指令前需先进行加工平面选择。为此,本指令的通用格式为:

G17 G41 (或G42) X—Y—D—;

G18 G41 (或G42) X—Z—D—;

G19 G41 (或G42) Y—Z—D—;

由于G17、G18和G19指令是模态的,所以在半径补偿指令这个程序段中并不一定要出

现,只要在该程序段之前出现即可。式中 G41 表示左刀补,即沿刀具前进方向看去,刀具在被加工面的左面。G42 为右刀补,即沿刀具前进方向看去,刀具在被加工面的右面。G41 和 G42 的含义如图 2-11 所示。D 为刀具半径补偿号,在数控机床的数控系统数据库中,在刀具补偿号指定的位置,写入刀具的半径值。

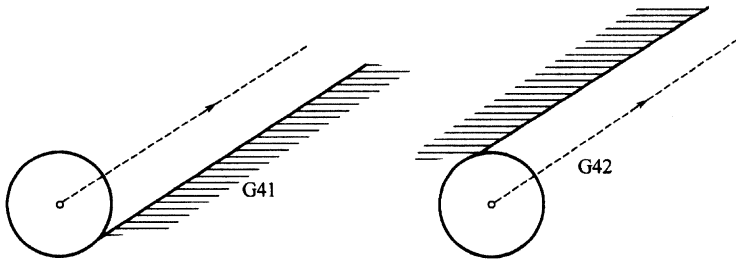


图 2-11 刀具半径补偿

刀具半径补偿指令同长度补偿一样也是模态的,故要取消刀具半径补偿,必须用 G40 指令。

### 2) 半径补偿编程实例

按图 2-12 所示实例,编写刀具路径,编程的路径用实线表示,补偿的路径用虚线表示。

刀具半径:10mm

刀具号:T2

刀具偏置号:D2

G92 X0 Y0 Z0;

G90 G17 G01 F100 S100 T1 D1

M03;

G42 X20 Y20;

X50 Y50;

X70;

G03 X85 Y45 I0 J15;

G02 X100 Y60 I15 J0;

G01 Y70;

X55;

G02 X25 Y70 I-15 J0;

G01 X20 Y20;

Z20;

G40 G00 X0 Y0 Z0 M05 取消补偿

M30;

### (5) 工件坐标系设定指令(G92)

#### 1) 指令格式

工件坐标系设定指令格式为:

G92 X—Y—Z—;

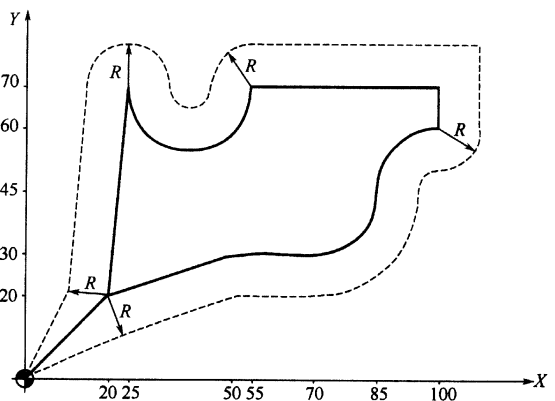


图 2-12 刀具半径补偿加工实例

编程时,预先要设定工件坐标系,通过 G92 指令可以设定当前工件坐标系,该坐标系在机床重新启动时消失。执行 G92 指令后,确定了刀具刀位点的初始位置(也称为程序起点或起刀点)与工件坐标系坐标原点的相对距离,并在 CRT 上显示出刀具刀位点在工件坐标系中的当前位置坐标值(即建立了工件坐标系)。G92 指令是以刀具当前位置作为参考点设立工件坐标系的,因此,当机床断电或重新启动后,坐标系将不复存在。为此,在一个班上不能加工完成的工件,如果没有固定的对刀点,将不能使用 G92 指令来设定工件坐标系。

## 2) 工件坐标系设定举例

如图 2-13 所示,设定  $P_0$  点为工件坐标系。

编程如下。

```
G90 X50 Y40 ;      定位在户。点
G92 XO YO ;       预置 P0 为工件零点
G91 X30 ;         根据工件坐标系编程
X20 Y20 ;
X - 20 Y20 ;
X - 30 ;
Y - 40 ;
```

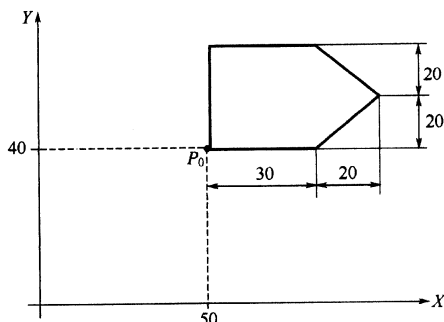


图 2-13 212 件坐标系设定

## (6) 工件坐标系的选取指令(G54 ~ G57)

工件坐标系的选取指令可以是 G54 ~ G57 中任

意一个。一般数控机床可以预先设定 4 个(G54 ~ G57)工件坐标系。这些坐标系存储在机床存储器内,在机床重开机时仍然存在,在程序中可以交替选取任意一个工件坐标系使用。4 个工件坐标系皆以机床原点为参考点,分别以自身与机床原点的偏移量表示,需要提前输入机床数控系统,如图 2-14 所示。值得注意的是,G54 ~ G57 是在加工前就设定好坐标系,而 G92 是在程序中设定坐标系,如果使用了 G54 ~ G57 指令,就没有必要使用 G92 指令了,否则用 G54 ~ G57 设定的坐标系将被 G92 所设定的坐标系替换,所以必须避免。

## (7) 设定局部坐标系指令(G58、G59)

指令格式:

```
G54 G58(G59)
```

局部坐标系相当于一个子坐标系,它可在 G54 ~ G57 上附加一个坐标系以方便编程,它是以 G54 ~ G57 指令设定的工件坐标系的零点为参考点。指令如图 2-14 所示。

## (8) 英制/公制转换指令

不同的数控系统使用的英制/公制转换指令不同。

### ① FANUC 系统指令格式:

```
G20 ;      英尺输入
```

```
G21 ;      毫米输入
```

### ② FAGOR 系统指令格式:

```
G70 ;      英尺输入
```

```
G71 ;      毫米输入
```

该 G 代码必须编在程序的开头,在设定坐标系之前,以单独程序段指定。在对英制/公

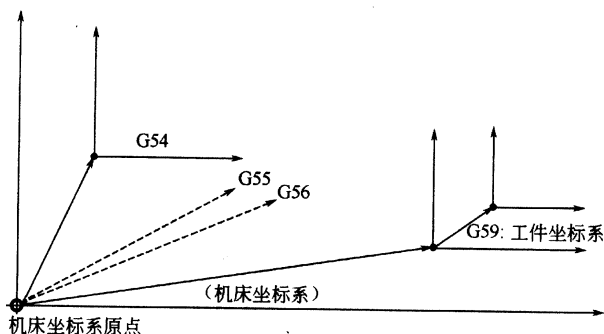


图 2-14 工件坐标系及局部坐标

制转换的 G 代码指定以后,输入数据的单位切换到最小英制或公制输入增量单位。对于角度的数据输入,其单位保持不变。

## 4 加工中心固定循环的编程方法

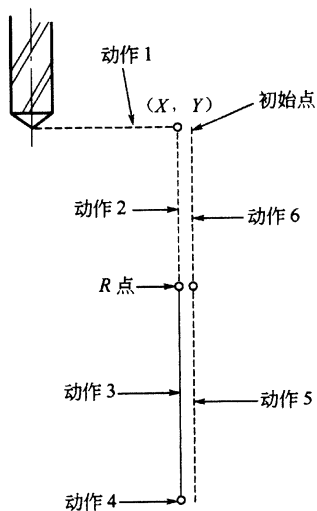


图 2-15 固定循环的动作

### 4.1 固定循环指令

在孔系、镜像、挖槽等加工中,应用固定循环编程,可以简化手工编程的步骤,使用一个程序段就可以完成一个孔加工的全部动作,因此可以大大简化编程。目前,不同的数控系统使用的固定循环指令各不相同,本节主要介绍 FANUC 系统和 FAGOR 系统常用的固定循环,其他系统虽然指令不同,但所用操作方法基本相同。

在固定循环加工中,刀具一般由下述 6 个动作组成,如图 2-15 所示。

- ① X 轴和 Y 轴的快速定位；
- ② 刀具快速从初始点进给到 R 点；
- ③ 以切削进给的方式执行孔加工的动作；
- ④ 在孔底相应的动作；
- ⑤ 返回到 R 点；
- ⑥ 快速返回到初始点。

初始平面是为了安全下刀而规定的一个平面；R 平面表示刀具下刀时自快速进给转为工作进给的高度平面。对于立式数控铣床，孔加工都是在 XY 平面定位并在 Z 轴方向进行。固定循环的编程格式如下。

$G \times \times \quad X - Y - Z - R - Q - P - F - K ;$

例如：FANUC 系统指令中的内容见表 2-7。

表 2-7 FANUC 系统铣削固定循环指令编程说明

指令内容	地址	说明
孔加工方式	G	G 功能参见表 2-3
孔加工数据	X、Y	用增量值或绝对值指定孔位置，轨迹及进给速度与 G00 的定位相同
	Z	用增量值指定从 R 点到孔底的距离，用绝对值指定孔底的位置，进给速度在动作 3 由 F 指定，动作 5 时根据加 Z 方式变为快速进给或由 F 指定
	R	用增量值指定从初始平面到 R 平面的距离，或用绝对值指定 R 点位置，进给速度在动作 2 和动作 6 均变为快速进给
	Q	指定 G73、G83 中每次的切人量或 G76、G87 中的偏移量（常为增量）
	P	指定孔底的停留时间，其指定数值与 G04 相同
	F	指定切削进给速度
重复次数	K	决定动作的重复次数，未指定时默认为 1 次

## 4.2 FANUC 系统常用固定循环

### (1) 固定循环功能

FANUC 系统固定循环功能见表 2-8。

表 2-8

FANUC 固定循环功能

G 代码	进刀操作	在孔底位置的操作	退刀操作	用途
G73	间歇进给	—	快速进给	高速深孔钻循环
G74	切削进给	暂停→主轴正转	切削进给	反攻丝
G76	切削进给	主轴准确停止	快速进给	精镗
G80	—	—	—	取消固定循环
G81	切削进给	—	快速进给	钻孔、镗孔
G82	切削进给	暂停	快速进给	钻孔、阶梯镗孔
G83	间歇进给	—	快速进给	深孔钻循环
G84	切削进给	暂停→主轴反转	切削进给	攻丝
G85	切削进给	—	切削进给	镗削
G86	切削进给	主轴停止	快速进给	镗削
G87	切削进给	主轴正转	快速进给	背削
G88	切削进给	暂停→主轴停止	手动	镗削
G89	切削进给	暂停	切削进给	镗削

## (2) 典型固定循环应用

图 2-16(a)(b)(c)(d)(e)为几种典型固定循环的定义平面及动作步序。

### 4.3 FAGOR 系统常用固定循环

#### (1) 固定循环功能

FAGOR 系统固定循环功能见表 2-9。

表 2-9

FANUC 固定循环功能

G 代码	进刀操作	在孔底位置的操作	退刀操作	用途
G66	切削进给	—	快速进给	不规则型腔加工
G69	切削进给	暂停→主轴正转	切削进给	组合深孔钻削
G76	—	—	—	固定循环参数修改
G80	—	—	—	取消固定循环
G81	切削进给	暂停	快速进给	钻孔、镗孔
G82	切削进给	暂停	快速进给	钻孔、阶梯镗孔
G83	间歇进给	—	快速进给	深孔钻削
G84	切削进给	暂停→主轴反转	切削进给	攻丝
G85	切削进给	—	切削进给	铰削
G86	切削进给	主轴停止	快速进给	镗削
G87	切削进给	—	切削进给	矩形型腔铣削
G88	切削进给	—	切削进给	圆柱形型腔铣削
G89	切削进给	暂停	切削进给	镗削

## (2) 典型固定循环应用

### 1) 钻削固定循环(G81)

G81 功能完成连续的钻削加工,直至达到最终的编程坐标,然后执行在孔底的停顿,在直角坐标系工作时,程序段的基本结构如下:



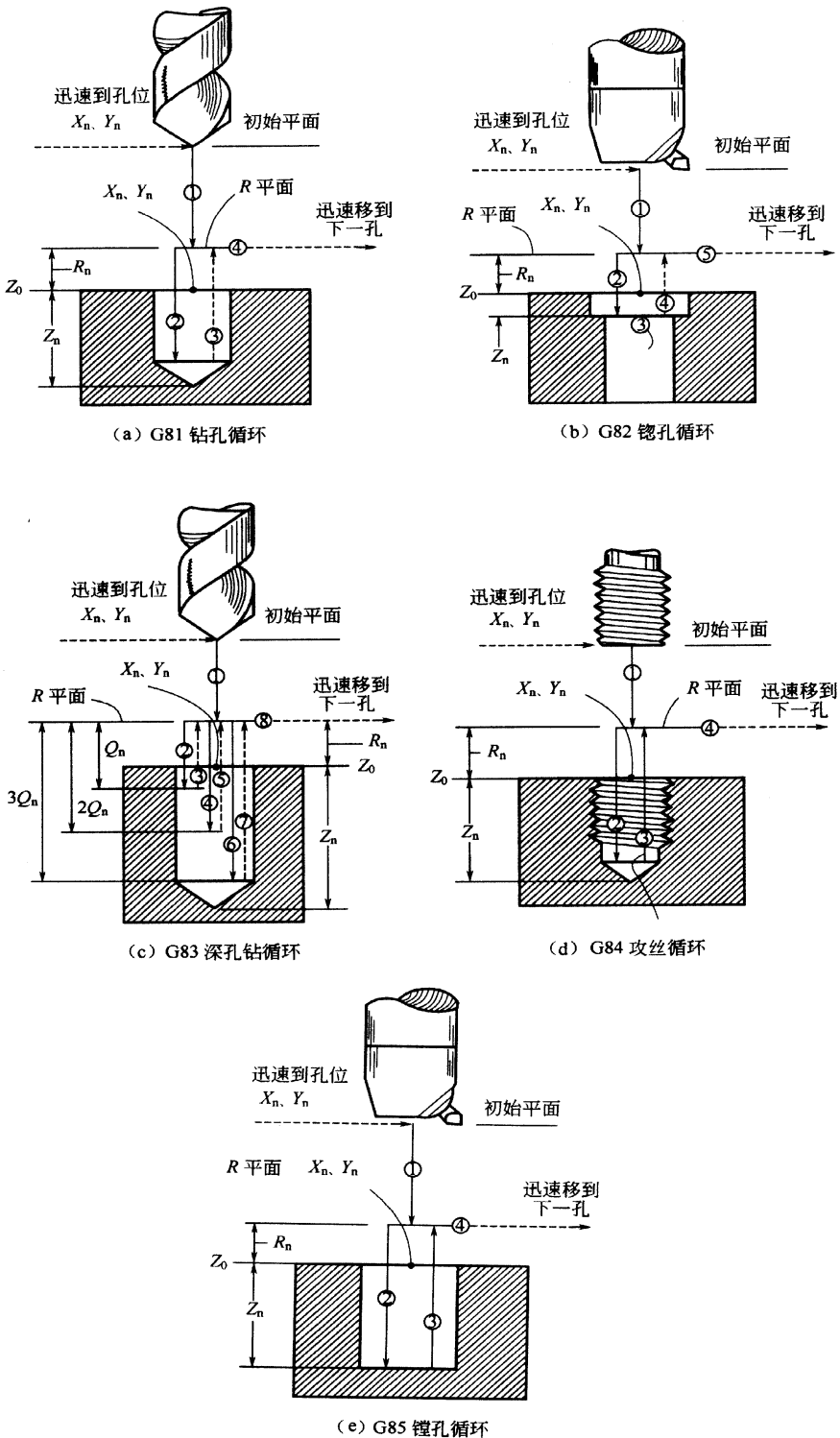


图 2-16 典型铣削固定循环

G81 G98/G99 X—Y—Z—I—K—；  
 G98 ;一旦孔钻削完毕 ,刀具退回到初始平面  
 G99 ;一旦孔钻削完毕 ,刀具退回到参考平面  
 X ,Y ;定义加工位置  
 Z ;定义参考平面坐标  
 I ;总的钻削深度  
 K ;定义在孔底的停顿时间  
 钻削固定循环工作步骤如图 2 - 17 所示。

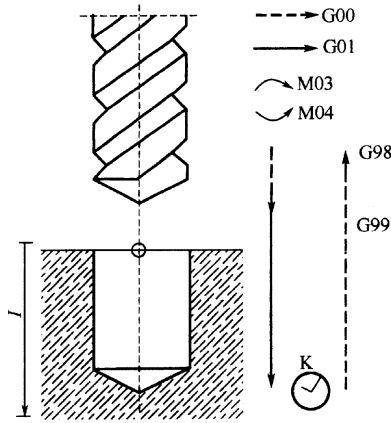


图 2-17 钻削固定循环

图 2 - 18 所示为钻削固定循环应用举例。工作平面由 X 轴和 Y 轴形成 ,纵轴为 Z 轴 ,起点为(  $X_0, Y_0, Z_0$  )

程序如下 :

T1 D1 ;

G92 X0 Y0 Z0 ;

S500 M03 ;

G81 G98 G91 G01 Y350Z - 98 I - 22 F100 ;定位并定义固定循环

G93 1250 J250 ; 设置极坐标原点

Q - 45 N 执行固定循环 3 次

G80 ; 取消固定循环

G90 G00 X0 Y0 ; 返回初始点

M05 主轴停止

M30 ; 程序结束

## 2)深孔钻削固定循环(G83)

G83 功能完成连续的深孔钻削加工 ,直至达到最终的编程坐标 ,每次钻削后 ,刀具回退到参考平面 ,在直角坐标系工作时 ,程序段的基本结构如下。

G83 G98/G99 X—Y—Z—I—J—；

G98 ;一旦孔钻削完毕 ,刀具退回到初始平面

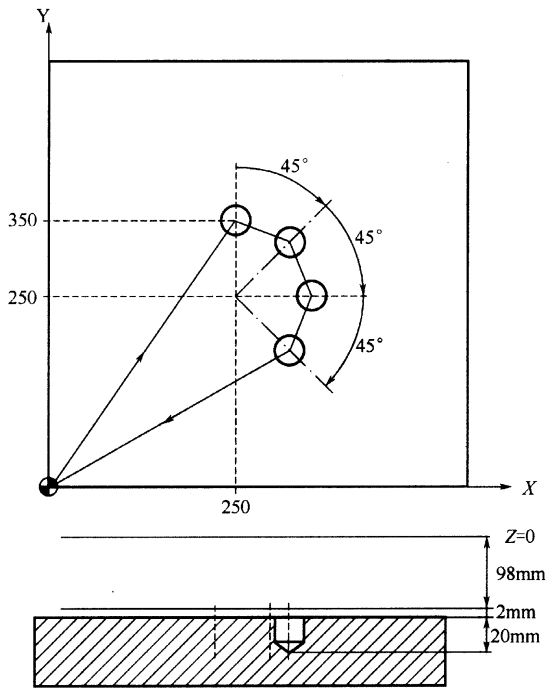


图 2-18 平面孔系加工

G99 ;一旦孔钻削完毕 ,刀具退回到参考平面

X ,Y ;定义加工位置

Z ;定义参考平面坐标

I ;定义每次钻削深度

J ;定义钻孔的步数

钻削固定工作步骤如图 2-19 所示。

图 2-20 为深孔钻削固定循环应用举例。工作平面由 X 轴和 Y 轴形成 ,纵轴为 Z 轴 ,起点为  $(X_0, Y_0, Z_0)$ 。

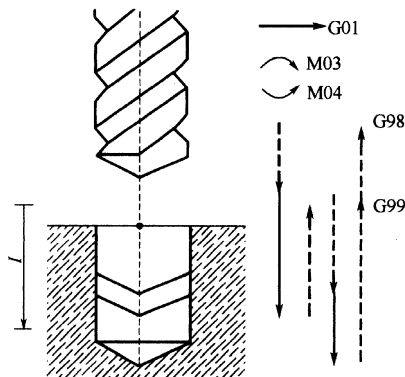


图 2-19 深孔钻削固定循环

```
T1 D1 ;
G92 X0 Y0 Z0 ;
5500 M03 ;
G83G99 G90 G01 Y350 Z - 98 I - 22
J3 F100 ; 定位并定义固定循环
G80 ;      取消固定循环
G90 G00 Y0 Y0 ;      返回初始
```

点

```
M05 ;      主轴停止
M30 ;      程序结束
3)攻丝固定循环(G84)
```

如图 2-21 所示 ,G84 功能完成从指定点开始攻丝 ,直至达到最终的编程深度 ,在攻丝孔的底部和退回参考平面执行停顿 ,在直角坐标系工作时 ,程序段的基本结构如下。

```
G84 G98/G99X — Y — Z — I — K —
```

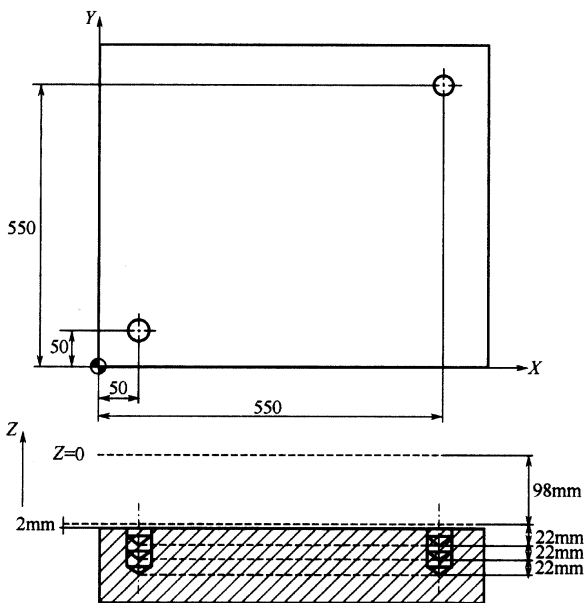


图 2-20 平面深孔加工

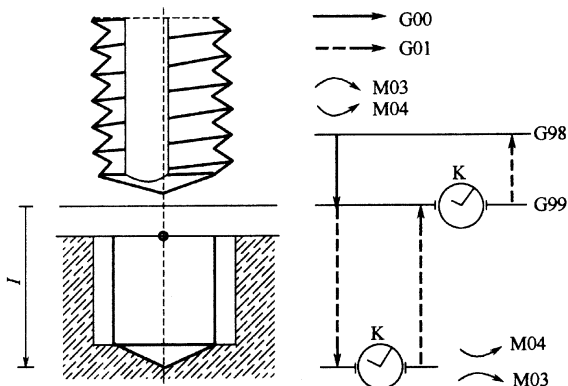


图 2-21 攻丝固定循环

```
R — J — ;
```

```
G98 ;一旦孔钻削完毕 ,刀具退回到初始平面
G99 ;一旦孔钻削完毕 ,刀具退回到参考平面
X ,Y ;定义加工位置
Z ;定义参考平面坐标
I ;定义攻丝深度
R ;定义攻丝类型
J ;定义回退进给率
```

图 2-22 所示为攻丝固定循环应用举例。工作平面由 X 轴和 Y 轴形成 ,纵轴为 Z 轴 ,

起点为 $(X_0, Y_0, Z_0)$ 。

T1 D1 ;

G92 X0 Y0 Z0 ;

S500 M03 ;

G84 G99 G91 G01 X50 Y50 Z-98 I-22 K150 F350 N3 ;定位并定义固定循环

G98 G90 G00 X500 Y500 ;设置极坐标原点

G80 ;取消固定循环

G90 G00 Y0 Y0 ;返回初始点

M05 ;主轴停止

M30 ;程序结束

4) 铰削固定循环(G85)

G85 功能完成从指定点开始铰削,直至达到最终的编程深度,在孔的底部执行停顿,在直角坐标系工作时,程序段的基本结构如下。

G85 G98/G99 X—Y—Z—I—K—;

G98 ;一旦孔铰削完毕,刀具退回到初始平面

G99 ;一旦孔铰削完毕,刀具退回到参考平面

X, Y ;定义加工位置

Z ;定义参考平面坐标

I ;定义铰削深度

J ;定义孔底停顿时间

铰削固定工作步骤如图 2-23 所示。

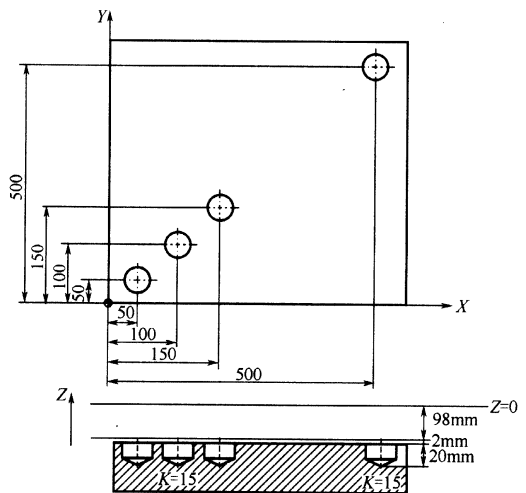


图 2-22 孔系攻丝加工

#### 4.4 子程序编程方法

某些被加工的零件中,常常会出现几何形状完全相同的加工轨迹,在程序编制时,将有固定顺序和重复模式的程序段作为子程序存放,可使程序简单化。主程序执行过程中如果需要某一个子程序,可以通过一固定格式的子程序调用指令,来调用该子程序,执行完后返回到主程序,继续执行后面的程序段。

##### (1) 子程序的编程格式

子程序的格式与主程序相同,在子程序开头编制子程序号,在子程序的结尾用 M99 指令(有些系统用 RET 返回)。

O × × × × (或: × × × ×、P × × × ×、% × × × ×)

...

M99 ;

##### (2) 子程序的调用格式

常用的子程序调用格式有以下几种。

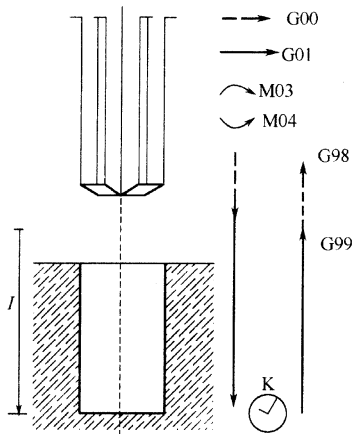


图 2-23 铰削固定循环

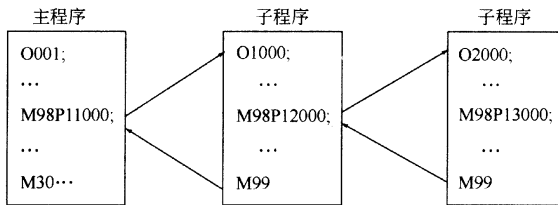


图 2-24 子程序的嵌套

① M98P××××××

P 后面的前 3 位为重复调用次数,省略时为调用一次;后 4 位为子程序号。

② M98 P×××× L××××

P 后面的 4 位为子程序号;L 后面的 4 位为重复调用次数,省略时为调用一次。

③ CALL××××

子程序的格式为:

(SUB)

...

(RET)

### (3) 子程序的嵌套

为了进一步简化程序,可以让子程序调用另一个子程序,该过程称为子程序的嵌套。注意:子程序的嵌套不是无限次的。图 2-24 是子程序的嵌套及执行顺序。

子程序结束时,如果用 P 指定顺序号,不返回到上一级子程序调出的下一个程序段,而返回到用 P 指定的顺序号为 2 的程序段,则这种情况只用于存储器工作方式,如图 2-25 所示。

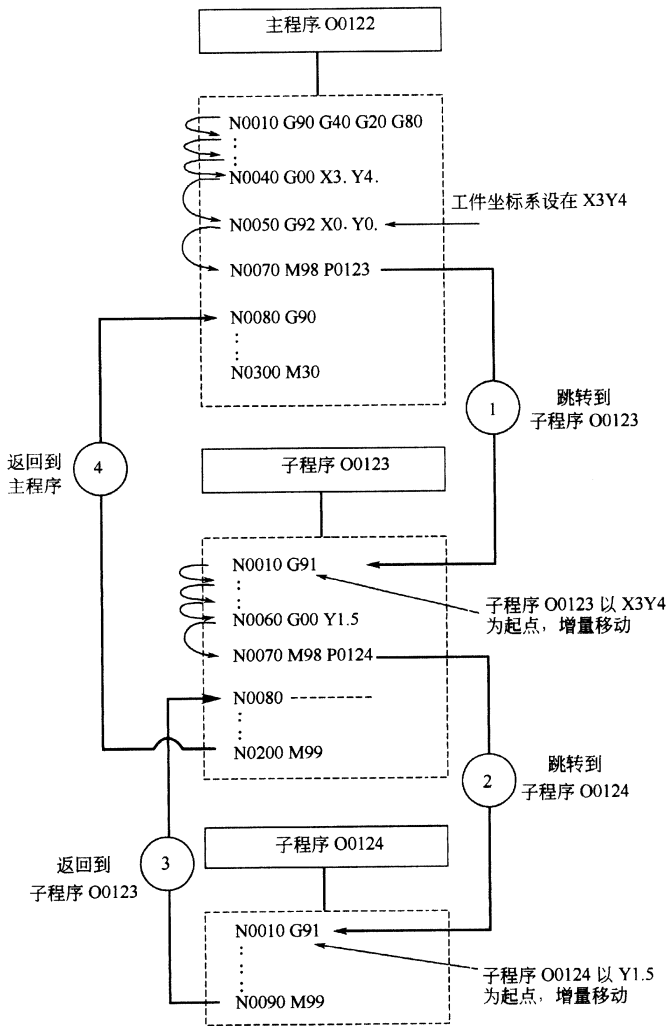


图 2-25 子程序的执行过程

## 5 加工中心自动编程

### 5.1 MasterCAM 自动编程软件简介

美国 CNC Software 公司的 Master CAM 能够接受来自包括 UG II、Pro/ENGINEER、CATIA、CADD5、CIMATRON、CAMAX、Solid Works、AutoCAD 等常见的各种 CAD/CAM 系统在内的 2D/3D 文件格式,能完成从 2D 设计到 3D 设计及 CAM 编程的技术过程,适合于各种数控系统的

机床,是将 CAD 和 CAM 集成在一起的一套比较完整的软件。

使用 Master CAM 编程时,只要在 CAD 部分绘制零件的二维或三维图形后,便可在 CAM 的刀具路径中选择适当的加工模块,根据工艺要求设置相应的刀具参数和特性参数,生成刀具路径 NCI 文件,再通过后置处理程序生成 NC 文件,即数控机床能够识别的 G 代码,然后进行适当的编辑和修改,传输给数控机床,装上相应的刀具,便可进行各种不同类型的加工。对于复杂的机械零件,只要将它的二维或三维图形绘出,通过一些简单的计算机操作(确切说是参数设置),就可以完成繁杂的加工程序的编制工作。

### (1) 同时具备 CAD/CAM 功能

① Master CAM 采用了先进的 NURBS 样条设计,对样条(Spline)曲线可做熔接(Blend)补正(Offset);多边形、椭圆等图形都有新的画法,切线、平行线等绘制更加方便。

② 曲面处理可由两个曲面及三个曲面产生熔接曲面,可对三个曲面做过渡处理。

③ 可提供曲线与曲面、平面与曲面、曲面与曲面倒圆角功能。

④ 可以用剖切、边界线、交线、投影线等方式产生曲线,在多个曲面上也可以产生以上曲线。

⑤ 基本曲面由举升(Loft)、昆氏(Coons)、直纹(Ruled)、旋转(Revolved)、扫描(Swept)、牵引(Draft)等方式产生,系统还提供了立方体、圆柱、圆锥、球、环等封闭的曲面,具有实体造型、图素拼合和实体的布尔运算等功能,使零件图绘制更方便、快捷。

Master CAM 8.0 还提供了将实体模型转化为表面模型的功能,这就使得绘制同一幅图形时既可以使用表面模型绘图,也可以使用实体模型绘图。

⑥ 可将 ACIS 实体转换为 Master CAM 的曲面,亦可方便地接收 Auto CAD 的 DXF 及 DWG 文件,与 Solid Works 三维参数化实体造型软件有专用数据接口。

⑦ 由于 Master CAM 8.0 使 CAD 与 CAM 做了更为明显的分工,所以 Master CAM 与其他 CAD 软件更容易交换信息,也就是说,其他 CAD 软件绘制的图形,一般不需要做进一步的处理就能够为 Master CAM 所利用。

这些强有力的造型功能,使得用户在制作三维模型时,可以充分体会到新一代 Master CAM 的魅力。

① 可进行 2~5 轴加工,分平面、外形、挖槽、钻孔、曲面、投影等加工方式。

② Master CAM 8.0 将原来分开进行操作的各种曲面加工进行归类,并分为粗加工和精加工。

③ 零件采用放射粗、精加工,刀具路径对回转中心呈辐射状,解决了行切加工陡壁零件时效果不好的问题。

④ 加工中可设定起始角度、旋转中心及起始补正距离,以切削方向容差及最大角度增量(或刀具步进距离)控制表面精度。

⑤ 对于极不规则的零件,可先做 2D 刀具路径,然后把刀具路径投影至多重曲面进行加工。

⑥ 另外,新版还提供了一个有用的功能:批次加工。当多个刀具路径需生成时,可采用此方式,设置好每个任务的加二正参数,调整加工次序,即可让系统按照次序自动执行每一个处理过程。



### (2) 可以与机床直接通信

该软件可以使用计算机的 RS232 串行通信接口,将编制好的程序传送到数控机床中,减少了程序输入的工作量。

### (3) 可以模拟加工和计算加工时间

①通过设定毛坯及刀具的形状、大小及不同颜色,可以从计算机上观察到实际的切削过程。

②系统同时给出有关加工情况报告,如去除材料的余量和加工时间等,并检测出加工中可能出现的碰撞、干涉等问题,以及报告发生的错误在刀具路径文件中的位置。这样可省去试切的过程,节约宝贵的时间,降低材料消耗,提高效率。

### (4) 可以自备刀具库和材料库

这个功能可以减少编程的工作量。

### (5) 操作效率高

①新版界面上方有灵活方便的工具栏,可让用户自由设定其中的 98 个按钮,随意调用各种功能。

②图形可实时用鼠标拖动旋转,彩色渲染图形也可旋转、平移及缩放,便于用户清楚地观察建立的三维模型。

③图形元素选取可用多边形框选,也可取消选择。

④用户在操作过程中若有疑问,可随时单击 [?]按钮打开帮助文件,显示当前使用功能的详细说明,获得在线帮助。

## 5.2 Master CAM 编程方法与应用实例

### (1) 编程步骤与考虑的内容

①根据数控加工工艺要求,确定装夹方法、一次装夹所能完成的加工内容、所需刀具数量和刀具种类。

②利用编程软件的 CAD 功能绘制零件加工用图形(必要的 2D 或 3D 图形)或将已有图形文件转换为编程软件需要的格式并作适当的删减与增补。

③设置加工零件毛坯尺寸、对刀点和刀具原点位置。

④设置刀具参数和零件材料。

⑤设置不同加工种类的特性参数。

⑥生成刀具路径并作适当修改。

⑦刀具路径模拟。

⑧后处理(Post)生成刀具路径文件(NCI 文件)及加工程序(NC 代码)。

⑨根据不同的数控系统对 NC 代码作适当修改。

⑩将正确的 NC 代码传送到数控系统。

在 CAD/CAM 集成软件系统或专用后置处理程序中完成数控加工的代码生成后,需将加工代码传输到数控机床。早期的数控系统多采用穿孔纸带进行转换和输入,目前已广泛采用 RS232 串行通信方式或 DNC 网络通信方式进行程序输入。

对于较长的 NC 代码(从几百 K 到几兆不等),大部分 CNC 系统的内存都很难将其容纳。

而对于大部分 CNC 系统来说,扩充系统内存非常昂贵,此时使用 DNC 功能便可以进行边传送边加工。对于支持 DNC 传输加工的数控机床或加工中心,其操作过程为:将数控机床或加工中心设置为 DNC 连续加工模式,并将模式选择开关旋钮旋转到 AUTO 模式,然后按下“启动”键即可开始边接收程序边进行加工。

本节针对以上第③到第⑩步骤进行介绍。

### (2) Master CAM 二维铣削编程方法

MasterCAM 8.0 二维铣削加工系统中包括外形铣削、挖槽、钻孔、面铣削、外圆铣削等模块。在利用 MasterCAM 编制数控加工程序的过程中,除必要的参数需要输入外,所有的功能都要靠逐级菜单来驱动完成,图 2-26 所示为 Master CAM 主菜单中,刀具路径选项下级部分菜单。

#### 1) 工作设置

编制一个零件的加工程序,首先要根据零件大小、材料、加工工艺、所使用的刀具等,做一些必要的设置。

① 工件设置 工件设置是设置加工零件毛坯的大小,对于铣削来讲,毛坯只能设置成立方体形状。其大小可以输入长、宽、高的尺寸,也可以根据已有图形使用边界盒按钮来定义工件的大小。设置画面如图 2-27 所示。

通过设置工件的原点位置来定义已绘图形在工件中的位置。系统用一个小箭头来指示原点在工件上的位置,小箭头可以指向工件上的 8 个角点及上表面的中心点其中的一个,直接在工作原点输入框中输入已绘图形某点的坐标值,也可单击选取工作原点按钮后在绘图区选取该点。

② 刀具设置 在图 2-27 所示的工作设定画面中,点击刀具按钮可以进行刀具设置。在刀具设置画面中点击鼠标右键,可以建立新的刀具,或从资料库中取得刀具。在从资料库选取刀具时,可以使用刀具过滤功能,列出只满足设定条件的刀具,从而简化刀具的选取。对已设置的刀具还可以进行编辑、保存,编辑内容包括刀具尺寸参数和刀具型式、适应范围和使用该刀具时的加工参数等。

③ 材料设置 在图 2-27 所示的工作设定画面中,点击 L 选取按钮可以进行材料设置。方法与刀具设置类似,在材料设置画面中点击鼠标右键,可以增加新的材料,或从资料库中选择要使用的材料。在新增加材料时,要给出基本切削线速度和每转每齿基本进给量,还可以设置不同加工类型时切削线速度与基本切削线速度的百分比以及设置不同刀具的进给量与基本进给量的百分比等。

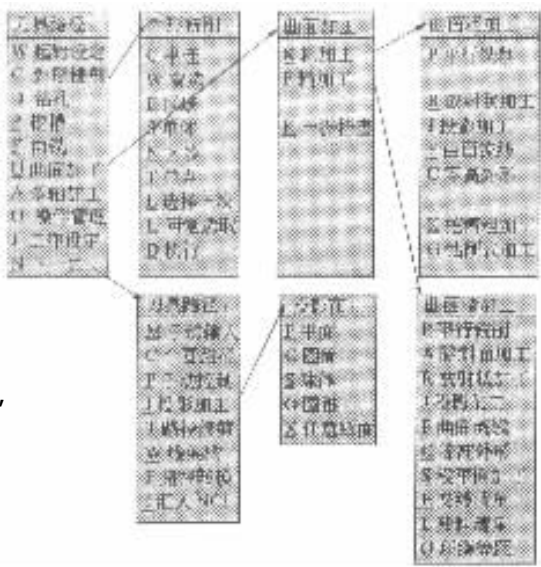


图 2-26 Master CAM 主菜单中刀具路径选项下级部分菜单

## ④其他参数设置

a. 选择后处理程序。在图 2-27 所示的工作设定画面中,点击 Mpfan 按钮可以选择不同的后处理程序(系统默认,以适应不同的数控系统)。

b. 刀具补偿。当选增加按钮时,根据输入的补偿值,系统将长度补偿值和半径补偿值与刀具长度和半径相加作为最终的补偿值。

c. 进刀量计算。可以选中按材料设置的参数进行计算,也可以选中按刀具设置的参数进行计算。

d. 刀具路径规划。有六项功能以供选择。

## 2) 外形铣削

加工图 2-28 所示零件的外形。

①工作设置,如图 2-27 所示,按确定按钮后,得如图 2-29 所示画面。

②刀具参数设置如图 2-30 所示。

③外形铣削参数设置如图 2-31 所示。

在所有铣削加工模块的参数设置中均包含有高度参数的设置。高度参数包括安全高度、参考高度(退刀高度)、进给下刀位置、要加工的表面和切削深度。

其中,安全高度是指在此高度之上刀具可以在任何位置平移而不会与工件或夹具发生碰撞,参考高度为开始下一个刀具路径前刀具回缩的位置,参考高度的设置应高于下刀位置;下刀位置是指刀具先快速下降,再慢速接近工件的分界位置,要加工的表面是指工件上表面的高度值,切削深度是指最后的加工深度。总切削量并不一定为设置的切削深度,总切削量等于切削深度减去 Z 项预留量。

所有的高度(深度)值都可以采用绝对坐标和增量坐标两种方法来设置。采用绝对坐标进行设置时,系统直接将输入的数值作为高度(深度)的 Z 坐标值;当采用增量坐标进行设置时,高度(深度)值为相对于工件表面的高度。

Z 轴(深度)分层铣削的设置如图 2-32 所示,最大粗切量是指每次的 Z 轴铣削深度,在该方向上的铣削次数等于总切削量减去总精切削量(精切削次数乘以精切削进刀量)的差除以最大粗切量的商并向上取整,在实际加工中的粗切削进刀量为总粗切削量(总切削量减

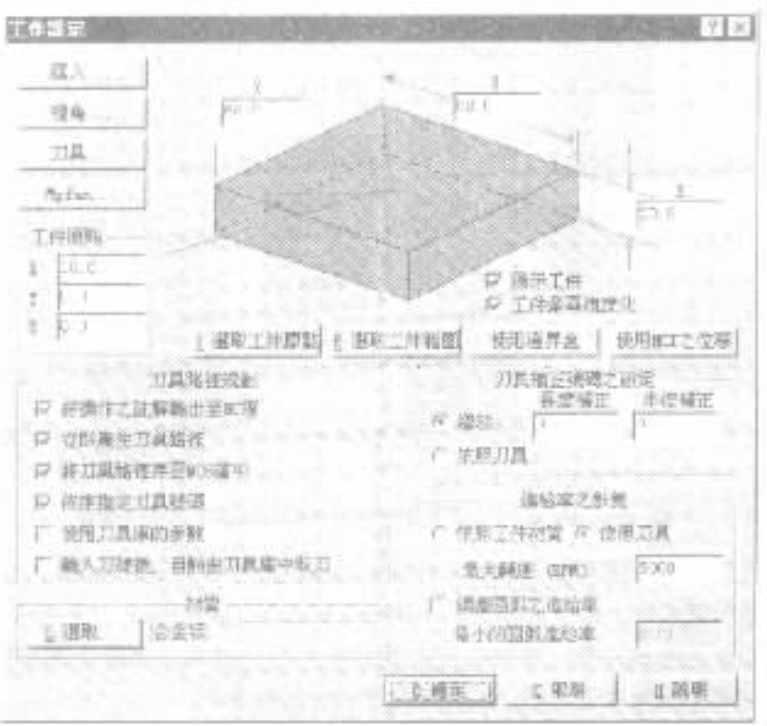


图 2-27 工作设置

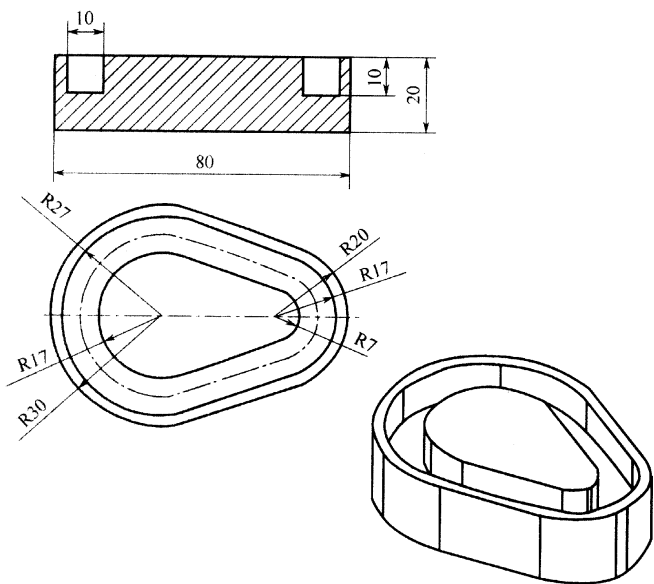


图 2-28 凸轮

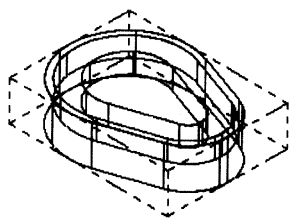


图 2-29 凸轮的工件设置

去总精切削量)除以粗切削次数;分层铣深之顺序,当选中“依照轮廓”选项时,先在一个外形边界铣削到设定深度后,再进行下一个边界铣削;当选中“依照深度”选项时,先在一个深度上铣削所有的外形边界,再进行下一个深度的铣削,如果需要还可以设置精铣次数和每次的精铣量。

XY 分次铣削设置如图 2-33 所示,根据加工余量的多少,设置粗铣次数和每次在 XY 方向上的吃刀量(间距),同时还要设置精铣次数和每次在 XY 方向上的精铣量(间距)以及精铣时机。

进/退刀向量设定如图 2-34 所示。在外形铣削中,可以在开始前和完成后添加由一段直线和一段圆弧组成的刀具路径,一般用来设置刀具切入切出,以使加工面更加平滑。

在刀具参数和外形铣削参数设置完成后,点击图 2-34 中的确定按钮,生成的刀具路径如图 2-35 所示。

④刀具路径模拟。在刀具路径菜单中,选择操作管理(如图 2-36 所示),选择刀具路径模拟选项,刀具自动从起点走完整个刀具路径,选择实体切削验证选项,以实体方式模拟全部加工过程。

⑤后处理,生成加工程序(NC 程序)。在操作管理画面中,选择执行后处理选项(如图 2-37 所示)。在该对话框中,可以更改后处理程序,以适应编程者所使用的数控系统。选中保存 NCI 档,在后处理中保存 NCI 文件(刀具路径文件)。选中保存 NC 档,在后处理中保存 NC 程序。按确定按钮后,自动完成后处理工作。

⑥修改加工程序。在后处理当中,虽然 Master CAM 适合多种数控系统,但考虑到数控机床生产厂商各自定义的辅助功能的区别、机床用途不同、系统配置差别等因素,要对后处理得到的 NC 代码根据所使用机床的特点做一些修改,主要是程序的开头和结尾部分以及一些固定循环指令的调整,程序中间的绝大部分无需修改。

表 2-10 是以上步骤完成后针对 FANUC 系统(后处理程式为 MPFNA.PST)生成的 NC 程序与根据 XH5660 型数控加工中心(数控系统为 FANUC 0-MD)修改后的程序对照(省略的程序完全相同);

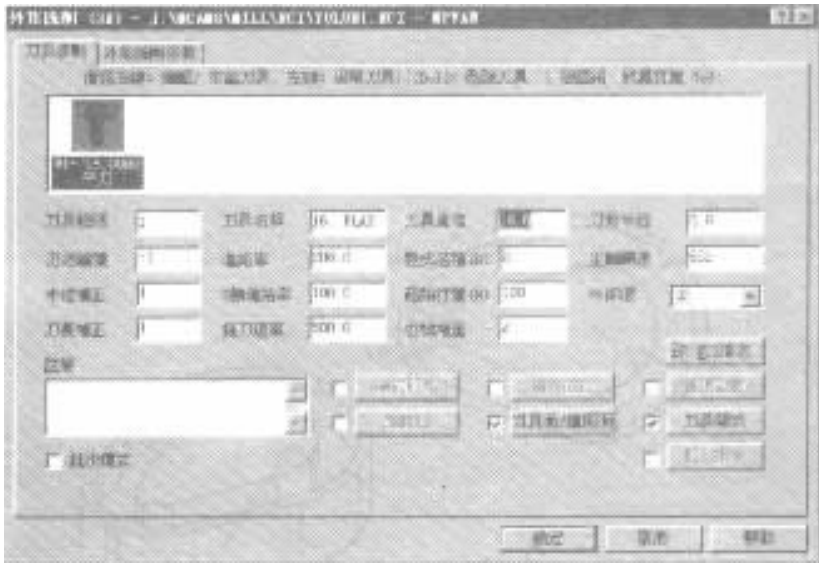


图 2-30 刀具参数设置

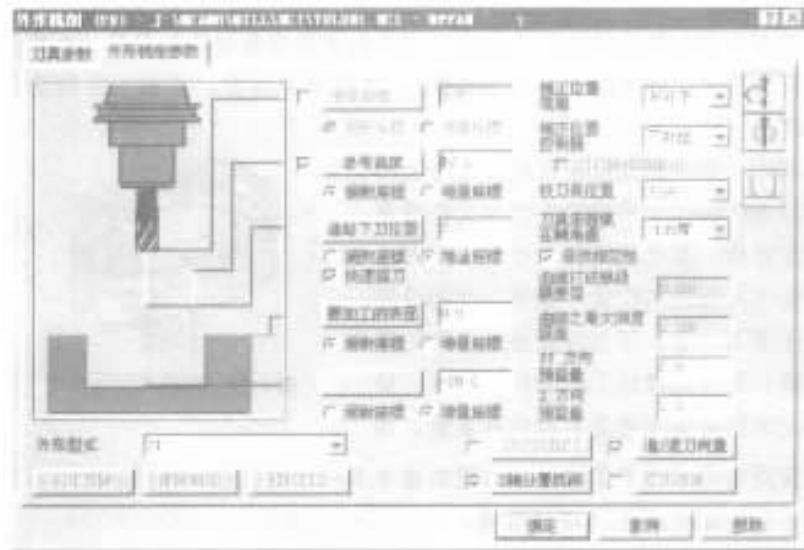


图 2-31 外形铣削参数设置



图 2-32 Z 轴分层铣削设定

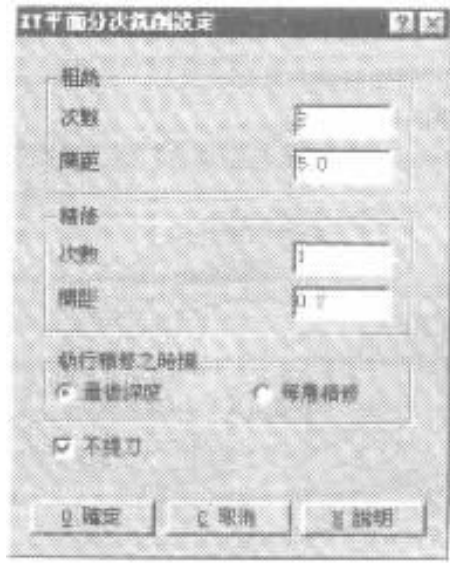


图 2-33 XY 平面分次铣削设定

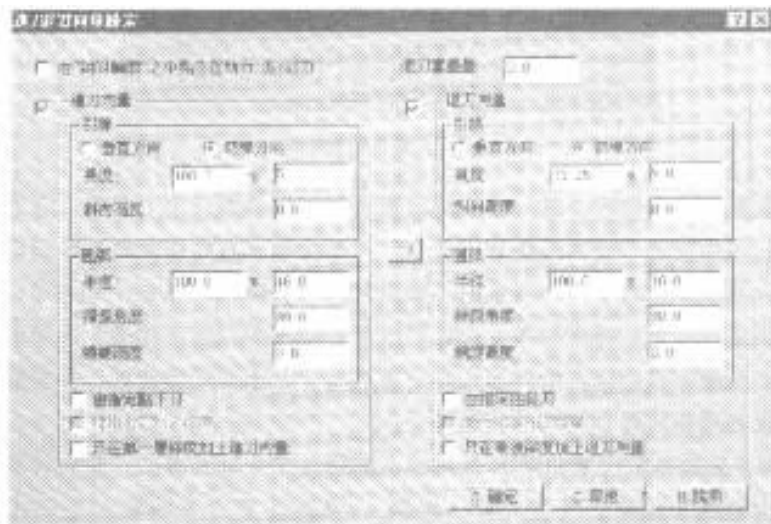


图 2-34 进/退刀向量设定

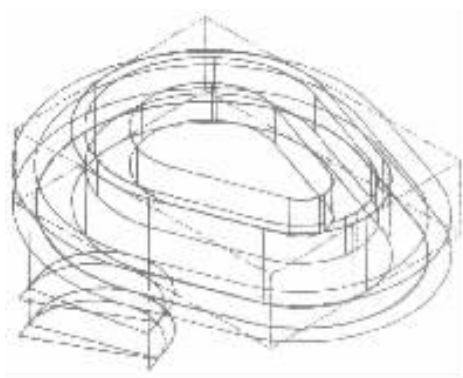


图 2-35 凸轮外形铣削刀具路径

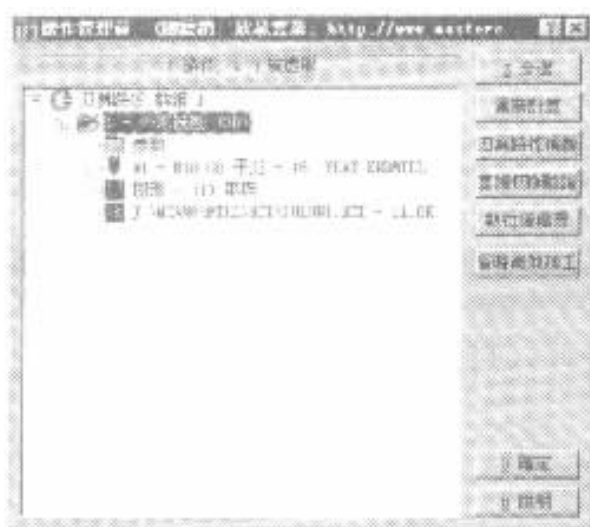


图 2-36 操作管理



图 2-37 后处理对话框

表 2-10

NC 程序修改前后对照

Master CAM 后处理生成的 NC 程序	根据 XH5660 型加工中心修改后的 NC 程序
%	%
O0000	O0000
(PROGRAM NAME - TULUN3)	(PROGRAM NAME - TULUN3)
(DATE = DLMM - YY - 25 - 03 - 03	(DATE = DD - MM - YY - 25 - 03 - 03
TIME = HH :MM - 22 - 02)	TIME = HH :MM - 22 :02)
N100 G21	N100 G21
N102G0 G17 G40 G49 G80 G90	N10 G0 G17 G40 G49 G80 G90
( 16. FLAT ENDMILL TOOL -	( 16. FLAT ENDMILL TOOL
1 DIA.OFF. - 1 LEN. - 1 DIA. - 16. )	- 1 DIA.OFF. - 1 LEN. - 1 DIA. - 16. )
N104 T1 M6	N106 G43 H1 Z10.
N106 G0 G90 G54 X36.485 Y - 55.195 A0.S500M3	N108 G0 G90 G54 X36.485 Y - 55.195 M3
N108 G43 H1 Z10.	N110 Z2.
N110 Z2.	N112 G1Z - 10.F100.
N112 G1Z - 10.F100.	N114 X34.818 Y - 50.481 F200.
N114 X34.818Y - 50.481F200.	N116 G3 X19.33 Y - 39.814 R16.
N116 G3X 19.733Y - 39.814 R16.	...
N262 G1 X4.582 Y - 60.959	N262 G1 X19.733 Y - 39.814 R16.
N262 G1X4.582 Y - 60.959	N264 G0 Z10.
N264 G0 Z10.	N266 M5
N266 M5	N272 M30
N268 G91 G2820.	
N270 G28 X0.Y0.A0.	
N272 M30	
%	

⑦程序传输。在主菜单及子菜单中,依次选择档案—下一页个传输,参数设置如图 2-37、图 2-38 所示。首先操作数控铣床,依次选择编辑方式→I/O 个 READ,使机床处于接受等待状态,然后在计算机端点击传送按钮,选择修改后要传送的 NC 程序的路径和文件名,按确定键,完成程序的传送过程。

### 3)其他二维数控铣削加工

二维数控铣削加工除了外形铣削加工还有面铣削加工、挖槽加工、钻孔加工和全圆加工等几种加工方式。这些加工方式的编程步骤、刀具参数设置、加工材料选择、特性参数设置当中的高度设置、Z 轴分层铣削、XY 平面分次铣削、进/退刀向量的添加等基本与外形铣削相同。不同之处主要在于加工几何模型的选取以及特性参数设置方面,如钻孔加工的几何模型选取,不同于其他加工方式,除了不同的钻孔中心点的选取方法外,还可以设置钻孔中心点的排列方式(共 45 种);在特性参数设置方面,如挖槽可以详细设置粗铣/精修参数等。

### 2.5.3 Master CAM 三维铣削编程方法

Master CAM 的三维铣削编程主要用于曲面加工,用来生成加工曲面、实体或实体表面的



刀具路径。大多数曲面加工都需要粗加工和精加工来完成,而粗加工必须在精加工之前进行。曲面加工提供了平行式、放射状、投影等七种粗加工和平行、陡斜面、放射状等十种精加工方式。

### (1) 曲面加工的共同参数

在 Master CAM 中,不同的加工方式用不同的参数来定义其生成的刀具路径,刀具参数设置对于铣削的所有加工方式都是相同的,曲面参数设置对于曲面加工的不同方式是相同的。曲面参数设置如图 2-39 所示。

①高度设置 高度参数与二维铣削方式中对应参数含义相

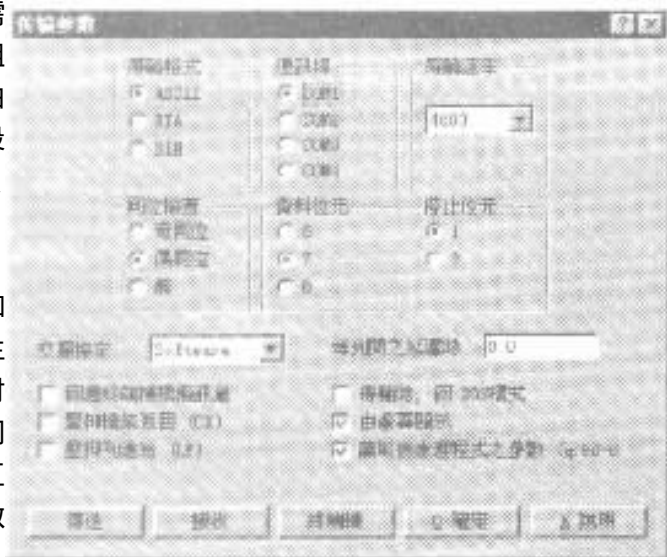


图 2-38 传输参数设置

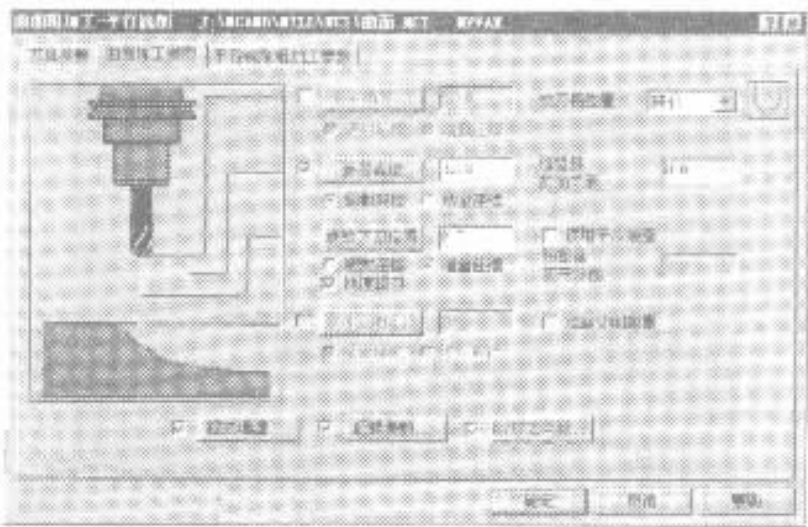


图 2-39 曲面加工参数

同,只是没有最后切削深度参数,该参数是根据曲面的外形自动设置的。

②程序过滤 系统可根据设置的误差值及其他参数删除共线的点和不必要的刀具移动以简化加工的刀具路径来提高加工速度。优化误差,当刀具路径中某点与直线或圆弧的距离小于等于该误差值时,系统将自动删除到该点的刀具移动。优化点数,是指每次过滤时可删除的最多点数。优化类型,在去除刀具路径中的共线点后用直线或用圆弧来调整刀具路径。

③进/退刀向量 如图 2-40 所示,用户可以在刀具路径中添加进刀和退刀刀具路径。

垂直进刀角度,是指刀具路径在 Z 方向的角度;XY 角度,是指刀具路径在水平方向的角度;进刀引线长度,是指进/退刀的刀具路径的长度;相对于刀具,是指设定 XY 角度的方法,当选择刀具平面在 X 轴选项时,XY 角度为与刀具平面 + X 轴的夹角,当选择切削方向选项时,XY 角度为与切削方向的夹角。

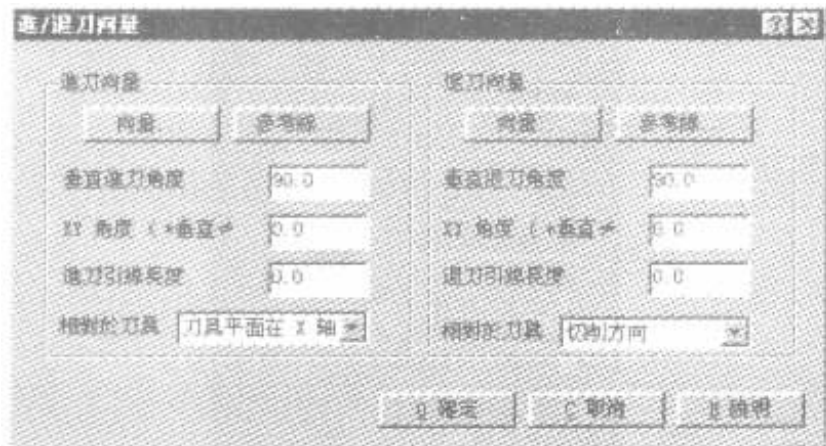


图 2-40 进/退刀对话框

(2)不同曲面加工方式的特有参数

在生成曲面加工刀具路径的过程中,除了要设置共同的刀具参数和曲面参数外,还要设置不同的曲面加工方式所特有的参数,下面通过举例说明其中几个特有参数的设置。

如图 2-41 所示,利用平行式粗加工方式对曲面进行粗加工。

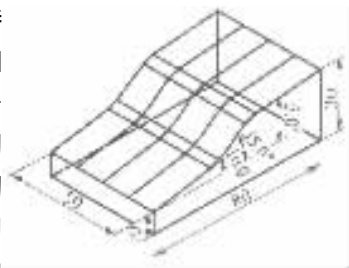


图 2-41 直纹曲面

平行式粗加工可用于生成平行的切削粗加工刀具路径,特有参数如图 2-43 所示。其中切削方向误差值设置得越小,加工得到的曲面越接近工件曲面,对于粗加工,可以设置得大一些,最大切削间距用来设置同一层中相邻切削路径的最大进刀量,最大 Z 轴进给量用来设置每层的最大 Z 轴方向的距离,切削方式可以选择单向或双向切削,加工角度是指刀具路径与刀具面 X 轴的夹角;Z 方向之控制,可以选择刀具沿曲面连续地下刀和退刀、只在曲面的单侧下刀和退刀、在曲面的双侧下刀和退刀三者其一。

间隙设定,如图 2-42 所示,用来设置刀具在不同间隙时是否抬刀。其中,间隙的大小可以直接输入,也可以取自最大切削间距的百分比。在选定的移动方向上当移动量小于设定的间隙时,不抬刀,否则就抬刀。在该对话框中还可以设置采用圆弧切入切出的半径以及圆弧的角度。

以上参数设置完成后,如图 2-43 所示,按确定按钮,刀具路径如图 2-44 所示。

如图 2-45 所示,利用等高线粗加工方式加工昆氏曲面。

等高线粗加工方式可以沿曲面外形生成粗加工刀具路径。其特有参数如图 2-46 所示。特有参数包括封闭外形铣削方式、开放外形铣削方式等参数的设置。当刀具的移动量小于允许间隙时,可以在间隙选项中选择不同的刀具移动方式。生成的刀具路径如图 2-47 所示。



图 2-42 间隙设定对话框

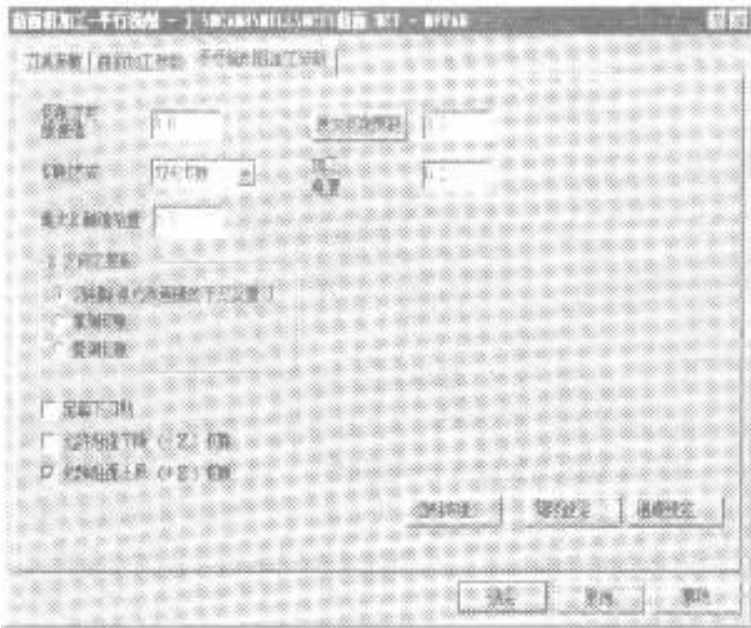


图 2-43 平行式粗加工特有参数

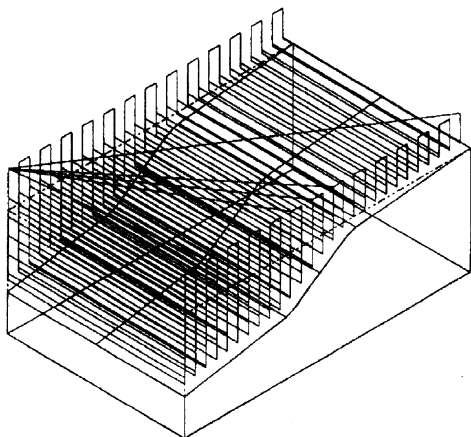


图 2-44 平行式粗加工刀具路径

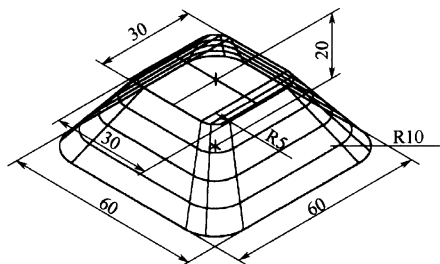


图 2-45 昆氏曲面

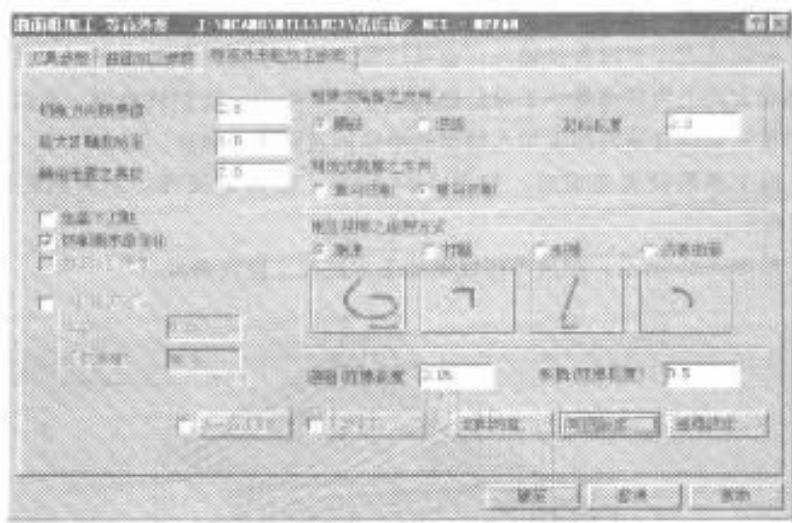


图 2-46 等高外形粗加工特有参数

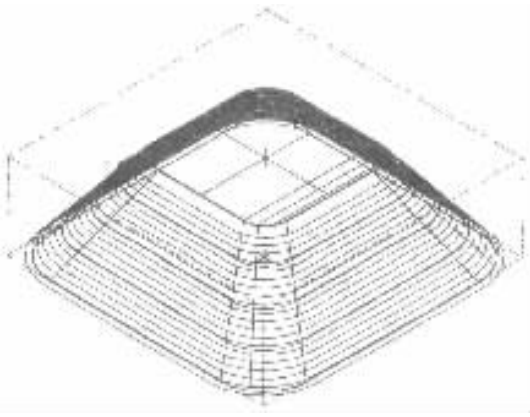


图 2-47 等高外形粗加工刀具路径

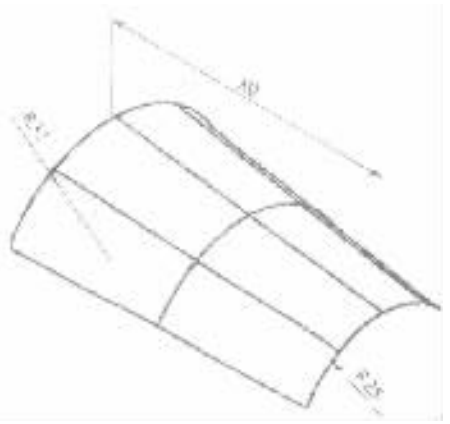


图 2-48 流线曲面

如图 2-48 所示 利用流线精加工方式加工扫描曲面。

该曲面加工方式可以沿曲面流线方向生成精加工刀具路径。特有参数如图 2-49 所示。主要包括切削方向之误差和截断方向的距离设定。设定完成后,在主菜单区还可以对流线方向、刀具修正方向、起始位置等进行设置,如图 2-50 所示。用鼠标点击执行选项,经过一段时间运算后,即可生成刀具路径,不同流线方向的刀具路径如图 2-51、图 2-52 所示。

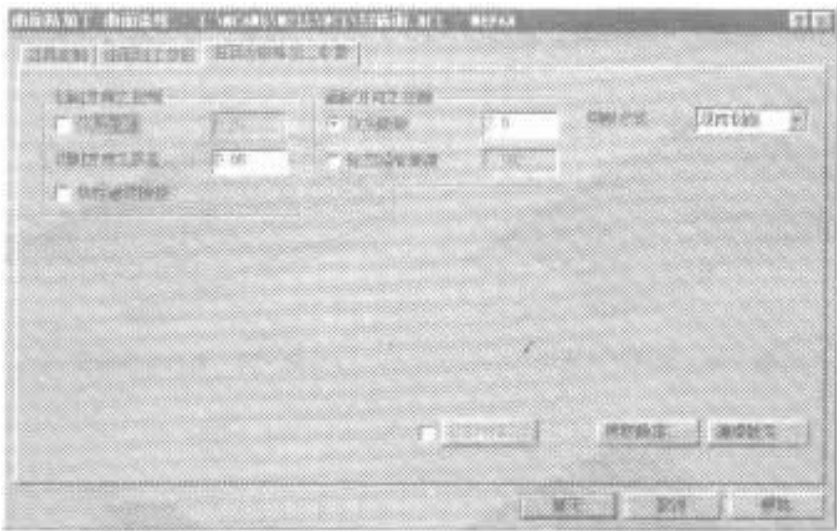


图 2-49 流线加工参数

如图 2-53 所示 利用投影精加工方法 刻写“北方工业大学”六个隶书字体。

①在图 2-53 所示曲面上方绘制“北方工业大学”六个隶书字体。依次选择绘图(Create)→下一页(Nextmenu)个文字(Letters)→真实字体(True(R))选择隶书,输入文字“北方工业大学”,字高 25mm,选择垂直(Vertical)放置,字间隔 3mm,放置位置(-12.5,58),如图 2-54 所示。



②依次选择主菜单( MAIN MENU )→刀具路径( Toolpaths )→曲面加工( Surface )→精加工( Finish )→投影加工( Project ),用鼠标选取曲面 ,点击确定( Done )选项。

③在刀具路径选项卡中 ,选用直径为 1mm 的球头刀。

④投影精加工参数的设置见图 2-55。

⑤用窗选( Window )选取方式 ,选取投影加工的文字 ,并给出下刀位置(—12.5 58) ,点击确定选项。刀具路径见图 2-56。

在投影精加工中 ,可用于投影的对象包括 :已有的一组曲线、文字( Curves )、已有的一组点( Points )和已有的刀具路径( NCI )。用户可以在投影精加工参数( Finish Project Parameter )选项组中 ,选择其中的一种。若选用 NCI 文件进行投影 ,首先通过轮廓加工方式 ,生成轮廓加工刀具路径( 注意刀补方向 ) ,利用 Post 功能 ,保存 NCI 文件 ,再进行投影加工操作。

图 2-50  
方向设置

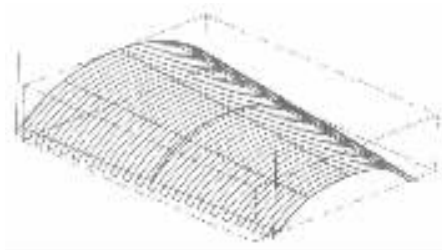


图 2-51 径向刀具路径

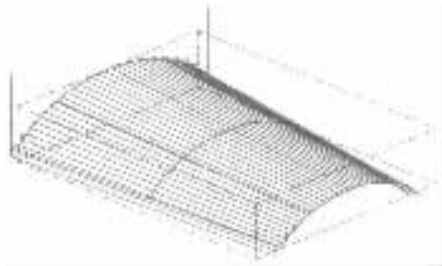


图 2-52 轴向刀具路径

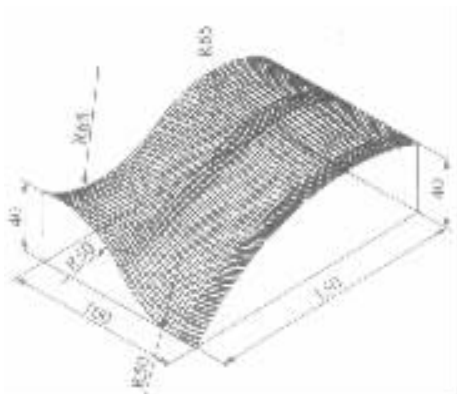


图 2-53 投影精加工

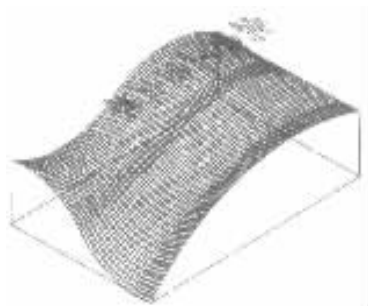


图 2-54 投影精加工

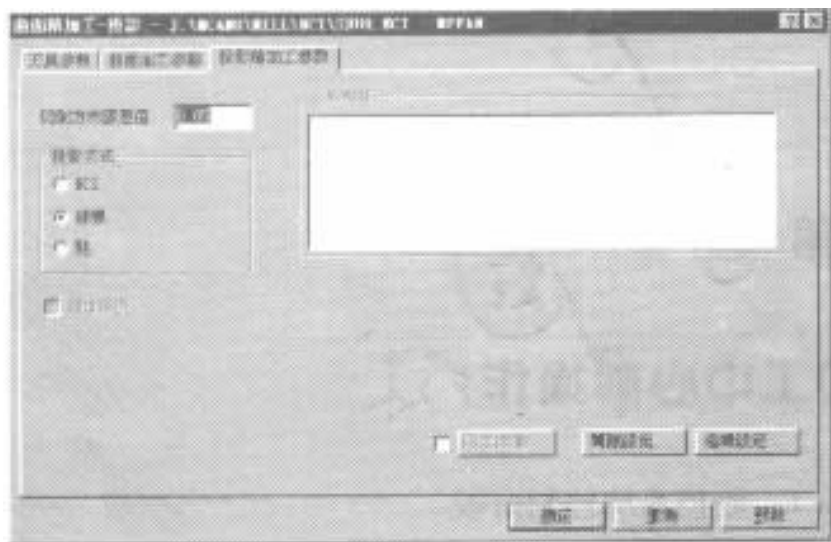


图 2-55 投影精加工参数

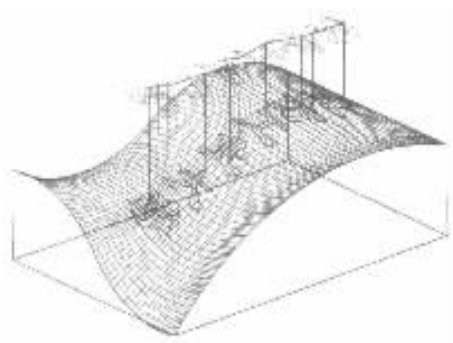


图 2-56 投影精加工刀具路径

# 第三章 数控加工中心安全操作技术

## 1 数控系统控制面板

数控系统的控制面板是操作人员控制、操作数控机床的最主要介质。数控系统控制面板一般由 MDI 面板(Manual data - input)和机床操作面板(Operator Panel)两部分组成。

MDI 面板由键盘和显示器面板组成,主要用于手工程序的输入、编辑等功能;机床操作面板主要用于手动方式下对机床的操作以及自动方式下对机床的控制。各种数控系统的控制面板是不相同的,但大多数是有共性的或是相近的。本节介绍三种目前最常用的控制面板: FANUC 系统操作面板、SIEMENS 系统操作面板和 FAGOR 系统操作面板。

### 1.1 FANUC 系统操作面板及功能

#### (1) 键盘布局

图 3-1 所示为 FANUC 系统的操作面板,各组成部分如图中所列。各键具体说明见表 3-1。

#### (2) 控制面板

机床控制面板如图 3-2 所示,各部分功能见表 3-2。

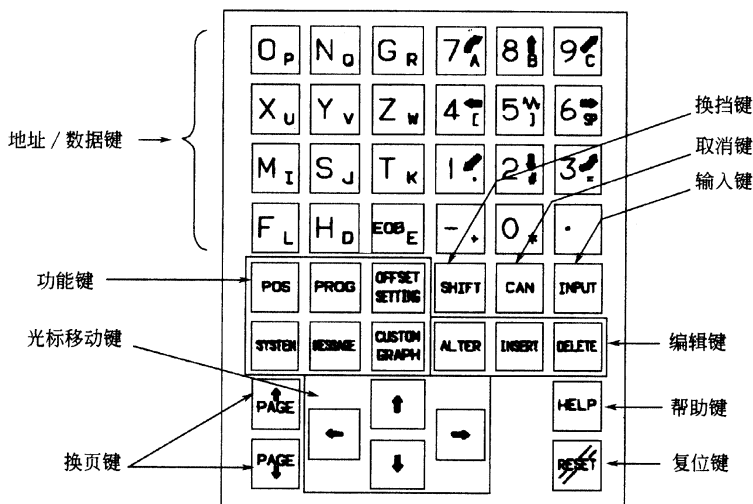


图 3-1 FANUC 系统操作面板及各部分名称



### 第三章 数控加工中心安全操作技术

表 3-1

FANUC 系统操作面板各键具体说明

编号	名称	详细说明
1	复位键	按下这些键可以使 CNC 复位或者取消报警等
2	帮助键	当对 MDI 键的操作不明白时,按下这个键可以获得帮助
3	软键	软键具有不同的功能。软键功能显示在屏幕的底端
4	地址和数据键	按下这些键可以输入字母、数字或者其他字符
5	换挡键	在该键盘上,有些键具有两个功能。按下 SHIFT 键可以在这两个功能之间进行切换。当一个键右下脚的字母可被输入时,就会在屏幕上显示一个特殊的字符 e
6	输入键	当按下一个字母键或者数字键时,再按该键则把数据输入到缓存区,并且显示在屏幕上
7	取消键	按下这个键删除最后一个输入缓存区的字符
8	程序编辑键	当按下这些键时,进行程序编辑
9	功能键	按下这些键,切换不同功能的显示屏幕
10	光标移动键	按下这些键,可以使光标上、下、左、右移动
11	换页键	换页键用于对屏幕显示的页面进行前后翻页

#### 1.2 FAGOR 系统操作面板及功能

##### (1) 键盘布局

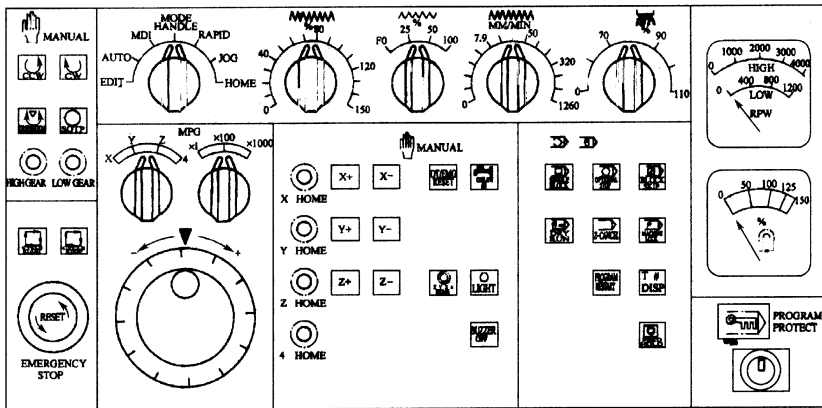


图 3-2 机床控制面板

表 3-2

控制面板功能

序号	名称	功能
1	CYCLE START 启动键	选择执行程序然后按本键,启动自动操作。亮灯表示自动操作中
2	FEED HOLD	在自动操作中按本键时,刀具减速而后停止
3	MOLD SELECT 模式选择	依操作种类选择模式
4	RAPID TRAVERSE 快速进给	按本键,刀具快速进给

序号	名称	功能
5	JOG&STEP FEED 手动或阶段进给	按本键 执行连续手动或阶段进给
6	HANDLE 手轮	回转手轮 刀具向对应方向移动
7	SINGLE BLOCK 单击	将单击开关置 ON 用单击执行自动操作
8	OPTIONAL BLOCK SKIP 选择性单击跳越	将本开关置 ON 执行选择性单击跳越
9	DRY RUN 程序预演	将本开关置 ON 执行程序预演
10	REFERENCE POINT RETURN 原点复归	将本开关置 ON 执行原点复归
11	RAPID TRAVERSE OVERRIDE 快速进给率调整	当执行快速进给率调整时 本键选择进给率调整量
12	STEP FEED AMOUNT 阶段进给量	本键选择阶段进给时每一阶段的进给量
13	EMERGENCY STOP 紧急停止	按本键 机械紧急停止
14	LOCK SELECTION 锁定选择	选择画面或机械锁定
15	MANUAL ABSOLUTE 手动绝对	在自动操作中介入手动操作时 本键选择手动操作的移动量是否进入绝对记忆中
16	FEED RATE OVERRIDE 进给率调整	对自动或手动操作选择进给率调整量
17	JOG FEED RATE 手动进给率	选择手动连续进给率
18	HANDLE AXIS SELECTION 手动轴选择	选择手动移动轴
19	HANDLE MULTIPLYING SELECTION 手动倍率选择	手动进给 选择每格移动量的倍率

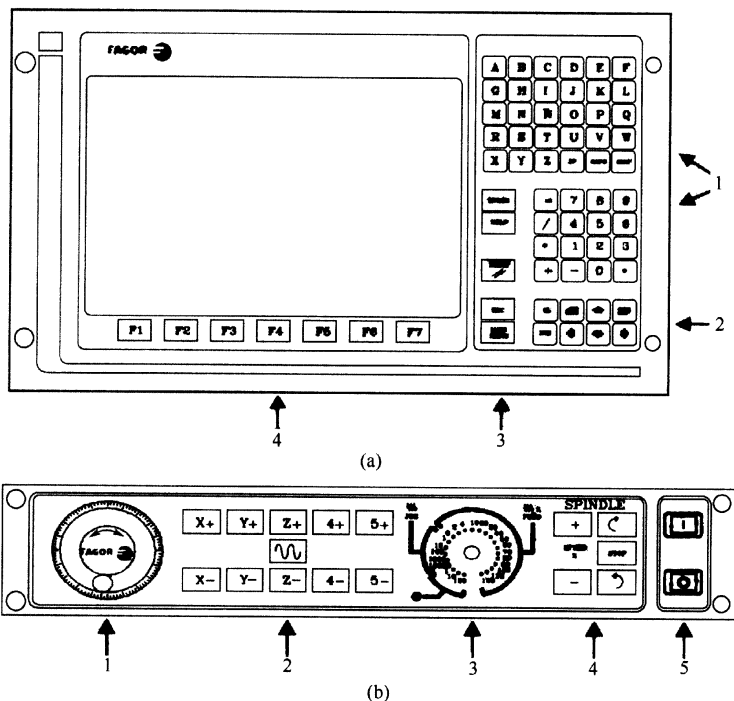


图 3-3 FAGOR 系统操作面板及功能

①字母、数字键盘 用于输入数据 选择轴、刀具偏移等；

②移动屏幕显示的信息 在屏幕上移动光标的键 ,主要包括上、下、左、右、CL 和 INS 键。

**CL** :用于删除光标所定位的字母或光标所在的行。

**INS** :用于选择插入或子程序模式。

③工具键 该组键主要包括以下几个。

**ENTER** :用于确认在编辑窗口生成的 CNC 和 PLC 命令。

**HELP** :允许在任何操作模式访问帮助系统。

**RESET** :通过机床参数的定义值 ,初始化执行中的程序。

**ESC** :返回上一操作模式。

**MAIN MENU** :访问 CNC 主菜单。

**SHIFT RESET** :该键的作用是将 CNC 关闭后再打开 ,用于修改机床参数后使其有效。

**SHIFT CL** :按该键 CRT 上的显示消失 ,按任何其他键将恢复正常 ,如果在屏幕关闭时 ,产生错误或接受到来自 PLC 或 CNC 的信息 ,屏幕将恢复正常状态。

④功能键 用于选择各种不同的操作模式。启动 CNC ,按 MAIN MANU 键后 ,CNC 的主菜单将显示下列可选项。

**EXECUTE( 执行 )** :以自动或单段方式执行零件程序。

**SIMULATE( 模拟 )** :以几种方式模拟零件程序。

**EDIT( 编辑 )** :编辑新程序或已存在的零件程序。

**JOG( 手动 )** :通过控制面板上的手动按钮控制机床。

**TABLES( 表 )** :设置与零件程序相关的 CNC 数据表( 零偏、刀偏和刀具库等参数 )。

**UTILITIES( 工具 )** :对程序进行操作( 拷贝、删除、重新命名等 )。

**STATUS( 状态 )** :显示 CNC 状态及 DNC 通信线的状态。

**DNC** :激活或关闭 DNC 与 PC 机的通信。

**PLC** :用 PLC 进行操作( 编辑程序、改变变量的状态、访问当前信息等 )。

**GRAPHIC EDITOR( 图形编辑器 )** :通过简单的图形编辑 ,生成用户自定义的屏幕。

**MACHINE PARAMETERS( 机床参数 )** :设置机床参数。

**DIAGNOSIS( 诊断 )** :对 CNC 进行诊断测试。

## (2) 操作面板

图 3-3(b)所示为 FAGOR 8055M 的操作面板 ,其各部分的功能如下。

①手摇脉冲发生器( 手轮 ) 手轮可以实现各坐标轴的进给。

②手动移动轴的键盘

③功能选择按钮

a. 从电子手轮选择脉冲数的乘数因子 1 ,10 或 100。

b. 选择在 JOG 模式下移动轴的增量值。

c. 在 0 ~ 120% 之间修改编程的进给率。

④用于控制主轴的键盘 可以使主轴按希望的方向旋转、停止或借助于机床参数建立的增量步长改变主轴转速。

⑤循环启动、循环停止按钮 用于自动运行时程序的运行和停止。

在 CNC 执行或模拟零件程序的同时,可以不停止程序的执行而进行其他的操作模式,这样一来,可以在执行或模拟一个程序的同时,编辑另一个程序,但不能对正在执行或模拟的程序进行编辑,也不能同时执行或模拟 2 个程序。

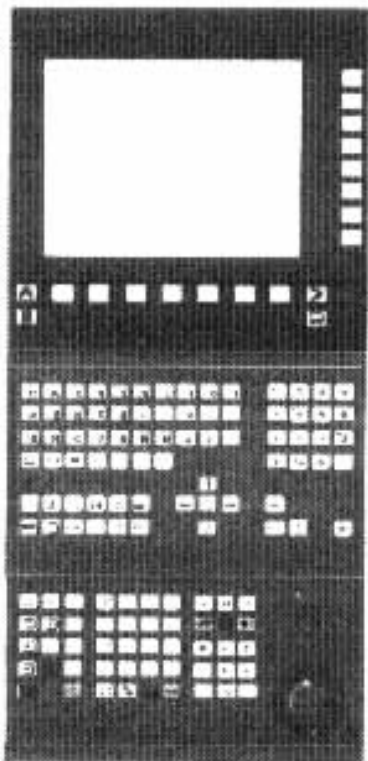


图 3-4 SIEMENS 840D 数控系统操作界面

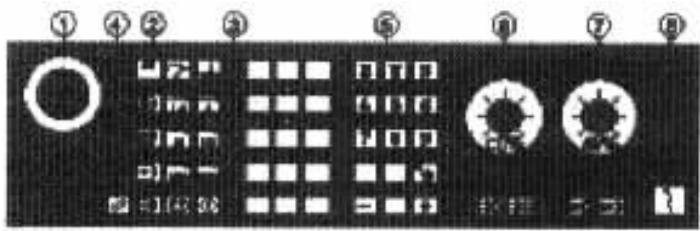


图 3-5 SIEMENS 机床控制面板

- 1—急停按钮 2—操作方式选择开关 3—JOG/增量键 4—程序控制;
- 5—坐标轴移动键 6—主轴控制 7—进给倍率控制 8—开关

### 1.3 SIEMENS 系统操作面板

#### (1) 键盘布局

SIEMENS 840D 数控系统的操作界面如图 5—4 所示。

#### (2) 控制面板

在 SIEMENS 公司的数控系统中,机床控制面板与所控制的机床类型有关,不同类型的数控系统,其机床控制面板略有不同,但大部分是相同或相似的。图 3-5 是较通用的控制面板。

## 2 加工中心手动操作

本节以 FANUC 系统为例介绍手动操作。如果是实际操作机床,则一定要根据机床制造厂商提供的说明书,按照其中所述步骤进行操作。

#### (1) 电源通/断

检查加工中心的外观是否正常(比如,检查前门和后门是否关好)。按照机床制造厂商说明书中所述的步骤通电。通电后,检查位置屏幕是否显示,风扇电机是否旋转。如果通电后出现报警,就会显示报警信息,可能是出现了系统错误,应及时对其作出处理。

关闭电源时,检查操作面板上表示循环启动的 LED 是否关闭。检查加工中心的移动部件是否都已经停止。如果有外部的输入/输出设备连接到机床上,应先关掉外部输入/输出设备的电源。持续按下 POWER OFF 按钮大约 5s。

#### (2) 机床回参考点

机床上电后,首先应回参考点。如图 3-6 所示。

回参考点的操作步骤如下。

①选择开关的参考点返回开关。

②为降低移动速度,按下快速移动倍率选择开关,当刀具已经回到参考点后,参考点返回完毕指示灯亮。

③按下轴和方向的选择开关,选择要返回参考点的轴和方向。持续按下这一开关直到刀具返回到参考点。如果在相应的参数中进行设置,刀具也可以沿着三个轴同时返回参考点。刀具以快速移动速度移动到减速点,然后以参数中设置的 FL 速度移动到参考点。如果有必要,执行其他轴的参考点返回操作。图 3-7 所示为机床回参考点过程。

机床返回参考点,对于每个轴来说,无论它们处在任何位置,只要 POWER 键打开都能执行,但是当它们距离原点(机床原点)非常近( $< 100\text{mm}$ )时,要先让各轴远离机床原点( $> 100\text{mm}$ ),然后再回机床原点。在以下模式中不能执行原点复归:存储、磁带、MDI(手动输入)。

#### (3) 手动连续进给

在 JOG 方式中,持续按下操作面板上的进给轴及其方向选择开关,会使刀具沿着所选轴的选择方向连续移动。JOG 进给速度可以通过倍率旋钮进行调整。按下快速移动开关会

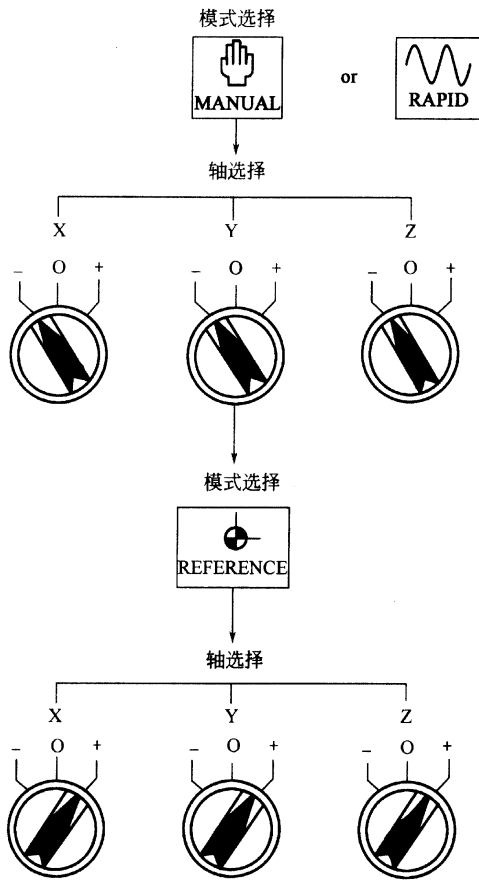


图 3-6 回参考点操作步骤

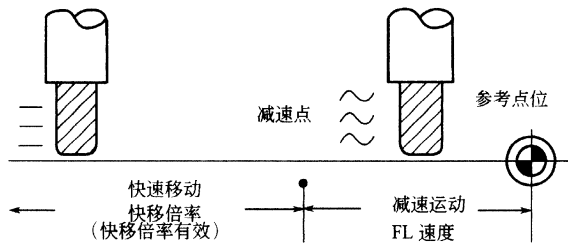


图 3-7 机床回参考点过程

使刀具以快速移动速度移动,而不管 JOG 倍率旋钮的位置。该功能叫作手动快速移动。手动操作一次只能移动一个轴。操作步骤如下。

①按下方式选择开关的手动连续(JOG)选择开关。

②通过进给轴和方向选择开关,选择刀具将要移动的轴及其方向。按下该开关时,刀具以参数指定的速度移动。释放开关,移动停止。

③JOG 进给速度可以通过 JOG 进给速度的倍率旋钮进行调整。按下进给轴和方向选择开关的同时,按下快速移动开关,刀具会以快移速度移动。在快速移动过程中,快速移动倍

率开关有效。

#### (4) 手动增量进给

手动增量进给( INC )如图 3-8 所示,按下机床操作面板上的进给轴及其方向选择开关会使刀具沿着所选轴的所选方向移动一步。刀具移动的最小距离是最小的输入增量。每一步可以是最小输入增量的 1、10、100 或者 1000 倍。这种方式在没有连接手摇脉冲发生器时有效。

操作步骤如下。

- ① 按下方式选择的 INC 开关。
- ② 通过倍率旋钮选择每一步将要移动的距离。
- ③ 按下进给轴和方向选择开关,选择将要移动的方向。每按下一次开关,刀具移动一步。进给速度与 JOG 的进给速度一样。

④ 按下进给轴和方向选择开关的同时按下快速移动开关,可以以快速移动速度移动刀具。在快速移动过程中的移动倍率开关指定的倍率有效。

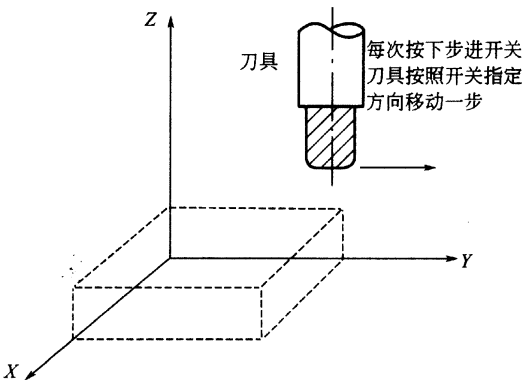


图 3-8 手动增量进给

#### (5) 手轮进给

手轮进给方式如图 3-9 所示,刀具可以通过旋转机床操作面板上的手摇脉冲发生器微量移动。使用手轮进给轴选择开关选择要移动的轴。手摇脉冲发生器旋转一个刻度时刀具移动的最小距离与最小输入增量相等。手摇脉冲发生器旋转一个刻度时刀具移动的距离可以放大 10 倍或者由参数指定的倍数。

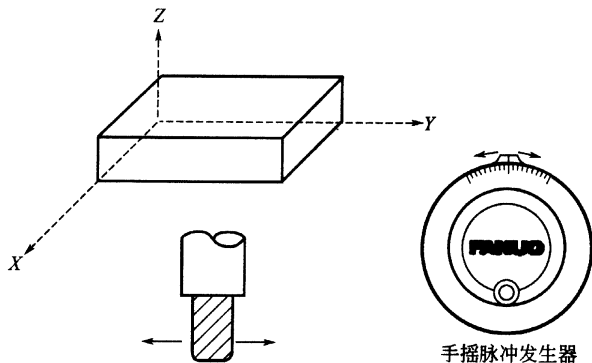


图 3-9 手轮进给移动刀具

操作步骤如下。

- ① 按下方式选择按钮的手轮方式选择开关。
- ② 按下手轮进给轴选择开关选择刀具要移动的轴。
- ③ 通过手轮进给放大倍数开关选择刀具移动距离的放大倍数。旋转手摇脉冲发生器一个刻度时刀具移动的最小距离等于最小输入增量(倍数为 1 时)。

④ 旋转手轮以手轮转向对应的方向移动刀具,手轮旋转 360°时刀具移动的距离相当于 100 个刻度的对应值。

#### (6) 设置数据和屏幕显示

可以通过操作面板对系统内存的数值进行显示或修改。

- ① 刀具偏置设置(如图 3-10 所示)

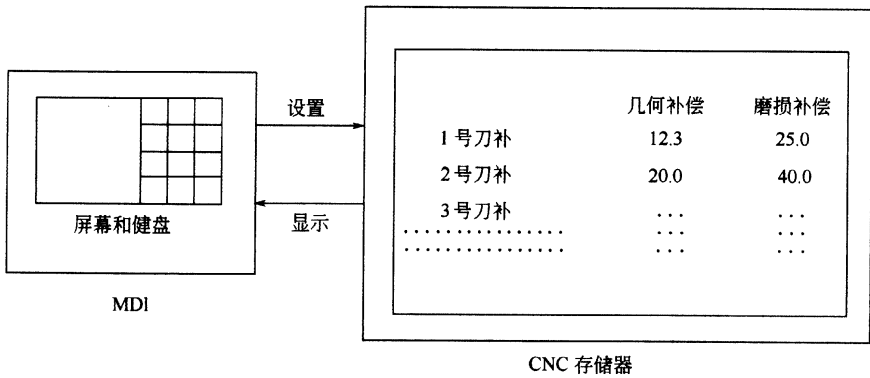


图 3-10 偏置值的显示和设置

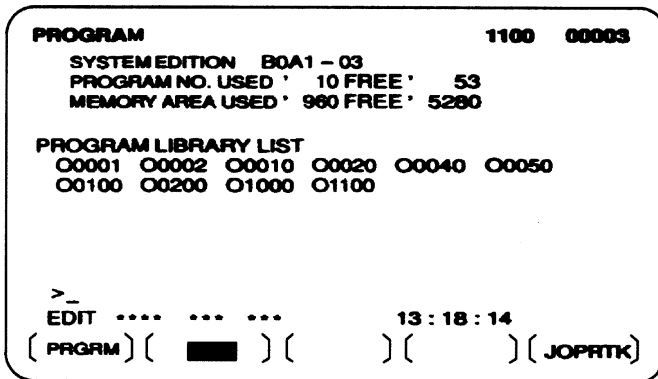
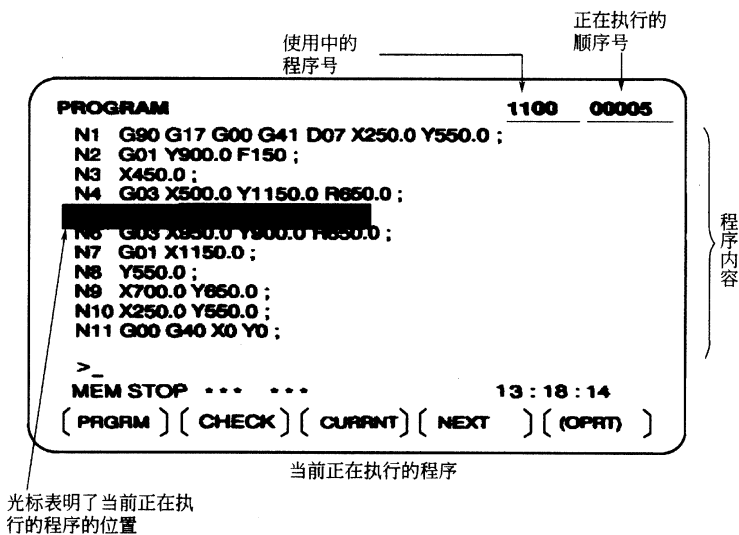


图 3-11 显示当前执行的程序内容

当加工工件时,刀具运动值与刀具尺寸(长度和直径)有关。在加工之前设置刀具的尺寸值,就会自动产生刀具路径,这样就可以使用任何刀具,加工程序指定的工件,刀具的尺寸



值被称为偏置量,在加工之前,应将刀具尺寸输入到系统中。

操作步骤如下。

- a. 用软键选择刀具偏置表。
- b. 根据刀库中的刀号输入刀具尺寸。

②程序显示

a. 显示当前执行的程序内容,如图 3-11 所示。屏幕可以显示当前程序内容,另外,也可以显示下一个计划的程序和程序表。

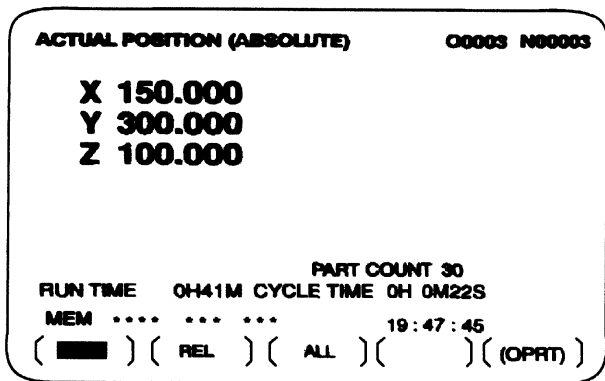
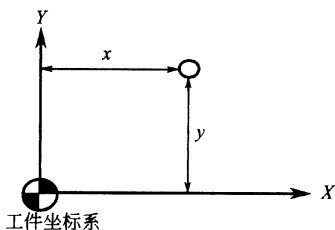


图 3-12 当前位置显示

b. 当前位置显示(如图 3-12 所示):刀具的当前位置可以以坐标值的形式显示出来,也可以显示从当前位置到目标位置的距离。

c. 报警显示如图 3-13 所示。

当操作过程中发生故障时,就会在屏幕上显示出错代码和报警信息。

d. 图形显示如图 3-14 所示。

编程的刀具运动轨迹可以在屏幕上显示出来,也可以单独显示某一坐标平面的图形。

(7)从键盘输入程序

手动输入 CNC 程序,重点应了解功能键的作用,FANUC 系统键盘使用的是复合键,有些键具有两个以上功能,按下 SHIFT 键,可以在两个功能之间进行切换。表 3-3 给出主要功能键的作用。

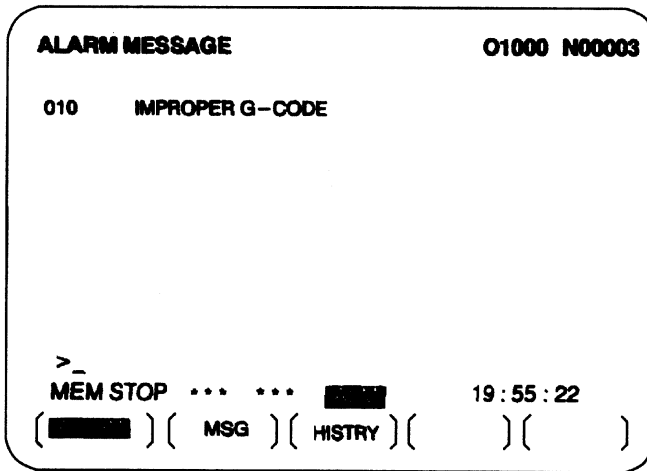


图 3-13 报警显示

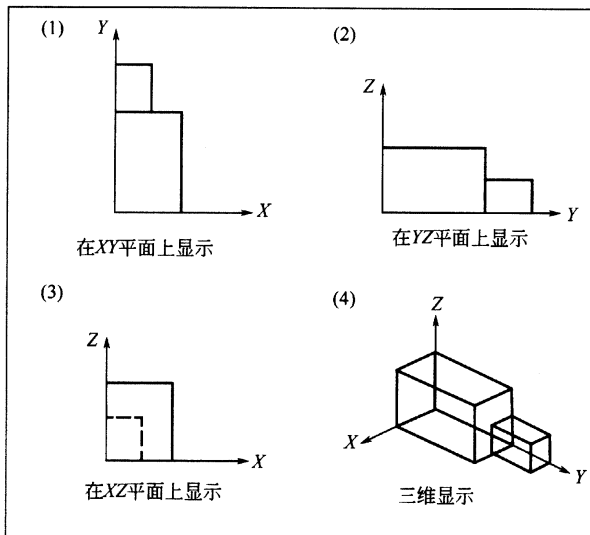


图 3-14 图形显示

表 3-3

FANUC 系统面板控制键功能

序号	名称	功能
1	RESET 重新设定键	按本键重新设定 CNC 状态及取消警示等
2	START 启动键	按本键启动 MDI 指令或启动自动操作
3	位址及数字键	按这些键输入文字、数字及其他符号
4	INPUT 输入键	当按位置键或数字键时,文字或数字一旦键入缓冲记忆,会显示在 CRT 画面。按 INPUT 键,将资料设定输入补正记忆。本键与软键的 INPUT 键相同,所以按任何哪一个结果都相同
5	光标移动键	本键用于光标向前或向后移动一小段距离
6	PAGE 键	本键用于 CRT 画面向前或向后转换
7	POS 键	现在位置表示

序号	名称	功能
8	PRGRM 键	在 EDIT 编辑模式 : 在内存中编辑及显示程序。MDI 模式 : 输入及显示 MDI 资料。自动操作模式 : 显示指令值
9	DGNOS 键	参数设定及显示和自我诊断资料显示
10	OPRALARM 键	警示号码显示及设定
11	AUXGRAPH 键	画面功能
12	软体键	软体键依用途有各种功能 , 软体键的功能显示在 CRT 画面底部。左端的键用于使各功能回到最初状态。右端软体键用于目前尚未显示的操作功能

(8) 主轴运转手动操作

在手动操作模式(含 HANDLE、RAPID、JOG、HODE)中,可由下列四个按键控制主轴运转。当主轴运转时如将模式改为自动模式(AUTO/MDI)则主轴立刻停转。操作面板如图 1-15 所示。

①主轴正转键(CW) 手动模式时按此键,主轴会以上一次转动的转速沿顺时针方向转动,正转时键内的灯会亮。

②主轴反转键(CCW) 手动模式时按此键,主轴会以上一次转动的转速沿逆时针方向转动,反转时按键内的灯会亮。

③主轴停止按键(STOP) 手动模式时按此键,主轴会停止转动,任何时候只要主轴没有转动,键内的灯都会亮,表示主轴处在停止的状态。

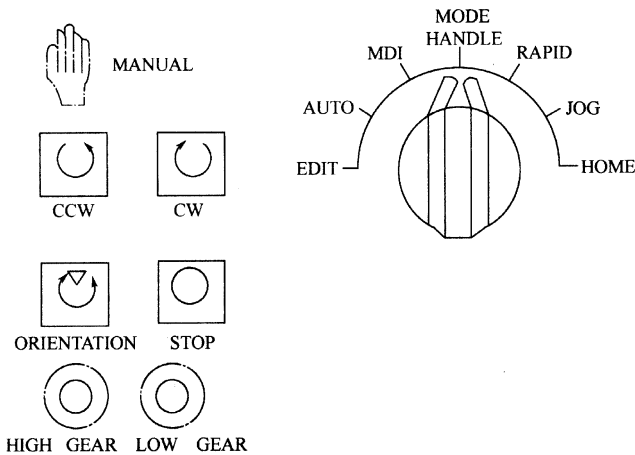


图 3-15 主轴运动手动操作面板

④主轴定位键(ORIENTATION) 手动模式时按此键,主轴做定位动作,当主轴定位后按键内的灯会亮。

(9) MDI 操作

MDI(Manual Data Input)手动数据输入。该功能允许手动输入一个命令或程序段指令,并像自动加工那样,立刻启动运行。使用该功能可改变当前指令模式,也可实现指令动作。

例如:

- 输入“ G55 ”可使当前坐标系变为 G55 ；
- 输入“ M08 ”可放出切削液 ；
- 输入“ S1000 M03 ”可启动主轴转动 ；
- 输入“ G00 X200 Y100 ”可使 X、Y 轴快速进给 ；

### 3 加工中心自动运行

加工中心自动运行是指用程序运行加工中心。

#### (1) 存储器运行

将程序存储到存储器中 , 选择程序中的一个 , 并按下机床操作面板上的循环启动按钮后 , 启动自动运行 , 并且循环启动 LED 点亮。

在自动运行中 , 机床操作面板上的进给暂停按钮被按下后 , 自动运行被临时中止。当再次按下循环启动按钮后 , 自动运行又重新进行。当按下 RESET 键后 , 自动运行被终止 , 并且进入复位状态。

存储器运行的操作步骤如下。

- ①按下存储器方式选择键。
- ②从存储的程序中选择一个程序。其步骤如下。
  - a. 按下 PROG 键 , 显示程序屏幕。
  - b. 按下地址键。
  - c. 使用数字键输入程序号。
  - d. 按下 OSRH 软键。

③按下操作面板上的循环启动按钮 , 启动自动运行 , 并且循环启动 LED 闪亮。当自动运行结束时 , 指示灯熄灭。要在中途停止或者取消存储器运行 , 只需按下机床操作面板上的进给暂停按钮 , 此时进给暂停指示灯( LED )亮 , 并且循环启动指示灯熄灭。机床响应如下。

- a. 当机床移动时 , 进给减速直到停止。
- b. 当程序在换刀状态时 , 换刀完毕后状态中止。
- c. 当执行 M S 或 T 时 , 执行完毕后运行停止。当进给暂停指示灯亮时 , 按下机床操作面板上的循环启动按钮 , 会重新启动机床的自动运行。

④终止存储器运行。按下 RESET 键 , 自动运行被终止 , 并进入复位状态。当在机床移动过程中执行复位操作时 , 机床会减速直到停止。

#### (2) 空运行

刀具按参数指定的速度移动 , 而与程序中指令的进给速度无关。该功能用来在机床不装工件时检查刀具沿程序的运动轨迹。空运行如图 3 - 16 所示。

在自动运行期间 , 按下机床操作面板上的空运行开关 , 刀具按参数中指定的速度移动 , 快速移动开关也可以用来更改机床的移动速度。

#### (3) 单段运行

单程序段方式如图 3-17 所示,按下单段运行开关进入单程序段工作方式。在单程序段方式中按下循环启动按钮后,刀具在执行完程序中一段程序后停止。通过单段方式一段一段地执行程序,仔细检查程序。

①按下机床操作面板上的单段程序执行开关,程序在执行完当前段后停止。

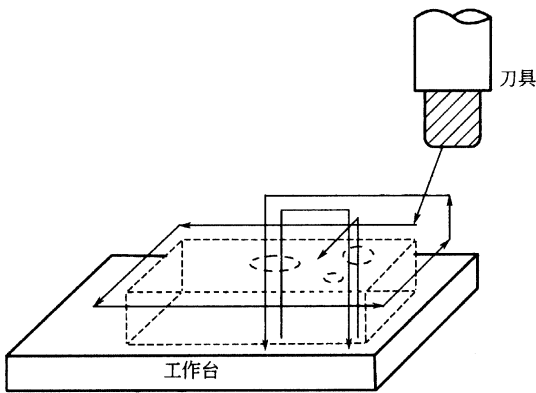


图 3-16 空运行刀具轨迹

②按下循环启动按钮执行下一段程序,刀具在该段程序执行完毕后停止。

(4) 辅助功能锁住运行

要想不移动刀具而检查程序,可使用机床的锁住功能运行程序。有两种类型的机床锁住:所有轴的锁住(停止沿所有轴的运动)和指定轴的机床锁住(这种锁住仅停止沿指定轴的运动)。另外,辅助功能的锁住,禁止执行 M、S 和 T 指令,可和机床锁住功能一起使用以检查程序是否编制正确。机床锁住如图 3-18 所示。

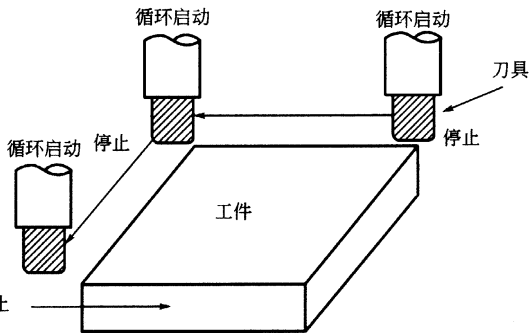


图 3-17 单程序段方式

按下机床操作面板上的机床锁住开关,刀具不再移动,但是显示器上沿每一轴运动的位移在变化,就像刀具在运动一样。有些机床的每个轴都有机床锁住功能,在这种机床上,按下机床锁住开关,选择将要锁住的轴,按下机床操作面板上的辅助功能锁住开关,M、T 和 B 代码被禁止输出并且不能执行。

注意:机床坐标系和工件坐标系之间的位置关系在机床锁住前后有可能不一样,在这种情况下,用坐标设置指令或者执行手动参考点返回来指定工件坐标系。

(5) DNC 运行

通过 DNC 运行方式(如图 3-19 所示),可以实现微机或其他外部设备与加工中心的通信,即可以将程序传输到机床内存中,也可以直接由微机控制加工中心的运行。

通过在 DNC 运行方式中激活自动运行(RMT),通过数据接口读入外设上的程序的同时

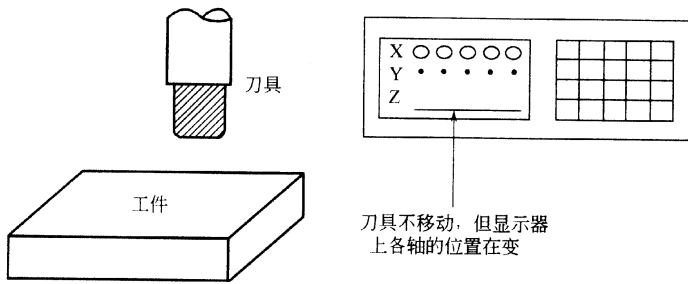


图 3-18 机床锁住

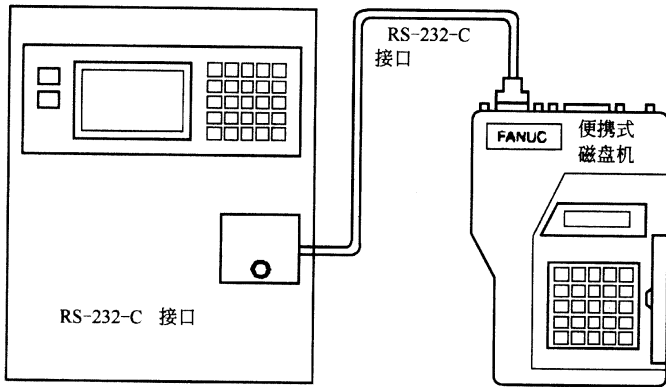


图 3-19 DNC 运行方式

进行加工(DNC 运行),可以选择在外部输入输出设备中存储的文件(程序),并指定自动运行的顺序及重复次数。使用 DNC 功能的操作步骤如下。

- ①预先设置通信接口的参数。
- ②选择将要执行的程序(文件)。
- ③将机床操作面板上的 REMOTE 开关设置为 RMT 方式,然后按下循环启动按钮,所选择的文件将被执行。

## 4 加工中心刀具参数设置与自动换刀

### (1) 刀具参数设置

#### ① 主轴刀号输入

- a. 在 MDI 模式下输入 M95 Tr( Tn :T1 ~ T24 );
- b. 按一下 CYCLE START 键,画面 M95 Tn 消失;
- c. 按下 T# DISPLAY 键检查输入是否正确。

#### ② 换刀臂刀号输入

- a. 在 MDI 模式下输入 M94 Tr( Tn :T1 ~ T24 );

- b. 按一下 CYCLE START 键 ,画面 M94 Tn 消失 ;
- c. 按下 DISPLAY 键检查输入是否正确。

### ③刀库刀号输入

- a. 在 MDI 模式下输入 M93 Tn( Tn :T1 ~ T24 ) ;
- b. 按一下 CYCLE START 键 ,画面 M93 Tn 消失 ;
- c. 按下 DISPLAY 键检查输入是否正确。

### (2)自动换刀/选刀

在 MDI 模式下 ,可完成自动换刀/选刀动作。当 NC 读到 M06 时自动执行刀臂与刀库间的刀具交换 ,读到 T 码时自动执行还刀、选刀、取刀动作。如果 M06 与 T 码同时在一节内 ,则先执行启动选刀动作再执行换刀动作。

### (3)自动换刀顺序

换刀前状态 :主轴装有一把刀( Ts ) 换刀臂刀库侧的刀爪已经准备好一把刀( Txx )  
开始

- 01. Z 轴退回第二参考点 ,主轴定位 ;
- 02. X 轴移到第二参考点 ,刀号对调开始 ;
- 03. 主轴松刀 ;
- 04. 换刀臂下降 ;
- 05. 换刀臂旋转 ;
- 06. 换刀臂上升 ,刀号对调完成 ;
- 07. 主轴抓刀 ;
- 08. X 轴移到 HOME 点

结束

换刀后状态 :主轴装有一把刀( Txx ) 换刀臂刀库侧的刀爪抓一把刀( Ts )

### (4)自动选刀顺序

选刀前状态 :换刀臂上有一把旧刀 ,要选刀库中的一把新刀。

开始

a. 还刀位置确定( 刀臂安装有旧刀具 ) 捷径判断( 根据刀臂上旧刀具的刀号 ) ,旋转计数( 刀库旋转 )。

b. 还刀( 先还刀臂上的旧刀具 ) ,滑座移到换刀臂上方( 在刀把上方 ) ,套筒下降( 套进刀把 ) ,滑座移进刀库( 刀把从换刀臂移进刀库 ) ,换刀臂刀号设为 α( 换刀臂的刀号登记为 0 ) ,套筒上升( 脱离刀把 )。

c. 选刀捷径判断( 根据新刀具刀号位置 ) ,旋转计数( 刀库旋转 )。

d. 取刀( 再抓新选刀具 ) ,套筒下降( 套进刀把 ) ,滑座移到换刀臂( 刀把从刀库移到换刀臂 ) ,换刀臂刀号更新( 换刀臂的刀号登记为刀库的刀号 ) ,套筒上升( 脱离刀把 ) ,滑座移进刀库( 初始预备状态 )。

结束

选刀后状态 :换刀臂装上要求的新刀 ,换刀臂上的旧刀还到刀库中对应刀号的位置。

### (5)自动换刀程序

①换刀程序 数控加工中心与普通数控机床的主要区别在于它具有自动换刀功能,因此换刀程序是加工中心特有的程序,除换刀程序外,编程方法与普通数控铣床基本相同。换刀程序如下。

```
N10 G91 G01 Z0 T02 ;
N11 M06 ;
```

即一把刀加工结束,进行换刀,换刀后继续加工。举例如下。

②FAGOR 8055M 自动换刀子程序

```
( SUB6);                子程序定义
(EFHOLD);
(ESBLK);
(P1 = TOOL ,P2 = NXTTOOL);    确定当前刀具和下一个刀具
(TF P1 EQ P2 GOTO N100);      换刀操作条件
(TF P2 EQ 0 GOTO N100);
(TF P1 NE P2 GOTO N100);
(DSBLK);
N10 G00 G90 G80G40 G44 G53    补偿清零
N15 G53 G00 Z0 ;
N20 M19 ;
N30 M91 ;
N40 M92 ;
N50 G00 Z105 ;                到换刀平面
N51 M93 ;
N60 G00 Z0 ;
N70 M94 ;
N80 M95 ;
N90 M05 ;
N100 M06 ;                    换刀
(DFHOLD)
G04 ;
(RET);                        子程序结束
```

③FANUC16 系统自动换刀子程序

```
08999 ;
N10 M05 ;
N20 M09 ;
N30 G91 G92 G28 Z0 ;          到换刀平面
N40 G40 G49 G80 ;
N50 M06                        换刀
N10 M99 ;                      子程序结束
```



当执行子程序后,根据所选刀号,加工中心可以实现自动换刀。

## 5 加工中心的对刀

### 1 对刀点与换刀点的确定

#### (1) 对刀点的确定

机床坐标系是机床出厂后已经确定不变的,但工件在机床加工尺寸范围内的安装位置却是任意的,若需确定工件在机床坐标系中的位置,就要靠对刀。简单地说,对刀就是告诉机床工件装夹在工作台的什么地方,这要通过确定对刀点在机床坐标系中的位置来实现。对刀点是工件在机床上定位(或找正)装夹后,用于确定工件坐标系在机床坐标系中位置的基准点。为保证加工的正确,在编制程序时,应合理设置对刀点。一般来说,加工中心对刀点应选在工件坐标系原点上,这样有利于保证对刀精度,减少对刀误差。也可以将对刀点或对刀基准点设在夹具定位元件上,这样可直接以定位元件为对刀基准对刀,有利于批量加工时工件坐标系位置的准确性。

#### (2) 换刀点的确定

加工中心是使用多种刀具加工的机床,工件加工时需要经常更换刀具,在程序编制时,就要考虑设置换刀点。换刀点的位置应根据换刀时刀具不碰伤工件、夹具和机床的原则而定。一般换刀点应设在工件或夹具的外部。对加工中心而言,换刀点往往是固定的点。

### 2 对刀方法

对刀的准确程度将直接影响加工精度,因此,对刀操作一定要仔细,对刀方法一定要与零件加工精度要求相适应。当零件加工精度要求高时,可采用千分表找正对刀,使刀位点与对刀点一致(一致性好,即对刀精度高)。用这种方法对刀,每次需要的时间长,效率较低。目前很多加工中心采用了光学或电子装置等新方法来减少工时和提高精度。对刀时一般以机床主轴轴线与端面的交点(主轴中心)为刀位点,因此,无论采用哪种工具对刀,结果都是使机床主轴轴线与端面的交点与对刀点重合,利用机床的坐标显示确定对刀点在机床坐标系中的位置,从而确定工件坐标系在机床坐标系中的位置。下面介绍几种具体的对刀方法。

#### (1) 采用杠杆百分表(或千分表)对刀

如图 3-20 所示,其操作步骤如下。

- ①用磁性表座将杠杆百分表吸在机床主轴端面上并利用手动输入 M03 由低速正转。
- ②手动操作使旋转的表头依 X、Y、Z 的顺序逐渐靠近孔壁(或圆柱面)。
- ③移动 Z 轴,使表头压住被测表面,指针转动约 0.1mm。
- ④逐步降低手动脉冲发生器的 X、Y 移动量,使表头旋转一周时,其指针的跳动量在允许的对刀误差内,如 0.02mm,此时可认为主轴的旋转中心与被测孔中心重合。
- ⑤记下此时机床坐标系中的 X、Y 坐标值。此 X、Y 坐标值即为 G54 指令建立工件坐标

系时的偏置值。若用 G92 建立工件坐标系,保持  $X, Y$  坐标不变,刀具沿  $Z$  轴移动到某一位置,则指令形式为 :G92 X0 Y0。

这种操作方法比较麻烦,效率较低,但对刀精度较高,对被测孔的精度要求也较高,最好是经过铰或镗加工的孔,仅粗加工后的孔不宜采用。

(2)采用寻边器对刀

操作步骤与采用刀具对刀相似,只是将刀具换成了寻边器,移动距离是寻边器触头的半径,因此这种方法简便,对刀精度较高。具体操作方法见相关章节。

(3)采用碰刀(或试切)方式对刀

如果对刀精度要求不高,为方便操作,可以采用加工时所使用的刀具直接进行碰刀(或试切)对刀,如图 3-21 所示。其操作步骤如下。

- ①将所用铣刀装到主轴上并使主轴中速旋转。
- ②手动移动铣刀沿  $X$ (或  $Y$ )方向靠近被测边,直

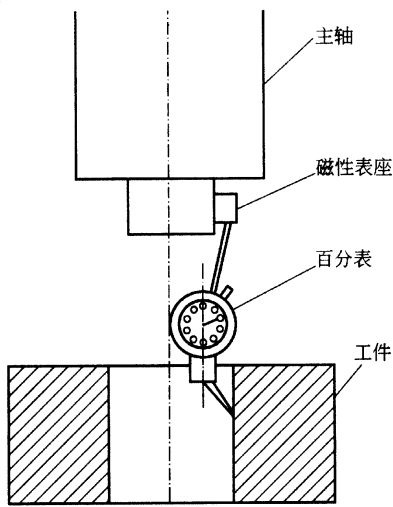


图 3-20 采用杠杆百分表(或千分表)对刀

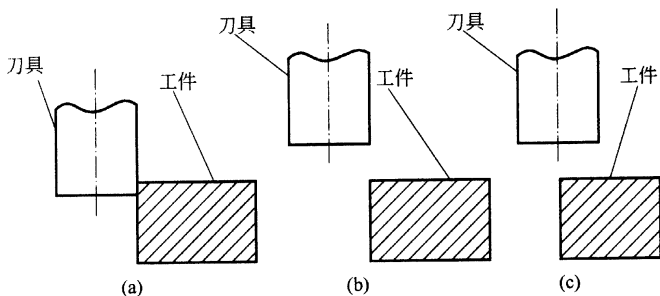


图 3-21 试切对刀  
(a)步骤①、② b 步骤③ c 步骤④、⑤

到铣刀周刃轻微接触到工件表面听到刀刃与工件的摩擦声(但没有切屑)。

- ③保持  $X, Y$  坐标不变,将铣刀沿  $+Z$  向退离工件。
- ④将机床相对坐标  $X$ (或  $Y$ )置零,并沿  $X$ (或  $Y$ )向工件方向移动刀具半径的距离。
- ⑤将此时机床坐标系下的  $X$ (或  $Y$ )值输入系统偏置寄存器中,该值就是被测边的  $X$ (或  $Y$ )坐标。

⑥改变方向重复以上操作,可得被测边的  $Y$ (或  $X$ )坐标。这种方法比较简单,但会在工件表面留下痕迹,且对刀精度不够高。为避免损伤工件表面,可在刀具和工件之间加入塞尺进行对刀,这时应将塞尺的厚度减去。以此类推,还可以采用芯轴和块规来对刀,如图 3-22 所示。

(4)采用机外对刀仪对刀

加工中心机外对刀仪如图 3-23 所示。机外对刀仪用来测量刀具的长度、直径和刀具形状、角度。刀库中存放的刀具其主要参数都要有准确的值,这些参数值在编制加工程序时

都要加以考虑。使用中因刀具损坏需要更换新刀具时,用机外对刀仪可以测出新刀具的主要参数值,以便掌握与原刀具的偏差,然后通过修改刀补值确保其正常加工。此外用机外对刀仪还可测量刀具切削刃的角度和形状等参数,有利于提高加工质量。对刀仪由下列三部分组成。

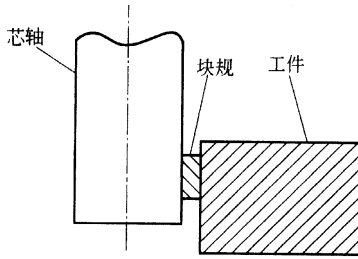


图 3-22 采用标准芯轴和块规来对刀

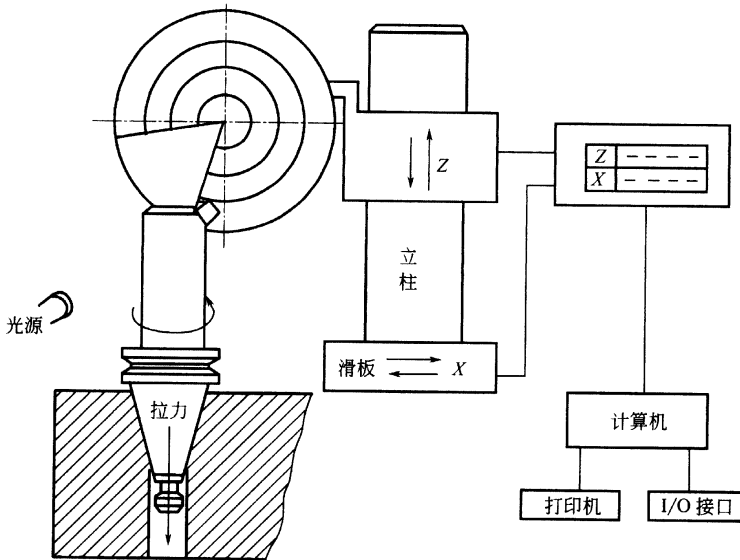


图 3-23 对刀仪示意

①刀柄定位机构 对刀仪的刀柄定位机构与标准刀柄相对应,它是测量的基准,所以要有高的精度,并与加工中心的定位基准要求一样,以保证测量与使用的一致性。定位机构包括回转精度很高的主轴、使主轴回转的传动机构、使主轴与刀具之间拉紧的预紧机构。

②测头与测量机构 测头有接触式和非接触式两种。接触式测头直接接触刀刃的主要测点(最高点和最大外径点);非接触式主要用光学的方法,把刀尖投影到光屏上进行测量。测量机构提供刀刃的切削点处的 Z 轴和 X 轴(半径)尺寸值,即刀具的轴向尺寸和径向尺寸。测量的读数有机械式(如游标刻线尺),也有数显或光学的。

③测量数据处理装置 这部分装置可以把刀具的测量值自动打印出来,或与上一级管理计算机联网,进行柔性加工,实现自动修正和补偿。

使用对刀仪应注意如下问题。

a. 使用前要用标准对刀心轴进行校准。每台对刀仪都随机带有一件标准的对刀心轴，要妥善保护使其不受锈蚀和受外力变形。每次使用前要对 Z 轴和 X 轴尺寸进行校准和标定。

b. 静态测量的刀具尺寸和实际加工出的尺寸之间有一差值。影响这一差值的因素很多，主要有刀具和机床的精度和刚度、加工工件的材料和状况、冷却状况和冷却介质的性质、使用对刀仪的技巧熟练程度等。由于以上原因，静态测量的刀具尺寸应大于加工后孔的实际尺寸，因此对刀时要考虑一个修正量，这要由操作者的经验来预选，一般要偏大 0.01 ~ 0.05mm。

### (5) 刀具 Z 向对刀

刀具 Z 向对刀数据与刀具在刀柄上的装夹长度及工件坐标系的 Z 向零点位置有关，它确定工件坐标系的零点在机床坐标系中的位置。可以采用刀具直接碰刀对刀，也可利用如图 3-24 所示的 Z 向设定器进行精确对刀，其工作原理与寻边器相同。

对刀时也是将刀具的端面与工件表面或 Z 向设定器的测头接触，利用机床坐标的显示来确定对刀值。当使用 Z 向设定器对刀时，要将 Z 向设定器的高度考虑进去。

另外，由于加工中心刀具较多，每把刀具到 Z 坐标零点的距离都不相同，这些距离的差值就是刀具的长度补偿值，因此需要在机床上或专用对刀仪上测量每把刀具的长度（即刀具预调），并记录在刀具明细表中，供机床操作人员使用。加工中心的 Z 向对刀一般有下列两种方法。

① 机上对刀 这种方法是采用 Z 向设定器依次确定每把刀具与工件在机床坐标系中的相互位置关系。其操作步骤为：依次将刀具装在主轴上，利用 Z 向设定器确定每把刀具到工件坐标系 Z 向零点的距离，并记录下来；找出其中最长的（或最短的）到工件距离最小的（或最大的）刀具，作为工件坐标系的 Z 值；依据此值，确定其他刀具的长度补偿值，正负号由程序中的 G43 或 G44 来确定。

这种方法对刀效率和精度较高，投资少，但工艺文件编写不便，对生产组织有一定影响。

② 机外刀具预调 + 机上对刀 这种方法是先在机床外利用刀具预调仪精确测量每把刀具的轴向和径向尺寸，确定每把刀具的长度补偿值，然后在机床上用其中最长的或最短的一把刀具进行 Z 向对刀，确定工件坐标系。这种方法对刀精度和效率高，便于工艺文件的编写及生产组织，但投资较大。

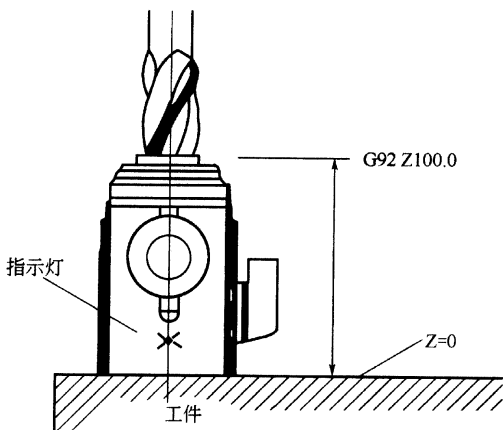


图 3-24 Z 向设定器

## 6 加工中心安全操作

### 6.1 日常维护保养

加工中心是一种自动化程度高、结构复杂且价格昂贵的先进加工设备,在现代工业生产中发挥着巨大的作用。为了充分发挥加工中心的功效,做好机床的日常维护、保养,降低加工中心的故障率,显得十分重要。

加工中心的日常维护、保养,一般情况下是由操作人员来进行的。作为操作人员应了解所用设备的结构,如机械、数控装置、液压气动装置、电器箱等各部分的位置及规定的使用环境,并严格按照机床的使用说明手册正确合理地使用机床。操作人员应熟悉所使用机床的规格,如主轴驱动电动机功率、主轴转速范围、进给速率、机床行程范围、工作台承载能力、ATC 所允许最大刀具尺寸、最大刀具质量等,还需了解各油标的位置及使用何种牌号润滑油等。

在操作机床前必须确认主轴、导轨及其他部位的润滑油油标是否符合要求,确认气压压力是否符合要求。确认符合要求后方可启动机床,并且使机床空运转 3min,检查机床是否异常。

保持机床周围环境清洁,空气过滤器要定期除尘,以免冷却空气通道不畅,引起数控柜内温度过高而使系统不能正常工作。电器柜内电路板和电气元件也要定期除尘,保证电气系统正常工作。

### 6.2 安全操作规程

由于加工中心科技含量高,其操作比普通机床要复杂得多,所以必须严格按照操作规程操作,才能保证机床正常运行。作为一个熟练的操作人员,必须在了解加工零件的要求、工艺路线、机床特性后,方可操纵机床完成各项加工任务。为了正确合理地使用加工中心,保证加工中心正常运转,必须制定比较完整的加工中心操作规程。

#### (1) 工件安装前注意事项

- ① 机床通电后,检查各开关、按钮是否正常、灵活,机床有无异常现象。
- ② 检查电压、油压、气压是否正常,有手动润滑的部位要先进行手动润滑。
- ③ 各坐标轴手动回参考点(机床原点)。若某轴在回参考点位置前已处在零点位置,必须先将该轴移动到距离原点 100mm 以外的位置,再进行手动回零。
- ④ 在进行工作台回转交换时,台面、护罩、导轨上不得有异物。
- ⑤ 为了使机床达到热平衡状态,必须使机床空运转 15min 以上。
- ⑥ 程序输入完毕后,应认真校对,确保无误。其中包括代码、指令、地址、数值、正负号、小数点及语法的查对。
- ⑦ 按工艺规程安装找正好夹具。

⑧正确测量和计算工作坐标系,并对所得结果进行验证和验算。

⑨将工作坐标系输入到偏置页面,并对坐标、坐标值、正负号及小数点进行认真核对。

⑩未装工件以前,空运行一次程序,看程序能否顺利执行,刀具长度选取和夹具安装是否合理,有无超程现象。

### (2)工件安装注意事项

①刀具补偿值(长度、半径)输入偏置页面后,要对刀具补偿号、补偿值、正负号、小数点进行认真核对。

②装夹工件,注意螺钉压板是否妨碍刀具运动,检查零件毛坯和尺寸超常现象。加工时要注意刀具是否会铣伤钳口等。

③检查各刀头的安装方向及各刀具旋转方向是否符合程序要求。

④查看各刀杆前后部位的形状和尺寸是否符合加工工艺要求,是否会碰撞工件与夹具。

⑤镗刀头尾部露出刀杆直径部分,必须小于刀尖露出刀杆直径部分。

⑥检查每把刀柄在主轴孔中是否都能拉紧。

### (3)工件试切注意事项

①无论是首次上场加工的零件,还是周期性重复上场加工的零件,首先都必须照图样工艺、程序和刀具调整卡,进行逐把刀逐段程序的试切。

②单段试切时,快速倍率开关必须置于较低挡。

③每把刀首次使用时,必须先验证它的实际长度与所给补偿值是否相符。

④在程序运行中,要重点观察数控系统上的以下几种显示。

a. 坐标显示:可了解目前刀具运动点在机床坐标系及工作坐标系中的位置,了解这一程序段的运动量、还剩余多少运动量等。

b. 寄存器和缓冲寄存器显示:可看出正在执行程序段各状态指令和下一程序段的内容。

c. 主程序和子程序显示:可了解正在执行程序段的具体内容。

⑤试切进刀时,在刀具运行至工件表面30~50mm处,必须在保持进给的状态下,验证坐标轴剩余坐标值和X、Y轴坐标值与图样是否一致。

⑥对一些有试刀要求的刀具,采用“渐进”的方法。如镗孔,可先试镗一小段长度,检测合格后,再镗到整个长度。使用刀具半径补偿功能的刀具数据,可由小到大,边试切边修改。

### (4)工件加工过程注意事项

①加工中刃磨刀具和更换刀具辅具后,一定要重新测量刀长并修改好刀补值和刀补号。

②程序检索时应注意光标所指位置是否合理、准确,并观察刀具与机床运动方向坐标是否正确。

③程序修改后,对修改部分一定要仔细计算和认真核对。

④手摇进给和手动连续进给操作时,必须检查各种开关所选择的位置是否正确,弄清正负方向,认准按键,然后再进行操作。

### (5)零件加工完毕后注意事项

①全批零件加工完毕后,应核对刀具号、刀补值,使程序、偏置页面、调整卡及工艺卡中的刀具号、刀补值完全一致。

②从刀库中卸下刀具,按调整卡或程序,清理编号入库,录入磁带、磁盘与工艺、刀具调整卡成套入库。

③卸下夹具。某些夹具应记录安装位置及方位,并做出记录,存档。

④将各坐标轴停在中间位置。

作为操作人员,思想上要时刻想着安全,在做到不伤害自己、不伤害别人、不被别人伤害的人身安全前提下,确保机床和工件的安全。

# 第四章 国内外数控加工中心 安全操作典型实例

本章以 TH5660A 立式加工中心为例,加工几个典型零件,从而对加工中心的操作技术有一个系统了解。TH5660A 立式加工中心数控系统选用 FAGOR 8055M 数控系统,采用交流伺服电机,半闭环控制,可以实现三轴联动,刀库移动式盘式刀库,刀库容量为 24 把。

## 1 加工中心的主要功能及使用

### (1) TH5660A 加工中心的主要技术参数

#### 1) 工作台

工作台外形尺寸(工作面)	1000mm × 600mm
工作台最大静载荷	1000kg
T 形槽	18H8
工作台左右行程( X 轴)	1000mm
工作台前后行程( Y 轴)	600mm
主轴箱上下行程( Z 轴)	500mm

#### 2) 主轴

主轴端面到工作台面最短距离	150mm
主轴锥孔	ISO40
轴径	φ60mm
主轴转速	60 ~ 5000r/min
交流主轴电动机	18.5/26kW
最大扭矩	165N·m

#### 3) 刀库

刀库容量	24 把
选刀方式	任意
刀柄	ISO7388 - 40
拉钉	ISO7388/2 - 40A
最大刀具尺寸(直径/长度)	φ80/300mm
刀具平均质量	4kg
从一次切削到另一次切削的时间	约 3s

#### 4) 进给速度

X、Y、Z 轴进给速度	1 ~ 15000mm/min
X、Y 轴快速移动速度	15000mm/min
Z 轴快速移动速度	20000mm/min

#### 5) 位置精度

分辨率	0.001mm
定位精度	( X ) 0.032mm



重复定位精度	( Y, Z ) 0.022mm
机床质量	0.018mm
机床外形尺寸(长×宽×高)	7000kg
机床电源	4670mm×3240mm×3200mm
机床使用环境	3×380V/50Hz/21kVA
湿度	温度 0~35℃
	小于 85%


(2) 加工中心的使用

TH5660A 立式加工中心数控系统选用 FAGOR 8055M 数控系统,操作面板在前面章节已经介绍,本节主要介绍机床启动后的操作。

1) 进给轴回参考点

机床启动后,按图 4-1 中 REFERNCE SEARCH 软键,用软键选择 Z、X、Y 轴,再按循环启动按钮,各轴开始回参考点,直到回参考点结束。各轴可以同时回参考点,也可以分别回参考点,为防止工装干涉,建议先回 Z 轴,再回 X、Y 轴。

2) 各进给轴手动进给

按图 4-1 中 X+、X-、Y+、Y-、Z+、Z- 键,相应的轴在相应方向上运动,速度以 JOG 速度乘以倍率。同时按下  键,相应的轴以 100% JOG 速度运动。

3) 各轴手动增量进给

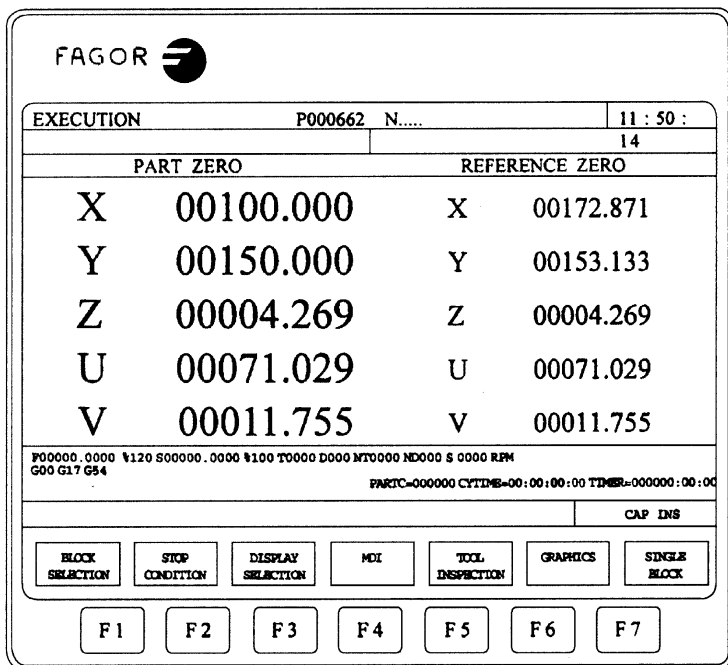



图 4-1 位置显示格式

按 X+、X-、Y+、Y-、Z+、Z- 键,相应的轴在相应方向上运动,每次运动如表 4-1 所示的单位距离。

表 4-1 增量进给距离


功能选择开关位置	距离/(mm 或 in)	功能选择开关位置	距离/(mm 或 in)
1	0.001/0.0001	1000	1/0.1
10	0.01/0.001	10000	10/1h
100	0.1/0.01		


#### 4)MDI 操作方式


在该方式下,如果依照软键提供相应的格式的信息,允许任何类型的程序段编辑,可以输入 G 指令、P 指令、S 指令、M 指令。当程序段编辑完成后,按下  键 CNC 将执行这个程序段直到放弃这个操作方式。



#### 5)主轴的操作

①主轴的 JOG 操作,在 MDI 方式输入 S 值,然后回到 JOG 方式,用控制面板的下列键操作。

 主轴正转 相当于 M03。

 主轴反转 相当于 M04。

 主轴停转 相当于 M05。

 and  主轴倍率,在 0% ~ 120% 之间以 5% 的值增减。

②主轴 MDI 操作,在 MDI 方式选择或用操作键盘输入 M03、M04、M05。

③主轴的定位,在 MDI 方式选择或用操作键盘输入 M19,主轴自动定位。

④主轴的换挡,在 MDI 方式输入 M41 值,换低挡(极限速度为 1000r/min),输入 M42 值,换高档(极限速度为 5000r/min)。

#### 6)手动换刀

JOG 方式换刀动作顺序和 MDI 或程序执行方式换刀顺序见表 4-2。

表 4-2 JOG 换刀动作顺序和 MDI 或程序执行状态换刀顺序

JOG 换刀动作顺序	MDI 方式或程序执行状态换刀动作顺序
a. 主轴定位	a. Z 轴以 G00 速度上升到 Z=0 处
b. Z 轴回到参考点	b. 主轴定位 M19
c. 按  键,等待刀库前位指示灯亮	c. 刀库向前 M91
d. 同时按两个  键,刀具松开指示灯亮	d. 刀具松开 M92
e. Z 轴到达机床坐标系 105mm 处	e. Z 轴以 G00 的速度上升到 Z=105 处
f. 按  键,转到所需刀号	f. 刀库旋转到需要的刀号 M93
g. Z 轴回到参考点	g. Z 轴以 G00 的速度下降到 Z=0
h. 按  键,刀具夹紧指示灯亮	h. 刀具夹紧 M94
i. 按  键,到库后位指示灯亮	i. 刀库向后 M95
j. 换刀完成	j. 主轴停转(自由状态)M05
	k. 执行 M06,实行刀具变量的交换

## 7) 程序编辑(主菜单下的 EDIT)

这个操作方式经常用来编辑、修改或观察零件程序。当这个操作方式选择后 ,CNC 将请求需要编辑或修改的程序号(最大 6 位数),这时可以用操作键盘或在程序目录中用光标选择,然后按 ENTER 键输入。

用户在屏幕上有一个编辑区域,可以用“光标左箭头和光标右箭头”使光标在屏幕上左右移动。同样,可以用“光标上箭头和光标下箭头”使光标在屏幕上下移动,也可以用“上下翻页键”使光标在屏幕上下移动。

当程序号输入后 ,CNC 将显示表 4-3 所示的软键。


表 4-3 编辑方式下的软键功能

软键名称	软 键 功 能
EDIT	在选择的程序中编辑新的一行
MODIFY	修改程序中已存在的行
FIND	在选择的程序中搜索特别的一行
REPLACE	用其他的替代特别的一行
DELETE BLOCK	删除一行或删除几行
MOVE BLOCK	在一个程序中移动一行或移动几行
COPY BLOCK	在一个程序复制一行或几行到程序的其他位置
COPY TO PROGRAM	复制一行或几行到程序的其他程序中
INCLUDE PROGRAM	把其他程序的内容插入当前的选择位置
EDITOR PARAMETERS	选择编辑参数(自动生成行号或示教的轴)

## 8) 程序执行/模拟

在主菜单下 ,EXECUTE(执行)操作方式允许自动方式或单段方式执行零件程序。SIMULATE(模拟)操作方式允许在自动方式或单段方式下模拟零件程序执行。

当选择了这两种操作方式之一 ,CNC 将显示零件程序目录。程序号可以用键盘输入也可以用光标在零件程序目录中选择,显示格式如图 4-2 所示。当要执行或模拟的零件程序选择后,按 ENTER 键输入。

然后按  循环启动按钮,即可实现零件的加工。

注意:在加工过程中,应时刻注意程序的执行过程,如发现异常,应立即按急停按钮,以免发生事故。

在程序执行的过程中,通过显示格式的选择可以观察不同的内容。

## ① 标准显示格式( STANDARD DISPLAY MODE )

如图 4-3 所示,其中 COMMAND 指出必须到达的编程的坐标位置,ACTUAL 指出轴的实际位置值,TO GO 指出已经离开编程的坐标的距离。

## ② 位置显示格式,如图 4-4 所示。

## ③ 跟随误差显示格式,如图 4-5 所示。

## 9) 外部通信

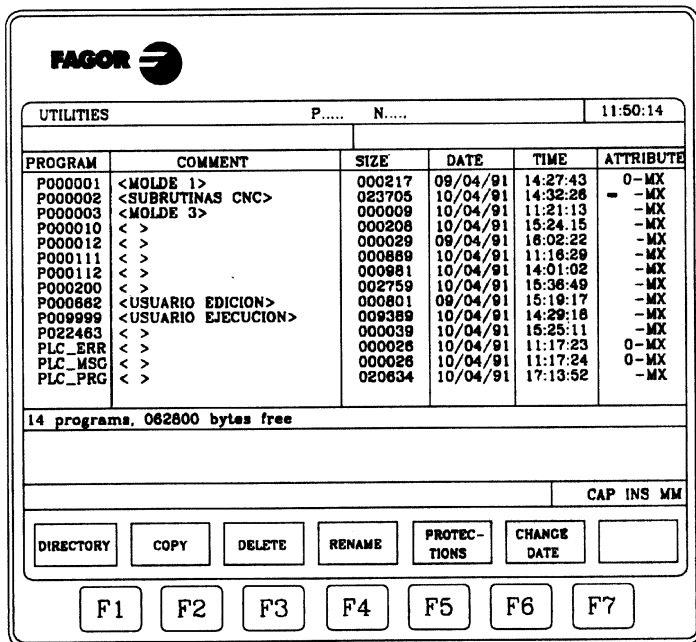


图 4-2 目录显示格式

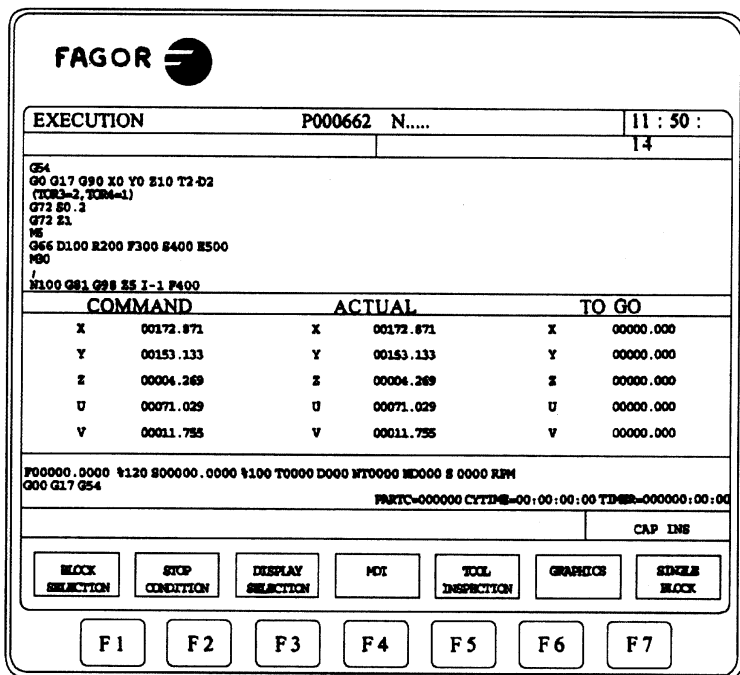


图 4-3 标准显示格式

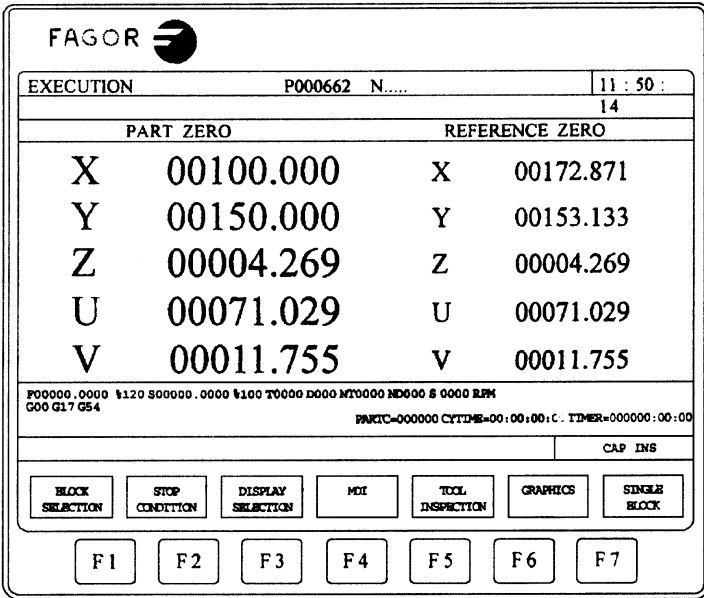


图 4-4 位置显示格式

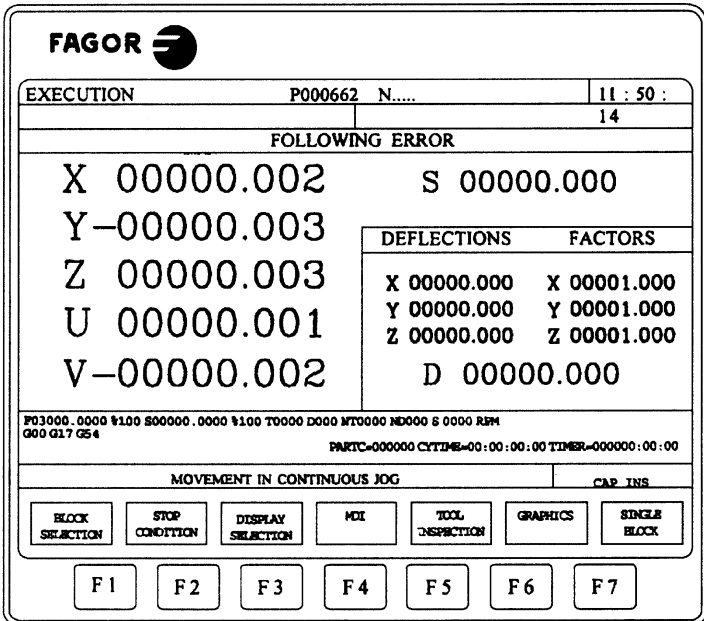


图 4-5 跟随误差显示格式

通过 CNC 在 DNC 工作方式下可以应用串行通信口(RS232)实现和外部计算通信。将外部电缆分别与 CNC 和计算机串行口相连,在通信软件中设置好传输速率,FAGOR 8055M 的传输速率是 38400Bd。在主菜单下选择工作方式为 DNC 方式,在 DNC 方式下按 DNC ON,激活通信通道如图 4-6 所示,然后通过计算机进行通信。

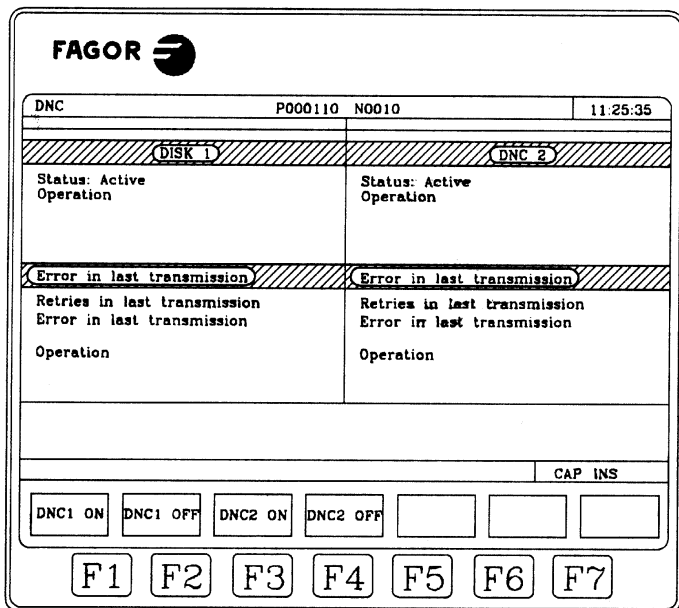


图 4-6 外部通信设置

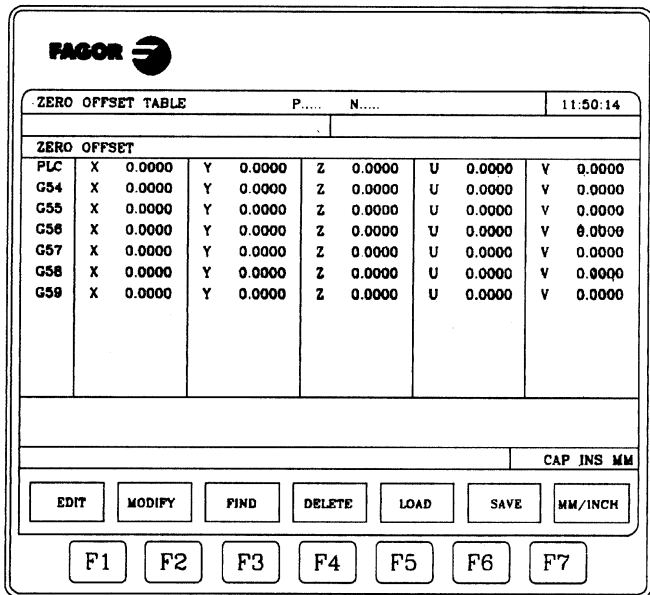


图 4-7 零点偏置表

10) FAGOR 8055 数控系统的表

为了选择新刀具,刀偏和零偏,这些值必须预先存储在 CNC 中。CNC 提供的表有以下几种。

① 零点偏置表 (Zero Offset table), 如图 4-7 所示。

必须对其进行定义。它表示每根轴的零点偏置。该表可以通过软键进行编辑 (EDIT)

修改 (MODIFY) 、删除 (DELETE) 、加载 (LOAD) 、存储 (SAVE) 等操作 ,也可以通过高级变量 “PLCOK(X-C)”从 PLC 和零件程序设置。

② 刀具偏置表 (Tool Offset table) ,如图 4-8 所示 ,必须对其进行定义。它存储每把刀的几何尺寸。

TOOL OFFSET TABLE					P.....	N.....	11:50:14
OFFSET	RADIUS	LENGTH	RADIUS WEAR	LENGTH WEAR			
D001	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D002	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D003	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D004	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D005	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D006	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D007	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D008	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D009	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D010	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D011	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D012	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D013	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D014	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D015	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D016	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D017	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D018	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D019	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			
D020	0.0000	L 0.0000	I 0.0000	K 0.0000			

CAP INS MM

EDIT    MODIFY    FIND    DELETE    LOAD    SAVE    MM/INCH

F1    F2    F3    F4    F5    F6    F7

图 4-8 刀具偏置表

## 2 典型零件加工

### 2.1 凸轮加工

凸轮是典型机械零件之一 ,由于其轮廓复杂 ,在普通机床上加工 ,很难保证加工精度 ,而使用加工中心加工 ,既可以保证精度又可以提高效率。

图 4-9 所示为心型凸轮零件图。材料为 TH200 ,毛坯加工余量为 5mm。

### (1) 工艺分析

在加工中心进行工艺分析时,主要从两个方面考虑:精度、效率。理论上的加工工艺必须达到图纸要求,同时又能充分地发挥出机床功能。

#### 1) 图纸分析

图纸分析主要包括零件轮廓形状、尺寸精度、技术要求和定位基准等。从零件图可以看出,零件轮廓形状为圆弧过渡。图中尺寸精度和表面粗糙度要求较高的是凸轮外轮廓、安装孔和定位孔,位置精度要求较高的是底面和基准轴线之间的平行度,在加工过程中,这几项在加工过程中应重点保证。

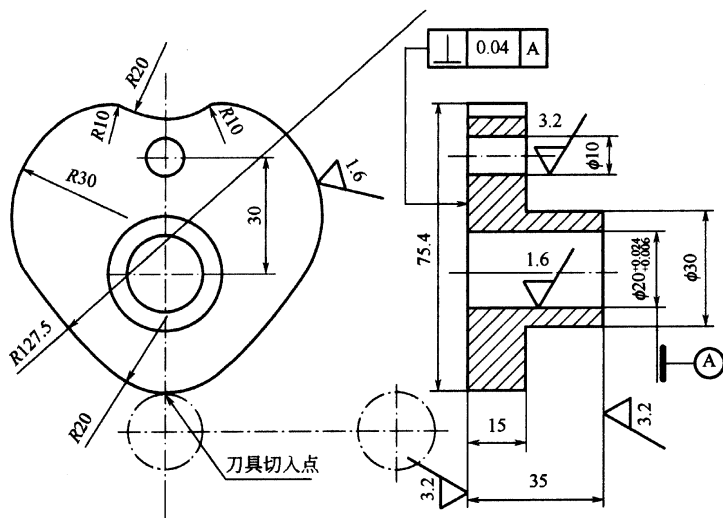


图 4-9 凸轮零件图

#### 2) 确定定位基准

在加工中心上加工工件时,工件的定位仍遵守六点定位原则。在选择定位基准时,要全面考虑各个工件的加工情况,保证工件定位准确,装卸方便,能迅速完成工件的定位和夹紧,保证各项加工的精度,应尽量选择工件上的设计基准作为定位基准。根据以上原则和图纸分析,加工时首先以上面为基准加工底面、安装孔和定位孔,然后,以底面和两孔定位,一次装卡,将所有表面和轮廓全部加工完成,这样就可以保证图纸要求的尺寸精度和位置精度。

#### (2) 工件的装夹

根据工艺分析,主要加工凸轮轮廓,当加工底面安装孔和定位孔时采用平口虎钳装夹。平口虎钳装夹工件时,应首先找正虎钳固定钳口,注意工件应安装在钳口中间部位,工件被加工部分要高出钳口,避免刀具与钳口发生干涉,夹紧工件时,注意工件上浮。加工轮廓和其他表面时,用压板、螺栓装夹,应避免与被加工表面发生干涉。

#### (3) 确定编程原点、编程坐标系、对刀位置及对刀方法

根据工艺分析,工件坐标原点  $X_0$ 、 $Y_0$  设在基准上面的中心, $Z_0$  点设在上表面。编程原点确定后,编程坐标、对刀位置与工件坐标原点重合,对刀方法可根据机床选择,这里选用手动对刀。

#### (4) 确定加工所用各种工艺参数

切削条件的好坏直接影响加工的效率和经济性,这主要取决于编程人员的经验,工件的材料及性质,刀具的材料及形状,机床、刀具、工件的刚性,加工精度、表面质量要求,冷却系统等。具体参数见表 4-4、表 4-5。

#### (5) 数值计算

根据零件图样,按已确定的加工路线和允许的程序,保证误差,计算出数控系统所需数



值,数值计算内容有以下两个方面:

- ①基点和节点的计算;
- ②刀位点轨迹的计算。

由于以上计算工作量比较大,现在主要由计算机来完成。按零件图和工件坐标系,凸轮轮廓各交点( $X, Y$ )坐标如下。

(0.000, 31.633) (-13.09, -26.820) (-33.825, -4.072) (-40.295, 14.538) (-17.275, 43.715) (-9.966, 42.660) (9.966, 42.660) (17.275, 43.175) (40.295, 14.538) (33.825, -4.072) (13.019, -26.820)

表 3-4 凸轮加工工艺卡

北方工业大学 机电中心		加工工序卡		零件名称		零件图号				材料	
		01		凸轮		P001				HT200	
工艺序号	01	夹具名称	平口钳	夹具编号			使用设备			TH5660A	
工步号	加工内容	刀具号	刀具名称	刀具规格/mm	补偿号	补偿值/mm	主轴转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)	进给倍率/%	切削深度/mm	加工余量/mm
1	铣底面	T01	立铣刀	φ40	D1		220	44	100	2	4.5
							500	44	100	0.5	0.5
2	钻中心孔	T02	中心钻	φ3	D3		900	80	100	2	8
3	钻孔	T03	麻花钻	φ18	D4		450	45	100	25	22
4	钻孔	T04	麻花钻	φ9.5	D5	5.05	450	45	100	25	16
5	铰孔	T05	铰刀	φ20	D6		30	5	100	25	
6	铰孔	T06	铰刀	φ10	D7		30	5	100	25	
7	铣外轮廓	T07	立铣刀	φ20	D8D9D10		290	58	100	23	
8	铣上面	T08	立铣刀	φ40	D11		220	44	100	2	4.5
9	倒角	T09	倒角刀	φ201	D12		220	100	100	1	1
备注	1. 启动机床回零后 检查机床零点 2. 正确操作机床,注意安全,文明生产										

表 4-5 刀具使用卡

编号	刀具名称	刀具规格/mm	数量	用途	刀具材料
1	立铣刀	φ40	2	铣上、下面	合金镶条
2	中心钻	φ3	2	孔定位	高速钢(HSS)
3	麻花钻	φ8	1	钻安装孔	高速钢(HSS)
4	麻花钻	φ9.5	1	钻定位孔	高速钢(HSS)
6	铰刀	φ20	1	铰孔	高速钢(HSS)
7	铰刀	φ0	1	铰孔	高速钢(HSS)
8	立铣刀	φ20	2	铣外轮廓	合金镶条
9	倒角刀	φ16	1	倒角	高速刀(HSS)

(6) 编写加工程序

做完以上工作,可以开始按铣刀前进方向逐段编写加工程序。编写程序时应注意所用代码格式要符合所用的机床控制系统的功能,以及用户编程手册的要求,不要遗漏必要的指令或程序段,且数值填写要正确无误,尽量减少差错。特别要注意多零、少零、正负号及小数点。下面的程序是针对 TH5660A 立式加工中心编写的,机床控制系统为 FAGOR 8055M 型,FAGOR 8055M 的特点是具有高级编程功能,可以很方便地将刀具值  $R$  (刀具半径)  $L$  (刀具长度)  $K$  (刀具半径磨损)  $K$  (刀具长度磨损) 在程序的开始时通过变量 TOR, TOL, TOI, TOK 等加载。零件程序简述如下。

P600001 ;	程序名
( TOR1 = 20 ,TO11 = 0 ,TOL1 = 25 ,TOK1 = 0 );	刀具 1 的尺寸
( TOR2 = 1.5 ,TO12 = 0 ,TOL2 = 20 ,TOIK2 = 0 );	刀具 2 的尺寸
( TOR3 = 9 TO13 = 0 ,TOL3 = 35 ,TOK3 = 0 );	刀具 3 的尺寸
...	
G90 G17 G40 G44 G80 M09 ;	44 为取消刀具长度补偿
T1 D1 ;	T01 号刀(粗加工底面)
M06 ;	
G54 ;	建立工件坐标系
S220 M03 ;	主轴正转
G00 X - 50 Y - 40 Z20 ;	快速定位
G43 G01 Z5 F44 D1 ;	
M08 ;	
G01 Z - 2 F44 ;	
G01 X 50 Y - 40 ;	
G01 X 50 Y - 10 ;	
G01 X - 50 Y - 10 ;	
G01 X - 50 Y20 ;	
G01 X 50 Y20 ;	
G01 X 50 Y50 ;	
G01 X - 50 Y50 ;	
G01 X - 50 Y80 ;	
G01 X 50 Y80 ;	
M05 M09 ;	
G00 Z20	
G00 X - 50 Y - 40	
S220 M03 ;	
G00 X - 50 Y - 40 Z20 ;	
M08 ;	
G01 Z - 4.5 ;	
G01 X 50 Y - 40 ;	

G01 X50 Y-10 ;  
G01 X-50 Y-10 ;  
G01 X-50 Y20 ;  
G01 X50 Y20 ;  
G01 X50 Y50 ;  
G01 X-50 Y50 ;  
G01 X-50 Y80 ;  
G01 X50 Y80 ;  
M05 M09 ;  
G44 G00 Z20 ;  
G00 Z20 ;  
G00 X-50 Y-40 ;  
S220 M03 ;  
G00 X-50 Y-40 Z20 ;  
M08 ;  
G01 Z-4.5 ;  
G01 X50 Y-40 ;  
G01 X50 Y-10 ;  
G01 X-50 Y-10 ;  
G01 X-50 Y20 ;  
G01 X50 Y20 ;  
G01 X50 Y50 ;  
G01 X-50 Y50 ;  
G01 X-50 Y80 ;  
G01 X50 Y80 ;  
M05 M09 ;  
G44 G00 Z20  
G00 Z20  
S500 M03 ;  
G43 G01 Z5 F44 D2 ;  
G00 X-50 Y-40 Z20 ;  
M08 ;  
G01 Z-5 ;  
G01 X50 Y-40 ;  
G01 X50 Y-10 ;  
G01 X-50 Y-10 ;  
G01 X-50 Y20 ;  
G01 X50 Y20 ;

(精加工底面)

```

G01 X50 Y50 ;
G01 X - 50 Y50 ;
G01 X - 50 Y80 ;
G01 X50 Y80 ;
M05 M09 ;
G44 G00 Z20 ;
T2 ;                               T02 号刀( 钻孔定位 )
M06 ;
G54 ;
S900 M03 ;
G43 G00 25 D3 ;
M08 ;
G98 G81 X0 Y0 22 13 F80 ;         定位并定义固定循环
X0 Y30 ;
G80 ;
G44 G00 Z20 ;
M05 M09 ;
T3 ;                               T03 号刀( 钻安装孔 )
M06 ;
G54 ;
S450 M03 ;
G43 G00 230 D4 ;
M08 ;
G98 G83 X0 Y0 22 138 J8 F45 ;     定位并定义固定循环
G80 ;
G44 G00 Z20 ;
M05 M09 ;
T4 ;                               T04 号刀( 钻定位孔 )
M06 ;
G54 ;
S450 M03 ;
G43 G00 230 D5 ;
M08 ;
G98 G83 X0 Y30 22 117 J4 F45 ;
G80 ;
G44 G00 Z20 ;
G00 X0 Y0 ;
M05 M09 ;

```

T5 ;	T05 号刀( 铰安装孔 )
M06 ;	
G54 ;	
S30 M03 ;	
G43 G00 230 D6 ;	
M08 ;	
G98 G85X0 Y0 22 138 F5 ;	
G80 ;	
G44 ;	
M05 M09 ;	
T6 ;	T06 号刀( 铰定位孔 )
M06 ;	
G54 ;	
S30 M03 ;	
G43 G00 230 D7 ;	
M08 ;	
G98 G85X0 Y30 22 117 F5 ;	
G80 ;	
G44 G00 220 ;	
M05 M09 ;	
M30 ;	
P600002	
T7D8 ;	T07 号刀( 粗铣外轮廓 )
M06 ;	
G54 ;	
S290 M03 ;	
G00 X60 Y - 50 ;	
G43 G00 220 D9 ;	
M08 ;	
G01 2 - 40 F44	
G41 G01 X60 Y - 31.637 F44 D8 ;	半径补偿
G01 X0 Y - 31.637 ;	切向入口
G02 X - 13.019 Y - 26.820 R20 ;	
G02 X - 33.825Y - 4.072 R127.5 ;	
G02 X - 17.275 Y43.715 R30 ;	
G02 X - 9.966 Y42.660 R20 ;	
G03 X9.966 Y42.660 R20 ;	
G02 X17.275 Y43.715 R10 ;	

G02 X3 3.825 Y - 4.072 R30 ;  
 G02 X - 1 3.019 Y - 26.820 R127.5 ;  
 G02 X0 Y - 31.633 R20 ;  
 G01 X - 40 Y - 31.633 ;  
 G40 G01 X - 60 Y - 50 ;  
 G44 G00 Z50 ;  
 G00 X60 Y - 50 ;  
 G43 G00 Z20 D9 ;  
 G01 Z - 40 F44 ;  
 G41 G01 X60 Y - 31.637 F44 D8 ;  
 G01 X0 Y - 31.637 ;  
 G02 X - 13.019 Y - 26.820 R20 ;  
 G02 X - 33.825 Y - 4.072 R127.5 ;  
 G02 X - 17.275 Y43.715 R30 ;  
 G02 X - 9.966 Y42.660 R20 ;  
 G03 X9.966 Y42.660 R20 ;  
 G02 X17.275 Y43.715 R10 ;  
 G02 X33.825 Y - 4.072 R30 ;  
 G02 X - 13.019 Y - 26.820 R127.5 ;  
 G02 X0 Y - 31.633 R20 ;  
 G01 X - 40 Y - 31.633 ;  
 G40 G01 X - 60 Y - 50 ;  
 G44 G00 Z50 ;  
 S500 M03 ;  
 G00 X60 Y - 50 ;  
 G43 G00 220 D10 ;  
 G01 Z - 40 F44 ;  
 G41 G01 X60 Y - 31.637 F44 D10 ;  
 G01 X0 Y - 31.637 ;  
 G02 X - 13.019 Y - 26.820 R20 ;  
 G02 X - 33.825 Y - 4.072 R127.5 ;  
 G02 X - 17.275 Y4 3.715 R30 ;  
 G02 X - 9.966 Y42.660 R20 ;  
 G03 X9.966 Y42.660 R20 ;  
 G02 X17.275 Y4 3.715 R10 ;  
 G02 X33.825 Y - 4.072 R30 ;  
 G02 X - 13.019 Y - 26.820 R127.5 ;  
 G02 X0 Y - 31.633 R20 ;

(精铣外轮廓)

G01 X - 40 Y - 31.633 ;

G40 G01 X - 60 Y - 50 ;

G44 G00 Z50 ;

M05 M09 ;

T8 ;

T08 号刀(铣上面)

M06 ;

G54 ;

S220 M03 ;

G43 G00 Z30 D11 ;

M08 ;

Q01 X - 20 Y0 F44 ;

G01 Z - 2 ;

G01 X20 Y0 ;

G01 Z - 4.5 ;

G01 X - 20 Y0 ;

S500 M03

G01 Z - 5 ;

G01 X20 Y0 ;

G44 G00 Z50 ;

G00 X0 Y0 ;

T9 ;

T09 号刀(倒角)

M06 ;

G54 ;

S220 M03 ;

G43 G00 Z30 D12 ;

M08 ;

G01 Z - 2 ;

G44 G00 Z50 ;

M05 M09 ;

主轴停止

M30 ;

程序结束

## (7)程序输入及检验

### 1)程序输入

程序输入分为手动输入和通信传输,手动输入是通过操作面板上的功能键进行程序输入,此种操作效率低,一般只适于短小程序和临时编写的程序;用通信口传输程序,可以大大减少手动输入占用的机时,有效的提高了机床的利用率,现在已被广泛应用。

### 2)程序检验

在程序输入错漏,按程序单向机床控制面板输入或输入到磁盘中时,不能保证完全正确,所以未经检验的程序不能直接加工零件。

## ①程序单的检验

对程序单的检验首先检查功能指令代码是否错漏。例如：检查辅助功能指令代码(M)，准备功能指令代码(G)、G01、G02、G03及平面选择G17、G18、

G19是否正确，在G90、G91混用时程序是否协调等。其次检查刀具代号，检查刀具代号是否填写正确或有遗漏，防止加工时刀具半径补偿值有差错。最后验算数据是否计算有误，正负号对不对，程序单上填的数据是否与编程草图上标注的坐标值一样，进给路线是否是一个封闭回路。因此，可以用各坐标运动位移量的代数和是否为零来校验程序数据的正确性。

## ②传输程序的校验

有三种方法：

- a. 人工检查法(方法和程序单的检验一样)；
- b. 用计算机或从检查控制面板中用图形显示来检验程序；
- c. 直接在机床上进行试切检查。

## (8)选择、测量、安装刀具

根据加工参数表，选择所用刀具，逐把进行刀具长度、直径测定，测定方法一般使用对刀仪进行测量，将数据记录到加工中心刀具参数表中。

按刀具参数表中的序号，将所选刀具装入到刀库中。具体操作步骤如下：

- ①将刀具装入刀柄内；
- ②接通空气压缩机电源，等压力达到规定值。
- ③按下加工中心启动按钮。
- ④检查刀库对应主轴位置，该位置必须没有刀具；
- ⑤通过机床控制面板手动刀具松开按键，松开主轴刀具卡紧装置。
- ⑥将带刀刀柄的刀具装入主轴锥孔内，并按下刀具卡紧键；
- ⑦用MDI方式输入下一把刀的刀库位置，按下循环启动键，即可将刀具送入刀库；刀库自动旋转到MDI输入的下一把刀的刀库位置。

注意：机床总是默认主轴上的刀具，对应当前刀库位置，如果主轴上有刀，刀库位置必须为空，否则会发生事故。

## (9)建立机床坐标系和工件坐标系

回机床参考点建立机床坐标系，通过手动或自动对刀建立工件坐标系，将工件坐标轴数据输入到机床参数表中。

## (10)工件加工

## (11)工件尺寸、精度检验。

## 2.2 泵盖加工

图4-10所示为油泵零件。



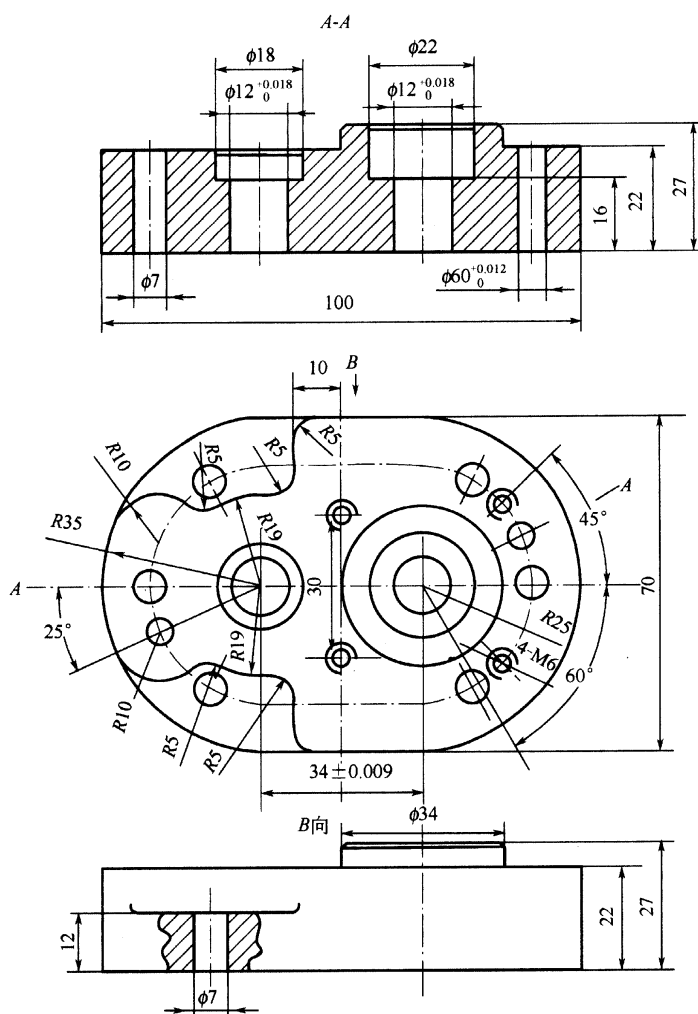


图 4-10 油泵零件

(1) 工艺分析(略)

(2) 刀具参数(见表 4-6 和表 4-7)

表 4-6

泵体零件数控铣加工工序卡

北方工业大学 机电中心		数控加工工序卡		零件名称		零件图号				材料		
		02		泵盖		P002				45		
工艺序号		01	夹具名称		平口钳		夹具编号		使用设备			TH5660A
工步号	加工内容	刀具号	刀具名称	刀具规格 /mm	补偿号	补偿值 /mm	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	进给倍率 /%	切削深度 /mm	加工余量 /mm	

北方工业大学 机电中心			数控加工工序卡		零件名称		零件图号			材料		
			02		泵盖		P002			45		
1	铣底面	粗	T01	立铣刀	φ40	D1		220	44	100	2	4.5
		精				D2		220	44	100	0.5	0.5
2	铣外轮廓	粗精	T01	立铣刀	φ40	D3		220	44	100	15	2.5
3	铣底面	粗	T01	立铣刀	φ40	D1	13	220	44	100	4	6.5
		精				D2	12.55	220	44	100	4	0.5
4	钻中心孔		T02	中心钻	φ3	D4		900	80	100	2	8
5	钻孔		T03	麻花钻	φ11.8	D6	5.05	450	45	100	25	16
6	钻孔		T04	麻花钻	φ7	D5		450	45	100	25	22
7	钻孔		T05	麻花钻	φ14	D7	5.05	450	45	100	25	16
8	铣凸台		T06	键槽铣刀	φ10	D8		290	58	100	23	
9	钻孔		T07	麻花钻	φ5.8	D9		450	45	100	25	0.2
10	铰孔		T08	铰刀	φ6	D10		30	5		100	25
11	镗孔		T09	镗孔钻	φ10	D11		450	45	100	25	0.2
12	攻丝		T10	丝锥	M16	D12		450	200	100	25	
13	铰孔		T11	铰刀	φ2	D13		30	5	100	25	
14	铣内孔		T12	立铣刀	φ10	D14		500	58	100	23	
15	倒角		T13	倒角刀	φ16	D15		220	100	100	1	1

备注  
1. 启动机床回零后 检查机床零点  
2. 正确操作机床 ,注意安全 ,文明生产

(3) 刀具选择(略)

(4) 切削用量选择(见表4-6)

(5) 工艺路线

粗精铣底面 ;以底面定位 ,粗精铣上面 ;留加工余量钻孔 ;粗精铣外轮廓表面、凸台 ;镗孔、攻丝。零件程序简述如下。

表4-7

刀具使用卡

编号	刀具名称	刀具规格/mm	数量	用途	刀具材料
1	立铣刀	φ40	2	铣轮廓	合金镶条
2	立铣刀	φ20	2	扩孔	高速钢(HSS)
3	键槽铣刀	φ12	1	铣内孔	高速钢(HSS)
4	麻花钻	φ14	1	钻孔	高速钢(HSS)
5	麻花钻	φ7	1	钻孔	高速钢(HSS)
8	中心钻	φ3	1	钻中心孔	高速钢(HSS)
6	铰刀	φ6	1	铰孔	高速钢(HSS)
7	麻花钻	φ5.8	1	钻孔	高速钢(HSS)
8	倒角刀	φ16	1	倒角	高速刀(HSS)
9	麻花钻	φ11.8	1	钻孔	高速钢(HSS)
10	丝锥	M16	1	攻丝	高速钢(HSS)
11	镗孔钻	φ10	1	镗孔	高速钢(HSS)
12	铰刀	φ2	1	铰孔	高速钢(HSS)

(6)程序编辑

P600003 ;	程序名
G90 G17 G40 G44 G80 M09 ;	为取消刀具长度补偿
.....	
T1 D1	T01 号刀(加工外轮廓)
M06 ;	
G54 ;	建立工件坐标系
S220 M03 ;	主轴正转
G00 X - 50 Y - 70 ;	快速定位
G00 X - 40 Y - 50 ;	
M08 ;	
G43 G01 Z - 25 F44 D1 ;	长度补偿
G37 R6 G41 G01 X - 15Y - 35 F44 D1 ;	延切向入口 ,半径补偿
G41 G02 X - 15Y35 R35 ;	
G01 X15Y35 ;	
G41 G02X15Y - 35 R35 ;	
G01 X - 15 Y - 35 ;	
G01 X - 70 Y - 35 ;	延切向出口
G40 G01 X - 70 Y - 70 ;	取消半径补偿
G44 G00 ;	取消长度补偿
G00 X0 Y0 ;	
M05 M09 ;	
T2	T02 号刀 ,钻孔定位
M06 ;	
G54 ;	
S900 M03 ;	
G43 G00 Z5 D4 ;	
M08 ;	
G98 G81 X - 27.5 Y - 21.65 Z2.13 F80 ;	定位并定义固定循环
G931 - 15 J0 ;	设置极坐标原点
G91 Q30 N2 ;	执行固定循环
G90 G01 X27.5 Y21.65 ;	
G93 115 J0 ;	
G91 Q30 N2 ;	
G90 G01 X37.66 Y10.57 ;	
G80 ;	
M05 M09 ;	
G44 G00 ;	

G00 X0 Y0 ;  
 T3 ; T03 号刀 ,钻孔  
 M06 ;  
 G54 ;  
 S450 M03 ;  
 G43 G00 Z30 D5 ;  
 M08 ;  
 G98 G83X - 27.5Y - 21.65 Z2 122 J4 F45 ; 定位并定义固定循环  
 G93 1 - 15 J0 ; 设置极坐标原点  
 G91 Q30 N2 ; 执行固定循环  
 G90 G01 X27.5 Y21.6 ;  
 G93 115 J0 ;  
 G91 Q30 N2 ;  
 G90 G01 X37.66 Y10.57 ;  
 G80 ;  
 M05 M09 ;  
 G44 G00 Z20 ;  
 G00 X0 Y0 ;  
 T4 T04 号刀 ,钻孔  
 M06 ;  
 G54 ;  
 S450 M03 ;  
 G43 G00 Z30 D6 ;  
 M08 ;  
 G98 G83 X - 17 Y0 Z2 125 J5 F45 ;  
 G01 X17 Y0 ;  
 G80 ;  
 G44 G00 Z20 ;  
 G00 X0 Y0 ;  
 M05 M09 ;  
 T5 T05 号刀 ,钻孔  
 M06 ;  
 G54 ;  
 S450 M03 ;  
 G43 G00 Z30 D7 ;  
 M08 ;  
 G98 G83 X0 Y17 Z2 125 J5 F45 ;  
 G01 X0 Y - 17 ;

G80 ;  
M05 M09 ;  
G44 G00 Z20 ;  
G00 X0 Y0 ;  
T6  
M06 ;  
G54 ;  
S290 M03 ;  
M08 ;  
G43 G00 Z30 D8 ;  
G01 X17 Y - 80 F58 ;  
G01 Z - 6 F200 ;  
G42 G01 X - 17 Y - 16 D8 ;  
G02 X - 17 Y16 I0 J16 ;  
G02 X17 Y16 I16 J0 ;  
G02 X17 Y - 16 I0 J - 16 ;  
G02 X - 17 Y - 16 I - 16 J0 ;  
G01 X - 17 Y - 80 ;  
G01 X - 50 Y0 ;  
G02 X - 46.781 Y16.074 R35 ;  
G02 X - 32.046 Y18.258 R10 ;  
G03 X - 26.447 Y17.848 R5 ;  
G02 X - 15.000 Y20.308 R19 ;  
G03 X - 10.000 Y25.308R10 ;  
G01 X - 10.000 Y30.000 ;  
G02 X - 5.000 Y35.000 R5 ;  
G01 X15.000 Y35.000 ;  
G02 X15.000 Y - 35.000 R35 ;  
G01 X - 15.000 Y - Y35.000 ;  
G02 X - 10.000 Y - 30.000 ;  
G01 X - 10.000 Y - 25.308 ;  
G03 X - 15.000 Y - 16.074 R5 ;  
G02 X - 26.447 Y - 20.308 R19 ;  
G03 X - 32.046 Y - 18.258 R5 ;  
G02 X - 46.781 Y - 16.074 R10 ;  
G03 X - 50.000 Y0R35 ;  
G01 X - 50.000 Y50.000 ;  
G40 ;

T06 号刀 铣凸台

延切向入口

延切向出口

G44G01 250 F500 ;

G0 7X0 Y0 ;

M05 M09 ;

T7 ;

T07 号刀 ,钻孔

M06 ;

G54 ;

S800 M03 ;

G43 G00 230 D9 ;

M08 ;

G98 G83 X - 37.66 Y - 10.57 Z2 122 J4 F44 ;

G01 X37.66 Y - 10.57 ;

X - 37.66 Y - 10.57 ;

G44 G80 ;

G00 X0 Y0 ;

M05 M09 ;

T8 ;

T08 号刀 ,铰孔

M06 ;

G54 ;

530 M03 ;

G43 G00 230 D10 ;

M08 ;

G98 G85X - 37.66 Y - 10.57 Z2 122 F5 ;

G01 X37.66 Y - 10.57 ;

G80 ;

G44 ;

G01 220 ;

G01 X0 Y0 ;

M05 M09 ;

T9 ;

T09 号刀 ,铹孔

M06 ;

G54 ;

530 M03 ;

G43 G00 Z30 D11 ;

M08 ;

G98 G81X - 17 Y0 Z2 18 F45 ;

G01 X17 Y0 ;

G44 G80 ;

G01 Z20 ;

G00 X0 Y0 ;

M05 M09 ;

T10 ;

T10 号刀 攻丝

M06 ;

G54 ;

S450 M03 ;

G43 G00 Z30 D12 ;

M08 ;

G98 G84 X0 Y17 Z2 125 K2 R0 F200 ;

G01 X0 Y - 17 ;

G80 ;

G44 ;

M05 M09 ;

G00 Z50 ;

G00 X0 Y0 ;

T13 ;

T13 号刀( 铰孔 )

M06 ;

G54 ;

S30 M03 ;

G43 G00 Z30 D13 ;

M08 ;

G98 G85 X0 Y17 Z2 125 J5 F5 ;

G01 X0 Y - 17 ;

G80 ;

M05 M09 ;

G44 G00 Z20 ;

G00 X0 Y0 ;

T14 ;

T14 号刀 铣内孔

M06 ;

G54 ;

S500 M03 ;

G43 G00 Z30 D14 ;

G01 X17 Y0 F58 ;

M08 ;

G01 Z - 6 ;

G42 G01 X8 Y0 D14

G02 X8 Y0 19 J0 ;

G01 Z20 ;

G01 X - 17 Y0 ;

G01 Z - 6 ;

G42 G01 X - 26 Y0 D14 ;

G02 X - 26 Y0 19 J0 ;

G40 G01 X - 17 Y0 ;

G44 G00 Z20 ;

G00 X0 Y0 ;

M05 M09 ;

主轴停止

M30 ;

程序结束

以下操作步骤同凸轮加工。

...

....

以上加工实例,是油泵零件,材料为铸铁件,在实际加工中,一些外形表面和轮廓是不需要加工的,但为了能够充分掌握加工中心的编程与操作,外形和内表面都进行了加工,毛坯材料选择 45 钢,尺寸大小为 100mm × 80mm × 30mm。需要注意的是,实例的程序适合于 FAGOR 8055 系统,如果是 FANUC 系统,只需改变一些指令也可进行加工,例如 G44 改成 G49,长度补偿由 D 换成 H 等。

### 2.3 拐臂加工

拐臂在机械传动中是常用的零件之一,由于零件形状不规则,在普通机床上加工比较困难,在加工中心进行加工,能够获得较高的定位精度。

图 4-11 所示为拐臂零件。材料为 45 钢,批量生产。

#### (1) 工艺分析

此零件加工中需要保证的精度是孔之间的位置精度,以及孔的精度。由于是批量生产,在孔加工时,可以设计专用夹具。加工轮廓时,采用底面和两孔定位。

#### (2) 刀具参数(略)

#### (3) 加工路线

零件加工顺序:铣底面→钻定位孔→钻安装孔→钻销孔→镗安装孔→铰销孔→铣上面→铣轮廓→倒角。

#### (4) 编写程序

根据工艺分析和加工顺序,在加工底面和孔加工时,坐标原点  $X_0$ 、 $Y_0$  设在安装孔的中心, $Z_0$  点设在下表面。在加工上面和轮廓时,坐标原点  $X_0$ 、 $Y_0$  设在安装孔的中心, $Z_0$  点设在上表面。编程原点确定后,编程坐标、对刀位置与工件坐标原点重合,对刀方法可根据机床选择,这里选用手动对刀。具体程序如下。

P600006

G90 G17 G - 40 G44 G80 M09 ;

T1 D1 ;

T01 号刀(加工底面)

.....



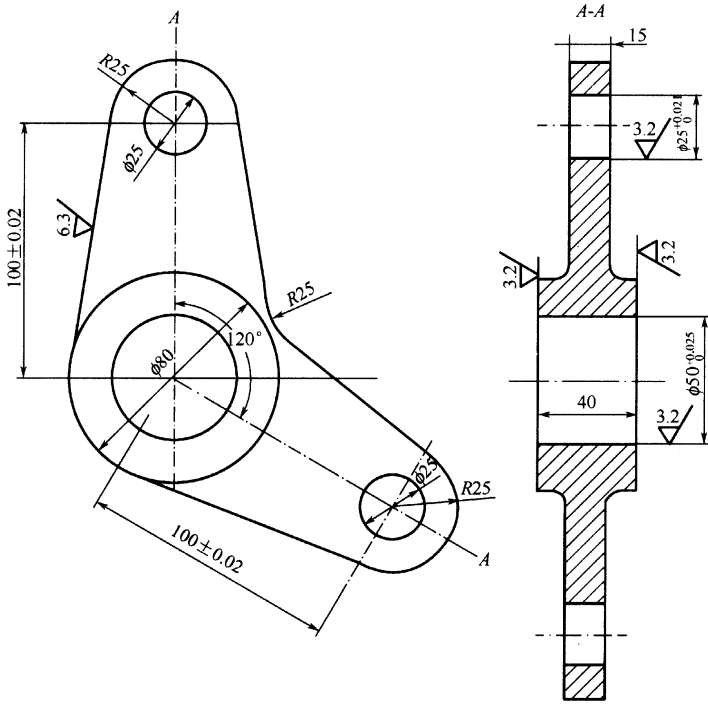


图 4-11 拐臂零件

T2 D2 ;	T02 号刀( 钻定位孔 )
M06 ;	
G54 ;	建立工件坐标系
S900 M03 ;	
G43 G00 Z5 D2 ;	
M08 ;	
G.98 G-81 XO YO Z2 13 F80 ;	定位并定义固定循环
X0 Y100 ;	
X84.419 Y-49.979 ;	
G80 ;	
M05 M09 ;	
G44 G00 Z20 ;	
G00 XO YO ;	
T3 ;	T03 号刀( 钻安装孔 )
M06 ;	
G54 ;	
S450 M03 ;	
G43 G00 Z30 D3 ;	



```
G44 G00 Z20 ;
G00 X0 Y0 ;
M05 M09 ;
M30 ;
P600007
G90 G17 G40 G44 G80 M09 ;
T1 D1 ;                               T01 号刀(加工上面)
.....
T7 D7 ;                               T07 号刀(加工轮廓)
M06 ;
G54 ;
S220 M03 ;
G43 G00 Z30 D7 ;
M08 ;
G00 X - 40 Y - 50 ;
G01 Z - 20 F44 ;
G41 G01 X - 40 Y0 D7 ;
G02 X - 38.240 Y11.736 R40 ;
G01 X - 25 Y100 ;
G02 X25 Y100 R25 ;
G01 X36.348 Y30.236 ;
G03 45.972 Y14.398 R25 ;
G01 102.857 Y - 31.142 ;
G02 X78.352 Y - 7 3.642 R25 ;
G01 X - 16.977 Y - 36.218 ;
G02 X - 40 Y0 R40 ;
G01 X - 40 Y40 ;
G40 ;
G44 ;
.....
M05 M09
M30
```

其他步骤与前面实例基本相同在此省略。读者可根据上面几个加工实例,结合自己使用的机床或所熟悉的数控系统进行加工编程训练。