

## 第二章 数控刀具

### 第一节 数控刀具的种类及特点

#### 一、数控刀具的种类

数控机床加工时都必须采用数控刀具,数控刀具主要是指数控车床、数控铣床、加工中心等机床上所使用的刀具。从现实情况看,应从广义上来理解“数控机床刀具”的含义。随着数控机床结构、功能的发展,现在数控机床所使用的刀具,不是普通机床所采用的那样“一机一刀”的模式,而是多种不同类型的刀具同时在数控机床的主轴上(刀盘上)轮换使用,可以达到自动换刀的目的。因此对“刀具”的含义应理解为“数控工具系统”。数控刀具按不同的分类方式可分成几类。

##### 1. 数控刀具从结构上可分为

###### (1)整体式

由整块材料磨制而成,使用时可根据不同用途将切削部分修磨成所需要形状。

###### (2)镶嵌式

它分为焊接式和机夹式。机夹式又根据刀体结构的不同,可分为不转位和可转位两种。

###### (3)减振式

当刀具的工作臂长度与直径比大于4时,为了减少刀具的振动,提高加工精度,所采用的一种特殊结构的刀具,主要用于镗孔。

###### (4)内冷式

刀具的切削冷却液通过机床主轴或刀盘传递到刀体内部由喷孔喷射到切削刃部位。

###### (5)特殊形式

包括强力夹紧、可逆攻丝、复合刀具等。

目前数控刀具主要采用机夹可转位刀具。

##### 2. 数控刀具从制造所采用的材料上可分为

- (1) 高速钢刀具
- (2) 硬质合金刀具
- (3) 陶瓷刀具
- (4) 立方氮化硼刀具
- (5) 聚晶金刚石刀具

目前数控机床用得最普遍的是硬质合金刀具。

### 3. 数控刀具从切削工艺上可分为

#### (1) 车削刀具

有外圆车刀、端面车刀和成形车刀等。

#### (2) 钻削刀具

有普通麻花钻、可转位浅孔钻、扩孔钻等。

#### (3) 镗削刀具

有单刃镗刀、双刃镗刀、多刃组合镗刀等。

#### (4) 铣削刀具

分面铣刀、立铣刀、键槽铣刀、模具铣刀、成形铣刀等刀具。

4. 根据数控机床工具系统的发展,可分为整体式工具系统和模块化式工具系统。发展模块化工具的主要优点是:

- (1) 减少换刀时间和刀具的安装次数,缩短生产周期,提高生产效率。
- (2) 促使工具向标准化和系列化发展。
- (3) 便于提高工具的生产管理及柔性加工的水平。
- (4) 扩大工具的利用率,充分发挥工具的性能,减少用户工具的储备量。

工具系统的发展明显地趋向模块化,目前的数控工具逐渐形成了两大系统,即车削工具系统和镗铣类工具系统。国际上有一种将车削工具系统与镗铣类工具系统合为一体的模块化连接系统。

## 二、数控刀具的特点

近几年来,数控机床的制造及使用已有很大的发展。为适应数控机床加工精度高、加工效率高、加工工序集中及零件装夹次数少等要求,数控机床对所用的刀具有许多性能上的要求,只有达到这些要求才能使数控机床真正发挥效率。在数控机床上所使用刀具应具有以下特点。

### 1. 刀具具有很高的切削效率

由于所使用的机床设备价格昂贵,希望提高加工效率。机床向高速、高刚度和大功率发展,车床和车削中心的主轴转速都在 $8\ 000\text{r}/\text{min}$ 以上,加工中心的主轴转速一般都在 $15\ 000\sim 20\ 000\text{r}/\text{min}$ ,还有 $40\ 000\text{r}/\text{min}$ 和 $60\ 000\text{r}/\text{min}$ 的。预测硬质合金刀具的切削速度将由 $200\sim 300\text{m}/\text{min}$ 提高到 $500\sim 600\text{m}/\text{min}$ ,陶瓷刀具的切削速度将提高到 $800\sim 1\ 000\text{m}/\text{min}$ 。

因此,现代刀具必须具有能够承受高速切削和强力切削的性能。一些发达工业国家在数控机床上使用涂层硬质合金刀具、超硬刀具和陶瓷刀具所占的比例不断增加。据报道,在美国数控机床上陶瓷刀具应用的比例已达 20%,涂层硬质合金刀具已达 40%。现在辅助工时因自动化而大大减少,刀具切削效率的提高,将使产量提高并明显降低成本。因此在数控加工中应尽量使用优质高效刀具。

## 2. 数控刀具有高的精度和重复定位精度

现在高精密加工中心,加工精度可以达到  $3 \sim 5 \mu\text{m}$ ,因此刀具的精度、刚度和重复定位精度必须和这样高的加工精度相适应。另外,刀具的刀柄与快换夹头间或与机床锥孔间的连接部分有高的制造、定位精度。所加工的零件日益复杂和精密,这就要求刀具必须具备较高的形状精度。国外研制的用于数控车床不需要预调的精化刀具,其刀尖的位置精度要求很高,见图 2-1。对数控机床上所用的整体式刀具也提出了较高的精度要求,有些立铣刀其径向尺寸精度高达  $5 \mu\text{m}$ ,以满足精密零件的加工需要。

## 3. 要求刀具有很高的可靠性和耐用度

在数控机床上为了保证产品质量,对刀具实行强迫换刀制或由数控系统对刀具寿命进行管理,所以,刀具工作的可靠性已上升为选择刀具的关键指标。数控机床上所用的刀具为满足数控加工及对难加工材料加工的要求,刀具材料应具有高的切削性能和刀具耐用度。不但其切削性能要好,而且一定要性能稳定,同一批刀具在切削性能和刀具寿命方面不得有较大差异,以免在无人看管的情况下,因刀具先期磨损和破损造成加工工件的大量报废甚至损坏机床。

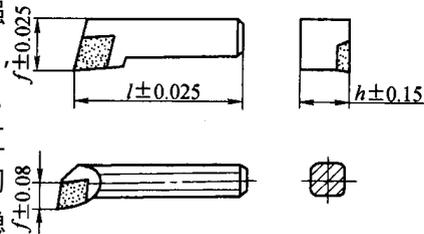


图 2-1 精化刀具

## 4. 实现刀具尺寸的预调和快速换刀

刀具结构应能预调尺寸,以能达到很高的重复定位精度。如果数控机床采用人工换刀,则使用快换夹头。对于有刀库的加工中心,则实现自动换刀。

## 5. 具有一个比较完善的工具系统

模块式工具系统能更好地适应多品种零件的生产,且有利于工具的生产、使用和管理,能有效地减少使用厂的工具备备。配备完善的、先进的工具系统是用好数控机床的重要一环。

## 6. 建立刀具管理系统

在加工中心和柔性制造系统出现后,刀具管理相当复杂。刀具数量大,要对全部刀具进行自动识别、记忆其规格尺寸、存放位置、已切削时间和剩余切削时间等。还需要管理刀具的更换、运送,刀具的刃磨和尺寸预调等。

## 7. 应有刀具在线监控及尺寸补偿系统

以解决刀具损坏时能及时判断、识别并补偿,防止工件出现废品和意外事故。

## 第二节 数控刀具材料

对于切削加工来说,数控机床的一次性投资是很高的,而这些先进设备的效率能否发挥出来,很大程度上取决刀具材料及其性能的好坏。随着制造技术的发展,开发大量新的工具材料,对提高切削加工的效率起着决定性的作用。

刀具材料从碳素工具钢的淬火,高速钢的问世,直至今天的硬质合金和超硬材料(陶瓷、立方氮化硼、聚晶金刚石)的出现,都是随着机床的主轴转速、功率增大,主轴精度和定位精度的提高,机床刚性的增加而逐步发展的。同时还要面对新的工程材料(耐磨、耐热、超轻、高强度、纤维等)的开发和应用,其目的是要在保证被加工件的精度和质量的前提下,提高单位时间内的切削量,即机床与工具这一系统工程中的总体效益。

### 一、切削用刀具材料应具备的性能

切削用刀具材料应具备的性能见表 2-1。

表 2-1 切削用刀具材料应具备的性能

希望具备的性能	作为刀具使用时的性能	希望具备的性能	作为刀具使用时的性能
高硬度(常温及高温状态)	耐磨损性	化学稳定性良好	抗氧化性,耐扩散性
高韧性(抗弯强度)	耐崩刃性,耐破损性	低亲和性	耐溶着、凝着(粘刀)性
高耐热性	耐塑性变形性	磨削成形性能良好	刀具制造的高生产率,重磨性
热传导能力良好	耐热冲击性,耐热裂纹性	锋刃性良好	刃口锋利,表面质量好,微小切削可能

### 二、各种刀具材料

现今所采用的刀具材料,大体上可分为五大类:

- (1) 高速钢(Hig speed steel)
- (2) 硬质合金(Cemented carbide)
- (3) 陶瓷(Ceramics)
- (4) 立方氮化硼(Cubi boron nitride, CBN)
- (5) 聚晶金刚石(Poiymerize crystal diamond, PCD)

## 1. 高速钢

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,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

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,由德国的 Krupp 公司于 1926 年发明,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之中显示出极好的性能。于是,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,硬质合金刀片材料大致分为 P、M、K 三大类。

### (1) K 类

国家标准 YC 类,成分为 WC + Co,适于加工短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料。主要成分为碳化钨和 3~10% 钴,有时还含有少量的碳化钽等添加剂。

### (2) P 类

国家标准 YT 类,成分为 WC + TiC,适于加工长切屑的黑色金属。主要成分为碳化钨、碳化钨和钽(或镍),有时加入碳化钽等添加剂。

### (3) M 类

国家标准 YW 类,成分为 WC + TiC + TaC,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,可以认为从属于 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,大多只使用于钻、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 等数字更进一步细分。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 2-2 中大致显示了硬质合金刀具的成分及其物理性质。按照目前 ISO 标准的分类,将世界上主要的硬质合金牌号分列于表 2-2。

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而又不易破损的性能。英文名称为 Coated tool。

涂层的方法分为两大类,一类为物理涂层(PVD);另一类为化学涂层(CVD)。一般来说,物理涂层是在 550℃ 以下将金属和气体离子化后喷涂在工具表面,而化学涂层则是

将各种化合物通过化学反应沉积在工具上形成表面膜,反应温度一般都在 1 000 ~ 1 100℃ 左右。最近低温化学涂层也已实用化,温度一般控制在 800℃ 左右。

表 2-2 硬质合金刀具的成分及其物理性质

ISO 分类		成分(质量分数) / %			密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	硬度 HV30 ( $\times 10\text{MPa}$ )	抗弯强度 /MPa	抗压强度 /MPa	弹性模量 /GPa	热膨胀系数 ( $\times 10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}$ )	热导率 ( $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ )
		WC	TiC + TaC	Co							
P 类	P10	63	28	9	10.7	1 600	1 300	4 600	530	6.5	29.3
	P20	76	14	10	11.9	1 500	1 500	4 800	540	6	33.49
	P30	82	8	10	13.1	1 450	1 750	5 000	560	5.5	58.62
	P40	75	12	13	12.7	1 400	1 950	4 900	560	5.5	58.62
	P50	68	15	17	12.5	1 300	2 200	4 000	520	—	—
M 类	M10	84	10	6	13.1	1 700	1 350	5 000	580	5.5	50.24
	M20	82	10	8	13.4	1 550	1 600	5 000	570	5.5	62.8
	M30	81	10	9	14.4	1 450	1 800	4 800	—	—	—
	M40	79	6	15	13.6	1 300	2 100	4 400	540	—	—
K 类	K01	92	4	4	15.0	1 800	1 200	—	—	—	—
	K10	92	2	6	14.8	1 650	1 500	5 700	630	5	79.55
	K20	92	2	6	14.8	1 550	1 700	5 000	620	5	79.55
	K30	89	2	9	14.4	1 400	1 900	4 700	580	—	71.18
	K40	88	—	12	14.3	1 300	2 100	4 500	570	5.5	58.82

注:表内数据系平均值,不同厂家生产的硬质合金数据可能相差很大。

表 2-3 世界主要的硬质合金牌号

ISO	国家标准 YB	株洲 基本型	山特维克 基本型	肯纳	东芝	三菱	黛杰 工业	山高 工具	
P	01	YT30		S1P	K165	TX05	NX33	SRN	S1F
	10	YT15	YC10	S10	K5H K45	TX10D TX10S	ST <sub>1</sub> 10T	SR10 SRT	S10M
	20	YT14	YC20.1	SMA	K29 K45	TX20 TX25	ST <sub>2</sub> 20	SRT ,SR20 DX30	S25M
	30	YT5	YC30 YC30S	SM30 SMA	K21 KM	TX30 UX30		SR30 ,DX30 DX25	S35M
	40		YC40	S6 ,R4 SMA	K420 K420	TX40		SR30 ,DX35	S60M
M	10	YW1	YM10	R1P	K68 K313	TU10		UMN UN10	S10M
	20	YW2	YM20	H13A	K313 K420 ,K40	TU20 UX25	UT <sub>2</sub> 20T	DX25 UM20 ,DTU	H15 S25M
	30		YM30	H10F	K420 K2S	UX30	UT20T	DX3 ,DTU UMS	HX S35M
	40			R4		TU40		UM40	S60M

ISO	国家标准 YB	株洲 基本型	山特维克 基本型	肯纳	东芝	三菱	黛杰 工业	山高 工具	
K	01	YG3		HIP		TH03	HT <sub>1</sub> 05T	KG03	
	10	YG6 X	YD10.1 YD10.2	H10A HIP	K68 ,K6 K313	TH10 G1F	HT <sub>1</sub> 10	KG10 , KT9CR1	H15 890
	20	YG6	YD20	H13A	K1	G2F KS20	HT <sub>1</sub> 20T	KT9 ,CR1 KG20	883 HX
	30	YG8			K1	G3		KG30 ,LF12	

常见的涂层材料有 TiC、TiN、TiCN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ti<sub>1</sub>Al<sub>10</sub>x 等陶瓷材料。由于这些陶瓷材料都具有耐磨损(硬度高)、耐化学反应(化学稳定性好)等性能,所以就硬质合金的分类来看,既具备 K 类的功能,也能满足 P 类和 M 类的加工要求。也就是说,尽管涂层硬质合金刀具基体是 P、M、K 中的某一类,而涂层之后其所能覆盖的种类就相当广了,既可以属于 K 类,也可以属于 P 类和 M 类。故在实际加工中对涂层刀具的选取不应拘泥于 R(YT) \ M(YW) \ K(YC) 等划分,而是应该根据实际加工对象、条件以及各种涂层刀具的性能进行选取。

从使用的角度来看,希望涂层的厚度越厚越好。但涂层厚度一旦过厚,则易引起剥离而使涂层工具丧失本来的功效。一般情况下,用于连续高速切削的涂层厚度为 5~15μm,多为 CVD 法制造。在冲击较强的切削中,特别要求涂膜有较高的附着强度以及涂层对工具的韧性不产生太大的影响,涂层的厚度大多控制在 2~3μm 左右,且多为 PVD 涂层。

涂层刀具的使用范围相当广,从非金属、铝合金到铸铁、钢以及高强度钢、高硬度钢和耐热合金、钛合金等难加工材料的切削均可使用,且普遍较硬质合金的性能要好。

目前,最先进的涂层技术也称 ZX 技术,是利用纳米技术和薄膜涂层技术,使每层膜厚为 1 nm 的 TiN 和 AlN 超薄膜交互重叠约 2000 层进行蒸着累积而成,在世界上首次实现将其实用化,这是继 TiC、TiN、TiCN 后的第四代涂层。它的特点是远比以往的涂层硬,接近 CBN 的硬度,寿命是一般涂层的 3 倍,大幅度提高耐磨损性,产品应用更加广泛,是有发展前途的刀具材料。

### 3. 陶瓷(Ceramics)

以陶瓷作为切削工具从 20 世纪 30 年代就开始被研究。陶瓷刀具基本上由两大类组成:一类为纯氧化铝类(白色陶瓷),另一类为 TiC 添加类(黑色陶瓷);另外还有在 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中添加 SiC(晶须)、ZrO<sub>2</sub>(青色陶瓷)来增加韧性的,以及以 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 为主体的陶瓷刀具。

陶瓷材料具有高硬度,高温强度高(约 2 000℃ 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 900 MPa 以上。

一般来说,陶瓷刀具相对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,例如铸铁的高速加工。另外,陶瓷的热传导率相对硬质合金来说非常低,是现有工具材料中最低的一种,故在切削加工中加工热容易被积蓄,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,且切削温度亦较高。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而自然遇到了韧性问题。金属陶瓷就是为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,在一般刀具材料中可谓精加工用的佼佼者。但由于韧性差大大限制了它的使用范围。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,因而得到广泛的运用。日本黛杰(DLJET)公司新近推出通用性更为优良的CX系列金属陶瓷,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,此工具由美国GE公司研制开发。它的硬度略逊于金刚石,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,热传导率高,在大气中加热至1300℃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系金属最硬的一种刀具材料。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可能。硬度60~65HRC、70HRC的淬硬钢等高硬度材料均可采用CBN刀具来进行切削。所以,在很多场合都以CBN刀具进行切削来取代迄今为止只能采用磨削来加工的工序,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以下采用涂层硬质合金,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。其原因一般认为在切削过程中,刃口表面会形成 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 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℃以上)、高压下烧结成形的PCD刀具,使其得到了广泛的使用。

金刚石刀具与铁系金属有极强的亲和力,切削中刀具中的碳元素极易发生扩散而导致磨损。但与其他材料的亲和力很低,切削中不易产生粘刀现象,切削刃口可以磨得非常锋利。所以它只适用于高效地加工有色金属和非金属材料,能得到高精度、高光亮的加工面。特别是PCD刀具消除了金刚石的性能异向性,使其在高精加工领域中得到了普及。

金刚石在大气中温度超过 600℃ 时将被碳化而失去其本来面目,故金刚石刀具不宜用于可能会产生高温的切削中。

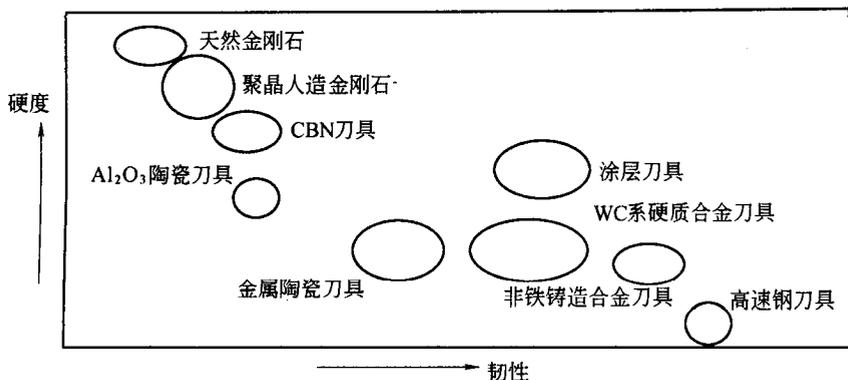


图 2-2 刀具材料的硬度与韧性的关系

上述五大类刀具材料,从总体上分析,材料的硬度、耐磨性,金刚石最高,递次降低到高速钢。而材料的韧性则是高速钢最高,金刚石最低。下图中显示了目前实用的各种刀具材料根据硬度和韧性排列的大致位置。涂层刀具材料具有较好的实用性能,也是将来能使硬度和韧性并存的手段之一。在数控机床中,采用最广泛的是硬质合金类。因为这类材料目前从经济性、适应性、多样性、工艺性等各方面,综合效果都优于陶瓷、立方氮化硼、聚晶金刚石。

## 第三节 数控刀具的失效形式及可靠性

### 一、数控刀具的失效形式及对策

在切削过程中,刀具磨损到一定程度,刀刃崩刃或破损,刀刃卷刃(塑变)时,刀具丧失其切削能力或无法保障加工质量,称之为刀具失效。刀具破损的主要形式及产生原因和对策如下:

#### 1. 后刀面磨损

由机械应力引起的出现在后刀面上的摩擦磨损。

由于刀具材料过软,刀具的后角偏小,加工过程中切削速度太高,进给量太小,造成后刀面磨损过量,使得加工表面尺寸精度降低,增大摩擦力。应该选择耐磨性高的刀具材料,同时降低切削速度,提高进给量,增大刀具后角。这样才能避免或减少后刀面磨损现象的发生。

#### 2. 边界磨损

主切削刃上的边界磨损常见于与工件的接触面处。

主要原因是工件表面硬化、锯齿状切屑造成的摩擦,影响切屑的流向并导致崩刀。只有降低切削速度和进给速度,同时选择耐磨刀具材料并增大前角使切削刃锋利。

### 3. 前刀面磨损(月牙洼磨损)

在前刀面上由摩擦和扩散导致的磨损。

前刀面磨损主要由切屑和工件材料的接触以及对发热区域的扩散引起。另外刀具材料过软,加工过程中切削速度太高,进给量太大,也是前刀面磨损产生的原因。前刀面磨损会使刀具产生变形、干扰排屑、降低切削刃强度。主要采用降低切削速度和进给速度,同时选择涂层硬质合金材料,可以减少前刀面的磨损。

### 4. 塑性变形

切削刃在高温或高应力作用下产生的变形。

切削速度、进给速度太高以及工件材料中硬质点的作用,刀具材料太软和切削刃温度很高等现象是产生塑性变形的主要原因。它将影响切屑的形成质量,有时也可导致崩刀。可以采取降低切削速度和进给速度,选择耐磨性高和导热系数高的刀具材料等对策,以减少塑性变形磨损的产生。

### 5. 积屑瘤

工件材料在刀具上的粘附。

积屑瘤降低加工表面质量并会改变切削刃形状最终导致崩刀。采取的对策有提高切削速度,选择涂层硬质合金或金属陶瓷等与工件材料亲和力小的刀具材料,并使用冷却液。

### 6. 刃口剥落

切削刃上出现一些很小的缺口,而非均匀的磨损。

主要由于断续切削,切屑排除不流畅造成。应该在开始加工时降低进给速度,选择韧性好的刀具材料和切削刃强度高的刀片,就可以避免刃口剥落现象的产生。

### 7. 崩刀

崩刀将损坏刀具和工件。

主要原因是刃口的过度磨损和较高的应力,也可能由于刀具材料过硬,切削刃强度不够及进给量太大造成。应选择韧性好的合金材料,加工时减小进给量和切削深度,另外选用高强度或刀尖圆角较大的刀片。

### 8. 热裂纹

由于断续切削时温度变化产生的垂直于切削刃的裂纹。

热裂纹可降低工件表面质量并导致刃口剥落,应选择韧性好的合金材料,同时减小进给量和切削深度,并进行干式冷却或在湿式切削时有充足的冷却液。

## 二、刀具失效在线监测方法

在数控加工中,进行刀具失效的在线监测,可及时发出警报、自动停机并自动换刀,避免刀具的早期磨损或破损导致工件报废,防止损坏机床,减少废品的产生。

近年来国内外在刀具失效的在线监测方面做了大量的工作,发展了不少新的检测预报方法,有些方法已开始应用于生产。刀具失效的在线监测方法很多,有直接检测和间接检测,有连续检测和非连续检测。在刀具切削过程中进行连续检测,能及时发现刀具损坏,但不少刀具很难实现在线连续检测,而在刀具非工作时间容易检测,因此需要根据具体情况选择合适的刀具失效的在线监测方法。表 2-4 给出了当前刀具磨损破损检测方法,检测的特征量和所使用的传感器及应用场合。刀具磨损失效的在线监测是一项正在研究发展中的技术。

表 2-4 刀具磨损破损检测方法

检测方法		信号	特征量或处理方法	使用传感器	应用场合
直接检测	测切削刃形状、位置	光	将摄像机输出的图像数字化,然后进行计算等	工业电视、光传感器等	在线非实时监视多种刀具
间接检测	测切削力	力	切削力变化量或切削分力比率	测力仪	车、钻、镗削
	测电动机功耗	功率电流	主电动机或进给电动机功率、电流变化量或波形变化	功率计电流计	车、钻、镗削等
	测刀杆振动	加速度	切削过程中的振动振幅变化	加速度计	车、铣削等
	测声发射	声发射信号	刀具破损时声发射信号特征分析	声发射传感器	车、铣、钻、拉、镗、攻丝
	测切削温度	温度	切削温度的突发增量	热电偶	车削
	测工件质量	尺寸变化、表面粗糙度变化	加工表面粗糙度变化、工件尺寸变化	测微仪、光、气、液压传感器等	各种切削工艺

## 三、数控刀具可靠性

提高刀具的可靠性,是数控加工对刀具最突出的要求。到目前为止,我国的刀具标准中只规定刀具的技术性能指标,而没有提出可靠性要求。由于材料性能的分散,制造工艺条件控制不严,有相当比例的刀具性能远低于平均性能,可靠性差。这不能适应现代技术发展的要求,更不能适应数控加工的要求。

使用刀具的首要问题是刀具的使用寿命(耐用度),它限制了切削用量的提高,限制了生产率的提高。由于刀具材料和工件材料性能的分散性,刀具制造工艺和工作条件的随机性,刀具耐用度有很大的随机性和分散性。所谓“刀具可靠性”是指刀具在规定的切削条件和时间内,完成额定工作的能力。刀具可靠性既有一定的平均数量特性,又有随机性的特点。因此研究刀具可靠性都采用数理统计和概率分析方法,通常用“可靠度”或“可靠耐用度”来作为刀具可靠性的评价指标。

刀具可靠度是指刀具在规定的切削条件和时间内,能完成额定工作的概率,也就是刀具在已确定工作条件和切削规范下能完成预定的切削时间(耐用度)而刀具未损坏的概率。常用  $R(t)$  来表示刀具的可靠度,用  $F(t)$  表示相应的刀具损坏概率或不可靠度,有

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2-1)$$

刀具的可靠耐用度  $t_r$  是指刀具能达到规定的可靠度  $r$  时的耐用度(切削时间),即  $R(t_r) = r$ ,常用  $t_r$  来表示刀具的可靠耐用度。

$$t_r = R^{-1}(r) \quad (2-2)$$

对于多刃刀具,只要有一齿损坏就认为刀具损坏,所以多齿刀具的可靠度  $R_A(t)$  低于单齿刀具的可靠度,表示为

$$R_A(t) = [R(t)]^Z \quad (2-3)$$

使用上述公式可以进行刀具可靠度的评价和计算。

现在生产中刀具可靠耐用度的制定,大多数是根据过去长期生产积累的统计资料数据,初步确定某一可靠度和可靠耐用度,到时强制换刀,进行生产验证,再进行修改,最终确定实际采用的可靠耐用度。

## 第四节 数控可转位刀片

### 一、可转位刀片代码

从刀具的材料应用方面,数控机床用刀具材料主要是各类硬质合金。从刀具的结构方面,数控机床主要采用镶嵌式机夹可转位刀片的刀具。因此对硬质合金可转位刀片的运用是数控机床操作者必须了解的内容之一。

选用机夹式可转位刀片,首先要了解可转位刀片型号表示规则、各代码的含义。按国际标准 ISO1832—1985,可转位刀片的代码表示方法是由 10 位字符串组成的,其排列如下:

1	2	3	4	5	6	7	8	—	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

其中每一位字符串代表刀片某种参数的意义:

1——刀片的几何形状及其夹角。

2——刀片主切削刃后角(法后角)。

- 3——公差 表示刀片内接圆  $d$  与厚度  $s$  的精度级别。
- 4——刀片形式、紧固方法或断屑槽。
- 5——刀片边长、切削刃长。
- 6——刀片厚度。
- 7——修光刀 刀尖圆角半径  $r$  或主偏角  $K_r$  或修光刃后角  $\alpha_n$ 。
- 8——切削刃状态 尖角切削刃或倒棱切削刃。
- 9——进刀方向或倒刃宽度。
- 10——各刀具公司的补充符号或倒刃角度。

在一般情况下第 8 和 9 位的代码,在有要求时才填写。此外,各公司可以另外添加一些符号,用破折号将其与 ISO 代码相连接(如 - PF 代表断屑槽型)。可转位刀片用于车、铣、钻、镗等不同的加工方式,其代码的具体内容也略有不同,附表(见书后插页)是车刀可转位刀片型号表示规则,每一位字符参数的具体含义可参考各公司的刀具样本。

[例 3-2] 车刀可转位刀片 CNMG120408ENUB 公制型号表示含义

C——80°菱形刀片形状;N——法后角为 0°;N——刀尖转位尺寸允差( $\pm 0.08 \sim \pm 0.18$ )mm,内接圆允差( $\pm 0.05 \sim \pm 0.13$ )mm,厚度允差  $\pm 0.13$  mm;G——圆柱孔双面断屑槽;12——内接圆直径 12;04——厚度 4.76mm;08——刀尖圆角半径 0.8mm;E——倒圆刀刃;N——无切削方向;UB——半精加工。

## 二、可转位刀片的断屑槽槽型

为满足切削能断屑、排屑流畅、加工表面质量好、切削刃耐磨等综合性要求,可转位刀片制成各种断屑槽槽型。目前,我国标准 GB 2080—87 中所表示的槽形为 V 形断屑槽,槽宽为  $V_0 < 1\text{mm}$ 、 $V_1 = 1\text{mm}$ 、 $V_2 = 2\text{mm}$ 、 $V_3 = 3\text{mm}$ 、 $V_4 = 4\text{mm}$  等五种。各刀具制造公司都有自己的断屑槽槽型,选择具体断屑槽代号可参考各公司刀具样本。例如,日本三菱公司提供的根据被加工材料的不同性质及切削范围,提供最适合车削加工的断屑槽类型。

## 三、可转位刀片的夹紧方式

可转位刀片的刀具由刀片、定位元件、夹紧元件和刀体所组成,为了使刀具能达到良好的切削性能,对刀片的夹紧方式有如下基本要求:

- (1) 夹紧可靠,不允许刀片松动或移动。
- (2) 定位准确,确保定位精度和重复精度。
- (3) 排屑流畅,有足够的排屑空间。
- (4) 结构简单,操作方便,制造成本低,转位动作快,缩短换刀时间。

常见的可转位刀片的夹紧方式有以下几种:

通常采用杠杆式、楔块上压式、螺钉上压式等多种方式。图 2-3 列举了各种夹紧方

式以满足不同的加工范围。为给定的加工工序选择最合适的夹紧方式,已将它们按照适应性分为1至3个等级,其中3级表示最合适的选择,参见表2-5。

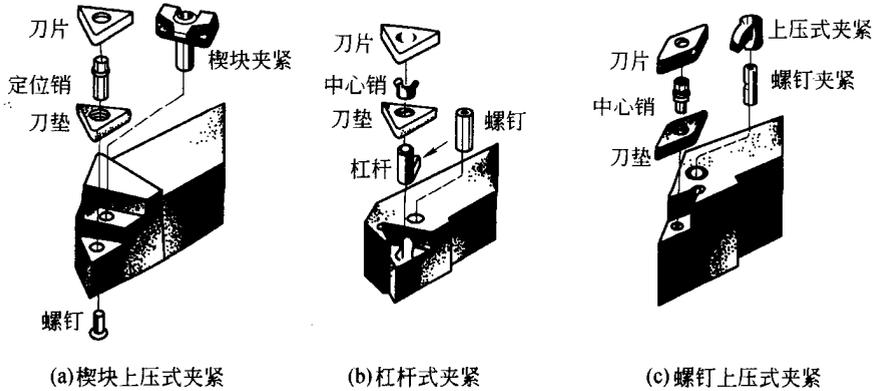


图 2-3 夹紧方式

表 2-5 各种夹紧方式最合适的加工范围

夹紧方式	杠杆式	楔块上压式	螺栓上压式
加工范围			
可靠夹紧/紧固	3	3	3
仿形加工/易接近性	2	3	3
重复性	3	2	3
仿形加工/轻负荷加工	2	3	3
断续加工工序	3	2	3
外圆加工	3	1	3
内圆加工	3	3	3

## 四、可转位刀片的选择

根据被加工零件的材料、表面粗糙度要求和加工余量等条件来决定刀片的类型。这里主要介绍车削加工中刀片的选择方法,其他切削加工的刀片也可参考。

### 1. 刀片材料选择

车刀刀片的材料主要有高速钢、硬质合金、涂层硬质合金、陶瓷、立方氮化硼和金刚石等。其中应用最多的是硬质合金和涂层硬质合金刀片。选择刀片材料,主要依据被加工

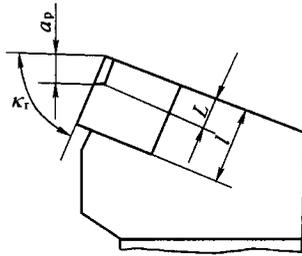


图 2-4 有效切削刃长度  $L$  与背吃刀量  $a_p$ 、主偏角  $k_r$  的关系

工件的材料、被加工表面的精度要求、切削载荷的大小以及切削过程中有无冲击和振动等。

## 2. 刀片尺寸选择

刀片尺寸的大小取决于必要的有效切削刃长度  $L$ ，有效切削刃长度与背吃刀量  $a_p$  和主偏角  $k_r$  有关，如图 2-4 所示。使用时可查阅有关刀具手册选取。

## 3. 刀片形状选择

刀片形状主要依据被加工工件的表面形状、切削方法、刀具寿命和刀片的转位次数等因素来选择。通常的刀尖角度影响加工性能如图 2-5 所示。表 2-6 所示被加工表面及适用从主偏角  $45^\circ$  到  $95^\circ$  的刀片形状。具体使用时可查阅有关刀具手册选取。

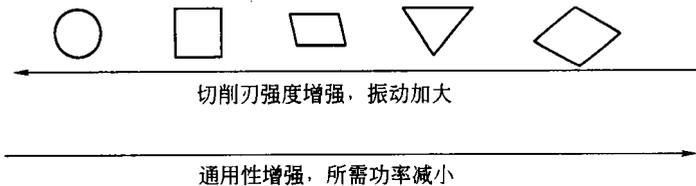
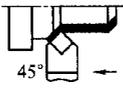
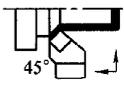
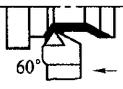
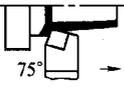
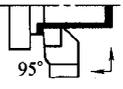
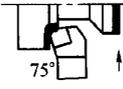
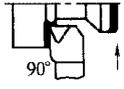
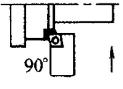
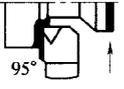
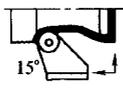
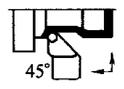
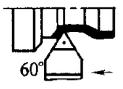
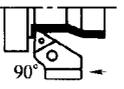


图 2-5 刀尖角度与性能关系

## 4. 刀片的刀尖半径选择

刀尖圆弧半径的大小直接影响刀尖的强度及被加工零件的表面粗糙度。刀尖圆弧半径大，表面粗糙度值增大，切削力增大且易产生振动，切削性能变坏，但刀刃强度增加，刀具前后刀面磨损减少。通常在切深较小的精加工、细长轴加工、机床刚度较差情况下，选用刀尖圆弧较小些；而在需要刀刃强度高、工件直径大的粗加工中，选用刀尖圆弧大些。国家标准 GB 2077—87 规定刀尖圆弧半径的尺寸系列为 0.2 mm、0.4 mm、0.8 mm、1.2 mm、1.6 mm、2.0 mm、2.4 mm、3.2 mm。图 2-6a、图 2-6b 分别表示刀尖圆弧半径与表面粗糙度、刀具耐用度关系。刀尖圆弧半径一般适宜选取进给量的 2~3 倍。

表 2-6 被加工表面与刀片形状

车削外圆表面	主偏角	45°	45°	60°	75°	95°
	刀片形状及加工示意图					
	推荐选用刀片	SCMA SPMR SCMM SNMM-8 SPUN SNMM-9	SCMA SPMR SCMM SNMG SPUN SPGR	TCMA TNMM-8 TCMM TPUN	SCMM SPUM SCMA SPMR SNMA	CCMA CCMM CNMM-7
车削端面	主偏角	75°	90°	90°	95°	
	刀片形状及加工示意图					
	推荐选用刀片	SCMA SPMR SCMM SPUR SPUN CNMG	TNUN TNMA TCMA TPUM TCMM TPMR	CCMA	TPUN TPMR	
车削成形面	主偏角	15°	45°	60°	90°	
	刀片形状及加工示意图					
	推荐选用刀片	RCMM	RNNG	TNMM-8	TNMG	

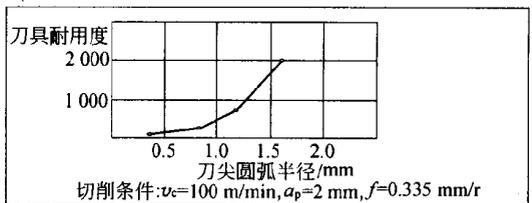
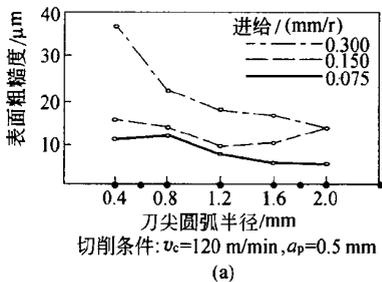


图 2-6 刀尖圆弧半径与表面粗糙度、刀具耐用度关系

## 第五节 数控刀具的选择

数控机床与普通机床相比较,对刀具提出了更高的要求,不仅要精度高、刚性好、装夹调整方便,而且要求切削性能强、耐用度高。因此,数控加工中刀具的选择是非常重要的内容。刀具选择合理与否不仅影响机床的加工效率,而且还直接影响加工质量。选择刀具通常要考虑机床的加工能力、工序内容、工件材料等多种因素。数控机床刀具按装夹、转换方式主要分为两大系统,一种是车削系统,另一种是镗铣削系统。车削系统由刀片(刀具)、刀体、接柄(或柄体)、刀盘所组成。镗铣削系统由刀片(刀具)、刀杆(或柄体)、主轴或刀片(刀具)、工作头、连接杆、手柄、主轴所组成。前种方式为整体式工具系统,后一种方式为模块式工具系统。车削系统的刀具主要是刀片的选取,在上一节可转位刀片的选取中已做介绍,在这一节重点讲述镗铣削系统刀具的选择方法。

### 一、选择数控刀具通常应考虑的因素

随着机床种类、型号、工件材料的不同以及其他因素而得到的加工效果是不相同的。选择刀具应考虑的因素归纳起来应为:

(1)被加工工件的材料及性能

如金属、非金属等不同材料,材料的硬度、耐磨性、韧性等。

(2)切削工艺类别

有车、钻、铣、镗或粗加工、半精加工、精加工、超精加工等。

(3)被加工件的几何形状、零件精度、加工余量等因素。

(4)要求刀具能承受的背吃刀量、进给速度、切削速度等切削参数。

(5)其他因素,如现生产的状况(操作间断时间、振动、电力波动或突然中断)。

### 二、数控铣削刀具的选择

#### (一)铣刀类型的选择

铣刀类型应与被加工工件尺寸与表面形状相适应。加工较大的平面应选择面铣刀;加工凸台、凹槽及平面零件轮廓应选择立铣刀;加工毛坯表面或粗加工孔可选用镶硬质合金的玉米铣刀;曲面加工常采用球头铣刀,但加工曲面较平坦的部位应采用环形铣刀;加工空间曲面、模具型腔或凸模成形表面等多选用模具铣刀;加工封闭的键槽选择键槽铣刀,选用鼓形铣刀、锥形铣刀可加工类似飞机上的变斜角零件的变斜角面。图2-7表示各种数控铣刀的形状。

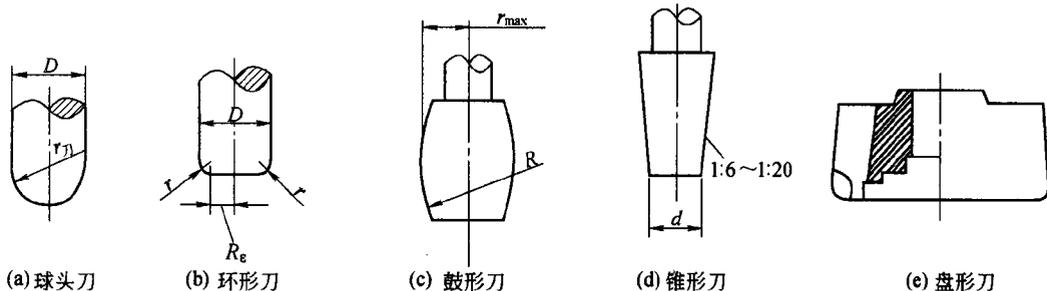


图 2-7 各种数控铣刀的形状

## (二) 铣刀参数的选择

数控铣床上使用最多的是可转位面铣刀和立铣刀,因此,这里重点介绍面铣刀和立铣刀参数的选择。

### 1. 面铣刀主要参数的选择

标准可转位面铣刀直径为  $\phi 16 \sim \phi 630\text{mm}$ 。粗铣时,铣刀直径要小些,因为粗铣切削力大,选小直径铣刀可减小切削扭矩。精铣时,铣刀直径要大些,尽量包容工件整个加工宽度,以提高加工精度和效率,并减小相邻两次进给之间的接刀痕迹。

根据工件的材料、刀具材料及加工性质的不同来确定面铣刀几何参数。由于铣削时有冲击,故前角数值一般比车刀略小,尤其是硬质合金面铣刀,前角要更小些。铣削强度和硬度高的材料可选用负前角。前角的具体数值可参考表 2-7。铣刀的磨损主要发生在后刀面上,因此适当加大后角,可减少铣刀磨损。常取  $\alpha_0 = 5^\circ \sim 12^\circ$ ,工件材料软取大值,工件材料硬取小值,粗齿铣刀取小值,细齿铣刀取大值。铣削时冲击力大,为了保护刀尖,硬质合金面铣刀的刃倾角常取  $\lambda_s = -5^\circ \sim 15^\circ$ 。只有在铣削强度低的材料时,取  $\lambda_s = 5^\circ$ 。主偏角  $k_r$  在  $45^\circ \sim 90^\circ$  范围内选取,铣削铸铁常用  $45^\circ$ ,铣削一般钢材常用  $75^\circ$ ,铣削带凸肩的平面或薄壁零件时要用  $90^\circ$ 。

表 2-7 面铣刀前角的选择

工件材料 刀具材料	钢	铸铁	黄铜、青铜	铝合金
高速钢	$10^\circ \sim 20^\circ$	$5^\circ \sim 15^\circ$	$10^\circ$	$25^\circ \sim 30^\circ$
硬质合金	$-15^\circ \sim 15^\circ$	$-5^\circ \sim 5^\circ$	$4^\circ \sim 6^\circ$	$15^\circ$

### 2. 立铣刀主要参数的选择

根据工件材料和铣刀直径选取前、后角都为正值,其具体数值可参考表 2-8。为了使端面切削刃有足够的强度,在端面切削刃前刀面上一般磨有棱边,其宽度为  $0.4 \sim 1.2\text{mm}$ 。前角

表 2-8 立铣刀前角、后角的选择

工件材料	前 角	铣刀直径	后 角
钢	10° ~ 20°	小于 10mm	25°
铸铁	10° ~ 15°	10 ~ 20mm	20°
铸铁	10° ~ 15°	大于 20mm	16°

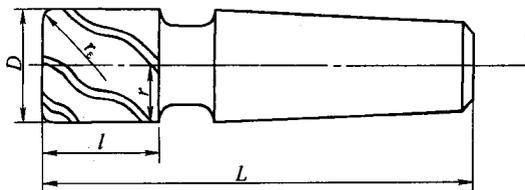


图 3-8 立铣刀的有关尺寸参数

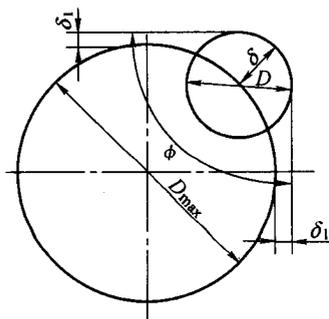


图 3-9 铣刀最大直径

按下述推荐的经验数据,选取立铣刀的有关尺寸参数,如图 2-8 所示。

(1) 刀具半径  $r$  应小于零件内轮廓面的最小曲率半径  $\rho$ , 一般取  $r = (0.8 \sim 0.9) \rho$ 。

(2) 零件的加工高度  $H \leq (\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}) r$ , 以保证刀具有足够的刚度。

(3) 对不通孔(深槽), 选取  $l = H + (5 \sim 10) \text{mm}$  ( $l$  为刀具切削部分长度,  $H$  为零件高度)。

(4) 加工外形及通槽时, 选取  $l = H + r_e + (5 \sim 10) \text{mm}$  ( $r_e$  为端面底圆角半径)。

(5) 加工肋时, 刀具直径为  $D = (5 \sim 10) b$  ( $b$  为肋的厚度)。

(6) 粗加工内轮廓面时, 铣刀最大直径  $D_{\max}$  可按下式计算, 如图 2-9 所示。

$$D_{\max} = \frac{[ \delta \sin(\phi/2) - \delta_1 ]}{1 - \sin(\phi/2)} + D \quad (2-4)$$

式中:  $D$ ——轮廓的最小凹圆角直径;

$\delta$ ——圆角邻边夹角等分线上的精加工余量;

$\delta_1$ ——精加工余量;

$\phi$ ——圆角两邻边的最小夹角。

### 三、加工中心刀具的选择

在加工中心上, 各种刀具分别装在刀库里, 按程序指令进行选刀和换刀工作。在加工

中心上使用的刀具通常由刀具和刀柄两部分组成。刃具有面加工用的各种铣刀和孔加工用的钻头、扩孔钻、镗刀、铰刀及丝锥等。刀柄要满足机床主轴的自动松开夹紧定位,并能准确地安装各种切削刀具和适应换刀机构手的夹持等要求。

各种铣刀及其选择在数控铣削刀具中已有介绍,这里只讲孔加工刀具及其选择。

### (一) 对加工中心刀具的基本要求,

根据加工中心的结构特点,对加工中心刀具提出如下基本要求:

#### 1. 刀具应具有较高的刚性

因为在加工中心上加工工件时无辅助装置支承刀具,刀具的长度在满足使用要求的前提下尽可能短。

#### 2. 重复定位精度高

同一把刀具多次装入机床主轴锥孔时,刀刃的位置应重复不变。

#### 3. 刀刃相对于主轴的一个固定点的轴向和径向位置应能准确调整

即刀具必须能够以快速简单的方法准确地预调到一个固定的几何尺寸。

### (二) 孔加工刀具的选择

#### 1. 钻孔刀具及其选择

钻孔刀具较多,有普通麻花钻、可转位浅孔钻、喷吸钻及扁钻等。应根据工件材料、加工尺寸及加工质量要求等合理选用。

在加工中心上钻孔,普通麻花钻应用最广泛,尤其是加工 $\phi 30\text{mm}$ 以下的孔时,以麻花钻为主。麻花钻有高速钢和硬质合金两种。它主要由工作部分和柄部组成。工作部分包括切削部分和导向部分。

麻花钻导向部分起导向、修光、排屑和输送切削液作用,也是切削部分的后备。根据柄部不同,麻花钻有莫氏锥柄和圆柱柄两种。直径为 $\phi 8 \sim \phi 80\text{mm}$ 的麻花钻多为莫氏锥柄,可直接装在带有莫氏锥孔的刀柄内,刀具长度不能调节。直径为 $\phi 0.1 \sim \phi 20\text{mm}$ 的麻花钻多为圆柱柄,可装在钻夹头刀柄上。中等尺寸麻花钻两种形式均可选用。

麻花钻有标准型和加长型,为了提高钻头刚性,应尽量选用较短的钻头,但麻花钻的工作部分应大于孔深,以便排屑和输送切削液。

在加工中心上钻孔,因无夹具钻模导向,受两切削刃上切削力不对称的影响,容易引起钻孔偏斜,故要求钻头的两切削刃必须有较高的刃磨精度(两刃长度一致,顶角 $2\phi$ 对称于钻头中心线)。

钻削加工直径 $d = 20 \sim 60\text{mm}$ 、 $l/d \leq 3$ 的中等浅孔时,可选用图 2-10 所示的可转位浅孔钻,其结构是在带排屑槽及内冷却通道钻体的头部装有两个刀片(多为凸多边形、菱形和四边形)交错排列,切屑排除流畅,钻头定心稳定。另外多采用深孔刀片,通过该中心压紧刀片。靠近钻心的刀用韧性较好的材料,靠近钻头外径刀片选用较为耐磨的材料,这种钻具有刀片可集中刃磨,刀杆刚度高,允许切削速度高,切削效率高及加工精度高等特点,最适合于箱体零件的钻孔加工。为提高刀具的使用寿命,可以在刀片上涂镀 TiC 涂

层。使用这种钻头钻箱体孔,比普通麻花钻提高效率4~6倍。

对深径比大于5而小于100的深孔,由于加工中散热差,排屑困难,钻杆刚性差,易使刀具损坏和引起孔的轴线偏斜,影响加工精度和生产率,故应选用深孔刀具加工。

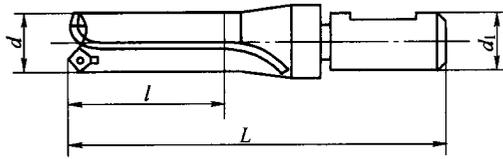


图 2-10 硬质合金刀片直柄浅孔钻

喷吸钻是一种效率高、加工质量好的新型的内排屑深孔钻,适用于加工深径比不超过100,直径一般在65~180mm的深孔,孔的精度可达IT10~IT7级,表面粗糙度可达 $Ra3.2 \sim 0.8\mu\text{m}$ ,孔的直线度为0.1/1000。

图2-11所示为喷吸钻,主要由钻头、内钻管、外钻管三部分组成。工作时,具有一定压力的切削液从入口流进,其中三分之一从内钻管四周月牙形喷嘴喷入内钻管。由于月牙槽缝隙很窄,切削液喷入时产生喷射效应,能使内钻管里形成负压区,负压区一直延伸到钻头的排屑通道。另外约三分之二切削液流入内、外钻管壁间隙到切削区,会同切屑被吸入内钻管,并迅速向后排出,压力切削液流速快,到达切削区时雾状喷出,有利于冷却,经喷口流入内钻管的切削液流速增大,加强“吸”的作用,提高排屑效果。

钻削大直径孔时,可采用刚性较好的硬质合金扁钻。扁钻切削部分磨成一个扁平体,主切削刃磨出顶角、后角,并形成横刃,副切削刃磨出后角与副偏角并且控制钻孔的直径。扁钻前角小,没有螺旋槽,制造简单、成本低。

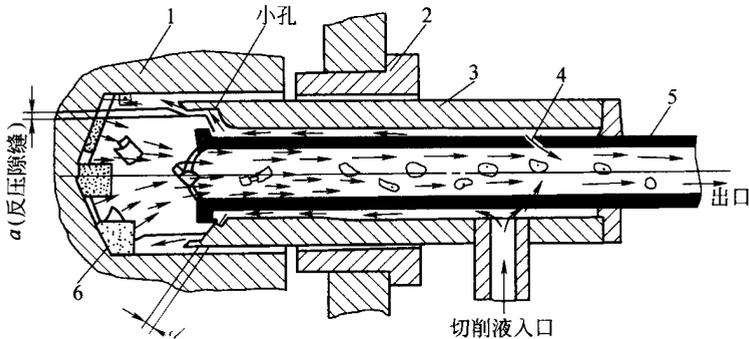


图 2-11 喷吸钻工作原理

1—工件 2—钻套 3—外钻管 4—喷嘴 5—内钻管 6—钻头

## 2. 扩孔刀具及其选择

扩孔钻是用来扩大孔径,提高孔加工精度的刀具。它可用于孔的半精加工或最终加工。用扩孔钻加工可达到公差等级IT11~IT10,表面粗糙度为 $Ra6.3 \sim 3.2\mu\text{m}$ 。扩孔钻与麻花钻相似,但齿数较多,一般为3~4个齿,因而工作时导向性好。扩孔余量小,切削刃

无需延伸到中心,所以扩孔钻无横刃,切削过程平稳,可选择较大的切削用量。总之扩孔钻的加工质量和效率均比麻花钻高。

扩孔钻的结构形式有高速钢整体式(图 2-12a)、镶齿套式(图 2-12b)及硬质合金可转位式(图 2-12c)等。扩孔直径较小或中等时,选用高速钢整体式扩孔钻;扩孔直径较大,选用镶齿套式扩孔钻。扩孔直径在 20~60mm 之间时,且机床刚性好,功率大,可选用硬质合金可转位式扩孔钻。

### 3. 镗孔刀具及其选择

镗刀多用于加工箱体孔。当孔径大于 80mm 时,一般用镗刀加工。精度可达 IT7~IT6,表面粗糙度为  $Ra6.3 \sim 0.8\mu\text{m}$ ,精镗可达  $Ra0.4\mu\text{m}$ 。镗刀种类很多,按切削刃数量可分为单刃镗刀和双刃镗刀。单刃镗刀可镗削通孔、阶梯孔和盲孔,单刃镗刀刚性差,切削时易引起振动,所以镗刀的主偏角选得较大,以减小径向力。

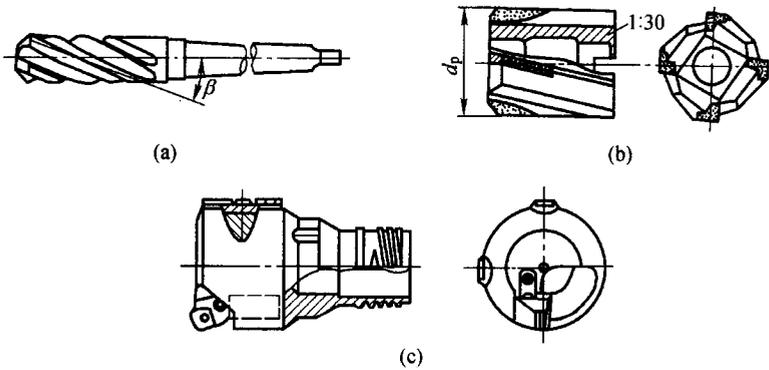


图 2-12 扩孔钻

镗铸铁孔或精镗时,一般取主偏角  $k_r = 90^\circ$ ;粗镗钢件孔时,取主偏角  $k_r = 65^\circ \sim 75^\circ$ ,以提高刀具的耐用度。单刃镗刀一般均有调整装置,效率低,只能用于单件小批生产。但结构简单,适应性较广,粗、精加工都适用。

在精镗孔中,目前较多地选用精镗微调镗刀。这种镗刀的径向尺寸可以在一定范围内进行微调,调节方便,且精度高,其结构如图 2-13 所示。调整尺寸时,先松开紧固螺钉 4,然后转动带刻度盘的锥形精调螺母 5,等调至所需尺寸,再拧紧螺钉 4。使用时应保证锥面靠近大端接触,且与直孔部分同心。螺纹尾部的两个导向块 3 用来防止刀块转动,键与键槽配合间隙不能太大,否则微调时就不能达到较高的精度。

为了消除镗孔时径向力对镗杆的影响,可采用双刃镗刀。工件孔径尺寸与精度由镗刀径向尺寸保证,且调整方便。它的两端有一对对称的切削刃同时参加切削,与单刃镗刀相比,每转进给量可提高一倍左右,生产效率高。

镗孔刀具的选择,主要的问题是刀杆的刚性,要尽可能地防止或消除振动,其考虑要点如下:

(1) 尽可能选择大的刀杆直径,接近镗孔直径。

(2) 尽可能选择短的刀杆臂(工作长度)。当工作长度小于4倍刀杆直径时可用钢制刀杆,加工要求高的孔时最好采用硬质合金刀杆。当工作长度为4~7倍的刀杆直径时,小孔用硬质合金刀杆,大孔用减振刀杆。当工作长度为7~10倍的刀杆直径时,要采用减振刀杆。

(3) 选择主偏角(切入角  $k_r$ ) 接近  $90^\circ$  或大于  $75^\circ$ 。

(4) 选择涂层的刀片品种(刀刃圆弧小)和小的刀尖圆弧半径(0.2mm)。

(5) 精加工采用正切削刃(正前角)刀片和刀具,粗加工采用负切削刃刀片的刀具。

(6) 镗深的盲孔时,采用压缩空气或冷却液来排屑和冷却。

(7) 选择正确、快速的镗刀柄夹具。

#### 4. 铰孔刀具及其选择

加工中心上使用的铰刀多是通用标准铰刀。此外,还有机夹硬质合金刀片单刃铰刀和可调浮动铰刀等。加工精度可达IT9~IT8级,表面粗糙度为  $Ra1.6 \sim 0.6 \mu\text{m}$ 。通用标准铰刀有直柄、锥柄和套式三种。锥柄铰刀直径为  $\phi 10 \sim \phi 32 \text{ mm}$ 。直柄铰刀直径为  $\phi 6 \sim \phi 20 \text{ mm}$ ,小孔直柄铰刀直径为  $\phi 1 \sim \phi 6 \text{ mm}$ 。套式铰刀直径为  $\phi 25 \sim \phi 80 \text{ mm}$ 。

对于铰削精度为IT7~IT6级,表面粗糙度为  $Ra1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$  的大直径通孔时,可选用专为加工中心设计的可调浮动铰刀。

图2-14所示的即为加工中心上使用的可调浮动铰刀。在调整铰刀时,先根据所要加工孔的大小调节好铰刀体2,在铰刀体插入刀杆体1的长方孔后,在对刀仪上找正两切削刃与刀杆轴的对称度在  $0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$  以内,然后移动定位滑块5,使圆锥端螺钉3的锥端对准刀杆体上的定位窝,拧紧螺钉6后,调整圆锥端螺钉,使铰刀体有  $0.04 \sim 0.08 \text{ mm}$  的浮动量(用对刀仪观察),调整后,将螺母4拧紧。

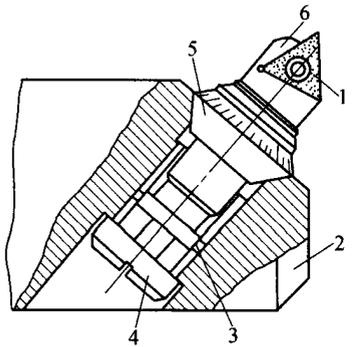


图2-13 微调镗刀

1—刀片 2—镗刀杆 3—导向块;  
4—螺钉 5—螺母 6—刀块

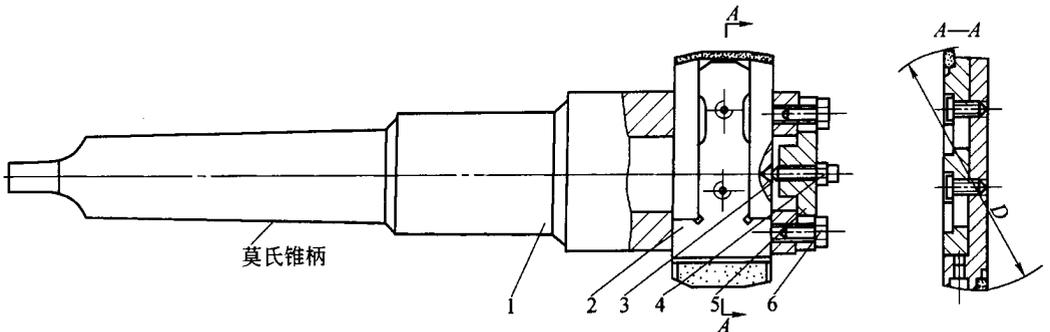


图2-14 可调浮动铰刀

1—刀杆体 2—可调式浮动铰刀体 3—圆锥端螺钉 4—螺母 5—定位滑块 6—螺钉

可调浮动铰刀既能保证在换刀和进刀过程中刀片不会从刀杆的长方孔中滑出,又能较准确地定心。它有两个对称刃,能自动平衡切削力,在铰削过程中又能自动补偿因刀具安装误差或刀杆的径向跳动而引起的加工误差,所以加工精度稳定。可调浮动铰刀的寿命比高速钢铰刀高8~10倍,且具有直径调整的连续性,因而一把铰刀可当几把使用,修复后可调复原尺寸。这样既节省刀具材料,又可保证铰刀精度。

### (三) 刀具尺寸的确定

刀具尺寸包括直径尺寸和长度尺寸。根据被加工孔直径的大小确定孔加工刀具的直径尺寸,特别是定尺寸刀具(如钻头、铰刀)的直径,完全取决于被加工孔直径。这里只介绍刀具长度的确定。

在加工中心上,刀具长度一般是指主轴端面至刀尖的距离,包括刀柄和刀具两部分,如图2-15所示。刀具长度的确定原则是:在满足各个部位加工要求的前提下,尽量减小刀具长度,以提高工艺系统刚性。

制定工艺和编程时,一般不必准确确定刀具长度,只需初步估算出刀具长度范围,以方便刀具准备。根据工件尺寸、工件在机床工作台上的装夹位置以及机床主轴端面距工作台面或中心的最大、最小距离等条件来确定刀具长度范围。在卧式加工中心上,针对工件在工作台上的装夹位置不同,刀具长度范围有下列两种估算方法。

(1) 加工部位位于卧式加工中心工作台中心和机床主轴之间(见图2-16),刀具最小长度为

$$T_L = A - B - N + L + Z_0 + T_t \quad (2-5)$$

式中:  $T_L$ ——刀具长度;

$A$ ——主轴端面至工作台中心最大距离;

$B$ ——主轴在Z向的最大行程;

$N$ ——加工表面距工作台中心距离;

$L$ ——工件的加工深度尺寸;

$T_t$ ——钻头尖端锥度部分长度,一般  $T_t = 0.3d$  ( $d$  为钻头直径);

$Z_0$ ——刀具切出工件长度(已加工表面取2~5 mm,毛坯表面取5~8 mm)。刀具长度范围为

$$T_L > A - B - N + L + Z_0 + T_t \quad (2-6)$$

$$T_L < A - N \quad (2-7)$$

(2) 加工部位位于卧式加工中心工作台中心和机床主轴两者之外,(见图2-17),刀具最小长度为

$$T_L = A - B + N + L + Z_0 + T_t \quad (2-8)$$

刀具长度范围为

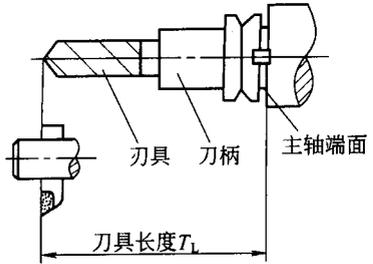


图2-15 加工中心刀具长度

$$T_L > A - B + N + L + Z_0 + T_i \quad (3-9)$$

$$T_L < A + N \quad (2-10)$$

满足式(2-6)或式(2-9)可避免机床负Z向超程,满足式(2-7)或式(2-10)可避免机床正Z向超程

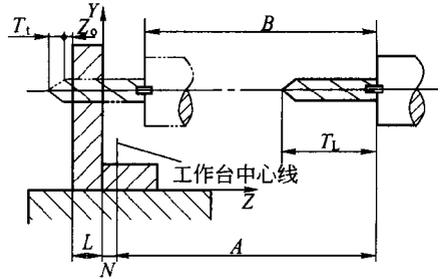
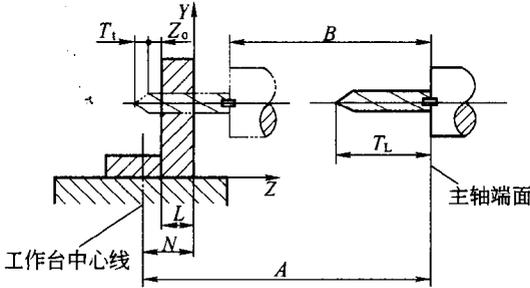


图 2-16 加工中心刀具长度的确定(一)

图 2-17 加工中心刀具长度的确定(二)

在确定刀具长度时,还应考虑工件其他凸出部分及夹具、螺钉等对刀具运动轨迹的干涉。主轴端面至工作台中心的最大、最小距离由机床样本提供。

## 四、数控机床刀柄的选择

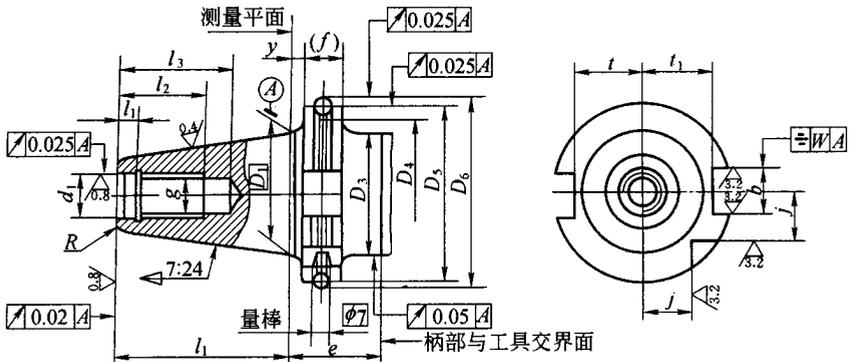


图 2-18 自动换刀机床用 7:24 圆锥工具柄结构

加工中心上使用的刀具由刀具部分和连接刀柄两部分组成。刀具部分包括钻头、铣刀、铰刀等。加工中心机床有自动换刀装置,连接刀柄要满足机床主轴自动松开和拉紧定位、准确安装各种切削刀具、适应机械手的夹持和搬运、储存和识别刀库中各种刀具的要求。加工中心刀柄已系列化、标准化,采用 ISO 7388/1(GB 10944—89)《自动换刀机床用 7:24 圆锥工具柄部 40、45、50 号圆锥柄》,锥柄的结构参数见图 3—18。固定在刀柄尾部且与主轴内拉紧机构相适应的拉钉也标准化,具体尺寸见 ISO 7388/2(GB10945—89)《自动换刀机床用 7:24 圆锥工具柄部 40、45、50 号圆锥柄用拉钉》。本标准包括两种型式的拉钉,

其中 A 型用于不带钢球的拉紧装置,结构参数见图 2-19;B 型用于带钢球的拉紧装置,结构参数见图 2-20。柄部及拉钉的具体尺寸可查阅上述标准。刀柄的选择直接影响机床性能的发挥。一些用户由于缺少刀柄,使得机床不能开动。选择刀柄数量过多又会影响投资。如何恰当地选择,现仅就选用加工中心刀柄时的注意事项做一叙述。

### 1. 根据机床上典型零件的加工工艺来选择刀柄

加工中心上使用的钻、扩、铰、镗孔及铣削、攻螺纹等各种用途的刀柄,其规格数将达数百种之多。具体到某一台或几台机床上,用户只能根据要在这台机床上加工的典型零件加工工艺来选取。这样选择的结果既能满足加工需要,也不至于造成积压,是最经济最有效的方法。

### 2. 刀柄配置数量

刀柄配置数量与机床所要加工的零件品种、规格及数量有关,也与复杂程度、机床的负荷有关。一般是所需刀柄数量的 2~3 倍。这是因为要考虑到机床工作的同时,还有一定数量的刀柄正在预调或刀具修磨。只有当机床负荷不足时,才取 2 倍或不足 2 倍。加工中心刀库只用来装载正在加工工件所需的刀柄。零件的复杂程度与刀库容量有关系,所以配置数量也大约为刀库容量的 2~3 倍,才能满足通常自动加工要求。

### 3. 刀柄的柄部型式是否正确

为了便于换刀,镗铣类数控机床及加工中心的主轴孔多选定为不自锁的 7:24 锥度,但是刀柄与机床相配的柄部(除锥角以外的部分)并没有完全统一。尽管已经有了相应国际标准 ISO7388,可在有些国家并未得到贯彻,如有的柄部在 7:24 锥度的小端带有圆柱头而另一些就没有。对于自动换刀机床用工具柄部,要切实弄清楚选用的机床应配用符合哪个标准的工具柄部。要求使选择的刀柄要与机床主轴孔的规格(是 30 号、40 号还是 45 号)相一致。刀柄抓拿部位要能适应机械手的形态位置要求,拉钉的形状、尺寸要与主轴的拉紧机构相匹配。

### 4. 尽量选用加工效率较高的刀柄和刀具

如粗镗孔时选用双刃镗刀刀柄代替单刃粗镗刀刀柄,可以取得提高加工效率,减少振动的效果。选用强力弹簧夹头不但可以夹持直柄刀具,而且可以通过接杆夹持带孔刀具。

### 5. 选用模块式刀柄和复合刀柄要综合考虑

采用模块式刀柄必须配一个柄部、一个接杆和一个镗刀头部。当刀库容量大,更换刀具频繁,可考虑使用模块式刀柄。若长期反复使用,不需要反复拼装,则可使用普通刀柄。对于加工批量大又反复生产的典型零件时,为了减少加工时间和换刀次数,就可以考虑采用专门设计的复合刀柄。尽管复合刀柄价格要贵,但采用一把复合刀柄后,可大大节省工时。而且一般数控机床的主轴电动机功率较大,机床刚度较好,能够承受较大切削力。采用多刀多刃强力切削,可以充分发挥机床的性能,提高生产率,缩短生产周期。在设计专用的复合刀柄时,应尽量采用标准化的刀具模块,这样能有效地减少设计与加工的工作量。

在选用特殊刀柄时,如把增速头刀柄用于小孔加工,则转速比主轴转速增高几倍。多

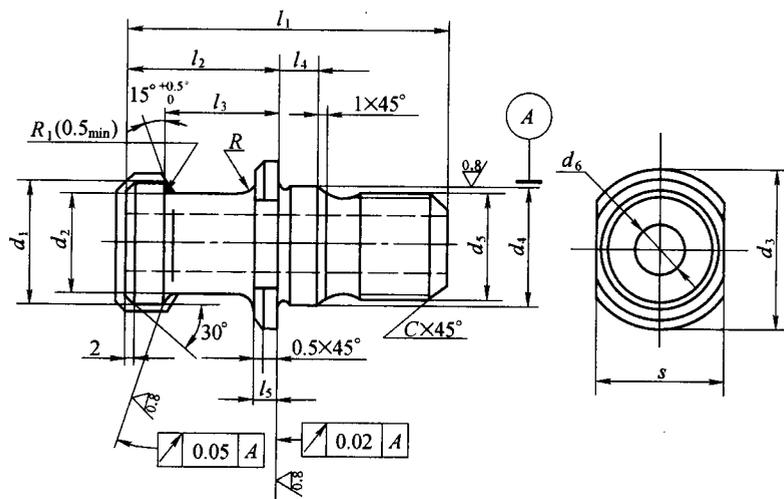


图 2-19 自动换刀机床用 7:24 圆锥工具柄用 A 型拉钉结构

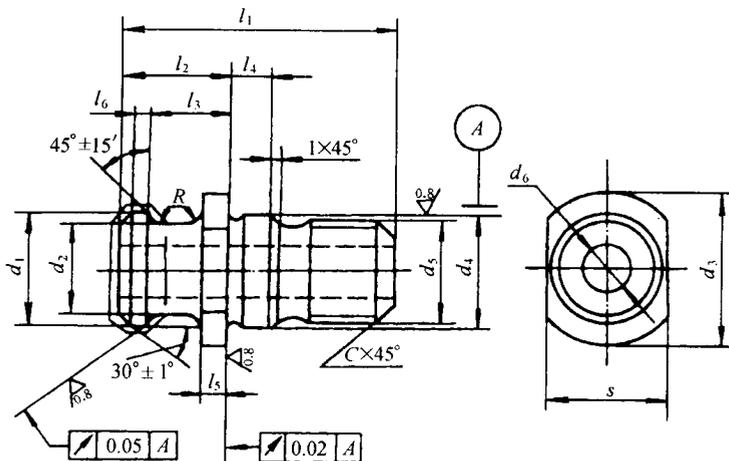


图 2-20 自动换刀机床用 7:24 圆锥工具柄用 B 型拉钉结构

轴加工动力头刀柄可同时加工小孔。万能铣头刀柄可改变刀具与主轴轴线夹角,扩大工艺范围。内冷却刀柄冷却液通过刀柄,经过刀具内通孔,直接在切削刃区冲击,可得到很好的冷却效果,适用于深孔加工。高速磨头刀柄适于在加工中心磨削淬火加工面或抛光模具面等。特殊刀柄的选用必须考虑对机床主轴端面安装位置的要求,并考虑是否能实现。

## 第六节 工具系统

### 一、工具系统的发展

由于在数控机床上要加工多种工件,并完成工件上多道工序的加工,因此需要使用的刀具品种、规格和数量就较多。例如图 2-21 为在车削加工中心上加工某工件时的情况,可看到不仅需要很多种车刀并且还要用铣刀。要加工不同工件所需刀具更多,因品种规格繁多而将造成很大困难。

为了减少刀具的品种规格,有必要发展柔性制造系统和加工中心使用的工具系统。工具系统一般为模块化组合结构,在一个通用的刀柄上可以装多种不同的刀具,使数控加工中的刀具品种规格大大减少,同时也便于刀具的管理。

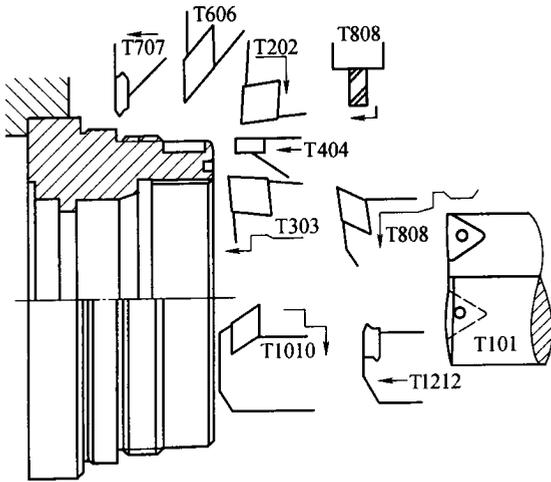


图 2-21 车削加工中心上加工工件时需要的刀具

### 二、车削类工具系统

随着车削中心的产生和各种全功能数控车床数量的增加,人们对数控车床和车削中心所使用的刀具提出了更高的要求,形成了一个具有特色的车削类刀具系统。目前,已出现了几种车削类工具系统,它们具有换刀速度快,刀具的重复定位精度高,连接刚度高等特点,提高了机床的加工能力和加工效率。被广泛采用的一种整体式车削工具系统是 CZG 车削工具系统,它与机床的连接接口的具体尺寸及规格可参考相关资料。图 2-22 即为车削加工中心用的模块化快换刀具结构,它由刀具头部、连接部分和刀体组成。刀体

内装有拉紧机构,通过拉杆拉紧刀具头部(图 2-22a)。在拉紧过程中能使拉紧子 L 产生微小弹性变形而获得很高的精度和刚度,径向精度达  $2\mu\text{m}$ ,轴向精度达  $5/\mu\text{Am}$ 。在切削深度达到 10mm 时,刀具径向和轴向变形均小于  $5\mu\text{m}$ ,自动换刀时间仅为 5s。这种刀体可装车、钻、镗、丝锥、检测头等多种工具,如图 2-22b 所示。

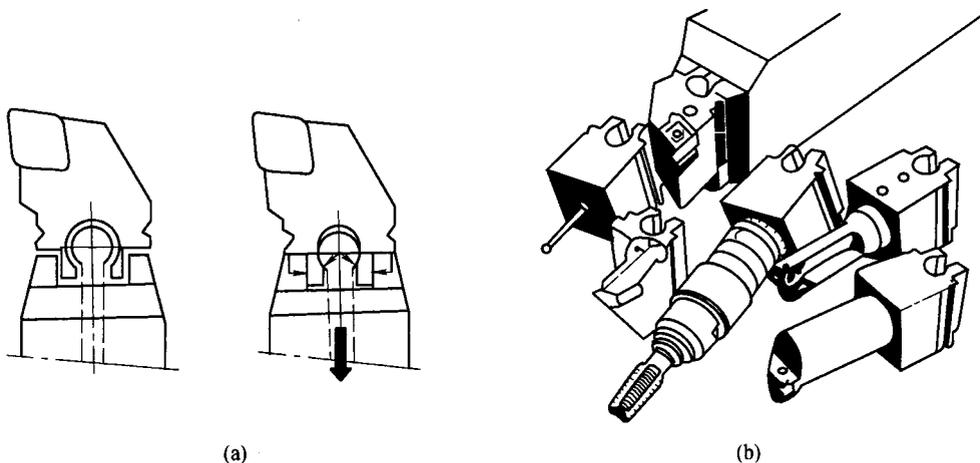


图 2-22 车削加工中心用的模块化快换刀具结构

通过上例可看到在通用刀柄上可以快速、可靠、精确地更换不同刀具头,并还可以换上测量工件加工尺寸的测量装置。

### 三、镗铣类工具系统

在生产中广泛应用镗铣加工中心来加工各种不同的工件,所以刀具装夹部分的结构、尺寸也是各种各样的。把通用性较强的装夹工具系列化、标准化就发展了不同结构的镗铣类工具系统,一般分为整体式结构和模块式结构两大类,其型号具体规格可查阅相关手册。

#### 1. 镗铣类整体式工具系统

图 2-23 所示为镗铣类整体式工具系统,即 TSG 整体式工具系统组成。它是把工具柄部和装夹刀具的工作部分做成一体。要求不同工作部分都具有同样结构的刀柄,以便与机床的主轴相连,所以具有可靠性强、使用方便、结构简单、调换迅速及刀柄的种类较多的特点。图 2-24 为 TSG 工具系统图,该图表明了 TSG 工具系统中各种工具的组合形式。

#### 2. 镗铣类模块式工具系统

镗铣类模块式工具系统即 TMG 工具系统是把整体式刀具分解成柄部(主柄模块)、中间连接块(连接模块)、工作头部(工作模块)三个主要部分,然后通过各种连接结构,在保证刀杆连接精度、强度、刚性的前提下,将这三部分连接成整体,如图 2-25 所示。

这种工具系统可以用不同规格的中间连接块,组成各种用途的模块工具系统,既灵

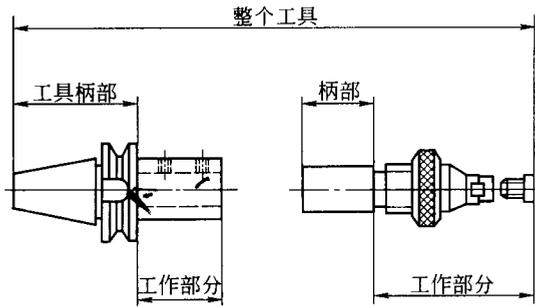


图 2-23 整体式工具系统组成

活、方便,又大大减少了工具的储备。例如国内生产的 TMG10、TMG21(图 2-26)模块工具系统,发展迅速,应用广泛,是加工中心使用的基本工具。

## 四、刀具管理系统

### 1. 数控加工中刀具管理的重要性

柔性自动化加工系统中,需要加工多种工件,因此刀具品种规格繁多。仅靠加工中心或其他加工设备本身的刀库(机床刀库),刀具容量远远不够,因此通常需要配备一个总刀库——中央刀库。据统计一套 5~8 台加工中心组成的柔性制造系统,需配备的刀具数量在 1000 把以上。如此巨大的刀具数量,又需要储存大量的刀具信息。每把刀具有两种信息:一是刀具描述信息(静态信息),如刀具的尺寸规格、几何参数和刀具识别编码等;另一种是刀具状态信息(动态信息),如刀具所在位置,刀具累计使用时间和剩余寿命,刀具刃磨次数等。在加工过程中大量刀具频繁地在系统中交换和流动,加工中刀具磨损破损的监测和更换,刀具信息不断变化而形成动态过程。由于刀具信息量甚大,调动、管理复杂,因此需要一个现代化的自动刀具管理系统。在柔性制造系统中,刀具管理系统是一个很重要并且技术难度很大的部分。

### 2. 刀具管理系统的任务

柔性自动化生产系统中的刀具管理系统以柔性制造系统的自动刀具管理系统较为典型,它应完成如下任务:

- (1) 保证每台机床有合适的、优质高效的刀具使用,保证不因缺刀而停机。
- (2) 监控刀具的工作状态,必要时进行换刀处理。
- (3) 安全、可靠并及时地运送刀具,尽量消灭因等刀而停机。
- (4) 追踪系统内的刀具情况,包括各刀具的静态信息和动态信息。
- (5) 检查刀具的库存量,及时补充或购买刀具。

### 3. 刀具管理系统的基本功能

根据刀具管理系统应完成的任务,刀具管理系统应具有如下功能:

- (1) 收集生产计划和刀具资源的原始资料数据。

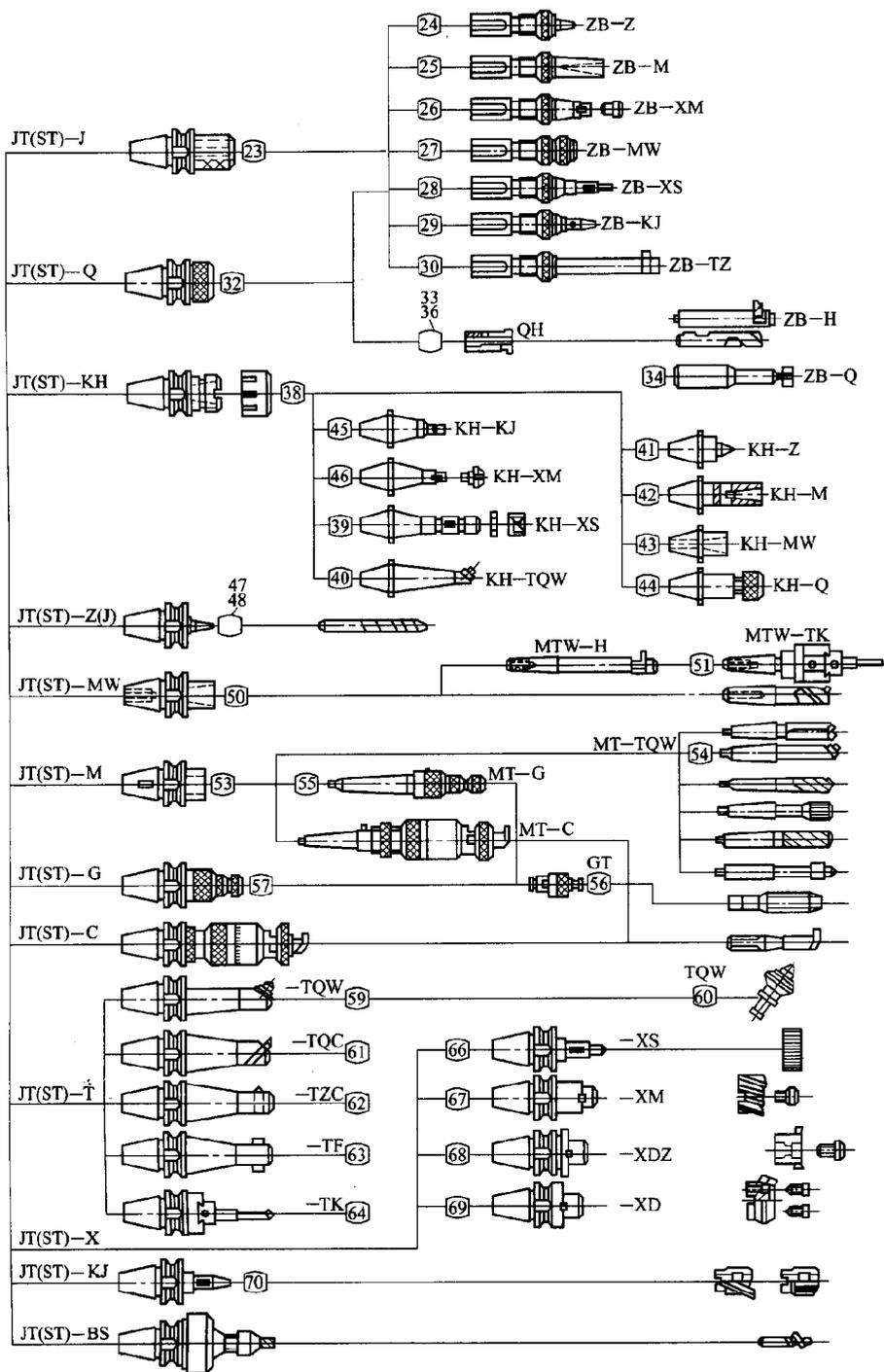


图 2-24 TSG 工具系统

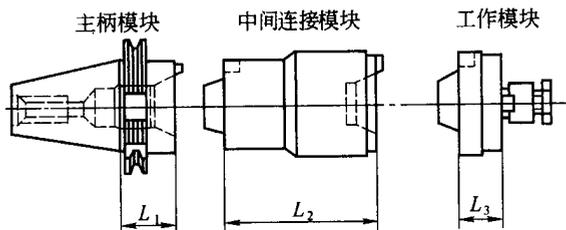


图 2-25 模块式工具系统组成

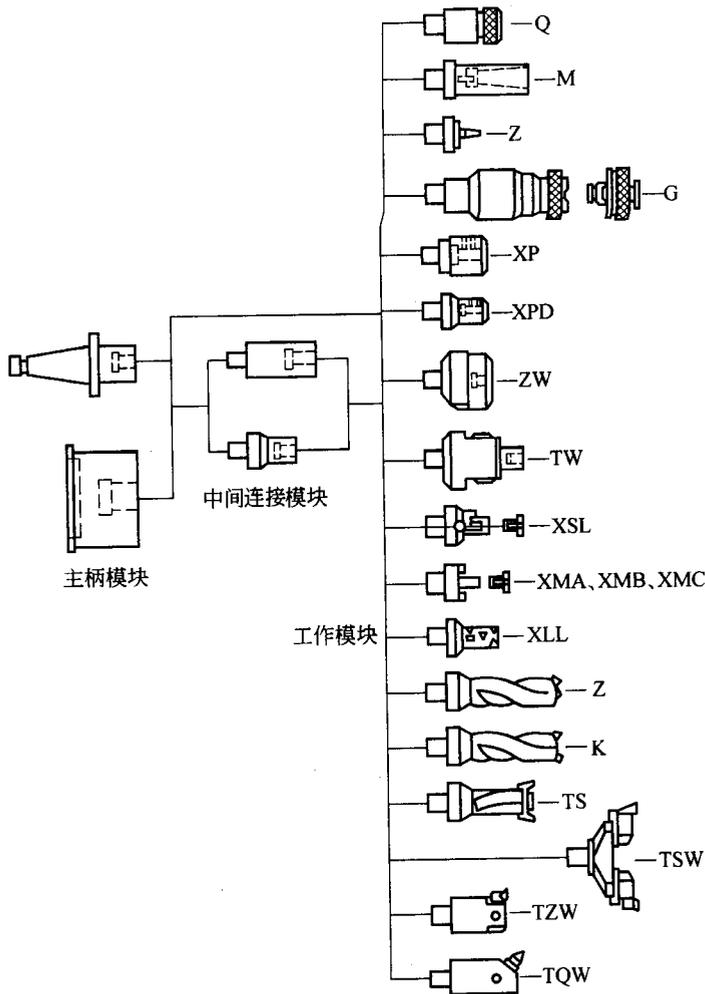


图 2-26 TMG21 工具系统

- (2) 制定出刀具管理、调配计划。
- (3) 配备刀具管理系统所需要的硬件装备。
- (4) 开发刀具管理系统的各种软件和信息交换系统, 实现刀具系统的自动化管理。

刀具自动化管理系统的基本功能应包括四个方面：

(1)原始资料数据

包括生产计划、班次作业计划、机床刀具资源数据等。

(2)刀具管理系统的计划

包括周期刀具需求计划、班次刀具需求计划、中央刀库和机床刀库的调配计划、刀具运送计划等。

(3)刀具管理系统的硬件配置

包括中央刀库和机床刀库、刀具管理计算机、刀具预调仪、条形码打印机、换刀机器人或自动小车、刀具监测系统。

(4)刀具管理的软件系统

包括加工和刀具信息、刀具运送指令和运送信息的反馈、刀具加工状态的监控信息、调度指令和信息传输、监控信息的反馈等。

## 第三章 数控车削加工工艺

### 第一节 概 述

数控车床即装备了数控系统的车床或采用了数控技术的车床。一般是将事先编好的加工程序输入到数控系统中,由数控系统通过伺服系统去控制车床各运动部件的动作,加工出符合要求的各种形状回转体零件。

#### 一、数控车床的组成及布局

##### 1. 数控车床的组成

数控车床与普通车床相比较,其结构上仍然是由床身、主轴箱、刀架、进给传动系统、液压、冷却、润滑系统等部分组成。在数控车床上由于实现了计算机数字控制,伺服电动机驱动刀具作连续纵向和横向进给运动,所以数控车床的进给系统与普通车床的进给系统在结构上存在着本质上的差别。普通车床主轴的运动经过挂轮架、进给箱、溜板箱传到刀架实现纵向和横向进给运动。而数控车床是采用伺服电动机经滚珠丝杠,传到滑板和刀架,实现纵向( $Z$ 向)和横向( $X$ 向)进给运动。可见数控车床进给传动系统的结构大为简化。

##### 2. 数控车床的布局

数控车床的主轴、尾座等部件相对床身的布局形式与普通车床基本一致。因为刀架和导轨的布局形式直接影响数控车床的使用性能及机床的结构和外观,所以刀架和导轨的布局形式发生了根本的变化。另外,数控车床上都设有封闭的防护装置,有些还安装了自动排屑装置。

##### (1) 床身和导轨的布局

数控车床床身导轨与水平面的相对位置如图3-1所示,它有4种布局形式:图3-1a为平床身,图3-1b为斜床身,图3-1c为平床身斜滑板,图3-1d为立床身。

水平床身配上水平放置的刀架可提高刀架的运动精度,工艺性好,便于导轨面的加工,一般可用于大型数控车床或小型精密数控车床的布局。但是水平床身由于下部空间小,故排屑困难。从结构尺寸上看,刀架水平放置使得滑板横向尺寸较长,从而加大了机

床宽度方向的结构尺寸。水平床身配上倾斜放置的滑板,并配置倾斜式导轨防护罩,这种布局形式一方面有水平床身工艺性好的特点,另一方面机床宽度方向的尺寸较水平配置滑板的要小,且排屑方便。

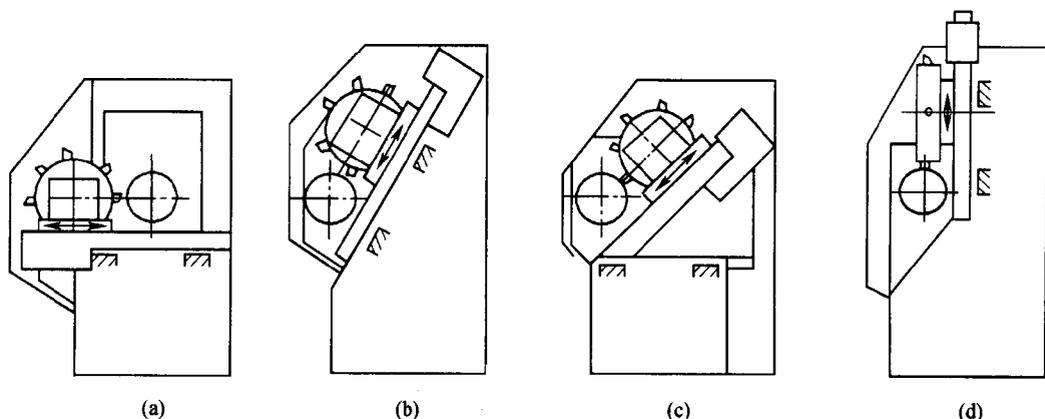


图 3-1 数控车床的布局形式

由于水平床身配上倾斜放置的滑板和斜床身配置斜滑板布局这两种布局形式具有排屑容易,从工件上切下的炽热铁屑不会堆积在导轨上,便于安装自动排屑器,操作方便,易于安装机械手,以实现单机自动化,机床外形简洁、美观,占地面积小,容易实现封闭式防护等特点,所以中、小型数控车床普遍采用这两种形式。

斜床身导轨倾斜的角度分别为  $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ ,当角度为  $90^\circ$ 时称为立式床身。倾斜角度小,排屑不便,倾斜角度大,导轨的导向性差,受力情况也差。导轨倾斜角度的大小还会直接影响机床外形尺寸高度与宽度的比例。综合考虑上面的诸因素,中小规格的数控车床,其床身的倾斜度以  $60^\circ$ 为宜。

## (2) 刀架的布局

刀架作为数控车床的重要部件之一,它对机床整体布局及工作性能影响很大。两坐标联动数控车床多采用 12 工位的回转刀架,也有采用 6 工位、8 工位、10 工位回转刀架。回转刀架在机床上的布局有两种形式。一种是适用于加工轴类和盘类零件的回转刀架,其回转轴与主轴平行;另一种是适用于加工盘类零件的回转刀架,其回转轴与主轴垂直。

四坐标控制的数控车床,床身上安装有两个独立的滑板和回转刀架,故称为双刀架四坐标数控车床。由于分别控制每个刀架的切削进给量,因此两刀架可以同时切削同一工件的不同部位,不仅扩大了加工范围,还提高了加工效率。四坐标数控车床需要配置专门的数控系统来控制两个独立刀架,而且机械结构复杂。这种机床主要适合加工曲轴、飞机零件等形状复杂、批量较大的零件。

## 二、数控车床的分类

随着数控车床制造技术的不断发展,为了满足不同的加工需要,数控车床的品种和数量越来越多,形成了产品繁多、规格不一的局面。对数控车床的分类可以采用不同的方法。

### 1. 按数控系统的功能分

#### (1) 全功能型数控车床

如配有日本 FANUC—OTE、德国 SIEMENS—810T 系统的数控车床都是全功能型的。

#### (2) 经济型数控车床

经济型数控车床是在普通车床基础上改造而来的,一般采用步进电动机驱动的开环控制系统,其控制部分通常采用单片机来实现。

### 2. 按主轴的配置形式分类

#### (1) 卧式数控车床

主轴轴线处于水平位置的数控车床。

#### (2) 立式数控车床

主轴轴线处于垂直位置的数控车床。

还有具有两根主轴的车床,称为双轴卧式数控车床或双轴立式数控车床。

### 3. 按数控系统控制的轴数分类

#### (1) 两轴控制的数控车床

机床上只有一个回转刀架,可实现两坐标轴控制。

#### (2) 四轴控制的数控车床

机床上有两个独立的回转刀架,可实现四轴控制。

对于车削中心或柔性制造单元,还要增加其他的附加坐标轴来满足机床的功能要求。目前,我国使用较多的是中小规格的两坐标联动控制的数控车床。

## 三、数控车削的主要加工对象

数控车削是数控加工中用得最多的加工方法之一。结合数控车削的特点,与普通车床相比,数控车床适合于车削具有以下要求和特点的回转体零件。

### 1. 精度要求高的回转体零件

由于数控车床刚性好,制造和对刀精度高,以及能方便和精确地进行人工补偿和自动补偿,所以能加工尺寸精度要求较高的零件,在有些场合可以以车代磨。此外,数控车削的刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的,所以能加工对母线直线度、圆度、圆柱度等形状精度要求高的零件。另外工件一次装夹可完成多道工序的加工,提高了加工工件的位置精度。

## 2. 表面粗糙度要求好的回转体零件

数控车床具有恒线速切削功能,能加工出表面粗糙度值小而均匀的零件。因为在材质、精车余量和刀具已定的情况下,表面粗糙度取决于进给量和切削速度。切削速度变化,致使车削后的表面粗糙度不一致,使用数控车床的恒线速切削功能,就可选用最佳线速度来切削锥面、球面和端面等,使车削后的表面粗糙度值既小又一致。

## 3. 表面形状复杂的回转体零件

由于数控车床具有直线和圆弧插补功能,可以车削由任意直线和曲线组成的形状复杂的回转体零件。如图 2-2 所示的壳体零件封闭内腔的成形面,在普通车床上是无法加工的,而在数控车床上则很容易加工出来。

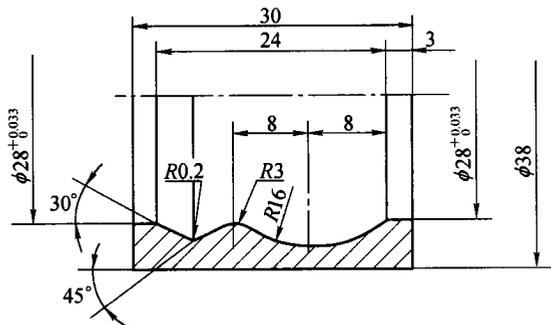


图 3-2 成形内腔零件简图

## 4. 带特殊螺纹的回转体零件

数控车床具有加工各类螺纹的功能,包括任何等导程的直、锥和端面螺纹,增导程、减导程以及要求等导程与变导程之间平滑过渡的螺纹。通常在主轴箱内安装有脉冲编码器,主轴的运动通过同步带 1:1 地传到脉冲编码器。采用伺服电动机驱动主轴旋转,当主轴旋转时,脉冲编码器便发出检测脉冲信号给数控系统,使主轴电动机的旋转与刀架的切削进给保持同步关系,即实现加工螺纹时主轴转一转,刀架 Z 向移动工件一个导程的运动关系。而且车削出来的螺纹精度高,表面粗糙度值小。

## 5. 超精密、超低表面粗糙度值的零件

磁盘、录像机磁头、激光打印机的多面反射体、复印机的回转鼓、照相机等光学设备的透镜等零件,要求超高的轮廓精度和超低的表面粗糙度值,它们适合于在高精度、高性能的数控车床上加工。数控车床超精加工的轮廓精度可达到  $0.1\mu\text{m}$ ,表面粗糙度达  $Ra\ 0.02\mu\text{m}$ ,超精加工所用数控系统的最小分辨率应达到  $0.01\mu\text{m}$ 。

## 第二节 数控车削加工工件的装夹及对刀

### 一、数控车削加工工件的装夹

#### (一) 工件采用通用夹具装夹

##### 1. 工件定位要求

由于数控车削编程和对刀的特点,工件径向定位后要保证工件坐标系 $Z$ 轴与机床主轴轴线同轴,同时要保证加工表面径向的工序基准(或设计基准)与机床主轴回转中心线的位置满足工序(或设计)要求。如工序要求加工表面轴线与工序基准表面轴线同轴,这时工件坐标系 $Z$ 轴即为工序基准表面的轴线,可采用三爪自定心卡盘以工序基准为定位基准自动定心装夹或采用两顶尖(工序基准为工件两中心孔)定位装夹;若工序要求加工表面轴线与工序基准表面轴线有偏心,则采用偏心卡盘、偏心顶尖或专用夹具装夹,偏心卡盘、偏心顶尖或专用夹具的中心(为定位基准)到主轴回转中心线的距离要满足加工表面中心线与工序基准(与定位基准重合)的偏心距离要求,这时工件坐标系 $Z$ 轴只能为加工表面的轴线。

工件轴向定位后要保证加工表面轴向的工序基准(或设计基准)与工件坐标系 $X$ 轴的位置要求。批量加工时,若采用三爪自定心卡盘装夹,工件轴向定位基准可选工件的左端面或左侧其他台阶面,若采用两顶尖装夹,为保证定位准确,工件两中心孔倒角可加工成准确的圆弧形倒角,这时顶尖与中心孔圆弧形倒角接触为一条环线,轴向定位非常准确,适合数控加工精确性要求。

##### 2. 定位基准(指精基准)选择的原则

###### (1) 基准重合原则

为避免基准不重合误差,方便编程,应选用工序基准(设计基准)作为定位基准,并使工序基准、定位基准、编程原点三者统一,这是最优先考虑的方案。因为当加工面的工序基准与定位基准不重合,且加工面与工序基准不在一次安装中同时加工出来的情况下,会产生基准不重合误差。

###### (2) 基准统一原则

在多工序或多次安装中,选用相同的定位基准,这对数控加工保证零件的位置精度非常重要。

###### (3) 便于装夹原则

所选择的定位基准应能保证定位准确、可靠,定位、夹紧机构简单,敞开性好,操作方便,能加工尽可能多的内容。

###### (4) 便于对刀原则

批量加工时,在工件坐标系已确定的情况下,采用不同的定位基准为对刀基准建立工件坐标系,会使对刀的方便性不同,有时甚至无法对刀,这时就要分析此种定位方案是否能满足对刀操作的要求,否则原设工件坐标系须重新设定。

### 3. 常用装夹方式

#### (1) 在三爪自定心卡盘上装夹

三爪自定心卡盘的三个卡爪是同步运动的,能自动定心,一般不需找正。三爪自定心卡盘装夹工件方便、省时,自动定心好,但夹紧力较小,所以适用于装夹外形规则的中、小型工件。三爪自定心卡盘可装成正爪或反爪两种形式。反爪用来装夹直径较大的工件。用三爪自定心卡盘装夹精加工过的表面时,被夹住的工件表面应包一层铜皮,以免夹伤工件表面。

数控车床多采用三爪自定心卡盘夹持工件,轴类工件还可使用尾座顶尖支持工件。数控车床主轴转速较高,为便于工件夹紧,多采用液压高速动力卡盘。这种卡盘在生产厂已通过了严格平衡检验,具有高转速(极限转速可达 $8\ 000\text{r}/\text{min}$ 以上)、高夹紧力(最大推拉力为 $2\ 000\sim 8\ 000\text{N}$ )、高精度、调爪方便、通孔、使用寿命长等优点。通过调整油缸的压力,可改变卡盘的夹紧力,以满足夹持各种薄壁和易变形工件的特殊需要。还可使用软爪夹持工件,软爪爪面由操作者随机配制,可获得理想的夹持精度。为减少细长轴加工时的受力变形,提高加工精度,以及在加工带孔轴类工件内孔时,可采用液压自动定心中心架,其定心精度可达 $0.03\text{mm}$ 。

#### (2) 在两顶尖之间装夹

对于长度尺寸较大或加工工序较多的轴类工件,为保证每次装夹时的装夹精度,可用两顶尖装夹。两顶尖装夹工件方便,不需找正,装夹精度高,但必须先在工作件的两端面钻出中心孔。该装夹方式适用于多工序加工或精加工。

用两顶尖装夹工件时须注意的事项:

- 1) 前后顶尖的连线应与车床主轴轴线同轴,否则车出的工件会产生锥度误差。
- 2) 尾座套筒在不影响车刀切削的前提下,应尽量伸出得短些,以增加刚性,减少振动。
- 3) 中心孔应形状正确,表面粗糙度值小。轴向精确定位时,中心孔倒角可加工成准确的圆弧形倒角,并以该圆弧形倒角与顶尖锥面的切线为轴向定位基准定位。

#### 4) 两顶尖与中心孔的配合应松紧合适。

#### (3) 用卡盘和顶尖装夹

用两顶尖装夹工件虽然精度高,但刚性较差。因此,车削质量较大工件时要一端用卡盘夹住,另一端用后顶尖支撑。为了防止工件由于切削力的作用而产生轴向位移,必须在卡盘内装一限位支承,或利用工件的台阶面限位(见图3-3)。这种方法比较安全,能承受较大的轴向切削力,安装刚性好,轴向定位准确,所以应用比较广泛。

#### (4) 用双三爪自定心卡盘装夹

对于精度要求高、变形要求小的细长轴类零件可采用双主轴驱动式数控车床加工,机床两主轴轴线同轴、转动同步,零件两端同时分别由三爪自定心卡盘装夹并带动旋转,这

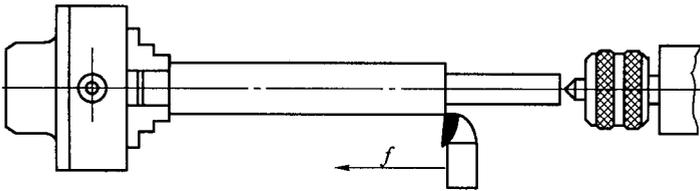


图 3-3 用工件的台阶面限位

样可以减小切削加工时切削力矩引起的工件扭转变形。一汽大众公司生产捷达轿车发动机曲轴的数控车拉加工就是采用此种方式。

## (二) 工件采用找正方式装夹

### 1. 找正要要求

找正装夹时必须将工件的加工表面回转轴线(同时也是工件坐标系  $Z$  轴)找正到与车床主轴回转中心重合。

### 2. 找正方法

与普通车床上找正工件相同,一般为打表找正。通过调整卡爪,使工件坐标系  $Z$  轴与车床主轴的回转中心重合,见图 3-4。

单件生产工件偏心安装时常采用找正装夹;用三爪自定心卡盘装夹较长的工件时,工件离卡盘夹持部分较远处的旋转中心不一定与车床主轴旋转中心重合,这时必须找正;又当三爪自定心卡盘使用时间较长,已失去应有精度,而工件的加工精度要求又较高时,也需要找正。

### 3. 装夹方式

一般采用四爪单动卡盘装夹。四爪单动卡盘的四个卡爪是各自独立运动的,可以调整工件夹持部位在主轴上的位置,使工件加工面的回转中心与车床主轴的回转中心重合,但四爪单动卡盘找正比较费时,只能用于单件小批生产。四爪单动卡盘夹紧力较大,所以适用于大型或形状不规则的工件。四爪单动卡盘也可装成正爪或反爪两种形式。

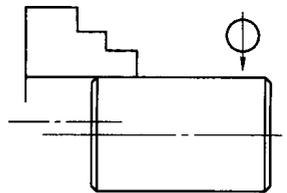


图 3-4 工件找正

## (三) 其他类型的数控车床夹具

为了充分发挥数控车床的高速度、高精度和自动化的效能,必须有相应的数控夹具与之配合。数控车床夹具除了使用通用三爪自定心卡盘、四爪卡盘、顶尖、大批量生产中使用便于自动控制的液压、电动及气动卡盘、顶尖外,还有其他类型的夹具,它们主要分为两大类:即用于轴类工件的夹具和用于盘类工件的夹具。

### 1. 用于轴类工件的夹具

数控车床加工一些特殊形状的轴类工件(如异形杠杆)时,坯件可装卡在专用车床夹具上,夹具随同主轴一同旋转。用于轴类工件的夹具还有自动夹紧拨动卡盘、三爪拨动卡盘和快速可换万能卡盘等。图 3-5 所示为加工实心轴所用的拨齿顶尖夹具,其特点是在

粗车时可以传递足够大的转矩,以适应主轴高速旋转车削要求。

## 2. 用于盘类工件的夹具

这类夹具适用在无尾座的卡盘式数控车床上。用于盘类工件的夹具主要有可调卡爪式卡盘和快速可调卡盘。

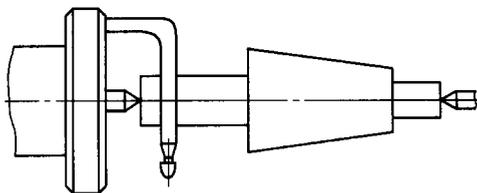


图 3-5 实心轴加工所用的拨齿顶尖夹具

## 二、数控车削加工的对刀

数控加工中的对刀与普通机床或专用机床中的对刀有所不同,普通机床或专用机床中的对刀只是找正刀具与加工面间的位置关系,而数控加工中的对刀本质是建立工件坐标系,确定工件坐标系在机床坐标系中的位置,使刀具运动的轨迹有一个参考依据。

### (一) 数控加工中与对刀有关的概念

#### 1. 刀位点

代表刀具的基准点,也是对刀时的注视点,一般是刀具上的一点。尖形车刀刀位点为假想刀尖点,刀尖带圆弧时刀位点为圆弧中心;钻头刀位点为钻尖;平底立铣刀刀位点为端面中心;球头铣刀刀位点为球心。数控系统控制刀具的运动轨迹,准确说是控制刀位点的运动轨迹。手工编程时,程序中所给出的各点(节点)坐标值就是指刀位点的坐标值;自动编程时程序输出的坐标值就是刀位点在每一有序位置的坐标数据,刀具轨迹就是由一系列有序的刀位点的位置点和连接这些位置点的直线(直线插补)或圆弧(圆弧插补)组成的。

#### 2. 起刀点

起刀点是刀具相对零件运动的起点,即零件加工程序开始时刀位点的起始位置,而且往往还是程序运行的终点。有时也指一段循环程序的起点。

#### 3. 对刀点与对刀

对刀点是用来确定刀具与工件的相对位置关系的点,是确定工件坐标系与机床坐标系的关系的点。对刀就是将刀具的刀位点置于对刀点上,以便建立工件坐标系。当采用  $G92X_\alpha Z_\beta$  指令建立工件坐标系时,对刀点就是程序开始时,刀位点在工件坐标系内的起点(此时对刀点与起刀点重合),其对刀过程就是在程序开始前,将刀位点置于  $G92X_\alpha Z_\beta$  指令要求的工件坐标系内的  $X_\alpha$  即坐标位置上,也就是说,工件坐标系原点是根据起刀点的位置来确定的,由刀具的当前位置来决定;当采用  $(354 - G59)$  指令建立工件坐标系时,

对刀点就是工件坐标系原点,其对刀过程就是确定出刀位点与工件坐标系原点重合时机床坐标系的坐标值并将此值输入到 CNC 系统的零点偏置寄存器对应位置中,从而确定工件坐标系在机床坐标系内的位置。以此方式建立工件坐标系与刀具的当前位置无关,若采用绝对坐标编程,程序开始运行时,刀具的起始位置不一定非得在某一固定位置,工件坐标系原点并不是根据起刀点来确定的,此时对刀点与起刀点可不重合,因此对刀点与起刀点是两个不同的概念,尽管在编程中它们常常选在同一点,但有时对刀点是不能作为起刀点的。

#### 4. 对刀基准(点)

对刀时为确定对刀点的位置所依据的基准,该基准可以是点、线或面,它可设在工件上(如定位基准或测量基准)或夹具上(如夹具定位元件的起始基准)或机床上。图 4-6 图中单位为 mm)所示为工件坐标系原点、刀位点、起刀点、对刀点、对刀基准点和对刀参考点之间的关系与区别。该件采用 G92X100Z150(直径编程)建立工件坐标系,通过试切工件右端面、外圆确定对刀点位置。试切时一方面保证  $OO_1$  间 Z 向距离为 100,同时测量外圆直径,另一方面根据测出的外圆直径,以  $O_1$  为基准将刀尖沿 Z 正方向移 50, X 正方向半径移 50,使刀位点与对刀点重合并位于起刀点上。所以,  $O_1$  为对刀基准点;  $O$  为工件坐标系原点;  $A$  为对刀点,也是起刀点和此时的刀位点。工件采用夹具定位装夹时一般以定位元件的起始基准为基准对刀,因此定位元件的起始基准为对刀基准。也可以将工件坐标系原点(如 G54~G59 指令时)直接设为对刀基准(点)。

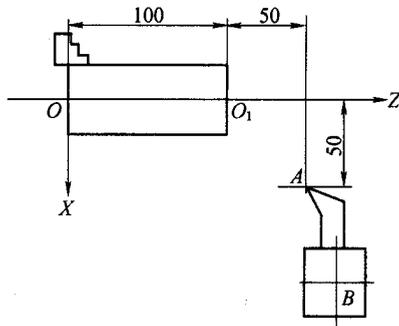


图 3-6 有关对刀各点的关系

#### 5. 对刀参考点

是用来代表刀架、刀台或刀盘在机床坐标系内的位置的参考点,即 CRT 上显示的机床坐标系下的坐标值表示的点,也称刀架中心或刀具参考点,见图 3-6 中的 B 点。可利用此坐标值进行对刀操作。数控车床回参考点时应使刀架中心与机床参考点重合。

#### 6. 换刀点

数控程序中指定用于换刀的位置点。在数控车床上加工零件时,需要经常换刀,在程序编制时,就要设置换刀点。换刀点的位置应避免与工件、夹具和机床干涉。普通数控车床的换刀点由程序员指定,通常将其与对刀点重合。车削中心、加工中心的换刀点一般为

固定点。不能将换刀点与对刀点混为一谈。

## (二) 确定对刀点(或对刀基准)的一般原则

对刀点(或对刀基准)可以设在被加工零件上,也可以设在与零件定位基准有固定尺寸联系的夹具的某一位置(如专门设置在夹具上的对刀元件)或机床上(如三爪卡盘前端面)。其选择原则如下:

- (1) 对刀点的位置容易确定;
- (2) 能够方便换刀,以便与换刀点重合;
- (3) 采用 G54 ~ G359 建立工件坐标系时,对刀点应与工件坐标系原点重合;
- (4) 批量加工时,为应用调整法获得尺寸,即一次对刀可加工一批工件,对刀点(或对刀基准)应选在夹具定位元件的起始基准上,并将编程原点与定位基准重合,以便直接按定位基准对刀或将对刀点选在夹具中专设的对刀元件上,以方便对刀。

## (三) 对刀方法

### 1. 试切对刀

#### (1) 采用 G92X $\alpha$ Z $\beta$ 指令建立工件坐标系对刀

该指令规定了刀具起点(此时该点为对刀点)在工件坐标系中的坐标值为( $\alpha$ ,  $\beta$ ),如图 3-7(图中单位为 mm)所示工件坐标系的设定。工件定位夹紧后,工件坐标系原点在机床上的位置已确定,对刀就是按工件已定的位置,使刀具的刀位点在程序运行前准确停在 G92 指令要求的坐标位置( $\alpha$ ,  $\beta$ )上,即对刀点上。对图 3-7 所示零件,当以工件左端面为编程原点时,指令为:G92 X200Z263;当以工件右端面为编程原点时,指令为:G92X200Z123。

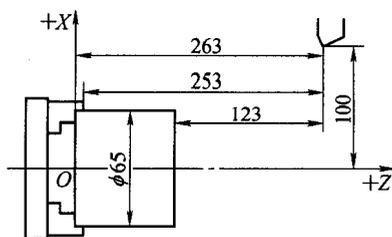


图 3-7 工件坐标系设定

显然,若工件坐标系原点位置不变,当  $\alpha$ ,  $\beta$  不同时,刀位点的起始位置不同;若刀位点的起始位置不变,当  $\alpha$ ,  $\beta$  不同时,则工件坐标系原点的位置将变化。因此,在执行 G92 指令前必须先进行对刀,将刀位点置于程序所要求的起刀点位置( $\alpha$ ,  $\beta$ )上。

具体对刀步骤如下:

1) 机床回参考点。采用“回参考点”操作,建立机床坐标系。此时 CRT 上将显示刀架中心(对刀参考点)在机床坐标系中的当前位置的坐标值。也代表刀具刀位点的当前位置。

2) 试切测量。采用点动或 MDI 方式操纵机床,将工件右端面试车一刀,保持刀具纵

向( $Z$ 轴方向)位置不变,沿横向( $X$ 轴方向)退刀,测量试切端面至工件原点的距离(长度) $L$ ,并记录 CRT 上显示的刀架中心(对刀参考点)在机床坐标系中  $Z$  轴方向上的当前位置的坐标值  $Z_t$ 。再将工件外圆表面试切一刀,沿纵向( $Z$ 轴方向)退刀,保持刀具在横向( $X$ 轴方向)上的位置尺寸不变,然后测量工件试切后的直径  $D$ ,即可知道刀尖在  $X$  轴方向上的当前位置在工件坐标系内的坐标值,并记录 CRT 上显示的刀架中心在机床坐标系中  $X$  轴方向上的当前位置的坐标值  $X_t$ 。

3)计算坐标增量。根据试切后测量的工件直径  $D$ 、端面距离长度  $L$  与程序所要求的起刀点位置( $\alpha, \beta$ ),即可计算出刀尖移到起刀点位置所需的  $X$  轴坐标移动增量  $\alpha - D$  与  $Z$  轴坐标移动增量  $\beta - L$ 。由于刀尖的  $X$  轴和  $Z$  轴坐标移动增量与刀架中心的移动增量值完全相等,移动时可通过 CRT 上显示的刀架中心的移动增量值来控制。

4)对刀。根据计算出的坐标增量,用手摇脉冲发生器移动刀具,使前面记录的刀架中心坐标值( $X_t, Z_t$ )增加相应的坐标值增量,即将刀具移至使 CRT 屏幕上所显示的刀架中心在机床坐标系中的坐标值为( $X_t + \alpha - D, Z_t + \beta - L$ )为止,这样就实现了将刀位点置于程序所要求的起刀点位置( $\alpha, \beta$ )上,实现了对刀。

5)建立工件坐标系。若执行程序段  $G92 X\alpha Z\beta$ ,则屏幕将会变为显示当前刀位点在工件坐标系中的位置( $\alpha, \beta$ ),即数控系统用新建立的工件坐标系取代了前面建立的机床坐标系。

[例 3-1] 如图 3-8(单位为 mm)所示,设以卡爪前端面为对刀基准,程序原点为图中  $O$  点,指令为  $G92 X200.0Z263.0$  对刀并建立工件坐标系。

1)机床回参考点操作。

2)试切端面,沿  $X$  轴方向退刀(保持  $Z$  轴坐标不变),测得工件右端面至卡爪前端的距离为  $L = 131$ ,记录此时屏幕上显示  $Z$  坐标值  $Z297.421$ 。

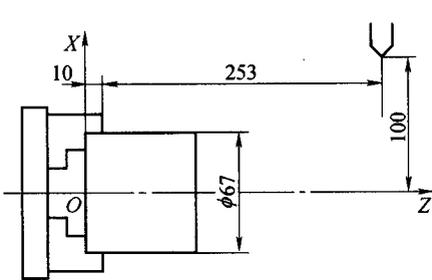


图 3-8 G92 试切对刀

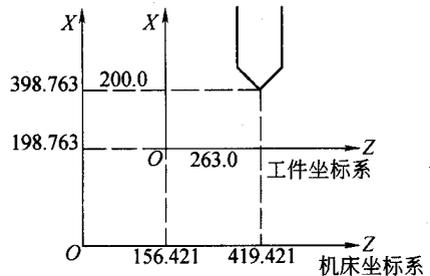


图 3-9 G54 试切对刀

3)试切外圆,沿  $Z$  轴方向退刀(保持  $X$  轴坐标不变),测得工件直径为  $\phi 67$ ,记录此时屏幕上显示的  $X$  坐标值  $X265.763$ 。

4)为了将刀尖调整到起刀点位置  $X200.0, Z263.0$  上,只要将屏幕上显示的  $X$  坐标增加  $200 - 67 = 133$ , $Z$  坐标增加  $263 - 10 - 131 = 122$  即可,移动刀具使屏幕上显示的坐标为: $X = 265.763 + 133 = 398.763$   $Z = 297.421 + 122 = 419.421$  即可。

执行程序段 G92 X200.0 Z263.0,即可建立工件坐标系,并显示刀尖在工件坐标系中的当前位置为 X200.0 Z263.0。

### (2) 采用(G354-(G359)零点偏置指令建立工件坐标系对刀

G54( $X_{\alpha}$   $Z_{\beta}$ )指令中的( $X_{\alpha}$   $Z_{\beta}$ )值是指当机床坐标系下的坐标值代表刀位点的坐标时,工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值,但此坐标值并不像 G92 $X_{\alpha}$   $Z_{\beta}$  指令那样写在(G354之后)程序中只写 G54。用此指令的对刀方法是求出当刀尖(刀位点)与工件坐标系原点重合时刀架中心在机床坐标系中的坐标值,此值即表示工件原点在机床坐标系中的坐标值,在对完刀后要把此值输入到 CNC 系统零点偏置寄存器中。具体对刀过程与 G92 的基本相同。

如例 3-1 采用 G54 建立工件坐标系。在例 3-1 对刀步骤第 4)项中,对刀结束后,屏幕上显示的坐标 X398.763 Z419.421 是刀架中心当前位置在机床坐标系中的坐标值,刀尖在工件坐标系中的坐标值是 X200.0 Z263.0。若假使刀尖与工件坐标系原点重合,则此时屏幕上显示的刀架中心在机床坐标系中的坐标值为(见图 3-9):

$$X = 398.763 - 200 = 198.763$$

$$Z = 419.421 - 263 = 156.421$$

即表示工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值,把工件原点在机床坐标系中的坐标值 X198.763 Z156.421(即零点偏置值)输入到 CNC 系统零点偏置寄存器中即可。

需强调的是,不能简单地根据绘图来判定工件坐标系原点与机床原点的关系,并将此关系误作为零点偏置值输入到 CNC 系统零点偏置寄存器中,如认为工件坐标系 Z 轴与机床坐标系 Z 轴重合,直接将零点偏置中 X 偏置值输入为零是错误的。

工件采用夹具定位、夹紧,工件坐标系采用 G54~G59 零点偏置指令建立并对刀,一次对刀加工一批工件,刀具每加工完一件后可回到任一点,且不需再对刀,避免了加工每件都对刀的操作,符合调整法获得尺寸的要求,所以是大批量生产采用数控加工时对刀的主要方式。

### (3) 改变参考点位置,通过回参考点直接对刀

对于批量生产,工件采用夹具定位装夹的,若采用 G92 指令建立工件坐标系,刀具每加工完一件后回参考点,使每次加工的起刀点位置重合,也可一次对刀加工一批工件,但应使参考点到工件的距离适当,这时可通过调整机床各坐标轴的机械挡块位置和精确测量并重设数控系统参数,将参考点设置在与起刀点相对应的位置上,这样在进行回参考点操作时,即能使刀尖到达起刀点位置实现直接对刀。

### (4) 多刀加工时的对刀——利用刀具长度补偿功能对刀

此种对刀的目的是使所换刀具的刀位点位于对刀点上,不是建立工件坐标系。刀具补偿功能由程序中指定的 T 代码来实现。T 代码由字母 T 后面跟 4 位数码组成 T□□□□(如 T0101),其中前两位为刀具号,后两位为刀具补偿号,就是刀具补偿寄存器的地址号,该寄存器中存放有刀具的 X 轴偏置和 Z 轴偏置量。系统对刀具的补偿或取消都是通过滑板的移动来实现的。

以华中 I 型车削数控系统 HCNC - CNC 为例,说明刀偏数据的测量步骤。

[方法 1] 测量步骤:

- 1) 系统在“点动”工作方式下,用基准刀对准工件的一基准点,如图 3-10 所示的 A 点;
- 2) 按 F7“X 轴清零”,则屏幕上显示的 X 轴坐标清零;按 19“Z 轴清零”,则屏幕上显示的 Z 轴坐标清零;
- 3) 旋转手摇脉冲发生器使刀具退刀;
- 4) 选择其他刀具刀号,手动换刀,同样旋转手摇脉冲发生器,使新换刀具刀尖对准基准点 A,这时屏幕上显示的坐标值,就是该刀对基准刀的偏置  $\Delta X$ 、 $\Delta Z$ 。

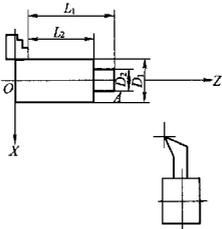


图 3-10 多刀加工时的对刀

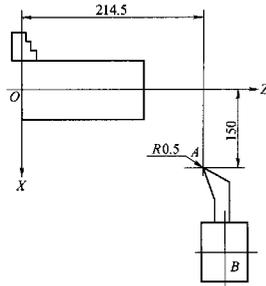


图 3-11 刀尖有圆弧半径时的对刀尺寸

[方法 2] 测量步骤:

- 1) 系统在“点动”工作方式下,用基准刀切削工件端面;
- 2) 用点动移动 X 轴使刀具离开工件,并将主轴停止运转,测量该端面与某一基准端面的距离,记录为  $L_1$ ,并且记录屏幕上显示的 Z 轴坐标,记为  $Z_1$ ;
- 3) 用基准刀切削工件外径;
- 4) 用点动移动 Z 轴使刀具离开工件,并将主轴停止运转,测量外径大小,记录为  $D_1$ ,并且记录屏幕上显示的 X 轴坐标,记为  $X_1$ ;
- 5) 退刀,选择其他刀具刀号,手动换刀,重复第 1)~4) 项得到上  $L_2$ 、 $Z_2$ 、 $D_2$ 、 $X_2$ ;
- 6) 计算刀偏。

如系统设置为直径编程,公式为

$$\Delta X = X_2 - X_1 - (D_2 - D_1)$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 - (L_2 - L_1)$$

如系统设置为半径编程,公式为

$$\Delta X = X_2 - X_1 - (D_2 - D_1)/2$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 - (L_2 - L_1)$$

通过预先确定刀具相对基准刀的刀偏值  $\Delta X$ 、 $\Delta Z$  并输入刀补寄存器中,即解决了多刀加工时采用同一工件坐标系的对刀问题。

(5) 车刀刀尖有圆弧半径时的对刀

数控程序是针对刀具上的某一点(刀位点)进行编制的,车刀的刀位点为理想尖锐状态下的刀尖点。但实际加工中的车刀,由于工艺或其他要求,刀尖往往不是一理想尖锐点,而是一段圆弧线。当加工轨迹与机床轴线平行时,实际切削点与理想尖锐点之间没有加工轴方向上的偏移,故不影响其尺寸、形状;当加工轨迹与机床轴线不平行时(斜线或圆弧)则实际切削点与理想尖锐点之间有加工轴方向上的偏移,故造成过切或少切,此时可用刀尖半径补偿功能来消除误差。对刀时应按刀尖圆弧中心(刀位点)建立工件坐标系。

使用刀尖有圆弧半径的刀具建立工件坐标系时须特别注意:

G92 $X\alpha Z\beta$ 中的坐标值 $\alpha$ 、 $\beta$ 是指刀尖圆弧中心在工件坐标系中的位置,如图3-11(单位mm)所示,假想刀尖点在工件坐标系中的位置为:X300Z214.5,刀尖圆弧半径为0.5,而编程指令为

G92 X 301 Z15

X方向(直径)增加1,Z方向增加0.5。因X301Z215指的是刀尖圆弧中心的坐标,所以对刀时按刀尖圆弧中心对刀,但试切时仍将刀尖置于X300 Z214.5的位置上。

## 2. 机外对刀仪对刀

把刀预先在机床外面校对好,使之装上机床就能使用,可节省对刀时间。机外对刀须用机外对刀仪。图3-12是一种比较典型的车床用机外对刀仪。它由导轨、刻度尺、光源、投影放大镜、微型读数器、刀具台安装座和底座等组成。这种对刀仪可通用于各种数控车床。

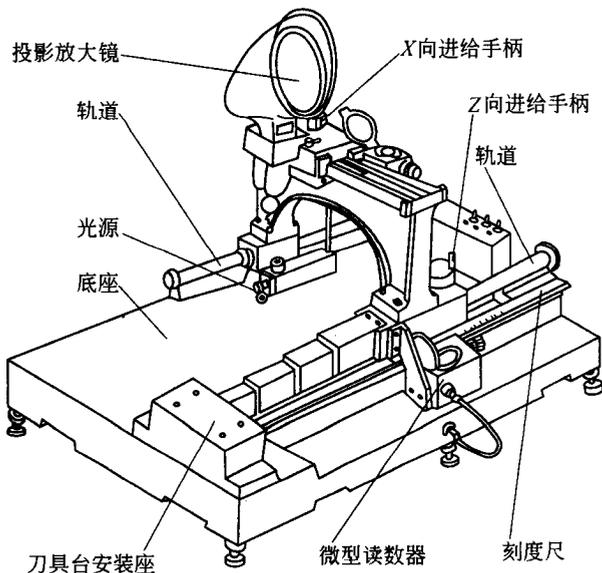


图3-12 一种机外对刀仪

机外对刀的本质是测量出刀具假想刀尖点到刀台上某一基准点(相当于基准刀的刀位点)之间X及Z方向的距离,这也称为刀具X及Z向的长度,即刀具的长度补偿值。

机外对刀时必须连刀夹一起校对,所以刀具必须通过刀夹再安装在刀架上。某把刀具固紧在某刀夹上,尔后一起不管安装到哪个刀位上,对刀得到的刀具长度应该是一样的。针对某台具体的数控车床(主要是具体的刀架及其相应的刀夹)还应制作相应的对刀刀具台,并将其安装在刀具台安装座上。这个对刀刀具台与刀夹的连接结构和尺寸应该同机床刀台每个刀位的结构和尺寸完全相同,甚至制造精度也要求与机床刀台该部位一样。机外对刀的顺序是这样的:将刀具随同刀夹一起紧固在对刀刀具台上,摇动 $X$ 向和 $Z$ 向进给手柄,使移动部件载着投影放大镜沿着两个方向移动,直到假想刀尖点与放大镜中的十字线交点重合为止。对称刀(如螺纹刀)的假想刀尖点在刀尖实体上,它在放大镜中的正确投影见图3-13b。不少假想刀尖点不在刀具(尖)实体上,所以所谓它与十字线交点重合,实际是刀尖圆弧与从十字线交点出发的某两条放射线相切,如端面外径刀和端面内径刀在放大镜中的正确投影见图3-13a和图3-13c。此时,通过 $X$ 和 $Z$ 向的微型读数器分别读出的 $X$ 和 $Z$ 向刻度值,就是这把刀的对刀长度。如果这把刀具马上使用,那么将它连同刀夹一起移装到机床某刀位上之后,把对刀长度输到相应的刀补号或程序中就可以了。使用机外对刀仪对刀的最大优点是对刀过程不占用机床的时间,从而可提高数控车床的利用率。这种对刀方法的缺点是刀具必须连同刀夹一起进行。如果采用机外对刀仪对刀,那么刀具和刀夹都应准备双份:一份在机床上用,另一份在下面对刀。

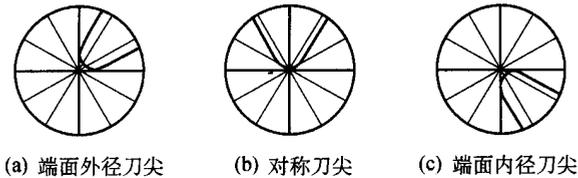


图3-13 刀尖在放大镜中的对刀投影

### 3. ATC 对刀

如上所述,在机外对刀场合,用投影放大镜(对刀镜)能较精确地校订刀具的位置,但装卸带着刀夹的刀具比较费力,因此又有ATC对刀。它是在机床上利用对刀显微镜自动地计算出车刀长度的一种对刀方法。对刀镜实际是一架低倍显微镜(一般放大10倍左右),不过对刀镜内有如图3-13所示的6条 $30^\circ$ 等分线,有的还有坐标尺。对刀时,用手动方式将刀尖移到对刀镜的视野内,再用手动脉冲发生器微移刀架使假想刀尖点像图4-13所示的那样与对刀镜内的中心点重合,再将光标移至相应的刀补号,并按“自动计算(对刀)”按键,这时这把刀两个方向的长度就被自动计算出来并自动存入它的刀补号区域。

### 4. 自动对刀

使用对刀镜作机外对刀或机内对刀,由于整个过程基本上还是手工操作,所以仍没有跳出手工对刀的范畴。利用CNC装置自动、精确地测出刀具两个坐标方向的长度、自动修正刀具补偿值,并且不用停顿就接着开始加工工件,这就是刀具检测功能,也叫自动对刀。

刀检传感器上带有超硬触头(一般为边长 7 mm 的立方体),它安装在以枢轴轴承为支点的杠杆的一端。杠杆的另一端与四个接触式传感元件的探针接触。刀检时,刀尖作用并推动触头,与此对应的某个传感探针就被杠杆压迫,内部电路接通,发出电信号。当刀尖离开时,杠杆靠四个带弹簧的支承复位。整个传感器的使用精度主要取决于传感元件的重复精度。好的传感元件重复精度可达  $2\mu\text{m}$ 。

刀检时,刀尖随刀架按刀检用户宏程序向已设定了位置的触头缓缓行进,并与之接触,直到内部电路接通,发出电信号。数控系统立即“记下”该瞬时的坐标值,接着将此值与设定值作比较,并将差值自动修正到刀具补偿值中去。

刀尖检测测定原理 今以 Z 向为例,先假定触头的外侧面 B 正好与程序原点 O 在同一平面内(见图 3-14)。设刀具为 T0100, A 为假想刀尖点。

### (1) 新装刀的刀检

首先将 01 号补偿清零。当刀架停在起始位置时,粗测 A、O 两点间的水平距离,例如测得 520。将 520 写入 G92 程序段,即用此粗测值来设定对刀程序的坐标系,也是粗定工件坐标系。令设定坐标系的 Z 向原点为  $O'$ ,那么  $O'$  与  $O$  间的距离,即  $O'$  与 B 面间的距离就是上述粗测的误差,可令它为  $l$ 。如果不刀检,即忽视了这个  $l$ ,程序原点将位于  $O'$ ,加工出工件的长度与目标长度间也会有这么大的误差。精确测出  $l$  值,并自动反映到刀补值中去,使粗设定坐标系与程序坐标系重合,以保证工件尺寸与指令值一致,这就是刀尖检测的任务。

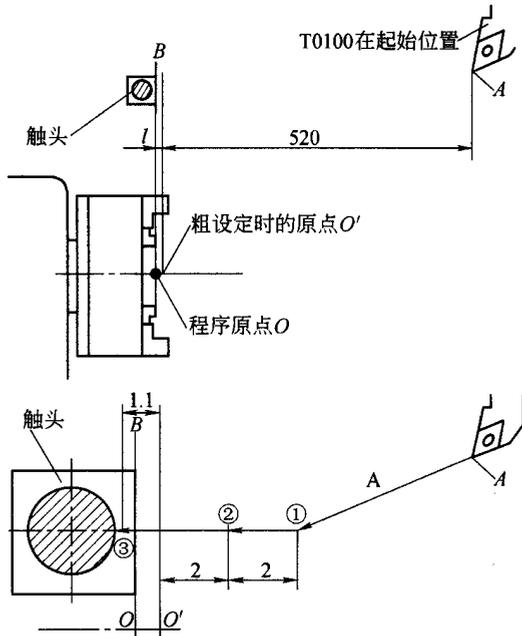


图 3-14 刀尖检测测定原理

刀检时用粗设定坐标系。先让刀尖快速到达检测起始点①,接着到达检测准备点②,随后用跳跃准备机能缓慢地向坐标为 $(Z - 1.1)$ 的目标点③前进。正常刀检时走不到点③,而是在行进途中接触 $B$ 面并推动测头直到发出电信号,至此刀尖停止前进。在数控系统“记下”此刻坐标值后,刀具快退到点①,然后退走。如发出电信号时刀尖 $A$ 在 $Z$ 为 $0$ 位置(特殊情况)则设定坐标系正好与程序坐标系重合,即 $01$ 号 $Z$ 向补偿为零;如果发出电信号时刀尖 $A$ 不在 $Z$ 为 $0$ 位置(一般情况),说明两个坐标系 $Z$ 向不重合,需要通过刀具补偿将设定坐标系移至程序坐标系,使之重合。假如在 $Z - 0.216$ 时发出电信号,表明程序坐标系在设定坐标系左边,相距 $0.216$ ,这时数控系统就自动将 $01$ 号 $Z$ 向补偿变更为 $-0.216$ 。

## (2)换刀片后的检测原理

上述检测,测出并决定了该刀具当时的刀补值。如磨损或更换刀片后,又会有尺寸误差。把新换刀片与原刀片的刀尖位置差测出来,并把此值累加到 $01$ 号补偿中去,这就是换刀片后检测的任务。

由于图3-14中的520已进入主程序开头指令中,因此刀检总是用以 $O'$ 为原点的坐标系。换刀片后刀检时,刀尖在由点②向点③行进中如在 $Z - 0.216$ 处发出电信号,则此时 $01$ 号 $Z$ 向补偿正好不必修正。此时把 $-0.216$ 称为刀检 $Z$ 向目标值。刀检中数控系统要按刀检用户宏程序的指令将接到电信号时的刀尖位置与目标值比较,因此在用户宏程序中要指令目标值。当程序执行到此指令时会自动提取相应的刀补值。数控系统按程序指令将接到电信号时的刀尖坐标值与目标值比较,求出差值后,立即累加到刀补中去。

事实上,传感器触头外侧面不可能正好装在程序坐标系的 $Z$ 为 $0$ 平面内。这包含两个意思:一是为了保护传感器及其触头,就要将它装在靠近床头箱处,即触头外侧面与程序原点间会有一段距离,见图3-15;二是我们可以测出该距离精确到毫米的近似值(如图3-15中刀尖到传感器触头的距离 $812\text{mm}$ ),并把它写入程序,用以确定刀检程序的坐标系。用前述新装刀具的刀检方法,可以自动检测出刀检程序原点到触头外侧面距离的精确值,该值即为刀补值。采用对刀仪对刀、ATC对刀秘自动对刀,都是确定刀具相对基准刀的刀补值,建立工件坐标系还需要利用基准刀根据编程原点安装后的位置采用其他方法对刀确定。

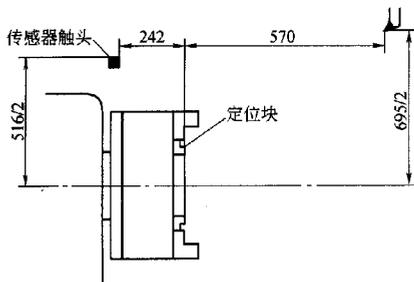


图3-15 卡盘、触头和刀尖间的位置关系

### 第三节 制定数控车削加工工艺要解决的主要问题

#### 一、选择并确定进行数控加工的内容

当选择并决定某个零件进行数控加工后,并不等于要把它所有的加工内容都包下来,而可能只是对其中一部分进行数控加工,必须对零件图纸进行仔细的工艺分析,确定那些最适合、最需要进行数控加工的内容和工序。在选择并做出决定时,应结合本单位的实际,立足于解决难题、攻克关键和提高生产效率,充分发挥数控加工的优势。具体选择时,一般可按下列顺序考虑:

##### 1. 通用机床无法加工的内容应作为首先选择内容

###### (1) 由轮廓曲线构成的回转表面

见图 3-24 图中的圆弧回转表面须用数控车削加工方能满足技术要求。

###### (2) 具有微小尺寸要求的结构表面

见图 3-16 加工此类结构正是数控加工优越性的表现。图示皮带轮为国外某汽车上的零件,在产品设计上大量采用了微小尺寸的结构并有精度要求(如各种过渡倒角、小圆弧等),这是由于国外产品零件大量使用数控设备制造而在零件结构上表现出的突出特点。图 3-21 所示的轴承内圈中的多处过渡倒角也是小尺寸且为圆弧,还有图 3-57 中的两处  $0.1 \text{ mm} \times 45^\circ$  过渡倒角,都属于这种情况。(3) 同一表面采用多种设计要求的结构

见图 3-16,该皮带轮的轴直径采用两种设计要求,尺寸相差很小,配合部分轴颈为  $\phi 31.78 \frac{0}{-1.025}$ , 装配部分轴颈为  $\phi 31.82_0^{+0.1}$ , 半径相差仅  $0.0165/\text{mm}$ , 并且两尺寸过渡倒角也有要求,这样做既能保证装配配合精度要求又能满足装配方便要求,但在加工时只能使用数控设备才能加工出来。

###### (4) 表面间有严格几何关系要求的表面

此类几何关系是指表面间相切、相交或一定的夹角等连接关系,如图 3-24 所示零件中多处相切关系,需要在加工中连续切削才能形成,这样的结构也只能采用数控设备连续走刀才能加工出来。

##### 2. 通用机床难加工质量难以保证的内容应作为重点选择内容

###### (1) 表面间有严格位置精度要求但在普通机床上无法一次安装加工的表面

如图 4-21 所示轴承内圈的滚道和内孔的壁厚差有严格要求,在普通机床上无法一次安装加工,最后采用数控加工才解决了这一技术难题。

###### (2) 表面粗糙度要求很严的锥面、曲面、端面等



对于这类表面只能采用恒线速切削才能达到要求,目前普通设备多不具备恒线速切削功能,而数控设备大多具有此功能。

3. 通用机床加工效率低,工人手工操作劳动强度大的内容,可在数控机床尚存在富余能力的基础上进行选择

一般来说,上述这些加工内容采用数控加工后,在产品质量、生产率与综合经济效益等方面都会得到明显提高。相比之下,下列一些加工内容则不宜选择采用数控加工:

1) 需要通过较长时间占机调整的加工内容,如:偏心回转零件用四爪卡盘长时间在机床上调整,但加工内容却比较简单。

2) 不能在一次安装中加工完成的其他零星部位,采用数控加工很麻烦,效果不明显,可安排通用机床补加工。

此外,在选择和决定加工内容时,也要考虑生产批量、现场生产条件、生产周期等情况。随着生产技术条件的进步,许多现代化生产企业,包括大量生产的企业(如一汽大众、一汽集团:公司下属一些专业生产厂),其产品零件几乎100%采用数控设备生产制造,零件的所有表面都采用数控机床加工,这样就不存在加工表面的选择问题了。

## 二、对零件图进行数控加工工艺分析

### (一) 结构工艺性分析

在进行数控加工工艺性分析时,工艺人员应根据所掌握的数控加工基本特点及所用数控机床的功能和实际工作经验,力求把这一前期准备工作做得更仔细、更扎实一些,以便为下面要进行的工作铺平道路,减少失误和返工,不留隐患。

#### 1. 零件结构工艺性

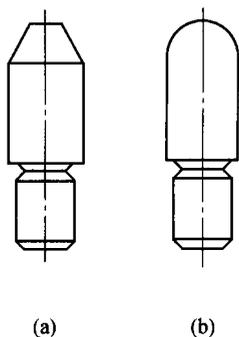


图 3-17 两种结构形式的定位销

零件结构工艺性是指在满足使用要求前提下零件加工的可行性和经济性,即所设计的零件结构应便于加工成形并且成本低、效率高。对零件进行结构工艺性分析时要充分反映数控加工的特色,过去用普通设备加工工艺性很差的结构改用数控设备加工其结构

工艺性则可能不再成问题,比如国外产品零件中大量使用的圆弧结构、微小结构等。连最简单的图 3-17 所示的定位销,国内普遍采用图 3-17a 中销头部分为锥形的结构,而国外则普遍采用图 3-17b 中销头部分为球形的结构。从使用效果来说,球形对工件的划伤要比锥形小得多,但加工时,球形的销必须用数控车削加工。再比如倒角尺寸,国内在标注时标成“宽度×角度”(如  $1 \times 45^\circ$ ) 的形式,而国外图纸在标注时对倒角宽度和角度都提出公差要求(如图 3-16 所示的倒角要求)。实际上,数控加工技术在制造领域的应用,对产品结构设计提供了广阔的舞台,甚至对我国工程标准都提出了挑战,这是一个需认真对待的问题。一般来说,对图纸的工艺性分析与审查,是在零件图纸设计和毛坯设计以后进行的,特别是在把原来采用通用机床加工的零件改为数控加工的情况下,零件设计都已经定型,我们再要求根据数控加工工艺的特点,对图纸或毛坯进行较大更改,一般是比较困难的,所以一定要把重点放在零件图纸和毛坯图纸初步设计与设计定型之间的工艺性审查与分析上。工艺人员不但要积极参与审查和做过细的工作,还要与设计人员密切合作,并尽力说服他们在不损害零件使用特性的许可范围内,更多地满足数控加工工艺的各种要求,尽可能采用适合数控加工的结构,也尽可能发挥数控加工的优越性。

## 2. 零件结构工艺性分析的主要内容

### (1) 审查与分析零件图纸中的尺寸标注方法是否适应数控加工的特点

对数控加工来说,最倾向于以同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸。这就是坐标标注法。这种标注法,既便于编程,也便于尺寸之间的相互协调,在保证设计、定位、检测基准与程编原点设置的一致性方面带来很大方便。由于零件设计人员往往在尺寸标注中较多地考虑装配等使用特性要求,而不得不采取局部分散的标注方法,这样会给工序安排与数控加工带来诸多不便。事实上,由于数控加工精度及重复定位精度都很高,不会因产生较大的积累误差而破坏使用特性,因而改变局部的分散标注法为集中引注或坐标式尺寸标注是完全可行的。目前,国外的产品零件设计尺寸标注绝大部分采用坐标法标注,这是他们基本采用数控设备制造并充分考虑数控加工特点所采取的一种设计原则。

### (2) 审查与分析零件图纸中构成轮廓的几何元素的条件是否充分、正确

由于零件设计人员在设计过程中往往存在难以完全避免的考虑不周,常常遇到构成零件轮廓的几何元素的条件不充分或模糊不清甚至多余的情况。如圆弧与直线、圆弧与圆弧到底是相切还是相交,有些是明明画成相切,但根据图纸给出的尺寸计算相切条件不充分或条件多余而变为相交或相离状态,使程编无从下手;有时,所给条件又过于“苛刻”或自相矛盾,增加了数学处理与节点计算的难度。因为在自动编程时要对构成轮廓的所有几何元素进行定义,手工编程时要计算出每一个节点坐标,无论哪一点不明确或不明确,程编都无法进行。所以,在审查与分析图纸时,一定要仔细认真,发现问题及时找设计人员更改。

如图 3-18 所示的圆弧与斜线的关系要求为相切,但经计算后却为相交关系,而并非相切。又如图 3-19 所示,图样上给定几何条件自相矛盾,其给出的各段长度之和不等于其总长。

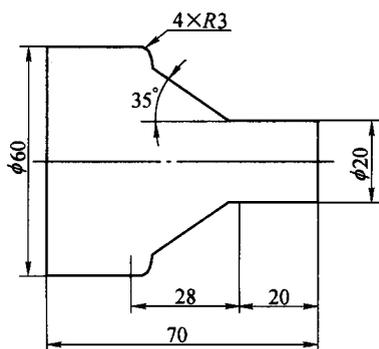


图 3-18 几何要素缺陷示例一

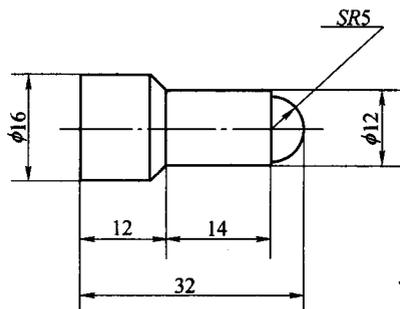


图 3-19 几何要素缺陷示例二

### (3) 审查与分析在数控车床上加工时零件结构的合理性

例如如图 3-20a 所示零件,需用三把不同宽度的切槽刀切槽,如无特殊需要,显然是不合理的,若改成图 3-20b 所示结构,只需一把刀即可切出三个槽。既减少了刀具数量,少占了刀架刀位,又节省了换刀时间。

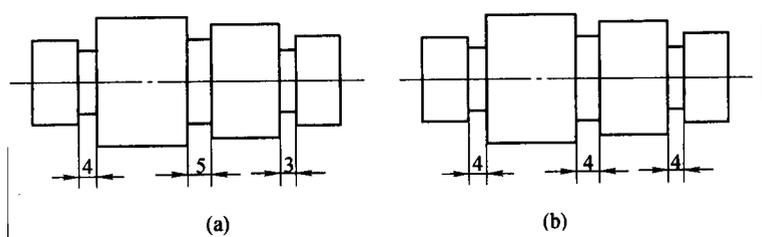


图 3-20 结构工艺性示例

## (二) 精度及技术要求分析

对被加工零件的精度及技术要求进行分析,是零件工艺性分析的重要内容,只有在分析零件精度和表面粗糙度的基础上,才能对加工方法、装夹方式、进给路线、刀具及切削用量等进行正确而合理的选择。

精度及技术要求分析的主要内容:

(1) 分析精度及各项技术要求是否齐全、合理。对采用数控加工的表面,其精度要求应尽量一致,以便最后能一刀连续加工。

(2) 分析本工序的数控车削加工精度能否达到图样要求,若达不到,需采取其他措施(如磨削)弥补的话,注意给后续工序留有余量。

(3) 找出图样上有较高位置精度要求的表面,这些表面应在一次安装下完成。

(4) 对表面粗糙度要求较高的表面,应确定用恒线速切削。

### 三、零件图形的数学处理及编程尺寸设定值的确定

数控加工是一种基于数字的加工,分析数控加工工艺过程不可避免地要进行数字分析和计算。对零件图形的数学处理正是数控加工这一特点的突出体现。数控工艺员在拿到零件图后,必须要对它作数学处理并最终确定编程尺寸设定值。

#### (一) 编程原点的选择

加工程序中的字大部分是尺寸字,这些尺寸字中的数据是程序的主要内容。同一个零件,同样的加工,由于编程原点选得不同,尺寸字中的数据就不一样,所以编程之前首先要选定编程原点。从理论上说,编程原点选在任何位置都是可以的。但实际上,为了换算尽可能简便以及尺寸较为直观(至少让部分点的指令值与零件图上的尺寸值相同),应尽可能把编程原点的位置选得合理些;另外,当编程原点选在不同位置时,对刀的方便性和准确性也不同,还有就是编程原点位置不同时,确定其在毛坯上位置的难易程度和加工余量的均匀性也不一样。车削件的程序原点 $X$ 向均应取在零件加工面的回转中心,即装夹后与车床主轴的轴心线同轴,所以编程原点位置只在 $Z$ 向做选择。如图3-21所示的 $Z$ 向不对称零件,编程原点 $Z$ 向位置一般在左端面、右端面两者中做选择。如果是左右对称零件, $Z$ 向编程原点应选在对称平面内。一般来说,编程原点的确定原则为:

(1)将编程原点选在设计基准上并以设计基准为定位基准,这样可避免基准不重合而产生的误差及不必要的尺寸换算。如图3-21所示零件,批量生产,编程原点选在左端面上。

(2)容易找正对刀,对刀误差小。如图3-21,若单件生产,G92建立工件坐标系,选零件的右端面为编程原点,可通过试切直接确定编程原点在 $Z$ 向的位置,不用测量,找正对刀比较容易,对刀误差小。

(3)编程方便。如图3-25,选零件球面的中心(图中 $O$ 点)为编程原点,各节点的编程尺寸计算比较方便。

(4)在毛坯上的位置能够容易、准确地确定,并且各面的加工余量均匀。

(5)对称零件的编程原点应选在对称中心。一方面可以保证加工余量均匀,另一方面可采用镜像编程,编一个程序加工两个工序,零件的形廓精度高。例如,对于轮廓含椭圆之类曲线的零件, $Z$ 向编程原点取在椭圆的对称中心为好。

具体应用哪条原则,要视具体情况,在保证质量的前提下,按操作方便和效率高来选择。

#### (二) 编程尺寸设定值的确定

编程尺寸设定值理论上应为该尺寸误差分散中心,但由于事先无法知道分散中心的确切位置,可先由平均尺寸代替,最后根据试加工结果进行修正,以消除常值系统性误差的影响。

### 1. 编程尺寸设定值确定的步骤

- (1) 精度高的尺寸的处理 将基本尺寸换算成平均尺寸；
- (2) 几何关系的处理 保持原重要的几何关系 如角度 相切等不变；
- (3) 精度低的尺寸的调整 通过修改一般尺寸保持零件原有几何关系 使之协调；
- (4) 节点坐标尺寸的计算 按调整后的尺寸计算有关未知节点的坐标尺寸；
- (5) 编程尺寸的修正 按调整后的尺寸编程并加工一组工件 测量关键尺寸的实际分散中心并求出常值系统性误差 再按此误差对程序尺寸进行调整并修改程序。

### 2. 应用实例

[例 3-2] 如图 3-21 所示一种圆锥滚子轴承内圈车削编程尺寸的确定(单位为 mm)

#### (1) 将关键基本尺寸换算成平均尺寸

编程原点选定后 就应将各点的尺寸换算成从编程原点开始的坐标值 并重新标注。有些零件用基本尺寸换算过来的坐标值编程是可以的 但有些则需要用平均尺寸换算过来的坐标值来编程 特别是一些关键尺寸要必须换算 这样在实际车削过程中比较容易控制尺寸误差。换算时一般先换算大轮廓的节点 再换算其他局部的尺寸。图 3-22 是用基本尺寸换算到编程原点的尺寸 图 4-23 则是原则上取平均尺寸再换算过来的尺寸。读者可将两图对比进行分析。图 3-23 中的  $B$ 、 $C$ 、 $J$ 、 $M$ 、 $S$ 、 $W$  六点均在零件图中标了尺寸 所以只要做简单的换算和重标就可以了。E 点可通过  $7^{\circ}59'$  计算确定。对于  $H$  点 图 中也标了尺寸 但属封闭换算尺寸标注 前面七点改用平均尺寸标注后 为了保证图中  $7^{\circ}40'$  和  $57^{\circ}20'$  这两个角度的要求  $H$  点的坐标要另行计算。

#### (2) 保持原重要的几何关系并修改一般尺寸

图 3-23 中  $H$  点之外的七个点尺寸均采用平均尺寸。假如  $H$  点的  $X$  和  $Z$  向也采用平均尺寸 那么  $7^{\circ}40'$  和  $57^{\circ}20'$  这两个角度就会有所变化。车削光坯时应该保证这两个角度较为准确 保持原来的几何关系 这样  $H$  点的位置就应通过列、解直线方程组求得。通过线段  $CH$  的直线方程和通过线段  $JH$  的直线方程整理后为

$$\begin{cases} X = -\tan 7^{\circ}40' \times Z + 83.058\ 525 \\ X = \cot 32^{\circ}40' \times Z - 19.636\ 845 \end{cases}$$

解这个方程组 得

$$\begin{cases} Z = 60.613412 \\ X = 74.899\ 178 \end{cases}$$

这就是这两条直线之交点  $H$  点的坐标值。由于这里采用直径指定 所以  $H$  点位置的直径为  $\phi 149.798$ 。可以看到  $H$  点  $Z$  向的 60.613 在零件图上所标的点  $H$  尺寸的公差范围内 它既不是零件图中换算的  $H$  的基本尺寸(60.611),也不是换算的平均尺寸(60.581) 而是按角度要求计算才得到的 目的就是保证原几何角度要求。

#### (3) 计算未知节点尺寸

现在来看零件图中  $B$ 、 $Z$ 、 $J$ 、 $M$ 、 $S$  五个拐角处的细部(参看图 3-21)  $IV$  处与  $S$  处呈  $Z$

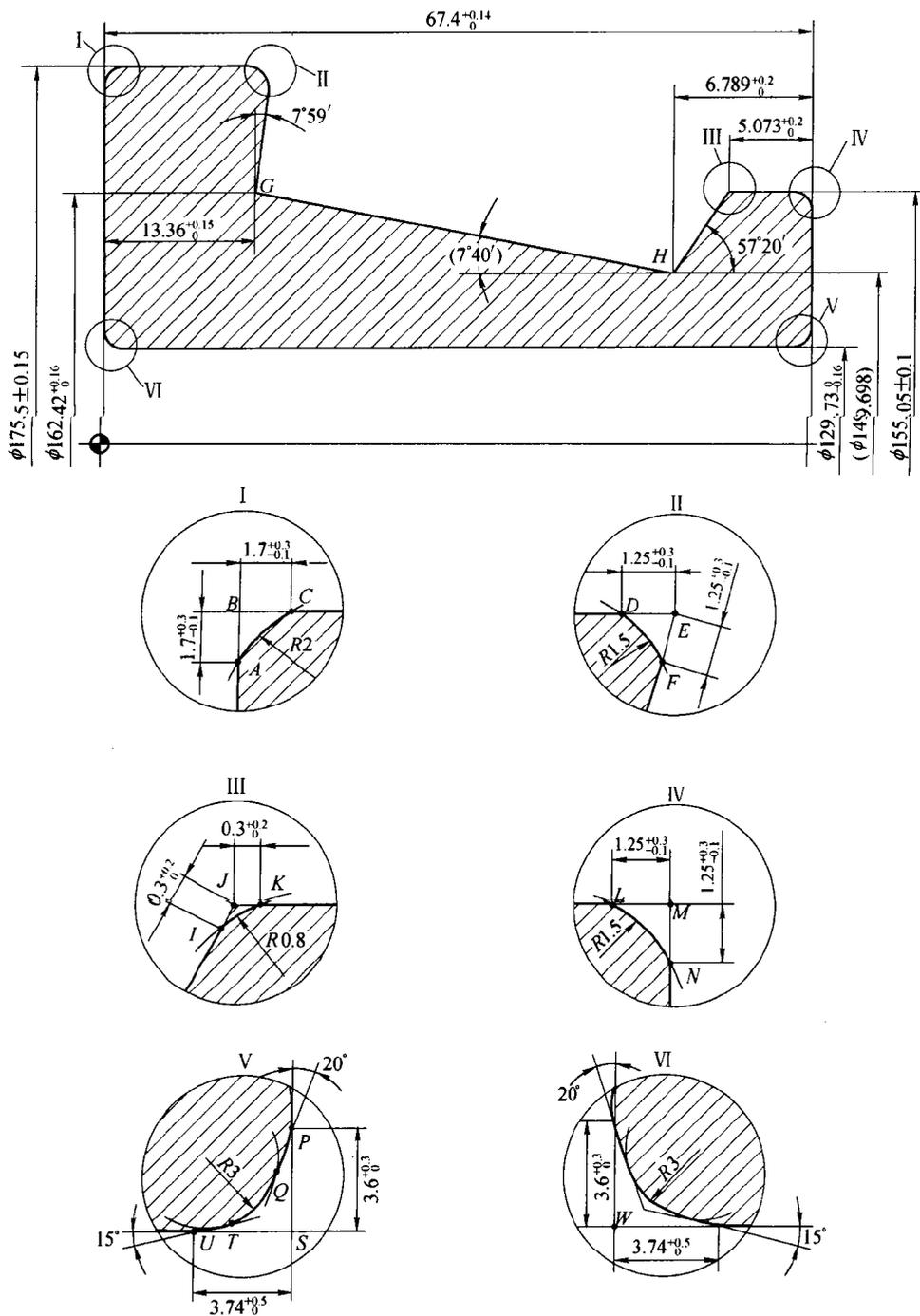


图 3-21 一种圆锥滚子轴承内圈零件简图

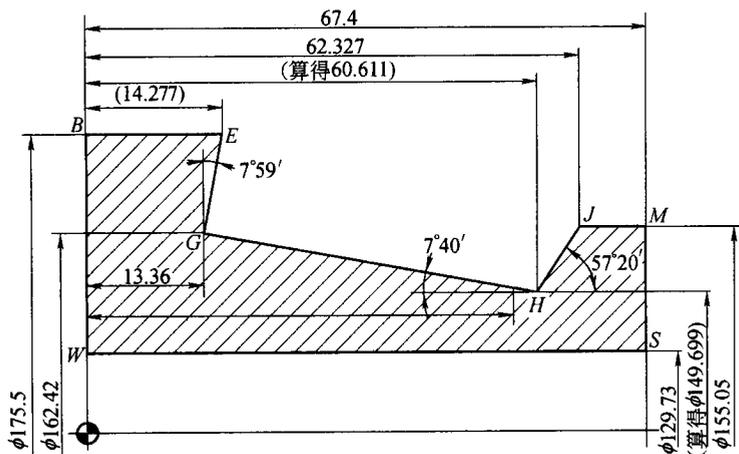


图 3-22 大轮廓节点从原点开始的基本尺寸

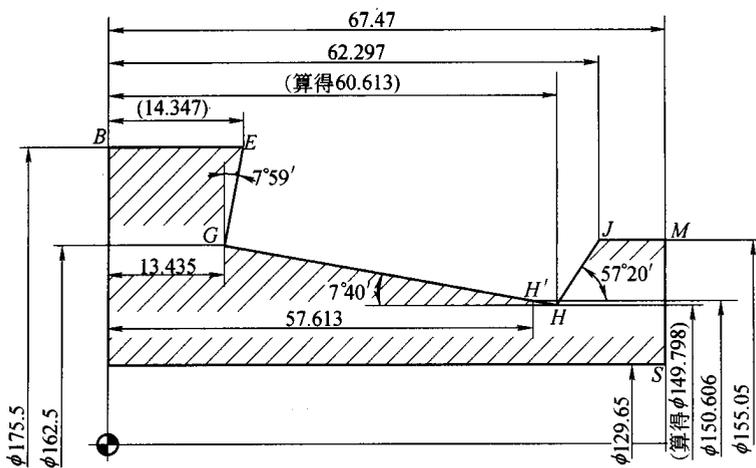


图 3-23 大轮廓节点从原点开始的平均尺寸

向对称,故不必另做计算)。倒角处的各尺寸一律取平均尺寸。这样, A、C、D、K、L、N、P、U 八点的坐标值可用简单换算得到, F 和 I 点的坐标值用三角函数也可算出来,余下的 Q、T 两个节点及五个圆弧的圆心位置要做一些计算才能得到,这里不做具体计算,只写出结果:

B 处圆角之圆心相对于 B 点的纵横坐标值分别为

$$\begin{cases} X = 1.99087 \\ Y = -1.99087 \end{cases}$$

E 处圆角之圆心相对于 E 点的纵横坐标值分别为

$$\begin{cases} X = -1.682 \\ Y = -1.463 \end{cases}$$

$J$  处圆角之圆心相对于  $J$  点的纵横坐标值分别为

$$\begin{cases} X = 0.436\ 91 \\ Y = -0.799\ 15 \end{cases}$$

$M$  处圆角之圆心相对于  $M$  点的纵横坐标值分别为

$$\begin{cases} X = -1.493\ 15 \\ Y = -1.493\ 15 \end{cases}$$

$S$  处圆角之圆心相对于  $S$  点的纵横坐标值分别为

$$\begin{cases} X = -3.406\ 481\ 6 \\ Y = 3.262\ 181\ 8 \end{cases}$$

切点  $Q$  相对  $S$  点的坐标  $X_Q$ 、 $Y_Q$  分别为

$$\begin{cases} X_Q = -0.587\ 40 \\ Y_Q = 2.236\ 12 \end{cases}$$

切点  $T$  相对  $S$  点的坐标  $X_T$ 、 $Y_T$  分别为

$$\begin{cases} X_T = -2.630\ 0 \\ Y_T = 0.364\ 40 \end{cases}$$

#### (4) 编程尺寸的最后形成

经过上述分析和计算后得到的尺寸才能用于编程,并且编好的程序用于不同的机床,由于每台机床工况不同,其加工结果也不一样,还要根据具体的加工情况进行调整,最终作为应用程序固定下来再真正用于加工。

例 3-3 图 3-24 所示典型轴类零件的数控车削编程尺寸的确定(单位为 mm)。

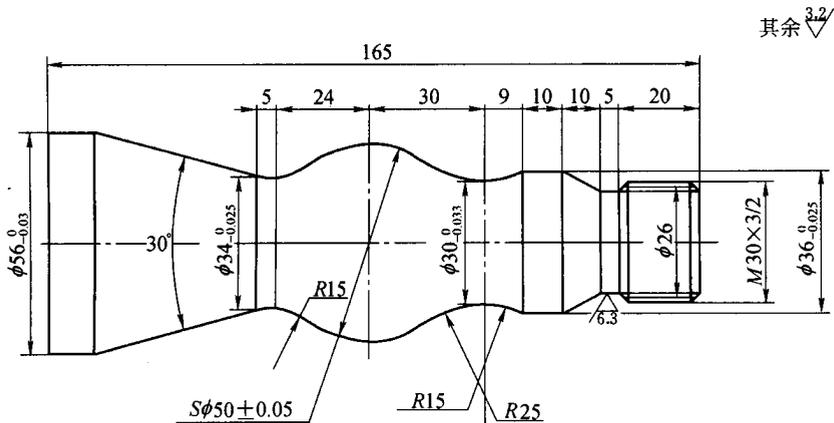


图 3-24 典型轴类零件简图

该零件中的  $\phi 56_{-0.03}^0$ 、 $\phi 34_{-0.025}^0$ 、 $\phi 30_{-0.033}^0$ 、 $\phi 36_{-0.025}^0$  四个直径基本尺寸都为最大尺寸,若按此基本尺寸编程,考虑到车削外尺寸时刀具的磨损及让刀变形,实际加工尺寸肯定偏大,难以满足加工要求,所以必须按平均尺寸确定编程尺寸。但这些尺寸一改,若其他尺

寸保持不变 则左边  $R15$  圆弧与  $\phi 50 \pm 0.05$  球面、 $\phi 50 \pm 0.05$  球面与  $R25$  圆弧和  $R25$  圆弧与右边  $R15$  圆弧相切的几何关系就不能保持,所以必须按前述步骤对有关尺寸进行修正,以确定编程尺寸值。

(1) 将精度高的基本尺寸换算成平均尺寸

$\phi 56_{-0.03}^0$  改为  $\phi 55.985 \pm 0.015$   $\phi 34_{0.025}^0$  改为  $\phi 33.9875 \pm 0.0125$ ;

$\phi 30_{-0.033}^0$  改为  $\phi 29.9835 \pm 0.0165$   $\phi 36_{-0.025}^0$  改为  $\phi 35.9875 \pm 0.0125$ 。

(2) 保持原有关圆弧间相切的几何关系,修改其他精度低的尺寸使之协调(图 3-25)

设工件坐标系原点为图示  $O$  点,工件轴线为  $Z$  轴,径向为  $X$  轴。 $A$  点为左边  $R15$  圆弧圆心; $B$  点为左边  $R15$  圆弧与  $R25$  球面圆弧切点; $C$  点为  $R25$  球面圆弧与右边  $R25$  圆弧切点; $D$  点为  $R25$  圆弧与右边  $R15$  圆弧切点; $E$  点为  $R25$  圆弧圆心。要保证  $E$  点到轴线距离为 40,由于  $D$  点到轴线距离为 14.99175(编程尺寸决定),所以该处圆弧半径调整为  $R25.00825$ ,保持  $OE$  间距离 50 不变,则球面圆弧半径调整为  $R24.99175$ ;保持左边  $R15$  圆弧半径不变并与  $\phi 33.9875$  外圆和  $R24.99175$  球面圆弧相切,则左边  $R15$  圆弧中心按此要求计算确定。其他调整后的有关尺寸见图 3-25 所示。

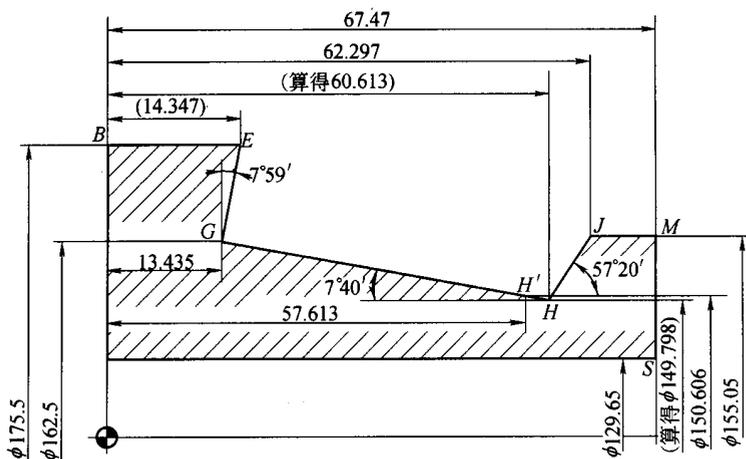


图 3-25 调整后的有关编程尺寸

(3) 按调整后的尺寸计算有关未知节点尺寸

经计算,各有关主要节点的坐标值(保留小数点后 3 位)如下:

$A$  点:  $Z = -23.995$ ,  $X = 31.994$   $B$  点:  $Z = -14.995$ ,  $X = 19.994$

$C$  点:  $Z = 14.995$ ,  $X = 19.994$   $D$  点:  $Z = 30.000$ ,  $X = 14.992$

$E$  点:  $Z = 30.000$ ,  $X = 40.000$

需说明的是,球面圆弧调整后的直径并不是其平均尺寸,但在其尺寸公差范围内。

## 四、数控车削加工工艺过程的拟定

### (一) 零件表面数控车削加工方案的确定

一般根据零件的加工精度、表面粗糙度、材料、结构形状、尺寸及生产类型确定零件表面的数控车削加工方法及加工方案。

#### 1. 数控车削外回转表面及端面的加工方案的确定

(1) 加工精度为 IT7 ~ IT8 级、 $Ra0.8 \sim 1.6\mu m$  的除淬火钢以外的常用金属,可采用普通型数控车床,按粗车、半精车、精车的方案加工;

(2) 加工精度为 IT5 ~ IT6 级、 $Ra0.2 \sim 0.63\mu m$  的除淬火钢以外的常用金属,可采用精密型数控车床,按粗车、半精车、精车、细车的方案加工;

(3) 加工精度高于 IT5 级、 $Ra < 0.08\mu m$  的除淬火钢以外的常用金属,可采用高档精密型数控车床,按粗车、半精车、精车、精密车的方案加工;

(4) 对淬火钢等难车削材料,其淬火前可采用粗车、半精车的方法,淬火后安排磨削加工,对最终工序有必要用数控车削方法加工的难切削材料,其具体加工方法和达到的精度及  $Ra$  值见本章第六节。

#### 2. 数控车削内回转表面的加工方案的确定

(1) 加工精度为 IT8 ~ IT9 级、 $Ra1.6 \sim 3.2\mu m$  的除淬火钢以外的常用金属,可采用普通型数控车床,按粗车、半精车、精车的方案加工;

(2) 加工精度为 IT6 ~ IT7 级、 $Ra0.2 \sim 0.63\mu m$  的除淬火钢以外的常用金属,可采用精密型数控车床,按粗车、半精车、精车、细车的方案加工;

(3) 加工精度为 IT5 级、 $Ra < 0.2\mu m$  的除淬火钢以外的常用金属,可采用高档精密型数控车床,按粗车、半精车、精车、精密车的方案加工;

(4) 对淬火钢等难车削材料,同样其淬火前可采用粗车、半精车的方法,淬火后安排磨削加工,对最终工序有必要用数控车削方法加工的难切削材料,其具体加工方法和达到的精度及  $Ra$  值亦见本章第六节。

### (二) 工序的划分

#### 1. 数控车削加工工序的划分

对于需要多台不同的数控机床、多道工序才能完成加工的零件,工序划分自然以机床为单位来进行。而对于需要很少的数控机床就能加工完零件全部内容的情况,数控加工工序的划分一般可按下列方法进行:

##### (1) 以一次安装所进行的加工作为一道工序

将位置精度要求较高的表面安排在一次安装下完成,以免多次安装所产生的安装误差影响位置精度。例如,以图 3-21 所示的轴承内圈为例,轴承内圈有一项形位公差要求“壁厚差”,是指滚道与内径在一个圆周上的最大壁厚差别。此零件的精车,原采用三台

液压半自动车床和一台液压仿形车床加工,需4次装夹,滚道与内径分在两道工序车削(无法在一台液压仿形车床上将两面一次安装同时加工出来),因而造成较大的壁厚差,达不到图纸要求。后改用数控车床加工,两次装夹完成全部精车加工。第一道工序采用图3-26a所示的以大端面和大外径定位装夹的方案,滚道和内孔的车削及除大外径、大端面及相邻两个倒角外的所有表面均在这次装夹内完成。由于滚道和内径同在此工序车削,壁厚差大为减小,且加工质量稳定。此外,该轴承内圈小端面与内径的垂直度、滚道的角度也有较高要求,因此也在此工序内同时完成。若在数控车床上加工后经实测发现小端面与内径的垂直度误差较大,可以用修改程序内数据的方法来进行校正。第二道工序采用图3-26b所示的以内孔和小端面定位装夹方案,车削大外圆和大端面及倒角。

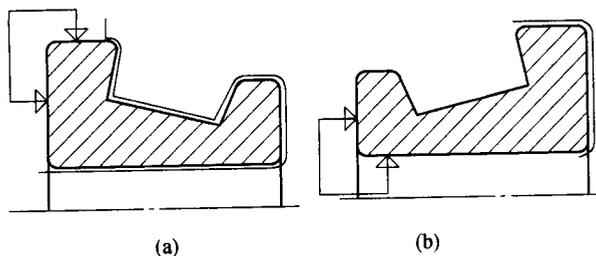


图3-26 轴承内圈两道工序加工方案

#### (2) 以一个完整数控程序连续加工的内容为一道工序

有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工面,但考虑到程序太长,会受到某些限制,如:控制系统的限制(主要是内存容量)、机床连续工作时间的限制(如一道工序在一个工作班内不能结束)等,此外,程序太长会增加出错率,查错与检索困难,因此程序不能太长。这时可以以一个独立、完整的数控程序连续加工的内容为一道工序。在本工序内用多少把刀具,加工多少内容,主要根据控制系统的限制,机床连续工作时间的限制等因素考虑。

#### (3) 以工件上的结构内容组合用一把刀具加工为一道工序

有些零件结构较复杂,既有回转表面也有非回转表面,既有外圆、平面也有内腔、曲面。对于加工内容较多的零件,按零件结构特点将加工内容组合分成若干部分,每一部分用一把典型刀具加工。这时可以将组合在一起的所有部位作为一道工序。然后再将另外组合在一起的部位换另外一把刀具加工,作为新的一道工序。这样可以减少换刀次数,减少空程时间。

#### (4) 以粗、精加工划分工序

对于容易发生加工变形的零件,通常粗加工后需要进行矫形,这时粗加工和精加工作为两道工序,可以采用不同的刀具或不同的数控车床加工。对毛坯余量较大和加工精度要求较高的零件,应将粗车和精车分开,划分成两道或更多的工序。将粗车安排在精度较低、功率较大的数控车床上,将精车安排在精度较高的数控车床上。

下面以车削图3-27a所示手柄零件为例,说明工序的划分。

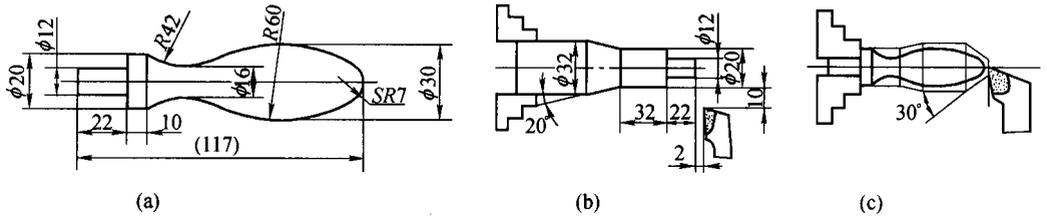


图 3-27 手柄加工示意图

该零件加工所用坯料为  $\phi 32\text{mm}$  棒料, 批量生产, 加工时用一台数控车床。工序划分如下:

第一道工序(按图 3-27b 所示将一批工件全部车出, 包括切断), 夹棒料外圆柱面, 工序内容有: 先车出  $\phi 12\text{mm}$  和  $\phi 20\text{mm}$  两圆柱面及圆锥面(粗车掉  $R42\text{mm}$  圆弧的部分余量), 转刀后按总长要求留下加工余量切断。

第二道工序(见图 3-27c), 用  $\phi 12\text{mm}$  外圆及  $\phi 20\text{mm}$  端面装夹, 工序内容有: 先车削包络  $SR7\text{mm}$  球面的  $30^\circ$  圆锥面, 然后对全部圆弧表面半精车(留少量的精车余量), 最后换精车刀将全部圆弧表面一刀精车成形。

综上所述, 在数控加工划分工序时, 一定要视零件的结构与工艺性, 零件的批量, 机床的功能, 零件数控加工内容的多少, 程序的大小, 安装次数及本单位生产组织状况灵活掌握。什么零件宜采用工序集中的原则还是采用工序分散的原则, 也要根据实际情况来确定, 但一定要力求合理。

## 2. 回转类零件非数控车削加工工序的安排

(1) 零件上有不适合数控车削加工的表面, 如渐开线齿形、键槽、花键表面等, 必须安排相应的非数控车削加工工序。

(2) 零件表面硬度及精度要求均高, 热处理需安排在数控车削加工之后, 则热处理之后一般安排磨削加工。

(3) 零件要求特殊, 不能用数控车削加工完成全部加工要求, 则必须安排其他非数控车削加工工序, 如喷丸、滚压加工、抛光等。

(4) 零件上有些表面根据工厂条件采用非数控车削加工更合理, 这时可适当安排这些非数控车削加工工序, 如铣端面打中心孔等。

## 3. 数控加工工序与普通工序的衔接

数控工序前后一般穿插有其他普通工序, 如衔接得不好就容易产生矛盾, 最好的办法是相互建立状态要求, 如: 要不要留加工余量, 留多少; 定位面的尺寸精度要求及形位公差; 对校形工序的技术要求; 对毛坯的热处理状态要求等。其目的是达到相互能满足加工需要, 且质量目标及技术要求明确, 交接验收有依据。

### (三) 工序顺序的安排

制定零件数控车削加工工序顺序一般遵循下列原则:

(1) 先加工定位面, 即上道工序的加工能为后面的工序提供精基准和合适的夹紧表

面。制定零件的整个工艺路线就是从最后一道工序开始往前推,按照前工序为后工序提供基准的原则先大致安排的。

(2)先加工平面后加工孔,先加工简单的几何形状再加工复杂的几何形状。

(3)对精度要求高,粗精加工需分开进行的,先粗加工后精加工。

(4)以相同定位、夹紧方式安装的工序,最好接连进行,以减少重复定位次数和夹紧次数。

(5)中间穿插有通用机床加工工序的要综合考虑合理安排其加工顺序。

上述工序顺序安排的一般原则不仅适用于数控车削加工工序顺序的安排,也适用于其他类型的数控加工工序顺序的安排。

#### (四)工步顺序和进给路线的确定

##### 1. 工步顺序安排的一般原则

###### (1)先粗后精

对粗精加工在一道工序内进行的,先对各表面进行粗加工,全部粗加工结束后再进行半精加工和精加工,逐步提高加工精度。此工步顺序安排的原则要求粗车在较短的时间内将工件各表面上的大部分加工余量(如图3-28中的双点画线内所示部分)切掉,一方面提高金属切除率,另一方面满足精车的余量均匀性要求。若粗车后所留余量的均匀性满足不了精加工的要求时,则要安排半精车,以此为精车做准备。此原则实质是在一个工序内分阶段加工,这样有利于保证零件的加工精度,适用于精度要求高的场合,但可能增加换刀的次数和加工路线的长度。

###### (2)先近后远

这里所说的远与近,是按加工部位相对于对刀点(起刀点)的距离远近而言的。在一般情况下,离对刀点远的部位后加工,以便缩短刀具移动距离,减少空行程时间。

例如,当加工图3-29所示零件时,如果按 $\phi 38\text{mm} \sim \phi 36\text{mm} \sim \phi 34\text{mm}$ 的次序安排车削,会增加刀具返回对刀点所需的空行程时间,还可能使台阶的外直角处产生毛刺(飞边)。对这类直径相差不大的台阶轴,当第一刀的背吃刀量(图中最大背吃刀量可为31mm左右)未超限时,宜按 $\phi 34\text{mm} \sim \phi 36\text{mm} \sim \phi 38\text{mm}$ 的次序先近后远地安排车削。

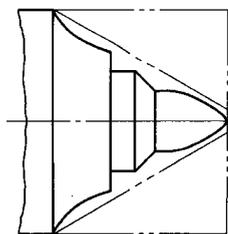


图3-28 先粗后精示例

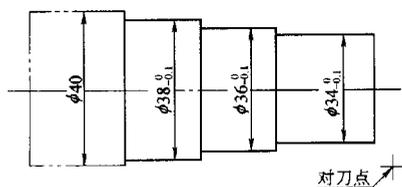


图3-29 先近后远示例

### (3) 内外交叉

对既有内表面(内型、腔),又有外表面需加工的回转体零件,安排加工顺序时,应先进行外、内表面粗加工,后进行外、内表面精加工。切不可将零件上一部分表面(外表面或内表面)加工完毕后,再加工其他表面(内表面或外表面)。

### (4) 保证工件加工刚度原则

在一道工序中进行的多工步加工,应先安排对工件刚性破坏较小的工步,后安排对工件刚性破坏较大的工步,以保证工件加工时的刚度要求。即一般先加工离装夹部位较远的在后续工步中不受力或受力小的部位,本身刚性差又在后续工步中受力的部位一定要后加工。

### (5) 同一把刀能加工内容连续加工原则

此原则的含义是用同一把刀把能加工的内容连续加工出来,以减少换刀次数,缩短刀具移动距离。特别是精加工同一表面一定要连续切削。该原则与先粗后精原则有时相矛盾,能否选用以能否满足加工精度要求为准。

上述工步顺序安排的一般原则同样适用于其他类型的数控加工工步顺序的安排。

## 2. 进给路线的确定

进给路线是指数控机床加工过程中刀具相对零件的运动轨迹和方向,也称走刀路线。它泛指刀具从对刀点(或机床参考点)开始运动起,直至返回该点并结束加工程序所经过的路径,包括切削加工的路径及刀具切入、切出等非切削空行程。它不但包括了工步的内容,也反映出工步顺序。进给路线是编写程序的依据之一,因此,在确定进给路线时最好画一张工序简图,将已经拟定出的进给路线画上去(包括进、退刀路线),这样可为编程带来不少方便。

### (1) 确定进给路线的主要原则

- 1) 首先按已定工步顺序确定各表面加工进给路线的顺序;
- 2) 所定进给路线应能保证工件轮廓表面加工后的精度和粗糙度要求;
- 3) 寻求最短加工路线(包括空行程路线和切削路线),减少行走时间以提高加工效率;
- 4) 要选择工件在加工时变形小的路线,对横截面积小的细长零件或薄壁零件应采用分几次走刀加工到最后尺寸或对称去余量法安排进给路线。

确定进给路线的工作重点,主要在于确定粗加工及空行程的进给路线,因精加工切削过程的进给路线基本上都是沿零件轮廓顺序进行的。

### (2) 粗加工进给路线的确定

#### 1) 常用的粗加工进给路线

①“矩形”循环进给路线。图 3-30a 为利用数控系统具有的矩形循环功能而安排的“矩形”循环进给路线。

②“三角形”循环进给路线。图 3-30b 为利用数控系统具有的三角形循环功能安排的“三角形”循环进给路线。

③沿轮廓形状等距线循环进给路线。图 3-30c 表示利用数控系统具有的封闭式复

合循环功能控制车刀沿着工件轮廓等距线循环的进给路线。

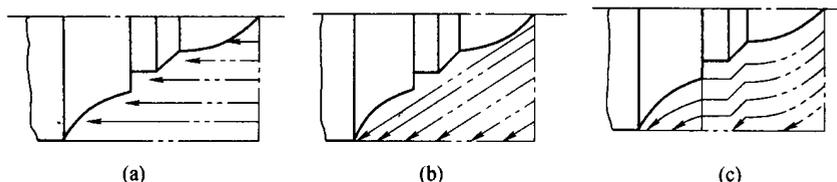


图 3-30 常用的粗加工循环进给路线

④ 阶梯切削路线。图 3-31 所示为车削大余量工件两种加工路线,图 3-31a 是错误的阶梯切削路线,图 3-31b 按 1~5 的顺序切削,每次切削所留余量相等,是正确的阶梯切削路线。因为在同样背吃刀量的条件下,按图 3-31a 的方式加工所剩的余量过多。

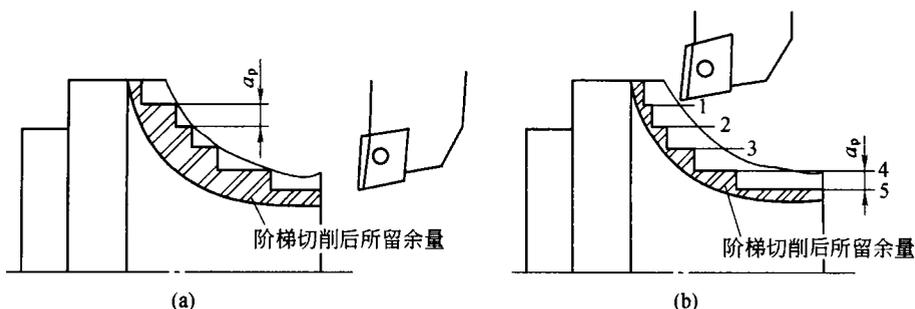


图 3-31 大余量毛坯阶梯切削路线

⑤ 双向切削进给路线。利用数控车床加工的特点,还可以放弃常用的阶梯车削法,改用轴向和径向联动双向进刀,顺工件毛坯轮廓进给的路线,如图 3-32 所示。

## 2) 最短的粗加工切削进给路线

切削进给路线为最短,可有效地提高生产效率,降低刀具的损耗等。图 3-30 为粗车图 3-28 所示例件三种不同的切削进给路线,经分析和判断后可知矩形循环进给路线的进给长度总和最短。因此,在同等条件下,其切削所需时间(不含空行程)最短,刀具的损耗最少,为常用粗加工切削进给路线,但也有缺点,粗加工后的精车余量不够均匀,一般需安排半精加工。

## (3) 精加工进给路线的确定

### 1) 完工轮廓的进给路线

在安排一刀或多刀进行的精加工进给路线时,其零件的完工轮廓应由最后一刀连续加工而成,并且加工刀具的进、退刀位置要考虑妥当,尽量不要在连续的轮廓中安排切入和切出或换刀及停顿,以免因切削力突然变化而造成弹性变形,致使光滑连接轮廓上产生表面划伤、形状突变或滞留刀痕等缺陷。

### 2) 换刀加工时的进给路线

主要根据工步顺序要求决定各刀加工的先后顺序及各刀进给路线的衔接。

### 3) 切入、切出及接刀点位置的选择

应选在有空刀槽或表面间有拐点、转角的位置,而曲线要求相切或光滑连接的部位不能作为切入、切出及接刀点的位置。

4)各部位精度要求不一致的精加工进给路线  
若各部位精度相差不是很大时,应以最严的精度为准,连续走刀加工所有部位,若各部位精度相差很大,则精度接近的表面安排在同一把刀走刀路线内加工,并先加工精度较低的部位,最后再单独安排精度高的部位的走刀路线。

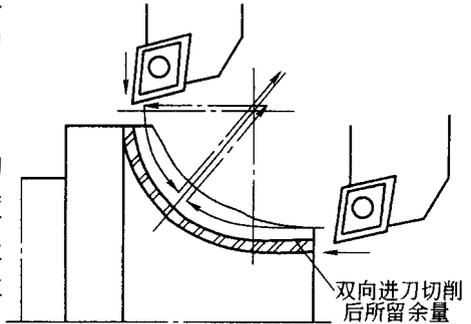


图 3-32 顺工件轮廓双向进给的路线

#### (4)最短的空行程进给路线的确定

在保证加工质量的前提下,使加工程序具有最短的进给路线,不仅可以节省整个加工过程的执行时间,还能减少机床进给机构滑动部件的磨损等。

##### 1)巧用起刀点

图 3-33a 为采用矩形循环方式进行粗车的一般情况示例。其对刀点  $A$  的设定是考虑到加工过程中需方便地换刀,故设置在离坯件较远的位置处,同时将起刀点与其对刀点重合在一起,按三刀粗车的进给路线安排如下:

第一刀  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ ;

第二刀  $A \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow A$ ;

第三刀  $A \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow J \rightarrow A$ 。

图 3-33b 则是巧将循环加工的起刀点与对刀点分离,并设于图示  $B$  点位置,仍按相同的切削量进行三刀粗车,其进给路线安排如下:

循环加工的起刀点与对刀点分离的空行程  $A \rightarrow B$ ;

第一刀  $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow B$ ;

第二刀  $B \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow B$ ;

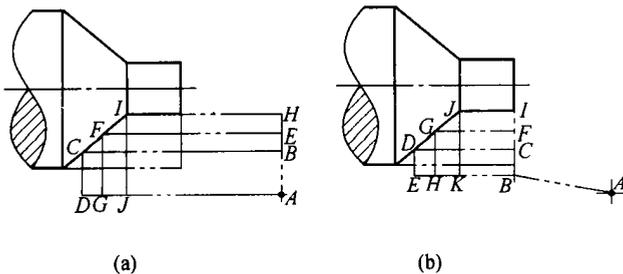


图 3-33 巧用起刀点

第三刀  $B \rightarrow I \rightarrow J \rightarrow K \rightarrow B$ 。

显然,图 3-33b 所示的进给路线短。该方法也可用在其他循环(如螺紋车削)切削加工中。

## 2) 巧设换(转)刀点

为了考虑换(转)刀的方便和安全,有时将换(转)刀点也设置在离坯件较远的位置处(如图3-33中的A点)那么,当换第二把刀后,进行精车时的空行程路线必然也较长,如果将第二把刀的换刀点也设置在图3-33b中的B点位置上(因工件已去掉一定的余量)则可缩短空行程距离,但换刀过程中一定不能发生碰撞。

## 3) 合理安排“回零”路线

在手工编制较为复杂轮廓的加工程序时,为使其计算过程尽量简化,既不出错,又便于校核,编程者有时将每一刀加工完后的刀具终点通过执行“回零”(即返回对刀点)指令,使其全都返回到对刀点位置,然后再执行后续程序。这样会增加进给路线的距离,从而降低生产效率。因此,在合理安排“回零”路线时,应使其前一刀终点与后一刀起点间的距离尽量减短,或者为零,即可满足进给路线为最短的要求。另外,在选择返回对刀点指令时,在不发生加工干涉现象的前提下,宜尽量采用X、Z坐标轴双向同时“回零”指令,该指令功能的“回零”路线将是最短的。

## (5) 特殊的进给路线

在数控车削加工中,一般情况下,Z坐标轴方向的进给运动都是沿着负方向进给的,但有时按这种方式安排进给路线并不合理,甚至可能车坏工件。

如图3-34所示零件加工,当采用尖形车刀加工大圆弧内表面时,有两种不同的进给路线,其结果极不相同。对于图3-34a所示的第一种进给路线(负Z走向),因切削时尖形车刀的主偏角为 $100^\circ \sim 105^\circ$ ,这时切削力在X向的分力 $F_{p\text{将}}$ 沿着图3-35所示的正X方向作用,当刀尖运动到圆弧的换象限处,即由负Z、负X向负Z、正X变换时,吃刀抗力 $F_p$ 马上与传动横拖板的传动力方向相同,若螺旋副间有机械传动间隙,就可能使刀尖嵌入零件表面(即“扎刀”),其嵌入量在理论上等于其机械传动间隙量 $\epsilon$ (如图3-35所示)。即使该间隙量很小,由于刀尖在X方向换向时,横向拖板进给过程的位移量变化也很小,加上处于动摩擦与静摩擦之间呈过渡状态的拖板惯性的影响,仍会导致横向拖板产生严重的爬行现象,从而大大降低零件的表面质量。

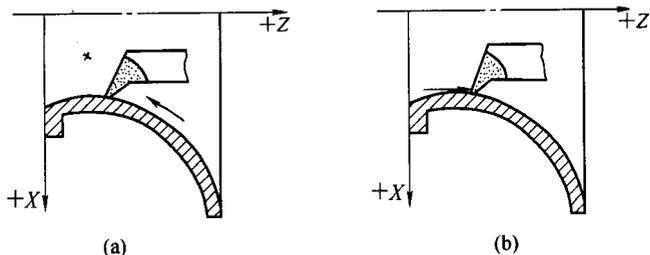


图3-34 两种不同的进给方法

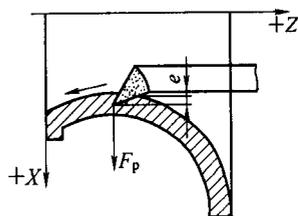


图3-35 嵌刀现象

对于图3-34b所示的第二种进给方法,因为尖刀运动到圆弧的换象限处,即由正Z、

负  $X$  向正  $Z$ 、正  $X$  方向变换时, 吃刀抗力  $F_p$  与丝杠传动横向拖板的传动力方向相反(图 3-36), 不会受螺旋副机械传动间隙的影响而产生嵌刀现象, 所以图 3-34b 所示进给路线是较合理的。

此外, 在车削螺纹时, 有一些多次重复进给的动作, 且每次进给的轨迹相差不大, 这时进给路线的确定可采用系统固定循环功能, 详见有关数控编程教材。

## 五、数控加工余量、工序尺寸及公差确定

### (一) 数控车削加工余量的确定

为方便数控车削加工工艺的具体制定, 这里直接给出按查表法确定轧制圆棒料毛坯和模锻毛坯用于加工轴类零件的余量, 见表 3-1 和表 3-2。

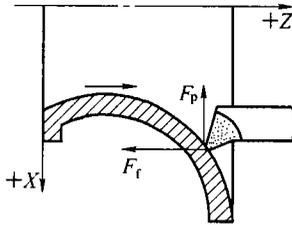


图 3-36 合理的进给方案

表 3-1 普通精度轧制件用于轴类(外旋转表面)零件的数控车削加工余量

mm

名义直径	表面加工方法	直径余量(按轴长取)											
		到 120		> 120 ~ 260		> 260 ~ 500		> 500 ~ 800		> 800 ~ 1 250		> 1 250 ~ 2000	
到 30	粗车和一次车	1.1	1.3	1.7	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—
	半精车	0.45	0.45	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—
	精车	0.2	0.25	0.25	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—
	细车	0.12	0.13	0.15	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—
> 30 ~ 50	粗车和一次车	1.1	1.3	1.8	1.8	2.2	2.2	—	—	—	—	—	—
	半精车	0.45	0.45	0.45	0.45	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—
	精车	0.2	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	—	—	—	—	—	—
	细车	0.12	0.13	0.13	0.14	0.16	0.16	—	—	—	—	—	—
> 50 ~ 80	粗车和一次车	1.1	1.5	1.8	1.9	2.2	2.3	2.3	2.6	—	—	—	—
	半精车	0.45	0.45	0.45	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	—	—	—	—
	精车	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	—	—	—	—
	细车	0.12	0.13	0.13	0.15	0.14	0.16	0.17	0.18	—	—	—	—

名义直径	表面加工方法	直径余量(按轴长取)					
		到 120	> 120 ~ 260	> 260 ~ 500	> 500 ~ 800	> 800 ~ 1 250	> 1 250 ~ 2000
> 80 ~ 120	粗车和一次车	1.2 1.7	1.9 2.0	2.2 2.3	2.7 2.7	3.4 3.4	—
	半精车	0.45 0.5	0.45 0.5	0.5 0.5	0.55 0.55	0.55 0.55	—
	精车	0.25 0.25	0.25 0.3	0.3 0.3	0.35 0.35	0.35 0.35	—
	细车	0.12 0.15	0.13 0.16	0.16 0.18	0.2 0.2	0.2 0.2	—
> 120 ~ 180	粗车和一次车	1.3 2.0	2.0 2.1	2.2 2.3	2.7 2.7	3.5 3.5	4.8 4.8
	半精车	0.45 0.5	0.45 0.5	0.5 0.5	0.5 0.5	0.55 0.6	0.65 0.65
	精车	0.25 0.3	0.25 0.3	0.25 0.3	0.3 0.3	0.3 0.35	0.4 0.4
	细车	0.13 0.16	0.13 0.16	0.15 0.17	0.17 0.18	0.2 0.21	0.27 0.27
> 180 ~ 260	粗车和一次车	1.4 2.3	2.2 2.4	2.4 2.6	2.8 2.9	3.5 3.6	4.8 5.0
	半精车	0.45 0.5	0.45 0.5	0.5 0.5	0.5 0.55	0.55 0.6	0.65 0.65
	精车	0.25 0.3	0.25 0.3	0.25 0.3	0.3 0.3	0.35 0.35	0.4 0.4
	细车	0.13 0.17	0.14 0.17	0.15 0.18	0.17 0.19	0.2 0.22	0.27 0.27

注 ①直径小于 30mm 的毛坯规定校直,不校直时必须增加直径,以达到能够补偿弯曲所需的数值。

②阶梯轴按最大阶梯直径选取毛坯直径。

③表中每格前列数值是用中心孔安装时的车削余量,后列数值是用卡盘安装时的车削余量。

表 3-2 模锻毛坯用于轴类(外旋转表面)零件的数控车削加工余量

mm

名义直径	表面加工方法	直径余量(按轴长取)					
		到 120	> 120 ~ 260	> 260 ~ 500	> 500 ~ 800	> 800 ~ 1 250	> 1 250 ~ 2000
到 18	粗车和一次车	1.4 1.5	1.9 1.9	—	—	—	—
	精车	0.25 0.25	0.3 0.3	—	—	—	—
	细车	0.14 0.14	0.15 0.15	—	—	—	—
> 18 ~ 30	粗车和一次车	1.5 1.6	1.9 2.0	2.3 2.3	—	—	—
	精车	0.25 0.25	0.25 0.3	0.3 0.3	—	—	—
	细车	0.14 0.14	0.14 0.15	0.16 0.16	—	—	—
> 30 ~ 50	粗车和一次车	1.7 1.8	2.0 2.3	2.7 3.0	3.5 3.5	—	—
	精车	0.25 0.3	0.3 0.3	0.3 0.3	0.35 0.35	—	—
	细车	0.15 0.15	0.15 0.16	0.17 0.19	0.21 0.21	—	—
> 50 ~ 80	粗车和一次车	2.0 2.2	2.6 2.9	2.9 3.4	3.6 4.2	5.0 5.0	—
	精车	0.3 0.3	0.3 0.3	0.3 0.35	0.35 0.4	0.45 0.45	—
	细车	0.16 0.16	0.17 0.18	0.18 0.2	0.2 0.22	0.25 0.25	—
> 80 ~ 120	粗车和一次车	2.3 2.6	3.0 3.3	3.8 4.3	4.5 5.2	5.2 6.3	8.2 8.2
	精车	0.3 0.3	0.3 0.3	0.35 0.4	0.4 0.45	0.45 0.5	0.6 0.6
	细车	0.17 0.17	0.18 0.19	0.21 0.23	0.24 0.26	0.26 0.3	0.38 0.38

名义直径	表面加工方法	直径余量(按轴长取)										
		到 120		> 120 ~ 260		> 260 ~ 500		> 500 ~ 800		> 800 ~ 1 250		> 1 250 ~ 2000
> 120 ~ 180	粗车和一次车	2.8	3.2	4.2	4.6	4.5	5.0	5.6	6.2	6.7	7.5	—
	精车	0.3	0.35	0.3	0.4	0.4	0.45	0.45	0.5	0.55	0.6	—
	细车	0.2	0.2	0.22	0.24	0.23	0.25	0.27	0.3	0.32	0.35	—

注 ①直径小于 30mm 的毛坯规定校直,不校直时必须增加直径,以达到能够补偿弯曲所需的数值。

②阶梯轴按最大阶梯直径选取毛坯直径。

③表中每格前列数值是用中心孔安装时的车削余量,后列数值是用卡盘安装时的车削余量。

## (二) 数控车削加工工序尺寸及公差的确定

这里主要分析编程原点与零件设计基准不重合时工序尺寸及公差的确定。在数控机床上批量加工时,工件以定位基准在夹具中定位装夹,刀具以定位元件为对刀基准对刀建立工件坐标系,并按调整法获得尺寸原理一次对刀加工一批工件,这时,一批工件的编程原点无论设在哪,其在机床上的位置都为同一点,假如不考虑定位基准位置变动的影 响,则一批工件的编程原点到定位基准间的尺寸为同一值,因此不管编程原点与零件设计基准是否重合,都不会产生因编程原点与设计基准不重合而造成的误差。但若工件的设计基准与定位基准不重合,且工件的设计基准与加工面不在一次安装内同时加工,则会产生类似普通工艺中设计基准与定位基准不重合时的基准不重合误差。事实上,即使将编程原点选在工件设计基准上,加工时编程原点与工件设计基准是否真正重合也要看批量加工时设计基准是否与定位基准重合,单件加工时(逐件测量)设计基准是否与测量基准重合,只有重合了,编程原点才在设计基准上。综上所述,无论编程原点与设计基准或定位基准(或测量基准)重合与否,只有当工件的设计基准与定位基准(或测量基准)不重合且设计基准与加工面不同时加工时,才会产生基准不重合误差,此时确定工序尺寸需用尺寸链原理解算。对传统的工艺尺寸链,从原理来说,其本质是在定位(或测量)基准依次转换获得尺寸中,加工误差的累积。但在数控加工条件下,工件上的一组尺寸往往是在一次安装中直接获得的,不存在基准转换和误差的多次累积问题。无论是采用绝对编程(G90)还是增量编程(G91),工件各加工面到编程原点的误差都应控制在数控机床加工精度范围内。所以利用尺寸链原理分析数控加工条件下的工序尺寸及公差时,不能简单照搬普通机床加工时的尺寸链分析方法。下面以图 3-37 所示零件为例进行分析。

图 3-37 所示为一轴类零件简图及轴向工序尺寸。该件 A、B 面已加工合格,需在数控车床上车削 C、D、E、F 面及有关外圆。下面分析其轴向工序尺寸及编程尺寸确定问题。

工件以 B 面(与卡爪前端面接触)为轴向定位基准装夹,用 G54 建立工件坐标系,方法是将刀尖靠到卡爪前端面上,记录此时机床坐标系下的 Z 坐标值,由于本例将编程原点设在卡爪前端面后 10mm 处(该处为工件左端面理论值所在的位置),因此将记录的机床坐标系下的 Z 坐标值加上(-10)输入到系统零点偏置寄存器中,则工件坐标系原点就建

立在卡爪前端面后 10mm 处。对该零件来说,设计尺寸  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  的设计基准与编程原点都不重合,定位基准也不与编程原点重合。

若认为编程原点与设计基准不重合即存在类似普通工艺中设计基准与定位基准不重合时的基准不重合误差,设  $Z'_1$ 、 $Z'_2$ 、 $Z'_3$ 、 $Z'_4$  分别为  $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  面到编程原点的工序尺寸,则根据尺寸链计算, $Z'_1$ 、 $Z'_4$  的公差为零, $Z'_1$ 、 $Z'_3$  的公差为负,即采用此种方式加工,无论使用多高精度的数控车床加工, $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  也不能保证精度要求。若依照编程原点与设计基准重合才能消除基准不重合误差,解决的办法只能是:加工  $C$  面、 $F$  面时按  $B$  面对刀,将编程原点移至  $B$  面; $C$  面加工合格后再加工  $D$  面,并且再按  $C$  面对刀,将编程原点移至  $C$  面。加工  $E$  面依此类推。这种加工方式,需要一次又一次地对刀,一次又一次地移动编程原点,并且还要将作为编程原点的表面先加工出来再对刀建立工件坐标系,这显然不符合数控加工的实际。所以,不能认为编程原点与设计基准不重合即存在类似普通工艺中设计基准与定位基准不重合时的基准不重合误差。事实上,编程原点  $O$  在工件安装后并不一定在工件的  $A$  面上,其位置也并不随一批工件安装后  $A$  面位置的变化而变化,与尺寸  $10^0_{-0.3}$  无关,尺寸  $10^0_{-0.3}$  的误差不会累加到尺寸  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  的误差中。那么加工  $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  面的工序尺寸应如何确定?其编程尺寸又如何确定呢?

工艺尺寸链分析必须结合具体的工艺过程才能进行。同一个零件,采用不同的工艺过程加工,其尺寸链中的封闭环和组成环可能完全不同。数控加工的工艺尺寸链分析同样如此。此零件加工中,虽然编程原点与设计基准和定位基准都不重合,但  $Z_1$ 、 $Z_4$  的设计基准与定位基准重合, $Z_2$ 、 $Z_3$  的加工面与其设计基准是在一次安装中一同加工出来的, $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  本身都是直接保证的工序尺寸,与编程原点选在哪一点无关,不存在编程原点与设计基准不重合而产生误差的问题。

对于编程尺寸确定的问题,可按前述方法,将基本尺寸换算成平均尺寸,按平均尺寸编程。本例中,若采用绝对坐标编程( $G90$ ),加工  $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  面的编程尺寸分别为 29.85; 59.75; 89.65; 109.85。

采用上述尺寸编程加工能保证  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  的精度要求吗?对这个问题,可以用数控机床定位精度原理来解释。因为  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  是在一次安装中同时加工出来的,只要机床的实际定位精度足够(如  $\pm 0.05\text{mm}$ ),则任意两点间实际值与给定值的偏差应在  $\pm 0.1\text{mm}$  内(按实际误差为定位精度的 2 倍考虑)完全能满足  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  的精度要求。

此例中假如将  $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  面的设计要求改为图 3-38 所示,编程原点设在工件左端面  $A$  (设计基准)上,还按上述方式定位装夹及建立工件坐标系,则看似编程原点设在了工件左端面  $A$  上,但实际并不在设计基准上。受设计基准位置变动的影 响,编程原点的位置只是一个名义位置,并不确切地在工件的  $A$  面上。因为工件的  $B$  面为定位和对刀基准,是真正准确的位置,工件安装后,一批工件  $A$  面的位置是变动的,所以存在基准不重合误差了。解决的办法是将编程原点移至  $B$  面(仅为计算工序尺寸方便,并不能消除基准不重合误差),并将  $AB$  间的工序尺寸改为  $10^0_{-0.1}$ ,利用尺寸链解出  $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  面到编程原点  $O$  ( $B$  面)的工序尺寸  $Z'_1$ 、 $Z'_2$ 、 $Z'_3$ 、 $Z'_4$  (尺寸链图见图 3-39), $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  分别

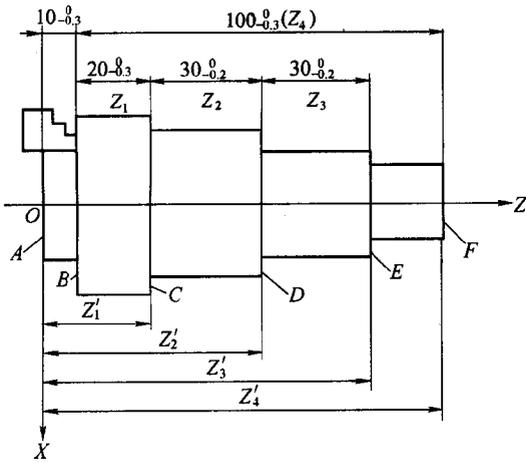


图 3-37 一轴类零件简图件简及轴向工序尺寸

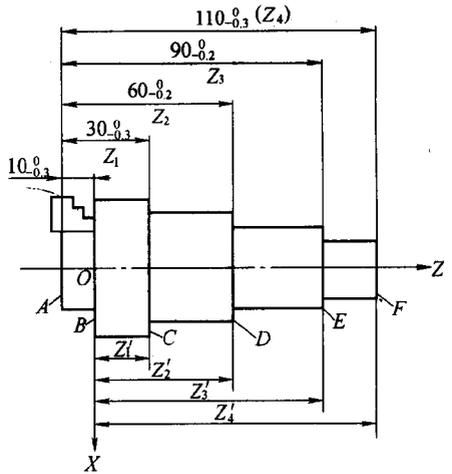


图 3-38 修改设计尺寸后的零图及轴向工序尺寸

为封闭环， $Z'_1$ 、 $Z'_2$ 、 $Z'_3$ 、 $Z'_4$  和  $10^0_{-0.1}$  分别为组成环，即可计算出  $Z'_1$ 、 $Z'_2$ 、 $Z'_3$ 、 $Z'_4$ 。然后可按  $Z'_1$ 、 $Z'_2$ 、 $Z'_3$ 、 $Z'_4$  的平均值编程加工。下面列出  $Z'_1$ 、 $Z'_2$ 、 $Z'_3$ 、 $Z'_4$  的工序尺寸值（尺寸链解算过程省略）。

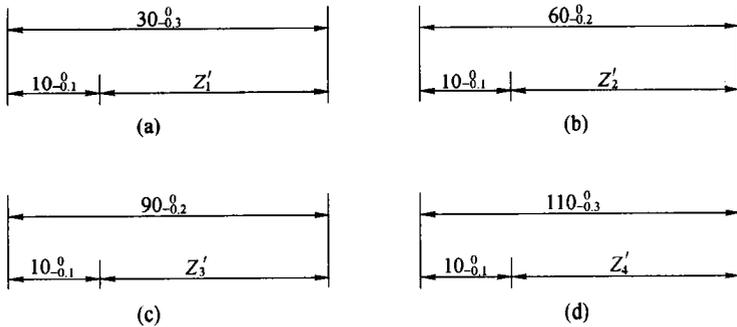


图 3-39 尺寸链图

$Z'_1$  的编程尺寸为 19.9； $Z'_2$  的编程尺寸为 49.95； $Z'_3$  的编程尺寸为 79.95； $Z'_4$  的编程尺寸为 99.9。

当然，若能以 A 面为定位基准，则  $10^0_{-0.3}$  的偏差也不需要修改， $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  都可直接按其设计尺寸加工，此时编程原点设在 A 面上， $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  的平均尺寸即为编程尺寸。

## 六、切削用量的选择

数控车削加工的切削用量包括：背吃刀量、主轴转速或切削速度（用于恒线速切削）、进给速度或进给量。切削用量的选择原则与通用机床加工相似，具体数值应根据数控机

床使用说明书和金属切削原理中规定的方法及原则,结合实际加工经验来确定。在计算好各部位与各把刀具的切削用量后,最好能建立一张切削用量表,主要是为了防止遗忘和方便编程。

### (一) 背吃刀量的确定

背吃刀量是根据余量确定的。在工艺系统刚性和机床功率允许的条件下,尽可能选取较大的背吃刀量,以减少进给次数。一般当毛坯直径余量小于 6mm 时,根据加工精度考虑是否留出半精车和精车余量,剩下的余量可一次切除。当零件的精度要求较高时,应留出半精车、精车余量,半精车余量一般为 0.5mm 左右,所留精车余量一般比普通车削时所留余量少,常取 0.1~0.5mm,具体数值可查表 3-1 和表 3-2。

### (二) 主轴转速的确定

#### 1. 光车时主轴转速

光车时主轴转速应根据零件上被加工部位的直径,并按零件和刀具的材料及加工性质等条件所允许的切削速度来确定。切削速度除了计算和查表选取外,还可根据实践经验确定。需要注意的是交流变频调速数控机床低速输出力矩小,因而切削速度不能太低。切削速度确定之后,用下式计算主轴转速:

$$S = \frac{1000v_c}{\pi d} \quad (3-1)$$

式中:  $v_c$ ——切削速度,单位为 m/min;

$d$ ——切削刃选定点处对应的工件或刀具的回转直径,单位为 mm;

$S$ ——工件或刀具的转速,单位为 r/min。

表 3-3 为硬质合金外圆车刀切削速度的参考值,选用时可参考选择。

表 3-3 硬质合金外圆车刀切削速度的参考数值

工件材料	热处理状态	$a_p = 0.3 \sim 2\text{mm}$	$a_p = 2 \sim 6\text{mm}$	$a_p = 6 \sim 10\text{mm}$
		$f = 0.08 \sim 0.3\text{mm/r}$	$f = 0.3 \sim 0.6\text{mm/r}$	$f = 0.6 \sim 1\text{mm/r}$
		$v_c$ (m/min)	$v_c$ (m/min)	$v_c$ (m/min)
低碳钢	热轧	140 ~ 180	100 ~ 120	70 ~ 90
中碳钢	热轧	130 ~ 160	90 ~ 110	60 ~ 80
	调质	100 ~ 130	70 ~ 90	50 ~ 70
合金结构钢	热轧	100 ~ 130	70 ~ 90	50 ~ 70
	调质	80 ~ 110	50 ~ 70	40 ~ 60
工具钢	退火	90 ~ 120	60 ~ 80	50 ~ 70

工件材料	热处理状态	$a_p = 0.3 \sim 2\text{mm}$	$a_p = 2 \sim 6\text{mm}$	$a_p = 6 \sim 10\text{mm}$
		$f = 0.08 \sim 0.3\text{mm/r}$	$f = 0.3 \sim 0.6\text{mm/r}$	$f = 0.6 \sim 1\text{mm/r}$
		$v_c (\text{m/min})$	$v_c (\text{m/min})$	$v_c (\text{m/min})$
灰铸铁	HBS < 190	90 ~ 120	60 ~ 80	50 ~ 70
	HBS = 190 ~ 225	80 ~ 110	50 ~ 70	40 ~ 60
高锰钢			10 ~ 20	
铜及铜合金		200 ~ 250	120 ~ 180	90 ~ 120
铝及铝合金		300 ~ 600	200 ~ 400	150 ~ 200
铸铝合金		100 ~ 180	80 ~ 150	60 ~ 100

注：切削钢及灰铸铁时刀具耐用度约为 60min。

## 2. 车螺纹时主轴转速

在切削螺纹时,车床的主轴转速将受到螺纹的螺距(或导程)大小、驱动电动机的升降频特性及螺纹插补运算速度等多种因素影响,故对于不同的数控系统,推荐不同的主轴转速选择范围。如大多数普通型车床数控系统推荐车螺纹时的主轴转速如下:

$$S \leq \frac{1200}{P} - k \quad (3-2)$$

式中: $P$ ——工件螺纹的螺距或导程  $\text{mm}$ ;

$k$ ——保险系数,一般取为 80;

$S$ ——主轴转速  $\text{r/min}$ 。

### (三) 进给速度的确定

进给速度是指在单位时间内,刀具沿进给方向移动的距离(单位为  $\text{mm/min}$ )。有些数控车床规定可以选用进给量(单位为  $\text{mm/r}$ )表示进给速度。

#### 1. 确定进给速度的原则

(1)当工件的质量要求能够得到保证时,为提高生产率,可选择较高( $2000\text{mm/min}$ 以下)的进给速度。

(2)切断、车削深孔或精车削时,宜选择较低的进给速度。

(3)刀具空行程,特别是远距离‘回零’时,可以设定尽量高的进给速度。

(4)进给速度应与主轴转速和背吃刀量相适应。

#### 2. 进给速度的计算

进给速度包括纵向进给速度和横向进给速度,其值按下式计算:

$$F = Sf \quad (3-3)$$

式中： $F$ ——进给速度，单位为  $\text{mm}/\text{min}$ ；

$f$ ——进给量，单位为  $\text{mm}/\text{r}$ ；

$S$ ——工件或刀具的转速，单位为  $\text{r}/\text{min}$ 。

式中的进给量，粗车时一般取为  $0.3 \sim 0.8 \text{mm}/\text{r}$ ，精车时常取  $0.1 \sim 0.3 \text{mm}/\text{r}$ ，切断时常取  $0.05 \sim 0.2 \text{mm}/\text{r}$ 。表 3-4 和表 3-5 分别为硬质合金车刀粗车外圆、端面的进给量参考值和按表面粗糙度选择半精车、精车进给量的参考值，供参考选用。

表 3-4 硬质合金车刀粗车外圆、端面的进给量

工件材料	车刀刀杆尺寸 $B \times H$ ( $\text{mm} \times \text{mm}$ )	工件直径 $d_{\text{大}}$ ( $\text{mm}$ )	背吃刀量 $a_p/\text{mm}$				
			$\leq 3$	$> 3 \sim 5$	$> 5 \sim 8$	$> 8 \sim 12$	$> 12$
			进给量 $f$ ( $\text{mm}/\text{r}$ )				
碳素结构钢 合金结构钢 耐热钢	$16 \times 25$	20	0.3 ~ 0.4	—	—	—	—
		40	0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4	—	—	—
		60	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	0.3 ~ 0.5	—	—
		100	0.6 ~ 0.9	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.6	0.4 ~ 0.5	—
		400	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.5 ~ 0.6	—
	$20 \times 30$ $25 \times 25$	20	0.3 ~ 0.4	—	—	—	—
		40	0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4	—	—	—
		60	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	—	—
		100	0.8 ~ 1.0	0.7 ~ 0.9	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.7	—
		400	1.2 ~ 1.4	1.0 ~ 1.2	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.9	0.4 ~ 0.6
铸 铁 铜合金	$16 \times 25$	40	0.4 ~ 0.5	—	—	—	—
		60	0.5 ~ 0.8	0.5 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6	—	—
		100	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.5 ~ 0.7	—
		400	1.0 ~ 1.4	1.0 ~ 1.2	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	—
	$20 \times 30$ $25 \times 25$	40	0.4 ~ 0.5	—	—	—	—
		60	0.5 ~ 0.9	0.5 ~ 0.8	0.4 ~ 0.7	—	—
		100	0.9 ~ 1.3	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	0.5 ~ 0.8	—
		400	1.2 ~ 1.8	1.2 ~ 1.6	1.0 ~ 1.3	0.9 ~ 1.1	0.7 ~ 0.9

注 ①加工断续表面及有冲击的工件时，表内进给量应乘系数  $k = 0.75 \sim 0.85$ ；

②在无外皮加工时，表内进给量应乘系数  $k = 1.1$ ；

③加工耐热钢及其合金时，进给量不大于  $1 \text{mm}/\text{r}$ ；

④加工淬硬钢时，进给量应减小。当钢的硬度为  $44 \sim 56 \text{HRC}$  时，乘以系数  $k = 0.8$ ；当钢的硬度为  $57 \sim 62 \text{HRC}$  时，乘以系数  $k = 0.5$ 。

表 3-5 按表面粗糙度选择进给量的参考值

工件材料	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	切削速度范围 $v_c/(m/\text{min})$	刀尖圆弧半径 $r_\epsilon/\text{mm}$		
			0.5	1.0	2.0
			进给量 $f/(mm/r)$		
铸 铁 青 铜 铝合金	$>5 \sim 10$	不限	0.25 ~ 0.40	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60
	$>2.5 \sim 5$		0.15 ~ 0.25	0.25 ~ 0.40	0.40 ~ 0.60
	$>1.25 \sim 2.5$		0.10 ~ 0.15	0.15 ~ 0.20	0.20 ~ 0.35
碳 钢 合金钢	$>5 \sim 10$	$<50$	0.30 ~ 0.50	0.45 ~ 0.60	0.55 ~ 0.70
		$>50$	0.40 ~ 0.55	0.55 ~ 0.65	0.65 ~ 0.70
	$>2.5 \sim 5$	$<50$	0.18 ~ 0.25	0.25 ~ 0.30	0.30 ~ 0.40
		$>50$	0.25 ~ 0.30	0.30 ~ 0.35	0.30 ~ 0.50
	$>1.25 \sim 2.5$	$<50$	0.10 ~ 0.15	0.11 ~ 0.15	0.15 ~ 0.22
		50 ~ 100	0.11 ~ 0.16	0.16 ~ 0.25	0.25 ~ 0.35
$>100$		0.16 ~ 0.20	0.20 ~ 0.25	0.25 ~ 0.35	

## 七、首件试加工与现场问题处理

制定完数控加工工艺并编好程序后要首件试加工。由于现场机床自身存在的误差大小、规律各不相同,用同一程序加工,实际加工尺寸可能发生很大偏差,这时可根据实测结果和现场问题处理方案对所定工艺及所编程序进行修正,直至满足零件技术要求为止。

## 第四节 数控车削加工工艺文件

编写数控加工专用技术文件是数控加工工艺设计的内容之一。这些专用技术文件既是数控加工、产品验收的依据,也是需要操作者遵守、执行的规程;有的则是加工程序的具体说明或附加说明,目的是让操作者更加明确程序的内容、定位装夹方式、各个加工部位所选用的刀具及其他问题。

为加强技术文件管理,数控加工专用技术文件也应该走标准化、规范化的道路,但目前还有较大困难,只能先做到按部门或按单位局部统一。下面介绍几种常用数控加工专用技术文件,供读者参考。

### 1. 数控车削加工工序卡片

见表3-6。数控车削加工工序卡与普通车削加工工序卡有许多相似之处,所不同的是加工图中应注明程编原点与对刀点,要进行程编简要说明及切削参数的选定。

在工序加工内容不十分复杂的情况下,用数控加工工序卡的形式较好,可以把零件加工图、尺寸、技术要求、工序内容及程序要说明的问题集中反映在一张卡片上,做到一目了然。

## 2. 数控加工程序说明卡

实践证明,仅用加工程序单和工艺规程来进行实际加工还有许多不足之处。由于操作者对程序的内容不清楚,对程编人员的意图不够理解,经常需要程编人员在现场进行口头解释、说明与指导,这种做法在程序仅使用一、二次就不用了的场合还是可以的。但是,若程序是用于长期批量生产的,则程编人员很难都到达现场。再者,如程编人员临时不在场或调离,已经熟悉的操作工人不在场或调离,麻烦就更多了,弄不好会造成质量事故或临时停产。因此,对加工程序进行必要的详细说明是很有用的,特别是对于那些需要长时间保存和使用的程序尤其重要。

根据应用实践,一般应对加工程序做出说明的主要有以下内容:

- (1) 所用数控设备型号及控制机型号;
- (2) 程序原点、对刀点及允许的对刀误差;
- (3) 工件相对于机床的坐标方向及位置(用简图表述);
- (4) 镜像加工使用的对称轴;

(5) 所用刀具的规格、图号及其在程序中对应的刀具号(如:D03或T0101等),必须按实际刀具半径或长度加大或缩小补偿值的特殊要求(如用同一条程序、同一把刀具利用加大刀具半径补偿值进行粗加工),更换该刀具的程序段号等;

(6) 整个程序加工内容的顺序安排(相当于工步内容说明与工步顺序),使操作者明白先干什么后干什么;

(7) 子程序说明,对程序中编入的子程序应说明其内容,使人明白每条子程序的功用;

(8) 其他需要作特殊说明的问题,如需要在加工中更换夹紧点(挪动压板)的计划停车程序段号,中间测量用的计划停车程序段号,允许的最大刀具半径和长度补偿值等。

## 3. 数控加工走刀路线图

在数控加工中,常常要注意并防止刀具在运动中与夹具、工件等发生意外的碰撞,为此,必须设法告诉操作者关于程编中的刀具运动路线(如从哪里下刀,在哪里抬刀,哪里是斜下刀等),使操作者在加工前就有所了解并计划好夹紧位置及控制夹紧元件的高度,这样可以减少上述事故的发生。此外,对有些被加工零件,由于工艺性问题,必须在加工过程中挪动夹紧位置,也需要事先告诉操作者,在哪个程序段前挪动,夹紧点在零件的什么地方,然后更换到什么地方,需要在什么地方事先备好夹紧元件等,以防到时候手忙脚乱或出现安全问题。这些用程序说明卡和工序说明卡是难以说明或表达清楚的,如用走刀路线图加以附加说明效果就会更好。

为简化走刀路线图,一般可采取统一约定的符号来表示。不同的机床可以采用不同

图例与格式。

#### 4. 数控车削加工刀具卡片

表 3-7 是数控车削加工刀具卡片,内容包括:与工步相对应的刀具号、刀具名称、刀具型号、刀片型号和牌号、刀尖半径。

#### 5. 数控车削加工刀具调整图

见图 3-58。在刀具调整图中,要反映如下内容:

(1)本工序所需刀具的种类、形状、安装位置、预调尺寸和刀尖圆弧半径等,有时还包括刀补组号。

(2)刀位点。若以刀具尖点为刀位点时,则刀具调整图中  $X$  向和  $Z$  向的预调尺寸终止线交点即为该刀具的刀位点。

(3)工件的安装方式及待加工部位。

(4)工件的坐标原点。

(5)主要尺寸的程序设定值。

#### 6. 数控加工专用技术文件的编写要求

编写数控加工专用技术文件应像编写工艺规程和加工程序一样认真对待,切不可草草了事。

编写基本要求:

(1)字迹工整、文字简练达意。

(2)加工图清晰、尺寸标注准确无误。

(3)应该说明的问题要全部说得清楚、正确。

(4)文图相符、文实相符,不能互相矛盾。

(5)当程序更改时,相应文件要同时更改,须办理更改手续的要及时办理。

(6)准备长期使用的程序和文件要统一编号,办理存档手续,建立借阅(借用)、更改、复制等管理制度。

## 第五节 典型数控车削零件的加工工艺分析

### 一、轴类零件数控车削加工工艺

图 3-40 是模具芯轴的零件简图(单位:mm)。零件的径向尺寸公差为  $\pm 0.01$  mm,角度公差为  $\pm 0.1'$ ,材料为 45 钢。毛坯尺寸为  $\phi 66\text{mm} \times 100\text{mm}$ ,批量 30 件。

加工方案如下:

工序 1 用三爪卡盘夹紧工件一端,加工  $\phi 64 \times 38$  柱面并调头打中心孔。

工序 2 用三爪卡盘夹紧工件  $\phi 64$  一端,另一端用顶尖顶住。加工  $\phi 24 \times 62$  柱面,如

图 3-41 所示。

工序 3 ①钻螺纹底孔 ;②精车  $\phi 20$  表面 ,加工  $14^\circ$ 锥面及背端面 ;③攻螺纹 ,如图 3-42 所示。

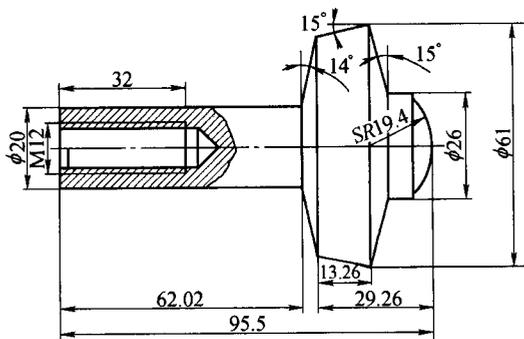


图 3-40 模具芯轴零件简图

工序 4 加工  $SR19.4$  圆弧面、 $\phi 26$  圆柱面、角  $15^\circ$ 锥面和角  $15^\circ$ 倒锥面 ,装夹方式如图 3-43、图 3-44 所示。A 为换刀点 ,远离工件 ,以求安全。B 为起刀点 ,既是复合循环的起点 ,又是循环的终点。装夹时增加一个工艺环 ,目的是每加工一个零件进行一次校刀。装夹时用手将工件推向三爪卡盘。

工序 4 的加工过程 :

1)先用复合循环 G71 指令分若干次一层层加工 ,逐渐靠近由 E—F—G—H—I 等基点组成的回转面。后两次循环的走刀路线都与 B—C—D—E—F—G—H—I—B 相似。用 G71 指令完成粗加工。精加工用 G70 指令完成 ,走刀路线是 B—C—D—E—F—G—H—I—B ,如图 3-43 所示。

2)再用固定循环指令加工出最后一个  $15^\circ$ 的倒锥面 ,如图 3-44 所示。

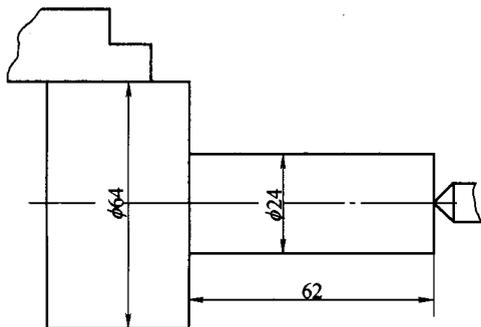


图 3-41 工序 2 加工示意图

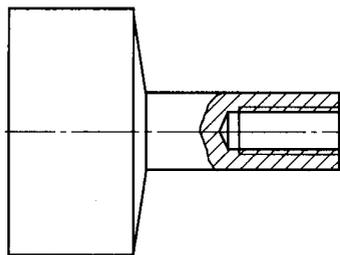


图 3-42 工序 3 加工示意图

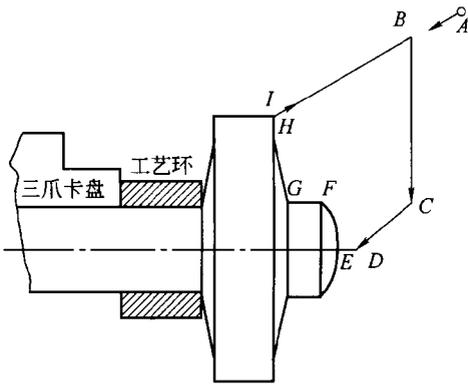


图 3-43 工序 4 加工示意图之一

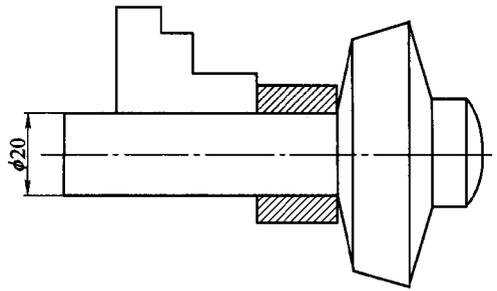


图 3-44 工序 4 加工示意图之二

## 二、轴套类零件数控车削加工工艺

下面以图 3-45 所示某零件工序简图为例,分析并制定其数控加工工序的工艺过程。该零件材料为 45 钢,图 3-46 为该零件前工序简图。本工序加工部位为图中端面 A 以右的内外表面。

### 1. 零件工艺分析

该零件由内、外圆柱面,内、外圆锥面,平面及圆弧等组成,结构形状复杂,加工部位多,非常适合数控车削加工。但工件壁薄易变形,需采取特殊工艺措施。

精度上,该零件的  $\phi 24.4_{0.03}^0$  外圆和  $6.1_{0.05}^0$  端面两处尺寸精度要求较高。此外,工件外圆锥面上有几处  $R2$  圆弧面,由于圆弧半径较小,可直接用成形刀车削而不用圆弧插补程序切削,这样既可减小编程工作量,又可提高切削效率。

### 2. 确定装夹方案

为了使工序基准与定位基准重合,并敞开所有的加工部位,选择 A 面和 B 面分别为轴向和径向定位基准,限定 5 个自由度。由于该工件属薄壁易变形件,为减少夹紧变形,选工件上刚度最好的部位 B 面为夹紧表面,采用如图 3-47 所示包容式软爪夹紧。该软爪以其底部的端齿在卡盘(通常是液压或气动卡盘)上定位,能保证较高的重复安装精度。为方便加工中的对刀和测量,可在软爪上设定一基准面,这个基准面是在数控车床上加工软爪的夹持表面和支靠表面时一同加工出来的。基准面至支撑面的距离可以控制得很准确。

### 3. 确定工步顺序、进给路线和所用刀具

为减少工件加工过程中的变形对最终精度的影响,内外表面的加工要交叉进行。由于采用软爪夹持工件,所有待加工表面都不受夹具紧固件的干涉,因而内外表面的交叉加工可以连续进行。所选用刀具中的机夹可转位刀片均选用  $Al_2O_3$ 、TiC 或 TiN 涂层刀片,以减少刀片的更换次数。刀片的断屑槽全部采用封闭槽型,以便变动走刀方向。根据工步

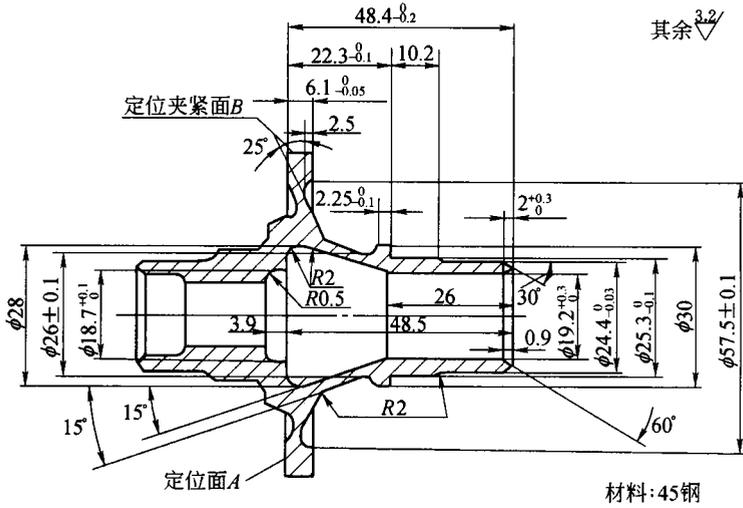


图 3-45 工序简图

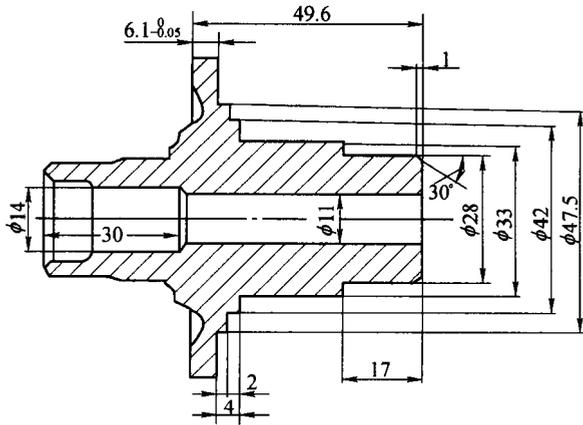


图 3-46 前工序简图

顺序和切削加工进给路线的确定原则 本工序具体的工步顺序、进给路线及所用刀具确定如下：

### (1) 粗车外表面

选用  $80^\circ$  菱形刀片进行外表面粗车,走刀路线及加工部位如图 3-48 所示,其中  $\phi 24.685$  外圆与  $\phi 25.55$  外圆间  $R2$  过渡圆弧用倒角代替。图中的虚线为对刀时的走刀路线。对刀时要以一定宽度(如 10mm)的塞块靠在软爪对刀基准面上,然后将刀尖靠在塞块上,通过 CRT 上的读数检查停在对刀点的刀尖至基准面的距离。由于是粗车,可选用一把刀具将整个外表面车削成形。

### (2) 半精车 $25^\circ$ 、 $15^\circ$ 两外圆锥面及三处 $R2$ 的过渡圆弧

选用直径为  $\phi 6$  的圆形刀片进行外锥面的半精车,走刀路线如图 3-49 所示。

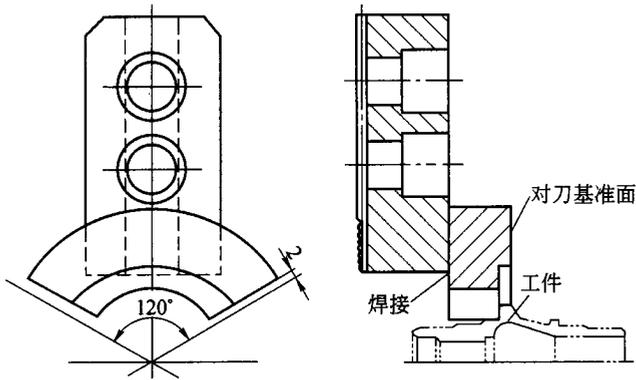


图 3-47 包容式软爪

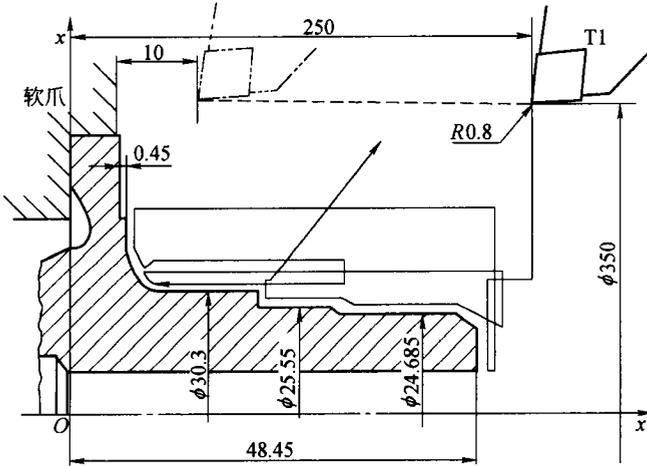


图 3-48 粗车外表面走刀路线

### (3) 粗车内孔端部

本工步的进给路线如图 3-50 所示。选用三角形刀片进行内孔端部的粗车。此加工共分 3 次走刀,依次将距内孔端部 10mm 左右的一段车至  $\phi 13.3$ 、 $\phi 15.6$  和  $\phi 18$ 。

### (4) 钻削内孔深部

进给路线见图 3-51。选用  $\phi 18$ mm 钻头,顶角为  $118^\circ$  进行内孔深部的钻削。与内孔车刀相比,钻头的切削效率较高,切屑的排除也比较容易,但孔口一段因远离工件的夹持部位,钻削不宜过大、过长,安排一个车削工步可减小切削变形,因为车削力比钻削力小,因此前面安排孔口端部车削工步。

### (5) 粗车内锥面及半精车其余内表面

选用  $55^\circ$  菱形刀片,进行  $\phi 19.2_0^{+0.3}$  内孔的半精车及内锥面的粗车,以留有精加工余量 0.15mm 的外端面为对刀基准。由于内锥面需切余量较多,故刀具共走刀 4 次,走刀路线

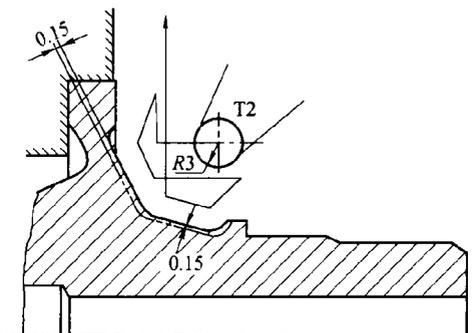


图 3-49 半精车外锥面及 R2 圆弧走刀路线

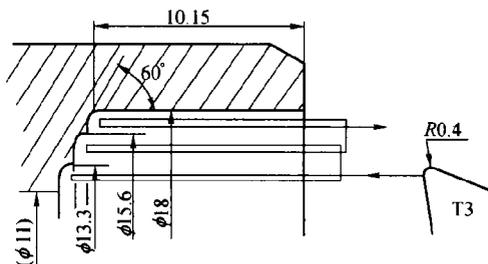


图 3-50 内孔端部粗车走刀路线

及切削部位如图 3-52 所示。每两次走刀之间都安排一次退刀停车,以便操作者及时清除孔内的切屑。主轴旋向为逆时针。其具体加工内容为:半精车  $\phi 19.2_0^{+0.3}$  内孔(前序尺寸为  $\phi 18$ )至  $\phi 19.05$  粗车  $15^\circ$  内圆锥面,半精车 R2 圆弧面及左侧内表面。

#### (6) 精车外圆柱面及端面

选用  $80^\circ$  菱形刀片,精车图 3-53 中的右端面及  $\phi 24.38$ 、 $\phi 25.25$ 、 $\phi 30$  外圆及 R2 圆弧和台阶面。由于是精车,刀尖圆弧半径选取较小值(R0.4)。

#### (7) 精车 $25^\circ$ 外圆锥面及 R2 圆弧面

用带 R2mm 的圆弧车刀,精车外圆锥面,其进给路线如图 3-54 所示。此步骤有带选择性的对刀安排。

#### (8) 精车 $15^\circ$ 外圆锥面及 R2 圆弧面

选用 R2mm 圆弧车刀精车  $15^\circ$  外圆锥面,其进给路线如图 3-55 所示。程序中同样安排在软爪基准面进行选择性的对刀。但应注意受刀具圆弧 R2mm 制造误差的影响,对刀后不一定能满足该零件尺寸  $2.25_{-0.1}^0$  的公差要求。该刀具的轴向刀补量还应根据刀具圆弧半径的实际值进行处理,不能完全由对刀决定。

#### (9) 精车内表面

选用  $55^\circ$  菱形刀片精车  $\phi 19.2_0^{+0.3}$  内孔、 $15^\circ$  内锥面、R2 圆弧及锥孔端面,进给路线如图 3-56 所示。该刀具在工件外端面上进行轴向对刀,此时外端面上已无加工余量。

#### (10) 加工最深处 $\phi 18.7_0^{+0.1}$ 内孔及端面

选用  $80^\circ$  菱形刀片加工,分 2 次走刀,中间退刀一次,以便清除切屑。该刀具的走刀路线如图 3-57 所示。对于这把刀具要特别注意妥善安排内孔根部端面车削时的走刀方向。因刀具伸入较多,刀具刚性欠佳,如采用与图示走刀路线相反的方向车削该端面,切削时容易产生振动,加工表面的质量很难保证。

在图 3-57 中可以看到两处  $0.1 \times 45^\circ$  的倒角加工,类似这样的小倒角或小圆弧的加

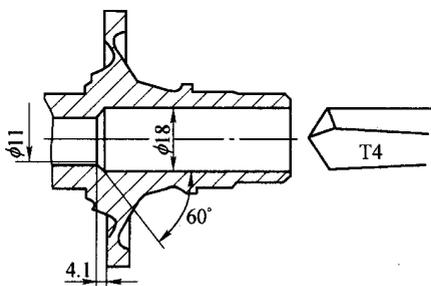


图 3-51 钻削内孔深部走刀路线

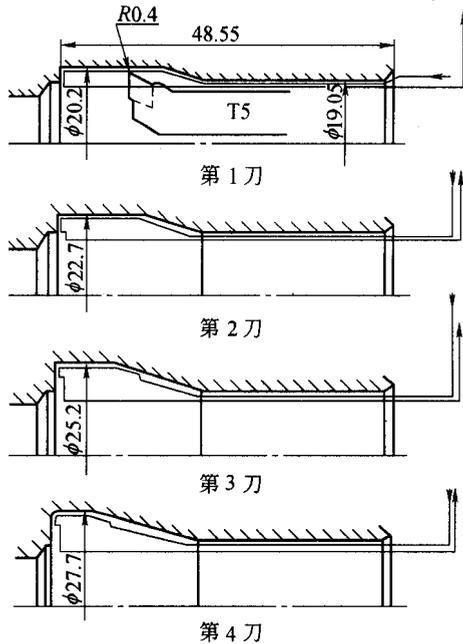


图 3-52 内表面粗车、半精车走刀路线

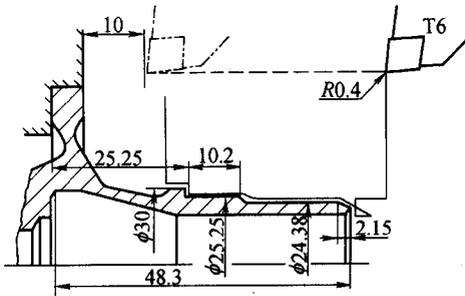


图 3-53 精车外圆柱面及端面走刀路线

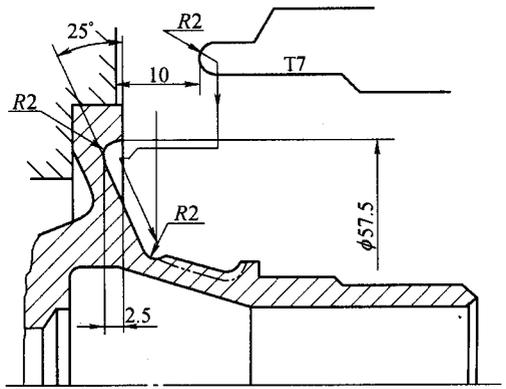


图 3-54 精车 25° 外圆锥面及 R2 圆弧面走刀路线

工,正是数控车削加工特点的突出体现,这样可使加工表面之间圆滑转接过渡。只要图样上无“保持锐角边”的特殊要求,均可照此处理。

#### 4. 确定切削用量

根据加工要求确定切削用量,具体确定如下:

##### (1) 粗车外表面

车削端面时主轴转速  $S = 1400 \text{r/min}$ ,其余部位  $S = 1000 \text{r/min}$ ,端部倒角进给量  $f = 0.15 \text{mm/r}$ ,其余部位  $f = 0.2 \sim 0.25 \text{mm/r}$ 。

##### (2) 半精车 25°、15° 两外圆锥面及三处 R2 的过渡圆弧

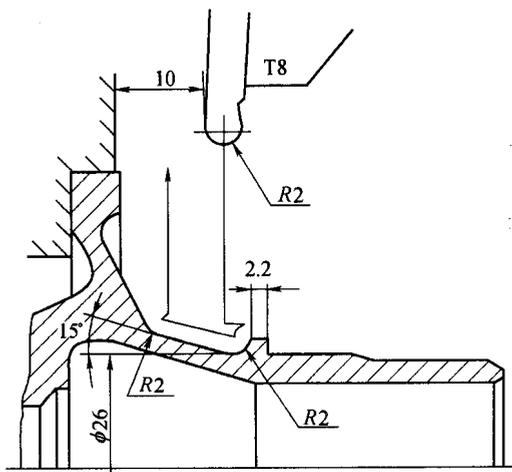


图 3-55 精车 15°外圆锥面及 R2 圆弧面走刀路线

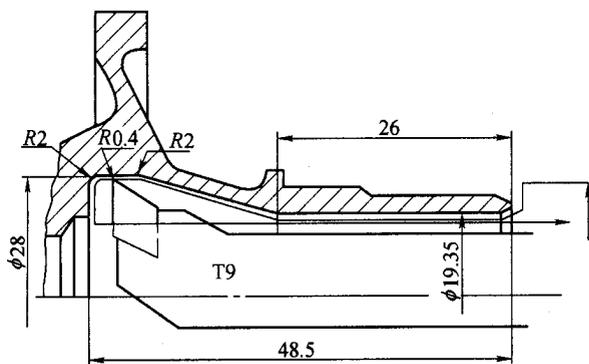
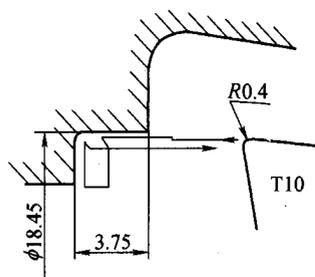
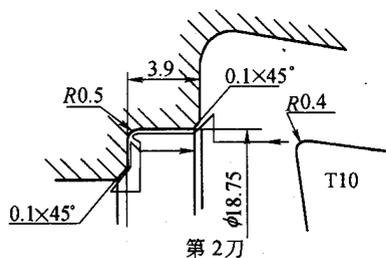


图 3-56 精车内表面走刀路线



第 1 刀



第 2 刀

图 3-57 加工深处内孔及端面走刀路线

主轴转速  $S = 1\,000\text{r/min}$  ,切入时的进给量  $f = 0.1\text{mm/r}$  ,进给时  $f = 0.2\text{mm/r}$  。

### (3) 粗车内孔端部

主轴转速  $S = 1000\text{r/min}$  ,进给量  $f = 0.1\text{mm/r}$  。

### (4) 钻削内孔深部

主轴转速  $S = 550\text{r/min}$  ,进给量  $f = 0.15\text{mm/r}$  。

### (5) 粗车内锥面及半精车其余内表面

主轴转速  $S = 700\text{r/min}$  ,车削  $\phi 19.05$  内孔时进给量  $f = 0.2\text{mm/r}$  ,车削其余部位时  $f =$

$0.1\text{mm/r}$  。

## (6) 精车外圆柱面及端面

主轴转速  $S = 1400\text{r/min}$  , 进给量  $f = 0.15\text{mm/r}$ 。

(7) 精车  $25^\circ$  外圆锥面及  $R2$  圆弧面

主轴转速  $S = 700\text{r/min}$  , 进给量  $f = 0.1\text{mm/r}$ 。

(8) 精车  $15^\circ$  外圆锥面及  $R2$  圆弧面

切削用量与工步(7)相同。

## (9) 精车内表面

主轴转速  $S = 1\ 000\text{r/min}$  , 进给量  $f = 0.1\text{mm/r}$ 。

(10) 加工最深处  $\phi 18.7_{0}^{+0.1}$  内孔及端面

主轴转速  $S = 1000\text{r/min}$  , 进给量  $f = 0.1\text{mm/r}$ 。

在确定了零件的进给路线, 选择了切削刀具之后, 视所用刀具多少, 若使用刀具较多, 可结合零件定位和编程加工的具体情况, 绘制一份刀具调整图。图 3-58 所示为本例的刀具调整图。

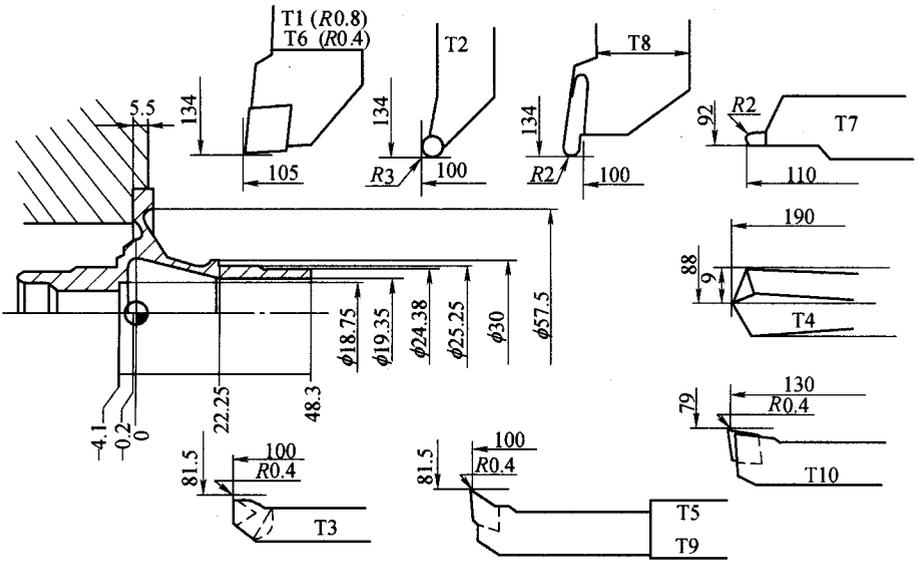


图 3-58 刀具调整图

## 5. 填写工艺文件

(1) 按加工顺序将各工步的加工内容、所用刀具及切削用量等填入表 3-6 数控加工工序卡片中。

(2) 将选定的各工步所用刀具的刀具型号、刀片型号、刀片牌号及刀尖圆弧半径等填入表 3-7 数控加工刀具卡片中。

(3) 将各工步的进给路线(图 3-48~图 3-57)绘成文件形式的进给路线图。本例略去。

表 3-6 数控加工工序卡片

(工厂)		数控加工工序卡片		产品名称或代号		零件名称		材料		零件图号	
								45 钢			
工序号		程序编号		夹具编号		使用设备		车间			
工步号	工步内容			加工面	刀具号	刀具规格 /mm	主轴 转速 (r/min)	进给量 (mm/r)	背吃 刀量 /mm	备注	
1	a. 粗车外表面分别至尺寸 $\phi 24.68$ 、 $\phi 25.55$ 、 $\phi 30.3$ b. 粗车端面				T01		1 000 1400	0.2~0.25 0.15			
2	半精车外锥面, 留精车余量 0.15				T02		1 000	0.1, 0.2			
3	粗车深度 10.15 的 $\phi 18$ 内孔				T03		1 000	0.1			
4	钻 $\phi 18$ 内部深孔				T04		550	0.15			
5	粗车内锥面及半精车内表面 分别至尺寸 $\phi 27.7$ 、 $\phi 19.05$				T05		700	0.1 0.2			
6	精车外圆柱面及端面至尺寸				T06		1 400	0.15			
7	精车 $25^\circ$ 外圆锥面及 $R2$ 圆弧 面至尺寸				T07		700	0.1			
8	精车 $15^\circ$ 外圆锥面及 $R2$ 圆弧 面至尺寸				T08		700	0.1			
9	精车内表面至尺寸				T09		1 000	0.1			
10	加工深处 $\phi 18.7_{0}^{+0.1}$ 内孔及端面 至尺寸				T10		1 000	0.1			
编制				审核			批准			共 1 页	第 1 页

表 3-7 数控加工刀具卡片

产品名称 或代号		零件名称	零件图号	程序编号			
工 步 号	刀 具 号	刀具名称	刀具型号	刀片		刀尖 半径/mm	备注
				型号	牌号		
1	T01	机夹可转位车刀	PCGCL2525-09Q	CCMT097308	GC435	0.8	
2	T02	机夹可转位车刀	PRJCL2525-06Q	RCM9060200	OC435	3	
3	T03	机夹可转位车刀	PTJCL1010-09Q	TCMT090204	GCA35	0.4	
4	T04	φ18mm 钻头					
5	T05	机夹可转位车刀	PDJNL1515-11Q	DNMA110404	GC435	0.4	
6	T06	机夹可转位车刀	PCGCL2525-08Q	CCMW080304	GC435	0.4	
7	T07	成形车刀				2	
8	T08	成形车刀				2	
9	T09	机夹可转位车刀	PDJNL1515-11Q	DNMA110404	GC435	0.4	
10	T10	机夹可转位车刀	PCL1515-06Q	CCMW060204	GC35	0.4	
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

## 第六节 难加工材料的数控车削加工

数控车床投资大,有一定的使用条件要求,其中用于加工难加工材料的零件占有一定的比例,所以有必要从数控车削加工的角度了解难加工材料加工的一些主要特点。

### 一、难加工材料的种类和特点

对切削加工而言,难加工材料是指切削加工性不好的材料。适合或较有可能需要数控车削加工的是由某些种类的难加工金属材料和复合材料制成的工程结构件。下面简要

介绍几种难加工材料的特点。

### (1) 高强度钢

合金结构钢、弹簧钢、轴承钢、工模具钢在调质或淬火后都有较高的硬度(一般在 30~40HRC 以上)和强度(可达 1 500MPa 以上)。加工时主要表现在剪切强度高、变形困难、切削力大、消耗的切削功多、切削区温度高、切屑和前刀面接触的长度很短,从而使切削力和高温区都集中在刀具刃口附近,容易使刀具崩刃和快速磨损。

### (2) 不锈钢

不锈钢有马氏体不锈钢、奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢、奥氏体铁素体不锈钢和沉淀硬化不锈钢等多种。车削马氏体和铁素体不锈钢时,工件表面质量有时较难控制。但总的说来,奥氏体不锈钢的加工性更差,这类材料虽然硬度不高但塑性很好。有些种类奥氏体不锈钢的强度还比较高(可达 1 000MPa 左右),因而切削力大、分离切屑消耗的功大,加上这类材料导热性不好,使切削区局部温度很高。这类材料在高温下与刀具材料亲和性较大,容易使刀具发生粘附磨损。这类材料都有较强的加工硬化倾向,常给吃刀深度较小的精车加工造成一定的困难。

### (3) 高温合金

有铁基高温合金、铁镍基高温合金、镍基高温合金和钴基高温合金等几大类。它们基本上都是合金含量很大的奥氏体组织,并含有稳定的弥散沉淀硬化相及大量的碳化物、氮化物、硼化物和金属间化合物。这类材料在相当高的温度下仍能保持高硬度和强度,加工硬化倾向十分严重,高温下又易使刀具发生扩散磨损和氧化。加工这类材料时,切削力大、切削温度高、刀具易磨损是其特点。

### (4) 钛合金

一般分为  $\alpha$  钛合金(TA)、 $\beta$  钛合金(TB)和  $(\alpha + \beta)$  钛合金(TC)。 $\alpha$  钛合金的加工不太困难。 $(\alpha + \beta)$  钛合金能热处理强化,综合机械性能好,组织稳定(能在 400~500℃ 下长期工作),应用范围比较广泛,典型牌号如 Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V(TC4)。这类材料的比强度高、热强性好,导热性能差,化学活性大,加工时刃口处局部温度高、切削力集中,同时切屑和前刀面的摩擦大,很容易使刀具发生剧烈的粘结磨损。加工时还要注意防止氯、铅、锌、铜、锡、镉等对工件的污染。

### (5) 高熔点金属及合金

主要包括钨(W)、钼(Mo)、钽(Ta)、镍(Nb)、锆(Zr)等高熔点金属及其合金。按其在切削加工时的基本表现可分为脆性的和塑性的两个典型类别。纯钨烧结制品及以钨为基,以铜、铁、镍等为黏结相,用粉末冶金方法制成的高比重合金在切削时主要呈脆性,切屑一般呈粉末状。这类材料的宏观硬度不是很大,但强度较高(可接近 900MPa),由于切屑变形小且呈崩碎状,故在刀具刃口处形成较大的循环应力,容易使刀具刃口发生疲劳破坏。这类合金的组织常为粗晶结构或是由黏结相黏结的硬质微粒,切削时容易使刀具产生强烈的机械磨损。纯钽及钽钨合金切削时表现为典型的塑性材料,它们具有单一的组织,熔点高,导热性不好,加工硬化倾向大,容易使刀具产生粘附磨损,切削用量掌握不好或切屑

处理不好都会使加工面粗糙和损伤刀具。

### (6) 复合材料

复合材料种类很多,许多复合材料正处于发展之中,一般行业在数控车削加工中比较有可能遇到的是已相当普遍使用的,由玻璃纤维和石墨纤维增强的树脂基复合材料。车削这类材料时,材料中的纤维容易对刀具造成强烈的机械磨损,而刀具刃口不锋利时又很容易使材料发生分层、开裂和变性,处理好呈粉末状易飞扬的切屑也是要注意的。

## 二、难加工材料的数控车削

### 1. 数控车床的选择

一般高档的全功能数控车床都能满足各种材料包括难加工材料的加工要求,但最好还是根据具体需要进行必要的核查,尤其是在新引进设备或为了经济的理由选用不同档次设备时。

难加工材料加工时多数切削力比较大(如加工高温合金,同等切削条件下切削力可能比加工普通钢材大2~3倍),切削速度低(加工高温合金有时可低到 $5\text{m}/\text{min}$ )。现代数控车床设计时首先注意保证高生产率,其高速性能对加工难加工材料一般问题不大,要注意的是低速性能,包括:

#### (1) 最低转速

主要考虑在用户特定的工件尺寸下的最低切削速度是否会给加工造成困难。为了保证生产率不致太低和得到满意的表面质量,机床最好具有恒线速和恒切向进给速度控制功能。

#### (2) 主轴转矩

现代数控车床多采用伺服电动机直接驱动主轴,低转速区处于“恒转矩”状态,这时主轴转矩的大小主要决定于主轴伺服电动机的大小,根据实际加工要求可对照机床说明书进行估算。

#### (3) 刀架的低速伺服进给性能

现代数控车床的低速进给性能都比较好,一般无爬行现象,但曾发现有的数控系统在低速圆弧插补状态下,过象限时产生突然性的窜动,给使用造成麻烦。

现代数控车床的刚性一般比较好,但如果要加工大尺寸深内型面且切削力又比较大时,还是应当对机床刀架的刚性和承受翻转力矩的能力加以注意。

加工难加工材料时有时要使用一些活性较大的冷却润滑剂(如 $\text{CCl}_4$ )。因此,除要求机床的主轴、导轨等要有良好的防护,机床的冷却润滑系统和主轴、导轨等运动部件的润滑系统有良好的隔离外,对机床的运动副材料和油漆等是否对选用的冷却润滑剂敏感亦应予查明,否则有可能造成机床的损坏。

### 2. 刀具材料

要能顺利地实现对难加工材料零件的加工,刀具必须有足够的耐用度,这首先与刀具

材料的选择有关。实践中不仅要根据具体加工对象考虑刀具材料性能的优劣,还要考虑到效率、经济性、供应是否方便等等因素。有关刀具材料的问题详见第三章。

### 3. 切削条件

切削条件的确立要针对具体加工对象和加工内容。按采用的数控车床和装夹方式等限定条件,选择具体的刀具类型、刀具材料、刀具几何参数、切削用量和润滑条件,在某些情况下还要考虑到切屑的处理问题。

和加工一般材料一样,为了使自动加工过程更加稳定,节约准备和在机床上更换调整刀具的时间,在数控车床上应首先考虑选用各种标准的机夹可转位刀片和刀杆(夹)。国外大的工具厂家一般都有成套的刀杆刀片供应,从其样本上可以查找到有关的尺寸、用途、切削角度、刀片材料级别、涂层特性、适用的被加工材料、切屑控制范围、推荐切削用量以及冷却润滑条件等基本信息,辅以必要的验证性工艺试验,可以解决相当部分的加工问题。

由于经济的原因,特别是为了使刀具结构、刀具材料、几何参数等便于灵活掌握,在加工难加工材料尤其是精加工时,许多场合下仍使用焊接式刀具。使用焊接式刀具时最好设计合适的刀夹,使刀具可以在机床外预先调整。加工难加工材料的刀具,特别要注意刃磨质量,因为刀片的实际抗弯强度、刃口强度和抗黏结性能,除与选用的刀具材料及几何参数有关外,很大程度上决定于刃磨质量。另外,数控车削时,车刀的刀尖圆角误差还将直接影响到工件形状和位置精度,需要准确控制,所以数控车刀最好在专用工具磨床上用金刚石砂轮仔细刃磨。

总之,在数控车床上加工难加工材料零件时,容易遇到困难的是精加工,特别是工件尺寸大、刚性差、对加工精度和表面质量要求严格及内回转表面时,要十分仔细。

### 4. 加工实例

#### (1) 奥氏体不锈钢精车

材料:一种美国 2169 奥氏体不锈钢,实测  $\sigma_b \geq 700\text{MPa}$ ,  $\delta_5 > 40\%$ ,  $\psi > 50\%$ , 硬度  $\leq 190$  HBS

刀具:YH1(株洲硬质合金厂牌号)焊接式刀具,  $\gamma_0 = 22^\circ$ ,  $\alpha_0 = 10^\circ$ ,  $\kappa_r = 90^\circ$ ,  $r_c = 0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 。

切削用量:  $v_c = 60\text{m/min}$ ,  $a_p = 0.03 \sim 0.4\text{mm}$ ,  $f = 0.05\text{mm/r}$ , 硫化切削油冷却。效果:加工刚性很差的工件内外圆,表面粗糙度可稳定到  $Ra0.8 \sim 1.6\mu\text{m}$ 。

#### (2) 钨镍铁高比重合金加工

材料:钨镍铁高比重合金,  $\sigma_b \geq 860\text{MPa}$ ,  $\delta_5 = 10\% \sim 15\%$ , HBS = 300

刀具:Kennametal 公司的 kc210 可转位刀片,  $\gamma_0 = -5^\circ$ ,  $\alpha_0 = 5^\circ$ ,  $\kappa_r = 90^\circ$ ,  $r_c = 0.4 \sim 0.8$  mm。

切削用量:  $v_c = 50\text{m/min}$ ,  $a_p = 0.05 \sim 5\text{mm}$ ,  $f = 0.05 \sim 0.08\text{mm/r}$

效果:比 YH1 焊接式刀具耐用度高 2~4 倍,表面质量稳定,内外圆  $Ra3.2\mu\text{m}$ 。

#### (3) 塑性高熔点合金精车

材料 :Ta10W 退火

刀具 :YH $\chi$  株洲硬质合金厂牌号 焊接式车刀 , $\gamma_0 = 25^\circ$  , $\alpha_0 = 12^\circ$  , $\kappa_r = 45^\circ$  , $r_c = 0.2\text{mm}$   
 切削用量 : $v_c = 25\text{m}/\text{min}$  , $a_p = 0.2\text{mm}$  , $f = 0.05 \sim 0.10\text{mm}/\text{r}$  ,菜籽油或 30%  $\text{CCl}_4 + 70\%$   
 高纯机油冷却。

效果 :刀具无非正常磨损 ,内外圆  $Ra3.2\mu\text{m}$  以下。

#### (4) 纯钽精车

材料 :纯钽 退火

刀具 :YH $\chi$  株洲硬质合金厂牌号 焊接式刀具 , $\gamma_0 = 40^\circ$  , $\alpha_0 = 10^\circ$  , $\kappa_r = 90^\circ$  , $r_c = 0.3\text{mm}$   
 切削用量 : $v_c = 80\text{m}/\text{min}$  , $a_p = 0.2\text{mm}$  , $f = 0.1 \sim 0.3\text{mm}/\text{r}$  , $\text{CCl}_4 +$  等量高纯机油润滑。

效果 :刀具无非正常磨损 ,内外圆  $Ra3.2\mu\text{m}$  以下。

#### (5) 碳纤维复合材料加工

材料 :以树脂为黏结剂的国产碳纤维编织物层压材料

刀具 :聚晶金刚石复合刀片车刀(成都工具研究所产) , $\gamma_0 = 5^\circ$  , $\alpha_0 = 8^\circ$  , $\kappa_r = 70^\circ$  , $r_c =$   
 $0.2\text{mm}$

切削用量 : $v_c = 120\text{m}/\text{min}$  , $a_p = 0.1 \sim 0.3\text{mm}$  , $f = 0.06 \sim 0.1\text{mm}/\text{r}$ 。

效果 :纤维被有效切断 ,无剥离分层现象 ,加工精度和刀具耐用度比用 YH $\chi$  株洲硬质合金厂牌号 类刀具显著提高。

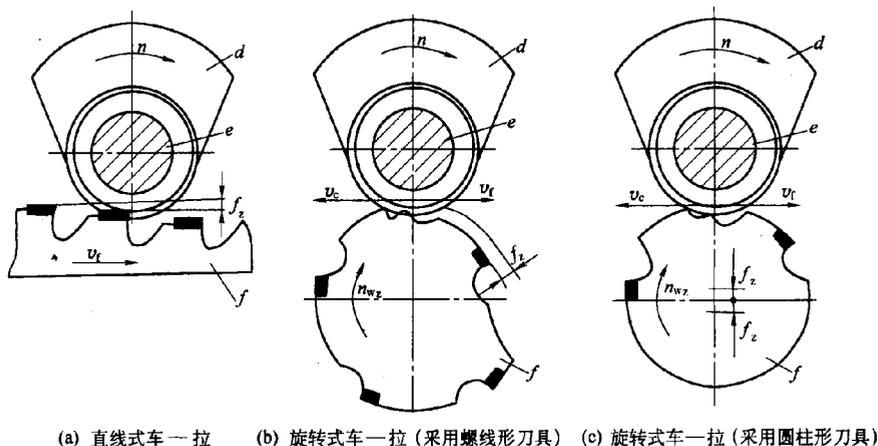
## 第七节 数控车拉工艺介绍

### 一、车拉工艺原理

车拉切削加工是近些年发展起来的新型加工技术。目前已在发动机曲轴加工中得到应用。它能在一道工序中同时加工出多缸发动机曲轴的全部主轴颈、连杆轴颈、曲柄臂平面、台阶和沉割等表面。加工工时短、效率高 ;热负荷和机械负荷低 ;刀具寿命长 ;机床传动功率小 ;加工精度高 ,表面粗糙度值小 ;可取消粗磨轴颈工序 ;对大、小批量和多品种生产均适用。

车拉加工实际上是车削和拉削加工的结合。在车拉加工时 ,除了工件作旋转运动以外 ,刀具也作运动。在直线式车拉中 ,刀具在工件运动的切线方向作直线运动 ,并依靠刀具的齿升  $f_z$  完成切入进给。其工作原理如图 3-59a 所示。

在旋转式车拉中 ,刀具作旋转运动。根据刀齿径向切入进给方式的不同 ,旋转式车拉可分为采用螺旋形刀具和圆柱形(可由刀片构成)刀具两种。其工作原理如图 3-59 中的 b、c 所示。图中的  $n_{wz}$  是刀具的转速 , $v_f$  是进给速度。采用螺旋形刀具时 ,工件与刀具轴线之间的距离保持不变 ,刀具的径向切入进给是靠刀具上刀齿的高度各不相同 ,形成阶梯



(a) 直线式车一拉 (b) 旋转式车一拉(采用螺旋形刀具) (c) 旋转式车一拉(采用圆柱形刀具)

图 3-59 车拉加工原理图

$d$ —一曲柄臂;  $e$ —连杆轴颈;  $f$ —刀具;  $f_z$ —齿升;  $n$ —曲轴转速;  $n_{wz}$ —刀具转速;  
 $v_c$ —切削速度;  $v_f$ —进给速度

式齿升  $f_z$ 。采用圆柱形刀具时,圆柱形刀具可用刀片代替,刀片形状为菱形,相当于宽刃刀具,倾斜装在刀盘上,刀盘回转轴线与机床主轴轴线平行,在数控装置控制下刀片随刀盘旋转,同时又在数控装置控制下随刀盘沿径向进给,使刀具作径向切入进给,进给终了时要停止进给继续车一段时间,保证轴颈的圆度和圆柱度。普通外圆车刀车削外圆时,实际是刀尖在工件上走的螺旋线轨迹形成工件外圆。而对旋转式车拉刀片,其刀刃与工件外圆接触为一点,由于刀片是宽刃的,加上工件和刀片的旋转,接触点将沿工件轴向连续移动(相当于螺旋线的螺距无穷小)。这样就在轴径表面均匀地车拉出一个表面精度高、粗糙度值小的外圆表面。它的加工原理类似宽刃车刀的车削原理,但瞬间接触为一点,而不是一条线。宽刃车刀若要与工件瞬间接触为一点,则刀刃必须倾斜,但这会产生圆柱度误差(接触点移动轨迹为空间倾斜直线)。为保证车拉刀与工件瞬间接触的一点在平行于工件轴线的一条直线上连续移动,保证工件到接触点的半径相等,车拉刀必须旋转,这些在带有数控旋转刀盘的数控车床上很容易实现。所以车拉工艺在数控机床上用得最多。采用车拉刀片方式进行车拉加工的缺点是加工工件外圆的长度受车拉刀片长度的限制。

车拉切削由于总的切削余量是被分配给多个依次进入的刀齿切除的,或由数控装置控制进给切除的,因此切削力较小,而且每个刀齿在开始切入时,切入厚度均为零。随着刀齿进入,切削厚度逐渐增加直至最大值,然后切削厚度又减小,直至切出工件表面降为零。因此,切入切出柔和,加工平稳性好。此外在一次切削中每个刀齿仅切削一段时间,刀齿的散热条件较好,有利于延长刀具使用寿命,而且不需要冷却液。在一次加工中能进行粗切和精切。粗、精切刀具分别布置,有利于采用各自最佳的刀刃几何形状、容屑空间、刀具材料和切削用量。例如粗切刀齿用涂层硬质合金,而精切刀齿则用陶瓷材料。通过刀齿的配置能加工出复杂的工件形状。图 3-60 所示为一曲轴轴颈及曲柄平面加工时的

刀齿配置及切削分配。切削是从最大的工件直径即曲柄臂外径开始的,靠已确定的齿升值和相应的刀片把曲柄臂平面上的余量切除,此时仅在左右两边进行切削。当达到轴颈毛坯表面时,刀齿在整个轴颈宽度上布置。图中曲轴精切台阶、沉割和轴颈外圆的形状和尺寸是靠最后的刀齿来得到的。因此,在精加工以后可以得到较高的尺寸精度、形状精度和较低的表面粗糙度值。

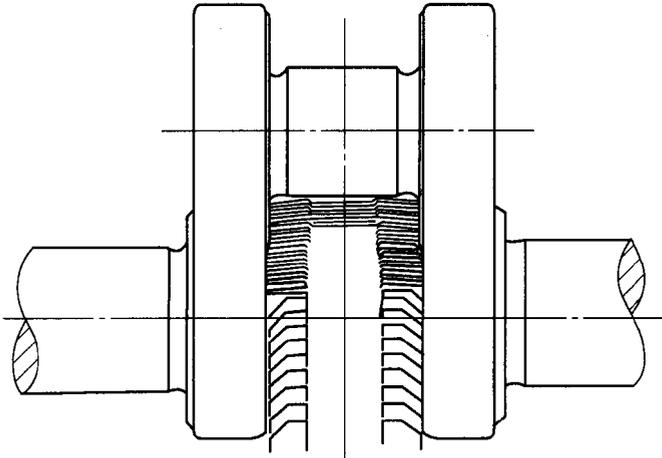


图 3-60 刀齿配置与切削分配图

另外,由于数控车拉机床及刀具的适应性好,也很适应小批量多品种生产。例如采用计算机辅助设计的螺旋形刀具,车拉加工“切诺基”吉普车发动机曲轴,机床的电动机功率仅 3kW,直径公差达到  $\pm 0.03\text{mm}$ ,对图纸所要求的  $\pm 0.1\text{mm}$  是绰绰有余的。包括手工上下料、定位、夹紧、松开,加工全部 4 个连杆轴颈的循环时间仅为 90s。

与传统加工方法相比,车拉能达到较高的加工精度:主轴颈宽度为  $\pm 0.05\text{mm}$ ,轴颈直径为  $\pm 0.05\text{mm}$ ,表面粗糙度  $Ra0.3\mu\text{m}$ ,径向跳动 0.05mm。

## 二、数控车拉工艺在一汽 - 大众公司的应用

一汽 - 大众汽车有限公司发动机传动器厂生产的 20 世纪 90 年代世界先进水平的 EA113 五气门系列发动机上的曲轴主轴颈和连杆颈的粗加工就是采用数控车拉工艺。全生产线中除第一道工序采用的是国产设备外,其余设备都是从德国原装进口,包括自动线所采用的机械手,各主要工序后的在线测量机,各工序的测量仪等。为保证曲轴生产质量的稳定及工艺技术要求,加工过程中各机床所使用的刀具全部从国外直接采购。

曲轴工段可以生产供 1.6 升及 1.8 升四缸汽油发动机使用或供 1.9 升和 2.1 升四缸柴油发动机使用的四种曲轴。

曲轴工段第五和第六两道工序就是采用数控车拉工艺对曲轴的主轴颈和连杆径进行粗加工。车拉后获得的轴颈表面粗糙度可达到  $Ra0.3\mu\text{m}$ ,可直接进行磨削加工。

该工序所用数控车拉机床是曲轴工段用于粗加工曲轴主轴颈及连杆颈的重要机床。该机床是双主轴 4 轴控制(两个 X 轴和两个 Z 轴),带有两个各可载 40 个刀片的刀盘,刀盘的控制轴分别为  $C_1$  和  $C_2$ ,是由蜗轮蜗杆伺服驱动的,控制精度为  $0.002^\circ$ ,最大扭矩为  $3500\text{N}\cdot\text{m}$ 。机床主轴最高转速为  $1400\text{r}/\text{min}$ ,最大扭矩为  $1060\text{N}\cdot\text{m}$ 。机床的数控系统采用的是德国西门子公司(SIEMENS)开发的 840C 数控系统。该系统是适用于全功能车床、铣床、加工中心及 FMS、CIMS 的轨迹控制的模块微处理器 CNC 系统,可以 4 轴同时独立运行或 4 轴联动,两个手轮同时独立运行,可用于双溜板或双主轴结构,分辨率  $10 \sim 0.001\mu\text{m}$ ,回转精度  $0.01^\circ \sim 0.00001^\circ$ 。

该数控车拉机床的车拉切削原理就是在回转刀盘上装上菱形刀片,在数控装置控制下进行车拉切削加工。

该机床具有两个通道。在同一控制器中可以在不同的通道中同时运行不同的 NC 加工程序,这就是通道的含义。该数控车拉机床两个刀盘的进给和旋转是分别在 1 通道和 2 通道中调用不同的程序来实现同步运行并对工件进行车拉加工的。这样大大降低了加工所占用的时间,使机床工作节拍加快。

该机床在刀盘上的刀片使用全部达到耐用度值后,可调出准备程序,换上装好新刀片的刀盘,利用对刀仪,运行对刀程序,自动刀具测量装置即能将安装在机床刀盘上的所有新刀片沿各个轴方向的尺寸都测量出来,可进行自动对刀。

另外,刀具测量系统能根据机床发热的情况自动确定刀具的准确位置。刀具测量的数据存放在刀具数据存储单元内。在机床正常加工工件时刀具测量所得到的数据自动补偿到进给装置中。

## 第四章 数控铣削加工工艺

### 第一节 概述

数控铣床是主要采用铣削方式加工工件的数控机床。它能够进行外形轮廓铣削、平面或曲面型腔铣削及三维复杂型面的铣削,如凸轮、模具、叶片、螺旋桨等。另外,数控铣床还具有孔加工的功能,通过特定的功能指令可进行一系列孔的加工,如钻孔、扩孔、铰孔、镗孔和攻丝等。

#### 一、数控铣床的分类

数控铣床种类很多,按其体积大小可分为小型、中型和大型数控铣床。一般数控铣床是指规格较小的升降台式数控铣床,其工作台宽度多在400mm以下,规格较大的数控铣床,其功能已向加工中心靠近,进而演变成柔性加工单元。按其控制坐标的联动轴数可分为二轴半联动、三轴联动和多轴联动数控铣床等。如对于有特殊要求的数控铣床,可以加进一个回转的A坐标或C坐标,即增加一个数控分度头或数控回转工作台,这时机床数控系统为四轴联动控制的数控系统,可用来加工螺旋槽、叶片等空间曲面零件。常用的分类方法是按其主轴的布局形式分为立式数控铣床、卧式数控铣床和立卧两用数控铣床。其中立式数控铣床和卧式数控铣床的布局形式见第一章图1-18、图1-19、图1-20和图1-21。

##### 1. 立式数控铣床

立式数控铣床的主轴轴线垂直于水平面,是数控铣床中最常见的一种布局形式,应用范围也最广泛。立式数控铣床中又以三坐标(X、Y、Z)联动铣床居多,其各坐标的控制方式主要有以下几种:

(1)工作台纵、横向移动并升降,主轴不动方式。目前小型数控铣床一般采用这种方式。

(2)工作台纵、横向移动,主轴升降方式。这种方式一般运用在中型数控铣床中。

(3)龙门架移动式,即主轴可在龙门架的横向与垂直导轨上移动,而龙门架则沿床身做纵向移动。许多大型数控铣床都采用这种结构,又称之为龙门数控铣床。

## 2. 卧式数控铣床

卧式数控铣床的主轴轴线平行于水平面,主要用来加工箱体类零件。为了扩大功能和加工范围,通常采用增加数控转盘来实现4轴或5轴加工。这样,工件在一次加工中可以通过转盘改变工位,进行多方位加工,使配有数控转盘的卧式数控铣床在加工箱体类零件和需要在一次安装中改变工位的零件时具有明显的优势。

## 3. 立卧两用数控铣床

立卧两用数控铣床的主轴轴线方向可以变换,使一台铣床具备立式数控铣床和卧式数控铣床的功能。这类铣床适应性更强,使用范围更广,生产成本也低。所以,目前两用数控铣床的数量正在逐渐增多。

立卧两用数控铣床靠手动和自动两种方式更换主轴方向。有些立卧两用数控铣床采用主轴头可以任意方向转换的万能数控主轴头,使其可以加工出与水平面呈不同角度的工件表面。还可以在这类铣床的工作台上增设数控转盘,以实现“五面加工”。

# 二、数控铣削的主要加工对象

数控铣床可以用来加工许多普通铣床难以加工甚至无法加工的零件。它以铣削功能为主,主要适合铣削下列三类零件。

## 1. 平面类零件

加工面与水平面的夹角为定角的零件称为平面类零件。目前,在数控铣床上加工的绝大多数零件属于平面类零件。平面类零件的特点是:加工面为平面或可以展开成为平面。如图4-1所示的三个零件均属平面类零件。图中的曲线轮廓面M和圆台侧面N,展开后均为平面,P为斜平面。这类零件的数控铣削相对比较简单,一般只用三轴数控铣床的两轴联动就可以加工出来。目前数控铣床加工的绝大多数零件属于平面类零件。

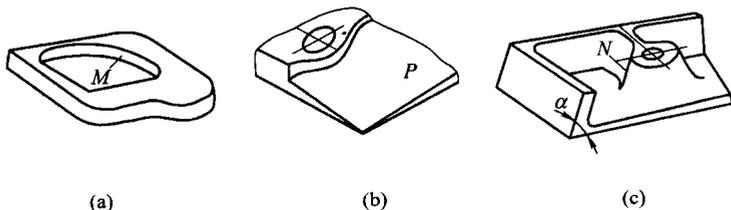


图4-1 典型的平面类零件

## 2. 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角类零件。这类零件特点是加工面不能展开为平面,但在加工中,铣刀圆周与加工面接触的瞬间为一条直线。图4-2是飞机上的一种变斜角梁椽条,该零件在第②肋至第⑤肋的斜角 $\alpha$ 从 $3^{\circ}10'$ 均匀变化为 $2^{\circ}32'$ ,从第⑤肋至第⑨肋再均匀变化为 $1^{\circ}20'$ ,从第⑨肋到第⑫肋又均匀变化至 $0^{\circ}$ 。变斜角

类零件一般采用 4 轴或 5 轴联动的数控铣床加工,也可以在三轴数控铣床上通过两轴联动用鼓形铣刀分层近似加工,但精度稍差。

### 3. 曲面类(立体类)零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件。曲面类零件的特点:一是加工面不能展开为平面,二是加工面与铣刀始终为点接触。这类零件在数控铣床的加工中也较为常见,通常采用两轴半联动数控铣床来加工精度要求不高的曲面,精度要求高的曲面需用三轴联动数控铣床加工,若曲面周围有干涉表面,需用四轴甚至五轴联动数控铣床加工。

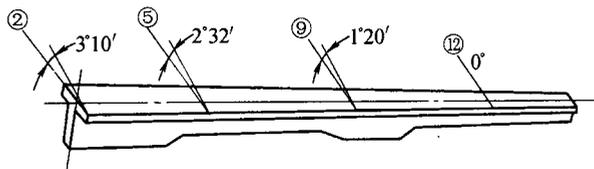


图 4-2 飞机上的变斜角梁椽条

## 三、数控铣削加工工件的安装和对刀、换刀

有关数控铣削加工工件的安装和对刀、换刀问题与加工中心加工工件的安装和对刀、换刀问题相似,这里不做介绍,读者可参见第六章第二节的详细分析。

### 第二节 制定数控铣削加工工艺要解决的主要问题

数控铣削加工内容与加工中心加工内容有许多相似之处,但从实际应用效果看,数控铣削加工更多地用于复杂曲面的加工,而加工中心更多地用于有多工序内容零件的加工,所以本章重点讨论复杂曲面的加工问题,有关非回转类零件的平面、孔等多工序内容的加工问题在第六章中讨论。

#### 一、选择并确定进行数控铣削加工的内容

下列加工内容常采用数控铣削加工:

(1) 工件上的曲线轮廓表面,特别是由数学表达式给出的非圆曲线和列表曲线等曲线轮廓。

- (2) 给出数学模型的空间曲面或通过测量数据建立的空间曲面。
- (3) 形状复杂,尺寸繁多,画线与检测困难的部位。
- (4) 能在一次装夹中顺带铣出来的简单表面或形状。
- (5) 用通用铣床加工时难以观察、测量和控制进给的内、外凹槽。
- (6) 采用数控铣削能成倍提高生产率,大大减轻体力劳动的一般加工内容。

下列加工内容一般不采用数控铣削加工:

- (1) 需要进行长时间占机人工调整的粗加工内容。
- (2) 毛坯上的加工余量不太充分或不太稳定的部位。
- (3) 简单的粗加工面。
- (4) 必须用细长铣刀加工的部位,一般指狭长深槽或高筋板小转接圆弧部位。

## 二、数控铣削加工工艺性分析

### (一) 零件图形分析

#### 1. 检查零件图的完整性和正确性

由于加工程序是以准确的坐标点来编制的,因此,各图形几何要素间的相互关系(如相切、相交、垂直、平行和同心等)应明确,各种几何要素的条件要充分,应无引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。例如,在实际工作中常常会遇到图纸中缺少尺寸,给出的几何元素的相互关系不够明确,使编程计算无法完成,或者虽然给出了几何元素的相互关系,但同时又给出了引起矛盾的相关尺寸,同样给编程计算带来困难。

#### 2. 检查自动编程时的零件数学模型

建立复杂表面数学模型后,必须仔细地检查数学模型的完整性、合理性及几何拓扑关系的逻辑性。数学模型的完整性是指数学模型是否全面表达了设计者的全部设计意图;合理性是指生成的数学模型中的曲面是否满足曲面造型的要求,主要包括曲面参数对应性、曲面的光顺性等;几何拓扑关系的逻辑性是指曲面与曲面之间的相互关系,主要包括曲面与曲面之间的连接是否满足指定的要求,如位置连续性、切矢连续性、曲率连续性等,曲面的修剪是否干净、彻底等。

为了生成合理的刀具运动轨迹,必须首先生成准确无误的数学模型。因此,数控编程所需的数学模型必须满足如下要求:

- (1) 数学模型必须是完整的几何模型,不能有多余的或遗漏的曲面。
- (2) 数学模型不能有多义性,不允许有曲面重叠现象存在;曲面修剪应彻底、干净,无曲面拓扑、结构错误。
- (3) 数学模型应是光滑的几何模型。在曲面的相交处,应按技术要求进行倒圆处理,并对曲面的多余部分进行修剪处理,以满足曲面光滑处理的要求。
- (4) 对外表面的数学模型,必须进行光顺处理,以消除曲面内部的微观缺陷,从而满足零件的光顺要求。

(5) 数学模型中的曲面参数曲线分布合理、均匀, 曲面不能有异常的凸起和凹坑。

## (二) 零件结构工艺性分析及处理

### 1. 零件图纸上的尺寸标注应使编程方便

编程方便与否常常是衡量数控工艺性好坏的一个指标。在实际生产中, 零件图纸上尺寸标注方法对工艺性影响较大, 为此对零件设计图纸应提出不同的要求。凡经数控加工的零件, 图纸上尺寸数据的给出要符合编程方便的原则。

### 2. 分析零件的变形情况, 保证获得要求的加工精度

虽然数控机床精度很高, 但对一些特殊情况, 例如过薄的底板与肋板, 因为加工时产生的切削拉力及薄板的弹性退让极易产生切削面的振动, 使薄板厚度尺寸公差难以保证, 其表面粗糙度也将增大。零件在数控铣削加工时的变形, 不仅影响加工质量, 而且当变形较大时, 将使加工不能继续进行下去。根据实践经验, 对于面积较大的薄板, 当其厚度小于 3mm 时, 就应在工艺上充分重视这一问题, 应当考虑采取一些必要的工艺措施进行预防。如对于大面积薄壁板零件, 应改进装夹方式, 采用合适的加工顺序和刀具。还可采取其他措施, 如对钢件进行调质处理, 对铸铝件进行退火处理, 对不能用热处理方法解决的, 可考虑采用粗、精加工分开及对称去余量等措施来减小或消除变形的影响。

### 3. 尽量统一零件轮廓内圆弧的有关尺寸

(1) 轮廓内圆弧半径  $R$  常常限制刀具的直径。如图 4-3 所示, 若工件的被加工轮廓高度低, 转接圆弧半径大, 可以采用较大直径的铣刀来加工, 且加工其底板面时, 进给次数也相应减少, 表面加工质量也会好一些, 因此工艺性较好; 反之, 数控铣削工艺性较差。一般来说, 当  $R < 0.2H$  ( $H$  为被加工轮廓面的最大高度) 时, 可以判定零件上该部位的工艺性不好。

(2) 铣削面的槽底面圆角或底板与肋板相交处的圆角半径  $r$  (如图 4-4 所示) 越大, 铣刀端刃铣削平面的能力越差, 效率也较低。当  $r$  大到一定程度时甚至必须用球头铣刀加工, 这是应当避免的。因为铣刀与铣削平面接触的最大直径  $d = D - 2r$  ( $D$  为铣刀直径), 当  $D$  越大而  $r$  越小时, 铣刀端刃铣削平面的面积越大, 加工平面的能力越强, 铣削工艺性当然也越好。有时, 当铣削的底面面积较大, 底部圆弧  $r$  也较大时, 我们只能用两把  $r$  不同的铣刀 (一把刀的  $r$  小些, 另一把刀的  $r$  符合零件图样的要求) 分两次进行切削。

在一个零件上, 这种凹圆弧半径在数值上的一致性对数控铣削的工艺性显得相当重要。零件的外形、内腔最好采用统一的几何类型或尺寸, 这样可以减少换刀次数。一般来说, 即使不能寻求完全统一, 也要力求将数值相近的圆弧半径分组靠拢, 达到局部统一, 以尽量减少铣刀规格与换刀次数, 并避免因频繁换刀而增加了零件加工面上的接刀阶差, 降低表面质量。

### 4. 保证基准统一原则

有些零件需要在铣完一面后再重新安装铣削另一面, 由于数控铣削时不能使用通用

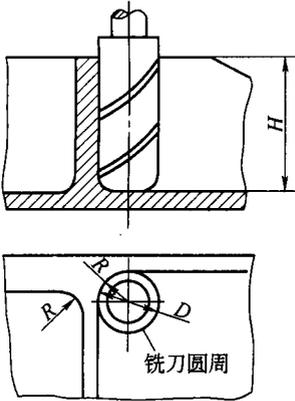


图 4-3 肋板的高度与内转接圆弧  
对零件铣削工艺性的影响

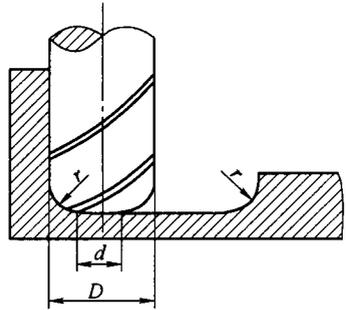


图 4-4 底板与肋板的转接圆弧对  
零件铣削工艺性的影响

铣床加工时常用的试切方法来接刀,往往会因为零件的重新安装而接不好刀。这时,最好采用统一基准定位,因此零件上应有合适的孔作为定位基准孔。如果零件上没有基准孔,也可以专门设置工艺孔作为定位基准(如在毛坯上增加工艺凸台或在后续工序要铣去的余量上设基准孔)。

有关铣削件的结构工艺性实例见表 4-1。

### (三) 零件毛坯的工艺性分析

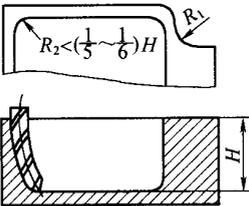
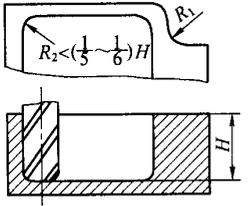
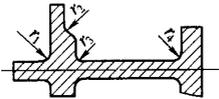
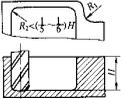
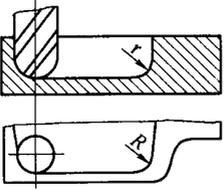
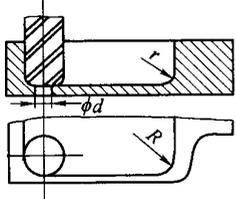
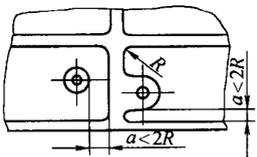
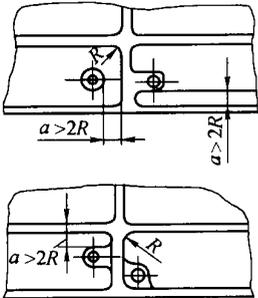
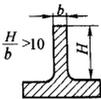
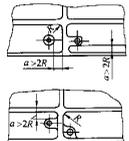
零件在进行数控铣削加工时,由于加工过程的自动化,使余量的大小、如何装夹等问题在设计毛坯时就要仔细考虑好。否则,如果毛坯不适合数控铣削,加工将很难进行下去。根据经验,下列几方面应作为毛坯工艺性分析的要点。

#### 1. 毛坯应有充分、稳定的加工余量

毛坯主要指锻件、铸件。因模锻时的欠压量与允许的错模量会造成余量的多少不等;铸造时也会因砂型误差、收缩量及金属液体的流动性差不能充满型腔等造成余量的不均匀。此外,锻造、铸造后,毛坯的挠曲与扭曲变形量的不同也会造成加工余量不充分、不稳定。因此,除板料外,不论是锻件、铸件还是型材,只要准备采用数控铣削加工,其加工面均应有充分的余量。经验表明,数控铣削中最难保证的是加工面与非加工面之间的尺寸,这一点应该引起特别重视。在这种情况下,如果已确定或准备采用数控铣削加工,就应事先对毛坯的设计进行必要更改或在设计时就加以充分考虑,即在零件图样注明的非加工面处增加适当的余量。

#### 2. 分析毛坯的装夹适应性

表 4-1 零件的数控铣削加工工艺性实例

序号	(A)工艺性差的结构	(B)工艺性好的结构	说 明
1			B 结构可选用较高刚性刀具
2			B 结构需用刀具比 A 结构少,减少了换刀的辅助时间
3			B 结构 R 大, r 小, 铣刀端刃铣削面积大, 生产效率高
4			B 结构 a > 2R, 便于半径为 R 的铣刀进入, 所需刀具少, 加工效率高
5			B 结构刚性好, 可用大直径铣刀加工, 加工效率高

主要考虑毛坯在加工时定位和夹紧的可靠性与方便性,以便在一次安装中加工出较多表面。对不便于装夹的毛坯,可考虑在毛坯上另外增加装夹余量或工艺凸台、工艺凸耳等辅助基准。如图4-5所示,该工件缺少合适的定位基准,在毛坯上铸出两个工艺凸耳,在凸耳上制出定位基准孔。

### 3. 分析毛坯的变形、余量大小及均匀性

分析毛坯加工中与加工后的变形程度,考虑是否应采取预防性措施和补救措施。如对于热轧中、厚铝板,经淬火时效后很容易在加工中与加工后变形,这时最好采用经预拉伸处理的淬火板坯。对毛坯的余量大小及均匀性,主要是考虑在加工时要不要分层切削,分几层切削。自动编程时,这个问题尤其重要。

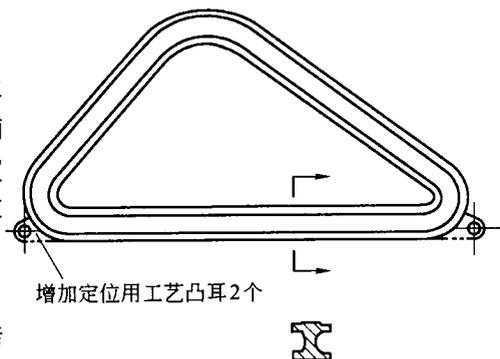


图4-5 增加辅助基准示例

## 三、零件图形的数学处理

### 1. 零件手工编程尺寸及自动编程时建模图形尺寸的确定

数控铣削加工零件时,手工编程尺寸及自动编程零件建模图形的尺寸不能简单地直接取零件图上的基本尺寸,要进行分析,有关尺寸也应该按第四章第三节介绍的零件图形的数学处理方法及编程尺寸设定值确定的步骤确定手工编程尺寸及自动编程建模图形的尺寸,这样所建立的模型图形才是正确的。图形尺寸可按下述步骤调整:

- (1) 精度高的尺寸的处理:将基本尺寸换算成平均尺寸。
- (2) 几何关系的处理:保持原重要的几何关系,如角度、相切等不变。
- (3) 精度低的尺寸的调整:通过修改一般尺寸保持零件原有几何关系,使之协调。
- (4) 节点坐标尺寸的计算:按调整后的尺寸计算有关未知节点的坐标尺寸。
- (5) 编程尺寸的修正:按调整后的尺寸编程并加工一组工件,测量关键尺寸的实际分散中心并求出常值系统性误差,再按此误差对程序尺寸进行调整,修改程序。

图4-6是一板类零件,其轮廓各处尺寸公差大小、偏差位置不同,对编程尺寸产生影响,如用同一把铣刀、同一个刀具半径补偿值编程加工,很难保证各处尺寸在公差范围之内。

对这一问题有两种处理办法:一是在编程计算时,改变轮廓尺寸并移动公差带,用上述方法将编程尺寸取为平均尺寸,采用同一把铣刀和同一个刀具半径补偿值加工,如图4-6中的括号内尺寸,其公差带均做了相应改变,计算与编程时用括号内尺寸来进行;二是仍以图纸中的名义尺寸计算和编程,用同一把刀加工,在不同加工部位编入不同的刀具号,加工时赋予不同的刀具补偿值,但这样做,操作者会感到很麻烦,而且在圆弧与直线、圆弧与圆弧相切处不容易办到,一般不采用此法。

轮廓尺寸改为平均尺寸后,两个圆弧的中心和切点的坐标尺寸应按修改后的尺寸计算。

## 2. 圆弧参数计算误差的处理

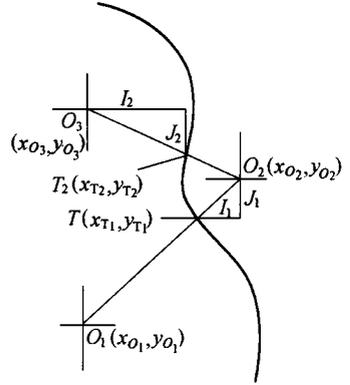
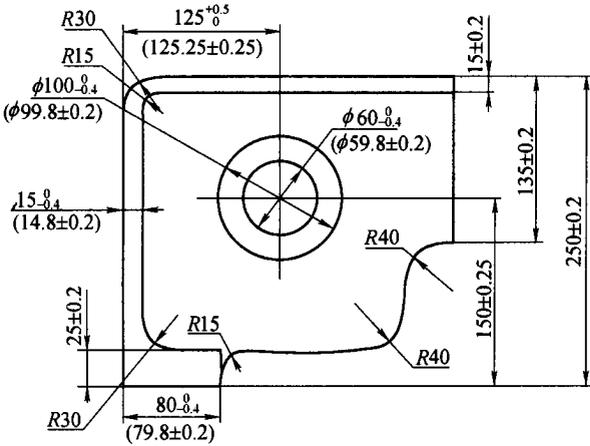


图 4-6 零件尺寸公差对编程尺寸的影响

图 4-7 圆弧参数计算误差对编程的影响

在按零件图纸尺寸计算圆弧参数(如圆弧切点、终点坐标、所在圆的圆心坐标)时,一般会产生误差,特别是在两个圆或两个以上的圆连续相切或相交时,会产生较大误差累积,其结果使得圆弧起点相对于圆心的增量值  $I, J$  的误差增大(即  $\sqrt{I^2 + J^2} \neq R$ )。在图 4-7 中,圆  $O_1$  与圆  $O_2$  的切点  $T_1$  既是圆  $O_1$  的终点又是圆  $O_2$  的起点,圆  $O_2$  与圆  $O_3$  的切点  $T_2$  既是圆  $O_2$  的终点又是圆  $O_3$  的起点,在这种情况下极易产生较大的计算误差的累积,该累积误差最终要反映在  $I, J$  值上。当  $I, J$  值误差超过一定限度时,机床控制机便难以接受,会拒绝执行该圆弧指令(报错)或因找不到圆弧终点而不停地转圈,很容易使工件报废。特别是当误差处于机床控制机所允许的最大圆弧插补误差附近时(即临界状态),常常会发生机床控制机有时勉强能接受,有时又不予接受的情况,这样反而更危险,其隐患很难查找,同时也极易造成在不一定什么时候铣坏工件。因此,在计算之后一定要注意复验  $I, J$  值的误差,一般应保证  $|\sqrt{I^2 + J^2} - R| \leq \frac{2}{3} \delta_{允}$ (控制机允许的最大圆弧插补误差)。如验证达不到上述要求时,可根据实际零件图形改动一下圆弧半径值或圆心坐标(在许可范围内),或采用互相“借”一点误差的方法来解决。经过调整后,先把可以直接从图纸所给条件算出的各节点坐标算出来,再计算待定节点坐标(如图纸上一般不注明的切点、圆心或交点等)及圆弧起点、终点相对于圆心的坐标值( $I, J$ )。在计算各节点坐标时,最好按编程坐标系算出绝对坐标值,这样编程时将更方便且不易出错。此外,要注意边计算边将数值填入程编草图的相应节点处,如计算时建立了直线或圆方程,最好也注在程编草图的相应几何元素轮廓线附近,以便查错及修改。

## 3. 转接凹圆弧的处理

对于直线轮廓所夹的凹圆弧,一般可由铣刀半径直接形成而不必走圆弧轨迹。但对于与圆弧相切或相交的转接凹圆弧,通常都用走圆弧轨迹的方法解决,如图4-8所示。由于这种转接凹圆弧一般都不大,选择铣刀直径时往往受其制约。此外在实际加工中,也有可能为了保证其他轮廓的尺寸公差或用同一条程序进行粗、精加工而采取放大刀具半径补偿值的方法进行加工。这时如果在数学计算时仍用图纸给出的转接凹圆弧半径,那就可能使上述工作受到限制。其结果是要么去选

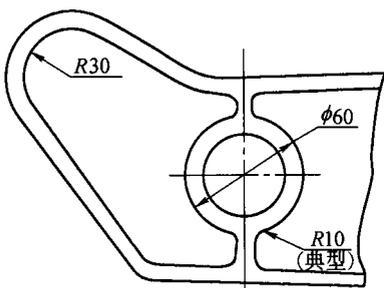


图4-8 转接凹圆弧对加工的影响

择更小直径的铣刀,要么将原来选好的铣刀磨小一点,而这样做既不方便也不经济,还有可能打乱原来的程序(例如,行切宽度已定,铣刀改小后有可能留下覆盖不了的刀峰)。因此,最好的办法就是在数学计算时,把图纸中最小的转接凹圆弧半径放大一些(在其加工允差范围内),如图4-8中的R10,放大为R10.5或R11来进行计算,在原刀具尺寸不变的情况下,可以扩大刀具半径补偿范围。当其半径较小时(如R5),则可先按大圆弧半径来编,再安排补加工(换小直径铣刀来完成)。

## 四、与起刀、进刀和退刀有关的工艺问题的处理

### (一) 程序起始点、返回点和切入点(进刀点)、切出点(退刀点)的确定

#### 1. 程序起始点、返回点和切入点(进刀点)、切出点(退刀点)的概念

##### (1) 程序起始点

是指程序开始时,刀尖(刀位点)的初始停留点。采用G92对刀时一般为对刀点。

##### (2) 程序返回点

是指一把刀程序执行完毕后,刀尖返回后的停留点。一般为换刀点。

##### (3) 切入点(进刀点)

是指在曲面的初始切削位置上,刀具与曲面的接触点。

##### (4) 切出点(退刀点)

是指曲面切削完毕后,刀具与曲面的接触点。

#### 2. 程序起始点、返回点和切入点、切出点的确定方法

##### (1) 起始点、返回点确定原则

在同一个程序中起始点和返回点最好要相同,如果一个零件的加工需要几个程序来完成,那么这几个程序的起始点和返回点也最好完全相同,以免引起加工操作上的麻烦。起始点和返回点的坐标值也最好设X和Y值均为零,这样能使操作方便。因为起刀点生成的G码指令为G92,G92的含义为只进行坐标变换,而不能使机床产生运动。为了确保加工后零件表面位置的准确性,对刀后必须人工使刀具的刀位点在G92指令后面规定的X、Y、Z坐标值上。如果X、Y值均为零,按工件坐标系原点对刀后不必进行X、Y方向移

动,只需 Z 方向移到 G92 指令后面的 Z 坐标位置。起始点和返回点应定义在高出被加工零件的最高点 50 - 100mm 左右的某一位置上,即起始平面、退刀平面所在的位置。这主要为厂致捏加工的安全性,防止碰刀,同时也考虑了数控加工的效率,使非切削时间控制在一定的范围内。

### (2) 切入点选择的原则

即在进刀或切削曲面的过程中,要使刀具不受损坏。一般来说,对粗加工而言,选择曲面内的最高角点作为曲面的切入点(初始切削点)。因为该点的切削余量较小,进刀时不易损坏刀具。对精加工而言,选择曲面内某个曲率比较平缓的角点作为曲面的切入点。因为在该点处,刀具所受的弯矩较小,不易折断刀具。总之,要避免将铣刀当钻头使用,否则会因受力大、排屑不便而使刀具受损。

### (3) 切出点选择的原则

主要考虑曲面能连续完整地加工及曲面与曲面加工间的非切削加工时间尽可能短,换刀方便,以提高机床的有效工作时间。对被加工曲面为开放型曲面,有曲面的两个角点可作为切出点,按上述原则择其一,若被加工曲面为封闭型曲面,则只有曲面的一个角点为切出点,自动编程时系统一般自动确定。

## (二) 进刀、退刀方式及进刀、退刀线的确定

### 1. 进刀、退刀方式及进刀(引入)、退刀(引出)线的概念

进刀方式是指加工零件前,刀具接近工件表面的运动方式,退刀方式是指零件(或零件区域)加工结束后,刀具离开工件表面的运动方式。这两个概念对复杂表面的高精度加工来说是非常重要的。

进刀、退刀线是为了防止过切、碰撞和飞边在切入前和切出后设置的引入到切入点和从切出点引出的线。

### 2. 进刀、退刀方式及进刀、退刀线的确定

进刀、退刀方式有如下几种:

#### (1) 沿坐标轴的 Z 轴方向直接进行进刀、退刀

该方式是数控加工中最常用的进、退刀方式。其优点是定义简单,缺点是在工件表面的进刀、退刀处会留下微观的驻刀痕迹,影响工件表面的加工精度。在铣削平面轮廓零件时,应避免在零件垂直表面的方向进刀、退刀。

#### (2) 沿给定的矢量方向进行进刀或退刀

该方式要先定义一个矢量方向来确定刀具进刀和退刀运动的方向。特点与方式(1)类似。

#### (3) 沿曲面的切矢方向以直线进刀或退刀

该方式是从被加工曲面的切矢方向切入或切出工件表面。其优点是在工件表面的进刀、退刀处,不会留下驻刀痕迹,工件表面的加工精度高。如用立铣刀的端刃和侧刃铣削平面轮廓零件时,为了避免在轮廓的切入点和切出点处留下刀痕,应沿轮廓外形的切线方向切入和切出,切入点和切出点一般选在零件轮廓两几何元素的交点处。引入、引出线由

相切的直线组成,这样可以保证加工出的零件轮廓形状平滑,如图4-9所示。

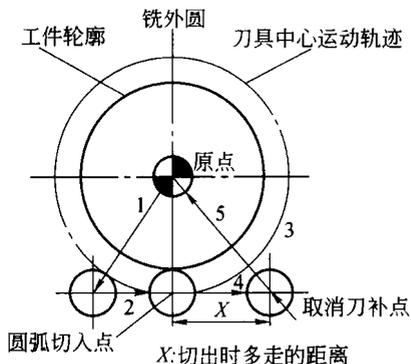


图4-9 直线与轮廓相切的进刀、退刀方式

#### (4)沿曲面的法矢方向进刀或退刀

该方式是以被加工曲面切入点或切出点的法矢量方向切入或切出工件表面。特点与方式(1)类似。

#### (5)沿圆弧段方向进刀或退刀

该方式是刀具以圆弧段的运动方式切入或切出工件表面,引入、引出线为圆弧并且圆弧使刀具与曲面相切。该方式必须首先定义切入或切出圆弧段。此种方式适用于不能用直线直接引入、引出的场合,如图4-10所示。

#### (6)沿螺旋线或斜

#### 线进刀方式

即在两个切削层之间,刀具从上一层的高度沿螺旋线或斜线以渐进的方式切入工件,直到下一层的高度,然后开始正式切削。

对于加工精度要求很高的型面加工来说,应选择沿曲面的切矢方向或沿圆弧方向进刀、退刀方式,这样不会在工件的进刀或退刀处留下驻刀痕迹而影响工件的表面加工质量。

为防止刀具或铣头与被加工表面相碰(碰撞可能引起如下后果:破坏被加工表面,严重时造成零件报废,损坏刀具或铣头,损坏机床精度),在起始点和进刀线、返回点和退刀线之间,应加刀具移动定位语句。在起始点,应使刀具先运动到引入线上方的某个位置上;同理,在曲面切削完毕后,在引出线的位置上应给刀具一个增量值运动语句,使刀具在Z轴方向向上提升一个增量值,运动后刀具位置的Z值应在安全高度或与起始点Z值一致。

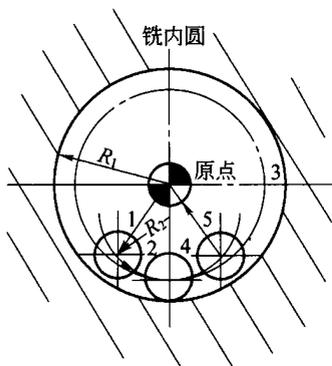


图4-10 圆弧使刀具与轮廓相切的进刀、退刀方式

### (三)起始平面、返回平面、进刀平面、退刀平面和安全平面的确定

#### 1. 起始平面

是程序开始时刀具的初始位置所在的Z平面,如前所述,一般定义在被加工零件的最高点之上50~100mm左右的某一位置上,一般高于安全平面。其对应的高度称为起始高度。在此平面上刀具以G00速度行进。

#### 2. 返回平面

是指程序结束时,刀具尖点(不是刀具中心)所在的Z平面,它也定义在高出被加工表面最高点50~100mm左右的某个位置上,一般与起始平面重合。因此,刀具处于返回平

面上时是非常安全的。其对应的高度称为返回高度。刀具在此平面上也以 G00 速度行进。

### 3. 进刀平面

刀具以高速(G00)下刀至要切到材料时变成以进刀速度下刀,以免撞刀,此速度转折的位置即为进刀平面,其高度为进刀高度,也有称为接近高度的,其转折速度称为进刀速度或接近速度。此高度一般在加工面和安全平面之间,离加工面 $5\sim 10\text{mm}$ (指刀尖点到加工面间的距离),加工面为毛坯面时取大值,加工面为已加工面时取小值。

### 4. 退刀平面

零件(或零件区域)加工结束后,刀具以切削进给速度离开工件表面一段距离( $5\sim 10\text{mm}$ )后转为以高速返回安全平面,此转折位置即为退刀平面,其高度为退刀高度。

### 5. 安全平面

是指当一个曲面切削完毕后,刀具沿刀轴方向返回运动一段距离后,刀尖所在的 $z$ 平面。它一般被定义在高出被加工零件最高点 $10\sim 50\text{mm}$ 左右的某个位置上,刀具处于安全平面时是安全的,在此平面上也以G00速度行进。这样设定安全平面既能防止刀具碰伤工件,又能使非切削加工时间控制在一定的范围内。其对应的高度称为安全高度。刀具在一个位置加工完成后,退回至安全高度,然后沿安全高度移动到下一个位置再下刀进行另一个表面的加工。

## 五、逆铣、顺铣及切削方向、切削方式的确定

### (一) 逆铣、顺铣的确定

#### 1. 逆铣与顺铣的概念

铣刀的旋转方向和工件的进给方向相反时称为逆铣,相同时称为顺铣。

#### 2. 逆铣与顺铣的特点

如图4-11a所示,逆铣时,刀具从已加工表面切入,切削厚度从零逐渐增大。铣刀刃口有一钝圆半径 $r_\beta$ ,当 $r_\beta$ 大于瞬时切削厚度时,实际切削前角为负值,刀齿在加工表面上挤压、滑行,切不下切屑,使这段表面产生严重的冷硬层。下一个刀齿切入时,又在冷硬层表面挤压、滑行,使刀齿容易磨损,同时使工件表面粗糙度增大。同时刀齿切离工件时垂直方向的分力 $F_v$ 的方向使工件脱离工作台,需较大的夹紧力。但刀齿从已加工表面切入,不会造成直接从毛坯面切入而打刀的问题。顺铣时,如图4-11b所示,刀具从待加工表面切入,刀齿的切削厚度从最大开始,避免了挤压、滑行现象的产生。同时垂直方向的分力 $F_v$ ,始终压向工作台,减小了工件上下的振动,因而能提高铣刀耐用度和加工表面质量。

铣床工作台的纵向进给运动一般是依靠工作下面的丝杠和螺母来实现的,螺母固定不动,丝杠一面转动一面带动工作台移动。如果在丝杠与螺母传动副中存在着间隙情

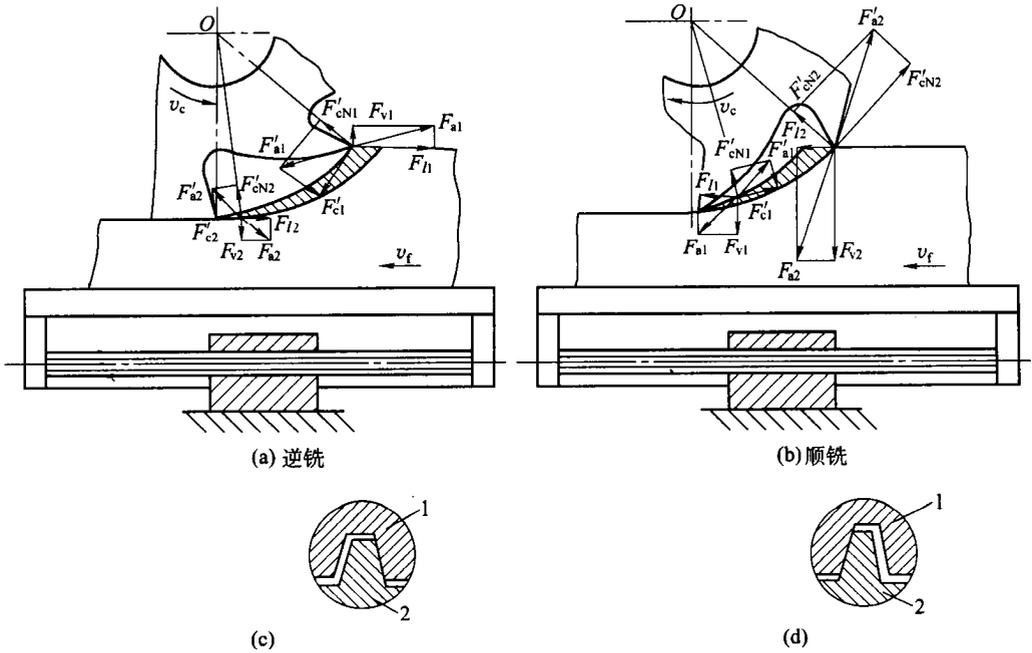


图 4-11 逆铣与顺铣

1—螺母 2—丝杠

况下采用顺铣,当纵向分力  $F_v$  逐渐增大超过工作台摩擦力时,使工作台带动丝杠向左窜动,丝杠与螺母传动副右侧面出现间隙,如图 4-11d 所示,严重时会使铣刀崩刃。此外,在进行顺铣时遇到加工表面有硬皮,也会加速刀齿磨损甚至打刀。在逆铣时,纵向分力  $F_v$  与纵向进给方向相反,使丝杠与螺母间传动面始终紧贴,如图 4-11c 所示,故工作台不会发生窜动现象,铣削较平稳。

### 3. 逆铣、顺铣的确定

根据上面分析,当工件表面有硬皮,机床的进给机构有间隙时,应选用逆铣,按照逆铣方式安排进给路线。因为逆铣时,刀齿是从已加工表面切入,不会崩刃;机床进给机构的间隙不会引起振动和爬行,这正符合粗铣的要求,因此粗铣时应尽量采用逆铣。当工件表面无硬皮,机床进给机构无间隙时,应选用顺铣,按照顺铣方式安排进给路线。因为采用顺铣加工后,零件已加工表面质量好,刀齿磨损小,这正符合精铣的要求,因此,精铣时,尤其是零件材料为铝镁合金、钛合金或耐热合金时,应尽量采用顺铣。

在主轴正向旋转,刀具为右旋铣刀时,顺铣正好符合左刀补(即 G41),逆铣正好符合右刀补(即 G42),所以,一般情况下,精铣用 G41 建立刀具半径补偿,粗铣用 G42 建立刀具半径补偿。

## (二) 切削方向和切削(走刀)方式的确定

切削方向是指在切削加工时,刀具的运动方向;切削(走刀)方式是指生成刀具运动轨

迹时,刀具运动轨迹的分布方式。这两个概念在数控铣削工艺分析时是非常重要的,选择是否合理会直接影响零件的加工精度和生产成本。其选择原则为:根据被加工零件表面的几何形状,在保证加工精度的前提下,使切削加工时间尽可能短。下面分别讨论二维线框的轮廓加工和三维曲面的区域加工中的切削方式、切削方向的选择方法。

### 1. 二维线框轮廓加工中的切削方向选择

在制定零件轮廓的粗加工工艺时,考虑到零件表面的加工余量大,应采用逆铣方法,以便减少机床的振动;而在制定零件轮廓的精加工工艺时,考虑到精加工的目的是保证零件的加工精度和表面粗糙度,应采用顺铣方法。同时应注意防止刀具直接切入工件表面,留下驻刀痕迹,影响被加工表面的粗糙度,应沿零件轮廓的切线方向切入切出。

### 2. 三维曲面区域加工中的切削方向、走刀方式的选择

在三维曲面区域加工的刀具运动轨迹生成技术中,可采用如下三种走刀方式:

#### (1) 往复型走刀方式

刀具运动轨迹呈“己”字型分布,该走刀方式的特点是:在切削加工过程中顺铣、逆铣交替进行,表面质量较差但加工效率高,见图 4-12。

#### (2) 单方向走刀方式

在切削加工过程中能保证顺铣或逆铣的一致性,编程员可根据实际加工要求选择顺铣或逆铣一种走刀方式。由于该走刀方式在完成一条切削轨迹后,附加了一条非切削运动轨迹,因此,延长了机床的加工时间,见图 4-13。此两种方式又称行切走刀方式。

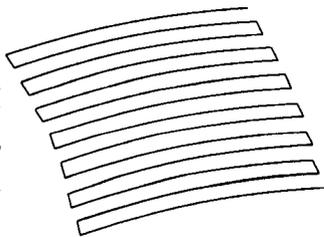


图 4-12 往复型走刀轨迹

#### (3) 环切走刀方式

该刀具运动轨迹是一组被加工曲面的等参数封闭曲线,它主要用于封闭环状曲面的刀具运动轨迹的生成,见图 4-14。具体环切轨迹又分为等距环切、依外形环切、螺旋环切等,可以从外向内环切,也可以从内向外环切。

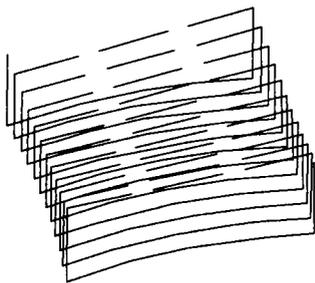


图 4-13 单方向走刀轨迹

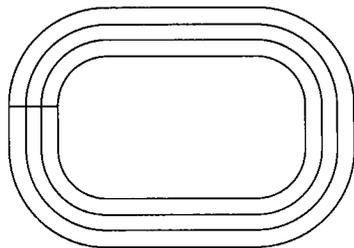


图 4-14 环切走刀轨迹

### 3. 拐角过渡方式

拐角过渡就是在切削过程中遇到拐角时的处理方式,一般为尖角和圆弧两种过渡方式,如图 4-15 所示。

尖角 : 刀具从轮廓的一边到另一边的过程中 , 以直线的方式过渡。

圆弧 : 刀具从轮廓的一边到另一边的过程中 , 以圆弧的方式过渡。

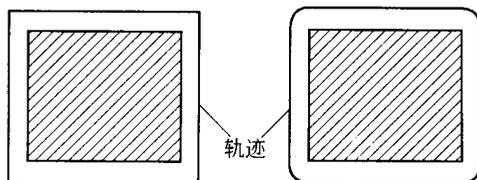


图 4-15 拐角过渡方式

## 六、数控铣削加工工艺参数的确定

确定工艺参数是工艺制定中重要的内容 , 采用自动编程时更是程序成功与否的关键。合理地选择工艺参数 , 不但可以提高切削效率 , 还可以提高零件的加工质量 , 降低成本。数控铣削加工工艺参数主要包括步长、行距、主轴转速(切削速度)、进给量(进给速度)、背吃刀量和侧吃刀量等。对于不同的加工方法、不同的设备、不同的工件、不同的刀具、不同的精度及表面质量要求 , 需要选择不同的工艺参数 , 并编入程序单内。

### (一) 用球铣刀加工曲面时与切削精度有关的工艺参数的确定

#### 1. 步长(步距)的确定

步长(步距)是用来控制刀具步进方向上两个刀位点位置之间距离的长度 , 决定刀位点数据的多少。此步长与插补计算中的轮廓步长含义不完全相同。此步长一般大于插补步长 , 因此也有将其称为步距或参数步长的。当直接用参数步长控制加工精度时是指允许的最大步长 , 而用逼近误差控制加工精度时 , 走刀轨迹曲率较小处的步长较长 , 走刀轨迹曲率较大处的步长较短 , 而插补步长始终等于进给速度与数控系统插补周期的乘积。

一般数控系统按用户给定的步长(步距)计算刀具轨迹 , 同时系统对生成的刀具轨迹进行优化处理 , 删除处于同一直线上的刀位点位置 , 在保证加工精度的前提下提高加工的效率。因此用户给定的是加工的最小步长 , 实际生成的刀具轨迹中的步长可能大于用户给定的步长。曲线轨迹步长  $l$  的确定方法如下 :

#### (1) 直接定义步长法

即在编程时直接给出步长值 , 系统按给定步长计算各刀位点位置。步长是根据零件的加工精度要求来确定的 , 因此采用此法需要一定的经验。

#### (2) 间接定义步长法

即通过定义逼近误差  $e_c$  (也有直接称为公差或轮廓精度等)来间接定义步长 , 即步长 ,  $l = \sqrt{8e_c r}$  (见第一章第四节 ,  $r$  为轮廓曲率半径)。步长确定后 , 要求实际切削进给速度  $F \leq l/T$  ( $T$  为数控系统的插补周期) , 这样可以保证插补步长小于参数步长(步距) , 即保

证插补误差小于逼近误差。

## 2. 逼近误差 $e_r$ 的确定

逼近误差表示实际切削轨迹偏离理论轨迹的最大允许误差。对曲面的三轴数控加工而言,刀具的运动是通过三个坐标轴进行线性插补完成的,这意味着刀具运动轨迹是由相应的直线段组成的。为了确保被加工零件的加工精度,必须根据实际加工要求指定合理的逼近误差值,若零件曲面已给出了形状公差,逼近误差应小于零件曲面形状公差。在指定逼近误差时有三种定义逼近误差方式可供选用。

### (1) 指定外逼近误差值

它表示由误差所产生的剩余材料被留在零件表面上作余量,见图 4-16。

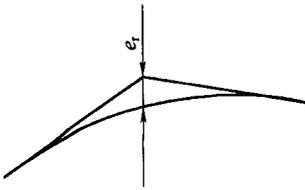


图 4-16 指定外逼近误差

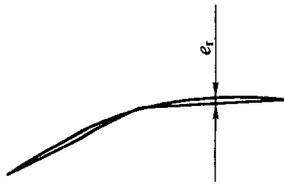


图 4-17 指定内逼近误差

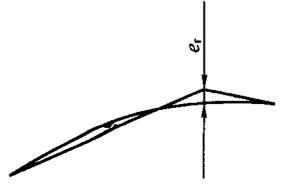


图 4-18 指定内、外逼近误差

### (2) 指定内逼近误差值

它表示可被接受的表面过切量,见图 4-17。

### (3) 同时指定内、外逼近误差,见图 4-18。

对于精度要求较高的大型复杂零件(如模具型面),在实际加工中一般采用指定外逼近误差值的方法。为保证其数控机床加工后具有高精度,钳工研修工作量小,确保研修后零件表面形状的失真性在要求的范围内,同时考虑生成刀位轨迹时不产生过多的刀位点,型面精加工和精清根加工的逼近误差值(公差)一般选为 0.015 ~ 0.03mm。

## 3. 行距 $s$ (切削间距) 的确定

行距  $s$  (切削间距)指加工轨迹中相邻两行刀具轨迹之间的距离。

在数控工艺参数中,行距的选择是非常重要的,它关系到被加工零件的加工精度和加工费用。行距小,则加工精度高,钳工的研修工作量小,但所需加工时间长,费用高;行距大,则加工精度低,钳工的研修工作量大,研修后零件型面失真性较大,难以保证零件的加工精度,但所需加工时间短。由此可知,行距必须根据加工精度要求及占用数控机床的机时来综合考虑。在实际数控工艺参数确定中,可采用如下二种方法来定义行距。

### (1) 直接定义行距 $s$

该方法通过直接定义两相邻切削行之间的距离来确定行距。该方法的特点是算法简单、计算速度快,它适合于零件的粗加工、半精加工和形状比较平坦零件的精加工的刀具运动轨迹的生成。对粗加工而言,行距一般选为所使用刀具直径的一半左右;对平坦零件的精加工而言,行距一般选为所使用刀具直径的 1/10 左右。

### (2) 用残留高度 $h$ 来确定行距 $s$

残留高度是指沿被加工表面的法向量方向上两相邻切削行之间残留沟纹的高度  $h$  (图 4-19a 中的  $CE$  值),  $h$  大则表面粗糙度值大, 必将增大钳修工作难度及降低零件最终加工精度, 但  $S$  选得太小, 虽然能提高加工精度, 减小钳修困难, 但程序冗长, 占机加工时间成倍增加, 效率降低。因此, 行距  $S$  的选择应力求做到恰到好处。下面对图 4-19 进行分析。

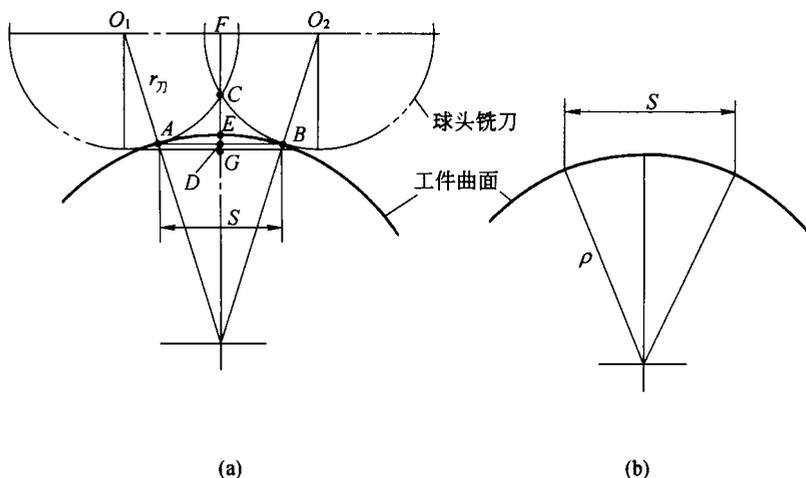


图 4-19 行距的计算

取  $A$  点或  $B$  点的曲率半径作圆, 近似求行距  $S$ 。

$S = 2AD$ , 而  $AD = O_1F \cdot \frac{\rho}{r_f + \rho}$ , 当球头刀半径  $r_f$  与曲面上曲率半径  $\rho$  相差较大, 并且为达到一定的表面粗糙度要求  $h$  较小时, 可以取  $O_1F$  的近似值, 即

$$O_1F = \sqrt{r_f^2 - (FC)^2} = \sqrt{r_f^2 - (FG - CG)^2} = \sqrt{r_f^2 - (r_f - h)^2}$$

$$\text{则行距} \quad S = 2\sqrt{2r_f \cdot h} \quad (5-1)$$

上式中, 当零件曲面在  $AB$  段内是凸时取正号, 凹时取负号。

实际编程时, 如果零件曲面上各点的曲率变化不大, 可取曲率最大处作为标准计算。有时为了避免曲率计算的麻烦, 也可用下面的近似公式来计算行距  $S$

$$S \approx 2\sqrt{h(2r_f - h)} \cdot \frac{\rho}{r_f \pm \rho} \quad (4-2)$$

从工艺角度考虑, 粗加工时, 行距  $S$  可选得大些, 精加工时选得小一些。有时为了减小刀峰高度  $h$ , 也可以在原来的两行距之间(刀峰处)加密行切一次, 即进行去刀峰处理, 这相当于将  $S$  减小一半, 实际效果更好些。

该方法的特点是, 能根据被加工零件形状的复杂程度, 以给定的残留高度为依据, 自动地计算出行距, 从而有效地保证被加工零件的加工精度。对一般模具曲面来说, 大曲率半径的曲面, 残留高度取为  $0.1\text{mm}$  左右, 曲率半径小于  $10\text{mm}$  的圆弧过渡面, 残留高度取  $0.05\text{mm}$  左右。

## (二)与切削用量有关的工艺参数的确定

数控加工中切削用量确定的原则与普通机床加工基本相同,即根据切削原理中规定的方法以及机床的性能和规定的允许值、刀具的耐用度等来选择和计算,并结合实践经验确定。

合理确定切削用量的原则是:粗加工时,以提高生产率为主,但也应考虑经济性和加工成本;半精加工和精加工时,应在保证加工质量的前提下,兼顾切削效率、经济性和加工成本。目前生产中切削用量的选择是根据选用的具体厂家生产的不同材料、不同型号、应用于不同生产条件的刀片或刀具所推荐的具体切削用量值经实践来确定。这样选择切削用量才能发挥刀具的最佳性能,零件的质量最好,刀具耐用度最佳,也最节省刀具费用。

### 1. 与吃刀量有关参数的确定

铣削加工与吃刀量有关的参数包括背吃刀量  $a_p$  和侧吃刀量  $a_e$ 。

#### (1) 背吃刀量 $a_p$ 和侧吃刀量 $a_e$ 的概念

背吃刀量  $a_p$  为平行于铣刀轴线测量的切削层尺寸,单位为 mm。端铣时, $a_e$  为切削层深度;而圆周铣削时, $a_p$  为被加工表面的宽度。

侧吃刀量  $a_e$  为垂直于铣刀轴线测量的切削层尺寸,单位为 mm。端铣时, $a_e$  为被加工表面宽度;而圆周铣削时, $a_e$  为切削层深度。

背吃刀量和侧吃刀量,如图 4-20 所示。

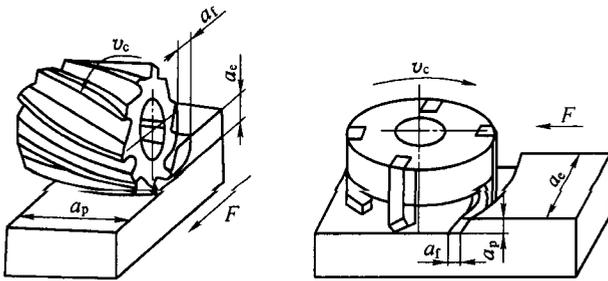


图 4-20 铣削切削用量

#### (2) 背吃刀量 $a_p$ 和侧吃刀量 $a_e$ 的确定

从刀具耐用度出发,切削用量的选择方法是:先选取背吃刀量或侧吃刀量,其次确定进给速度,最后确定切削速度。由于吃刀量对刀具耐用度影响最小,背吃刀量  $a_p$  和侧吃刀量  $a_e$  的确定主要根据机床、夹具、刀具、工件的刚度和被加工零件的精度要求来决定。如果零件精度要求不高,在工艺系统刚度允许的情况下,最好一次切净加工余量,即  $a_p$  或  $a_e$  等于加工余量,以提高加工效率;如果零件精度要求高,为保证表面粗糙度和精度,只好采用多次走刀。

①在工件表面粗糙度值要求为  $Ra12.5 \sim 25\mu\text{m}$  时,如果圆周铣削的加工余量小于 5mm,端铣的加工余量小于 6mm,粗铣一次进给就可以达到要求。但在余量较大,工艺系统刚性较差或机床动力不足时,可分两次进给完成。

②在工件表面粗糙度值要求为  $Ra3.2 \sim 12.5\mu\text{m}$  时,可分粗铣和半精铣两步进行。粗铣时背吃刀量或侧吃刀量选取同前,粗铣后留  $0.5 \sim 1.0\text{mm}$  余量,在半精铣时切除。

③在工件表面粗糙度值要求为  $Ra0.8 \sim 3.2\mu\text{m}$  时,可分粗铣、半精铣、精铣三步进行。半精铣时背吃刀量或侧吃刀量取  $1.5 \sim 2\text{mm}$ ,精铣时圆周铣侧吃刀量取  $0.3 \sim 0.5\text{mm}$ ,面铣刀背吃刀量取  $0.5 \sim 1\text{mm}$ 。

一般讲,为提高切削效率要尽量选用大直径的铣刀,切削宽度取刀具直径的  $1/3 \sim 1/2$ ,切削深度应大于冷硬层。

## 2. 与进给有关参数的确定

在加工复杂表面的自动编程中,有五种进给速度需设定,它们是:快速走刀速度(空刀进给速度)、进刀速度(接近工件表面进给速度)、切削进给速度(进给速度)、行间连接速度(跨越进给速度)及退刀进给速度(退刀速度)。现分别讨论这些进给速度的设定原则。

### (1)快速走刀速度(空刀进给速度)

为了节省非切削加工时间,降低生产成本,快速走刀速度应尽可能选高一些,一般选为机床所允许的最大进给速度,即  $G00$  进给速度。

### (2)进刀速度(接近工件表面进给速度)

为了使刀具安全可靠地接近工件而不损坏机床、刀具和工件,接近工件的进刀速度不能选得太高,要小于或等于切削进给速度。依照生产经验,对软材料加工而言,一般选为  $200\text{mm}/\text{min}$ ;对钢类或铸铁类零件的切削加工,一般为  $50\text{mm}/\text{min}$ 。

### (3)切削进给速度 $F$

切削进给速度  $F$  是切削时单位时间内工件与铣刀沿进给方向的相对位移,单位为  $\text{mm}/\text{min}$ 。它与铣刀转速  $n$ (为不与行距  $S$  混淆,本章转速用  $n$  表示)、铣刀齿数  $z$  及每齿进给量  $f_z$ ( $\text{mm}/z$ )的关系为

$$F = f_z z n \quad (4-3)$$

每齿进给量  $f_z$  的选取主要取决于工件材料的力学性能、刀具材料、工件表面粗糙度等因素。工件材料的强度和硬度越高,  $f_z$  越小;反之则越大。硬质合金铣刀的每齿进给量高于同类高速钢铣刀。工件表面粗糙度值越小,  $f_z$  就越小。每齿进给量的确定可参考表 4-2。工件刚性差或刀具强度低时,应取小值。转速  $n$  则与切削速度和机床的性能有关。所以,切削进给速度应根据所采用机床的性能、刀具材料和尺寸、被加工零件材料的切削加工性能和加工余量的大小来综合地确定。一般原则是:工件表面的加工余量大,切削进给速度低;反之相反。切削进给速度可由机床操作者根据被加工工件表面的具体情况进行手工调整,以获得最佳切削状态。切削进给速度不能超过按逼近误差和插补周期计算所允许的进给速度。

表 4-2 铣刀每齿进给量入

工件材料	每齿进给量 $f_2$ (mm/2)			
	粗 铣		精 铣	
	高速钢铁刀	硬质合金铣刀	高速钢铁刀	硬质合金铣刀
钢	0.10~0.15	0.10~0.25	0.02~0.05	0.10~0.15
铸铁	0.12~0.20	0.15~0.30		

对于 2 坐标和 3 坐标联动数控加工, 数控程序所给的进给速度, 是以每分钟进给距离 (mm/min) 的形式指定刀具切削进给速度, 是各坐标的合成运动速度, 用  $F$  字母和它后续的数值指定。各运动坐标方向的分速度是根据进给速度与各运动坐标分量来计算的。设进给速度为  $F$ , 插补步长为  $l$ ,  $l$  的各运动坐标分量分别为  $l_x$ 、 $l_y$  和  $l_z$ , 有

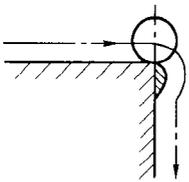
$$l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2 + l_z^2}$$

则各运动坐标方向的分速度为

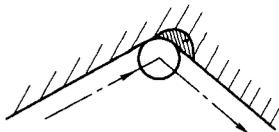
$$F_x = \frac{l_x}{l}F, \quad F_y = \frac{l_y}{l}F, \quad F_z = \frac{l_z}{l}F, \quad (4-45)$$

假定编程所给的进给速度  $F$  恒定, 即刀具相对于工件的切削进给速度恒定, 从上式可以看出, 各运动坐标方向的分速度一般来说是变化的。

在选择进给速度时, 还要注意零件加工中的某些特殊情况。例如在高速进给的轮廓加工中, 当零件轮廓有拐角时, 由于惯性作用刀具容易产生“超程”和“过切”现象。如图 4-21 所示。拐角向外凸起的表面(图 4-21a), 在拐角处的金属可能出现“超程”现象, 即将拐角处的金属少切去一些; 若为向内凹的表面(图 4-21b), 会有部分金属被多切除一些, 即“过切”现象, 两种情况都使轮廓表面产生误差。解决的办法是在编程时, 在接近拐角前适当地降低进给速度, 过拐角后再逐渐增速, 从而减少误差。当然, 在轮廓加工中, 当刀具运动方向改变时, 由于工艺系统在切削力作用下, 有可能使刀具产生滞后, 在拐角处产生“欠程”现象。



(a)



(b)

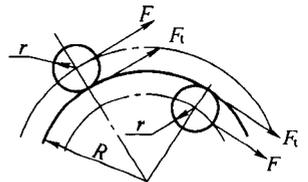


图 4-22 切削圆弧的进给速度

图 4-21 拐角处的超程和过切

目前一些完善的自动编程系统中设有超程校验功能, 也设有“欠程”校验功能, 一旦检

测出“超程误差”或“欠程误差”超过允许值,便可设置适当的“减速”、“暂停”或“增程”程序段予以控制,保证加工精度。

又如当加工圆弧段时,切削点的实际进给速度  $F_t$  并不等于选定的刀具中心进给速度  $F$ 。由图 4-22 可知,加工外圆弧时,切削点的实际进给速度  $F_t$  为

$$F_t = \frac{R}{R+r}F \quad (4-5)$$

式中:  $R$ ——加工圆弧半径;

$r$ ——铣刀半径。

此时  $F_t < F$ ; 而加工内圆弧时

$$F_t = \frac{R}{R-r}F \quad (4-6)$$

即  $F_t > F$ , 如果  $R \approx r$  时, 则切削点的实际进给速度将变得非常大, 有可能损伤刀具或工件, 所以要考虑圆弧半径对实际进给速度的影响。

在加工过程中, 由于毛坯尺寸不均匀而引起切削深度变化, 或因刀具磨损引起刀刃切削条件变化, 都会使实际加工状态与程编时的预定情况不一致, 如果机床面板上设有“进给速率修调”旋钮时, 则操作者可利用它实时修改程序上进给速度指令值, 来减少误差。

进给速度  $F$  (mm/min) 或每齿进给量  $f_z$  (mm/z) 是切削用量中的重要参数, 其最大进给速度受机床刚度和进给系统性能限制。当零件加工表面粗糙度值显著增大或加工表面产生发亮的刀痕, 以及在切削过程中产生不正常振动时, 表明进给速度选择不当或刀具已磨损, 要及时调整进给速度或换刀。

以 HF-4 数控仿形铣床为例, 在加工模具时, 如果加工由可加工塑料制成的主模型, 切削进给速度一般选为 1500mm/min 左右; 对大余量钢类零件加工, 切削进给速度选为 250mm/min 左右; 对小余量钢类零件精加工, 切削进给速度一般选为 500mm/min 左右; 对大余量带砂眼铸件的粗加工, 因为铸件表面型砂会严重磨损刀具, 应选用圆盘铣刀铣削铸件表面, 切削进给速度一般选为 300mm/min; 对铸件的精加工, 切削进给速度一般选为 600mm/min 左右。机床操作者可根据加工实际情况, 手工调整切削进给速度, 获得最佳值。

当具体选定某一厂家的刀具时, 切削进给速度可按厂家推荐值经实验后选定。

#### (4) 行间连接速度(跨越进给速度)

行间连接速度是指在曲面区域加工中, 刀具从一切削行运动到下一切削行之间刀具所具有的运动速度。该速度一般小于或等于切削进给速度。

#### (5) 退刀进给速度(退刀速度)

为了缩短非切削加工时间, 降低生产成本, 退刀进给速度应选择机床所允许的最大快速移动速度, 即 G00 速度。

### 3. 与切削速度有关的参数确定

#### (1) 切削速度 $V_c$ 。

根据切削原理可知,切削速度的高低主要取决于被加工零件的精度、材料、刀具的材料和刀具的耐用度等因素。

铣削的切削速度计算公式为

$$v_c = \frac{C_v d^{q_v}}{T^m f_z^{Y_v} a_p^{X_v} a_e^{p_v} Z^{m_v}} K_v$$

式中: $q_v$ 、 $m$ 、 $Y_v$ 、 $X_v$ 、 $p_v$ 、 $m_v$  为指数, $C_v$ 、 $K_v$  为系数,都由实验确定,也可参考有关切削用量手册选用。

由式 4-7 可知,铣削的切削速度  $v_c$  与刀具耐用度  $T$ 、每齿进给量  $f_z$ 、背吃刀量  $a_p$ 、侧吃刀量  $a_e$  以及铣刀齿数  $z$  成反比,而与铣刀直径  $d$  成正比。其原因为  $f_z$ 、 $a_p$ 、 $a_e$  和  $z$  增大时,刃负荷增加,而且同时工作齿数也增多,使切削热增加,刀具磨损加快,从而限制了切削速度的提高。刀具耐用度的提高使允许使用的切削速度降低。但是加大铣刀直径  $d$  则可改善散热条件,因而可提高切削速度。

铣削的切削速度也可参考表 4-3 选取。

表 4-3 铣削时的切削速度

工件材料	硬度/HBS	切削速度 $v_c$ (m/min)	
		高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	< 225	18 ~ 42	66 ~ 150
	225 ~ 325	12 ~ 36	54 ~ 120
	325 ~ 425	6 ~ 21	36 ~ 75
铸铁	< 190	21 ~ 36	66 ~ 150
	190 ~ 260	9 ~ 18	45 ~ 90
	160 ~ 320	4.5 ~ 10	21 ~ 30

## (2) 主轴转速 $n$

主轴转速  $n$  (r/min) 要根据允许的切削速度  $v_c$  (m/min) 来确定:

$$n = \frac{1000 v_c}{\pi d} \quad (4-8)$$

式中: $d$  —— 铣刀直径,单位 mm;

$v_c$  —— 切削速度,单位 m/min。

主轴转速  $n$  要根据计算值在机床说明书中选取标准值,并填入程序单中。

从理论上讲, $v_c$  的值越大越好,因为这不仅可以提高生产率,而且可以避开生成积屑瘤的临界速度,获得较低的表面粗糙度值。但实际上由于机床、刀具等的限制,使用国内机床、刀具时允许的切削速度常常只能在 100 ~ 200m/min 范围内选取。但对于材质较软的铝镁合金等  $v_c$  可提高一倍左右。

切削速度和每齿进给量,应通过试验选取效率和刀具寿命的综合最佳值。

## 第三节 复杂曲线曲面数控铣削加工的刀具轨迹

复杂曲线曲面数控铣削加工的关键是加工数据和工艺参数的获取。其主要过程包括以下几个内容：

- (1)对图纸进行分析,确定需要数控加工的曲线、曲面;
- (2)利用图形软件对需要数控加工的曲线、曲面造型;
- (3)根据加工条件,选择合适工艺参数,生成刀具运动轨迹(包括粗加工、半精加工、精加工、清根加工轨迹);
- (4)轨迹的仿真检验;
- (5)生成数控加工程序并传给机床加工。

在上述过程中,核心工作是生成刀具运动轨迹,然后将其离散成刀位点数据,经后处理产生数控加工程序。

若要制定出一个合理的复杂曲线曲面的数控加工工艺并生成数控加工程序,则必须了解复杂曲线曲面,了解其加工轨迹的生成原理及方法,合理确定工艺参数,熟悉整个工艺流程。

数控铣削加工简单曲线(如直线、圆弧)、曲面(如平面、圆柱面)的轨迹(即走刀路线)生成可直接人工设计实现,而复杂曲线曲面轨迹的生成、编辑与干涉检查等则需借助自动编程软件才能实现。这既是编程的问题,也是复杂曲线曲面数控加工的关键工艺问题。

### 一、二坐标数控铣削加工刀具轨迹生成

#### (一)概述

##### 1. 基本概念

##### (1)平面轮廓

平面轮廓是指在一平面内一系列首尾相接曲线的集合,分为开轮廓、闭轮廓,如图4-23所示,图a为开轮廓,图b为闭轮廓。

在制定2轴数控铣削加工走刀轨迹时,常常需要指定图形的平面轮廓,用来界定被加工的区域或被加工的图形本身。如果轮廓是用来界定被加工区域的,则要求指定的轮廓是闭合的;如果加工的是轮廓本身,则轮廓也可以不闭合。

##### (2)区域和岛

区域指由一个闭合平面轮廓围成的内部空间,其内部可以有“岛”。岛也是由闭合轮廓界定的。区域指外轮廓和岛之间的部分。由外轮廓和岛共同指定待加工的区域,外轮廓用来界定加工区域的外部边界,岛用来屏蔽其内部不需加工或需保护的部分,如图4-24所示。同时轮廓和岛可以嵌套使用,即岛内还可以再有岛。

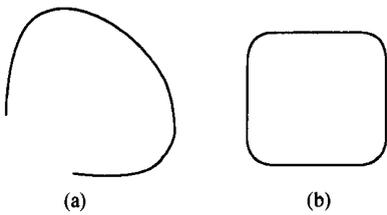


图 4-23 轮廓示例

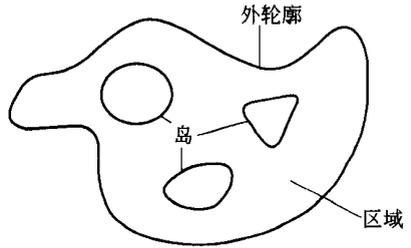


图 4-24 轮廓与岛的关系

## 2. 二坐标数控加工主要对象

### (1) 外形轮廓

平面上的外形轮廓分为内轮廓和外轮廓,其刀具中心轨迹为外形轮廓线的等距线,如图 4-25 所示。

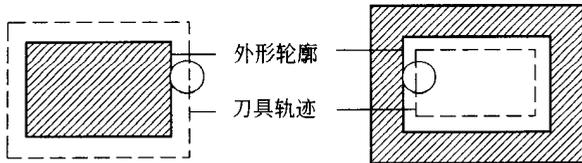


图 4-25 外形轮廓及数控加工刀具中心轨迹

### (2) 二维型腔

二维型腔是指以平面封闭轮廓为边界的平底直壁凹坑。内部全部加工的为简单型腔,内部有不许加工的区域(岛)或只加工到一定深度(比型腔外面低)的为带岛型腔。其数控加工分为行切和环切法两种切削加工方式,如图 4-26 所示。

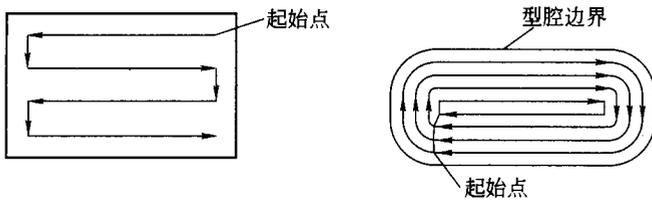


图 4-26 二维型腔数控加工刀具轨迹

### (3) 孔

孔的加工包括钻孔、镗孔和攻螺纹等操作,要求的几何信息仅为平面上的二维坐标点,至于孔的大小一般由刀具来保证(大直径孔的铣削加工除外)。

### (4) 二维字符

平面上的刻字加工也是一类典型的二坐标加工,按设计要求输入字符后,采用雕刻刀雕刻加工所设计的字符,其刀具轨迹一般就是字符轮廓轨迹,字符的线条宽度一般由雕刻刀刀尖直径来保证。

### 3. 二坐标数控加工的方法

#### (1) 两轴加工

机床坐标系的  $X$  和  $Y$  轴两轴联动, 而  $Z$  轴固定, 即机床在同一高度下对工件进行切削。两轴加工适合于铣削平面图形。

#### (2) 两轴半加工

$X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三轴中任意两轴联动, 第三轴周期进给, 可以实现分层加工立体零件, 每层在同一高度上进行两轴加工, 层间有第三轴轴向的移动。

### (二) 外形轮廓数控铣削加工刀具轨迹生成

外形轮廓加工, 一般分为粗加工和精加工等多个工序。确定粗精加工刀具轨迹生成方法可通过刀具半径补偿途径来实现, 即在采用同一刀具的情况下, 先制定精加工刀具轨迹, 再通过改变刀具半径补偿值的方式进行粗加工刀具轨迹设定。另外, 也可以通过设置粗精加工次数及余量来设定粗精加工刀具轨迹。图 4-27 所示为二维轮廓粗、精加工刀具轨迹, 图 4-27a 为二维轮廓, 图 4-27b 为粗、精加工刀具轨迹。

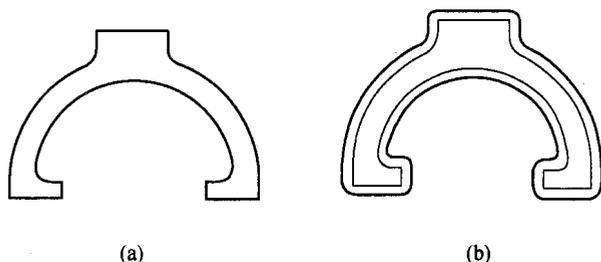


图 4-27 二维轮廓粗、精加工刀具轨迹

### (三) 二维型腔(内槽区域)数控加工刀具轨迹生成

二维型腔加工能自动地清除在边界区域(可以包含孤岛)内的材料, 边界能够被定义为凸向区域或带有多重嵌套狭窄的非凸区域。采用自动编程生成型腔加工刀具运动轨迹的操作步骤是:

首先选择最大轮廓边界曲线, 它决定区域加工的范围;

选择一个或多个孤岛, 它确定了非加工的保护区域;

选择总加工深度或进刀次数及每次进刀深度;

选择切削方式, 有行切法和环切法可供选择;

选择切削方向, 它可以用两点或一个矢量来定义;

选择跨步方向, 对平头刀而言, 可指定重叠量或行距来控制刀具运动轨迹的疏密, 对球头刀而言, 可指定残留高度或行距来控制刀具运动轨迹的疏密。

键入上述信息后, 计算机就能生成加工所需的刀具运动轨迹。

二维型腔具体加工的过程是: 先用平底端铣刀用环切或行切法走刀, 铣去型腔的多余材料并留出轮廓(包括岛)和型腔底的精加工余量, 最后根据型腔轮廓(及岛)圆角半径和

轮廓(及岛)与型腔底的过渡圆角选环铣刀沿型腔底面和轮廓(及岛)走刀,精铣型腔底面和边界外形。

当型腔较深时,则要分层进行粗加工,这时还需要定义每一层粗加工的深度以及型腔的实际深度,以便计算需要分多少层进行粗加工。下面介绍行切法和环切法生成刀具轨迹的过程。

### 1. 行切法加工刀具轨迹生成

(1)这种加工方法的刀具轨迹计算过程是:根据型腔轮廓形状,首先确定走刀轨迹的角度(与 $X$ 轴的夹角),可以是 $0^\circ$ (与 $X$ 轴平行)、 $90^\circ$ (与 $Y$ 轴平行)或任意其他方向的角度,然后根据刀具半径及加工精度要求确定走刀步长 $l$ ,接着根据平面型腔边界轮廓外形(包括岛屿的外形)、刀具半径和精加工余量计算行距 $S$ 并确定各切削行的刀具轨迹,最后将各行刀具轨迹线段有序连接起来,连接的方式可以是单向(顺铣或逆铣方式不变),也可以是双向(顺铣逆铣方式交替变化)。单向连接因换向需要抬刀(到安全面高度),遇到岛屿时也需要抬刀,双向连接则不需要抬刀。

(2)对于有岛屿的刀具轨迹线段的连接,需要采用以下步骤确定:

- 1)生成封闭的边界轮廓(含岛屿的边界)。
- 2)生成边界(含岛屿的边界)轮廓等距线

该等距线距离边界轮廓的距离为精加工余量与刀具半径之和,如图4-28所示,其中实线为型腔及岛屿的边界轮廓,虚线为其等距线。

### 3)计算各行刀具轨迹

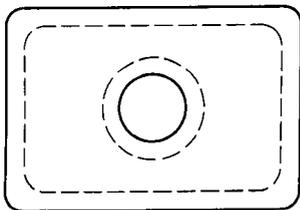


图 4-28 边界轮廓等距线的生成

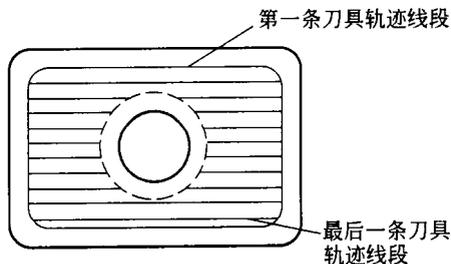


图 4-29 行切加工刀具轨迹线段生成

从刀具路径角度方向(本例与 $X$ 轴平行)与上述边界轮廓等距线的第一条切线的切点开始逐行计算每一条行切刀具轨迹线与上述等距线的交点,生成各切削行的刀具轨迹线段,如图4-29所示。

### 4)有序连接各刀具轨迹线段

从第一条刀具轨迹线段(所有线段均为直线,第一条可能只有一个切点)开始,将前一行最后一条刀具轨迹线段的终点和下一行第一条刀具轨迹的起点沿边界轮廓等距线连接起来,同一行中的不同刀具轨迹线段则要通过抬刀再下刀的方式将刀具轨迹连接起来,即在前一段刀具轨迹的终点处将刀具抬起至安全面高度,用直线连接到下一段刀具轨迹起点的安全面高度处,再下刀至这一段刀具轨迹的起点进行加工,如图4-30a所示;或沿岛

屿的等距线运动到下一行的下一条刀具轨迹线段的起点将刀具轨迹连接起来,如图 4-30b 所示。采用图 4-30b 所示的方法生成刀具轨迹将避免加工过程中的垂直进刀。由于平底端铣刀不宜垂直进刀,平面型腔的行切加工一般均采用双向走刀,避免多次垂直进刀,在不能避免垂直进刀的情况下,需要预先在垂直进刀位置钻一个进刀工艺孔。

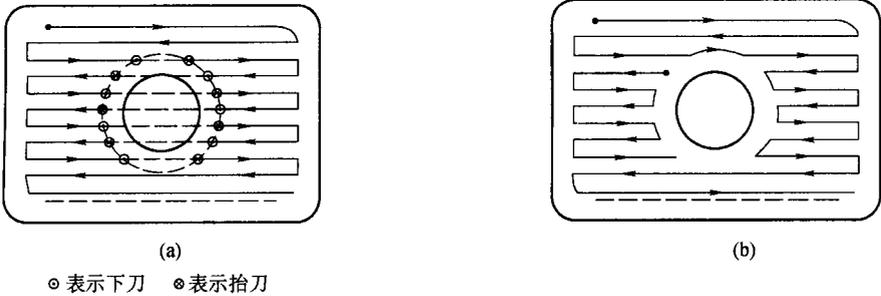


图 4-30 刀具轨迹线段的有序联接

5)最后沿型腔和岛屿的等距线运动,生成最后一条刀具轨迹,如图 4-31 所示。

## 2. 环切法加工刀具轨迹生成

环切法加工分为顺铣(图 4-32)或逆铣(图 4-33),其刀具轨迹是沿型腔边界走等距线,优点是铣刀的切削方式不变。

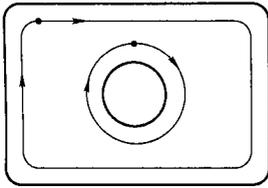


图 4-31 沿型腔和岛屿的等距线运动的刀具轨迹

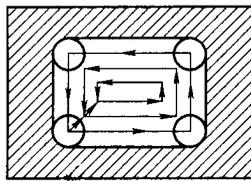


图 4-32 顺铣

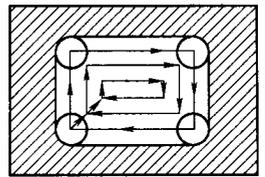
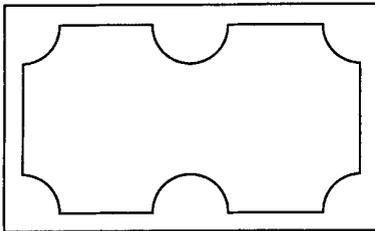
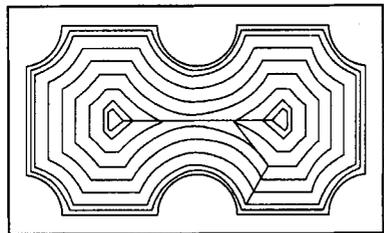


图 4-33 逆铣

图 4-34 所示为某零件型腔的边界轮廓及其环切法加工的刀具轨迹图。



(a) 型腔边界轮廓



(b) 环切法加工刀具轨迹

图 4-34 复杂轮廓型腔环切法加工刀具轨迹

平面型腔的环切法加工刀具轨迹的计算可以归结为平面封闭轮廓曲线的等距线计算。可以采用直接偏置法,如图4-35所示,其算法步骤如下:

- ①根据铣刀直径及余量按一定的偏置距离对封闭轮廓曲线的每一条边界曲线分别计算等距线;
- ②对各条等距线进行裁剪或延长,使之连接形成封闭曲线;
- ③对自相交的等距线进行处理,判断是否和岛屿、边界轮廓曲线干涉,去掉多余部分,得到基于上述偏置距离的封闭等距线;
- ④重复上述过程,直到确定完所有待加工区域。

在铣削带岛槽型零件时,为了避免刀具多次嵌入式切入,一般应选择环切加工路线。

#### (四)二维字符数控加工刀具轨迹生成

平面上的字符雕刻是一种常见的切削加工,其数控雕刻加工刀具轨迹生成方法依赖于所要雕刻加工的字符。

原则上讲,凹陷字符雕刻加工刀具轨迹采用外形轮廓铣削加工的方式沿着字符轮廓生成。

对于线条型字符和斜体字符,直接利用字符轮廓生成字符雕刻加工刀具轨迹,同一字符不同笔画间和不同字符间采用抬刀—移位—下刀的方法将分段刀具轨迹连接起来,形成连续的刀具轨迹。这种刀具轨迹不考虑刀具半径补偿,字符线条的宽度直接由刀尖直径确定。

对于有一定线条宽度的方块字符和罗马字符,也要采用外形轮廓铣削加工方式生成刀具轨迹,这时刀尖直径一般略小于线条宽度。如果线条特别宽,而又

不能采用大一点的刀具(因为字符中到处有尖角)时,则要采用二维型腔铣削加工方式生成刀具轨迹,即将字符的轮廓线包围的区域视为二维型腔,采用二维型腔铣削加工方式生成数控雕刻加工刀具轨迹。

如果要使字符呈凸起状态,则要将字符定义为岛屿,按带岛屿的型腔加工方法生成凸起字符的数控雕刻加工刀具轨迹。与普通带岛型腔加工不同的是,凸起字符的加工一般采用雕刻刀,直接用截平面法进行加工,即遇到凸起字符的线条时抬刀,越过线条后进刀。图章的雕刻加工就是一种典型的凸起字符的雕刻加工。此方法加工精度较低。

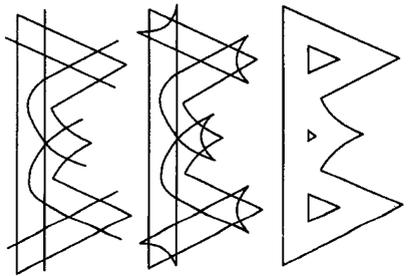


图4-35 直接偏置法生成等距线

## 二、多坐标数控铣削加工刀具轨迹生成

### (一)概述

#### 1. 多坐标数控加工有关的基本概念

## (1) 常见数控铣削加工曲面的概念及种类

### 1) 直纹面

是由一条母线(直线)两端点分别在两条不重合空间曲线上连续运动而形成的轨迹曲面,亦即两曲线间的参数对应点用直线段连接而成的曲面。其中一条曲线可退化为一。

### 2) 旋转面

是指一轮廓曲线绕某一轴线旋转一定的角度而生成的曲面。

### 3) 扫描面

在截面上定义一个截面曲线,截面曲线沿一个或两个轮廓曲线扫描所形成的曲面。也有另外定义扫描面的,如CAXA软件的定义是:按给定的起始位置和扫描距离沿指定方向以一定的锥度扫描生成的曲面。

### 4) 昆氏(Coons)曲面

昆氏曲面的基本构思是将一个复杂的空间曲面划分成若干“曲面片”,每一个“曲面片”是由四条任意的边界曲线调配成一个光滑的小曲面,这些小曲面之间的梯度和曲率能保持连续。

### 5) 放样面

以一组互不相交、方向相同、形状相似的特征线(或截面线)为骨架进行形状控制,过这些曲线蒙面生成的曲面称为放样面。

### 6) 网格面

由特征线组成横竖相交线的网格曲线,以这些网格曲线为骨架,蒙上自由曲面而生成的曲面。自由曲面一般为B样条曲面、NURBS曲面(非均匀有理B样条曲面)等。

## (2) 与刀具切削轨迹有关的几个基本概念

### 1) 切触点

指刀具在加工过程中与被加工零件曲面的理论接触点。对于曲面加工,不论采用什么刀具,从几何学的角度来看,刀具与加工曲面的接触关系均为点接触。

### 2) 切触点曲线

指刀具在加工过程中由切触点构成的曲线。刀具轨迹生成的依据就是切触点曲线。切触点曲线可以是曲面上实在的曲线,如曲面的等参数线、二曲面的交线等,也可以是对切触点的约束条件所隐含的“虚拟”曲线。如约束刀具沿导动线运动,而导动线的投影可以定义刀具在加工曲面上的切触点,还可以直接定义刀具中心轨迹,切触点曲线由刀具中心轨迹隐式定义。

### 3) 刀位点数据

指准确确定刀具在加工过程中每一位置所需的数据。一般来说,刀具在工件坐标系中的准确位置可以用刀具刀位点和刀轴矢量来进行描述,其中刀具刀位点可以是刀心点,也可以是刀尖点,视具体情况而定。

### 4) 刀具轨迹曲线

指在加工过程中由刀位点运动构成的曲线,曲线上的每一点包含一个刀轴矢量。刀

具轨迹曲线一般由切触点曲线及定义刀具偏置计算得到,计算结束存放于刀位文件。

### 5) 导动规则

指曲面上切触点曲线的生成方法(如参数线法、截平面法)及一些有关加工精度的参数(如步长、逼近误差、行距、残留高度)等。

## 2. 多坐标数控铣削的主要加工对象

一般来说,多坐标数控铣削可以加工任何复杂曲面的零件。根据零件的形状特征进行分类,可以归纳为如下几种主要加工对象(或加工特征):

① 曲面区域加工;② 曲面型腔加工;③ 多曲面连续加工;④ 曲面间过渡区域加工;⑤ 裁剪曲面加工等。

## (二) 多坐标数控加工刀具轨迹生成方法

一种较好的刀具轨迹生成方法,不仅应该满足计算速度快、占用计算机内存少的要求,更重要的是要满足切削行间距分布均匀、加工误差小、走刀步长分布合理、加工效率高要求。所生成的合理刀具运动轨迹应具有如下特征:

- (1) 刀具运动轨迹准确无误,无过切、扎刀等加工质量问题;
  - (2) 刀具运动轨迹分布均匀、整齐、便于钳工维修;
  - (3) 所生成的刀具运动轨迹应与各类复杂表面的加工精度要求相适应;
  - (4) 在刀具运动轨迹中,应绝对避免主轴碰撞工件而损坏机床;
  - (5) 在刀具运动轨迹中,刀具受力均匀,避免不必要的冲击力作用而使刀具受到损坏;
  - (6) 在刀具运动轨迹中,应缩短直至避免刀具空刀运动轨迹的产生,以提高加工效率。
- 下面介绍目前比较常用的刀具轨迹生成方法。

### 1. 参数线法

曲面参数线加工方法是多坐标数控加工中生成刀具轨迹的主要方法之一,特点是切削行沿曲面的参数线分布,即切削行沿  $u$  线或  $v$  线分布,适用于网格比较规整的参数曲面的加工。

曲面的参数曲线是指:当曲面的矢量方程中  $u$ 、 $v$  两参数的一个参数为常数,如当  $u = u_0$  时,代入曲面的矢量方程

$$r = r(u, v) = [X(u, v), Y(u, v), Z(u, v)], \quad u, v \in [0, 1] \quad (4-9)$$

得到曲线

$$r = r(u_0, v) = [X(u_0, v), Y(u_0, v), Z(u_0, v)] \quad (4-10)$$

这是单参数  $v$  的矢函数,表示曲面上一条沿  $v$  参数方向的空间曲线,称为  $v$  向线或  $t/v$  曲线。类似地,可定义  $u$  向线,即

$$r = r(u, v_0) = [X(u, v_0), Y(u, v_0), Z(u, v_0)] \quad (4-11)$$

$u$  向线和  $v$  向线统称为曲面的参数曲线,亦称等参数线。 $u$  向和  $v$  向两族参数曲线构成了整张曲面。

生成参数线加工工具轨迹时,先确定一个参数线方向为切削行的切削进给方向,假定

为参数曲线  $u$  方向,相应的另一参数曲线  $v$  方向即为沿切削行的行进给方向,然后根据允许的残留高度计算加工带的宽度,即行距,并以此为基础,根据  $v$  参数曲线的弧长计算刀具沿  $v$  参数曲线的走刀次数(即加工带的数量) $N_v$ ,切削行在参数曲线  $u$  方向上按等参数步长或局部按等参数步长等方法确定刀位点位置。基于参数线加工的刀具轨迹计算方法有多种,比较成熟的有等参数步长法、局部等参数步长法等。

### (1) 等参数步长法

等参数步长法是在整条参数线上按等参数步长计算点位。参数步长  $l$  和曲面加工误差  $e_r$  没有一定关系,为了满足加工精度,通常  $l$  的取值偏于保守且凭经验。这样计算的点位信息比较多。由于点位信息按等参数步长计算,没有用曲面的曲率来估计步长,因此,等参数步长法没有考虑曲面的局部平坦性(在平坦的区域只需较少的点位信息)。但这种方法计算简单,速度快,在刀位计算中常被采用。

### (2) 局部等参数步长法

在实际应用中,也常采用局部等参数步长法:即加工带在参数曲线  $v$  方向上按局部等参数步长(曲面片内,实际就是行距)分布,在切削进给路线上,走刀步长根据逼近误差进行计算,方法是在每一段  $u$  参数曲线上,按最大曲率估计步长,然后按等参数步长进行离散。

采用局部等参数步长法来求刀位点位置,不仅考虑了曲率的变化对走刀步长的影响,而且计算方法也比较简单。

参数线加工算法是各种曲面零件数控加工编程系统中生成切削行刀具轨迹的主要方法。优点是刀具轨迹计算方法简单,计算速度快;不足之处是当加工曲面的参数线分布不均匀时,切削行刀具轨迹的分布也不均匀,加工效率也不高,如图 4-36 所示。

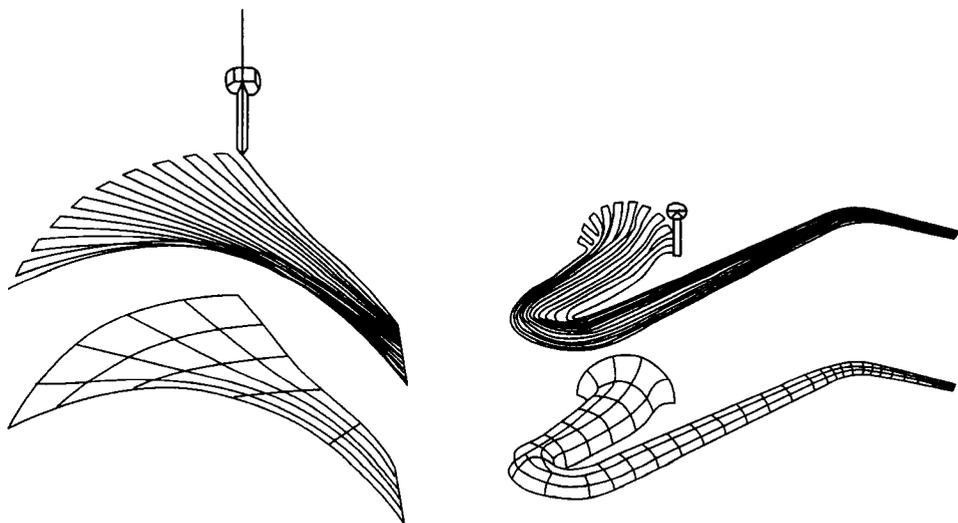


图 4-36 参数线加工的刀具轨迹分布

## 2. 截平面法

截平面法是指采用一组截平面去截取加工表面,截出一系列交线,刀具与加工表面的切触点就沿着这些交线运动,完成曲面的加工。该方法使刀具与曲面的切触点轨迹在同一平面上。

截平面可以定义为一组平行的平面(称平行走刀方式),也可以定义为一组绕某直线旋转的平面,如图4-37所示。图4-37a为截平面绕一直线旋转,图4-37b为截平面平行于X轴,图4-37c为截平面与X轴的夹角为 $20^\circ$ 。一般来说,截平面平行于刀具轴线,即与Z坐标轴平行。平行截面与X轴的夹角可以为任意角度。

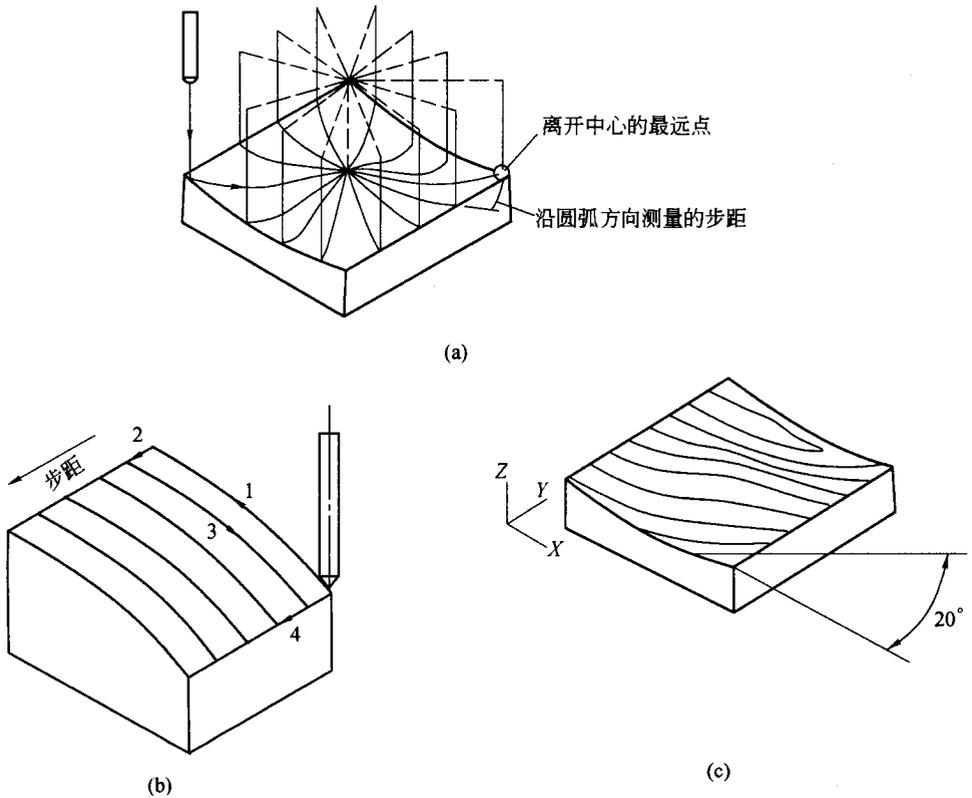


图4-37 截平面法加工的刀具轨迹

## 3. 回转截面法

回转截面法是指采用一组回转圆柱面去截取加工表面,截出一系列交线,刀具与加工表面的切触点就沿着这些交线运动,完成曲面的加工。一般情况下,作为截面的回转圆柱面的轴线平行Z坐标轴,如图4-38所示。

该方法要求首先建立一个回转中心,接着建立一组回转截面,并求出所有的回转截面与待加工表面的交线,然后对这些交线根据刀具运动方式进行串联,形成一条完整的刀具轨迹。回转截面法加工可以从中心向外扩展,也可以由边缘向中心靠拢。回转截面法适

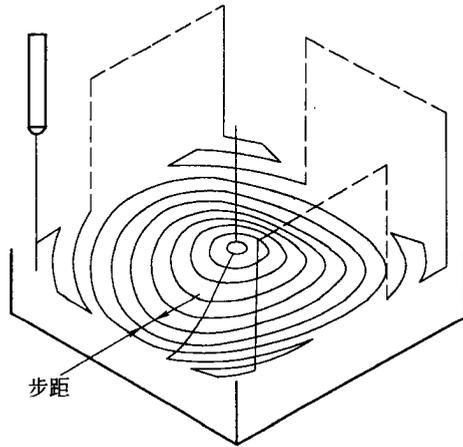


图 4-38 回转截面法加工的刀具轨迹

用于曲面区域、组合曲面、复杂多曲面和曲面型腔的加工轨迹生成。

#### 4. 投影法

对投影型刀具运动轨迹来说,应先在二维平面内定义刀具运动轨迹,为导动曲线,然后把该二维刀具运动轨迹投影到被加工曲面上,生成加工三维曲面所需的刀具运动轨迹。由于二维平面内定义刀具运动轨迹非常方便、灵活,因此,该方式生成三维曲面的刀具运动轨迹具有很大的灵活性。

导动曲线在待加工表面上的投影一般为切触点轨迹,也可以是刀心点轨迹。切触点轨迹适合于曲面特征的加工,而对于有干涉面的场合,限制刀心点更为有效。由于待加工表面上每一点的法矢方向均不相同,因此限制切触点轨迹不能保证刀心点轨迹落在投影方向上,所以限制刀心点容易控制刀具的准确位置,可以保证在一些临界位置和其他曲面(如干涉面)不发生干涉。图 4-39 描述了投影法加工限制切触点和限制刀心点的区别。

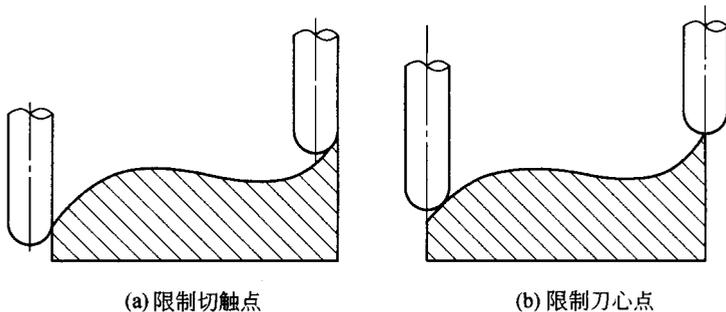


图 4-39 投影法加工

导动曲线的定义依加工对象而定。对于曲面上要求精确成形的轮廓线,如曲面上的花纹、文字和图形,可以事先将轮廓线投影到工作平面上作为导动曲线。多个嵌套的内环与一个外环曲线作为导动曲线可用于限定曲面上的加工区域。对于曲面型腔的加工,便

可采用平面型腔的加工方法:首先将型腔底面与边界曲面和岛屿边界曲面的交线投影到工作平面上,按平面型腔加工方法生成一组刀具轨迹,然后将该刀具轨迹反投影到型腔曲面上,限制刀尖位置,便可生成加工曲面型腔型面的刀具轨迹。

投影法加工以其灵活且易于控制等特点在现代 CAD/CAM 系统中获得了广泛的应用,常用来处理其他方法难以取得满意效果的组合曲面和曲面型腔的加工。图 4-40 是用投影法加工生成刀具轨迹的几个例子。

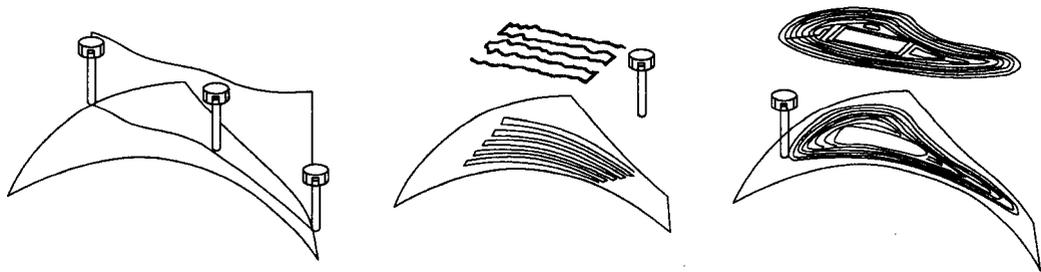


图 4-40 投影法加工

### (三) 常见曲面刀具轨迹生成

#### 1. 旋转面

对旋转面来说,一般沿圆周方向进行切削,并选择单方向切削方式。其好处为:在同一条切削轨迹中,切削余量均匀,刀具受力平稳。在切削过程中,切削余量从小到大均匀地变化,这样有利于保护刀具。但具体情况稍有区别。

对盘状旋转面而言,不论是生成粗加工刀具运动轨迹,还是精加工刀具运动轨迹,一般选  $Z$  坐标值较小的曲面角点为进刀点,选择环切走刀方式及圆周方向为切削加工方向。其优点为:所生成的刀具运动轨迹分布均匀、整齐,便于钳工修整;刀具受力均匀,排屑方便;切削加工时间短。刀具运动轨迹见图 4-41。

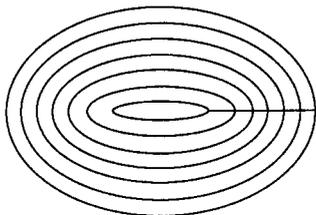


图 4-41 盘状旋转面的刀具运动轨迹

对轴类旋转面而言,应根据粗、精加工要求生成数控加工所需的刀具运动轨迹。由于在生成粗加工刀具运动轨迹时,主要考虑切削加工过程中刀具受力是否均匀、排屑是否方便及加工效率等因素,因此,应选择双向走刀方式,轴向为切削加工方向,而且刀具运动轨迹是按先深后浅方式分布。刀具运动轨迹见图 4-42。而对精加工刀具运动轨迹而言,应选择圆周方向为切削加工方向,这样就能生成均匀、整齐,便于钳工修整的高质量刀具

运动轨迹。刀具运动轨迹见图 4-43。

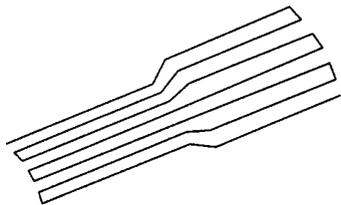


图 4-42 轴类旋转面粗加工刀具运动轨迹

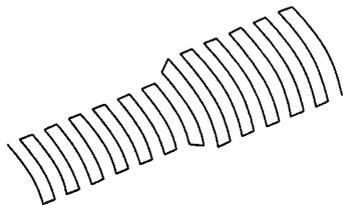


图 4-43 轴类旋转面精加工刀具运动轨迹

## 2. 直纹面

如图 4-44 所示为封闭直纹环面,生成这类曲面的粗、精加工刀具运动轨迹时,应选择环切走刀方式及周边方向为切削加工方向,刀具运动轨迹按先深后浅顺序分布,这样能使零件的加工精度、效率及刀具的受力都处于最佳状态。对于非封闭型直纹面一般选择双向走刀方式,这样能减少切削加工时间,同时也能保证零件的加工精度,切削方向应根据直纹面的形状特征及曲面的长宽比大小来合理地确定。对于如图 4-45 所示的两曲线间有特定参数对应关系的直纹面,只能选择直纹方向为切削方向,否则无法生成满足数控加工要求的刀具运动轨迹。当组成直纹面的组合曲线的长度远大于直纹面直线方向长度且组合曲线为大曲率半径的平滑曲线时,组合曲线方向为切削方向,这样加工出来的型面便于钳工研修,且加工时间短。

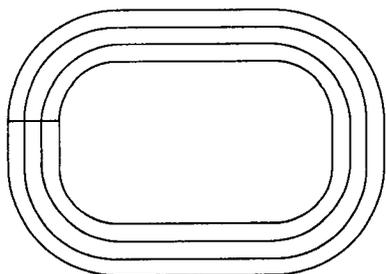


图 4-44 封闭直纹环面的刀具运动轨迹

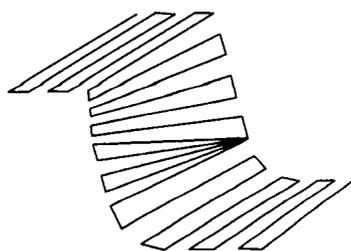


图 4-45 特定直纹面的刀具运动轨迹

对其他直纹面而言,应针对粗、精加工的目的进行刀具运动轨迹的生成。生成粗加工刀具运动轨迹时,应考虑刀具受力的平稳性及加工效率等,而生成精加工刀具运动轨迹时,应考虑零件的加工精度及是否便于后续钳工修整,因此,精加工刀具运动轨迹应选曲线定义方向为切削加工方向,以满足上述要求。

## (四) 多曲面连续加工刀具运动轨迹生成

多曲面连续加工是指按一定的要求对一组曲面同时进行数控加工,并提供每个曲面内的校验及预防曲面间的加工过切等功能的加工方法。其刀具运动轨迹按如下方式定义:刀具运动轨迹在  $XY$  坐标面上的投影由给定行距和切削方向的导动线来控制,而切削加工深度则由一组所定义的被加工曲面来控制。导动线一般应定义在  $XY$  坐标面上,但也可以在空间状态下定义。如果在空间状态下定义,则应以导动线在  $XY$  坐标面上的投

影线来控制刀具中心的运动。

复杂多曲面在工业中十分普遍,一方面表现在某些曲面经过若干次裁剪、拼接和过渡处理后,最终成为复杂多曲面,甚至由于CAD系统的曲面造型功能不完善,曲面片与曲面片之间有微小缝隙。这种现象在应用MasterCAM系统进行数控加工编程时十分常见,即使是应用UG II系统,此现象也时有发生。另一方面表现在零件设计上,有的零件表面往往由多张不规则曲面片构成,曲面片之间一般均有严格的几何连续性要求,如汽车覆盖件模具、电视机及电话机外壳模具等零件的型面,一般均为复杂多曲面。

对于功能上意义明确而设计上定义不完善的复杂多曲面采用分片加工的方法是不可取的。一方面是因为各曲面片间会留下较明显的接刀痕迹,由于各曲面片面积一般都很小,形状也不规则,刀具轨迹走刀方向经常发生突变,微小的加工段引起刀具运动的不平稳,严重影响加工质量;另一方面,频繁的抬刀下刀使加工效率大大降低;更重要的是,这样的走刀方式不符合原始型面的设计意图。因此,复杂多曲面的连续加工能力对于一个曲面数控加工编程系统来说是十分重要的。

复杂多曲面刀具轨迹的计算常用的一种处理方法是:先将多张曲面逼近表示成一张曲面,一般用小三角片逼近表示,然后采用多面体曲面加工刀具轨迹计算方法或离散刀具轨迹计算方法生成逼近曲面加工的刀具轨迹。对于各曲面片之间有缝隙或重叠的情形,多张曲面的整体逼近表示有困难。

### (五) 曲面型腔加工刀具轨迹生成

曲面型腔是机械零件上比较典型的加工单元,种类繁多,形状各异,但归纳起来,可分为两大类:即普通曲面型腔和带岛曲面型腔。

曲面型腔可视为在一张具有封闭内环的曲面上沿该内环边界挖腔而生成的。一般来说,曲面型腔的加工采用三坐标加工方法。至于一些特殊的需要采用四、五坐标加工的曲面型腔,则需要根据实际情况采用特殊的加工方法。

在三坐标数控机床上加工曲面型腔,要求型腔型面沿 $Z$ 坐标方向单调。

曲面型腔的加工一般分为粗铣型腔和型腔型面精加工。粗铣型腔的目的是挖去型腔的大部分加工余量,切削出腔型的基本形状;型腔型面精加工是在型腔型面留有少量加工余量的基础上加工型腔型面达到设计要求。

#### 1. 曲面型腔粗加工

先设定曲面型腔的主面(可以是简单曲面,也可以是组合曲面)及曲面型腔的边界,则确定粗铣型腔刀具轨迹的步骤为:

(1)确定铣削加工面(含余量)在毛坯上的最高位置。一般可直接从型腔主面的内环边界上取点,也可以在图形交互(或命令交互)方式下输入。该最高位置作为确定起刀点高度的依据。

(2)确定型腔分层铣削的切削深度。一般根据工件材料、刀具尺寸与刀具材料而确定。第一层的切削深度往往大于以后各层的切削深度。除第一层外,其他各层切削深度可以相等,也可以递减。

(3)从铣削加工面在毛坯上的最高位置开始,根据分层切削深度依次用垂直于 $Z$ 轴的截平面去截曲面型腔,形成一系列封闭截交线(当某一截平面上有一个以上的封闭截交线时,该型腔为带岛曲面腔槽);当没有截交线时,即终止分层切削扫描。

(4)在每一截平面内按平面型腔的行切或环切加工方式确定每一层的刀具轨迹。

(5)如果曲面型腔带有岛屿,不宜采用螺旋线或斜线进刀,而要预先钻一个工艺孔,作为截平面铣削的起刀位置。工艺孔位置一般选在型腔最深的位置。

粗铣型腔加工的操作顺序是:先钻工艺孔,然后分层铣削,直到铣削完最后一层。

值得说明的是,曲面型腔粗加工刀具轨迹的安排十分灵活,往往根据经验而定。对于具有复杂曲面型腔的模具加工,其型腔的粗加工一般由经验丰富的工人在普通铣床上进行粗加工,留出一定的半精加工和精加工余量(这时的加工余量一般是不均匀的,但只要没有过切即可),最后在数控机床上采用曲面型腔型面精加工方法进行半精加工和精加工。当型面加工余量较小时,可直接采用型腔精加工方法。

## 2. 曲面型腔精加工

曲面型腔精加工的主要方法有截平面法和投影法,但从本质上讲,曲面型腔型面精加工刀具轨迹的计算可以归结为组合曲面、裁剪曲面、曲面交线区域、曲面间过渡区域以及复杂曲面等加工特征刀具轨迹的计算与编辑。

曲面型腔型面的精加工一般采用球形刀,对于一些特殊的型腔,平底刀也有一定的应用。

图4-46所示为带岛曲面型腔底面精加工的一个实例。

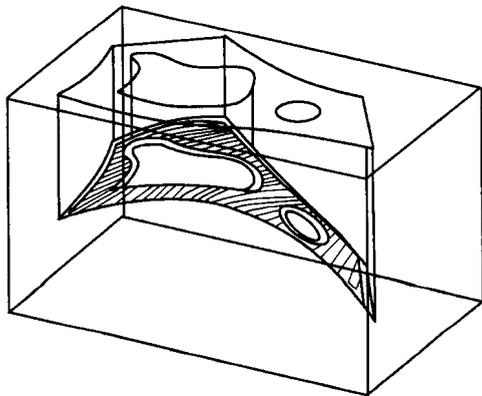


图4-46 曲面型腔底面精加工刀具轨迹

## (六) 曲面间过渡区域加工刀具轨迹生成

曲面间过渡区域加工是一种比较独特的区域加工方法,一般采用截平面法进行加工,或定义成过渡曲面后,用参数线法进行加工。

曲面间过渡区域一般要求为等半径圆弧过渡曲面或变半径圆弧过渡曲面。一旦生成一完整的过渡曲面(参数曲面形式),便可采用参数线法进行加工。

两曲面之间要求有过渡曲面,一方面是造型设计的要求,另一方面是加工工艺的要求。严格来说,两张曲面的交线是加工不出来的,其间必须有一过渡区域。至于过渡曲面在理论上应是一张什么样的曲面在产品设计中并不重要,而只要求该过渡曲面与其母面光滑拼接,并光滑过渡。因此,在实际设计生产中,人们往往不事先构造过渡曲面(一些特殊要求的除外),而是直接通过母面生成过渡区域加工刀具轨迹。

最简单的过渡区域加工刀具轨迹生成方法是两曲面间采用等半径圆弧过渡,该半径正好是加工所用球形刀的刀具半径,可直接采用曲面交线清根加工刀具轨迹的生成方法。这类曲面的粗、精加工所需的刀具运动轨迹都应选择交线方向为切削运动方向且采用双向走刀方式。但在生成精加工刀具运动轨迹时,残留高度应设定较小值,一般为 $0.015\text{mm}$ ,这样能减少后续钳工的修整量且解决钳工修整圆弧形过渡面的困难。

当两曲面间过渡圆弧半径很小时,在加工曲面时,一般不宜采用半径等于过渡圆弧半径的刀具,而是采用半径较大的刀具,这是因为刀具半径太小会大大增加加工曲面的刀位点,降低加工效率,而用较大的刀具加工两张相交曲面,无论用什么方法加工,在交线处留的总是这把刀具的圆角半径,如果这时再采用小刀具沿交线加工一次,又会在交线两侧小刀具与大刀具的交接处留有较高的残痕,钳工极不好修理。

为了解决这个问题,可采用半径递减法,用大刀具加工曲面,用小刀具在交线的两侧来回加工几次,形成光滑的过渡区域。

### (七) 裁剪曲面加工刀具轨迹生成

裁剪曲面一般表现为如下两种形式:孔边界裁剪和岛屿边界裁剪。图4-47所示为一光滑曲面(三个曲面片组合而成)被一个孔和一个岛屿裁剪的情形,主环与岛屿环和型腔环围成的区域为裁剪后的零件面待加工区域。

裁剪曲面的数控加工刀具轨迹具有以下特点:

(1) 裁剪之前的曲面是连续的,而且往往是光滑的,可以利用参数线法或截平面法生成数控加工刀具轨迹。

(2) 被孔裁剪的裁剪曲面,不论孔的形状如何,如果孔的直径远小于待加工曲面的话,数控加工编程时可以不考虑孔的存在,而将裁剪曲面作为一个整体进行刀具轨迹规划。

(3) 如果孔的直径比较大的话,为了提高加工效率,可将跨越孔的刀具轨迹线段提高进给速度。这时需要对整体刀具轨迹进行裁剪,将加工区域刀具轨迹线段与跨越孔的刀具轨迹线段分开。由于进给速度不同,一般需要对孔的边界指定一个负的加工余量,保证加工区域的刀具轨迹线段延伸到孔中一定的距离,这样将避免刀具在快速跨越孔的边界时撞击零件的边缘,如图4-48所示。

(4) 被岛屿裁剪的裁剪曲面的加工,可以按带岛屿的型腔加工刀具轨迹计算方法生成刀具轨迹。另外,也可以直接利用参数线法或截平面法生成整个曲面数控加工的刀具轨迹,接着用岛屿的边界(内环)对整体刀具轨迹进行裁剪,去掉跨越岛屿的刀具轨迹线段。裁剪刀具轨迹时,需要对岛屿的边界指定一个正的加工余量,加工余量应略大于刀具半径。然后设置刀具回避岛屿的方式:抬刀或沿岛屿最短边界绕行。

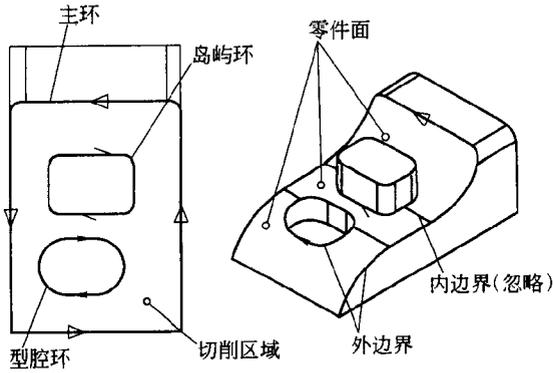


图 4-47 裁剪曲面的加工区域

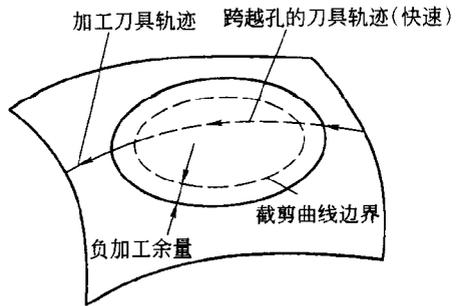


图 4-48 快速跨越孔裁剪曲面的加工

如果回避方式为抬刀, 则当刀具沿刀具轨迹运动到裁剪曲面的内环边界而切削行尚未结束时, 刀具快速自动退到安全平面, 并继续快速运动到此切削行的下一段刀具轨迹的起点, 然后再下降到加工表面, 沿此切削行的下一段刀具轨迹进行切削加工, 如图 4-49 所示。

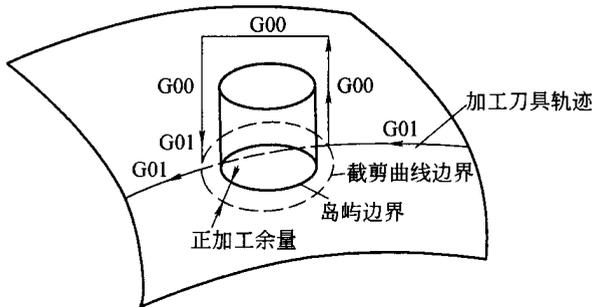


图 4-49 抬刀回避岛屿方式裁剪曲面的加工

如果回避方式为沿岛屿最短边界绕行, 则当刀具沿刀具轨迹运动到裁剪曲面的内环边界而切削行尚未结束时, 刀具自动沿岛屿最短边界路径运动, 直到此切削行的下一段刀具轨迹的起点, 然后沿此切削行的下一段刀具轨迹进行切削加工, 如图 4-50 所示。

### (八) 曲面的五轴加工

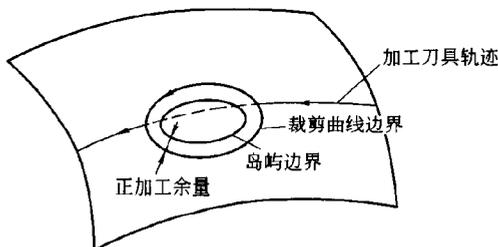


图 4-50 沿岛屿边界绕行回避岛屿方式裁剪曲面的加工

五轴数控加工是指刀具相对于工件除 X、Y、Z 坐标轴联动外,还有两个旋转轴联动。五个轴一般按下列两种方式配置:其一是三个线性坐标轴 X、Y、Z 及两个旋转轴 A、B;其二是三个线性坐标轴 X、Y、Z 及两个旋转轴 A、C。实现五轴数控加工的关键是不仅生成控制刀心运动的 X、Y、Z 坐标值,而且要生成刀轴运动的 A 和月或 C 轴的角度值。定义刀轴与被加工曲面法矢之间的关系,正是五轴数控编程的特点。

### 1. 刀轴方向的定义

#### (1) 用单位矢量来表示刀轴方向

该方法是采用在 X、Y、Z 轴上的投影分量来表示刀轴方向的方法。诸如矢量  $(0, 0, 1)$  表示刀轴与加工坐标系的 Z 轴平行且刀尖指向被加工曲面;矢量  $(0, 1, 0)$  表示刀轴与工件坐标系的 Y 轴平行且刀尖指向刀根的方向与 Y 轴正方向相同,矢量  $(1, 0, 0)$  表示刀轴与工件坐标系的 X 轴平行且刀尖指向刀根的方向与 X 轴正方向相同,矢量  $(1, 1, 1)$  表示刀轴与工件坐标系的 X、Y、Z 轴均成  $45^\circ$ 。矢量、刀轴、工件坐标系的相互关系见图 4-51 所示。

#### (2) 用曲面的法矢量与刀轴之间的角度来定义刀轴方向

该方法是通过刀具与被加工曲面切触点的法矢量与刀轴之间的角度来定义刀轴方向。 $0^\circ$  表示刀具在刀具与被加工曲面的切点处,刀轴与曲面法矢量平行,即刀具垂直于被加工曲面,见图 4-52 所示; $90^\circ$  表示刀具在刀具与被加工曲面的切点处,刀轴与曲面法矢量垂直,即刀具的侧刃与被加工曲面平行,见图 4-53 所示。

#### (3) 用直纹面的直纹方向线来定义刀轴方向

该方法是采用被加工直纹面的直纹方向来定义刀轴方向。当采用五轴数控机床加工某些直纹面时,为了提高曲面的加工精度及效率,一般采用圆柱铣刀进行加工,且刀轴方向与被加工直纹面的  $v$  向等参数直线段平行,见图 4-54 所示。

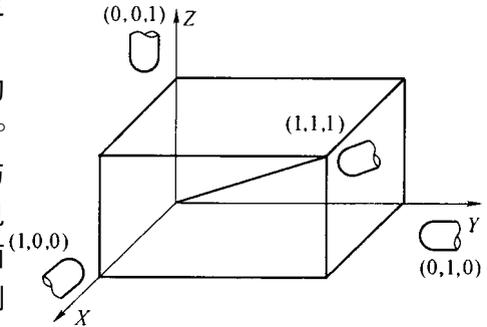


图 4-51 矢量与刀轴的关系

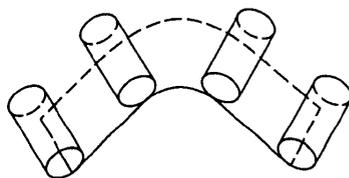
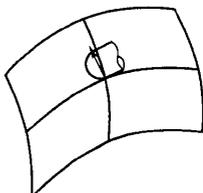
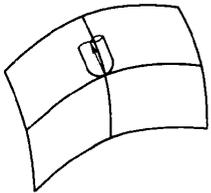


图 4-52 刀具垂直于曲面 图 4-53 刀具平行于曲面 图 4-54 刀轴与直纹面的直纹方向线平行

#### (4) 锥度定义法

该方法在被加工曲面外定义一个基点,用该点与切削点(刀具与被加工曲面的切触点)的连线来确定刀轴方向。基点可定义在被加工曲面的上方或下方,这主要取决于被加

工曲面的形状特征。

### (5) 导动面定义法

该方法是通过定义一个导动面来定义的,导动面各点的法矢量方向就是刀轴的方向。被加工曲面与导动面的一一对应关系可通过定义一个矢量来建立,被加工曲面上的点沿所定义的矢量方向投射到导动面上,生成投射点,导动面上投射点的法矢量方向就确定该切削点的刀轴方向。

#### 2. 五轴铣削加工的要求

为了生成理想的五轴加工刀具运动轨迹,必须对刀轴相对于被加工表面的法矢量方向进行恰当定位,以获得最佳切削状态,其最佳切削状态必须满足下列条件:其一是刀具与被加工零件表面的切触点必须不能与刀具底端中心重合,因该点的切削速度为零,切削状态最差,即一定要避免零点切削状态;其二是加工零件表面时,刀轴与被加工表面的法矢量之间的夹角尽可能小,以减小切削路径的数量,提高数控加工的效率。基于上述二点,在实际数控加工中,刀轴与曲面法矢量之间的夹角一般定义为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 之间,这样既能保证零件的加工质量,又能有效地保证零件加工的效率。

#### 3. 五轴铣削加工的技术条件

(1) 建立高质量的曲面模型是实现五轴铣削加工的前提。用五轴铣削加工一个定义不完善的几何体是毫无意义的,这意味着必须用高质量的方法设计零件表面。

(2) 五轴铣削加工的编程比三轴铣削加工更复杂、更难掌握。因此要求编程人员具有良好的机械加工经验和精通所采用软件功能的使用方法和技巧。

(3) 五轴铣削加工刀具运动轨迹的生成需要更先进的计算方法和碰刀检验方法。

#### 4. 五轴铣削加工计算要求

概括五轴加工所需的技术条件可知,只有先进的CAD/CAM系统才能提供准确、可靠的五轴数控加工数据,五轴铣削加工的计算必须满足下列要求:

(1) 刀具运动轨迹的平顺性。等参数铣削加工所需的刀具运动轨迹必须是连续、均匀的。

(2) 刀具运动轨迹点分布的平顺性。为了提供刀具平稳的运动,产生的刀具运动轨迹点必须连续、均匀地分布。

(3) 在某些情况下,如在刀具路径间的转换过程中,会发生刀具定位方向的较大改变,此时,应考虑避免刀具突然扎入工件表面。刀轴旋转过程中,当刀具位于工件上方时,刀具底部会猛烈扎入工件表面中去,为了避免这种情况的发生,通常在刀具急转弯前,先把刀具退回到安全平面上,然后再运动到下一曲面进行加工。

(4) 避免刀具和刀具夹持装置与要加工的曲面及附近曲面(干涉面)相碰撞,尤其是避免与夹具相碰撞,这需要进行有效的计算和模拟。

### (九) 清根加工刀具轨迹生成

精度高、型面复杂的大型型面(如汽车模具)加工一般由粗加工、半精加工、精加工和清根加工四道工序来完成。为了提高型面的加工精度和效率,在型面精加工时,一般采用

$\phi 20\text{mm}$  的球头刀进行精加工,这样会给型面的某些区域留下较大的加工余量,尤其是一些相对深度较浅的曲面加工,会严重影响型面的加工精度。因此,在型面精加工后,必须采用更小尺寸的刀具,如由  $\phi 6\text{mm}$  的球头刀,对精加工无法加工到的区域进行清根加工,保证型面的整体加工精度。

### 1. 笔式清根加工

笔式清根加工是指刀具与两被加工曲面双切,并沿它们的交线方向运动而生成的刀具运动轨迹。该加工方法主要用于清除两曲面凹向交线处的材料,使被加工零件表面有清晰的棱线,为钳工修整提供基准。笔式清根加工的缺点是精加工表面与清根加工的表面不能进行有效的平顺过渡,尤其是精加工所采用的刀具与清根加工所采用的刀具在尺寸上差异较大时,这样会在精加工刀具运动轨迹与清根加工刀具运动轨迹之间留有较大的加工余量,影响型面的加工精度。为了克服这一缺点,笔式清根加工分多次进行,如第一次,采用较大的刀具进行清根加工,第二次采用较小的刀具进行清根加工……最后一次采用最小的刀具进行清根加工等。

### 2. 区域清根加工

区域清根加工是指零件精加工后,计算机系统根据被加工曲面的特征和精加工时所采用的刀具类型和尺寸,自动地计算出非加工的区域,然后该区域采用更小尺寸的刀具进行区域清根加工的方法。该方法是一种高效、高精度的清根加工方法。

## 三、数控铣削加工刀具运动轨迹的编辑

刀具轨迹的编辑是指对已存在的刀具运动轨迹进行各种处理,以生成所需的刀具运动轨迹。

### (一) 刀具运动轨迹编辑的方法

#### 1. 刀具运动轨迹的分段

刀具运动轨迹分段是指把一个刀具运动轨迹在某一位置分解成二个刀具运动轨迹,而去掉其中的一个刀具运动轨迹。图 4-55 所示是把刀具运动轨迹  $TP_1$  在点  $P_1$  处分解成两个刀具运动轨迹  $TP_{11}$ 、 $TP_{12}$  的例子。

#### 2. 刀具运动轨迹的合成

刀具运动轨迹合成是指把两个或两个以上的刀具运动轨迹合成为一个整个刀具运动轨迹的处理方法。该方法主要应用于这样一种场合:用同一种规格的刀具生成数个刀具运动轨迹,为了便于数控加工,把这些刀具运动轨迹合成为一个更大的刀具运动轨迹。图 4-56 所示是把两个刀具运动轨迹  $TP_{11}$ 、 $TP_{12}$  合成为一个刀具运动轨迹的例子。

#### 3. 刀具运动轨迹的变换

刀具运动轨迹变换是指对已有的刀具运动轨迹进行几何变换的处理方法。包括平移、旋转、缩放等。

##### (1) 刀具运动轨迹的平移

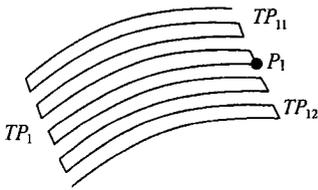


图 4-55 刀具运动轨迹的分段

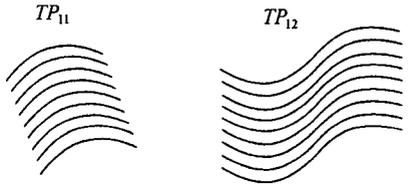


图 4-56 刀具运动轨迹的合成

刀具运动轨迹平移是指把刀具运动轨迹沿某一矢量方向移动一段距离的处理方法,该方法主要应用于加工同一形状、同一尺寸,但具有不同位置的几何表面。如图 4-57 所示是刀具运动轨迹沿  $X$  轴正方向移动 100mm,  $Y$  轴正方向移动 30mm 且复制 2 个刀具运动轨迹的例子。

### (2) 刀具运动轨迹的旋转

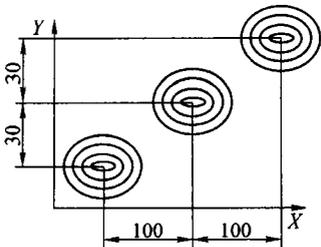


图 4-57 刀具运动轨迹的平移

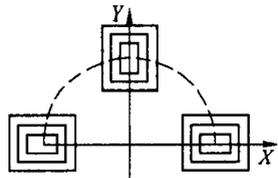


图 4-58 刀具运动轨迹的旋转

刀具运动轨迹旋转是指把已有的刀具运动轨迹绕某一点旋转给定的角度的处理方法。该方法主要应用于加工由同一形状、同一尺寸、且具有同一圆心同一圆周分布的几何表面。如图 4-58 所示是刀具运动轨迹绕坐标原点  $O$  旋转  $90^\circ$  且复制 2 个刀具运动轨迹的例子。

### (3) 刀具运动轨迹的缩放

刀具运动轨迹缩放是指把已有的刀具运动轨迹相对于基点进行放大、缩小的处理方法。如图 4-59 所示是刀具运动轨迹相对于坐标原点  $O$  缩小  $\frac{1}{2}$  及放大 1 倍的刀具轨迹图。

### 4. 消除刀具运动轨迹的某一部分

消除刀具运动轨迹的某一部分是指把已有的刀具运动轨迹的某一部分去掉,它包括消除刀具运动轨迹中的某一点、某条刀具运动轨迹或整个刀具运动轨迹。该处理方法主要应用于刀具运动轨迹中的过切点、啃刀点及异常刀具运动轨迹的消除。它在数控轨迹生成中得到了广泛的应用。

如图 4-60 所示。左图的刀具运动轨迹有二个位置出现啃刀现象,右图是取消二个啃刀点的刀具运动轨迹。

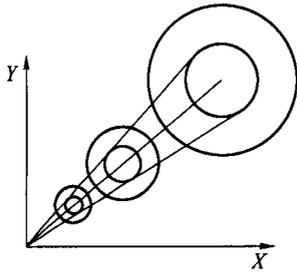


图 4-59 刀具运动轨迹的缩放

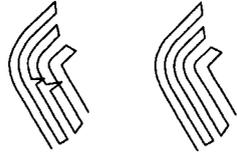


图 4-60 啃刀点的消除

### 5. 修改刀具运动轨迹

修改刀具运动轨迹是指把已有的刀具运动轨迹的某些部分进行修改处理,它用于修改刀具运动轨迹点的位置坐标值。如图 4-61 所示,左图的刀具运动轨迹有一位置出现啃刀现象,为了消除啃刀点,我们可采用修改刀具运动轨迹功能对啃刀点进行位置坐标值的修改,使啃刀点  $P_1$  的  $Z$  坐标值向上移动一定的距离,右图是修改后的刀具运动轨迹。

### 6. 刀具运动轨迹的修剪

修剪刀具运动轨迹是指按一定的要求,去掉原始刀具运动轨迹的某一部分,而剩下所需部分刀具运动轨迹的处理方法。要对刀具运动轨迹进行修剪,必须有两种元素,其一是要修剪的刀具运动轨迹;其二是修剪几何元素,它可以是与刀具运动轨迹相交的曲线或曲面。对三维曲面刀具运动轨迹的生成方法的分析

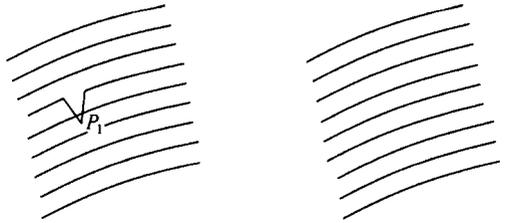


图 4-61 刀位点的修改

表明:三轴加工所需的刀具运动轨迹是由一系列直线段组成的,这样就把刀具运动轨迹的修剪问题转化成直线段与修剪曲线或曲面的求交问题。根据直线段与修剪曲线、曲面的交点的分布情况,就确定了要去掉的刀具运动轨迹的范围,从而完成刀具运动轨迹的修剪处理。

#### (1) 曲线修剪法

曲线修剪法是指修剪元素为线框曲线,修剪曲线一定要与修剪的刀具运动轨迹相交。该方法主要应用于曲面中间需要保护区域的刀具运动轨迹的生成。如图 4-62 所示,已知生成的加工曲面  $S_1$  所需的刀具运动轨迹,由于某种原因(诸如为了躲让障碍物或中间一个大孔等)需对由封闭曲线  $C_1$  围成的区域不进行加工,为此,应选择刀具运动轨迹修剪功能来进行处理。具体方法为:利用曲面刀具运动轨迹生成功能,生成加工曲面  $S_1$  所需的刀具运动轨迹,再利用刀具运动轨迹修剪功能,选择要修剪的刀具运动轨迹及修剪曲线  $C_1$ ,就生成了如图 4-62 所示中间局部区域不加工的刀具运动轨迹。

#### (2) 曲面修剪法

曲面修剪法是指修剪元素为曲面,修剪曲面应与要修剪的刀具运动轨迹相交。如图

4-63 所示,已知加工曲面  $S_2$  所需的刀具运动轨迹及修剪曲面  $S_1$  根据数控加工要求,应把曲面  $S_2$  的刀具运动轨迹在曲面  $S_1$  以左部分去掉。刀具运动轨迹的处理方法为:选择刀具运动轨迹的曲面修剪功能,选择要修剪的刀具运动轨迹,选择修剪曲面  $S_1$ ,这样就能把图 4-63 所示的  $S_1$  以左部分的刀具运动轨迹去掉,以满足实际加工要求。

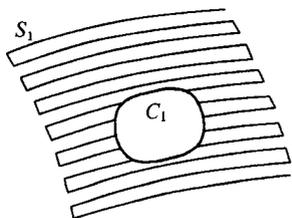


图 4-62 刀具运动轨迹的曲线修剪

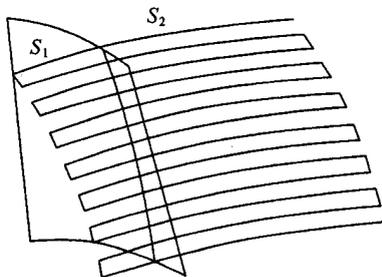


图 4-63 刀具运动轨迹的曲面修剪

## (二) 刀具运动轨迹的校验

刀具运动轨迹的校验是指把刀具运动轨迹的数据点以图形方式显示在计算机屏幕上,以检验刀具运动轨迹的准确性。刀具运动轨迹的显示方式有三种:

### (1) 显示切削点

即显示被加工曲面与刀具的切触点轨迹。这种显示方法通常用于曲面的加工情况,也就是说,曲面的哪一部分被切削加工了,哪一部分没有切削加工。刀具运动轨迹与被加工曲面在切削逼近误差内吻合。

### (2) 显示刀具中心点

对三轴的曲面加工而言,一般采用球头刀进行数控加工。该方式下的刀具运动轨迹是刀具球心包络面的运动轨迹,即刀具运动轨迹所在的面与被加工曲面在法矢方向偏移一个刀具半径值。

### (3) 显示刀具的尖点

该方式下的刀具运动轨迹是刀具球心包络面的运动轨迹沿刀轴负方向移动一个刀具半径值所得到的,这种显示方式常用于校验刀具运动轨迹是否出现加工过切或啃刀等,它是数控编程中用来校验刀具运动轨迹准确性的最常用的方法。

## 四、数控铣削加工刀具运动轨迹的干涉检查与修正

### 1. 有关概念

#### (1) 干涉

在切削被加工表面时,如果刀具切不到或切到了不应该切的部分,则称为干涉或者叫过切。干涉有两种情况。

自身干涉 指被加工表面中存在刀具切削不到的部分而产生的过切现象,如图 4-64

所示。

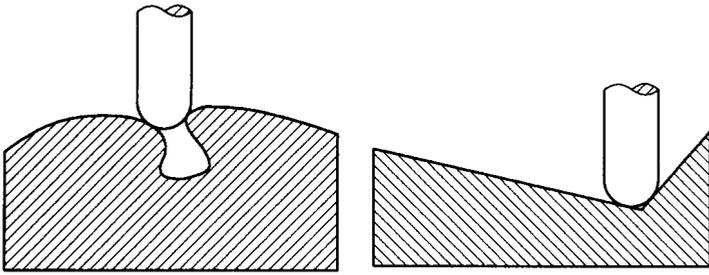


图 4-64 自身干涉

面间干涉 指在加工一个或一系列表面时,对其他表面产生过切的现象,如图 4-65 所示。

编程质量的优劣在很大程度上取决于过切问题如何处理,它直接影响产品的加工质量。如果处理不当,轻则造成零件制造缺陷,延长产品的生产制造周期,重则损坏零件、机床,造成重大经济损失。因此,解决数控加工的过切问题是具有重要实际意义的。

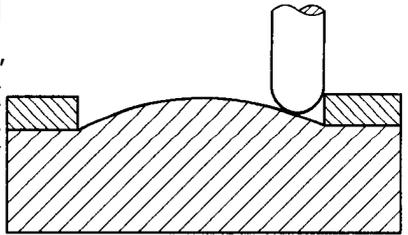


图 4-65 面间干涉

## (2) 啃刀

是指加工某一曲面时,刀具沿曲面的法矢负方向突然切入工件表面,在工件表面扎了一个凹坑。啃刀是加工过切中的一种特殊情况。

### 2. 刀具轨迹啃刀、干涉的原因

在三维曲面的数控加工中,产生曲面加工干涉主要有如下三个原因:

- (1) 生成曲面凹圆角处的曲率半径小于数控加工时所采用的刀具半径;
- (2) 对曲面特性理解不透,选用了不合理的曲线或曲面类型使生成曲面偏离实际所需的曲面;
- (3) 在两曲面的凹型交线处,对曲面的加工范围处理不当。

其中第一个原因是产生啃刀现象的原因。是否出现啃刀现象可以通过求由被加工曲面偏移一个刀具半径值的包络面的方法来检验,如所生成包络面的形状分布合理,则原曲面不会产生啃刀现象,如所生成包络面的形状出现了异常的凸起、凹坑区域或局部区域相互重叠,则原曲面会产生啃刀现象。

### 3. 解决两曲面凹型交线处加工过切的方法

#### (1) 曲面修剪法

如图 4-66 所示,曲面  $S_1$ 、 $S_2$  呈凹角,为了防止在两曲面交线处产生加工过切,应在两曲面相接处生成一个圆弧过渡面  $S_{12}$ ,该过渡面的圆弧半径应大于或等于刀具半径。把原始曲面  $S_1$ 、 $S_2$  在圆弧型过渡面  $S_{12}$  以下的部分去掉,从而消除了曲面间的过切区域。

#### (2) 定义加工边界法

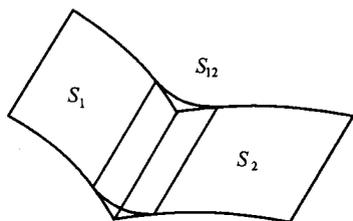


图 4-66 曲面的修剪法

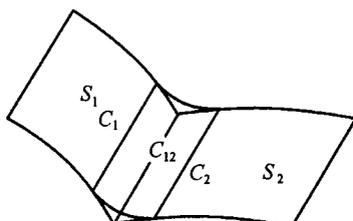


图 4-67 定义加工边界法

如图 4-67 所示,该方法的基本思路为:求出一定半径的球与两原始曲面  $S_1$ 、 $S_2$  双切并沿着它们的交线  $C_{12}$  方向滚动时,球与两曲面接触点形成了两条轨迹线  $C_1$  和  $C_2$ 。球的半径应等于数控加工时所采用的球刀半径。这两条轨迹线就决定了两原始曲面的加工范围。当刀具与曲面的切触点运动到加工边界线时,刀具的球头部分正好与另一相邻曲面相切,这样就方便地解决了加工过切问题。

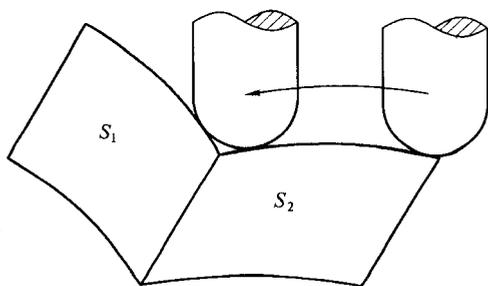


图 4-68 定义检查面法

### (3) 定义干涉面法

在数控编程时,可定义一个干涉面来限制刀具运动的终止位置。如图 4-68 所示,在零件面的区域加工中,当刀具碰到所定义的干涉面时,刀具就能自动返回,进行下一行的切削加工,从而解决了曲面加工过切问题。

## 第四节 复杂表面自动编程工艺处理

### 一、自动编程加工的基本工作原理

交互式图形自动编程系统采用图形输入方式,通过激活屏幕上的相应菜单,利用系统提供的图形生成和编辑功能,将零件的几何图形输入到计算机,完成零件造型。同时以人机交互方式指定要加工的零件部位、加工方式和加工方向,输入相应的加工工艺参数,通过软件系统的处理自动生成刀具路径文件,并动态显示刀具运动的加工轨迹,生成适合指

定数控系统的数控加工程序,最后通过通信接口,把数控加工程序送给机床数控系统。这种编程系统具有交互性好,直观性强,运行速度快,便于修改和检查,使用方便,容易掌握等特点。因此,交互式图形自动编程已成为国内外流行的 CAD/CAM 软件所普遍采用的数控编程方法。在交互式图形自动编程系统中,需要输入二种数据以产生数控加工程序,即零件几何模型数据和切削加工工艺数据。交互式图形自动编程系统实现了造型—刀具轨迹生成—加工程序自动生成的一体化,它的三个主要处理过程是:零件几何造型、生成刀具路径文件、生成零件加工程序。

### 1. 零件几何造型

交互式图形自动编程系统(CAD/CAM),可通过三种方法获取和建立零件几何模型:

(1)软件本身提供的 CAD 设计模块。

(2)其他 CAD/CAM 系统生成的图形,通过标准图形转换接口(例如 STEP、DXFIGES、STL、DWG、PARASLD、CADL、NFL 等)转换成编程系统的图形格式。

(3)三坐标测量机数据或三维多层扫描数据。

### 2. 生成刀具路径

在完成了零件的几何造型以后,交互式图形自动编程系统第二步要完成的是产生刀具路径。其基本过程为:

(1)首先确定加工类型(点位、轮廓、挖槽或曲面加工等),用光标选择加工部位,选择走刀路线或切削方式。

(2)选取或输入刀具类型、刀号、刀具直径、刀具补偿号、加工预留量、进给速度、主轴转速、退刀安全高度、粗精切削次数及余量、刀具半径长度补偿状况、进退刀延伸线值等加工所需的全部工艺切削参数。

(3)编程系统根据这些零件几何模型数据和切削加工工艺数据,经过计算、处理,生成刀具运动轨迹数据,即刀位文件 CLF(Cut location file),并动态显示刀具运动的加工轨迹。刀位文件与采用哪一种特定的数控系统无关,是一个中性文件,因此通常称产生刀具路径的过程为前置处理。

### 3. 后置处理

后置处理就是生成针对某一特定数控系统的数控加工程序。由于各种机床使用的数控系统各不相同,例如有 FANUC、SIEMENS 等系统,每一种数控系统所规定的代码及格式不尽相同,为此,自动编程系统通常提供多种专用的或通用的后置处理文件,这些后置处理文件的作用是将已生成的刀位文件转变成合适的数控加工程序。早期的后置处理文件是不开放的,使用者无法修改。目前绝大多数优秀的 CAD/CAM 软件提供开放式的通用后置处理文件。使用者可以根据自己的需要打开文件,按照希望输出的数控加工程序格式,修改文件中相关的内容。这种通用后置处理文件,只要稍加修改,就能满足多种数控系统的要求。

### 4. 模拟和通信

系统在生成了刀位文件后模拟显示刀具运动的加工轨迹是非常必要和直观的,它可

以检查编程过程中可能的错误。

通常自动编程系统还提供计算机与数控系统之间数控加工程序的通信传输。通过 RS232 通信接口,可以实现计算机与数控机床之间 NC 程序的双向传输(接收、发送和终端模拟),可以设置 NC 程序格式(ASC II、EIA、BIN),通信接口(COM1、COM2),传输速度(波特率),奇偶校验,数据位数,停止位数及发送延时参数等有关的通信参数。

## 二、自动编程中机床、刀具、毛坯和工件坐标系的设置

下面以 MasterCAM 软件为例进行介绍。

### (一)机床设置

MasterCAM 软件在安装时直接分车床和铣床两大类进行选装,选 Mill 则是适用于铣床(包括加工中心)类的软件。MasterCAM 提供多种后置处理程序,如 FANUC、AB、Siemens、Fadal、Cincinnati 等,以适用于各种不同型号的数控系统。在主功能表中选【公用管理】—【后处理】—【更换机种】,出现对话框,如选 FANUC,可点取 MPFAN.PST,则利用 Mill 软件所生成程序适用于 FANUC 数控系统的数控铣床。

### (二)刀具设置

MasterCAM 产生刀具路径时需输入各种参数。参数分为共同参数和模组专用参数两大类。共同参数是各种加工通用的,模组专用参数适合不同加工类型使用,如轮廓铣削有它的模组专用参数。刀具参数是每个刀具路径都要输入的参数,因此是共同参数。

MasterCAM(V8.1)软件可以在主功能表中【刀具路径】—【加工方式选项】—【刀具参数】中进行刀具设置,也可以在【公用管理】—【定义刀具】中定义刀具参数,并通过填写公共刀具参数表进行刀具设置。

公共刀具参数表主要内容包括:

#### (1)刀具名称

从目前的刀具库里,调出存储在指定名称之下的刀具数据。也可以使用说明文字解释该铣刀性质。

#### (2)刀具编号

指定所选定刀具库或者刀座里的编号。指定这个参数的号码使系统将一刀具交换指令加入到工件程序中。可以用喜欢的数字定义该刀具的号码,一般从 1 号刀开始定义,为方便记忆可以将半径和长度补正号码定义成与刀具号码相同。

#### (3)直径/半径补正

指定存储刀具直径/半径补正值的暂存器编号。

#### (4)长度补正

指定存储刀具长度补正值的暂存器编号,暂存器号码的形式是 H××。刀具长度补正值是指从固定于机床零点的刀具的尖端测量到零件参数平面的距离。

### (5) 刀具直径

指所用刀具的直径。

### (6) 刀角半径

指所用刀具的刀角半径。

MasterCAM 软件将铣削用刀具按外形分为三类:平底立铣刀、球状立铣刀、鼻刀(即环刀)并用刀具直径和刀具圆角半径之间关系来区分。当刀具圆角半径是 0 时为平底立铣刀;当刀具圆角半径是刀具直径的一半时为球状立铣刀;当刀具圆角半径小于刀具直径的一半时为鼻刀。

### (7) 主轴转速

机床主轴的转速,单位 r/min。

### (8) 冷却液

控制冷却液的开关和种类。该选项编程时可选关闭,实际加工时由操作者控制。

### (9) 进给率

XY 方向上刀具相对于工件的移动速度,单位 mm/min。

### (10) 插入进给率

Z 方向上刀具相对于工件的移动速度,单位 mm/min。

### (11) 退刀速率

Z 方向上的提刀移动速度,这时刀具不处于切削状态下,单位 mm/min。

## (三) 毛坯设置

MasterCAM 软件通过【刀具路径】—【工作设定】进行毛坯设置,确定毛坯尺寸(长、宽、高)。

## (四) 工件坐标系设置

MasterCAM 软件是用定义刀具原点的办法定义工件坐标系原点。可以在【刀具路径】—【加工方式选项】—【刀具参数】中点击 T/C 平面按钮出现“刀具面/构图面”对话框,直接输入刀具原点坐标值,也可以通过“选择”按钮用鼠标选择所绘图形上的某个点为刀具原点。该点即为工件(编程)坐标系原点。点击【刀具参数】中的杂项变数按钮,可以选择是用 G92 还是用 G54 指令建立工件坐标系。若用 G92 指令,执行后置处理后生成的 C 代码程序中的 G92X、Y、Z 坐标值即是刀具刀位点在所设工件坐标系中的起始点坐标值,而此时的刀具刀位点在系统坐标系下的位置是默认在系统原点(0,0,0)处。若用 G54 指令,原点偏置值要靠对刀确定并输入到原点偏置寄存器中。必须说明的是【刀具路径】—【工作设定】对话框中的工件原点并不是工件坐标系的原点,这一点绝不能混淆。利用 MasterCAM 软件自动生成的程序实际加工时,刀具刀位点可能不允许处在系统原点(0,0,0)对应零件上某一点处,这时可对程序中原 G92X、Y、Z 指令坐标值进行修改,以适应实际加工的需要,但操作者必须清楚工件坐标系原点的位置,该位置不能改变,而只能通过对刀来满足新设 G92 指令的要求。

## 三、自动编程中工艺参数设置

### (一) 外形铣削需设置的工艺参数

#### 1. 高度设定

高度的设定可用绝对坐标或相对坐标。绝对坐标设定时,其高度是指刀具平面的绝对坐标值。选用相对坐标时,是相对于工件表面的高度。分为安全高度、参考高度、进给高度、毛坯表面高度、最后深度、快速提刀高度等。

#### 2. 深度分层

深度分层是指在 Z 方向分层粗铣和精铣,适用于材料较厚,无法一次加工到最后深度的情形。

#### 3. 外形分层

外形分层是指在 XY 方向分层粗铣和精铣,适用于材料切除量较大,刀具无法一次加工到定义的外形尺寸的情形。

#### 4. 转角设定

转角设定用于设定在外形的尖角处是否要加入圆角过渡。转角设定有三个选项:不走圆角、小于 135°走圆角、全走圆角。

#### 5. 线性化误差

在进行空间曲线或空间圆弧的外形加工时,MasterCAM 会将他们打断成线段,线性化误差用于设定打断的误差值。

#### 6. 最大深度误差

在进行空间外形加工计算刀具补正时,由于空间的两个图素经补正后可能并不相交,为了使刀具路径平滑,就要对其端点的 Z 值进行调整,最大深度误差就是调整的最大误差值。

#### 7. XY 预(裕)留量

即 XY 方向所留的余量,若要加工到外形尺寸,则输入预留量应为 0。

#### 8. 进/退刀

外形加工一般要求加工表面要光滑,如果在加工时刀具在表面处切削时间过长(如下刀和提刀时)就会在此处留下刀痕。进/退刀功能可在刀具路径的起始点(进刀)和(或)终点(退刀)加上进退刀引线(或)圆弧,使进退刀时刀具远离加工面,从而防止过切或毛边。

### (二) 挖槽加工需设置的工艺参数

挖槽加工是指用于将一个封闭外形内的材料全部切除,此封闭外形称为槽的边界。

#### 1. 挖槽参数

##### (1) 分层铣削

分层铣削是指在 Z 方向分层粗铣和精铣,适用于槽的材料较厚,无法一次加工到最后深度的情形。

#### (2) 表面加工

表面加工选项用于加工毛坯的表面(平面加工),以便进一步加工。

#### (3) 铣斜壁

用于将槽或岛屿的侧壁铣成斜面(例如起模斜度)。

#### (4) 精修方向

用于设定精修槽或岛屿外形时的刀具进给方向。为了得到较好的表面精度,一般选用顺铣,只有大吃刀量时才选用逆铣。

#### (5) 残料再加工

由于槽的外形以及岛屿的限制,用较大的刀具挖槽加工时会留下一些加工不到的地方即残料。此时可以选用残料再加工功能,采用较小的刀具将上一次(较大刀具)加工留下的残料部分去除。

### 2. 挖槽粗加工参数

#### (1) 切削方式

切削方式有以下几种:双向切削、单向切削、环形切削(包括:等距环切、环绕切削、环切并清角、根据外形螺旋切削)。

#### (2) 切削由外到内或由内到外。

#### (3) 使刀具损耗最小

用于设定“双向切削”时的刀具路径计算方法。不选此项时,双向切削刀具路径以使切削时间最少为目标,而不考虑刀具的受力情况。选此项时,双向切削刀具路径以使刀具损耗最小为目标,使刀具保持单面切削状态,但切削的路径可能更长,所需的切削时间也更多。

#### (4) 下刀方式

用于设定粗加工的 Z 向下刀方式。

挖槽粗加工一般用平铣刀,这种刀具主要用侧面刀刃切削材料,其垂直方向的切削能力很弱,若采用垂直下刀(不选用“下刀方式”时),易导致刀具的损坏。所以 MasterCAM 提供了螺旋下刀和斜线下刀方式。

### 3. 挖槽精加工参数

#### (1) 精修边界

打开此选项时,将对槽和岛屿的边界进行精加工。否则,将仅对岛屿的边界进行精加工。

#### (2) 粗加工完的地点直接精修

由于槽中有岛屿,因而形成多个加工区域。打开此选项时,刀具路径的顺序是在一个区域内完成粗铣后直接开始此区域的精铣,然后从另一个区域开始分别粗铣和精铣,否则,刀具路径的顺序是在所有区域内完成粗铣,然后再在所有区域内完成精铣。

### (3) 最后精修/分层精修

用于设定“深度分层”挖槽时的精加工时机。

最后精修是指只在分层挖槽的最后深度进行精加工。

分层精修是指在分层挖槽的每层深度都进行精加工。

## (三) 曲面加工需设置的工艺参数

### 1. 曲面粗加工参数

包括曲面平行铣削加工参数、曲面放射状加工参数、曲面投影加工参数、曲面流线加工参数、曲面外形加工参数、曲面挖槽加工参数、曲面插削下刀加工参数等。

### 2. 曲面精加工参数

曲面的精加工共有三页参数对话框,分别是:刀具参数、切削参数及与所选的加工方法对应的专用参数。精加工切削参数与粗加工参数相比,对话框中缺少了“最大Z轴进给量”,这是因为精加工时无需分层加工,其他与粗加工参数基本一样。

## 第五节 汽车覆盖件模具的数控铣削加工

### 一、汽车覆盖件模具数控铣削加工工艺主要内容

汽车覆盖件是汽车上的主要部件,具有外形轮廓尺寸大、形状复杂等特点,它的好坏直接影响整车的产品质量。而汽车覆盖件的质量是靠汽车覆盖件模具的质量保证的,只有制造出优质的模具才能加工出高质量的汽车覆盖件,才能有高质量的汽车。

汽车覆盖件模具的结构都较为复杂。一套模具中往往包含许多冲压工艺过程,如冲孔、拉延、修边、翻边、整形等,多采用吊楔、斜楔等复杂结构,因此汽车覆盖件模具在数控机床上加工最为有利。通常汽车覆盖件模具的型面由结构部分和形状部分组成,如图5-69拉延凹模所示。

模具结构部分的数控铣削加工的主要内容是模具零件上的各种凸台、窝座、槽、导滑面等。而模具形状部分的数控铣削加工,主要是复杂曲面的加工。

汽车覆盖件模具数控铣削加工工艺主要内容为:

(1) 确定模具数学模型的技术要求。

(2) 理解消化冲压工艺过程图(DL图)及总体设计思想。

(3) 审查模具基准点、冲压方向(角度)与产品数学模型在汽车坐标系中的关系,审查冲模中心与基准点的关系。

(4) 确定拉延模技术参数。

图5-70所示为典型拉延模的凸模。

1) 凸模轮廓线要求

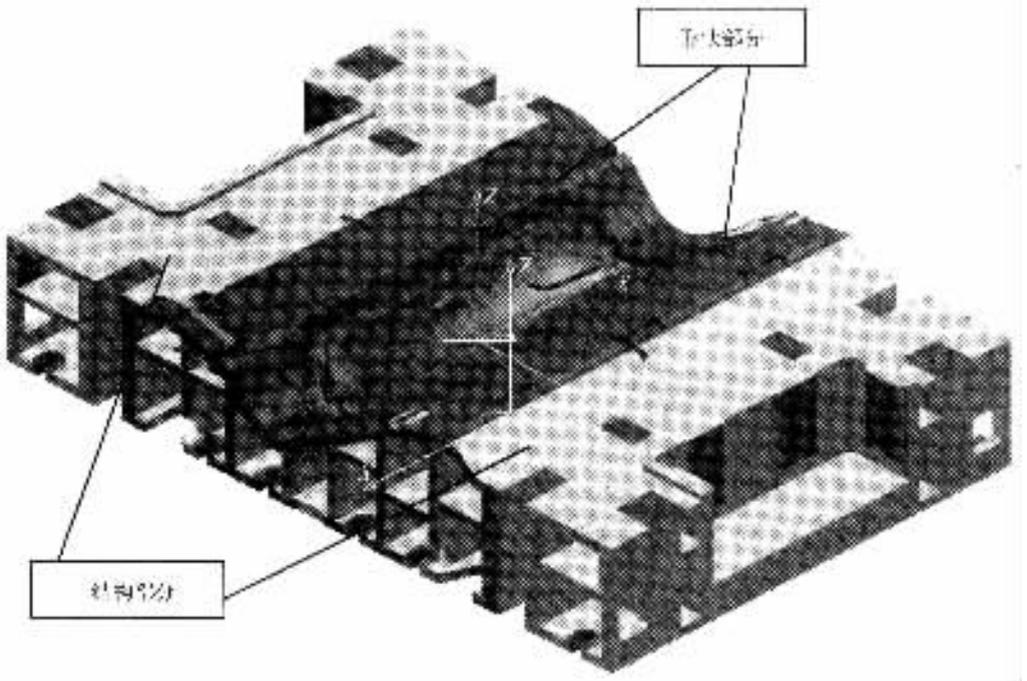


图 4-69 汽车覆盖件模具型面的结构部分和形状部分

①必须作出最终实际凸模轮廓线,以方便检测、校验,修改程序,方便机床使用刀具补偿加工功能。

②相对较小的凹形圆角半径  $R$  需用较小直径的刀具局部分层进刀加工。

③提供凸模轮廓线横向、纵向实际检测长度。

## 2) 压料圈轮廓线要求

①必须作出最终实际压料圈轮廓线,体现与凸模轮廓线间隙。

②相对较小的凹形圆角半径  $R$  同样采用较小直径的刀具局部分层进刀加工。

③提供压料圈轮廓线横向、纵向实际检测长度。

图 4-71 所示为拉延模的压料圈。

## 3) 压料筋、坎要求

明确压料筋、坎中心线与凸模轮廓线关系。确定压料筋、坎的宽度、长度、深度和方向。

## 4) 工艺补充(附加工工艺面)要求

正确确定拔模角度及圆角;压料面基础曲线、曲面参数;压料面过渡区域的过渡方法及要求。

## (5) 确定修边模技术参数

### 1) 凸模

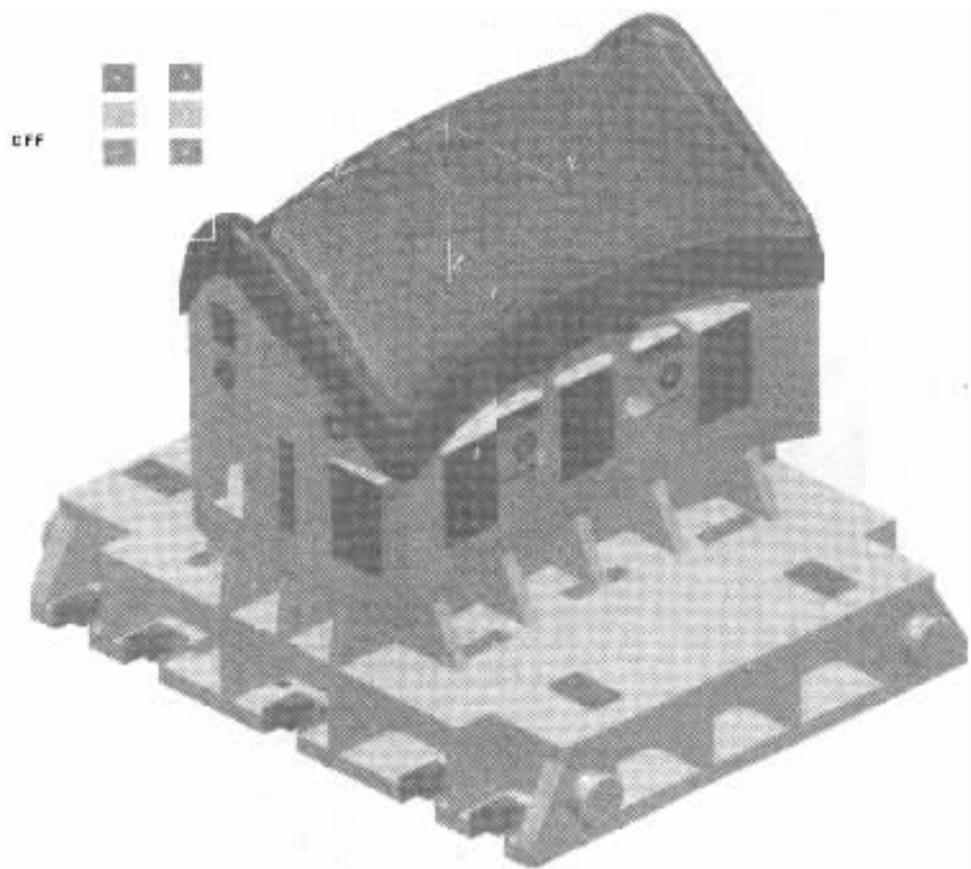


图 4-70 拉延模凸模

确定凸模轮廓线及其与凹模刃口线关系。准确确定凸模加工范围。

#### 2) 凹模

确定凹模刃口线及其与产品的关系。准确确定凹模型面加工区域。

#### 3) 凸凹模

确定凸凹模刃口线及其与产品关系。确定凸凹模异形孔刃口的加工方法。划定凸凹模型面的加工范围。

#### 4) 顶出器(退料板、卸料器)

确定顶出器轮廓线与凸模轮廓线关系。划定顶出器加工范围。

#### (6) 确定翻边模技术参数

1) 确定凸、凹模翻边线及其与产品翻边线关系,即考虑与产品数学模型翻边线关系,这里必须考虑料厚因素。

2) 确定凸、凹模加工范围。为了提高模具加工效率,根据模具被加工表面几何形状,必须进行分区域加工,划定合理的加工范围。确定加工范围总的原则是按图纸尺寸外扩5mm。进行多区域、多程序分块加工。

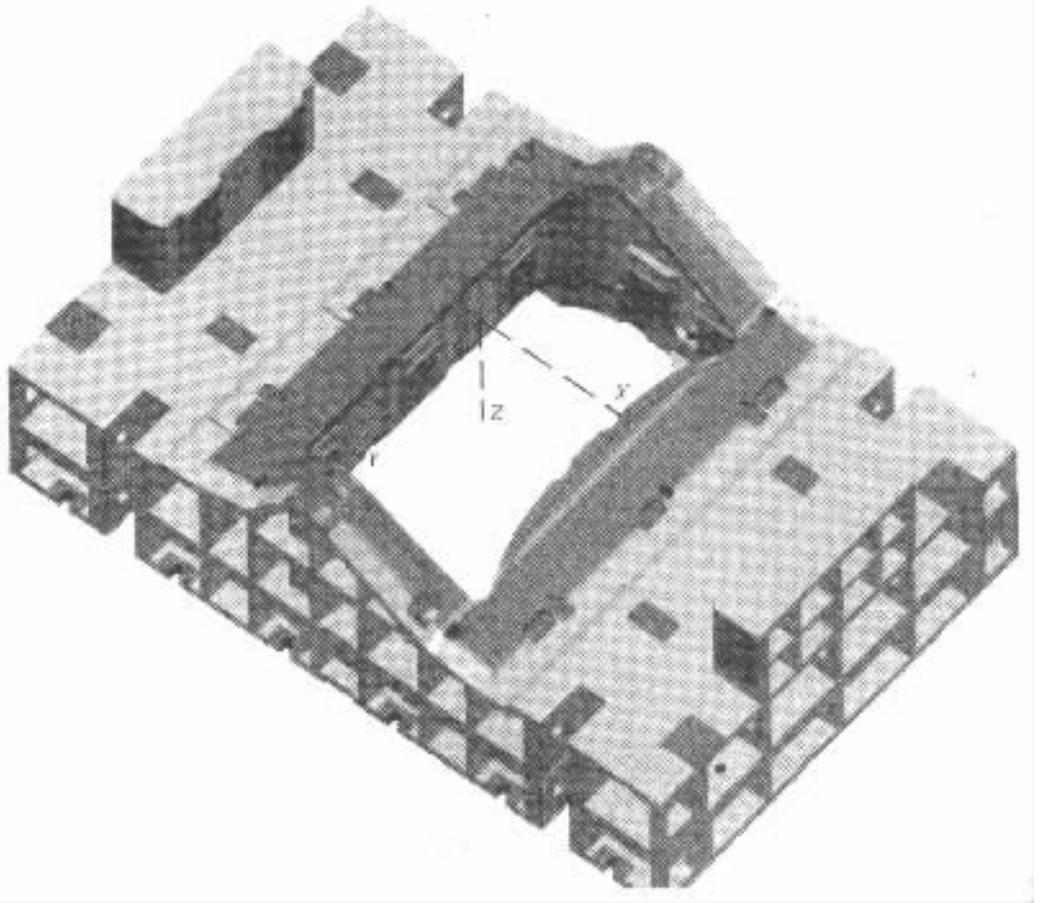


图 4-71 拉延模压料圈

①顶部平缓几何形状部位为一个程序块。

②曲面与 XOY 平面角度大于  $60^\circ$  的部位为一个程序块。

③较深且近似垂直面部位进行摆角加工或倾角编程,同时考虑刀具长度乘以曲面倾斜角度的三角函数值与曲面落差关系,确定刀具型号种类。

④区域边界的重叠要求。为保证加工的完全性,定义加工区域时相邻的两个加工区域需要重叠一部分,重叠部分宽度为 8mm。

⑤分区域加工技术要求适用于型面及清根加工。清根加工时,由于刀具直径可能较小,编程者根据实际几何形状再具体分析处理。

#### (7) 编程坐标系的建立

1) 一般编程原点(X0, Y0, Z0)选择在模具基准点上。

2) 成双拉延成形、修边冲孔、切开的模具编程原点 X0、Y0 设在冲模中心上;Z0 设在高度方向的基准点上。

3) 坐标轴的建立

编程坐标系 Z 轴方向与机床 Z 轴方向完全一致。零件尺寸较长方向与 X 轴方向平行,并确定其正方向。零件另一与 X、Z 轴垂直方向依据右手定则确定为 Y 轴方向。

#### (8) 确定数控编程加工有关工艺参数

##### 1) 粗加工

###### ① 分层加工

对于方形锻件毛坯采用分层加工(层切深 $\leq 3\text{mm}$ )。

毛坯尺寸设定:设定编程毛坯尺寸比图纸各方向大出 5mm。

切削进刀:切削时,刀具在毛坯外部进刀,提高切削质量,保护刀具。

进刀方式:对于腔体零件采用螺旋进刀方式。刀具:采用 $\phi 30 \sim \phi 50\text{mm}$ 平头刀或圆角刀。覆盖率:刀具重复区域为刀具直径 10%左右。

安全平面:安全平面比毛坯最高面高出 50mm。进、退刀平面:进、退刀平面比实际加工平面相对高 10mm。

裕留量 2~3mm。

###### ② 等高线(层铣)加工

对于高度差大于 50mm、角度大于 45°型面铸件和经过分层加工后锻件采用等高线加工,如有必要需分块加工。

刀具:采用 $\phi 30 \sim \phi 50\text{mm}$ 球头刀或圆角刀。Z 值层切深 3~4mm。裕留量 2~3mm。

###### ③ 笔式清根加工

刀具: $\phi 30 \sim \phi 50\text{mm}$ 球头刀,采用逆铣切削。裕留量 2~3mm。

###### ④ 平行加工

刀具: $\phi 40 \sim \phi 50\text{mm}$ 球头刀。采用逆铣切削。裕留量 2~3mm。切削行距:10mm。切削公差 0.2mm。

安全平面:安全平面距零件毛坯最高点 50mm。切削范围:加工范围比图纸尺寸外扩 10mm。

##### 2) 半精加工

###### ① 笔式清根加工

刀具: $\phi 30\text{mm}$ 球头刀。采用顺铣切削。裕留量 0.5mm。切削公差 0.1mm。

###### ② 平行加工

刀具:声 30mm 球头刀。裕留量:0.5mm。切削行距:2~4mm。切削公差:0.05~0.1mm。

安全平面:安全平面距零件毛坯最高点 50mm。切削范围:加工范围比图纸尺寸外扩 5mm。

###### ③ 笔式清根加工

刀具: $\phi 20\text{mm}$ 球头刀。采用顺铣切削。裕留量 0.2mm。切削公差 0.1mm。

###### ④ 区域清根加工(往复式、插值式)

刀具:声 20mm 球头刀。裕留量:0.05mm。切削公差:0.1mm。切削行距:0.1~

0.6min。

### 3) 精加工

刀具  $\phi 20\text{mm}$  球头刀。

切削行距 :外覆盖件凸模 0.6mm ;外覆盖件凹模 0.7mm ;内覆盖件凸凹模 0.8mm。

切削公差 :外覆盖件凸模 0.015mm ;外覆盖件凹模 0.02mm ;内覆盖件凸凹模 0.03mm。

加工裕留量  $0\text{mm}$ 。安全平面 :安全平面距零件毛坯最高点 50mm。

### 4) 清根加工

#### ① $\phi 16\text{mm}$ 球头刀笔式清根加工

采用顺铣切削。裕留量  $0.1\text{mm}$ 。切削公差  $0.02 - 0.05\text{mm}$ 。

#### ② $\phi 16\text{mm}$ 球头刀区域清根加工( 往复式、插值式 )

裕留量  $0.1\text{mm}$ 。切削公差  $0.02 - 0.051\text{mm}$ 。切削行距  $0.8\text{mm}$ 。

#### ③ $\phi 10\text{mm}$ 球头刀笔式清根加工

采用顺铣切削。裕留量  $0\text{mm}$ 。切削公差  $0.02 - 0.03\text{mm}$ 。

#### ④ $\phi 10\text{mm}$ 球头刀区域清根加工( 往复式 )

裕留量  $0\text{mm}$ 。切削公差  $0.02 - 0.03\text{mm}$ 。切削行距  $0.6\text{mm}$ 。

#### ⑤ $\phi 8\text{mm}$ 球头刀笔式清根加工

采用顺铣切削( 对称件也需保持顺铣 )。裕留量  $0\text{mm}$ 。切削公差  $0.02\text{mm}$ 。

#### ⑥ $\phi 6\text{mm}$ 球头刀笔式清根加工

采用顺铣切削( 对称件也需保持顺铣 )。裕留量  $0\text{mm}$ 。切削公差  $0.02\text{mm}$ 。

### ( 9 ) NC 程序后置处理

选择合适 NC 后置处理格式 ,以满足不同机床格式要求。后置处理中 NC 文件数据设置为刀尖点( TIP )或球心点( Center )

### ( 10 ) 刀位轨迹校验

反画( Back plot )数控轨迹、检验 NC 程序的可靠性、正确性。测量特征点数值。观察刀位轨迹 ,利用仿真软件校验 NC 程序 ,防止过切、扎刀、碰撞。

### ( 11 ) 数控文件建立子目录

按模具图号、检具图号 ,建立数控文件库子目录。生成最终数控文件( NC file )输出在相应子目录下。

### ( 12 ) 填写 NC 程序说明书

按程序说明书要求填写清楚产品号、模具号、零件名称、最终料厚、CAM 模型文件名、项目名、用户名、编程者、校对者、简要示意图 :坐标系、原点、起刀点、刀具位置、刀具切削方向、型面、轮廓简图及轮廓可测量尺寸。

## 二、汽车覆盖件模具数控铣削加工需特殊注意的问题

### 1. 在数控铣床上加工模具型面时定位基准的选择

模具制造采用数控加工时基准的确定是非常重要的,因为它直接影响加工精度。在模具的数控加工中,各相关件如凸凹模刃口、顶出器与凹模刃口等的相对位置尺寸关系需严格按图纸精度加工,而这些有相对位置要求的零件往往不能组装到一起同时加工,需要分别装在机床上或工艺板上进行数控加工。这样就要求各对应件在加工完后能保证一致的相应尺寸关系,才能满足设计图纸对凸、凹模刃口之间的尺寸关系及顶出器与凹模的相对高度等要求。另外,由于各工件在加工时均存在误差,如果完全按照图纸尺寸加工,亦即按绝对尺寸加工,可能造成各零件的绝对尺寸完全符合图纸要求,但组装后却无法工作或根本无法组装的情况。为了解决上述问题,在数控加工中,对有相对位置尺寸要求的零件或需要相互配合的零件,在选择数控加工基准时,要选择同一个基准面,然后测量此基面的实际尺寸,而不是图纸中理论尺寸,将实际尺寸(包含有加工误差在内)作为基准尺寸,再按被加工零件与基面的基准尺寸进行换算,来得出数控加工的尺寸,这样就能将其他零件的加工误差对被加工零件的影响降到最低,从而保证数控加工后的各个零件的相对位置关系正确,使钳工装配更方便。对于某些冲模零件,如滑块、斜楔等,因其结构决定可能与数控机床的坐标轴成某一角度,使其无法一次装夹完成全部内容,这样就需在此类零件上做出基准面或基准孔,然后将其拆下,按基准面或基准孔找正重新进行数控加工。但在制作基准孔时,因零件与数控机床的坐标轴成某一角度,需要进行坐标变换,将与数控机床平行的坐标系转换成与该坐标系成某一角度的直角坐标系,在二次加工时在以此坐标系为基准进行加工,但要特别注意该坐标系与冲模中心所形成的位置关系,否则容易造成较大的误差。

需进行数控加工的零件,必须在编制零件工艺时,注出工艺基准孔的位置尺寸和孔径尺寸。数控加工后,必须在零件的相应位置按工艺要求加工出工艺基准孔。在零件上加工出工艺基准孔的目的是便于以后再次加工时找正,以及为测量模具尺寸精度而进行的找正。加工工艺基准孔的具体规定如下:

在零件的较长方向,与冲模中心线重合(或平行)加工出两个工艺基准孔,如不能在冲模中心线重合的位置上加工出工艺基准孔时,应在图纸上标明工艺基准孔中心与冲模中心线之间的距离。而且要求两工艺基准孔之间的距离尽可能大,以提高模具找正精度。在与前两个工艺基准孔中心点连线垂直的方向,与冲模另一条中心线重合(或平行)加工出一个工艺基准孔。工艺基准孔孔径的大小,应根据零件尺寸大小和使用要求选择。

装夹时,四角之压板加力要均匀,工件(或模型)与机床工作台的间隙 $< 0.05\text{mm}$ (模型为木质基座时间隙 $< 0.2\text{mm}$ )。

## 2. 模具型面数控铣削刀具的定义与选择

在数控编程中,刀具各部分的几何参数可用两个选项来设定,第一选项用来确定刀体的类型,它包括圆柱形和圆锥形刀具,第二个选项用来确定刀底的类型,它包括平底、球形和圆角。定义刀具几何形状的参数包括如下几项:

(1)刀锥角度,用于定义圆锥刀具的刀具轴线与刀具斜侧刃的夹角,用角度表示。当角度为零时,就表示圆柱铣刀。

(2) 刀具半径,对圆柱铣刀而言,指刀具圆柱形工作截面的半径;对圆锥铣刀而言,指圆锥刀体部分与刀底相接处的圆的半径。

(3) 圆角半径,对具有球底或圆角底的刀具来说,它是指球的半径或圆角半径。

(4) 刀具高度,用来表示刀具的高度值。

刀具应根据被加工零件的几何形状特性、材料的机械加工性能、余量的大小、厂内现存刀具的种类和规格等方面进行综合考虑。在利用车身零件图编制零件程序时,有时会遇到尺寸标注面与加工面不一致的情况,为了编程方便起见,所有的程序都按尺寸标注面进行编写,但在设定刀具的参数时,应注意实际加工刀具与理论编程刀具直径不一致的问题。

如实际加工要对尺寸标注面去一个料厚,而程序仍然按标注面编写。假设我们用  $d_{\text{实}}$  来表示实际数控加工时所采用的刀具直径,用  $d_{\text{理}}$  表示数控编程时所选用的刀具直径,则  $d_{\text{实}}$  与  $d_{\text{理}}$  之间的关系为

$$d_{\text{实}} = d_{\text{理}} + 2t \quad (5-12)$$

如实际加工要对尺寸标注面留一个料厚,则  $d_{\text{实}}$  与  $d_{\text{理}}$  之间的关系为

$$d_{\text{实}} = d_{\text{理}} - 2t \quad (5-13)$$

如实际加工时所采用的刀具直径为  $\phi 20\text{mm}$ ,而编程时设定的刀具直径为  $\phi 18\text{mm}$ ,则对编程表面去一个  $1\text{mm}$  的料厚。为了确保数控加工位置的准确性,在数控加工对刀时,应根据加去料厚的不同要求,按实际刀具尖点对刀后,在  $Z$  轴方向提升或下降一个料厚距离。料厚  $t$ 、刀具直径  $d$ 、对刀位置三者之间的关系为

加料厚 对刀时,应在实际刀尖对刀位置上沿  $Z$  轴方向提升一个料厚距离,见图 4-72a。

去料厚 对刀时,应在实际刀尖对刀位置上沿  $Z$  轴方向向下降一个料厚距离,见图 4-72b。

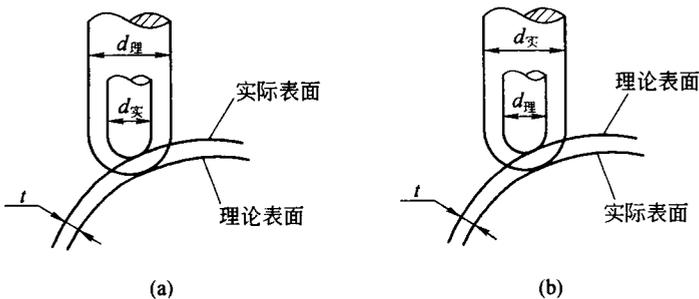


图 4-72 考虑料厚时  $d$  与  $t$  的关系

### 3. 模具型面数控铣削合理的加工方法

#### (1) 铸件型面的粗加工

1) 对于比较平缓的区域(高度差  $30\text{mm}$  以下斜面或平面)可以选用  $\phi 40\text{mm}$  硬质合金球头铣刀,采用行切或环切的方法进行加工。

2)对于高度差处于 30~80mm 之间的斜面,型面高度差在 200mm 以内的区域,可以选择  $\phi 40$ mm 硬质合金球头铣刀,采用等高线的加工方法进行。

### (2) 锻件型面的粗加工

采用锻件材料制作的型面加工量不均匀,在各个锻件之间也可能存在高度差,因此根据锻件毛坯的不同,采用分层的方法进行加工。选用  $\phi 50 \sim \phi 110$ mm 平面仿形铣刀,按照每层 1~1.5mm 的切削深度进行加工,要求毛坯外侧进刀,不能从毛坯外侧进刀时,采用切向或螺旋的进刀方式。

## 第六节 典型数控铣削零件的加工工艺分析

### 一、支架零件的数控铣削加工工艺

图 4-73 所示为薄板状的支架,结构形状较复杂,是适合数控铣削加工的一种典型平面类零件。下面简要介绍该零件的工艺分析过程。

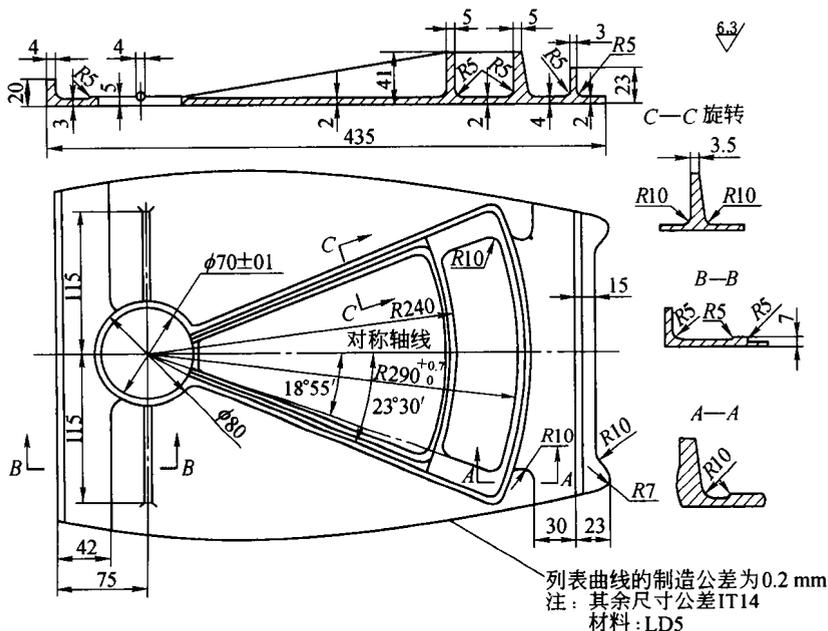


图 4-73 支架零件简图

#### 1. 零件图样工艺分析

##### (1) 结构分析

由图 4-73 可知,该零件的加工轮廓由列表曲线、圆弧及直线构成,形状复杂,加工、

检验都较困难,除粗铣底平面宜在普通铣床上铣削外,其余各加工部位均需采用数控铣床加工。

### (2) 精度分析

该零件的列表曲线尺寸公差为 0.2mm,其余尺寸公差都为 IT14 级,表面粗糙度均为 Ra6.3 $\mu$ m,比较容易加工。但其腹板厚度只有 2mm,且面积较大,加工时极易产生振动,处理不好可能会导致其壁厚公差及表面粗糙度难以达到要求。

### (3) 毛坯、余量分析

支架的材料为锻铝 LD5,毛坯为铸件,形状与零件相似,各处均有单边加工余量 5mm(毛坯图略)。零件在加工后各处厚薄尺寸相差非常大,除扇形框外,其他各处刚性很差,尤其是腹板两面切削余量相对其基本尺寸相对较大( $\frac{5-2}{2} \times 100\% = 150\%$ ),故该零件在铣削过程中及铣削后都将产生较大变形。

### (4) 结构工艺性分析

该零件被加工轮廓表面的最大高度  $H = 41 - 2 - 39\text{mm}$ ,转接圆弧为  $R10\text{mm}$ , $R$  略大于  $0.2H$ ,故该处的铣削工艺性尚可。全部底圆角为  $R10\text{mm}$  和  $R5\text{mm}$ ,不统一,另外,加工列表曲线轮廓的铣刀底圆角半径应尽可能小,故需多把不同底圆角半径的铣刀。

### (5) 定位基准分析

该零件只有底面及  $\phi 70\text{mm}$  孔(先制成  $\phi 20\text{H}7$  的工艺孔)可作定位基准,还缺一孔,需要在毛坯上专做一辅助工艺基准孔。

根据上述分析,针对提出的主要问题(变形及 2mm 厚的腹板难加工),采取如下工艺措施:

- 1) 设计真空夹具,提高薄板件的装夹刚性;
- 2) 安排粗、精加工及钳工矫形;
- 3) 采用小直径铣刀加工,减小切削力;
- 4) 先铣加强筋,后铣腹板,最后铣外形及  $\phi 70$  孔,有利于提高刚性,防止振动;
- 5) 在毛坯右侧对称轴线处增加一工艺凸耳,并在该凸耳上加工一工艺孔,解决缺少的定位基准;
- 6) 腹板与扇形框周缘相接处的底圆角半径,  $R10\text{mm}$ ,采用底圆角半径为  $R10\text{mm}$  的成形球铣刀(带  $7^\circ$  斜角)补加工完成。

## 2. 制定工艺过程

根据前述的工艺措施,制定支架加工主要工艺过程。

(1) 普通铣床 铣底平面。

(2) 立式钻床 钻、镗  $2 \times \phi 20\text{H}7$  定位孔。

(3) 数控铣床 粗铣腹板厚度、型面轮廓及内外形。

(4) 数控铣床 精铣腹板厚度、型面轮廓及内外形。

(5) 普通铣床 铣去工艺凸耳。

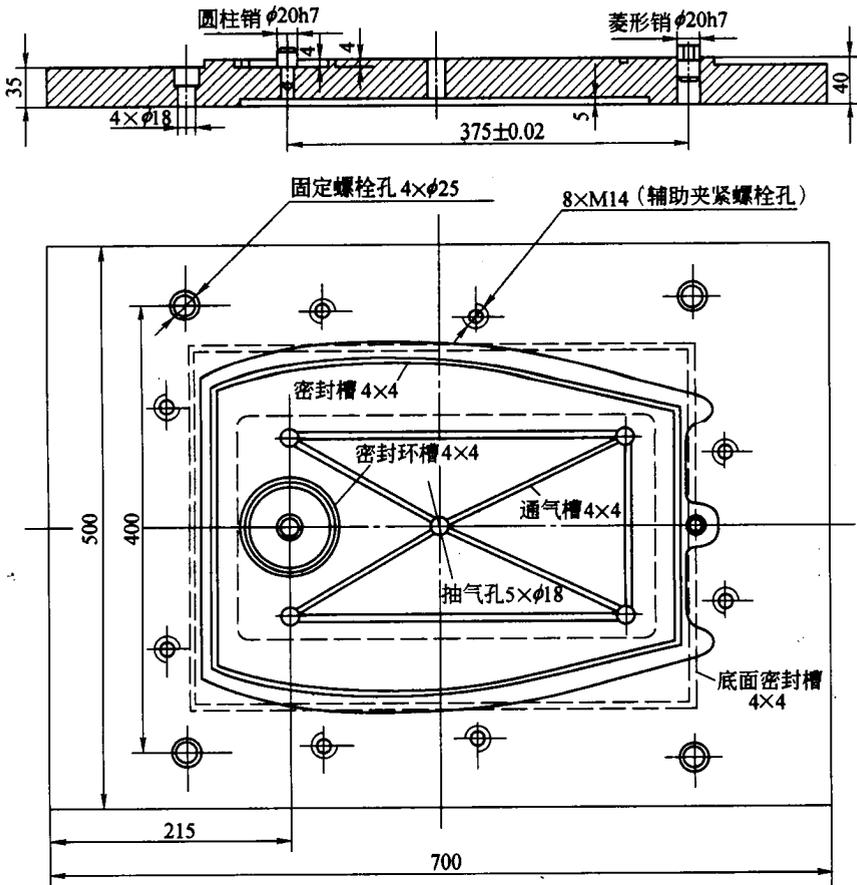


图 4-74 支架零件专用过渡真空平台

(6) 钳工 矫平底面、表面光整、尖边倒角。

(7) 表面处理。

### 3. 确定装夹方案

如前所述,在数控铣削加工工序中,选择底面、 $\phi 70\text{mm}$ 孔位置上预制的 $\phi 20\text{H}7$ 工艺孔以及工艺凸耳上的 $\phi 20\text{H}7$ 工艺孔为定位基准,夹具定位元件为“一面两销”。

图 4-74 所示的是专为数控铣削工序中设计制造的过渡真空平台。利用真空来吸紧工件,夹紧面积大,夹紧力均匀,夹紧刚性好,铣削时不易产生振动,非常适用于薄板件装夹。为防止抽真空装置发生故障或漏气,使夹紧力突然消失或下降,需另加辅助夹紧装置,避免工件松动。图 4-75 即为数控铣削加工装夹示意图。

### 4. 划分数控铣削加工工步和安排加工顺序

支架在数控机床上进行铣削加工的工序共两道,按同一把铣刀的加工内容来划分工步,其中数控精铣工序可划分为三个工步,具体的工步内容及工步顺序见表 4-4 数控加

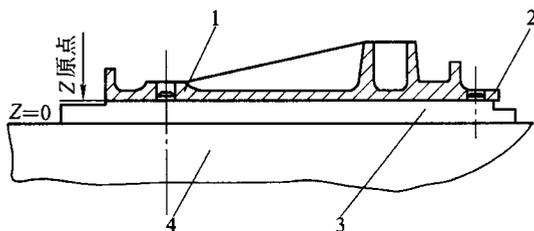


图 4-75 支架零件数控铣削加工装夹示意图

1—支架 2—工艺凸耳及定位孔 3—真空夹具平台；

4—机床真空平台

工工序卡片(粗铣工序这里从略)。

表 4-4 数控加工工序卡片

(工厂)	数控加工工序卡片		产品名称或代号	零件名称	材 料	零件图号		
				支 架	LD5			
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备		车 间		
		真空夹具						
工步号	工步内容		加工面	刀具号	主轴转速 ( $r/min$ )	进给速度 ( $mm/min$ )	背吃刀量 / $mm$	备注
1	铣型面轮廓周边及圆角 R5mm			T01	800	400		
2	铣扇形框内外形			T02	800	400		
3	铣外形及 $\phi 70mm$ 孔			T03	800	400		
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页	

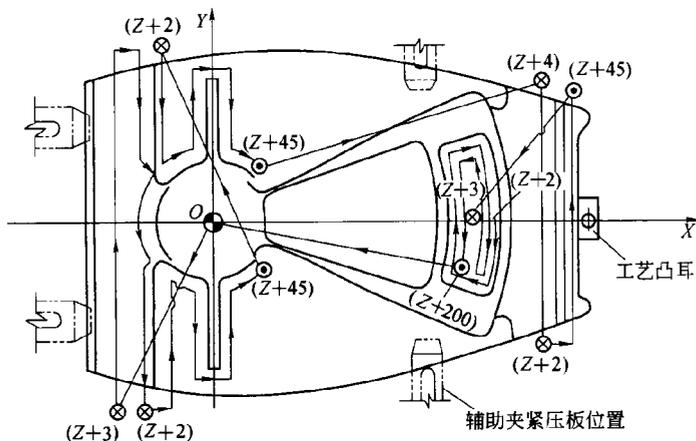
### 5. 确定进给路线

图 4-76、4-77 和 4-78 是数控精铣工序中三个工步的进给路线。图中  $Z$  值是铣刀在  $Z$  方向的移动坐标。在第三工步进给路线中,铣削  $\phi 70mm$  孔的进给路线未绘出。粗铣进给路线从略。

### 6. 选择刀具

铣刀种类及几何尺寸根据被加工表面的形状和尺寸选择。本例数控精铣工序选用铣刀为立铣刀和成形铣刀,刀具材料为高速钢,所选铣刀及其几何尺寸见表 4-5 数控加工刀具卡片。

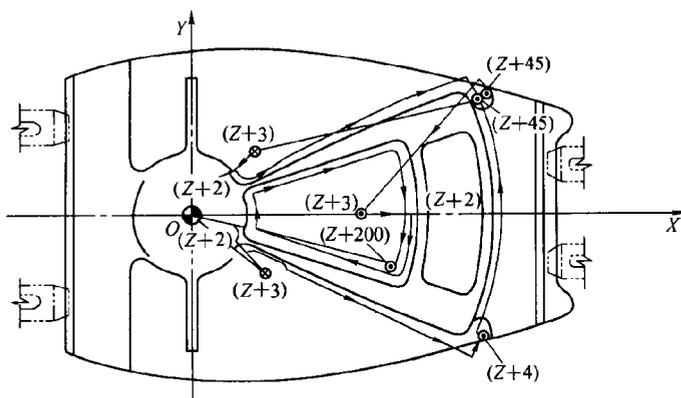
数控机床进给路线图		零件图号	工序号	工步号	1	程序编号	
机床型号	程序段号	加工内容	铣型面轮廓周边 R5 mm			共3页	第1页



符号	⊙	⊗	⊕	→	↔	↔	编程	校对	审批
含义	抬刀	下刀	程编原点	起始	进给方向	进给线相交	爬斜坡 钻孔	行切 轨迹重叠	回切

图 4-76 铣支架零件型面轮廓周边 R5m 进给路线图

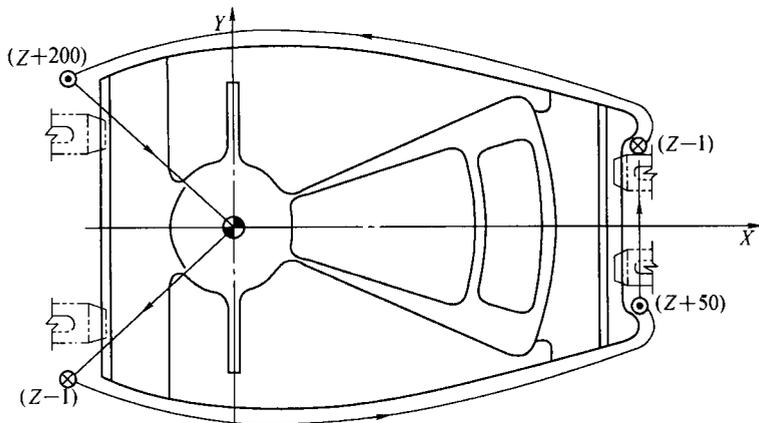
数控机床进给路线图		零件图号	工序号	工步号	2	程序编号	
机床型号	程序段号	加工内容	铣扇形框内外形			共3页	第2页



符号	⊙	⊗	⊕	→	↔	↔	编程	校对	审批
含义	抬刀	下刀	程编原点	起始	进给方向	进给线相交	爬斜坡 钻孔	行切 轨迹重叠	回切

图 4-77 铣支架零件扇形框内外形进给路线图

数控机床进给路线图		零件图号	工序号	工步号	3	程序编号
机床型号	程序段号	加工内容		铣削外形及内孔 $\phi 70\text{ mm}$		共3页 第3页



符号	◎	⊗	●	→	←	↔	⋯	⊙	↔	↔	↔	↔
含义	拾刀	下刀	编程原点	起始	进给方向	进给线相交	爬斜坡	钻孔	行切	轨迹重叠	回切	

图 4-78 铣支架零件外形进给路线图

表 4-5 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		零件名称	盖板	零件图号	刀具		程序编号	备注
工步号	刀具号	刀具名称	刀柄型号	刀具		补偿值/mm		
				直径/mm	长度/mm			
1	T01	立铣刀		$\phi 20$	45			底圆角 R5mm
2	T02	成形铣刀		小头 $\phi 20$	45			底圆角 R10mm 7°斜角
3	T03	立铣刀		$\phi 20$	40			底圆角 R0.5mm
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页	

### 7. 确定切削用量

切削用量根据工件材料、刀具材料及图样要求选取。数控精铣的三个工步所用铣刀

直径相同,加工余量和表面粗糙度也相同,故可选择相同的切削用量。所选主轴转速  $n$ :  $800\text{r/min}$ ,进给速度  $9\text{ }400\text{mm/min}$ (见表 4-4)。

## 二、汽车覆盖件模具拉伸凸模加工工艺流程介绍

下面以某汽车上一个覆盖件模具拉伸凸模(加工制件图见图 4-79)为例,介绍其数控自动编程加工中的一些工艺问题。

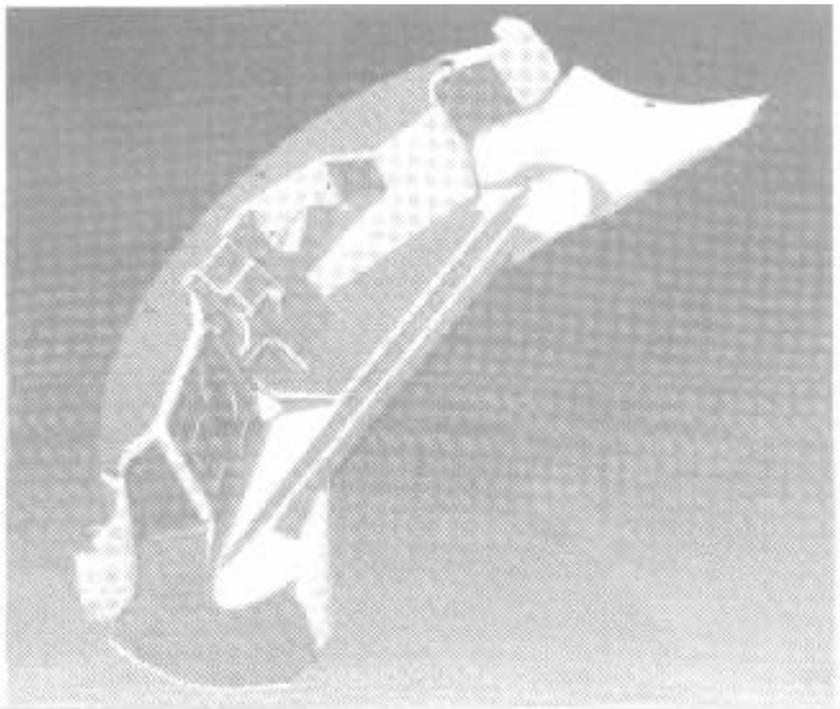


图 4-79 拉伸凸模加工制件图

### 1. 拉伸凸模制件产品介绍

此产品需经过五道冲压工序才能冲压完成。

第一道工序:拉伸,将产品的整个形状冲压成形。

第二道工序:修边冲孔,将产品的外形轮廓和型面上的孔冲压出来。

第三道工序:侧切口冲孔,采用斜楔冲孔和切口,将产品的侧面部分冲压出来。

第四道工序:翻边整形,将产品切口做翻边整理。

第五道工序:翻口,将产品上的一个圆口翻口。

以上是产品的冲压工艺过程(即 DL 图)。编程时要根据这五道工序去做整理和工艺补充,然后进行数控加工。

### 2. 编程过程中相关工艺问题的处理

#### (1) 毛坯定义

按模型定义计算。

## (2) 刀具选择

整个型面加工需要  $\phi 40\text{mm}$  球头铣刀、 $\phi 30\text{mm}$  球头铣刀、 $\phi 20\text{mm}$  球头铣刀、 $\phi 16\text{mm}$  球头铣刀、 $\phi 10\text{mm}$  球头铣刀。

## (3) 进给率

按软件默认值。

## (4) 安全高度 $Z50\text{mm}$ 。

## (5) 起刀点 $X0 Y0 Z100\text{mm}$ 。

## (6) 加工方式

采用等高加工方式、平行加工方式、笔式清根加工方式、区域清根加工方式。

## (7) 切入切出和连接

曲面短连接, 掠过长连接。

## (8) $\phi 40\text{mm}$ 刀清根

采用笔式加工, 公差  $0.5\text{min}$ , 裕留量  $2\text{mm}$ , 方向逆铣, 用  $\phi 40\text{mm}$  刀, 按轮廓确定边界, 然后生成刀具路径, 图 4-80 为  $\phi 40\text{mm}$  刀清根加工仿真图。

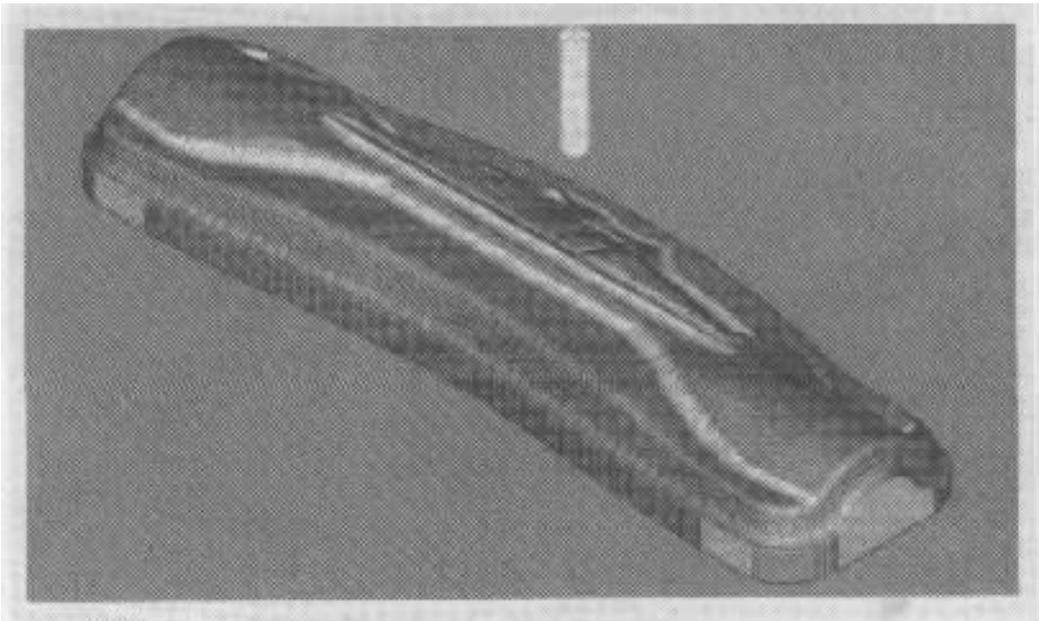


图 4-80  $\phi 40\text{mm}$  刀清根加工仿真图

## (9) 等高方式粗加工

公差  $0.5\text{mm}$ , 裕留量  $2\text{mm}$ , 行距  $6\text{mm}$ , 方向逆铣, 用  $\phi 40\text{mm}$  刀, 按轮廓确定边界, 然后生成刀具路径, 图 4-81 为粗加工仿真图。等高粗加工方式应注意走刀方式是从上往下走, 均匀切除余量, 尽量减少抬刀次数。

### (10) $\phi 30\text{mm}$ 刀清根

采用笔式加工方式,公差  $0.1\text{mm}$ ,裕留量  $0.5\text{mm}$ ,方向顺铣,用  $\phi 30\text{mm}$  刀,按轮廓确定边界,生成刀具路径。应注意的是走刀方向必须顺铣,减少抬刀次数。

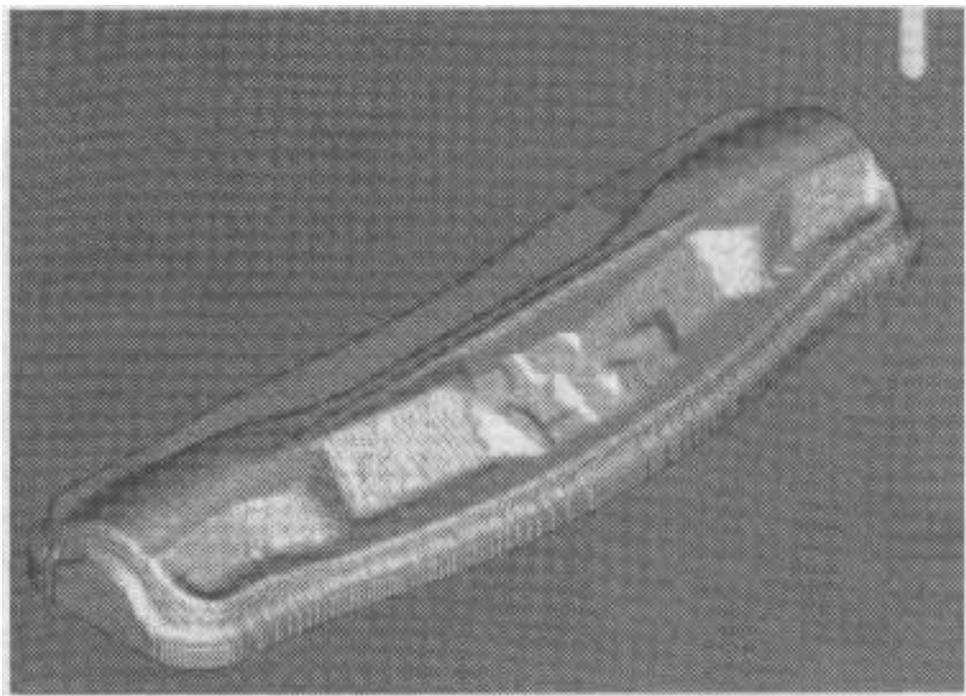


图 4-81 粗加工仿真图

### (11) 平行走刀方式半精加工

公差  $0.1\text{mm}$ ,裕留量  $0.5\text{mm}$ ,方向任意,用  $\phi 30\text{mm}$  刀,行距为  $2\text{mm}$ ,走刀角度为  $45^\circ$ ,生成刀具路径,图 4-82 为半精加工仿真图。

### (12) $\phi 20\text{mm}$ 刀清根

采用笔式加工方式,公差  $0.02\text{mm}$ ,裕留量  $0.2\text{mm}$ ,方向顺铣,用  $\phi 20\text{mm}$  刀,按轮廓确定边界,生成刀具路径,图 4-83 为  $\phi 20\text{mm}$  刀清根加工仿真图。

### (13) 平行走刀方式精加工

公差  $0.02\text{mm}$ ,裕留量为  $0\text{mm}$ ,行距为  $0.6\text{mm}$ ,用  $\phi 20\text{mm}$  刀,走刀的角度为  $45^\circ$ ,生成刀具路径,图 4-84 为精加工仿真图。此加工过程由于采用  $45^\circ$  平行走刀方式,对较陡峭的两个头的加工质量不太好,要采用刀具路径裁剪的方式把这些路径裁剪掉,然后再用  $135^\circ$  平行走刀的方式走一刀,把裁剪的部分用此走刀方式补加工,这样加工出来的表面质量才能满足要求。

### (14) $\phi 16\text{mm}$ 刀清根

采用笔式加工方式,公差  $0.02\text{mm}$ ,余量  $0.1\text{mm}$ ,用  $\phi 16\text{mm}$  刀,切削方式为顺铣,然后生成刀具路径。

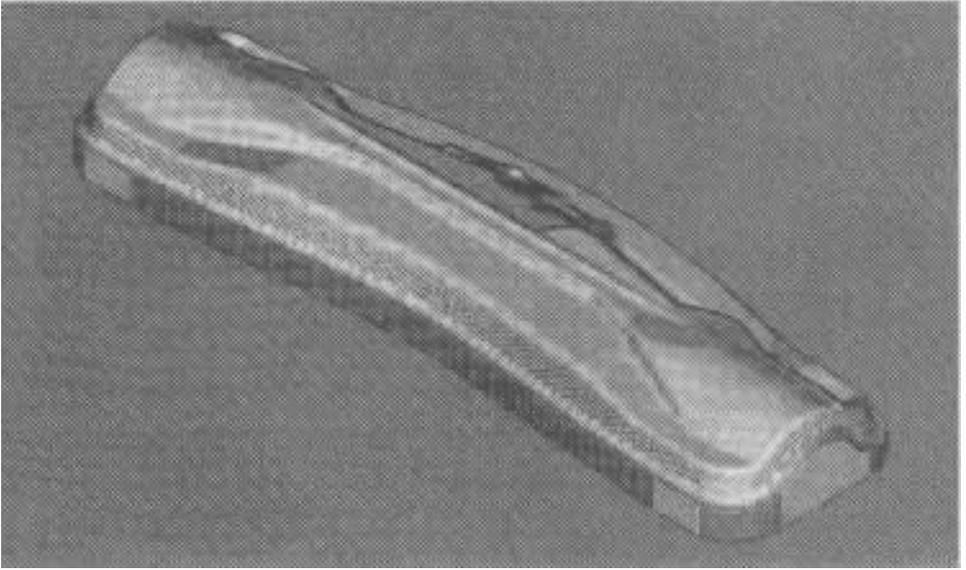


图 4-82 半精加工仿真图

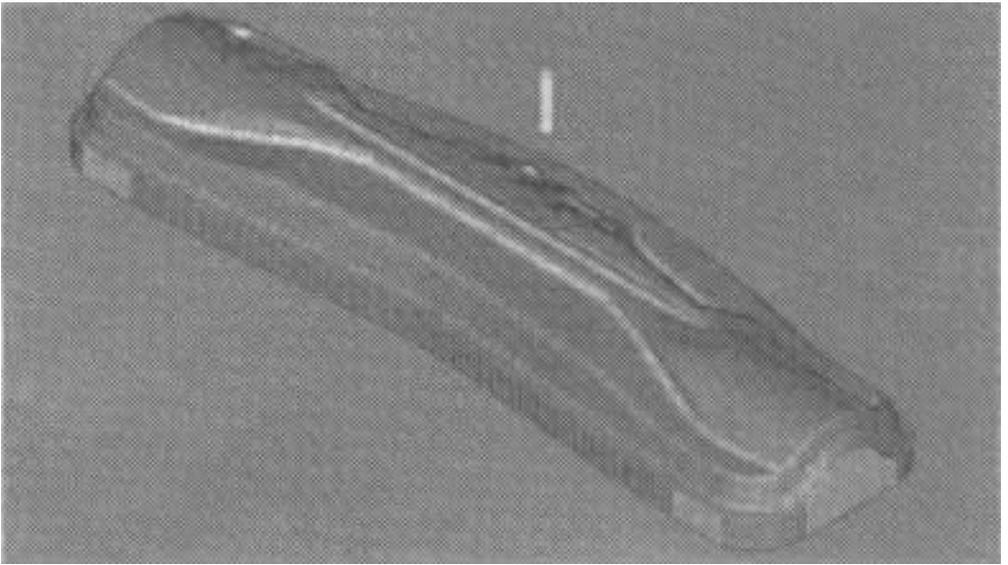


图 4-83  $\phi 20\text{mm}$  刀清根加工仿真图

#### (15) $\phi 10\text{mm}$ 刀清根

采用区域清根加工方式,公差  $0.02\text{mm}$ ,裕留量为  $0\text{mm}$ ,用  $\phi 10\text{mm}$  刀,走刀方式为顺铣,分界角为  $30^\circ$ ,残留高度  $0.05\text{mm}$ ,生成刀具路径。图 4-85 为  $\phi 10\text{mm}$  刀区域清根加工仿真图。

另外需注意的几点是:

- 1) 精度较高的清根加工必须用顺铣。

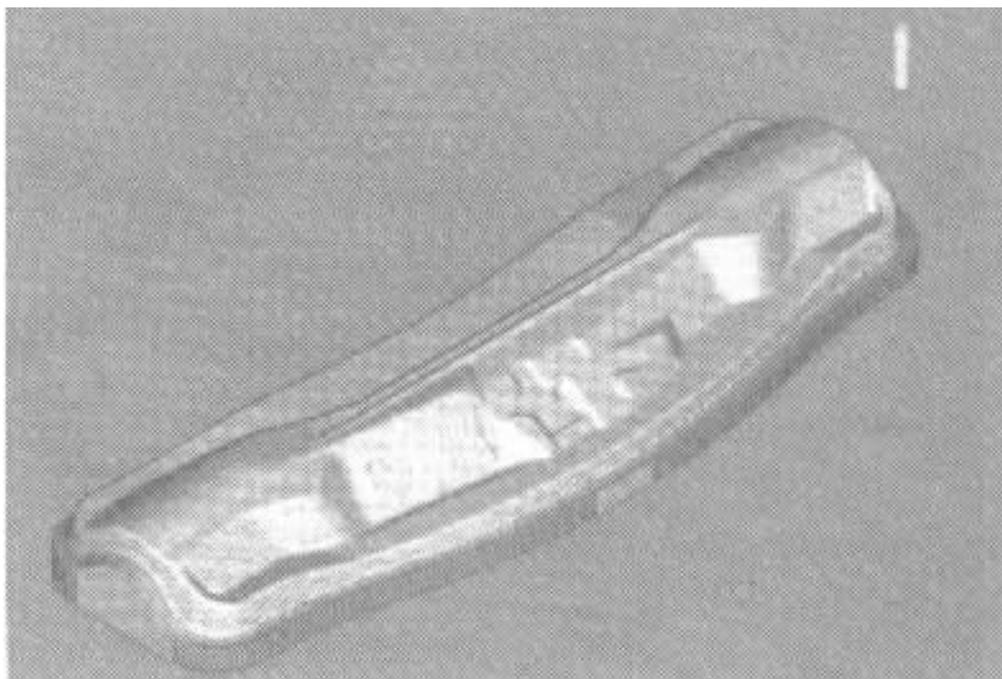
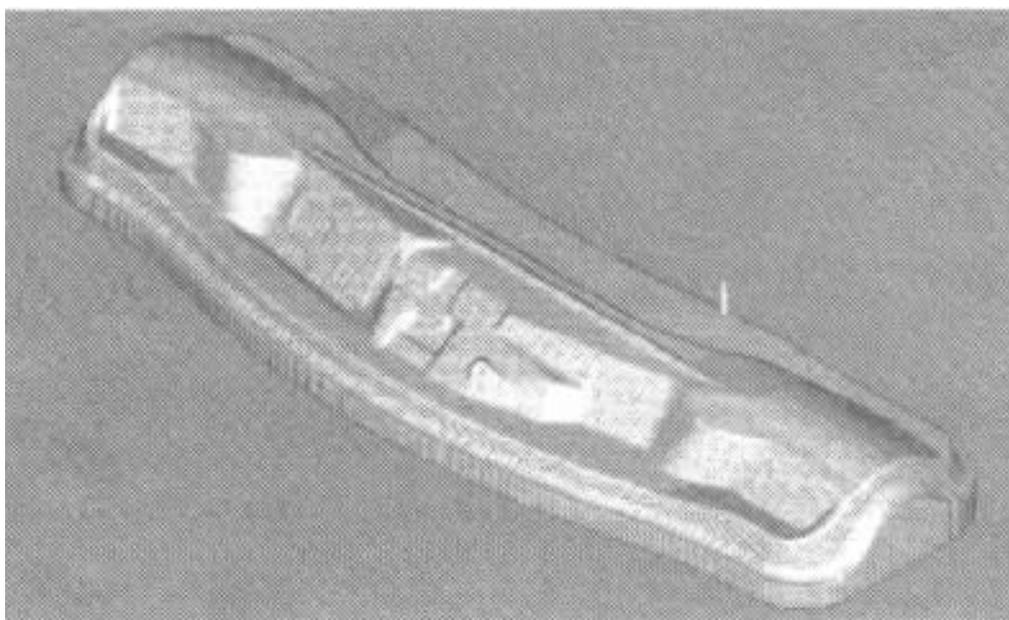


图 4-84 精加工仿真图

图 4-85  $\phi 10\text{mm}$  刀区域清根加工仿真图

- 2) 平行加工时注意走刀方式和减少抬刀次数。
- 3) 精加工时注意在死角和较陡峭处加工效果不好,应采取剪裁的方式,然后转换角度

对剪裁的部分补加工。

4) 注意加工区域的选择, 刀尖点到加工范围边界较陡峭的地方, 应是刀具的切点到加工区域边界, 而不是刀尖点到边界。

5) 粗加工编程中均以逆铣作为首要加工方式。

6) 对于型面加工中凸包和凹坑比较明显的, 在加工时根据型面特征分区加工, 先加工凸起处, 后加工凹坑处, 最后加工平面处。加工凸起处时, 应采用外侧切向进刀方式。加工凹坑处时, 对于铸件型面应采用切向进刀或螺旋进刀, 对于锻件应在凹坑最深处给出下刀点, 加工方式采用螺旋进刀方式。在加工过程中可能出现摆角加工时, 在程序单中注明摆角极限值。

### 3. NC 加工机床

采用三菱 CNC 立式精密铣床加工。

#### (1) 机床主要参数

主轴电动机功率	22/26kW
工作台尺寸	4000mm × 2000mm
工作台负载量	2.5 × 103kg
工作台行程	X = 4200mm Y = 2500mm ; Z = 1850mm
主轴转速	n = 40 ~ 4000r/min
最大刀具直径	φ60mm
重复定位精度	0.005mm( 全长 )
定位精度	X : ± 0.025mm Y : ± 0.025mm Z : + 0.025mm
快速移动速度	$F_X = 20000\text{mm}/\text{min}$ $F_Y = 16000\text{mm}/\text{min}$ $F_Z = 8000\text{mm}/\text{min}$
进给速度	F = 0 ~ 6000mm/min

#### (2) 性能

具有主轴铣头自动更换功能 ; 三轴联动功能 ; 全闭环控制 ; 图形显示刀具轨迹功能 ; 工件测量功能 ; 工件自动找正功能 ; 刀具半径补偿功能 ; 自诊断功能 ; 显示故障发生的位置并提供维护保养信息 ; 切直角转弯、往复加工自动速度调节功能 ; 超精曲线、曲面加工功能 ( 光顺曲面功能 ) 。

### 4. 主要加工参数

#### (1) φ40mm 刀粗加工( 镶嵌式硬质合金刀片 )

进给速度  $F = 1000\text{mm}/\text{min}$ 、主轴转速  $n = 1200\text{r}/\text{min}$  ;

#### (2) φ40mm 刀清根( 镶嵌式硬质合金刀片 )

进给速度  $F = 400\text{mm}/\text{min}$ 、主轴转速  $n = 700\text{r}/\text{min}$  ;

#### (3) φ30mm 刀半精加工( 镶嵌式硬质合金刀片 )

进给速度  $F = 2000\text{mm}/\text{min}$ 、主轴转速  $n = 2000\text{r}/\text{min}$  ;

#### (4) φ30mm 刀清根( 镶嵌式硬质合金刀片 )

进给速度  $F = 600\text{mm}/\text{min}$ 、主轴转速  $n = 1000\text{r}/\text{min}$  ;

(5)  $\phi 20\text{mm}$  刀精加工(整体硬质合金)

进给速度  $F = 3500\text{mm}/\text{min}$ 、主轴转速  $n = 4500\text{r}/\text{min}$  ;

(6)  $\phi 20\text{mm}$  清根(整体硬质合金)

进给速度  $F = 600\text{mm}/\text{min}$ 、主轴转速  $n = 1500\text{r}/\text{min}$  ;

(7)  $\phi 6\text{mm}$  清根(整体硬质合金)

进给速度  $F = 400\text{mm}/\text{min}$ 、主轴转速  $n = 1000\text{r}/\text{min}$  ;

(8)  $\phi 0\text{mm}$  刀清根(整体硬质合金)

进给速度  $F = 600\text{mm}/\text{min}$ 、主轴转速  $n = 2000\text{r}/\text{min}$ 。

表 4-6 模具型面加工有关参数统计表

切削部位	加工方式	刀具直径	刀具长度	裕留量	公差	切削行距	加工时间	切削路程
型	清根	$\phi 40\text{mm}$	100mm	2mm	0.5mm	/	16min	17.8m
	等高粗加工	$\phi 40\text{mm}$	100mm	2mm	0.5mm	6mm	4h	132.2m
	清根	$\phi 30\text{mm}$	100mm	0.5mm	0.1mm	/	16min	17.9m
	半精加工	$\phi 30\text{mm}$	100mm	0.5mm	0.1mm	2mm	11h	9332m
面	清根	$\phi 20\text{mm}$	100mm	0.2mm	0.02mm	/	16min	17.26m
	精加工	$\phi 20\text{mm}$	100mm	0mm	0.02mm	0.6mm	34.5h	21045m
	清根	$\phi 16\text{mm}$	100mm	0.1mm	0.02mm	/	20min	18.646m
	清根	$\phi 10\text{mm}$	100mm	0mm	0.02mm	残留高度 0.05mm	1.5h	55.6m

## 第五章 加工中心加工工艺

### 第一节 概述

加工中心是在数控铣床的基础上发展起来的。它和数控铣床有很多相似之处,但主要区别在于增加刀库和自动换刀装置,是一种备有刀库并能自动更换刀具对工件进行多工序加工的数控机床。通过在刀库上安装不同用途的刀具,加工中心可在一次装夹中实现零件的铣、钻、镗、铰、攻螺纹等多工序加工。随着工业的发展,加工中心将逐渐取代数控铣床,成为一种主要的加工机床。

#### 一、加工中心的分类

加工中心的分类有多种情况,具体分类如下:

##### (一)按照机床主轴布局形式分类

###### 1. 立式加工中心

指主轴轴线为垂直状态设置的加工中心。其结构形式多为固定立柱式,工作台为长方形,无分度回转功能,适合加工只进行单面加工的零件。在工作台上安装一个水平轴的数控转台后还可加工螺旋线类零件。图5-1所示为一种立式加工中心外形图。立式加工中心的结构简单、占地面积小、价格低。

###### 2. 卧式加工中心

指主轴轴线为水平状态设置的加工中心。通常都带有可进行分度回转运动的正方形分度工作台。卧式加工中心一般具有3-5个运动坐标,常见的是三个直线运动坐标(沿X、Y、Z轴方向)加一个回转运动坐标(回转工作台)。卧式加工中心有

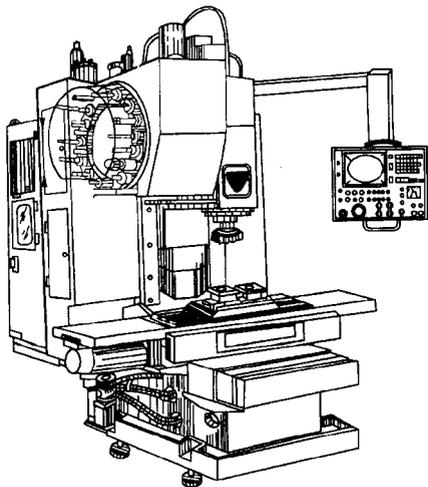


图5-1 立式加工中心外形图

多种形式,如固定立柱式或固定工作台式。它能够使工件在一次装夹后完成除安装面和顶面以外的其余四个面的加工。图 5-2 为一种卧式加工中心外形图。

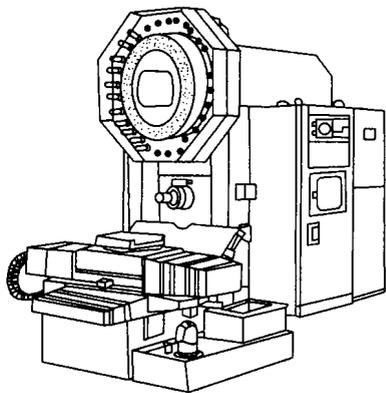


图 5-2 卧式加工中心外形图

卧式加工中心与立式加工中心相比,一般具有刀库容量大,整体结构复杂,体积和占地面积大,价格较高等特点。卧式加工中心比立式加工中心更适合加工复杂的箱体类零件。

### 3. 龙门式加工中心

龙门式加工中心形状与龙门铣床相似,主轴多为垂直设置,带有自动换刀装置,带有可更换的主轴头附件,数控装置的软件功能也较齐全,能够一机多用,尤其适用于大型或形状复杂的工件,如航天工业及大型汽轮机上的某些零件的加工。

### 4. 复合加工中心

复合加工中心指立、卧两用加工中心,即既有立式加工中心功能又有卧式加工中心的功能。这种加工中心通常有两类:一类是靠主轴旋转 $90^\circ$ ,实现立、卧加工模式的切换;另一类靠数控回转台绕 $X$ 轴旋转 $90^\circ$ ,实现两种加工功能。复合加工中心能在工件一次装夹后,完成除安装面外其他五个面的加工,降低了工件二次安装引起的形位误差,大大提高了加工精度和生产效率。但是由于复合加工中心存在着结构复杂、造价高、占地面积大等缺点,所以它的使用和生产在数量上远不如其他类型的加工中心。

## (二) 按换刀形式分类

### 1. 带刀库、机械手的加工中心

加工中心的换刀装置(ATC)是由刀库和机械手组成,换刀机械手完成换刀工作。这是加工中心最普遍采用的形式。

### 2. 无机械手的加工中心

这种加工中心的换刀是通过刀库和主轴箱的配合动作来完成。一般是采用把刀库放在主轴可以运动到的位置,或整个刀库或某一刀位能移动到主轴箱可以达到的位置。刀库中刀的存放位置方向与主轴装刀方向一致。换刀时,主轴运动到刀位上的换刀位置,由主轴直接取走或放回刀具。多用于采用 40 号以下刀柄的小型加工中心。

### 3. 转塔刀库式加工中心

一般在小型立式加工中心上采用转塔刀库形式,主要以孔加工为主。

## 二、加工中心的主要加工对象

加工中心适于加工形状复杂、工序多、精度要求较高、需用多种类型的普通机床和众多的刀具、夹具且经多次装夹和调整才能完成加工的零件。下面介绍一下适合加工中心

加工零件的种类。

### 1. 箱体类零件

箱体类零件一般是指具有孔系和平面,内部有一定型腔,在长、宽、高方向有一定比例的零件。如汽车的发动机缸体、变速箱体,机床的床头箱、主轴箱,齿轮泵壳体等。图 5-3 所示为控制阀壳体,图 5-4 所示为热电机车主轴箱体。

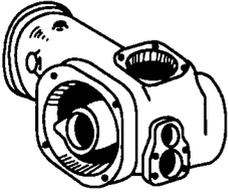


图 5-3 控制阀壳体

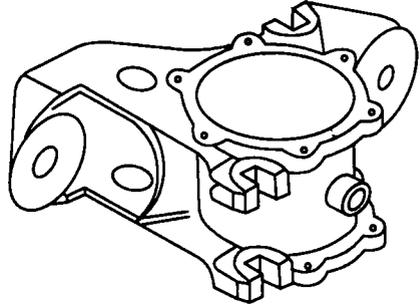


图 5-4 热电机车主轴箱体

箱体类零件一般都需要进行多工位孔系及平面加工,精度要求较高,特别是形状精度和位置精度要求严格,通常要经过铣、钻、扩、镗、铰、铤、攻丝等工序(或工步)加工,需要刀具较多。此类零件在普通机床上加工难度大,工装套数多,费用高,加工周期长,需多次装夹、找正,手工测量次数多,换刀次数多,精度难以保证。而在加工中心上加工,一次装夹可完成普通机床 60% - 95% 的工序内容,零件各项精度一致性好,质量稳定,同时节省费用,生产周期短。

### 2. 带复杂曲面的零件

零件上的复杂曲面用加工中心加工时,与数控铣削加工基本是一样的,所不同的是加工中心刀具可以自动更换,工艺范围更宽,如图 5-5 所示轴向压缩机涡轮。

### 3. 异形件

异形件是外形不规则的零件,大都需要点、线、面多工位混合加工,如图 5-6 所示一种异形支架零件,还有各种样板、靠模等均属此类。由于外形不规则,在普通机床上只能采取工序分散的原则加工,需要工装多,周期长。异形件的刚性一般较差,夹压变形难以控制,加工精度也难以保证,甚至某些零件有的加工部位用普通机床无法加工。用加工中心加工时,利用加工中心多工位点、线、面混合加工的特点,通过采取合理的工艺措施,一次或二次装夹,即能完成多道工序或全部的工序内容。

加工异形件时,形状越复杂,精度要求越高,使用加工中心越能显示优越性。

### 4. 盘、套、轴、板、壳体类零件

带有键槽、径向孔或端面有分布的孔系及曲面的盘、套或轴类零件,如带法兰的轴套,带键槽或方头的轴类零件,具有较多孔加工的板类零件和各种壳体类零件等,适合在加工中心上加工。如图 5-7 所示一种板类零件。

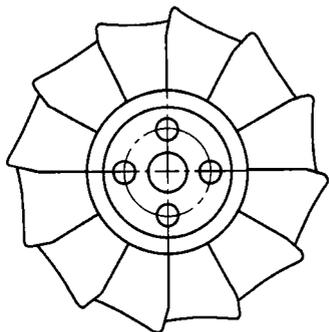


图 5-5 轴向压缩机涡轮

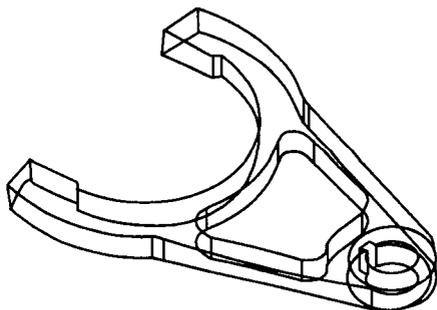


图 5-6 一种异形支架零件

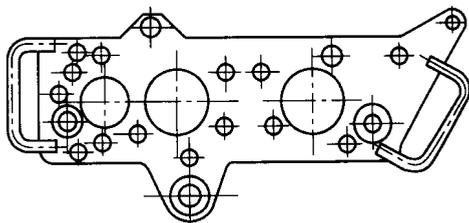


图 5-7 一种板类零件

加工部位集中在单一端面上的盘、套、轴、板、壳体类零件宜选择立式加工中心,加工部位不在同一方向表面上的零件可选卧式加工中心。

## 第二节 加工中心加工工件的安装及对刀、换刀

### 一、加工中心加工工件的安装

#### (一) 加工中心加工定位基准的选择

##### 1. 加工中心加工选择定位基准的基本要求

同普通机床一样,在加工中心上加工时,零件的装夹仍遵守6点定位原则。在选择定位基准时,要全面考虑各个工位的加工情况,满足三个要求:

- (1) 所选基准应能保证工件定位准确,装卸方便、迅速,夹压可靠,夹具结构简单;
- (2) 所选基准与各加工部位间的各个尺寸计算简单;
- (3) 保证各项加工精度。

##### 2. 选择定位基准应遵循的原则

- (1) 尽量选择零件上的设计基准作为定位基准。当加工中心不带自动测定工件坐标

系的功能, 刀具又不能每件每次安装都重新对刀, 加工面与其设计基准不在一次安装中同时加工出来时, 则设计基准与定位基准不重合会存在基准不重合误差。选择设计基准作为定位基准定位, 不仅可以避免因基准不重合而引起的定位误差, 保证加工精度, 且可简化程序编制。在制定零件的加工方案时, 首先要按基准重合原则选择最佳的精基准来安排零件的加工路线。这就要求在最初加工时, 就要考虑以哪些面为粗基准把作为精基准的各面先加工出来, 即在加工中心加工时使用的工件上各个定位基准面应先在前面普通机床或其他数控加工工序中加工完成, 这样容易保证各个工序加工表面相互之间的精度要求。

(2) 当零件的定位基准与设计基准不能重合且加工面与其设计基准又不能在一次安装内同时加工时, 应认真分析装配图纸, 确定该零件设计基准的设计功能, 通过尺寸链的计算, 严格规定定位基准与设计基准间的公差范围, 确保加工精度。对于带有自动测量功能的加工中心, 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程序自动控制用测头检测设计基准, 系统自动计算并修正坐标系, 从而确保各加工部位与设计基准间的几何关系。此时, 原定位基准已不起作用, 已转化为用设计基准为测量基准直接确定工件的位置。

(3) 当在加工中心上无法同时完成包括设计基准在内的全部表面加工时, 要考虑用所选基准定位后, 一次装夹能够完成全部关键精度部位的加工。

(4) 定位基准的选择要保证完成尽可能多的加工内容。为此, 需考虑便于各个表面都能被加工的定位方式。对非回转类工件, 最好采用一面两孔的定位方案, 以便刀具对其他表面进行加工。若工件上没有合适的孔, 可增加工艺孔进行定位。

(5) 批量加工时, 零件定位基准应尽可能与建立工件坐标系的对刀基准(对刀后, 工件坐标系原点与定位基准间的尺寸为定值)重合。批量加工时, 工件采用夹具定位安装, 刀具一次对刀建立工件坐标系后加工一批工件, 建立工件坐标系的对刀基准与零件定位基准重合可直接按定位基准对刀, 减少对刀误差。但在单件加工时(每加工一件对一次刀)或带有自动测量功能的加工中心, 工件坐标系原点和对刀基准的选择应主要考虑便于编程和测量, 可不与定位基准重合。如图 5-8 所示零件, 在加工中心上单件力加工  $\phi 80H7$  孔、 $4 \times \phi 25H7$  孔。 $4 \times \phi 25H7$  孔都以  $\phi 80H7$  孔

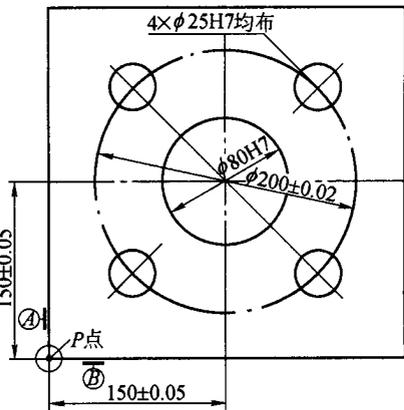


图 5-8 编程原点选择

为设计基准, 编程原点应选在  $\phi 80H7$  孔中心上, 加工时以  $\phi 80H7$  孔中心为对刀基准建立工件坐标系, 而定位基准为 A、B 两面, 定位基准与对刀基准和编程原点不重合。这样的加工方案同样能保证各项精度。如将编程原点选在 A、B 面上, 则编程时计算很繁琐, 还存在不必要的尺寸链计算误差。但批量加工时, 工件采用 A、B 面为定位基准, 即使将编程原点选在  $\phi 80H7$  孔中心上并按  $\phi 80H7$  孔中心对刀,

仍会产生基准不重合误差。因为再安装的工件的  $\phi 80H7$  孔中心的位置是变动的。

(6) 必须多次安装时应遵从基准统一原则。如图 5-9 所示的铣头体, 其中  $\phi 80H7$ 、 $\phi 80K6$ 、 $\phi 90K6$ 、 $\phi 95H7$ 、 $\phi 40H7$  孔及 D-E 孔两端面要在卧式加工中心上加工, 且须经两次装夹才能完成上述孔和面的加工。第一次装夹加工  $\phi 80K6$ 、 $\phi 90K6$ 、 $\phi 80H7$  孔及 D-E 孔两端面; 第二次装夹加工  $\phi 95H7$  及  $\phi 140H7$  孔。为保证孔与孔之间、孔与面之间的相互位置精度, 应选用同一定位基准。根据该零件的具体结构及技术要求, 显然应选 A 面和 A 面上两孔为定位基准。为此, 在前面工序中加工出 A 面及两个定位用的工艺孔  $2 \times \phi 16H6$ , 两次装夹都以 A 面和  $2 \times \phi 16H6$  孔定位, 可减少因定位基准转换而引起的定位误差。

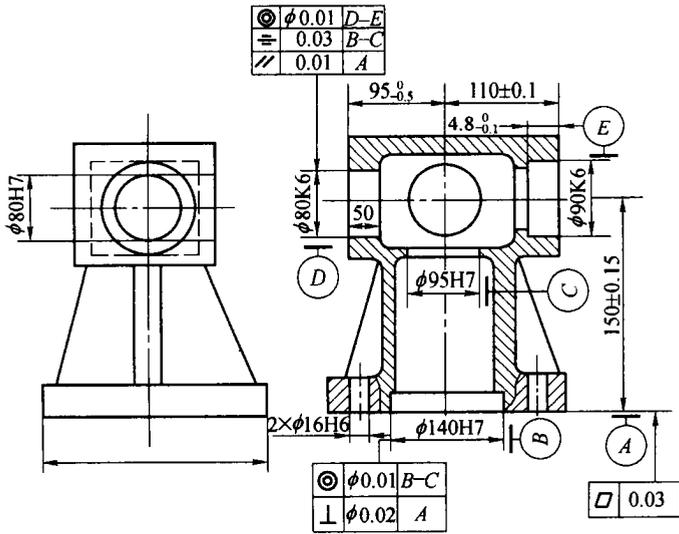


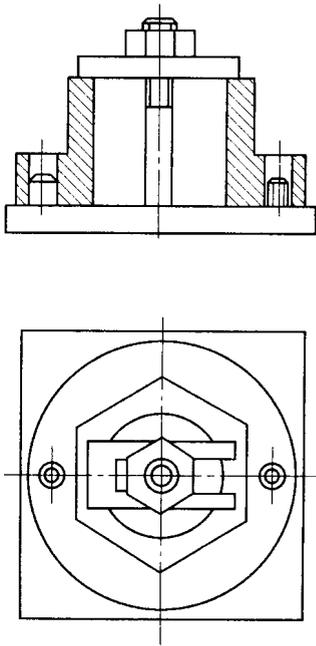
图 5-9 铣头体简图

## (二) 加工中心夹具的确定

### 1. 对夹具的基本要求

加工中心加工时实际上一般只要求有简单的定位、夹紧机构, 其设计原理与通用镗、铣床夹具是相同的。结合加工中心加工的特点, 这里只提出基本要求:

(1) 夹紧机构或其他元件不得影响进给, 加工部位要敞开。为保持工件在本工序中所有需要完成的待加工面充分暴露在外, 夹具要做得尽可能开敞, 因此要求夹持工件后夹具上一些组成件(如定位块、压块和螺栓等)不能与刀具运动轨迹发生干涉。夹紧机构元件与加工面之间应保持一定的安全距离, 同时要求夹紧机构元件能低则低, 以防止夹具与加工中心主轴套筒或刀套、刀具在加工过程中发生碰撞。图 5-10 所示零件用立铣刀铣削零件的六边形, 若用压板机构压住工件的 A 面, 则压板易与铣刀发生干涉, 若夹压 B 面, 就不影响刀具进给。当在卧式加工中心上对工件的四周进行加工时, 若很难安排夹具的定位和夹紧装置, 则可以通过减少加工表面来留出定位夹紧元件的空间。图 5-11 所示



为一箱体零件,可利用其内部空间来安排夹紧机构,将其加工表面敞开。

(2)为保持零件安装方位与机床坐标系及编程坐标系方向的一致性,夹具应能保证在机床上实现定向安装,还要求能使零件定位面与机床之间保持一定的坐标联系。

(3)夹具的刚性和稳定性要好。

1)在考虑夹紧方案时,夹紧力应力求靠近主要支撑点,或在支撑点所组成的三角形内,并靠近切削部位及刚性好的地方,尽量不要在被加工孔的上方。

零件在粗加工时,切削力大,需要夹紧力大,但又不能使零件夹压变形,因此,必须慎重选择夹具的支撑点和夹紧点。避免将夹紧力加在零件无支撑的区域。如采用这些措施后仍不能控制零件变形,只能将粗、精加工工序分开,或者粗加工程序仅考虑粗加工过程,在粗加工后编一个任选停止指令,操作者松开压板,使工件消除变形后重新夹紧再继续进行精加工。

2)尽量不采用在加工过程中更换夹紧点的设计。当非要在加工过程中更换夹紧点不可时,要特别注意不能因更换夹紧点而破坏夹具或工件定位精度。即使采用刚度较高的机床进行加工,如果加工的工件及其夹具没有足够的刚性,也会出现自激振动或尺寸偏差,影响加工精度。

图 5-10 不影响进给的装夹示例

(4)装卸方便,辅助时间尽量短。由于加工中心效率高,装夹工件的辅助时间对加工效率影响较大,所以要求配套夹具在使用中也要装卸快而方便。

(5)对小型零件或工序不长的零件,可以考虑在工作台上同时装夹几件进行加工,以提高加工效率。例如在加工中心工作台上安装一块与工作台大小一样的图 5-12a 所示平板,该平板既可作为大工件的基础板,也可作为多个小工件的公共基础板。又如在卧式加工中心分度工作台上安装一块如图 5-12b 所示的四周都可装夹一件或多件工件的立方基础板,可依次加工装夹在各面上的工件。当一面在加工位置进行加工的同时,另三面都可装卸工件,因此能显著减少换刀次数和停机时间。

(6)夹具结构应力求简单。由于零件在加工中心上加工大都采用工序集中原则,加工的部位较多,同时批量较小,零件更换周期短,夹具的标准化、通用化和自动化对加工效率的提高及加工费用的降低有很大影响。

(7)减少更换夹具的准备——结束时间。夹具应便于与机床工作台面及工件定位面

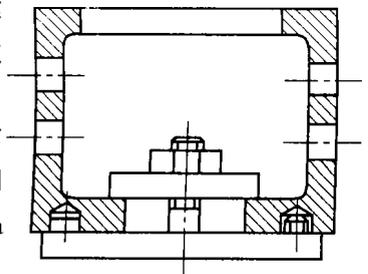


图 5-11 敞开加工面的装夹示例

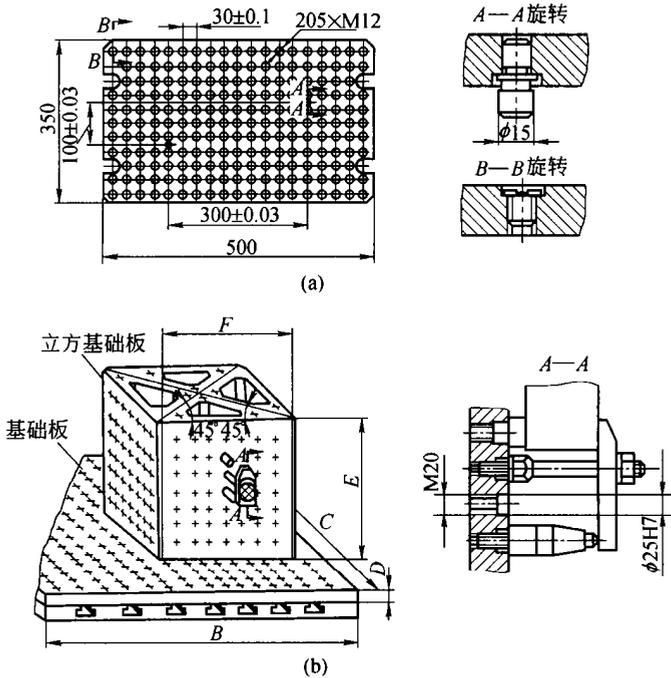


图 5-12 新型数控夹具元件

间的定位连接。加工中心工作台上一般都有基准 T 形槽、定位孔；转台中心有定位圆；台面侧面有基准挡板等定位元件。可先在机床上设置与夹具配合的定位元件，在组合夹具的基座上精确设计定位孔，以便与机床床面定位孔或槽对准来保证编程原点的位置。对于夹具定位件在机床上的安装方式，由于加工中心主要是加工批量不大的小批或成批零件，在机床工作台上会经常更换夹具，这样易磨损机床台面上的定位槽，且在槽中装卸定位件十分费力，也会占用较长的停机时间。为此，在机床上用槽定向的夹具，其定位元件常常不固定在夹具体上而固定在机床的工作台上，当夹具在机床上安装时，夹具体上有引导棱边的淬火套导向。固定方式一般用 T 形槽螺钉或工作台面上的紧固螺孔，用螺栓或压板压紧。夹具上用于紧固的孔和槽的位置必须与工作台上的 T 形槽和孔的位置相对应。

(8) 减小夹具在机床上的使用误差。夹具上定位元件定位面的任何磨损以及任何污秽都会引起加工误差，因此，操作者在装夹工件时一定要将定位面擦干净。

## 2. 常用夹具种类

加工中心加工常用的夹具大致有以下几种：

### (1) 通用夹具

一般为可装夹各种零件的机床附件或通用装夹工具。如各种虎钳、分度头和三爪卡盘等通用夹具。图 5-13 为数控气动立卧式分度工作台。端齿盘为分度元件，靠气动转位分度，可完成  $5^\circ$  为基数的整倍垂直（或水平）回转坐标的分度。图 5-14 为数控回转台

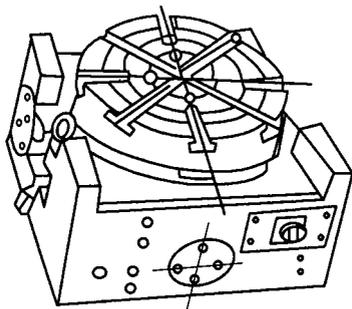


图 5-13 数控分度工作台

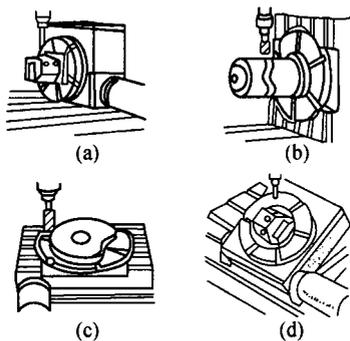


图 5-14 数控回转台(座)

(座),一次安装工件,可从四面甚至五面加工坯料。图 5-14a 可作四面加工;图 5-14b、图 5-14c 可作圆柱凸轮的成形面和平面凸轮加工;图 5-14d 为双回转台,可用于加工在表面上成不同角度布置的孔,可作五个方向的加工。

## (2) 组合夹具

组合夹具是由一套结构已经标准化,尺寸已经规格化的通用元件、组合元件所构成。可以按工件的加工需要组成各种功用的夹具。组合夹具具有槽系组合夹具和孔系组合夹具。图 5-15 为一孔系组合夹具,图 5-16 为一槽系组合夹具。

组合夹具一般满足标准化、系列化、通用化要求,具有组合性、可调性、模拟性、柔性、应急性和经济性,使用寿命长,能适应产品加工中的周期短、成本低等要求,比较适合加工中心应用。

但是,由于组合夹具是由各种通用标准元件组合而成的,各元件间相互配合的环节较多,夹具精度、刚性比不上专用夹具,尤其是元件连接的接合面刚度,对加工精度影响较大。通常,采用组合夹具时其加工尺寸精度只能达到 IT8~IT9 级。此外,组合夹具总体显得笨重,还有排屑不便等不足。

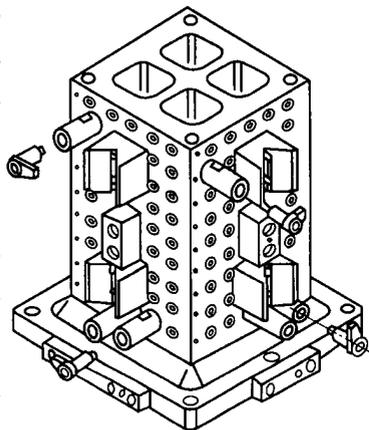


图 6-15 孔系组合夹具

## (3) 专用夹具

这是特别为某一项或类似的几项加工专门设计制造的夹具,具有结构合理,刚性强,装夹稳定可靠,操作方便,提高安装精度及装夹速度等优点。选用这种夹具,一批工件加工后尺寸比较稳定,互换性也较好,可大大提高生产率。但是,专用夹具所固有的只能为一种零件的加工所专用的狭隘性,是和产品品种不断变型更新的形势不相适应的,特别是专用夹具的设计和制造周期长,花费的劳动量较大,加工简单零件显然不太经济。一般对于工厂的主导产品,批量较大,精度要求较高的关键性零件,在加工中心上加工时,可以选用专用夹具。专用夹具中的夹紧机构一般采用气动或液压夹紧机构,能减轻工人劳动强

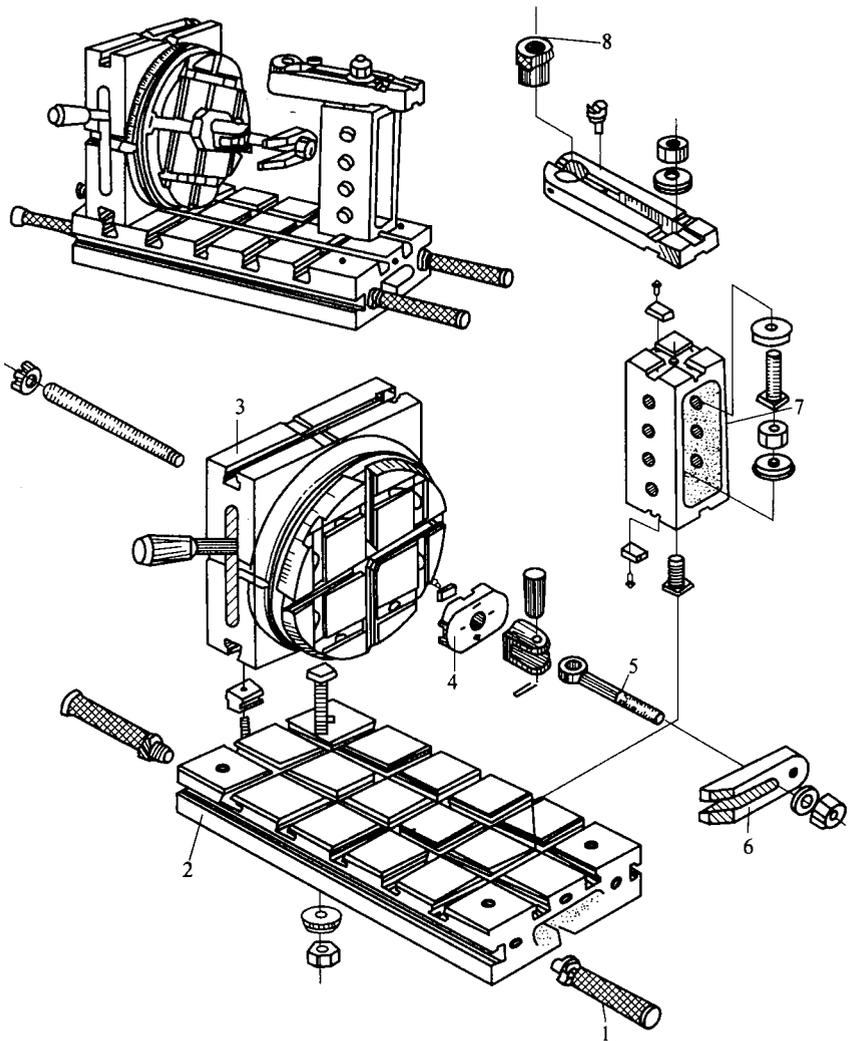


图 5-16 槽系组合夹具

1-其他件 2-基础件 3-合件 5-定位件；  
5-紧固件 5-压紧件 7-支撑件 8-导向件

度和提高生产率。

#### (4)可调整夹具

是组合夹具和专用夹具的结合。可调整夹具能有效地克服以上两种夹具的不足,既能满足加工精度要求,又有一定的柔性。可调整夹具与组合夹具主要不同之处是它具有一系列整体刚性好的夹具体,在夹具体上设置了具有定位、夹紧等多功能的T型槽及台阶式光孔、螺孔。配制有多种夹压、定位元件。

#### (5)多工位夹具

可以同时装夹多个工件,减少换刀次数,也便于一面加工,一面装卸工件,有利于缩短辅助时间,提高生产率,较适宜于中批量生产。

### (6)成组夹具

成组夹具是随成组加工工艺的发展而出现的。使用成组夹具的基础是对零件的分类。通过工艺分析,把形状相似、尺寸相近的各种零件进行分组编制成组工艺,然后把定位、夹紧和加工方法相同的或相似的零件集中起来,统筹考虑夹具的设计方案。对结构外形相似的零件,采用成组夹具,具有经济、装夹精度高等特点。

### 3. 加工中心夹具选用的原则

加工中心夹具的选择要根据零件精度等级、结构特点、产品批量及机床精度等情况综合考虑。

(1)在单件生产或产品研制时,应广泛采用通用夹具、组合夹具和可调整夹具,只有在通用夹具、组合夹具和可调整夹具无法解决工件装夹时才考虑采用其他夹具。

(2)小批量或成批生产时可考虑采用简单专用夹具。

(3)在生产批量较大时可考虑采用多工位夹具和高效气动、液压等专用夹具。

(4)采用成组工艺时应使用成组夹具。

### 4. 确定零件在机床工作台上装夹时的最佳位置

在卧式加工中心上加工零件时,一般要进行多工位加工,这时要确定零件(包括夹具)在机床工作台上的最佳位置,该位置是考虑机床行程中各种干涉情况,优化匹配各部位刀具长度而确定的。如果考虑不周,将会造成机床超程,更换刀具,影响加工精度或重新进入试切阶段而造成浪费工时等不良后果。

加工中心具有的自动换刀(ATC)功能决定了其最大的弱点为刀具悬臂式加工,因此,在进行多工位零件的加工时,应综合计算各加工表面到机床主轴端面的距离以选择最佳的刀辅具长度,提高工艺系统的刚性,从而保证加工精度。

当某一工位的加工部位距工作台回转中心的距离 $Z$ 向为 $L_{Zi}$ (工作台移动式机床,向主轴移动 $L_{Zi}$ 为正、背离主轴移动 $L_{Zi}$ 为负),机床主轴端面到工作台回转中心的最小距离为 $Z_{\min}$ ,最大距离为 $Z_{\max}$ ,加工该部位的刀辅具长度(主轴端面与刀具端部之间的距离,即刀具长度补偿)为 $H_i$ ,则确定刀辅具长度时,应满足式(5-1)、(5-2):

$$H_i > Z_{\min} - L_{Zi} \quad (5-1)$$

$$H_i < Z_{\max} - L_{Zi} \quad (5-2)$$

满足式(5-1)可以避免机床负向超程,满足式(5-2)可以避免机床正向超程。

在满足上述两式的情况下,多工位加工时工件应尽量居工作台中间部位,单工位加工(如图5-17所示件1加工A面上孔)或相邻两工位加工时(如图5-17中件2上B、C面加工),则将零件靠工作台一侧或一角安置,以减小刀具长度,提高系统刚

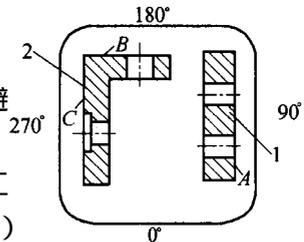


图5-17 工件在工作台上的位置

性。此外,还应能方便准确地测量各工位工件坐标系原点的位置。有关加工中心刀具长度的计算见第三章第五节。

## 二、加工中心加工的对刀、换刀

### (一)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。有关加工中心对刀点选择的原则与数控车削对刀点选择的原则相同,读者可参见第四章第二节。一般来说,加工中心对刀点应选在工件坐标系原点上,或至少 $X$ 、 $Y$ 方向重合,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。

#### 2. 换刀点的确定

在加工中心等使用多种刀具加工的机床上,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到工件、夹具和机床的原则而定。一般加工中心的换刀点往往是固定的点。

### (二)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,对刀方法一定要同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)。用这种方法找正每次需 $0.5 \sim 1$  h,效率较低。目前有些工厂采用了光学或电子装置等新方法来减少工时和提高找正精度。加工中心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. 工件坐标系原点(对刀点)为圆柱孔(或圆柱面)的中心线

##### (1)采用杠杆百分表(或千分表)对刀

如图5-18所示,操作步骤为:

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 S5”指令,使主轴低速正转;

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);

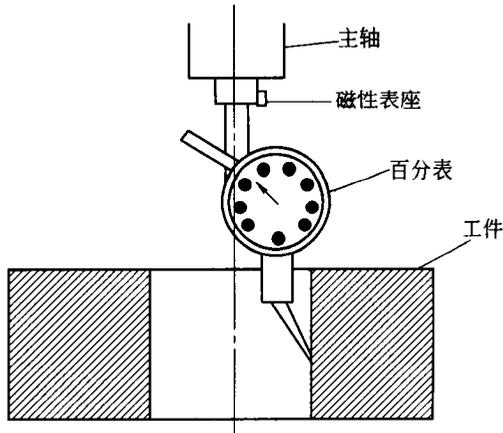


图 5-18 采用杠杆百分表(或千分表)对刀

3) 移动  $Z$  轴,使表头压住被测表面,指针转动约  $0.1\text{mm}$ ;

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  $0.02\text{mm}$ ,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  $X$ 、 $Y$  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(该位置为程序起点,即对刀点)则指令形式为:G92 X0 Y0 Z $\gamma$ , $\gamma$  值由  $Z$  向对刀保证。

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

寻边器的工作原理如图 5-19 所示。光电式寻边器一般由柄部和触头组成,它们之间有一个固定的电位差。触头装在机床主轴上时,工作台上的工件(金属材料)与触头电位相同,当触头与工件表面接触时就形成回路电流,使内部电路产生光、电信号。这就是光电式寻边器的工作原理。其操作步骤为:

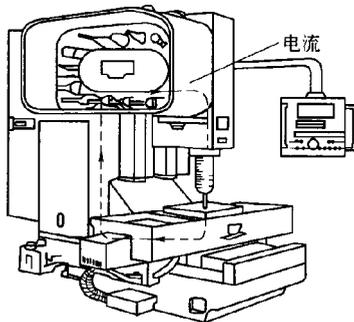


图 5-19 寻边器的工作原理

- 1) 取出寻边器装到主轴上并依  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的顺序手动操作将寻边器测头靠近被测孔，使其大致位于被测孔的中心上方；
- 2) 将测头下降至球心超过被测孔上表面的位置；
- 3) 沿  $X$  (或  $Y$ ) 方向缓慢移动测头直到测头接触到孔壁，指示灯亮，然后反向移动至指示灯灭；
- 4) 逐级降低移动量 ( $0.1\text{mm} \rightarrow 0.01\text{mm} \rightarrow 0.001\text{mm}$ ) 移动测头直至指示灯亮，再反向移动至指示灯灭，最后使指示灯稳定发亮 (此项操作的目的是获得准确的对刀精度)；
- 5) 把机床相对坐标  $X$  (或  $Y$ ) 置零，用最大移动量将测头向另一边孔壁移动，指示灯亮，然后反向移动至指示灯灭；
- 6) 重复操作第 4) 项；
- 7) 记下此时机床相对坐标的  $X$  (或  $Y$ ) 值；
- 8) 将测头向孔中心方向移动到前一步骤记下  $X$  (或  $Y$ ) 坐标的一半处，即得被测孔中心的  $X$  (或  $Y$ ) 坐标；
- 9) 沿  $Y$  (或  $X$ ) 方向，重复以上操作，可得被测孔中心的  $Y$  (或  $X$ ) 坐标。这种方法操作简便、直观，对刀精度高，应用广泛，但被测孔应有较高的精度。

## 2. 工件坐标系原点 (对刀点) 为两相互垂直直线的交点

### (1) 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 5-20 所示。

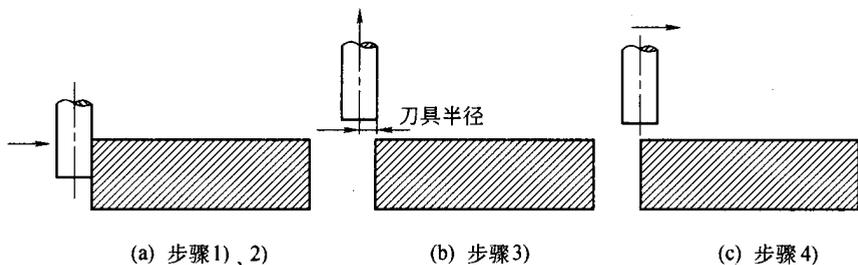


图 5-20 试切对刀

其操作步骤为：

- 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，直到铣刀周刃轻微接触到工件表面，即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  $Y$ ) 偏置值；
- 6) 沿  $Y$  (或  $X$ ) 方向重复以上操作，可得被测边的  $Y$  (或  $X$ ) 偏置值。

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,可以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,还可以采用标准芯轴和块规来对刀,如图 5-21 所示。

(2) 采用寻边器对刀

如图 5-22 所示,其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。

3. 机外对刀仪对刀

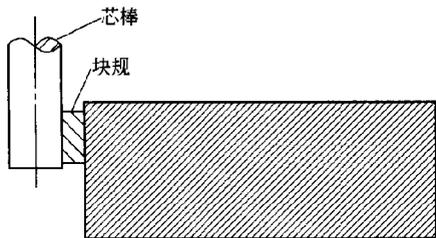


图 5-21 采用标准芯轴和块规来对刀

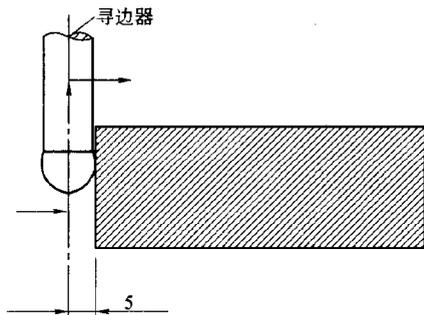


图 5-22 采用寻边器对刀

加工中心机外对刀仪示意图如图 5-23 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。

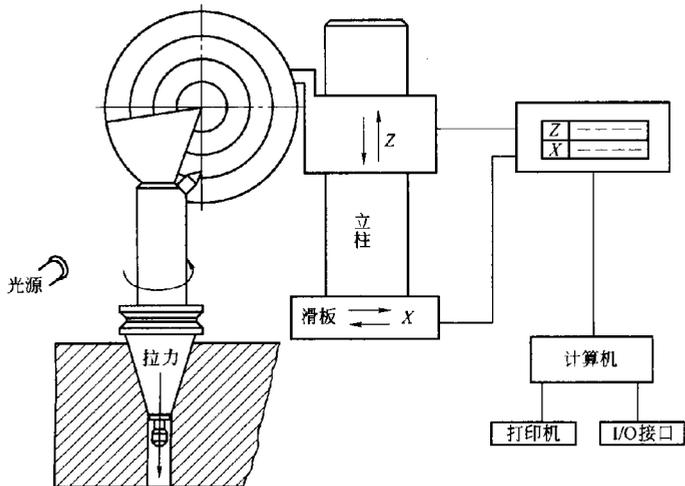


图 5-23 对刀仪示意图

### (1) 对刀仪的组成

对刀仪由下列三部分组成：

#### 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,所以要有很高的精度,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:①回转精度很高的主轴;②使主轴回转的传动机构;③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量点(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

有这部分装置的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。

### (2) 使用对刀仪应注意的问题

1) 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。

2) 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:①刀具和机床的精度和刚度;②加工工件的材料和状况;③冷却状况和冷却介质的性质;④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 $0.01 \sim 0.05\text{mm}$ 。

#### 4. 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5-24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刃与工件表面或 $Z$ 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,其操作步骤如下：

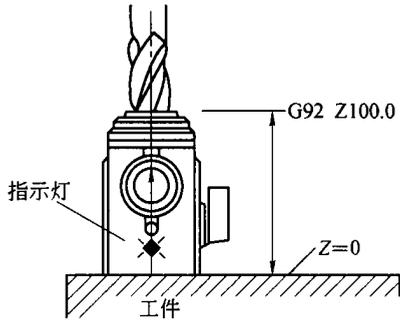


图 5-24 Z 向设定器

1) 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 如图 5-25 所示的 A、B、C 并记录下来；

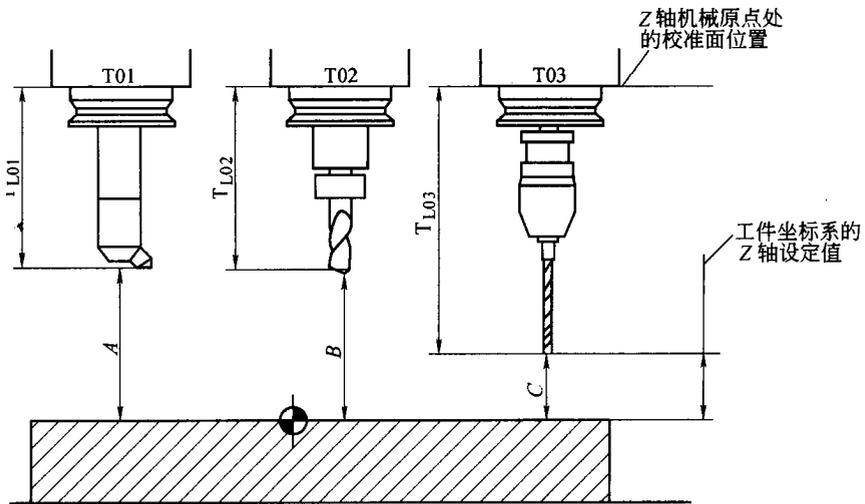


图 5-25 刀具长度补偿

2) 找出其中最(长或最短)到工件距离最小(或最大)的刀具,如图中的 T03(或 T01),将其对刀值 C(或 A)作为工件坐标系的 Z 值,此时 T03 = 0;

3) 确定其他刀具的长度补偿值,即  $T01 = \pm |C - A|$ ,  $T02 = \pm |C - B|$ ,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,然后在机床上以主轴轴线与主轴前端的交点(主轴中心)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。

### (三) 卧式加工中心多工位加工中的对刀问题

#### 1. 工件坐标系原点的测量

零件找正或夹具定位装夹后,必须正确测定工件的编程原点在机床坐标系中的坐标值,然后输入到偏置页面。这里就要了解工件坐标系原点坐标值的显示方法。对卧式加工中心(设工作台沿 $X$ 向、 $Z$ 向移动,主轴沿 $Y$ 向移动),当主轴和工作台分别回零后,工作台回转中心将与机床参考点在水平面内的投影重合,此时工作台回转中心到主轴轴线与主轴前端面的交点(为主轴中心,也是刀位点,零位时与机床原点重合)的距离为 $X_c$ 、 $Z_c$ ( $X_c$ 、 $Z_c$ 为机床决定的固定常数)机床坐标系下显示的坐标值此时为零,当主轴或工作台移动后,机床坐标系下所显示的 $X$ 、 $Z$ 值就是工作台回转中心相对机床参考点的坐标值,主轴中心相对机床原点的 $Y$ 坐标值。所以卧式加工中心的工作台回转中心就相当于数控车床中的刀架中心。在确定的工位,移动主轴(沿 $Y$ 向移动)和工作台(沿 $X$ 、 $Z$ 向移动),使所选的编程原点在 $X$ 向、 $Y$ 向与主轴轴线重合,在 $Z$ 向与主轴前端面重合,即主轴中心(刀位点)与编程原点重合,这时工作台回转中心在机床坐标系中的坐标值,即为该工位时工件坐标系原点在机床坐标系中的坐标值。将此值输入到零点偏置寄存器相应位置,就可使用 $G54 \sim G59$ 指令建立工件坐标系。若使用 $G92$ 指令建立工件坐标系,则刀位点也为主轴轴线与主轴前端面的交点,主轴和工作台的起始位置(程序起点)都在零点,则输入到零点偏置寄存器的值的负值即为 $G92$ 指令后的 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 坐标值。下面介绍此零点偏置坐标值的测量方法和工作台转位后的编程原点坐标值的计算方法。

#### (1) 直接测量

图5-26为一弯板式夹具的零件装夹定位示意图。工件坐标系原点都设在各方向定位面上。

下面以该图为例,说明工件坐标系的测量方法。

#### 1) $X$ 、 $Y$ 坐标偏置值的测量

图5-27为工件坐标系 $X$ 、 $Y$ 偏置值的测量过程。

拉表找正夹具后,在主轴中置一标准检轴,使机床 $X$ 轴、 $Y$ 轴回零,然后分别移动 $X$ 轴、 $Y$ 轴,使夹具定位面与检轴接近,再用千分规准确测出检轴与定位面之间的距离 $H$ 。则工件坐标系 $X$ 、 $Y$ 坐标偏置值 $X_w$ 、 $Y_w$ 为:

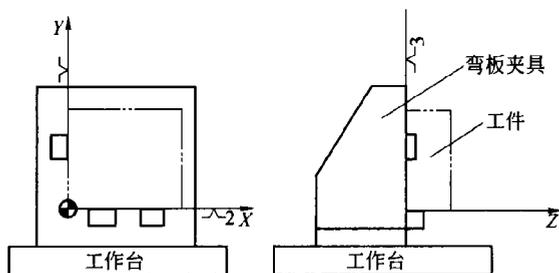


图5-26 弯板式夹具装夹定位示意图

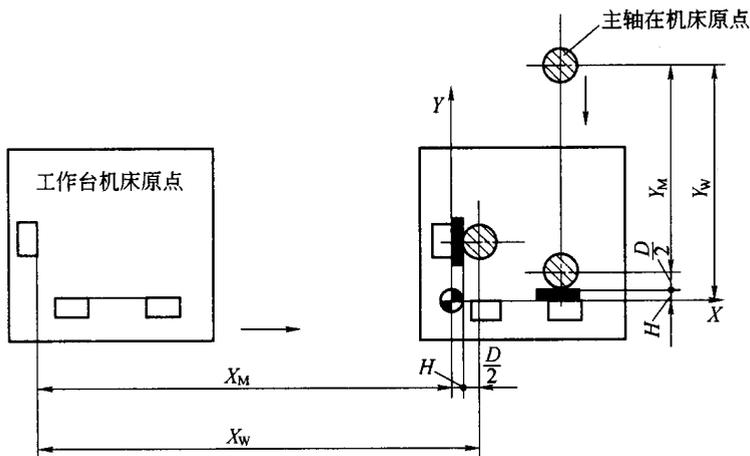


图 5-27 工作坐标系的测量

$$\begin{cases} X_W = - | X_M + H + \frac{D}{2} | \\ Y_W = - | Y_M + H + \frac{D}{2} | \end{cases} \quad (5-3)$$

式中  $H$ —块规尺寸；

$D$ —检轴直径；

$X_M$ —工作台  $X$  向移动距离,取正值；

$Y_M$ —主轴  $Y$  向移动距离,取正值。

$X_M$ 、 $Y_M$  均在机床屏幕上“机床坐标系”页面中显示,但显示值为负。

### 2) $Z$ 坐标偏置测量

测量方法同 1) (见图 5-28),工件坐标系  $Z$  坐标偏置值  $Z_W$  为

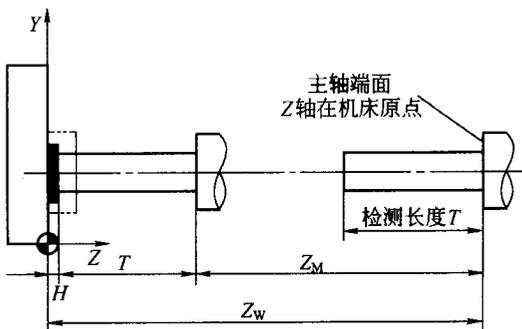


图 5-28 工作坐标系  $Z$  值的测量

$$Z_W = - | Z_M + T + H | \quad (5-4)$$

式中  $T$ —检轴长度；

$Z_M$ —工作台  $Z$  向移动距离,取正值。

$Z_M$  也在机床屏幕上“机床坐标系”页面中显示,显示值亦为负。

## (2) 工作台回转 $180^\circ$ 时 $X$ 坐标值的计算

图 5-29 为分别在  $0^\circ$  工位和  $180^\circ$  工位加工一同轴孔的情况。

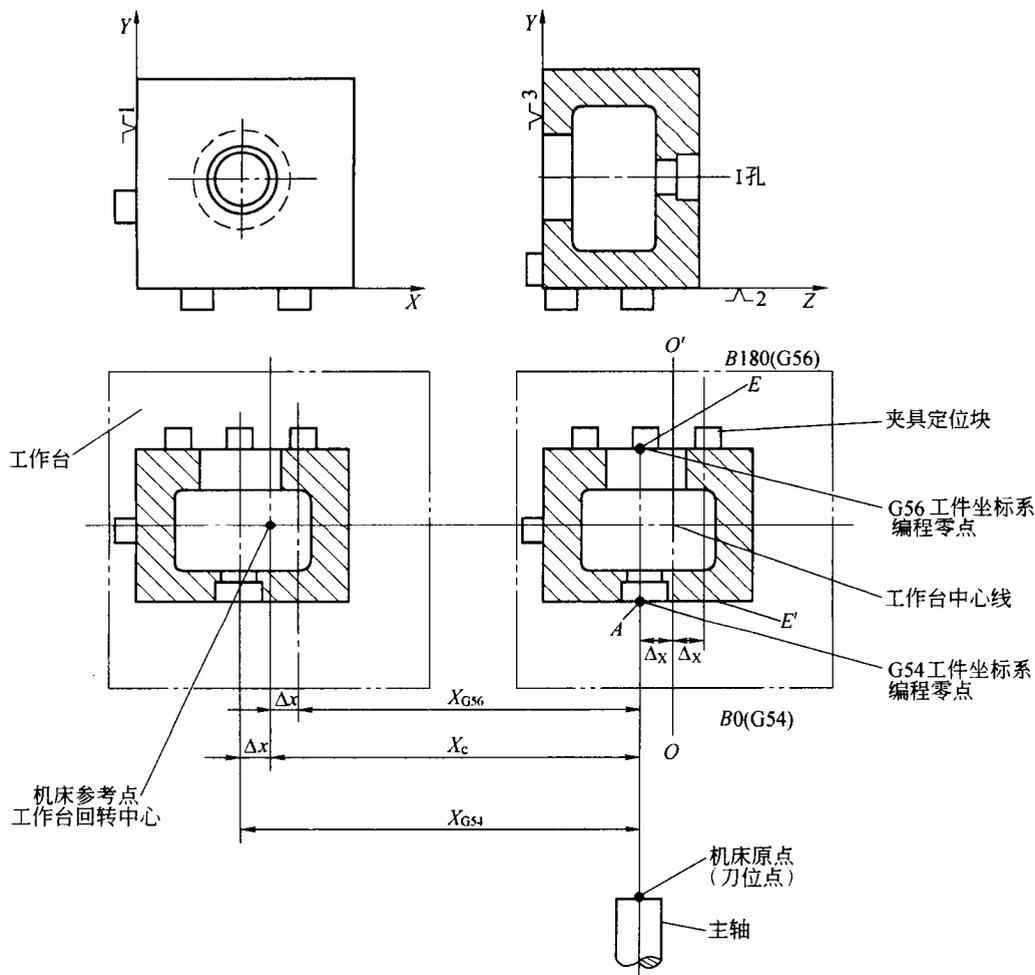


图 5-29 同轴孔工件坐标系的确定

设工作台回转中心与主轴中心重合时的  $X$  坐标为  $X_c$ 。对于确定的加工中心,  $X_c$  是一常数,它可以很准确地测量出来。在图 5-29 中,  $B$  轴  $0^\circ$  时工件坐标系  $G54$  零点设在  $I$  孔中心线上 ( $A$  点), 可用直接测量方法测得  $G54$  的  $X$  坐标为  $X_{G54}$ , 工件坐标系  $G56$  零点在  $E$  点, 工作台旋  $180^\circ$ , 即  $B$  轴  $180^\circ$  时,  $G56$  的  $X$  零点则为  $E'$ , 该点  $X_{G56}$  坐标可用算法确定:

$$\begin{cases} X_{G54} = X_c + \Delta X \\ X_{G56} = X_c - \Delta X \end{cases} \quad (5-5)$$

$$\begin{aligned}
 X_{C54} &= X_c + (X_c + X_{C56}) \\
 &= 2X_c - X_{C56} \\
 X_{C56} &= 2X_c - X_{C54} =
 \end{aligned}
 \quad (5-6)$$

用这种方法不但方便,而且能提高孔的同轴度精度。

## 2. 确定卧式加工中心多工件坐标系坐标偏置值算法

目前,国内生产的卧式加工中心大多数没有自动测定坐标系的功能,而工件坐标系的测量精度直接影响加工中心的加工精度。

建立单一工件坐标系,就是要准确地测出工件编程原点在 XZ 平面(即工作台面)内的投影与机床工作台回转中心之间 X 向、Z 向的距离(见图 5-30  $\triangle X$ 、 $\triangle Z$ )。事实上,在卧式加工中心上加工的零件,大多数是要求多工位加工的复杂零件,若编程原点的位置不与工作台回转中心重合,其位置将随工作台的转位而发生变化。为了编程计算方便,应该使这两个方向和工作台回转中心之间的距离为零,即编程原点在工作台面上的投影和工作台回转中心重合( $\triangle X=0$ 、 $\triangle Z=0$ )。但是这样做,对夹具的结构和安装有严格的要求,给操作者带来许多困难,而且增加了测量环节,相应地增大了测量误差。若采用工件偏置坐标系建立多个工件坐标系时,则要分别测量工作台在不同工位时,工件编程原点在机床坐标系中的坐标值,人工测量次数多,效率较低,容易出现人为的测量误差。采用算法可以有效解决上述两种方法中存在的问题,提高加工中心的加工效率和质量。

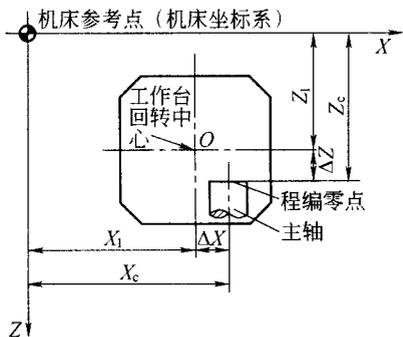


图 5-30 第一工位测量示意图

### (1) 算法的基本原理及公式推导

设编程原点在工件上的位置不变。在确定的工位,按上文(三)1.所述方法测出该工位工件坐标系的坐标偏置值  $X_1$ 、 $Z_1$ 。当工作台绕回转中心转过角度时,编程原点转离了原位置。平移编程原点,使其回到定义的测量位置与主轴中心重合,这时,工作台回转中心的坐标值正对应转位后新工位工件坐标系原点的坐标值。据此,推导工作台回转后工件坐标系原点坐标值的计算公式如下:

由图 5-30 知

$$\begin{cases} \Delta X = X_c - X_1 \\ Z = Z_c - Z_1 \end{cases}
 \quad (5-7)$$

由图 5-31 知,工作台旋转角后,该工位的工件坐标系原点在机床坐标系下的 X、Z 坐标各为

$$\begin{cases} X_i = X_1 - \Delta X_i \\ Z_i = Z_1 - \Delta Z_i \end{cases}
 \quad (5-8)$$

图 5-31 中: $X_c$ ——主轴轴线和机床参考点 X 向之间的距离,是常数; $Z_c$ ——主轴端面和机床参考点 Z 向之间的距离,是常数; $X_1$ ——第一工位工件坐标系在机床坐标系中实测

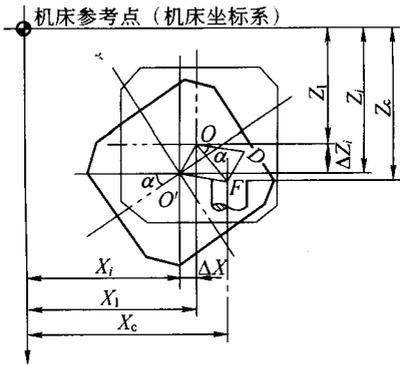


图 5-31 工位变换坐标示意图

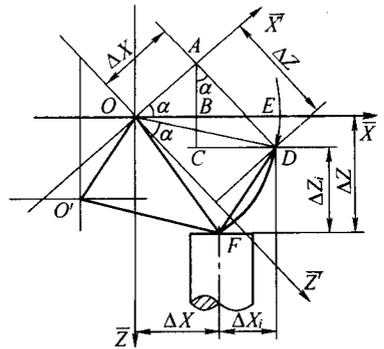


图 5-32 几何关系换算示意图

$X$  向坐标值;  $Z_1$ ——第一工位工件坐标系在机床坐标系中实测  $Z$  向坐标值;  $\alpha$ ——工作回转角度;  $X_i$ ——待求工件坐标系的  $X$  向坐标偏置值;  $Z_i$ ——待求工件坐标系的  $Z$  向坐标偏置值。

由图 5-32 知

$$\Delta X + \Delta X_i = OB + CD = \Delta X_{\cos\alpha} + \Delta Z_{\sin\alpha}$$

得出

$$\Delta X_i = \Delta X_{\cos\alpha} + \Delta Z_{\sin\alpha} - \Delta X$$

又

$$\Delta Z - \Delta Z_i = AC - AB = \Delta Z_{\cos\alpha} - \Delta X_{\sin\alpha}$$

得出

$$\Delta Z_i = \Delta Z - \Delta Z_{\cos\alpha} + \Delta X_{\sin\alpha} \quad (5-10)$$

将式(5-9)式(5-10)带入式(5-8)得

$$X_i = X_1 - \Delta X_{\cos\alpha} - \Delta Z_{\sin\alpha} + \Delta K$$

$$Z_i = Z_1 - \Delta Z_{\cos\alpha} + \Delta X_{\sin\alpha}$$

经整理得出所求的计算公式

$$\begin{cases} X_i = X_c - \Delta Y_{\cos\alpha} - \Delta Z_{\sin\alpha} \\ Z_i = Z_c - \Delta Z_{\cos\alpha} + \Delta X_{\sin\alpha} \end{cases}$$

$Y$  坐标为主轴的垂向运动,工作台的旋转对工件坐标系的  $Y$  坐标值没有影响。如遇到在不同工位编程原点在工件上不同位置的情况,应用式(5-11)计算后,按两编程原点之间的图纸尺寸修正计算值即可。

(2)式(5-11)的应用范围及效果

算法适用于卧式加工中心中多面加工者,即工作台在不同工位时,建立多个工件坐标系的情况。首先,在工作台位于某易测量坐标系工位时,测出该工位对应工件坐标系的坐标偏置值,通过计算式(5-11),可得出工作台在其他工位时对应工件坐标系的坐标偏置值。

应用此法,可减少测量次数,提高测量效率,消除多次测量产生的随机误差,提高工件坐标系的测量精度。对于有些工件某些工位,难以测量工件坐标系时,只需用此法在易测工位上,测出该工位时工件坐标系的坐标偏置值,通过计算,可得出难测工位工件坐标系的坐标偏置值,也避免了逐一测量时产生的各工位工件坐标系间的相对误差。

### (3)应用实例

图 5-33 所示零件为曲轴箱体。在 XH754 型卧式加工中心上完成 A、B、C、D 四面及面上各孔的加工。以背面处  $\phi 136H8$  孔及其端面和 C 面定位(定位基准在加工中心序前已完成了加工),背面处  $\phi 136H8$  孔端面朝下安装在夹具上。为方便编程,编程原点 X、Z 坐标选在  $3 \times \phi 98H10$  孔轴线在 X、Z 坐标平面投影的交点上。

该工件在加工中心上加工时有四个工位。在工作台各不同工位时,对应工件坐标系及加工面如下:

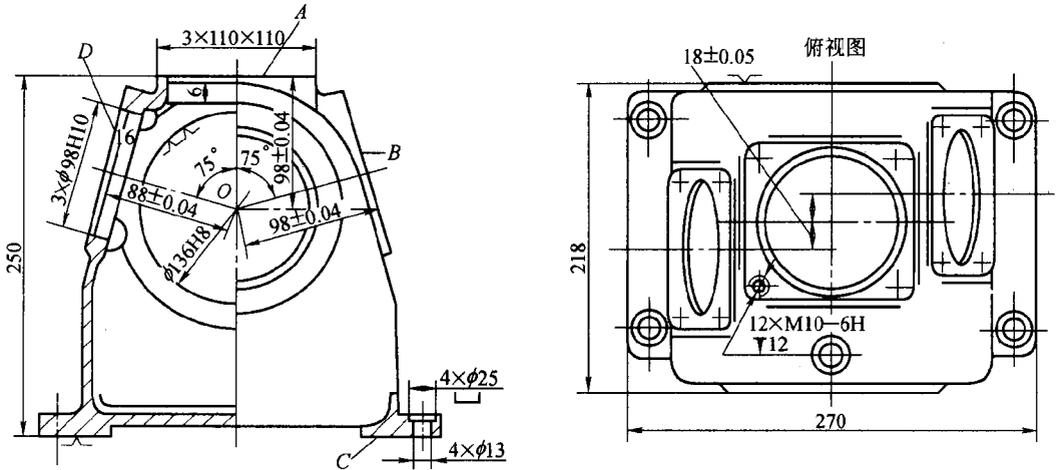


图 5-33 曲轴箱体

工作台 $0^\circ$ 工位	G54	A 面
工作台 $75^\circ$ 工位	G55	B 面
工作台 $180^\circ$ 工位	G56	C 面
工作台 $285^\circ$ 工位	G57	D 面

选用某厂的 XH754 型卧式加工中心,  $X_c$ 、 $Z_c$  两常数为

$$X_c = -234.273\text{mm}, \quad Z_c = -495.638\text{mm}$$

在工作台  $0^\circ$  工位(加工 A 面),即偏置工件坐标系为 G54 时,测得该工位工件位坐标系的会标偏置值为

$$X_1 = -258.760\text{mm}, \quad Y_1 = -304.200\text{mm}, \quad Z_1 = 462.102\text{mm}.$$

利用公式(5-11)计算出其余三个工位工件坐标系的坐标偏置值如下:

在工作台  $75^\circ$  工位(加工 B 面)时

$$X_B = X_c - \Delta X_{\cos 75^\circ} - \Delta Z_{\sin 75^\circ} = -214.888(\text{mm})$$

$$Z_B = Z_c - \Delta Z_{\cos 75^\circ} - \Delta X_{\sin 75^\circ} = -471.999(\text{mm})$$

在工作台 180°工位(加工 C 面)时

$$X_{C\text{面}} = X_c - \Delta X_{\cos 180^\circ} - \Delta Z_{\sin 180^\circ} = -227.786(\text{mm})$$

$$Z_{C\text{面}} = Z_c - \Delta Z_{\cos 180^\circ} + \Delta X_{\sin 180^\circ} = -529.174(\text{mm})$$

在工作台 285°工位(加工 D 面)时

$$X_D = X_c - \Delta X_{\cos 285^\circ} - \Delta Z_{\sin 285^\circ} = -279.675(\text{mm})$$

$$Z_D = Z_c - \Delta Z_{\cos 285^\circ} + \Delta X_{\sin 285^\circ} = -501.918(\text{mm})$$

有了上述计算的结果,工作台转位后新工件坐标系原点的位置不必测量就可确定下来,只要将计算值输入到零点偏置寄存器中,编程时用 G55、G56、G57 调用即可。需要注意的是,编程原点在零件上的位置并没有变化。

## 第三节 制定加工中心加工工艺要解决的主要问题

### 一、零件的工艺分析

零件的工艺分析是制定加工中心加工工艺的首要工作。其任务是分析零件技术要求,检查零件图的完整性和正确性;分析零件的结构工艺性,选择加工中心加工内容等。

(一)分析零件技术要求,检查零件图的完整性和正确性。

#### 1. 分析零件技术要求

与常规的零件工艺分析一样,分析零件技术要求时主要考虑:

- (1)各加工表面的尺寸精度要求;
- (2)各加工表面的几何形状精度要求;
- (3)各加工表面之间的相互位置精度要求;
- (4)各加工表面粗糙度要求以及表面质量方面的其他要求;
- (5)热处理要求以及其他要求。

首先,要根据零件在产品中的功能,研究分析零件与部件或产品的关系,从而认识零件的加工质量对整个产品质量的影响,并确定零件的关键加工部位和精度要求较高的加工表面等。认真分析上述各精度和技术要求是否合理,其次要考虑在加工中心上加工能否保证零件的各项精度和技术要求,进而具体考虑在哪一种加工中心加工最为合理。

#### 2. 检查零件图的完整性和正确性

一方面要检查零件图是否正确,尺寸、公差和技术要求是否标注齐全;另一方面要特别注意准备在加工中心上加工的零件,其各个方向上的尺寸是否有一个统一的设计基准,从而简化编程,保证零件图的设计精度要求。当工件已确定在加工中心上加工后,如发现

零件图中没有一个统一的设计基准,则应向设计部门提出,要求修改图纸或考虑选择统一的工艺基准,计算转化各尺寸,并标注在工艺附图上。

## (二) 分析零件结构的工艺性

在加工中心上加工的零件,其结构工艺性应具备以下几点要求:

(1) 零件的切削加工量要小,以便减少加工中心的切削加工时间,降低零件的加工成本。

(2) 零件上光孔和螺纹的尺寸规格尽可能少,减少加工时钻头、铰刀及丝锥等刀具的数量,以防刀库容量不够。

(3) 零件尺寸规格尽量标准化,以便采用标准刀具。

(4) 零件加工表面应具有加工的可能性和方便性。

(5) 零件结构应具有足够的刚性,以减少夹紧变形和切削变形。

## (三) 加工中心加工内容的选择

在本章第一节中分析了适合加工中心加工的零件,这里的加工内容选择是指在零件选定之后,选择零件上适合加工中心加工的表面。这种表面通常是:

(1) 用数学模型描述的复杂曲线或曲面;

(2) 难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的表面;

(3) 尺寸精度要求较高的表面;

(4) 零件上不同类型表面之间有较高的位置精度要求,更换机床加工时很难保证位置精度要求,必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铹、铰或攻丝等多工序的表面;

(5) 镜像对称加工的表面等。

对于上述表面,我们可以先不要过多地去考虑生产率与经济上是否合理,而首先应考虑能不能把它们加工出来,要着重考虑可能性问题。只要有可能,都应把对其进行加工中心加工作为优选方案。

由于加工中心的台时费用高,在考虑工序负荷时,不仅要考虑机床加工的可能性,还要考虑加工的经济性。例如:用加工中心可以进行复杂的曲面加工,但如果企业数控机床类型较多,有多坐标联动的数控铣床,则在加工复杂的成形表面时,应优先选择数控铣床。因有些成形表面加工时间很长,刀具单一,在加工中心上加工并不是最佳选择,这要视企业拥有的数控设备类型、功能及加工能力,具体分析决定。

## 二、加工中心的选用

一般来说,规格相近的加工中心,卧式加工中心的价格要比立式加工中心贵 50% ~ 100%,因此,从经济性角度考虑,完成同样工艺内容,宜选用立式加工中心;当立式加工中心不能满足加工要求时才选卧式加工中心。

### 1. 加工中心类型的选用

(1)立式加工中心适用于只需单工位加工的零件,如各种平面凸轮、端盖、箱盖等板类零件和跨距较小的箱体等。

(2)卧式加工中心适用于加工两工位以上的工件或在四周呈径向辐射状排列的孔系、面等。

(3)当工件的位置精度要求较高,如箱体、阀体、泵体等宜采用卧式加工中心,若采用卧式加工中心在一次装夹中不能完成多工位加工以保证位置精度要求时,则可选择五面加工中心。

(4)当工件尺寸较大,一般立柱式加工中心的工作范围不足时,应选用龙门式加工中心,如机床床身、立柱等。

当然,上述各点也不是绝对的。如果企业不具备各种类型的加工中心,则应从如何保证工件的加工质量出发,灵活地选用设备类型。

## 2. 加工中心规格的选择

选择加工中心的规格主要考虑:工作台大小、坐标行程、坐标数量和主电动机功率等。

### (1)工作台规格的选择

所选工作台台面应比零件稍大一些,以便安装夹具。例如,零件外形尺寸是 $450\text{mm} \times 450\text{mm} \times 450\text{mm}$ 的箱体,选取尺寸为 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 的工作台即可。如小工件选大工作台且进行单件多工位加工,会造成刀具过长而影响加工质量,甚至无法加工。大工作台加工小工件可以考虑多件加工,以提高加工效率。

### (2)加工范围选择

应考虑加工中心各坐标行程。以卧式加工中心为例:主轴端面到工作台中心距离的最大值为 $Z_{\max}$ 、最小值为 $Z_{\min}$ ;主轴中心至工作台台面距离的最大值为 $Y_{\max}$ 、最小值为 $Y_{\min}$ 。在加工中心上加工的零件,其各加工部位必须在机床各向行程的最大值与最小值之间,即零件通过夹具安装在工作台上后,在各加工部位,刀具的轴向中心线距工作台面的距离不得小于 $Y_{\min}$ ,也不得大于 $Y_{\max}$ ,否则将引起 $Y$ 向超程。其他方向也一样。

加工中心工作台台面尺寸与 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 三坐标行程有一定的比例,如工作台台面为 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ ,则 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 坐标行程分别为 $700 \sim 800\text{mm}$ 、 $550 \sim 700\text{mm}$ 、 $500 \sim 600\text{mm}$ 。若工件尺寸大于坐标行程,则加工区域必须在坐标行程以内。另外,工件和夹具的总重量不能大于工作台的额定负载,工件移动轨迹不能与机床防护罩干涉,交换刀具时,不得与工件相碰等。

### (3)机床主轴功率及扭矩选择

主电动机功率反映了机床的切削效率和切削刚性。加工中心一般都配置功率较大的交流或直流调速电动机,调速范围比较宽,可满足高速切削的要求。但在用大直径盘铣刀铣削平面和粗镗大孔时,转速较低,输出功率较小,扭矩受限制。因此,必须对低速转矩进行校核。

## 3. 加工中心精度的选择

根据零件关键部位的加工精度选择加工中心的精度等级。国产加工中心按精度分为

普通型和精密型两种。表 5-1 列出了加工中心的几项关键精度。

一般来说,加工两个孔的孔距误差是定位精度的 1.5-2 倍。在普通型加工中心上加工,孔距精度可达 IT8 级,在精密型加工中心上加工,孔距精度可达 IT6~IT7 级。据经验值,一般应选择加工中心的各项精度为零件对应精度的 0.5-0.65 较为合理。

表 5-1 加工中心精度等级

mm

精度项目	普通型	精密型
单轴定位精度	$\pm 0.01/300$ 全长	0.005/全长
单轴重复定位精度	$\pm 0.006$	$\pm 0.003$
铣圆精度	0.03~0.04	0.02

4. 加工中心功能的选择 选择加工中心的功能主要考虑以下几项功能。

#### (1) 数控系统功能

每种数控系统都备有许多功能,如随机编程、图形显示、人机对话、故障诊断等功能。有些功能属基本功能,有些功能属选择功能。在基本功能的基础上,每增加一项功能,费用要增加几千元到几万元。因此,应根据实际需要选择数控系统的功能。

#### (2) 坐标轴控制功能

坐标轴控制功能主要从零件本身的加工要求来选择。如平面凸轮需两轴联动,复杂曲面的叶轮、模具等需三轴或四轴以上联动。目前,国内生产的加工中心,一般可实现两轴联动、三轴联动,部分也可实现四轴联动,某些进口机床,可实现五轴联动。

#### (3) 工作台自动分度功能选择

普通型的卧式加工中心多采用鼠齿盘(又称鼠牙盘)定位的工作台自动分度。这种工作台的分度定位间距有一定的限制,而且工作台只起分度与定位作用,在回转过程中不能参与切削。当配备能实现任意分度和定位的数控转台(作为 B 轴),实现同其他轴联动控制,则这种工作台在回转过程中可以参与切削。鼠齿盘定位的工作台一般分度定位精度较高,其分度定位间距有  $0.5^\circ \times 720$ 、 $1^\circ \times 360$ 、 $3^\circ \times 120$ 、 $5^\circ \times 72$  等不同种类,因此,须根据具体工件的加工要求选择相应的工作台分度定位功能。立式加工中心也可配置数控分度头。

#### 5. 刀库容量的选择

通常根据零件的工艺分析,算出工件一次安装所需刀具数,来确定刀库容量。刀库容量需留有余地,但不宜太大。因为大容量刀库成本和故障率高、结构和刀具管理复杂。一般说来,在立式加工中心上选用 20 把左右刀具容量的刀库,在卧式加工中心上选用 40 把左右刀具容量的刀库即可满足使用要求。

#### 6. 刀柄的选择

有关刀柄选择的问题详见第三章第五节。

### 7. 刀具预调仪(对刀仪)的选择

刀具预调仪是用来调整或测量刀具尺寸的。刀具预调仪结构有许多种,其对刀精度有轴向 $0.01 \sim 0.1 \text{ mm}$ ,径向 $\pm 0.005 \sim 0.01 \text{ mm}$ 。从结构上来讲,有直接接触式测量和光屏投影放大测量两种。读数方法也各不相同,有的用圆盘刻度或游标读数,有的则用光学读数头或数字显示器等。

选择刀具预调仪必须根据零件加工精度来考虑。预调仪测得的刀具尺寸是在没有承受切削力的静态下测得的,与加工后的实际尺寸不一定相同。例如国产镗刀刀柄加工之后的孔径要比预调仪上尺寸小 $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ 。加工过程中要经过试切后现场修调刀具。为了提高刀具预调仪的利用率,多台机床可共用一台刀具预调仪。

### 8. 冷却功能选择

各种类型的加工中心都配有冷却装置。有一部分带有全防护罩的加工中心配有大流量的淋浴式冷却装置,还有的配有刀具内冷装置(通过主轴的刀具内冷方式或外接刀具内冷方式),也有部分加工中心上述多种冷却方式均配置,甚至有的还配有气雾冷却等。此外,经过冷却处理的切削液,通过主轴套筒由主轴套筒端部喷射出来,具有使主轴减少热变形的优点。一般应根据工件和刀具的实际情况进行选择。有些精度较高的零件,特殊材料或加工余量较大的零件,在加工过程中,必须充分冷却,因此,具有良好冷却系统的机床有其优势,否则,加工热所引起的热变形,将影响加工精度和生产效率。

总之,在选择具体加工中心时,工艺人员应对机床性能、主要参数等有较为详尽的了解。

## 三、加工中心加工零件的工艺方案设计

就零件加工的工艺设计而言,工艺设计包含了从零件的毛坯选择到通过机械加工的手段使零件达到其图纸设计要求的加工设备、刀具、辅具、工夹量及检具的选择,以及安排整个零件加工工艺路线的全过程。

设计加工中心加工零件的工艺方案主要包括下面几方面内容:

#### 1. 加工方法的选择

加工中心加工零件的表面不外乎平面、平面轮廓、曲面、孔和螺纹等,所选加工方法要与零件的表面特征、所要求达到的精度及表面粗糙度相适应。

##### (1) 平面、平面轮廓及曲面加工方法

平面、平面轮廓及曲面在镗铣类加工中心上唯一的加工方法是铣削。经粗铣的平面,尺寸精度可达 IT12 ~ IT14 级(指两平面之间的尺寸)表面粗糙度  $R_a$  值可达  $12.5 \sim 50 \mu\text{m}$ 。经粗、精铣的平面,尺寸精度可达 IT7 ~ IT9 级,表面粗糙度  $R_a$  值可达  $1.6 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 。

##### (2) 孔加工方法

孔加工方法比较多,有钻、扩、铰、镗等。大直径孔还可采用圆弧插补方式进行铣削加工。孔的加工方式及所能达到的精度见表 5-2。孔的具体加工方案可按下述方法制定:

表 5-2 H13-H7 孔加工方案 (孔长度  $\leq$  直径 5 倍)

mm

孔的精度	孔的毛坯性质	
	在实体材料上加工孔	预先铸出或热冲出的孔
H13 H12	一次钻孔	用扩孔钻钻孔或镗刀镗孔
H11	孔径 $\leq 10$ :一次钻孔 孔径 $> 10 \sim 30$ :钻孔及扩孔 孔径 $30 \sim 80$ :钻孔、扩孔或钻孔、扩孔、镗孔	孔径 $\leq 80$ :粗扩、精扩 ; 或用镗刀粗镗、精镗 ;或根据余量 一次镗孔或扩孔
H10 H9	孔径 $\leq 10$ :钻孔及铰孔 孔径 : $10 \sim 30$ :钻孔、扩孔及铰孔 孔径 $> 30 \sim 80$ :钻孔、扩孔、铰孔 或钻孔、扩孔、镗孔(或铣孔)	孔径 $\leq 80$ :用镗刀粗镗、(一次或两次,根据 余量而定)铰孔(或精镗孔)
H8 H7	孔径 $\leq 10$ :钻孔、扩孔及铰孔 孔径 $> 10 \sim 30$ :钻孔、扩孔及一次或两次铰孔 孔径 $> 30 \sim 80$ :钻孔、扩孔(或用镗刀分几次 粗镗)、一次或两次铰孔(或 精镗孔)	孔径 $\leq 80$ :用镗刀粗镗(一次或两次,根据余 量而定)及半精镗、精镗(或精铰)

1)所有孔系都先完成全部孔的粗加工,再进行精加工。

2)对于直径大于  $\phi 30\text{mm}$  的已铸出或锻出毛坯孔的孔加工,在普通机床上先完成毛坯荒加工,留给加工中心的余量为  $4 \sim 6\text{mm}$ (直径),然后再上加工中心按“粗镗一半精镗一孔端倒角一精镗”四个工步完成;有空刀槽时可用锯片铣刀在半精镗之后、精镗之前用圆弧插补方式完成,也可用镗刀进行单刀镗削,但单刀镗削效率较低;孔径较大的可采用立铣刀粗铣一精铣加工方案。

3)直径小于  $\phi 30\text{mm}$  的孔可以不铸出毛坯孔,全部加工都在加工中心上完成,可分为“镗平端面—打中心孔—钻—扩—孔端倒角—铰”等工步。有同轴度要求的小孔,须采用“镗平端面—打中心孔—钻—半精镗—孔端倒角—精镗(或铰)”工步来完成。为提高孔的位置精度,在钻孔工步前需安排镗平端面和打中心孔工步。孔端倒角安排在半精加工之后、精加工之前,以防孔内产生毛刺。

4)在孔系加工中,先加工大孔,再加工小孔,特别是在大小孔相距很近的情况下,更要采取这一措施。

5)对于跨距较大箱体的同轴孔加工,尽量采取调头加工的方法,以缩短刀辅具的长径比,增加刀具刚性,提高加工质量。

6)对螺纹加工,要根据孔径大小采取不同的处理方式。一般情况下,直径在  $M6 \sim M20\text{mm}$  之间的螺纹,通常采用攻螺纹方法加工; $M6\text{mm}$  以下, $M20\text{mm}$  以上的螺纹只在加工

中心上完成底孔加工,攻丝可通过其他手段进行。因加工中心的自动加工方式,在攻小螺纹时,不能随机控制加工状态,小丝锥容易折断,从而产生废品;由于刀具、辅具等因素影响,在加工中心上攻 M20mm 以上大螺纹有一定困难。当然这也不是绝对的,视具体情况而定。在某些加工中心上也可用镗刀片完成螺纹切削。有时因冷却润滑液原因,攻螺纹都不在加工中心上进行。

## 2. 加工阶段的划分

加工质量要求较高的零件,采用加工中心加工时,应尽量将粗、精加工分两个阶段进行。

有了加工基准后,应根据生产批量、毛坯质量、加工中心加工条件等情况考虑是否将粗加工和精加工在普通机床与加工中心机床上分别进行。一般情况下,在加工中心上完成的精加工零件,大都在普通机床(或加工中心)上先安排粗加工,这是因为:

(1)零件在粗加工后会产生变形。变形原因较多,如粗加工时夹紧力较大,引起工件的弹性变形;粗加工时切削温度高,引起工艺系统的热变形;毛坯有内应力存在,粗加工时切去最外一层金属,引起内应力重新分布而发生变形等。如果同时或连续进行粗、精加工,就无法避免上述变形造成的加工误差;

(2)粗加工后,可及时发现零件主要表面上的毛坯缺陷。如裂纹、气孔、砂眼、杂质或加工余量不够等,可及时采取措施,避免浪费更多的工时和费用;

(3)粗、精加工分开,使零件有一段自然时效过程,以消除残余内应力,使零件的弹性变形和热变形完全或大部分恢复,必要时可以安排二次时效,以便在加工中心工序中加以修正,有利于保证加工质量;

(4)粗、精加工分开进行,可以合理使用设备。加工中心机床价格昂贵,维修费用高,粗、精加工分开有利于长期保持机床精度,况且粗加工机床只用做粗加工,其效率也可以充分发挥。

在具有良好冷却系统的加工中心上,对于毛坯质量高、加工余量较小、加工精度要求不高或新产品试制等单件或生产批量很小的零件,也可把粗、精加工合并进行,可在加工中心上一次或两次装夹完成全部粗、精加工工序。对刚性较差的零件,可采取相应的工艺措施,如粗加工后,在加工过程中安排暂停指令,让操作者将压板稍微松开,使零件弹性变形恢复,然后用较小的夹紧力夹紧零件,再进行精加工;或者加工较大零件时,工件运输、装夹很费工时,经综合比较,在一台机床上完成某些表面的粗、精加工,并不会明显发生前述各种变形时,粗、精加工也可在同一台加工中心上完成,但粗、精加工应划分成两道工序分别完成。

## 3. 加工顺序的安排

加工中心上加工零件,一般都有多个工步,使用多把刀具,因此加工顺序安排得是否合理,直接影响到加工精度、加工效率、刀具数量和经济效益。安排加工顺序时,要根据工件的毛坯种类,现有加工中心机床的种类、构成和应用习惯,确定零件是否要进行加工中心加工前的预加工。

定位基准的选择是决定加工顺序的又一重要因素。半精加工和精加工的基准表面,应提前加工好,因而任何一个高精度表面加工前,作为其定位基准的表面,应在前面工序中加工完毕。而这些作为精基准的表面加工,又有其加工所需的定位基准,而这些定位基准,又要在更前面工序中安排。故各工序的基准选择问题解决后,就可以从最终精加工工序向前倒推出整个工序顺序的大致轮廓。

在加工中心加工的工序前,安排有预加工工序的零件,加工中心工序的定位基准面即预加工工序要完成的表面,可由普通机床完成。不安排预加工工序的,采用毛坯面作为加工中心工序的定位基准,这时,要根据毛坯基准的精度,考虑加工中心工序的划分,即是否仅一道加工中心工序就能完成全部加工的内容。必要时,要把加工中心的加工内容分几道或多道工序完成。

不论在加工中心上加工之前有无预加工,零件毛坯加工余量一定要充分而且稳定,因为加工中心的自动化与定位加工,在加工过程中不能采用串位或借料等常规方法,一旦确定了零件的定位基准,加工中心加工时对余量不足问题很难照顾到。因而,在加工基准面或选择基准对毛坯进行预加工时,要照顾各个方向的尺寸,留给加工中心的余量要充分而均匀。

加工中心上加工时,最难保证的尺寸一是加工面与非加工面之间的尺寸;二是加工中心工序加工的面与预加工工序中普通机床(或加工中心)加工面之间的尺寸。

对前一种情况,即使是图纸已注明的非加工面,也须在毛坯设计或型材选用时,在其确定的非加工面上增加适当的余量,以便在加工中心上按图纸尺寸进行加工时,保证非加工面与加工面之间的尺寸符合要求。

对后一种情况,安排加工顺序时,要统筹考虑,最好在加工中心上一次定位装夹中完成预加工面在内的所有内容。如果非要分两台机床完成,则最好留一定的精加工余量,或者使该预加工面与加工中心工序的定位基准有一定的尺寸精度要求。由于这是间接保证,故该尺寸的公差要比加工中心加工面与预加工面之间的尺寸精度严格。

## 四、加工中心加工的工步设计

设计加工中心的加工工艺实际就是设计各表面的加工工步。在设计加工中心工步时,主要从精度和效率两方面考虑。下面是加工中心加工工步设计的主要原则:

(1)加工表面按粗加工、半精加工、精加工次序完成,或全部加工表面按先粗,后半精、精加工分开进行。加工尺寸公差要求较高时,考虑零件尺寸、精度、零件刚性和变形等因素,可采用前者;加工位置公差要求较高时,采用后者。

(2)对于既有铣面又有镗孔的零件,可以先铣后镗。按这种方法划分工步,可以提高孔的加工精度。铣削时,切削力较大,工件易发生变形。先铣面后镗孔,使其有一段时间的恢复,减少由变形引起的对孔的精度影响。反之,如果先镗孔后铣面,则铣削时,必然在孔口产生飞边、毛刺,从而破坏孔的精度。

(3) 当一个设计基准和孔加工的位置精度与机床定位精度、重复定位精度相接近时, 采用相同设计基准集中加工的原则, 这样可以解决同一工位设计尺寸基准多于一个时的加工精度问题。

(4) 相同工位集中加工, 应尽量按就近位置加工, 以缩短刀具移动距离, 减少空运行时间。

(5) 按所用刀具划分工步。如某些机床工作台回转时间较换刀时间短, 在不影响精度的前提下, 为了减少换刀次数, 减少空移时间, 减少不必要的定位误差, 可以采取刀具集中工序, 也就是用同一把刀把零件上相同的部位都加工完, 再换第二把刀。

(6) 考虑到加工中存在着重复定位误差, 对于同轴度要求很高的孔系, 就不能采取原则(5)应该在一次定位后, 通过顺序连续换刀, 顺序连续加工完该同轴孔系的全部孔后, 再加工其他坐标位置孔, 以提高孔系同轴度。

(7) 在一次定位装夹中, 尽可能完成所有能够加工的表面。

## 五、加工中心加工进给路线的确定

加工中心上刀具的进给路线可分为孔加工进给路线和铣削加工进给路线。铣削加工进给路线就是铣削加工刀具轨迹生成问题, 已在第五章详细介绍, 这里不再赘述。下面主要介绍孔加工进给路线。

孔加工时, 一般是首先将刀具在  $XY$  平面内快速定位运动到孔中心线的位置上, 然后刀具再沿  $Z$  向(轴向)运动进行加工。所以孔加工进给路线的确定包括:

### 1. 确定 $XY$ 平面内的进给路线

孔加工时, 刀具在  $XY$  平面内的运动属点位运动, 确定进给路线时, 主要考虑:

#### (1) 定位要迅速

也就是在刀具不与工件、夹具和机床碰撞的前提下空行程时间尽可能短。例如, 加工图 5-34a 所示零件。按图 5-34b 所示进给路线进给比按图 5-34c 所示进给路线进给节省定位时间近一半。这是因为在点位运动情况下, 刀具由一点运动到另一点时, 通常是沿  $X$ 、 $Y$  坐标轴方向同时快速移动, 当  $X$ 、 $Y$  轴各自移距不同时, 短移距方向的运动先停, 待长移距方向的运动停止后刀具才达到目标位置。图 5-34b 方案使沿两轴方向的移距接近, 所以定位过程迅速。

#### (2) 定位要准确

安排进给路线时, 要避免机械进给系统反向间隙对孔位精度的影响。例如, 镗削图 5-35a 所示零件上的 4 个孔。按图 5-35b 所示进给路线加工, 由于 4 孔与 1、2、3 孔定位方向相反,  $Y$  向反向间隙会使定位误差增加, 从而影响 4 孔与其他孔的位置精度。按图 5-35c 所示进给路线, 加工完 3 孔后往上多移动一段距离至  $P$  点, 然后再折回来在 4 孔处进行定位加工, 这样方向一致, 就可避免反向间隙的引入, 提高了 4 孔的定位精度。

定位迅速和定位准确有时两者难以同时满足, 在上述两例中, 图 5-34b 是按最短路

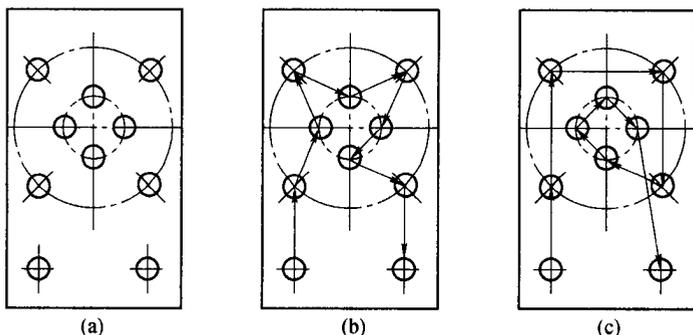


图 5-34 最短进给路线设计示例

线进给,但不是从同一方向趋近目标位置,影响了刀具定位精度,图 5-35c 是从同一方向趋近目标位置,但不是最短路线,增加了刀具的空行程。这时应抓主要矛盾,若按最短路线进给能保证定位精度,则取最短路线,反之,应取能保证定位准确的路线。

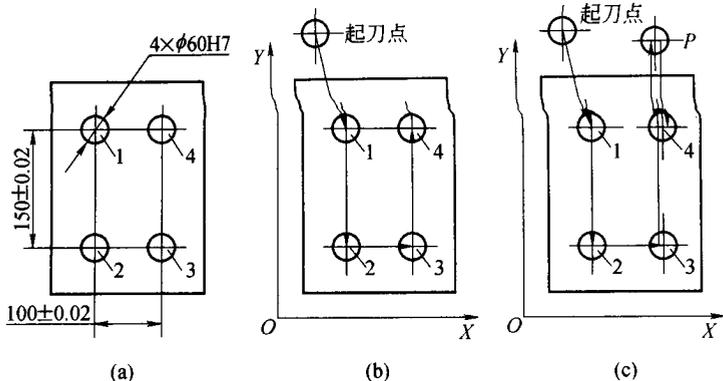


图 5-35 准确定位进给路线设计示例

## 2. 确定 Z 向(轴向)的进给路线

刀具在 Z 向的进给路线分为快速移动进给路线和工作进给路线。刀具先从起始平面快速运动到距工件加工表面一定距离的 R 平面(距工件加工表面一切入距离的平面)上,然后按工作进给速度运动进行加工。图 5-36a 所示为加工单个孔时刀具的进给路线。

对多孔加工,为减少刀具空行程进给时间,加工中间孔时,刀具不必退回到初始平面,只要退到 R 平面上即可,其进给路线如图 5-36b 所示。

在工作进给路线中,工作进给距离  $Z_F$  包括被加工孔的深度  $H$ 、刀具的切入距离  $Z_a$  和切出距离  $Z_o$ 。(加工通孔)如图 5-37 所示。

加工不通孔时,工作进给距离为

$$Z_F = Z_a + H + T_1$$

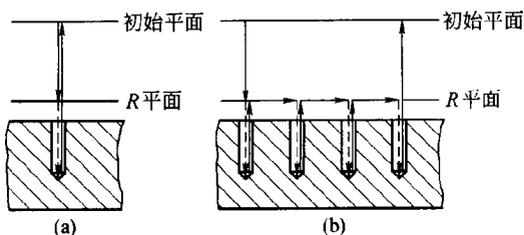


图 5-36 刀具 Z 向进给路线设计示例

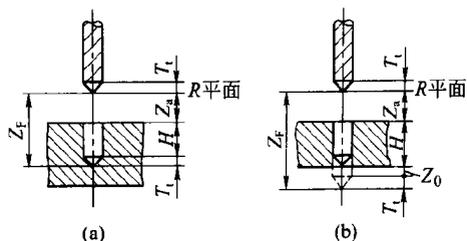


图 5-37 工作进给距离计算图

加工通孔时,工作进给距离为

$$Z_F = Z_a + H + Z_0 + T_t$$

式中刀具切入、切出距离的经验数据见表 5-3。

表 5-3 切具切入切出距离参考值

加工方式	表面状态		加工方式	表面状态	
	已加工表面	毛坯表面		已加工表面	毛坯表面
钻孔	2~3	5~8	铰孔	3~5	5~8
扩孔	3~5	5~8	铣削	3~5	5~10
镗孔	3~5	5~8	攻螺纹	5~10	5~10

## 六、加工余量的确定

加工余量的大小,对零件的加工质量和生产率及经济性均有较大的影响。正确规定加工余量的数值,是制定工艺规程的重要任务之一,特别是对加工中心,所有刀具的尺寸都是按各工步加工余量调整的,选好加工余量就显得尤为重要。余量过小,会由于上道工序与加工中心工序的安装找正误差,不能保证切去金属表面的缺陷层而产生废品,有时还会使刀具处于恶劣的工作条件,例如,切削很硬的夹砂外皮,会导致刀具迅速磨损等。如果加工余量过大,则浪费工时,增加工具损耗,浪费金属材料。

确定加工余量的基本原则是在保证加工质量的前提下,尽量减少加工余量。最小加工余量的数值,应保证能将具有各种缺陷和误差的金属层切去,从而提高加工表面的精度和表面质量。一般,最小加工余量的大小决定于下列因素:

①表面粗糙度( $R_a$ );②表面缺陷层深度( $T_a$ );③空间偏差( $\rho_a$ );④表面几何形状误差;⑤装夹误差( $\Delta Z_j$ )。

在具体确定工序间的加工余量时,应根据下列条件选择大小:

①对最后的工序,加工余量应能保证得到图纸上所规定的表面粗糙度和精度要求。  
②考虑加工方法、设备的刚性以及零件可能发生的变形。③考虑零件热处理时引起的变

形。④考虑被加工零件的大小,零件愈大,由于切削力、内应力引起的变形也会增加,因此要求加工余量也相应地大一些。

确定工序间加工余量的原则、数据等在有关出版物中已刊出很多,读者尽可查阅。这里需指出的是,国内外一切推荐数据,都要结合本单位工艺条件先试用,后得出结论。因为这些数据常常是在机床刚性、刀具、工件材质等理想状况下确定的。

表 5-4、表 5-5 列出了 IT7、IT8 级孔的加工方式及其工序间的加工余量,供参考。

表 5-4 在实体材料上的孔加工方式及加工余量

加工孔 的直径	直 径							
	钻		粗加工		半精加工		精加工(H7、H8)	
	第一次	第二次	粗镗	或扩孔	粗铰	或半精镗	精铰	或精镗
3	2.9	-	-	-	-	-	3	-
4	3.9	-	-	-	-	-	4	-
5	4.8	-	-	-	-	-	5	-
6	5.0	-	-	5.85	-	-	6	-
8	7.0	-	-	7.85	-	-	8	-
10	9.0	-	-	9.85	-	-	10	-
12	11.0	-	-	11.85	11.95	-	12	-
13	12.0	-	-	12.85	12.95	-	13	-
14	13.0	-	-	13.85	13.95	-	14	-
15	14.0	-	-	14.85	14.95	-	15	-
16	15.0	-	-	15.85	15.95	-	16	-
18	17.0	-	-	17.85	17.95	-	18	-
20	18.0	-	19.8	19.8	19.95	19.90	20	20
22	20.0	-	21.8	21.8	21.95	21.90	22	22
24	22.0	-	23.8	23.8	23.95	23.90	24	24
25	23.0	-	24.8	24.8	24.95	24.90	25	25
26	24.0	-	25.8	25.8	25.95	25.90	26	26
28	26.0	-	27.8	27.8	27.95	27.90	28	28
30	15.0	28.0	29.8	29.8	29.95	29.90	30	30
32	15.0	30.0	31.7	31.75	31.93	31.90	32	32
35	20.0	33.0	34.7	34.75	34.93	34.90	35	35
38	20.0	36.0	37.7	37.75	37.93	37.90	38	38
40	25.0	38.0	39.7	39.75	39.93	39.90	40	40
42	25.0	40.0	41.7	41.75	41.93	41.90	42	42
45	30.0	43.0	44.7	44.75	44.93	44.90	45	45
48	36.0	46.0	47.7	47.75	47.93	47.90	48	48
50	36.0	48.0	49.7	49.75	49.93	49.90	50	50

## 七、工序尺寸及公差的确定

加工中心加工时也存在定位基准与设计基准不重合时工序尺寸及公差的确定问题。

如图 5-38a 所示零件,  $105 \pm 0.1$  尺寸的  $R_a 0.8 \mu\text{m}$  两面均已在前面工序中加工完毕, 在加工中心上只进行所有孔的加工。以 A 面定位时, 由于高度方向没有统一基准,  $\phi 48\text{H7}$  孔和上面两个  $\phi 25\text{H7}$  孔与 B 面的尺寸是间接保证的, 欲保证  $32.5 \pm 0.1$  ( $\phi 25\text{H7}$  孔与 B 面) 和  $52.5 \pm 0.04$  尺寸, 须在上工序中对  $105 \pm 0.1$  尺寸公差进行压缩。若改为图 5-38b 所示方式标注尺寸, 各孔位置尺寸都以定位面 A 为基准, 基准统一, 且定位基准与设计基准重合, 各个尺寸都容易保证(具体计算过程省略)。

## 八、加工中心加工切削用量的选择

铣削加工切削用量的确定见第五章。表 5-6~表 5-10 中列出了部分孔加工切削用量, 供选择时参考。

孔加工主轴转速  $S$  (r/min) 根据选定的切削速度  $v_c$  (m/min) 和加工直径  $d$  (或刀具直径, mm) 按式 (5-1) 来计算。

攻螺纹时主轴转速按式 (5-2) 来计算。

表 5-5 已预先铸出或热冲出孔的工序间加工余量

mm

加工孔的直径	直径					加工孔的直径	直径				
	粗糙		半精镗	粗铰或二次半粗镗	精铰或粗镗成 H7、H8		粗糙		半精镗	粗铰或二次半粗镗	精铰或精镗成 H7、H8
	第一次	第二次					第一次	第二次			
30	-	28.0	29.8	29.93	30	100	95	98.0	99.3	99.85	100
32	-	30.0	31.7	31.93	32	105	100	103.0	104.3	104.8	105
35	-	33.0	34.7	34.93	35	110	105	108.0	109.3	109.8	110
38	-	36.0	37.7	37.93	38	115	110	113.0	114.3	114.8	115
40	-	38.0	39.7	39.93	40	120	115	118.0	119.3	119.8	120
42	-	40.0	41.7	41.93	42	125	120	123.0	124.3	124.8	125
45	-	43.0	44.7	44.93	45	130	125	128.0	129.3	129.8	130
48	-	46.0	47.7	47.93	48	135	130	133.0	134.3	134.8	135
50	45	48.0	49.7	49.93	50	140	135	138.0	139.8	139.8	140

加工孔的直径	直径					加工孔的直径	直径				
	粗糙		半精镗	粗铰或二次半粗镗	精铰或粗镗成H7、H8		粗糙		半精镗	粗铰或二次半粗镗	精铰或粗镗成H7、H8
	第一次	第二次					第一次	第二次			
52	47	50.0	51.3	51.93	52	145	140	143.0	144.3	144.8	145
55	51	53.0	54.5	54.92	55	150	140	148.0	149.3	149.8	150
58	54	56.0	57.5	57.92	58	155	150	153.0	154.3	154.8	155
60	56	58.0	59.5	59.92	60	160	155	158.0	159.3	159.8	160
62	58	60.0	61.5	61.92	62	165	160	163.0	164.3	164.8	165
65	61	63.0	64.5	64.92	65	170	165	168.0	169.3	169.8	170
68	64	66.0	67.5	67.90	68	175	170	173.0	174.3	174.8	175
70	66	68.0	69.5	69.60	70	180	175	178.0	176.3	176.8	180
72	68	70.0	71.5	71.90	72	185	180	183.0	184.3	184.8	85
75	71	73.0	74.5	74.90	75	190	185	188.0	189.3	189.8	190
78	74	76.0	77.5	77.90	78	195	190	193.0	194.3	194.8	195
80	75	78.0	79.5	79.90	80	200	194	197.0	199.3	199.8	200
82	77	80.0	81.3	81.85	82	210	204	207.0	209.3	209.8	210
85	80	83.0	84.3	84.85	85	220	214	217.0	219.3	219.8	220
88	83	86.0	87.3	87.85	88	250	244	247.0	249.3	249.8	250
90	85	88.0	89.3	89.85	90	280	274	277.0	279.3	279.8	280
92	87	90.0	91.3	91.85	92	300	294	297.0	299.3	299.8	300
98	93	96.0	97.3	97.85	98	350	342	347.0	349.3	349.8	350

孔加工工作进给速度根据选择的进给量和主轴转速度按式(5-3)来计算。

攻螺纹时进给量的选择决定于螺纹的导程,由于使用了带有浮动功能的攻螺纹夹头,攻螺纹时工作进给速度 $F$ (mm/min)可略小于理论计算值,即

$$F \leq PS \quad (5-12)$$

式中: $P$ —加工螺孔的导程,mm;

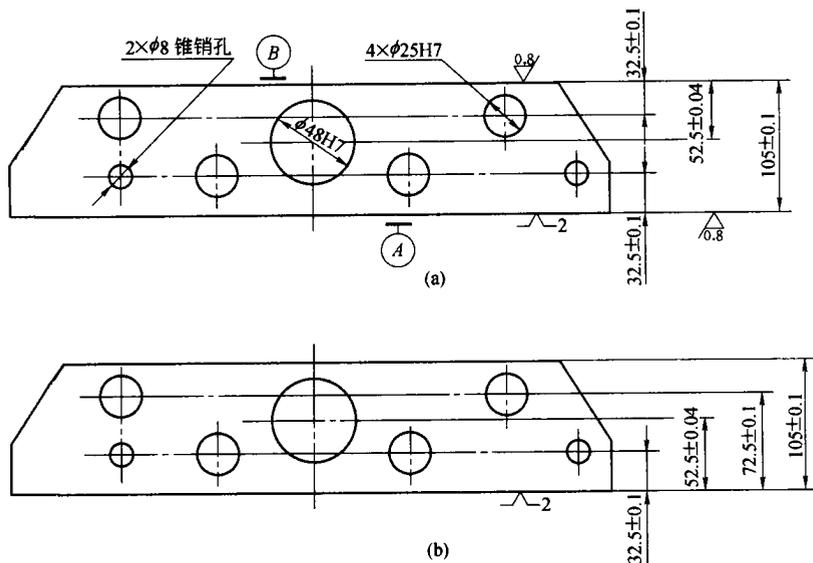
S—加工螺孔时主轴转速  $r/\text{min}$ 。

图 5-38 零件工序尺寸确定

表 5-6 高速钢钻头加工铸铁的切削用量

切削 用量 钻头直径/mm	材料硬度 160~200HBS		200~400HBS		300~400HBS	
	$v_c$ /(m/min)	$f$ /(mm/r)	$v_c$ /(m/min)	$f$ /(mm/r)	$v_c$ /(m/min)	$f$ /(mm/r)
1~6	16~24	0.07~0.12	10~18	0.05~0.1	5~12	0.03~0.08
6~12	16~24	0.12~0.2	10~18	0.1~0.18	5~12	0.08~0.15
12~22	16~24	0.2~0.4	10~18	0.18~0.25	5~12	0.15~0.2
22~50	16~24	0.4~0.8	10~18	0.25~0.4	5~12	0.2~0.3

注 采用硬质合金钻头加工铸铁时取  $v_c = 20 \sim 30 \text{m/min}$ 。

表 5-7 高速钢钻头加工钢件的切削用量

切削 用量 钻头直径/mm	$\sigma_b = 520 \sim 700 \text{MPa}$ (35、45 钢)		$\sigma_b = 700 \sim 900 \text{MPa}$ (15Cr、20Cr 钢)		$\sigma_b = 1100 \sim 100 \text{MPa}$ (合金钢)	
	$v_c$ /(m/min)	$f$ /(mm/r)	$v_c$ /(m/min)	$f$ /(mm/r)	$v_c$ /(m/min)	$f$ /(mm/r)
1~6	5~25	0.05~0.1	12~30	0.05~0.1	8~15	0.03~0.08
6~12	8~25	0.1~0.2	12~30	0.1~0.2	8~15	0.08~0.15
12~22	8~25	0.2~0.3	12~30	0.2~0.3	8~15	0.15~0.25
22~50	8~25	0.3~0.45	12~30	0.3~1.45	8~15	0.25~0.35

表 5-8 高速钢铰刀铰孔的切削用量

工件材料 切削 用量 钻头直径/mm		铸 铁		钢及合金钢		铝铜及其合金	
		$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/r)
6~10		2~6	0.3~0.5	1.2~5	0.3~0.4	8~12	0.3~0.5
10~15		2~6	0.5~1	1.2~5	0.4~0.5	8~12	0.5~1
15~25		2~6	0.8~1.5	1.2~5	0.5~0.6	8~12	0.8~1.5
25~40		2~6	0.8~1.5	1.2~5	0.4~0.6	8~12	0.8~1.5
40~60		2~6	1.0~1.8	1.2~5	0.5~0.6	8~12	1.5~2

注:采用硬质合金铰刀加工铸铁时取  $v_c = 8 \sim 10 \text{m/min}$ ,铰铝时  $v_c = 12 \sim 15 \text{m/min}$ 。

表 5-9 镗孔切削用量

工件材料 切削 用量 工 序 刀 具 材 料		铸 铁		钢及合金钢		铝铜及其合金	
		$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/r)	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/r)
粗镗	高速钢	20~25	0.4~1.5	15~30	0.35~0.7	100~150	0.5~1.5
	硬质合金	35~50		50~70		100~250	
半精镗	高速钢	20~35	0.15~0.45	15~50	0.15~0.45	100~200	0.2~0.5
	硬质合金	50~70		95~135			
精镗	高速钢	70~90	<0.08 0.12~0.15	100~135	0.12~0.15	150~400	0.06~0.1
	硬质合金						

注:当采用高精度镗刀镗孔时,由于余量较小,直径余量不大于0.2mm,切削速度可提高一些,加工铸铁时为100~150m/min,钢件为150~200m/min,铝合金为200~400m/min。进给量可在0.03~0.1mm/r范围内。

表 5-10 攻螺纹切削用量

加工材料	铸 铁	钢及合金钢	铝铜及其合金
$\omega_v$ (m/min)	2.5~5	1.5~5	5~15

## 第四节 典型加工中心加工零件的工艺分析

下面通过几个典型实例,简要介绍加工中心的加工工艺,以便进一步掌握制定零件加工中心加工工艺的方法和步骤。

### 一、盖板零件加工中心的加工工艺

盖板加工表面主要是平面和孔,需经铣平面、钻孔、扩孔、镗孔、铰孔及攻螺纹等工步才能完成。下面以 5-39 所示盖板为例介绍其加工中心加工工艺。

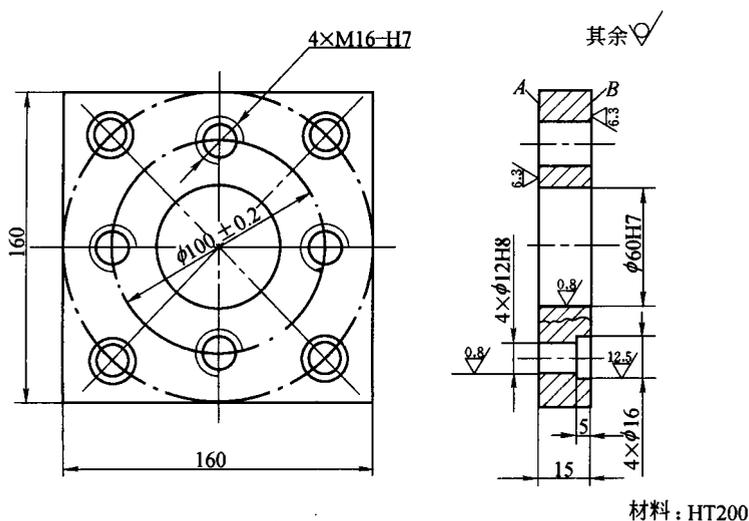


图 5-39 盖板零件简图

#### 1. 零件工艺分析

该盖板的材料为铸铁,毛坯为铸件。由图可知,盖板加工内容为平面、孔和螺纹且都集中在 A、B 面上,其四个侧面不需要加工,其中最高精度为 IT7 级。从定位和加工两个方面考虑,以 A 面为主要定位基准,并在前道工序中先加工好,选择 B 面及位于 B 面上的作部孔在加工中心上加工。

#### 2. 选择加工中心

由于 B 面及位于 B 面上的全部孔,只需单工位加工即可完成,故选择立式加工中心。该零件加工内容只有粗铣、精铣、粗镗、半精镗、精镗、钻、扩、铰、铰及攻螺纹等工步,所需要刀具不超过 20 把,故选用国产 XH714 型立式加工中心即可满足上述要求。

该机床 X 轴行程为 600mm, Y 轴行程为 400mm, Z 轴行程为 400mm,工作台尺寸为 800mm × 400mm,主轴端面至工作台台面距离为 125 ~ 525mm,定位精度和重复定位精度分

别为 0.02 mm 和 0.01 mm ,刀库容量为 18 把 ,工件一次装夹后可自动完成上述内容加工。

### 3. 设计工艺

#### (1) 选择加工方法

B 面尺寸精度无要求但粗糙度  $R_a$  为  $6.3\mu\text{m}$  ,故采用粗铣 - 精铣方案 ; $\phi 60\text{H}7$  孔尺寸精度要求为 IT7 级 粗糙度为  $R_a 0.8\mu\text{m}$  ,已铸出毛坯孔 ,故采用粗镗 - 半精镗 - 精镗方案 ; $\phi 12\text{H}8$  孔尺寸精度要求为 IT8 级 粗糙度为  $R_a 0.8\mu\text{m}$  ,同时为防止钻偏 ,按钻中心孔—钻孔—扩孔—铰孔方案进行 ; $\phi 16$  孔在  $\phi 12$  孔基础上镗至尺寸即可 ;M16 螺纹孔在 M6 和 M20 之间 ,故采用先钻底孔后攻螺纹的加工方法 ,即按钻中心孔—钻底孔—倒角—攻螺纹方案加工。

#### (2) 确定加工顺序

按照先粗后精、先面后孔的原则及为了减少换刀次数不划分加工阶段来确定加工顺序。具体加工路线为 粗、精铣 B 面—粗、半精、精镗  $\phi 60\text{H}7$  孔—钻各光孔和螺纹孔的中心孔—钻、扩  $4 \times \phi 2\text{H}8$  孔—镗  $4 \times \phi 16$  孔—铰  $4 \times \phi 12\text{H}8$  孔—M16 螺孔钻底孔、倒角和攻螺纹 ,详见表 5 - 11。

#### (3) 确定装夹方案和选择夹具

该盖板零件形状较简单、尺寸较小 ,四个侧面较光整 ,加工面与非加工面之间的位置精度要求不高 ,故可选通用台钳 ,以盖板底面 A 和两个侧面定位 ,用台钳钳口从侧面夹紧。

#### (4) 选择刀具

根据加工内容 ,所需刀具有面铣刀、镗刀、中心钻、麻花钻、铰刀、立铣刀(镗  $\phi 16$  孔)及丝锥等 ,其规格根据加工尺寸选择。因 XH714 型加工中心的允许装刀直径 :无相邻刀具为  $\phi 50\text{mm}$  ,有相邻刀具为  $\phi 80\text{mm}$  粗、精铣 B 面时无相邻刀具 ,可取最大值  $\phi 50\text{mm}$  ,但工件宽度为  $160\text{mm}$  ,一次不能铣削整个宽度 ,至少需两次走刀。一般来说 ,粗铣铣刀直径应选小一些 ,以减小切削力矩 ,但也不能太小 ,以免影响加工效率 ;精铣铣刀直径应选大一些 ,以减少接刀痕迹。考虑到两次走刀间的重叠量及减少刀具种类 ,经综合分析确定粗、精铣铣刀直径都选为  $\phi 100\text{mm}$  。其他刀具根据孔径尺寸确定。刀柄柄部根据主轴锥孔和拉紧机构选择。XH714 型加工中心主轴锥孔为 ISO40 ,适用刀柄为 BT40(日本标准 JISB6339) ,故刀柄柄部应选择 BT40 型式。具体所选刀具及刀柄见表 5 - 12。

#### (5) 确定进给路线

B 面的粗、精铣削加工进给路线根据铣刀直径确定 ,因所选铣刀直径为  $\phi 100\text{mm}$  ,故安排沿 X 方向两次进给(见图 5 - 40) 。因为孔的位置精度要求不高 ,机床的定位精度完全能保证 ,所以所有孔加工进给路线均按最短路线确定 ,图 5 - 41 图 5 - 45 所示的即为各孔加工的进给路线。

#### (6) 选择切削用量

查表确定切削进给量和进给量 ,然后计算出机床主轴轻速度机床进给速度 ,详见表 5 - 11。

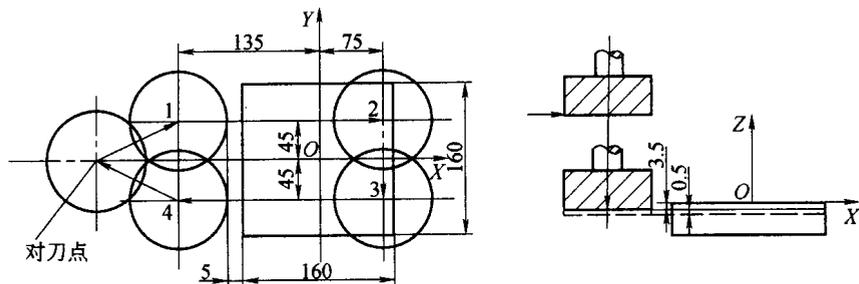


图 5-40 铣削 B 面进给路线

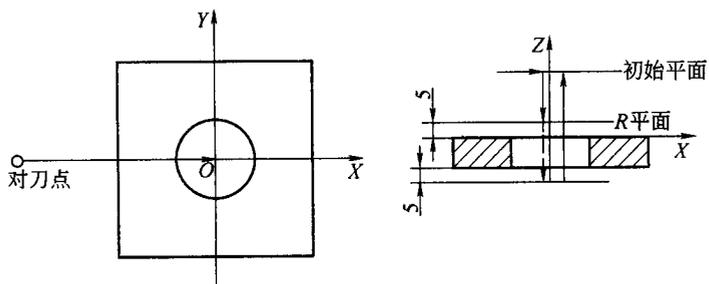


图 5-41 镗  $\phi 60H7$  孔进给路线

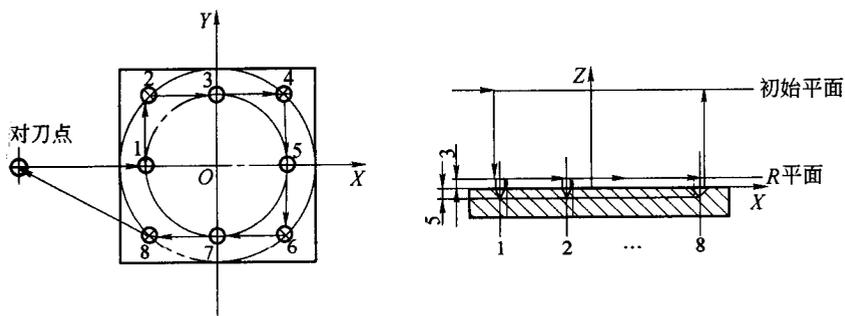


图 5-42 钻中心孔进给路线

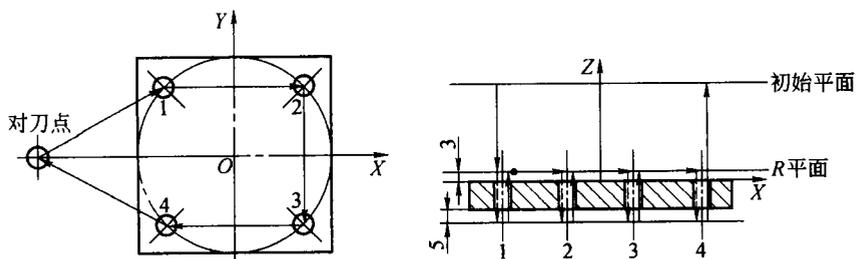


图 5-43 钻、扩、铰  $\phi 12H8$  孔进给路线

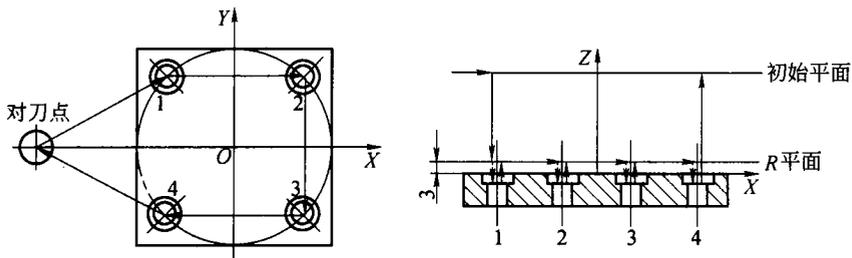


图 5-44 铰  $\phi 16$  孔进给路线

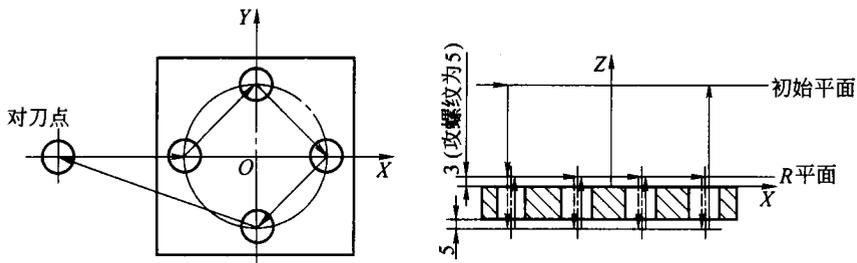


图 5-45 钻螺纹底孔、攻螺纹进给路线

表 5-11 数控加工工序卡片

(工厂)	数控加工工序卡片		产品名称或代号		零件号称		材料		零件图号
					盖板		HT200		
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号		使用设备				车间
		台钳			XH714				
工步号	工步内容		加工面	刀具号	刀具规格 /mm	主轴 转速 (r/ min)	进给 速度 (mm /min)	背吃 刀具 /mm	备注
1	粗铣 B 平面留余量 0.5mm			T01	$\phi 100$	300	70	3.5	
2	精铣 B 平面至尺寸			T13	$\phi 100$	350	50	0.5	
3	粗镗 $\phi 60H7$ 孔至 $\phi 58\text{mm}$		T02	$\phi 58$	400	60			
4	半精镗 $\phi 60H7$ 孔至 $\phi 59.92\text{mm}$			T03	$\phi 59.92$	450	50		
5	精镗 $\phi 60H7$ 孔至尺寸			T04	$\phi 60$	500	40		
6	钻 $4 \times \phi 12H8$ 及 $4 \times M16\text{mm}$ 的中心孔			T05	$\phi 3$	1000	50		
7	钻 $4 \times \phi 12H8$ 至 $\phi 11\text{mm}$			T06	$\phi 11$	600	60		

(工厂)	数控加工工序卡片	产品名称或代号		零件号称		材料		零件图号
				盖板		HT200		
8	扩 $4 \times \phi 12H8$ 至 $\phi 11.85\text{mm}$		T07	$\phi 11.85$	300	40		
9	镗 $4 \times \phi 16\text{mm}$ 至尺寸		T08	$\phi 16$	150	30		
10	铰 $4 \times \phi 12H8$ 至尺寸		T09	$\phi 12$	100	40		
11	钻 $4 \times M16\text{mm}$ 底孔至 $\phi 14\text{m}$		T10	$\phi 14$	450	60		
12	倒 $4 \times M16\text{mm}$ 底孔端角		T11	$\phi 18$	300	40		
13	攻 $4 \times M16\text{mm}$ 螺纹孔成		T12	M16	100	200		
编制		审核		批准		共 1 页		第 1 页

表 5-12 数控加工工具卡片

工步号	刀具号	刀具名称	刀柄型号	刀具		补偿值/mm	备注
				直径/mm	长度/mm		
1	T01	面铣刀 $\phi 100\text{mm}$	BT40 - XM32 - 75	$\phi 100$			
2	T13	面铣刀 $\phi 100\text{mm}$	BT40 - XM32 - 75	$\phi 100$			
3	T02	镗刀 $\phi 58\text{ mm}$	BT40 - TQCSO - 180	$\phi 58$			
4	T03	镗刀 $\phi 59.92\text{HUH}$	BT40 - TQCSO - 180	$\phi 59.92$			
5	T04	镗刀 $\phi 60\text{mm}$	BT40 - TW50 - 140	$\phi 60$			
6	T05	中心钻 $\phi 3\text{ mm}$	BT40 - Z10 - 45	$\phi 3$			
7	T06	麻花钻 $\phi 11\text{ mm}$	BT40 - M1 - 45	$\phi 11$			
8	T07	扩孔钻 $\phi 11.85\text{ mm}$	BT40 - M1 - 45	$\phi 11.85$			
9	T08	阶梯铣刀 $\phi 16\text{mm}$	BT40 - MW2 - 55	$\phi 16$			
10	T09	铰刀 $\phi 12\text{mm}$	BT40 - M1 - 45	$\phi 12$			
11	T10	麻花钻 $\phi 14\text{mm}$	BT40 - M1 - 45	$\phi 14$			
12	T11	麻花钻 $\phi 18\text{ mm}$	BT40 - M2 - 50	$\phi 18$			
13	T12	机用丝锥 M16mm	BT40 - G12 - 130	M16			
编制		审核		批准		共 1 页 第 1 页	

## 二、支承套零件加工中心的加工工艺

图 5-46 所示为升降台铣床的支承套,现分析其加工中心的加工工艺。

### 1. 零件工艺分析

支承套的材料为 45 钢,毛坯为棒料。支承套  $\phi 35H7$  孔对  $\phi 100f9$  外圆有位置精度要求,  $\phi 60$  孔底平面对  $\phi 135H7$  孔有跳动要求,  $2 \times \phi 15H7$  孔对端面 C 有平行度要求,端面:

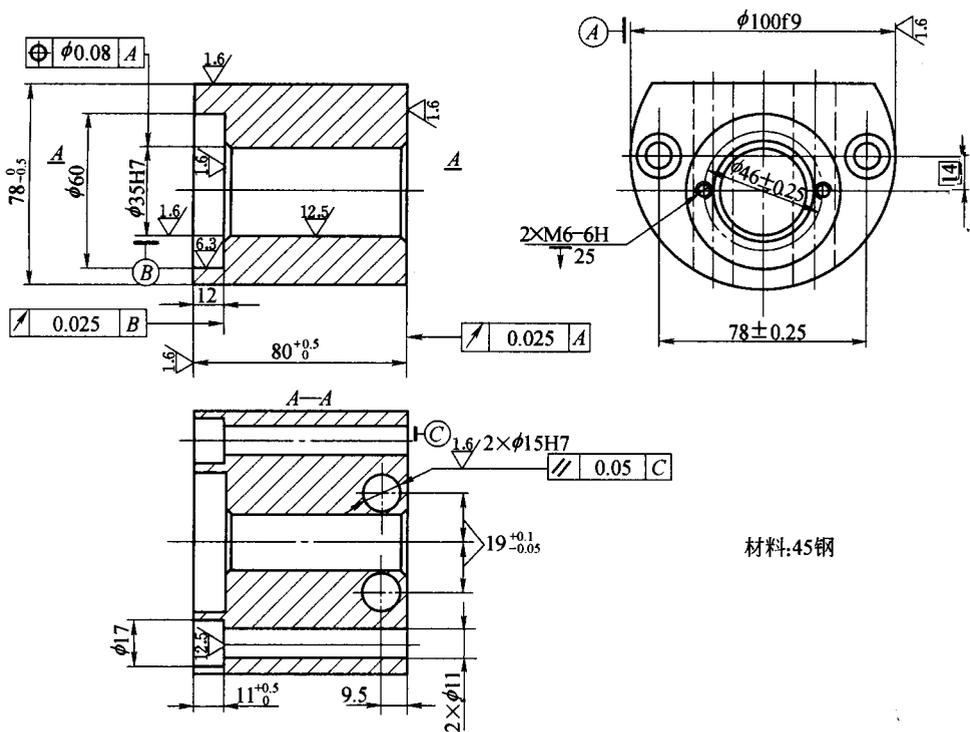


图 5-46 支承套简图

C对 $\phi 100f9$ 外圆有跳动要求。若在普通机床上加工,由于各加工面在不同方向上,需多次安装才能完成,这些位置精度要求不能保证且效率低;在加工中心上加工,只需一次安装即可完成。为便于在加工中心上定位和夹紧,将 $\phi 100f9$ 外圆、 $80_{0}^{+0.5}$ 尺寸两端面、 $78_{-0.5}$ 尺寸上平面均安排在前面工序中由普通机床完成。 $2 \times \phi 15H7$ 孔、 $\phi 35H7$ 孔、 $\phi 60$ 孔、 $2 \times \phi 11$ 孔、 $2 \times \phi 17$ 孔、 $2 \times M5-6H$ 螺孔确定在加工中心上一次安装完成。

在 $B0^\circ$ 位,采用G54指令,编程原点 $X0$ 、 $Y0$ 设在 $\phi 35H7$ 孔中心上, $Z0$ 设在 $80_{0}^{+0.5}$ 尺寸左面。

在 $B90^\circ$ 工位,采用G55指令,编程原点 $X0$ 设在 $80_{0}^{+0.5}$ 尺寸左面, $Y0$ 设在 $\phi 35H7$ 孔中心上, $Z0$ 设在 $78_{-0.5}^0$ 尺寸上面。

## 2. 选择加工中心

因加工表面位于支承套互相垂直的两个表面(左侧面及上平面)上,需要两工位加工才能完成,故选择卧式加工中心。加工内容有钻孔、扩孔、镗孔、铰孔、铰孔及攻螺纹等,所需刀具不超过20把。国产XH754型卧式加工中心可满足上述要求。该机床X轴行程为500mm,Z轴行程为400mm,Y轴行程为400mm,工作台尺寸为400mm $\times$ 400mm,主轴中心线至工作台距离为100~500mm,主轴端面至工作台中心线距离为150~550mm,主轴锥孔为IS040,刀库容量30把,定位精度和重复定位精度分别为0.02mm和0.01mm,工作台分度精度和重复分度精度分别为7"和4"。

### 3. 设计工艺

#### (1) 选择加工方法

由于毛坯为棒料,因此所有孔都是在实体上加工。为防止钻偏,需先用中心钻钻引正孔,然后再钻孔。孔  $\phi 35H7$  及  $2 \times \phi 5H7$  选择铰削作其最终加工方法。对  $\phi 60$  的孔,根据孔径精度、孔深尺寸和孔底平面要求,用铣削方法同时完成孔壁和孔底平面的加工。各加工表面选择的加工方案如下:

$2 \times \phi 15H7$ 孔	钻中心孔—钻孔—扩孔—铰孔
$\phi 35H7$ 孔	钻中心孔—钻孔—粗镗—半精镗—铰孔
$\phi 60$ 孔	粗铣—精铣
$2 \times \phi 11$ 孔	钻中心孔—钻孔
$2 \times \phi 17$ 孔	铰孔(在 $\phi 11$ 底孔上)
$2 \times M6-6H$ 螺孔	钻中心孔—钻底孔—孔端倒角—攻螺纹

#### (2) 确定加工顺序

为减少变换工位的辅助时间和工作台分度误差的影响,各个工位上的加工表面在工作台一次分度下按先粗后精的原则加工完毕。具体的加工顺序是:第一工位( $B0^\circ$ ):钻  $\phi 35H7$ 、 $2 \times \phi 11$  中心孔—钻  $\phi 35H7$  孔—钻  $2 \times \phi 11$  孔—铰  $2 \times \phi 17$  孔—粗镗  $\phi 35H7$  孔—粗铣、精铣  $\phi 60 \times 12$  孔—半精镗  $\phi 35H7$  孔—钻  $2 \times M6-6H$  螺纹中心孔—钻  $2 \times M6-6H$  螺纹底孔— $2 \times M6-6H$  螺纹孔端倒角—攻  $2 \times M6-6H$  螺纹—铰  $\phi 35H7$  孔;第二工位( $B90^\circ$ ):钻  $2 \times \phi 15H7$  中心孔—钻  $2 \times \phi 5H7$  孔—扩  $2 \times \phi 15H7$  孔—铰  $2 \times \phi 15H7$  孔。详见表 5-13 数控加工工序卡片。

#### (3) 确定装夹方案和选择夹具

首先按照基准重合原则考虑选择定位基准。由于  $\phi 35H7$  孔、 $\phi 60$  孔、 $2 \times \phi 11$  孔及  $2 \times \phi 17$  孔的设计基准均为  $\phi 100H9$  外圆中心线,所以选择  $\phi 100H9$  外圆中心线为主要定位基准。因  $\phi 100H9$  外圆不是整圆,故用 V 形块做定位元件。支承套长度方向的定位基准,若选右端面定位,对  $\phi 17$  孔深尺寸  $110^{+0.5}$  存在基准不重合误差,精度不能保证(因工序尺寸  $80^{0.52}$  的公差为  $0.5 \text{ mm}$ ),故选左端面定位。工件的装夹简图如图 5-47 所示。在装夹时应使工件上平面在夹具中保持垂直,以消除转动自由度。

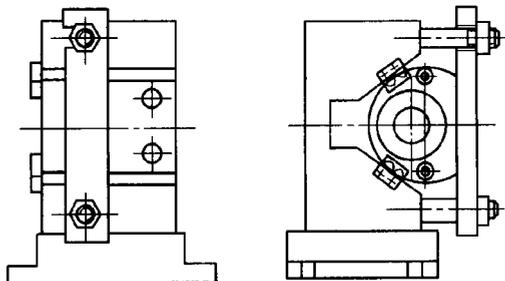


图 5-47 支承套装夹示意图

## (4) 选择刀具

各工步刀具直径根据加工余量和孔径确定,详见表 5-14 数控加工刀具卡片。刀具长度与工件在机床工作台上的装夹位置有关,在装夹位置确定之后,再计算刀具长度,这里只计算  $\phi 5H7$  孔钻孔刀具的长度。为减小刀具的悬伸长度,将工件装夹在工作台中心线与机床主轴之间,因此,刀具的长度用式(3-6)和式(3-7)计算,计算式中

$$A = 550\text{mm}, B = 150\text{mm}, N = 180\text{mm}, L = 80\text{mm}$$

$$Z_0 = 3\text{mm}, T_1 = 0.3d = 0.3 \times 31\text{mm} = 9.3\text{mm}$$

所以

$$T_L > (550 - 150 - 180 + 80 + 3 + 9.3)\text{mm} \approx 312\text{mm}$$

$$T_L < (550 - 180)\text{mm} = 370\text{mm}$$

取  $T_L = 330\text{mm}$ 。其余刀具的长度参照上述算法可一一确定,见表 5-14。

## (5) 选择切削用量

在机床说明书允许的切削用量范围内查表选取切削速度和进给量,然后算出主轴转速和进给速度,其值见表 5-13。

表 5-13 数控加工工序卡片

(工厂)	数控加工工序卡片		产品名称 或代号		零件名称		材料		零件 图号	
					支撑套		45 钢			
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号		使用设备				车间	
		专用夹具			XH754					
工步号	工步内容		加工面	刀具号	刀具规格 /mm	主轴 转速 (r/ min)	进给 速度 (mm/ min)	背吃 刀量 /mm	备注	
B0°										
1	钻 $\phi 35H7$ 孔、 $2 \times \phi 17 \times 11$ 孔中心孔			T01	$\phi 3$	1 200	40			
2	钻 $\phi 35H7$ 孔至 $\phi 31$			T02	$\phi 31$	150	30			
3	钻 $\phi 11$ 孔			T03	$\phi 11$	500	70			
4	镗 $2 \times \phi 17$ 沉孔			T04	$\phi 17$	150	15			
5	粗镗 $\phi 35H7$ 孔至 $\phi 34$			T05	$\phi 34$	400	30			
6	粗铣 $\phi 60 \times 12$ 至 $\phi 59 \times 11.5$			T06	$\phi 32T$	500	70			
7	精铣 $\phi 60 \times 12$ 至尺寸			T06	$\phi 32T$	600	45			

(工厂)	数控加工工序卡片		产品名称 或代号		零件名称		材料		零件 图号	
					支撑套		45 钢			
8	半精镗 $\phi 35H7$ 孔至 $\phi 34.9$			T07	$\phi 34.9$	450	35			
9	钻 $2 \times M6-6H$ 螺纹中心孔			T01	$\phi 3$	1 200	40			
10	钻 $2 \times M6-6H$ 底孔至 $\phi 5$			T08	$\phi 5$	650	35			
11	$2 \times M6-6H$ 孔端倒角			T03	$\phi 11$	500	20			
12	攻 $2 \times M6-6H$ 螺纹			T09	M6	100	100			
13	铰 $\phi 35H7$ 孔至尺寸			T10	$\phi 35AH7$	100	50			
14	钻 $\phi_x \phi 5H7$ 孔中心孔			T01	$\phi 3$	1 200	40			
15	钻 $\phi \times \phi 15H7$ 孔至 $\phi 14$			T11	$\phi 14$	450	60			
16	扩 $\phi 2 \times \phi 15H7$ 孔至 $\phi 14.85$			T12	$\phi 14.85$	200	40			
17	铰 $2 \times \phi 15H7$ 孔至尺寸			T13	$\phi 15AH7$	100	60			
编制				审核			批准			共 1 页 第 1 页

表 5-14 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		零件名称		盖板	零件图号		程序编号		
工步 号	刀具 号	刀具名称	刀柄型号	刀具		补偿值 /mm	备注		
				直径/mm	长度/mm				
1	T01	中心钻 $\phi 3$	JT40—Z6—45		$\phi 3$	280			
2	T02	锥柄麻花钻 $\phi 31$	JT40—M3—75		$\phi 31$	330			
3	T03	锥柄麻花钻 $\phi 11$	JT40—M1—35		$\phi 11$	330			
4	T04	锥柄埋头钻 $\phi 17 \times 11$	JT40—M2—50		$\phi 17$	300			
5	T05	粗镗刀 $\phi 34$	JT40—TQC30—165		$\phi 34$	320			
6	T06	立铣刀 $\phi 32T$	JT40—MW4—85		$\phi 32T$	300			
7	T06	立铣刀 $\phi 32T$	JT40—MW4—85		$\phi 32T$	300			
8	T07	镗刀 $\phi 34.85$	JT40—TZC30—165		$\phi 34.85$	320			
9	T01	中心钻 $\phi 3$	JT40—Z6—45		$\phi 3$	280			
10	T08	直柄麻花钻 $\phi 5$	JT40—Z6—45		$\phi 5$	300			
11	T03	锥柄麻花钻 $\phi 11$	JT40—M1—35		$\phi 11$	330			
12	T09	机用丝锥 M6	JT40—G1JT3		M6	280			
13	T10	套式铰刀 $\phi 35AH7$	JT40—K19—140		$\phi 35AH7$	330			
14	T01	中心钻 $\phi 3$	JT40—Z6—45		$\phi 3$	280			
15	T11	锥柄麻花钻 $\phi 14$	JT40—M1—35		$\phi 4$	320			
16	T12	扩孔钻 $\phi 14.85$	JT40—M2—50		$\phi 14.85$	320			
17	T13	铰刀 $\phi 15A117$	JT40—M2—50		$\phi 5AH7$	320			
编制			审核			批准			共 1 页 第 1 页

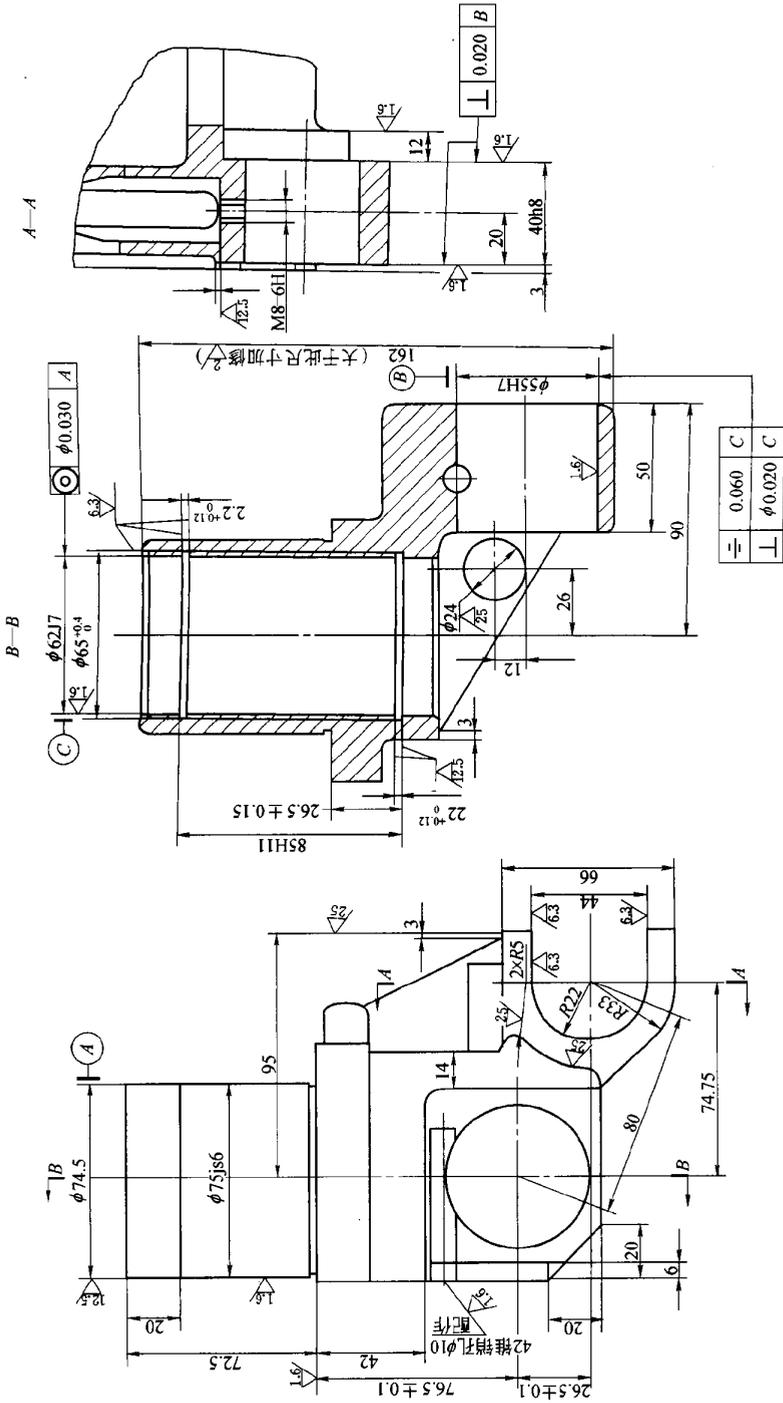


图 5-48 异形支架零件简图

### 三、异形支架零件加工中心的加工工艺

图 5-48 是异形支架零件简图, 现分析其加工中心的加工工艺。

#### 1. 零件工艺分析

该异形支架的材料为铸铁, 毛坯为铸件。该工件结构复杂, 精度要求较高, 各加工表面之间有较严格的位置度和垂直度等要求, 毛坯有较大的加工余量, 零件的工艺刚性差, 特别是加工 40h8 部分时, 如用常规加工方法在普通机床上加工, 很难达到图纸要求。原因是假如先在车床上一次加工完成  $\phi 75_{js6}$  外圆、端面 and  $\phi 62J7$  孔、 $2 \times 2.2_0^{+0.12}$  槽, 然后在镗床上加工  $\phi 55H7$  孔, 要求保证对  $\phi 62J7$  孔之间的对称度  $0.061B_{mm}$  及垂直度  $0.02mm$ , 就需要高精度机床和高水平操作工, 一般是很难达到上述要求的。如果先在车床上加工好  $\phi 75_{js6}$  外圆及端面, 再在镗床上加工  $\phi 62J7$  孔、 $2 \times 2.2_0^{+0.5}$  槽及  $\phi 55H7$  孔, 这样虽然较易保证上述的对称度和垂直度, 但却难以保证  $\phi 62J7$  孔与  $\phi 75_{js6}$  外圆之间  $\phi 0.03 mm$  的同轴度要求, 而且需要特殊刀具切  $2 \times 2.2_0^{+0.12}$  槽。即使采用专门的工夹具和高精度机床, 经过多次找正达到了上述要求, 在下道工序加工 R22、R33 及 44 尺寸以及 40h8 尺寸时也是困难的。另外, 完成 40h8 尺寸需两次装卡, 调头加工, 难以达到要求,  $\phi 55H7$  孔与 40h8 尺寸需分别在镗床和铣床上加工完成, 同样难以保证其对 B 孔的  $0.02mm$  垂直度要求。

#### 2. 选择加工中心

通过零件的工艺分析, 确定该零件在卧式加工中心上加工。根据零件外形尺寸及图纸要求, 选定的仍是国产 XH754 型卧式加工中心。

#### 3. 设计工艺

##### (1) 选择在加工中心上加工的部位及加工方案

$\phi 62J7$ 孔	粗镗—半精镗—孔两端倒角—铰
$\phi 55H7$ 孔	粗镗—孔两端倒角—精镗
$2 \times 2.2_0^{+0.12}$ 空刀槽	一次切成
44U 型槽	粗铣—精铣
R22 尺寸	一次镗
40h8 尺寸两面	粗铣左面—粗铣右面—精铣左面—精铣右面

##### (2) 确定加工顺序

$B0^\circ$  镗 R22 尺寸—粗铣 U 型槽—粗铣 40h8 尺寸左面→ $B180^\circ$  粗铣 40h8 尺寸右面→ $B270^\circ$  粗镗  $\phi 62J7$  孔—半精镗  $\phi 62J7$  孔—切  $2 \times \phi 65_0^{+0.4} \times 2.2_0^{+0.12}$  空刀槽— $\phi 62J7$  孔两端倒角→ $B180^\circ$  粗镗  $\phi 55H7$  孔— $\phi 55H7$  孔两端倒角→ $B0^\circ$  精铣 U 型槽—精铣 40h8 左端面→ $B180^\circ$  精铣 40h8 右端面—精镗  $\phi 55H7$  孔— $B270^\circ$  铰  $\phi 62J7$  孔。具体工艺过程见表 5-15。

##### (3) 确定装夹方案和选择夹具

支架在加工时, 以  $\phi 75_{js6}$  外圆及  $26.5 \pm 0.15$  尺寸上面定位( 两定位面均在前面车床工序中先加工完成)。工件安装简图如图 5-49 所示。

#### (4) 选择刀具

各工步刀具直径根据加工余量和加工表面尺寸确定, 详见表 5-16 数控加工刀具卡片, 长度尺寸这里省略。

#### (5) 选择切削用量

同样在机床说明书允许的切削用量范围内查表选取切削速度和进给量, 然后算出主轴转速和进给速度, 其值见表 5-15。

#### 4. 工艺设计的几点说明:

(1) 由于工件不是精密铸造件, 加工余量较大, 尤其是  $40H8$  部分由于结构限制, 它的刚性较差, 加工中产生的变形较大。因此, 在粗加工和半精加工全部完成之后, 再进行精加工。

(2) 所选卧式加工中心本身采用编码器进行位置检测, 利用鼠齿盘进行工作台分度定位, 多次回转加工, 能有效地保证各面之间的垂直度要求。

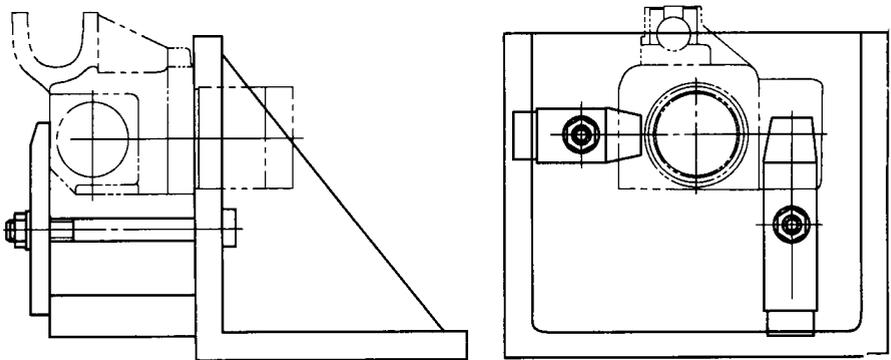


图 5-49 工件装夹示意图

(3) 在精镗  $\phi 62J7$  孔之前切  $2 \times 2.2_{0.12}^0$  槽及倒角, 可防止精加工后孔内产生毛刺。

(4) 工件坐标系设定。加工支架时, 共设定三个工件坐标系:

B270°(354X0, Y0 设在  $\phi 62J7$  孔轴线上, Z0 设在 72.5 尺寸上面 60mm 处;

B180°G55X0, Y0 设在  $\phi 55H7$  孔轴心线上, Z0 设在(B—B)视图 90 尺寸右面上;

B0°G56X0, Y0 设在 U 型槽 R22 尺寸中心上, Z0 设在 U 型槽 3 尺寸右面上。

表 5-15 数控加工工序卡片

(工厂)	数控加工工序卡片		产品名称 或代号	零件名称	材料	零件 图号
				导形支架	铸铁	
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备		车间
		专用夹具		XH754		

(工厂)	数控加工工序卡片		产品名称 或代号		零件名称		材料		零件 图号	
					导形支架		铸铁			
工 步 号	工步内容		加工面	刀具号	刀具 规格 /mm	主轴 转速 (r/ min)	进给 速度 (mm/ min)	背吃 刀量 /mm	备注	
B0°										
1	粗镗 44 尺寸、R22 尺寸			T01	φ42	300	45			
2	粗铣 U 型槽			T02	φ25	200	60			
3	粗铣 40h8 尺寸左面			T03	φ30	180	60			
	φ180°									
4	粗铣 φh8 尺寸右面			T03	φ30	180	60			
	B270°									
5	粗镗 φ62J7 孔至 φ61			T04	φ61	250	80			
6	半精镗 φ62J7 孔至 5L61.85			T05	φ61.85	350	60			
7	切 2 × φ65 <sup>0.5</sup> × 2.2 <sup>0.120</sup> 空刀槽			T06	φ50	200	20			
8	φ62J7 孔两端倒角			T07	φ66	100	40			
	B180°									
9	粗镗 φ55H7 孔至 φ54			T08	φ54	350	60			
10	φ55H7 孔两端倒角			T09	φ66	100	30			
	B0°									
11	精铣 U 型槽			T02	φ25	200	60			
12	精铣 40h8 左端面至尺寸			T10	φ66	250	30			
	B180°									
13	精铣 40h8 右端面至尺寸			T10	φ66	250	30			
14	精镗 φ55H7 孔至尺寸			T11	φ55H7	450	20			
	B270°									
15	铰 φ62J7 孔至尺寸			T12	φ62J7	100	80			
编制				审核			批准			共 1 页 第 1 页

表 5-16 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		零件名称	盖板	零件图号	程序编号		
工步号	刀具号	刀具名称	刀柄型号	刀具		补偿值/mm	备注
				直径/mm	长度/mm		
1	T01	镗刀 $\phi 42$	JT40-TQC30-270	$\phi 42$			
2	T02	长刃铣刀 $\phi 25$	JT-MW3-75	$\phi 25$			
3	T03	立铣刀 $\phi 30$	JT40-MW4-85	$\phi 30$			
4	T03	立铣刀 $\phi 30$	JT40-MW4-85	$\phi 30$			
5	T04	镗刀 $\phi 61$	JT40-TQC50-270	$\phi 61$			
6	T05	镗刀 $\phi 61.85$	JT40-TZC50-270	$\phi 61.85$			
7	T06	切槽刀 $\phi 50$	JT40-M4-95	$\phi 50$			
8	T07	倒角镗刀 $\phi 66$	JT40-TZC50-270	$\phi 66$			
9	T08	镗刀 $\phi 54$	JT40-TZC40-240	$\phi 54$			
10	T09	倒角刀 $\phi 66$	JT40-TZC50-270	$\phi 66$			
11	T02	长刃铣刀 $\phi 25$	JT40-MW3-75	$\phi 25$			
12	T10	镗刀 $\phi 66$	JT40-TZC40-180	$\phi 66$			
13	T10	镗刀 $\phi 66$	JT40-TZC40-180	$\phi 66$			
14	T11	镗刀 $\phi 55H7$	JT40-TQC50-270	$\phi 55H7$			
15	T12	铰刀 $\phi 62J7$	JT40-K27-180	$\phi 62J7$			
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

# 第六章 大量生产典型零件数控加工工艺

## 第一节 典型轴类零件数控加工工艺

### 一、典型轴类零件介绍

图 7-1 所示为变速器一轴热处理前零件简图。

该零件材料为 20CrMnTi, 毛坯为模锻件, 硬度为 156 ~ 207HBS, 是国内某型号汽车变速器上的零件, 为大量生产类型产品。该零件为由双联齿形、矩形花键、径向孔、内孔、外圆柱面、外圆锥面、过渡圆角、内外环槽等表面组成的轴类零件, 加工表面较多, 适合在数控车床上加工。

### 二、工艺分析

#### 1. 加工技术要求分析

该零件在热处理前即有众多的精度要求: 大端内孔钻孔直径  $\phi 24$ , 大端内孔直径  $\phi 33_{-0.1}^0$ , 大端内孔倒角  $1.3 \times 30^\circ$  和  $1.1 \times 45^\circ$ , 大端内孔里外两环槽底径  $\phi 34.5_0^{+0.1}$ , 双联轴齿轮齿形退刀槽底径  $\phi 40.5$ , 小齿轮上外环槽底径  $\phi 45.2_{-0.25}^0$ , 小齿轮齿顶外圆直径  $\phi 47.5_{-0.293}^{+0.043}$ , 大齿轮齿顶外圆直径  $\phi 66_{-0.15}^0$ , 右侧外圆轴颈  $\phi 36.4_{-0.05}$  和  $\phi 36.4_{-0.1}^0$ , 大齿轮左侧外圆轴颈右环槽底径  $\phi 32.5_{-0.1}^0$  和左环槽底径  $\phi 32_{-0.1}^0$ , 外圆锥小径及外圆轴颈  $\phi 32$ , 圆锥角度  $5^\circ$ , 小端轴颈  $\phi 17.4_{-0.1}^0$  及倒角  $4.5 \times 15^\circ$ , 倒角  $30^\circ$  及小端轴颈  $\phi 25$ , 小端过渡圆弧  $R2$ , 矩形花键外圆轴颈  $\phi 36.4_{-0.1}^0$ 、小径  $\phi 26.2_{-0.33}^0$  键宽  $5.385_{-0.15}^{+0.10}$ , 径向均布孔  $3 \times \phi 2.5$ , 小端外圆轴颈和矩形花键外圆对基准  $A-B$  径向圆跳动  $0.04$ , 右侧外圆轴颈  $\phi 36.4_{-0.05}^0$  对基准  $A-B$  径向圆跳动  $0.03$ , 大齿轮左、右端面对基准  $A-B$  端面圆跳动  $0.02$ , 以及其他各轴向尺寸、粗糙度要求等。上述技术要求决定了需加工的表面及相应加工方案。

#### 2. 定位基准选择

该零件先在铣端面打中心孔机床上完成两端面及中心孔的加工, 为下道工序的加工

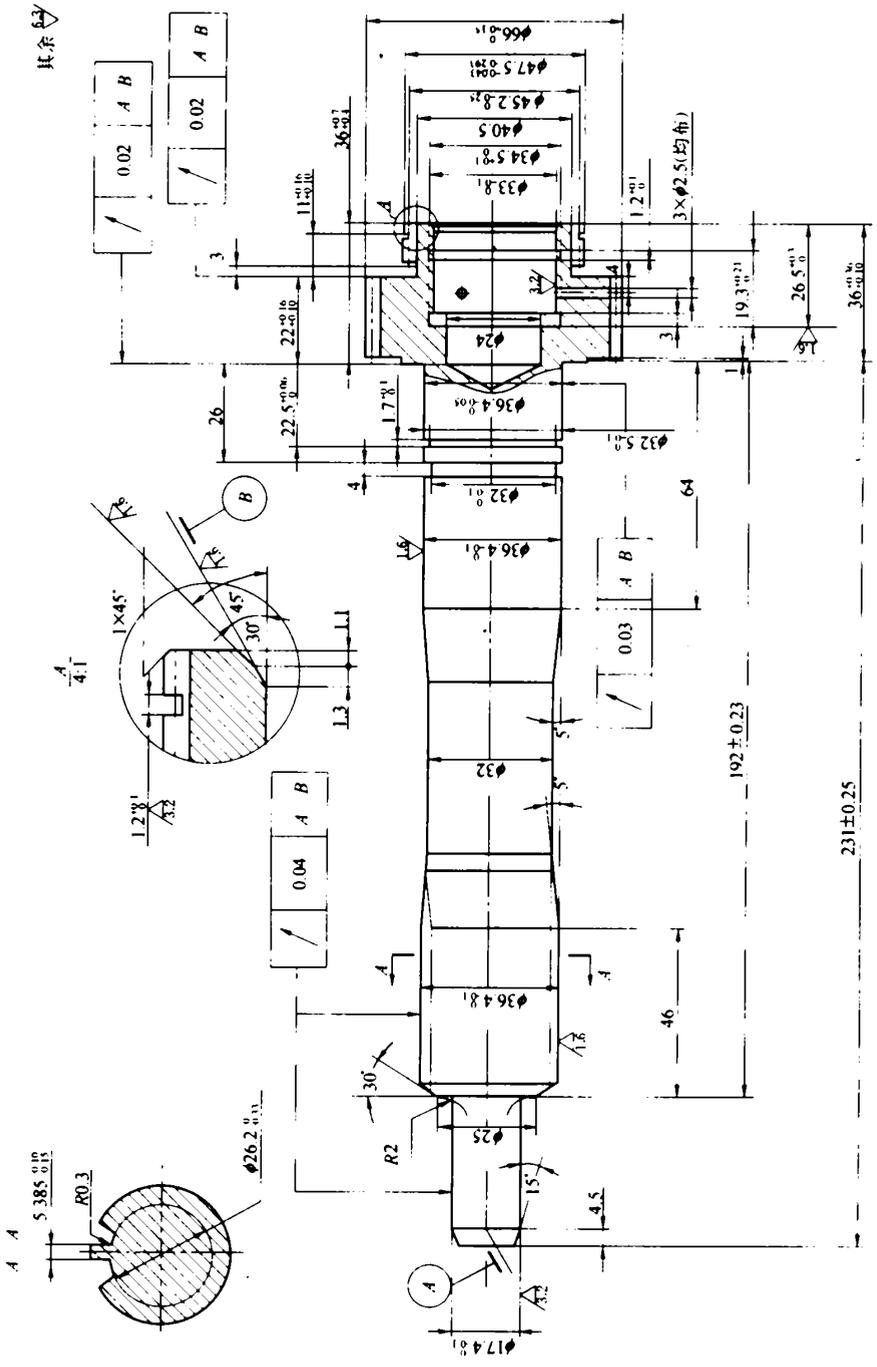


图 6-1 变速器一轴热处理前零件简图

提供了定位基准,大端钻、车孔后,则以大端内孔倒角和小端中心孔为该零件的大多数工序的定位基准。另有些工序的轴向定位基准为大齿轮左端面,径向定位基准为 $\phi 36.4_{-0.05}^0$ 外圆轴颈。

### 3. 工艺方案拟定

两端面和中心孔	铣端面—钻中心孔
外表面各部	粗车—精车
大端内孔	钻孔 $\phi 24$ —扩孔 $\phi 32.25 - 32.15$ —倒角 $1.3 \times 30^\circ$ 和 $1.1 \times 45^\circ$ —车内孔 $\phi 33 - 32.9$
各内外环槽	车
小齿轮齿形	车削小齿轮齿顶外圆 $\phi 47.457 - 47.207$ —插齿
大齿轮齿形	车削大齿轮齿顶外圆 $\phi 66 - 65.85$ —滚齿—倒两端齿形角—剃齿
矩形花键	车削矩形花键外圆轴颈 $\phi 36.40 - 36.30$ —铣矩形花键
$3 \times \phi 2.5$ 孔	钻

### 4. 加工设备选择

铣端面打中心孔采用铣端面打中心孔机床加工,外表面各部粗、精车采用数控车床,钻孔采用立式钻床,扩孔、车端面及倒角采用数控车床,精车大端各部采用数控车床,插齿采用数控插齿机,滚齿采用数控滚齿机,铣矩形花键采用花键轴铣床,倒两端齿形角采用齿形倒角机,钻油孔采用台式钻床,剃齿采用万能剃齿机。

有关加工顺序、工序尺寸及工序要求、夹具、刀具、量具及检具、切削用量、冷却润滑油等工艺问题详见变速器一轴工艺过程卡和工序卡。

## 三、变速器—轴工艺过程卡和工序卡

表 6-1 变速器—轴工艺过程卡

零件名称		零件材料	毛坯种类	毛坯硬度	毛重/kg	净重/kg	车型	每车件数	
变速器—轴		20GrMnTi	模锻件	156 - 207 HSB	3.8	3.2			
工序号	工序名称	设备名称	夹具	进给量 ( $\mu\text{m}/\text{r}$ )	主轴转速 ( $\text{r}/\text{min}$ )	切削速度 ( $\text{m}/\text{min}$ )	冷却液	T 单	负荷 /%
1	铣端面 打中心孔	铣端面打 中心孔机床	专用夹具	0.3 0.15	300 1200	50 47.1			

零件名称		零件材料	毛坯种类	毛坯硬度	毛重/kg	净重/kg	车型	每车件数	
2	粗精车小端各部	数控车床	随机夹具	0.1 ~ 0.25	1000 ~ 200	100.5 - 414.7	乳化液		
3	钻孔	立式钻床	专用夹具	0.62	180	13.57	乳化液		
4	扩孔、车端面及倒角	数控车床	专用夹具	0.3	850	62	乳化液		
5	精车大端各部	数控车床	专用夹具	0.1 ~ 0.2	800 ~ 2000	108.4 - 295	乳化液		
6	插齿	数控插齿机	插齿夹具	0.3	425/冲程	20	YQ - 15		
7	滚齿	数控滚齿机	专用夹具	2.9	200	43.2	YQ - 15		
8	铣矩形花键	花键轴铣床	专用夹具	0.8	250	54.95	YQ - 15		
9	倒两端齿形角	齿形倒角机	随机夹具				YQ - 15		
10	钻油孔	台式钻床	专用夹具	手动	3150	24.7	乳化液		
11	剃齿、去内孔毛刺	万能剃齿机	随机夹具	0.04 粗剃 0.02 精剃	702	5	YQ - 15		
12	清洗	清洗机							
13J	热前检查								
编制		审核		批准		共 1 页		第 1 页	

表 6-2 变速器—轴工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号
			变速器—轴	20CrMnTi	
工序号	工序名称	夹具	使用设备	车间	
1	铣端面打中心孔	专用夹具	铣端面打中心孔机床		

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器一轴	20CrMnTi		
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	铣端面:保证轴向尺寸 38.5 267.75 ~ 267.45 Ra3.2	圆盘铣刀(2)	0-300 $\mu$ 0.02 深度尺样板	0.3	300	50
2	打中心孔:保证尺寸 5 ~ 5.1 $\phi$ 12.5 60° 120° Ra3.2	中心孔钻(2)		0.15	1200	47.1
编制		审核		批准		共 1 页 第 1 页

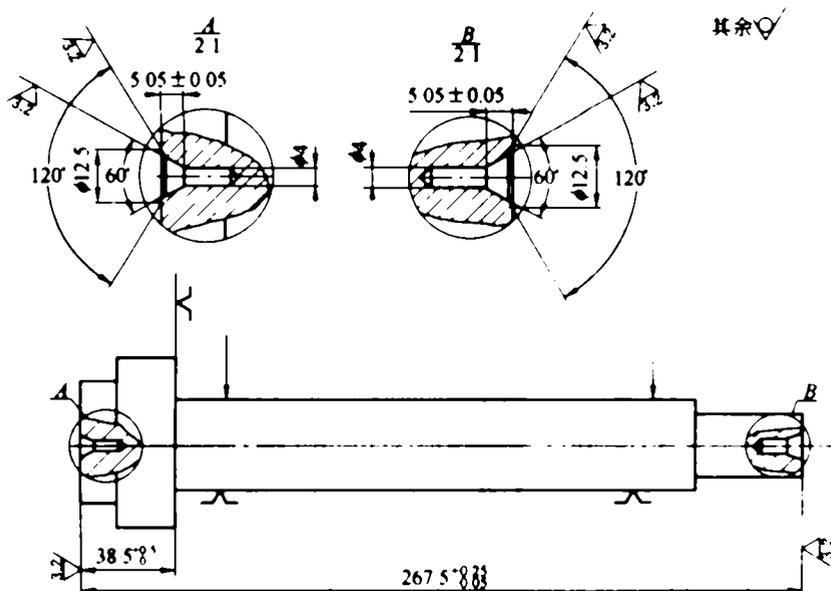


图 6-2 工序 1 工序简图

表 6-3 变速器—轴工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器—轴	20CrMnTi		
工序号	工序名称	夹具	使用设备		车间	
2	粗精车小端各部	专用夹具	数控车床			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 ( $\mu\text{m}/r$ )	主轴转速 ( $r/\text{min}$ )	切削速度 ( $\text{m}/\text{min}$ )
	I 刀位(保证下列各尺寸)					
1	$\phi 17.40 \sim \phi 17.30$ Ra3.2 $4.5 \times 15^\circ$	机夹车刀 TNMG220408 LFKC935 刀片	17.40 – 17.30 V 卡规	0.25	2 000	109.3
2	$\phi 25$ $30^\circ$ R2		0 – 150 $\text{D}0.02$ 游标卡尺	0.25	2 000	157
3	$\phi 36.40 \sim \phi 36.35$ Ra1.6		36.40 – 36.35 IV 卡规	0.25	2 000	228.6
4	$\phi 32$ $\phi 50$ $5^\circ$ (两处)		0 – 150 $\text{D}0.02$ 游标卡尺	0.25	2 000	201 314
5	$\phi 36.40 \sim \phi 36.30$ (两处)Ra1.6		36.40 – 36.30 V 卡规	0.25	2 000	228.6
6	$\phi 66 \sim \phi 65.85$ 轴向 231.25 ~ 230.75 192.23 ~ 191.77 4.5 46 64 36.7 ~ 36.5		卡规 0 – 300 $\text{D}0.02$ 深度尺样板 0 – 150 $\text{D}0.02$ 游标卡尺	0.25	2 000	414.7
	II 刀位					
7	4 $\phi 32 \sim \phi 31.9$	机夹车刀 N151.2 – 400 – 40 – 5/526 刀片	0 – 150 $\text{D}0.02$ 游标卡尺	0.1	1 000	100.5

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
				变速器一轴	20CrMnTi	
	Ⅲ刀位					
8	1.7~1.8 $\phi 32.5 \sim \phi 32.4$ 22.5~22.56 Ra1.6	机夹车刀 L154. OG-16 CC01-169/ 1020 刀片	1.7~1.8Ⅶ 塞板 卡规 量规	0.1	1 000	102
编制		审核		批准		共 1 页 第 1 页

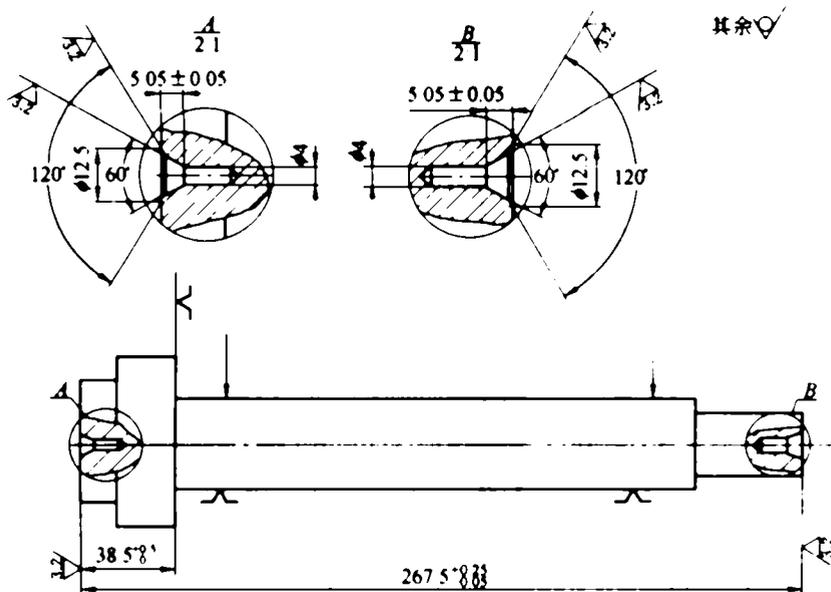


图 6-3 工序 2 工序简图

表 6-4 变速器一轴工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器一轴	20CrMnTi		
工序号	工序名称	夹具	使用设备			车间
3	钻孔	专用夹具	立式钻床			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	保证下列各尺寸： 36.40~36.70 $\phi 24$ (刀具保证) Ra12.5	$\phi 24$ GB1438-85 钻头	0-200 $\phi 0.02$ 深度尺 0-150 $\phi 0.02$ 游标卡尺	0.62	180	13.57
编制		审核		批准		共 1 页 第 1 页

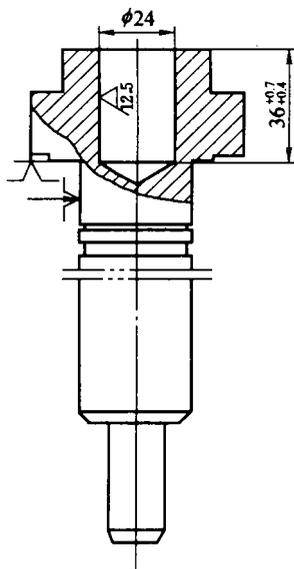


图 6-4 工序 3 工序简图

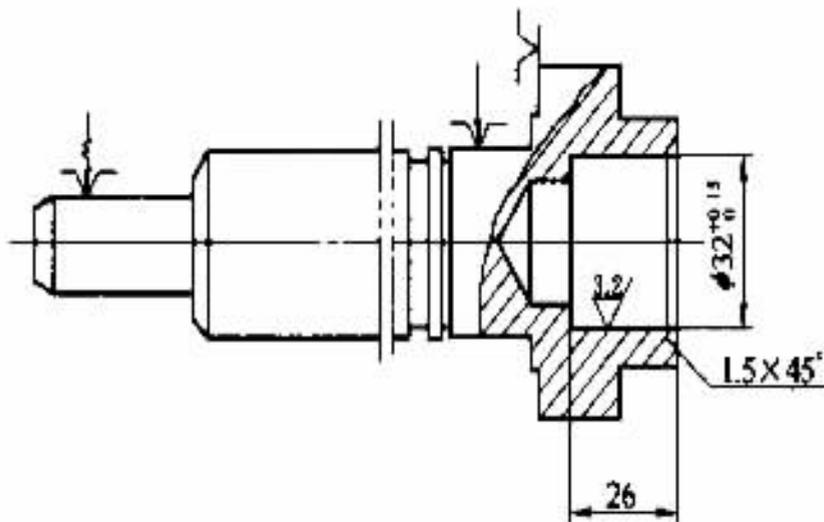


图 6-5 工序 4 工序简图

表 6-5 变速器一轴工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器一轴	20CrMnTi		
工序号	工序名称	夹具	使用设备		车间	
4	扩孔、车端面及倒角	专用夹具	数控车床			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	保证下列各尺寸： $\phi 32 \sim \phi 32.15$ Ra3.2 深 26 倒角： $1.5 \times 45^\circ$	内孔车刀	0-150 D.02 游标卡尺 0-200 D.02 深度尺	0.3	850	62
编制		审核		批准	共 1 页	第 1 页

表 6-6 变速器一轴工序卡

(工厂)		工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
				变速器一轴	20CrMnTi		
工序号		工序名称	夹具	使用设备			车间
5		精车大端各部	专用夹具	数控车床			
工步号	工步内容		刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
	I 刀位(保证下列各尺寸)						
1	22.16 ~ 22.10 $\phi 47.457 \sim \phi 47.207$		机夹车刀 TNMG220208	0-25 $\mu$ .01 千分尺卡规	0.2	2 000	295
2	1 × 45° 36.36 ~ 36.10 Ra6.3		LFKC935 刀片	0-150 $\mu$ .02 游标卡尺			
	II 刀位						
3	保证 3 22.16 ~ 22.10 $\phi 40.5$		机夹车刀 N151.2-300 -400-5G/ 525 刀片	0-150 $\mu$ .02 游标卡尺 0-25 $\mu$ .01 千分尺	0.15	1 000	147
	IV 刀位						
4	保证 $\phi 11.15 \sim 11.05$ $\phi 45.2 \sim \phi 44.95$ 1.2 ~ 1.3 Ra3.2 2 × R0.2 (刀具保证)		机夹车刀 N154.0G-16 CC01-110/ 1020 刀片	卡板 卡规 塞规	0.1	800	125.6
	IV 刀位						
5	保证 $\phi 33 \sim \phi 32.90$ 1.3 1.1 60° 90° Ra3.2 深 26		机夹车刀 CNMG090308 PM4025 刀片	塞规 32.90-33 塞规 0-200 $\mu$ .02 深度尺	0.1	2 000	198
	V 刀位						

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器一轴	20CrMnTi		
6	保证 26.50 ~ 26.80 $\phi 34.5 \text{ } 3 \text{ Ra}3.2$	焊接车刀	0 - 200 $\text{D} \cdot 02$ 深度尺			
	VI 刀位					
7	19.30 ~ 19.51 $1.3 \sim 1.2$ $\phi 34.50 \sim \phi 34.60 \text{ } Ra6.3$	机夹车刀 R154.0G - 16CC01 - 110 - 1020 刀片	量规 塞板	0.15	1 000	108.4
	$\phi 17.4 \sim \phi 17.3$ $\phi 36.4 \sim \phi 36.3$ 外径处 对基准 A—B 径跳 $\text{D} \cdot 04$		偏摆仪 0 - 10 $\text{D} \cdot 01$ 百分表			
	VI 刀位					
	$\phi 36.4 \sim 36.35$ 轴颈处 对基准 A—B 径跳 $\text{D} \cdot 03$ 22.16 ~ 22.10 两端面 对基准 A—B 端跳 $\text{D} \cdot 02$		大顶尖 小顶尖			
编制		审核		批准		共 1 页 第 1 页

表 6-7 变速器一轴工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器一轴	20CrMnTi		
工序号	工序名称	夹具	使用设备		车间	
6	插齿	插齿夹具	数控插齿机			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
	I 刀位(保证下列各尺寸)					

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号		
			变速器一轴	20CrMnTi			
1	保证 跨棒距 $S_{2.52} \sim 52.42$ 齿数 :18 模数 2.5 压力角 $20^\circ$ 径向跳动 $F_r 0.06$	插齿刀	50-75 D.01 外径 千分尺 $\phi 4.9$ 量棒 花键环规 (T) 花键环规 (Z) 径跳检查仪 0-1 D.01 千分表	0.3	425/冲程	20	
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

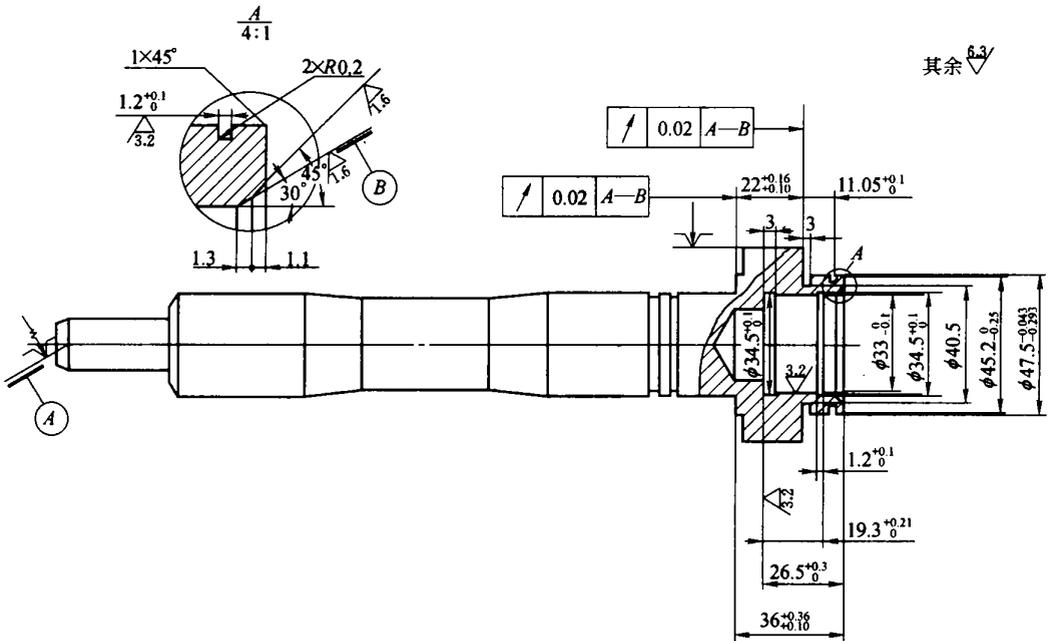


图 6-6 工序 5 工序简图

表 6-8 变速器一轴工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器一轴	20CrMnTi		
工序号	工序名称	夹具	使用设备		车间	
7	滚齿	插齿夹具	数控插齿机			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号		
			变速器一轴	20CrMnTi			
	I 刀位(保证下列各尺寸)						
1	滚齿保证 齿数 21 法向模数 2.5 法向压力角 20° 螺旋角 29° 旋向 左 公法线长度 27.37 - 27.32 跨齿数 4 公法线变动量 0.03 径向跳动 $F_r$ 0.045 齿廓公差 $F_a$ 0.018 螺旋线公差 $F_\beta$ 0.018 齿廓两端倒角相同 Ra3.2	剃前滚刀	25 - 50 0.01 公法线千分尺 径跳检查仪 0 - 1 0.001 千分表顶尖(2) 齿形齿向测量机	2.9	200	43.2	
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

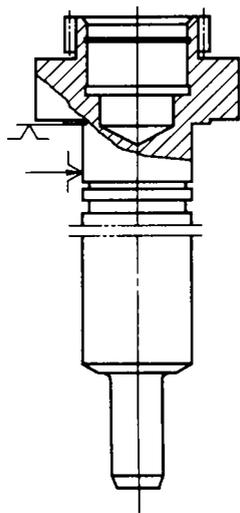


图 6-7 工序 6 工序简图

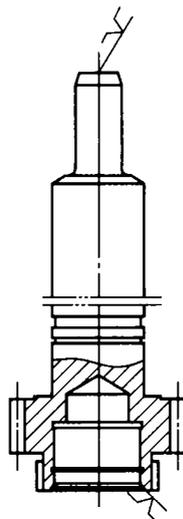


图 6-9 工序 8 工序简图

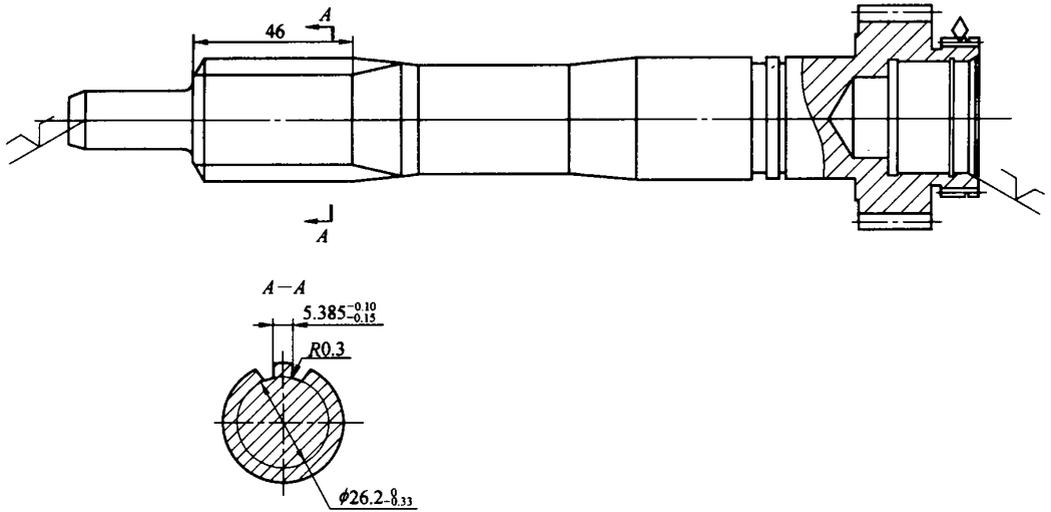


图 6-9 工序 8 工序简图

表 6-9 工序 8 工序简图

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号		
			变速器一轴	20CrMnTi			
工序号	工序名称	夹具	使用设备		车间		
8	铣矩形花键	专用夹具	花键轴铣床				
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)	
1	铣矩形花键 保证键宽 5.285 ~ 5.235 所指键宽到 $\phi 28.575$ 为止 $Ra3.2$ 圆角 $R0.3$ 最大 花键小径 $\phi 26.20 \sim \phi 25.87$ 花键有效长 46 $Z = 10$	GB - 10 - 30 10 - 36.4 × 26.54 × 5.385 花键滚刀	0 - 25 $\mu 0.01$ 公法线千分尺 花键环规 0 - 150 $\mu 0.02$ 游标卡尺	0.8	250	54.95	
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

表 6-10 变速器一轴工序卡

(工厂)	工序卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
				变速器一轴	20CrMnTi		
工序号	工序名称		夹具	使用设备			车间
9	倒两端齿形角		随机夹具	齿形倒角机			
工步号	工步内容		刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	保证(两端) $l \times 45^\circ$ 沿齿廓倒去锐角 去掉端面毛刺 Ra12.5		倒棱刀 左刮刀 右刮刀				
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

表 6-11 变速器一轴工序卡

(工厂)	工序卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
				变速器一轴	20CrMnTi		
工序号	工序名称		夹具	使用设备			车间
10	钻油孔		专用夹具	台式钻床			
工步号	工步内容		刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	保证轴向尺寸 4 $3 \times \phi 2.5$ 均布 Ra12.5		$\phi 2.5$ GB 1436-78 钻头	0-150 0.02 游标卡尺	手动	3 150	24.7
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

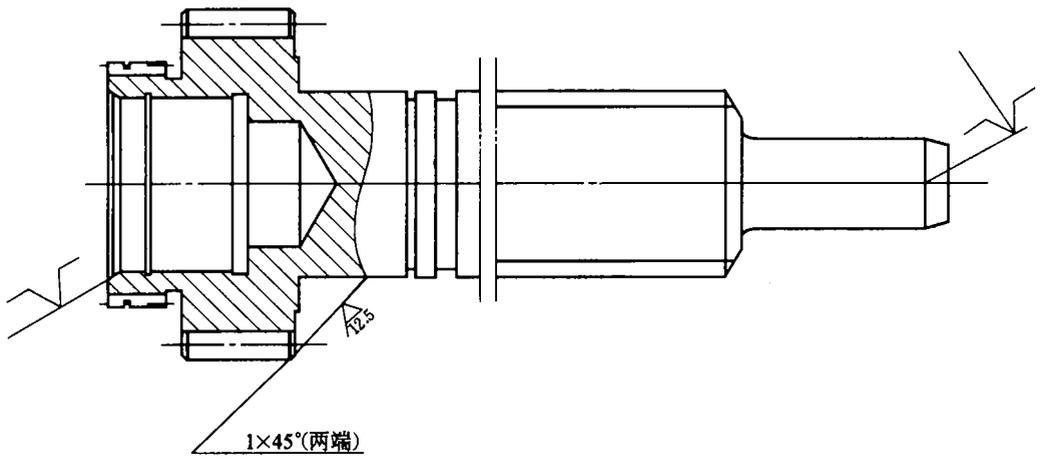


图 6-10 工序 9 工序简图

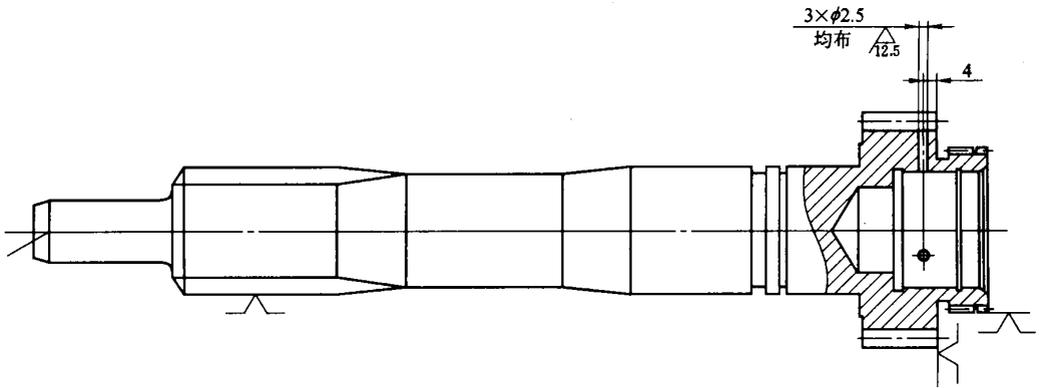


图 6-11 工序 10 工序简图

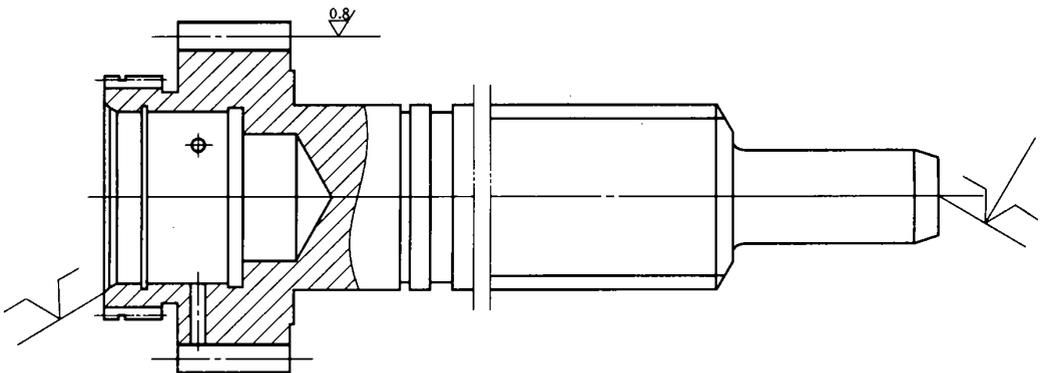


图 6-12 工序 11 工序简图

表 6-12 变速器一轴工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号		
			变速器一轴	20CrMnTi			
工序号	工序名称	夹具	使用设备			车间	
11	剃齿 去油孔毛刺	随机夹具	数控剃齿机				
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)	
1	保证齿数 21, 法向模数 2.5 法向压力角 20°, 螺旋角 29° 旋向: 左 公法线长度: 27.26 ~ 27.22 跨齿数 4 公法线变动量 0.035 径向综合公差 $F''_i$ 0.05 一齿径向综合公差 $F''_i$ 0.0017 度量中心距(按实测标准轮 定) 齿廓公差 $F_a$ 0.01 螺旋线公差 $F_\beta$ 0.01 齿轮螺旋线修形范围 0.005 ~ 0.015 齿两侧修形相同 去内孔毛刺 Ra0.8	CS520-252 -09/1126 ( $T_4-2.5-67$ ) 剃齿刀	25-50 0.01 公法线千分尺 双啮仪 0-10 0.01 百分表 B-2.5-127 CC24-52000 6 标准轮 齿形齿向测量机	0.04 粗剃 0.02 精剃	702	5	
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

表 6-13 变速器一轴工序卡

(工厂)	工序卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
				变速器一轴	20CrMnTi		
工序号	工序名称		夹具	使用设备			车间
12	清洗			清洗机			
工步号	工步内容		刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	清洗 在温度大于等于 70° 浓度 1% ~ 3% 金属清洗剂的水溶 液中清洗要求 : 去掉油污 清 洗干净 吹干						
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

## 第二节 典型箱体类零件数控加工工艺

### 一、典型箱体类零件介绍

图 6-13 所示为变速器后壳体零件简图。该零件材料为 HT200, 毛坯为铸件, 是国内某型号汽车上零件, 为大量生产类型产品。该零件由结合面(基准 A 面)、给合面上  $2 \times \phi 8$  ( $+0.035$ / $+0.013$ )  $\phi 8$  孔、 $\phi 75H7$  孔、 $\phi 25H7$  孔、 $3 \times \phi 16_0^{+0.043}$  孔、 $3 \times \phi 19_0^{+0.033}$  孔、变速机构座面(左视图上)变速机构座面上  $2 \times \phi 8_{0.013}^{+0.035}$  孔、变速机构座面上  $7 \times M8-6H$  螺纹孔、小盖面(左视图上)小盖面上  $3 \times \phi 8.1_0^{+0.1}$  孔、小盖面上  $2 \times M6-6H$  螺纹孔、倒挡窗口面(主视图上)倒挡窗口内侧双面、倒挡窗口面上  $4 \times M8-6H$  螺纹孔、 $M18 \times 1.5-6H$  侧面(K 向视图上)  $M18 \times 1.5-6H$  螺纹孔等表面组成, 加工表面较多且都为平面和各种孔, 适合采用加工中心加工。

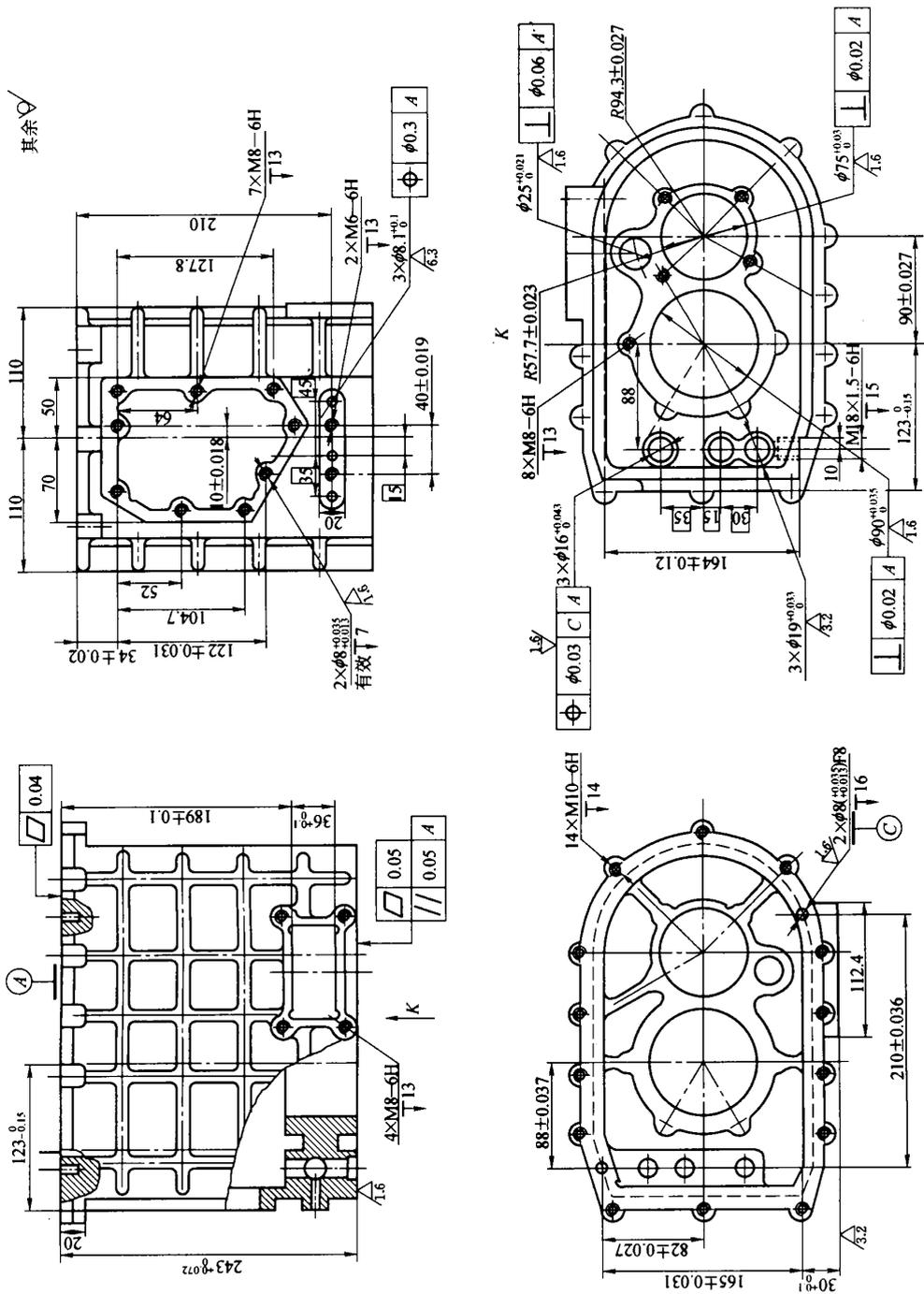


图 9-13 变速器后壳体零件简图

## 二、工艺分析

### 1. 加工技术要求分析

该零件精度要求较高的项目有 结合面平面度 0.04 ,后端面平面度 0.05 ,后端面与结合面间平行度 0.05 , $\phi 90H7$  孔及对基准 A 垂直度  $\phi 0.02$  , $\phi 25H7$  孔及对基准 A 垂直度  $\phi 0.06$  , $\phi 90H7$  孔与  $\phi 75H7$  孔间中心距  $90 \pm 0.027$  , $\phi 90H7$  孔与结合面  $2 \times \phi 8 \begin{matrix} +0.035 \\ +0.013 \end{matrix}$  F8 孔间中心距  $88 \pm 0.037$ 、 $82 \pm 0.027$  , $\phi 25H7$  孔与  $\phi 75H7$  孔间中心距  $57.7 \pm 0.023$  , $\phi 25H7$  孔与  $75H7$  孔间中心距  $57.7 \pm 0.023$  , $\phi 25H7$  孔与  $\phi 90H7$  孔间中心距  $94.3 \pm 0.027$  , $3 \times \phi 16_0^{0.043}$  孔及对基准 C、A 位置度  $\phi 0.03$  , $3 \times \phi 19_0^{+0.033}$  孔、结合面上  $2 \times \phi 8 \begin{pmatrix} +0.03 \\ +0.013 \end{pmatrix}$  F8 孔及孔间尺寸  $165 \pm 0.31$ 、 $210 \pm 0.36$  ,变速机构座面上  $2 \times \phi 8_0^{+0.035}$  孔及孔间尺寸  $122 \pm 0.031$ 、 $40 \pm 0.019$  ,变速机构座面上  $2 \times \phi_0^{+0.035}$  孔到结合面间尺寸  $34 \pm 0.02$ 、到  $\phi 90H7$  孔中心间尺寸  $10 \pm 0.018$  等。

### 2. 定位基准选择

在粗铣结合面时选周边凸缘底面为粗基准 ,粗铣结合面及加工  $2 \times \phi 8 \begin{pmatrix} +0.035 \\ +0.013 \end{pmatrix}$  F8 孔时以  $\phi 90H7$  孔和  $\phi 75H7$  孔为粗基准、后端面为粗基准 ,后续加工其他表面时基本结合面和结合面上  $2 \times \phi 8 \begin{pmatrix} +0.035 \\ +0.013 \end{pmatrix}$  F8 孔为定位基准 ,有利于采用加工中心加工。

### 3. 工艺方案拟定

结合面	粗铣—精铣
后端面	粗铣—精铣
$\phi 90H7$ 孔	粗镗 $\phi 89.6 \sim \phi 89.7$ —孔口倒角 $1 \times 45^\circ$ —精镗 $\phi 90 \sim 90.035$
$\phi 75H7$ 孔	粗镗 $\phi 74.6 \sim \phi 74.7$ —孔口倒角 $1 \times 45^\circ$ —精镗 $\phi 75 \sim 75.030$
$\phi 25H7$ 孔	钻孔 $\phi 24.5$ —孔口倒角 $1 \times 45^\circ$ —镗孔 $\phi 25 \sim \phi 25.021$
$3 \times \phi 16_0^{+0.043}$ 孔	钻孔 $3 \times \phi 15.5$ —镗孔 $3 \times \phi 16.0 \sim \phi 16.043$
$3 \times \phi 19_0^{+0.033}$ 孔	扩孔 $\phi 18.6$ —孔口倒角 $1 \times 45^\circ$ —镗孔 $3 \times \phi 19.0 \sim \phi 19.033$
结合面上 $2 \times \begin{pmatrix} +0.035 \\ +0.013 \end{pmatrix}$ F8 孔	钻中心孔—钻孔 $2 \times \phi 7.5$ —镗孔 $2 \times \phi 7.8$ —铰孔 $2 \times \phi 8$ F8
结合面上 $14 \times M10 - 6H$ 螺纹孔	钻孔 $14 \times \phi 8.5_0^{+0.176}$ —攻螺纹 $14 \times M10 - 6H$

后端面上 $8 \times M8-6H$ 螺纹孔	钻孔 $8 \times \phi 6.7 \sim \phi 6.912$ —攻螺纹 $8 \times M8-6H$
变速机构座面及小盖面	铣
倒挡窗口面	铣
倒挡窗口内侧双面	粗铣—精铣
$M18 \times 1.5-6H$ 侧面	铣
变速机构座面上 $2 \times \phi 8_{+0.013}^{+0.035}$ 孔	钻中心孔—钻孔 $2 \times \phi 7.5$ —镗孔 $2 \times \phi 7.8$ —铰孔 $2 \times \phi 8_{+0.013}^{+0.035}$
变速机构座面上 $7 \times M8-6H$ 螺纹孔	钻孔 $7 \times \phi 6.7 \sim \phi 6.912$ —攻螺纹 $7 \times M8-6H$
小盖面上 $3 \times \phi 8.1_0^{+0.1}$ 孔	钻孔 $3 \times \phi 7.8$ —扩孔 $3 \times \phi 8.1_0^{+0.1}$
小盖面上 $2 \times M6-6H$ 螺纹孔	钻孔 $2 \times \phi 5$ —攻螺纹 $2 \times M6-6H$
$M18 \times 1.5-6H$ 螺纹孔	钻孔 $\phi 16.5$ —攻螺纹 $M18 \times 1.5-6H$
倒挡窗口面上 $4 \times M8-6H$ 螺纹孔	钻孔 $4 \times \phi 6.7 \sim \phi 6.912$ —攻螺纹 $4 \times M8-6H$

6H

#### 4. 加工设备选择

结合面和后端面的粗铣,采用立式铣床加工,结合面和后端的精铣及结合面和后端面上的钻铰孔、粗精镗各轴孔、钻螺纹底孔等加工在立式加工中心上进行;倒挡窗口面铣及钻孔、变速机构座面和小盖面铣及钻孔、 $M18 \times 1.5-6H$  侧面铣及钻孔在卧式加工中心上进行;倒挡窗口内侧双面铣削不便与前述内容一同在卧式加工中心上加工,所以另外安排一道工序在卧式铣床上加工;所有攻螺纹加工由于采用的冷却润滑液与其他表面加工的冷却润滑液不同,不便在加工中心上一同加工,同时考虑节拍的平衡,另外在立式钻床上加工。按照大量生产每道工序一般一次安装的要求,不同方向的攻螺纹加工在不同工序中进行。

有关加工顺序、工序尺寸及工序要求、夹具、刀具、量具及检具、切削用量、冷却润滑液等工艺问题详见变速器后壳体工艺过程卡和工序卡。

### 三、变速器后壳体工艺过程卡和工序卡

表 6-15 变速器后壳体工艺过程卡

零件名称		零件材料	毛坯种类	毛坯硬度	毛重/kg	净重/kg	车型	每车件数	
变速器后壳体		HT200	铸件						
工 序 号	工序名称	设备名称	夹具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)	冷却液	T 单	负荷 /%

零件名称		零件材料	毛坯种类	毛坯硬度	毛重/kg	净重/kg	车型	每车件数	
1	粗铣结合面	立式铣床	专用夹具	644 (mm/min)	100	110			
2	粗铣后端面	立式铣床	专用夹具	644 (mm/min)	100	110			
3	1)精铣结合面 钻铰 2 × φ8F8 双销孔、钻孔 2)精铣后端面 粗精镗各轴孔 钻孔	加工中心	随机夹具				乳化液		
4	铣倒挡窗口面、 钻孔,铣变速机 构座面及小盖 面、钻孔;铣 M18 × 1.5—6H 侧面、个孔	卧式加工 中心	随机夹具				乳化液		
5	铣倒挡窗口内 侧双面	卧式铣床	专用夹具	160 (mm/min)	7600	60			
6	攻丝 M18 × 1.5—6H	立式钻床	专用夹具	0.9	180	4.5 3.40	煤油		
7	座面攻丝 小盖面攻丝	立式钻床	专用夹具	0.9	180	4.5 3.4	煤油		
8	结合面攻丝 14 × M10—6H	立式钻床	专用夹具	0.9	180	5.7	煤油		
9	后端现攻丝 8 × M8—6H	立式钻床	专用夹具	0.9	180	4.5	煤油		
10	倒挡窗口面 攻丝 4 × M8—6H	立式钻床	专用夹具	0.9	180	4.5	煤油		
11	清洗	清洗机							
12	检查								
编制		审核		批准		共 1 页		第 1 页	

表 6-16 变速器后壳体工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器后壳体	HT200		
工序号	工序名称	夹具	使用设备			车间
1	粗铣结合面	专用夹具	立式铣床			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	保证尺寸 20.8 Ra6.3	铣刀 SPCM 60416YG8 机夹刀片 (19)	0-150; 0.02 卡尺	644	100	110
编制		审核		批准		共 1 页 第 1 页

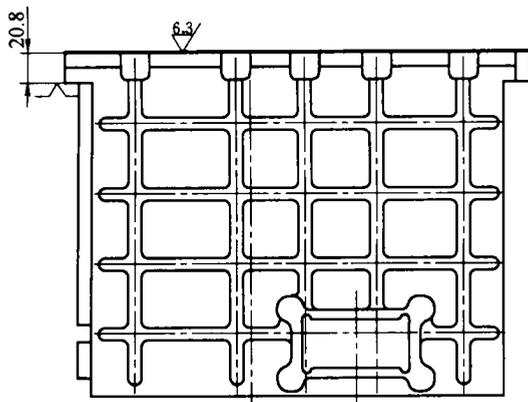


图 6-14 工序 1 工序简图

表 6-17 变速器后壳体工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号
			变速器后壳体	HT200	
工序号	工序名称	夹具	使用设备		车间
2	粗铣后端面	专用夹具	立式铣床		

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器后壳体	HT200		
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	保证尺寸 244.6 ~ 244.9 Ra6.3	铣刀 SPCN160416 机夹刀(19)	0-300; 0.02 深度尺	644	100	110
编制		审核		批准		共 1 页 第 1 页

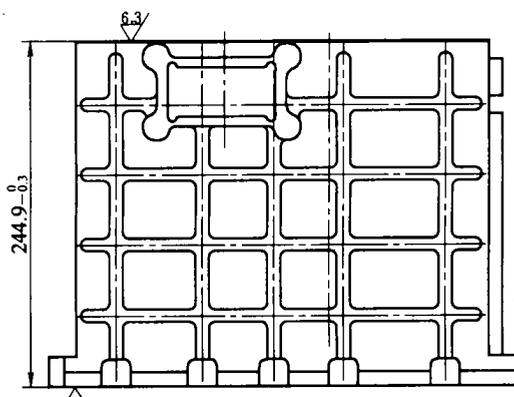


图 6-15 工序 2 工序简图

表 6-18 变速器后壳体工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器后壳体	HT200		
工序号	工序名称	夹具	使用设备		车间	
3	精铣结合面、钻铰孔、精铣后端面、粗精镗各轴孔、钻孔	随机夹具	加工中心			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器后壳体	HT200		
	工位一(保证下列各尺寸)					
1	精铣结合面,保证尺寸: 244.0~243.8 Ra1.6 保证: 平面度 0.04	125B12R - F453E12 F-03 铣刀	0-300; 0.02 深度尺 0.04 塞尺 0-5; 0.01 百分表	385	325	127.6
2	2×φ8 F8 孔钻中心孔	410×90° NO.557 定心钻		180	1 200	37.7
3	2×φ8 F8 孔钻孔 2×φ7.5	φ7.5 钻头		200	1 000	23.5
4	2×φ8 F8 孔镗孔 2×φ7.8	镗刀头 刀片		100	100	24.5
5	铰孔 2×φ8.013~φ8.035 深 :16 保证两孔中心有关尺 寸 :88 82165±0.031 210 ±0.036 Ra1.6	GB1132 - 848AF8 铰刀	塞规外径 百分尺检棒	200	400	10
6	结合面钻孔 14×φ8.5~φ8. 676 深 :18 保证对基准 C 位置度 φ0.30 Ra6.3	φ8.5×18 阶梯钻	塞规 孔位置规	80	500	13.3
	二位二(保证下列各尺寸)					
7	精铣后端面保证尺寸 243.072~243.0 平面度 0.05对基准 A 平行度 :0.05 Ra 1.6	3EKN1203 AFN WTA21 刀片(12)	400×500 平台 Z6-1 磁力表座长尺	385	325	127.6
8	粗镗 φ75 孔保证尺寸 :φ74.6 ~74.7φ	刀片镗刀头		135	450	101.7
9	粗镗 φ90 孔保证尺寸 :φ89.6 ~φ89.7	刀片镗刀头		105	350	97.8
10	钻孔 3×φ15.5 Ra6.3	φ15.5 钻头		250	500	24.3
	工二位二(保证下列各尺寸)					
11	扩孔至 φ18.6 深 7	刀片镗刀头		80	600	35.2
12	钻孔至 φ24.5	φ24.5 钻头		165	330	25.4
13	各孔口倒角 1×45°	刀片 倒角刀		400	600	56.5

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号		零件名称		材料		零件图号	
				变速器后壳体		HT200			
14	精镗 $\phi 75$ 保证尺寸： $\phi 75 \sim \phi 75.030$ $Ra1.6$	刀片 镗刀头	内径千分表环规	100	600	135.7			
15	精镗 $\phi 90$ 保证尺寸： $\phi 75 \sim \phi 75.035$ $Ra1.6$	刀片 镗刀头	内径千分表环规	100	550	155.4			
16	镗孔 $3 \times \phi 19$ 保证尺寸： $3 \times \phi 16.0 \sim 16.043$ $Ra1.6$ 对基准 C、A 位置度 $\phi 0.03$	刀片 镗刀头	内径千分表 三坐标测量机	80	550	25.1			
17	镗孔 $3 \times \phi 19$ 保证尺寸： $3 \times \phi 19.0 \sim \phi 19.033$ 保证孔深 $7.5$ $Ra3.2$	刀片 镗刀头	塞规 卡尺	80	640	30.2			
18	后端面钻孔 $8 \times \phi 6.7 \sim \phi 6.912$ 深 $15$ $Ra6.3$ 保证对基准 D 位置度 $\phi 0.30$	$\phi 6.7 \times 15$ 阶梯钻	塞规 孔位量规	113	710	14.9			
19	镗孔 $\phi 25$ 保证尺寸 $\phi 25 \sim \phi 25.021$ $Ra 1.6$ 保证各孔位置精度 $165 \pm 0.031$ $210 \pm 0.036$ $82 \pm 0.027$ $90 \pm 0.027$ $88 \pm 0.037$ $R94.3 \pm 0.027$ $R57.7 \pm 0.023$ 保证： $\phi 75H7$ $\phi 90H7$ 孔 对基准 A 垂直度 $\phi 0.02$ $\phi 25H7$ 孔对基准 A 垂直度 $\phi 0.06$	刀片 镗刀头	内径千分表 环规 三坐标测量机长尺	80	640	50.2			
编制		审核		批准		共 1 页		第 1 页	

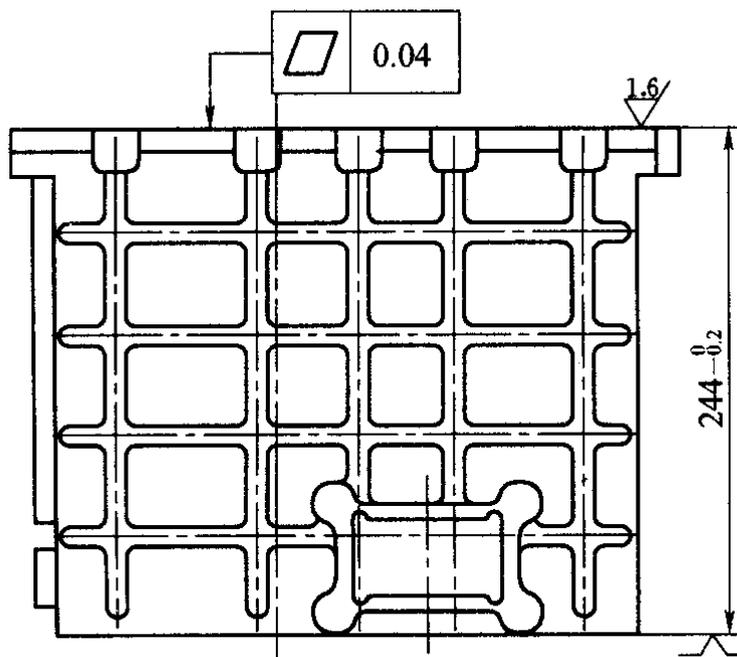


图 6-16 工序 3 工位 1 工序简图(主视图)

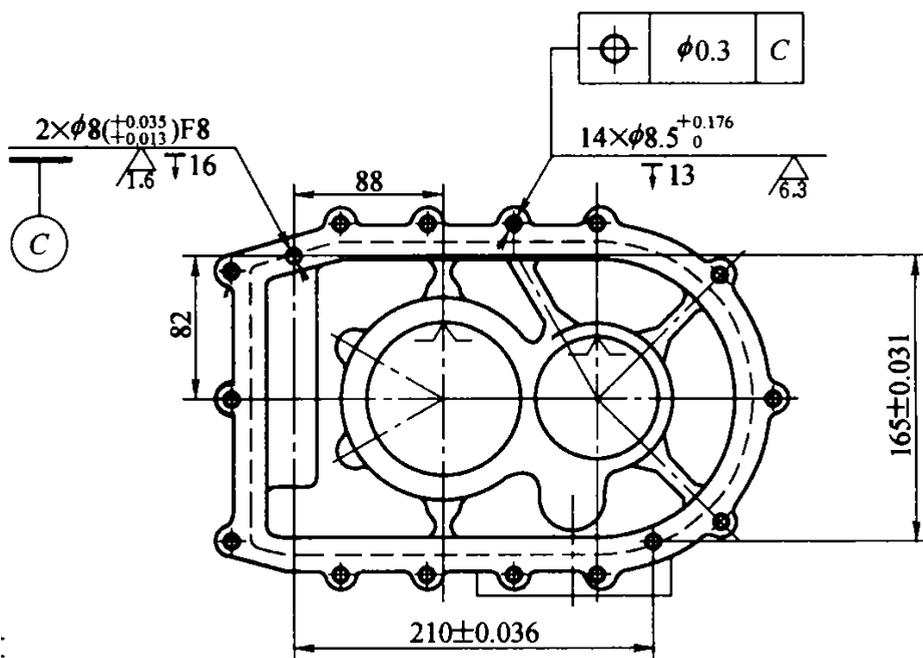


图 6-17 工序 3 工位 1 工序简图(俯视图)

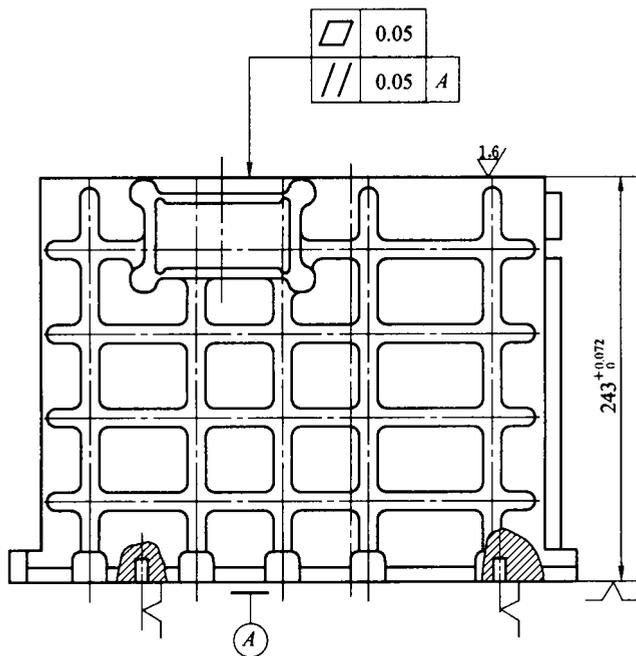


图 6-18 工序 3 工位 2 工序简图(主视图)

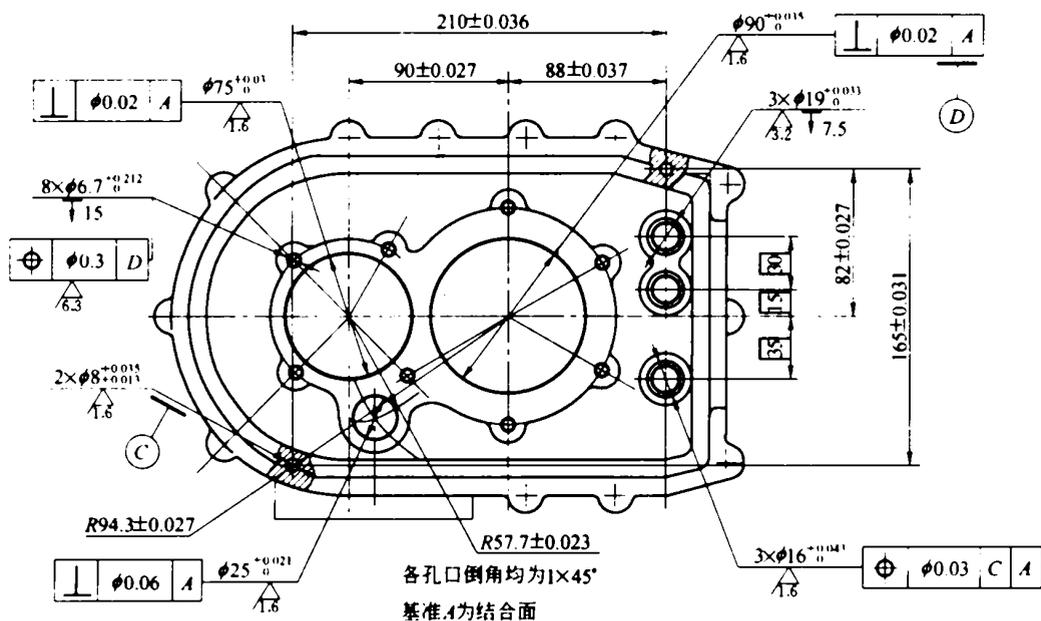


图 6-19 工序 3 工位 2 工序简图(俯视图)

表 6-19 变速器后壳体工序体

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器后壳体	HT200		
工序号	工序名称	夹具	使用设备			车间
4	铣倒挡窗口面、钻孔 铣变速机构座面及小盖面、钻孔 ; 铣 M18 × 1.5—6H 侧面、钻孔。	专用夹具	卧式加工中心			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 ( $mm/r$ )	主轴转速 ( $r/min$ )	切削速度 ( $m/min$ )
	工位一 铣倒挡窗口面、钻孔					
1	铣倒挡窗口面 保证尺寸 $30 \sim 30.1$ $Ra3.2$	铣刀 SPCN 160416YG8 刀片	高度尺	160	300	103
2	钻孔 $4 \times \phi 6.7 \sim \phi 6.912$ 深 15 $Ra6.3$ 保证位置度 $\phi 0.30$	$\phi 6.7 \times 15$ 阶梯钻	塞规 孔位量规	113	710	14.9
	二位二 : 铣变速机构座面及小盖面、钻孔					
3	铣变速机构座面及小盖面保 证尺寸 : $123 \sim 122.85$ $Ra3.2$	铣刀 刀片 YG8		235	475	164
4	座面 $2 \times \phi 8^{+0.035}_{+0.013}$ 钻中心孔	$410 \times 90^\circ$ NO. 557 定心钻		180	1 200	37.7
5	座面 $2 \times \phi 8^{+0.035}_{+0.013}$ 钻孔 $2 \times \phi 7.5$ 深 10	$\phi 7.5$ 钻头		200	1 000	23.5
6	座面 $2 \times \phi 8^{+0.035}_{+0.013}$ 镗孔 $2 \times \phi 7.8$ 深 10	镗刀头 BPGF050302 LK68 刀片		100	1000	24.5
7	座面铰孔 $2 \times \phi 8.013 \sim \phi 8.035$ $Ra1.6$ 有效深 7 保证两孔位置 $122 \pm 0.031$ $34 \pm 0.02$ $10 \pm 0.018$ $40 \pm 0.019$	8AH8YG6 绞刀	三坐标测量机	79.5	355	8.9

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号		零件名称		材料		零件图号	
				变速器后壳体		HT200			
8	小盖面钻孔 $3 \times \phi 7.8$	$\phi 7.8$ 钻头			224		1 000		24.5
9	小盖面扩孔 $3 \times \phi 8.1 \sim \phi 8.2$ $Ra6.3$ 保证对基准 A 位置度 $\phi 0.30$	$\phi 8.1$ 扩孔刀	8.1 - 8.2 塞规		111.5		355		9
10	座面钻孔 保证 $7 \times \phi 6.7 \sim \phi 6.912$ 深 15 $Ra6.3$ 对基准 A 位置度 $\phi 0.30$	$\phi 6.7 \times 15$ 阶梯钻	6.7 - 6.912 塞规		157.5		500		36
11	小盖面钻孔 $2 \times \phi 5$ 深 15 $Ra6.3$ 对基准 A 位置度 $\phi 0.30$	$\phi 5 \times 18$ 阶梯钻	孔位置量规长尺		157.5		500		36
	工位三 : 铣 $M18 \times 1.5 - 6H$ 侧面、钻孔								
12	铣 $M18 \times 1.5 - 6H$ 侧面 保证尺寸 $\pm 164 \pm 0.12$	立铣刀 $\phi 32$	高度尺		160		710		71.3
13	钻孔 $\phi 16.5$	$\phi 16.5$ 钻头			157.5		500		36
编制		审核		批准			共 1 页		第 1 页

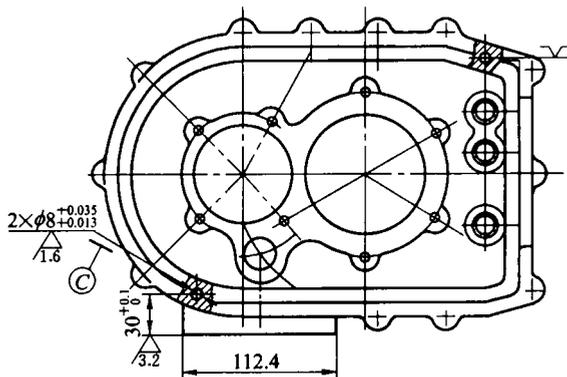


图 6-20 工序 4 工位 1 工序简图( 俯视图 )

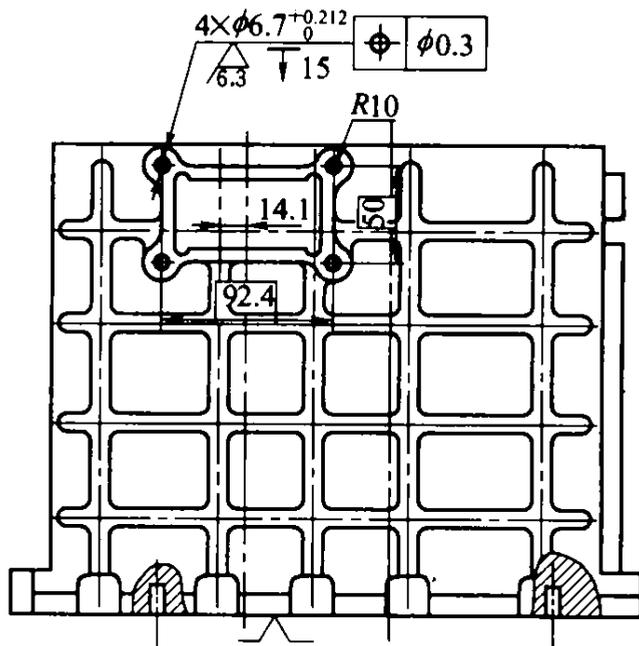


图 6-21 工序 4 工位 1 工序简图(主视图)

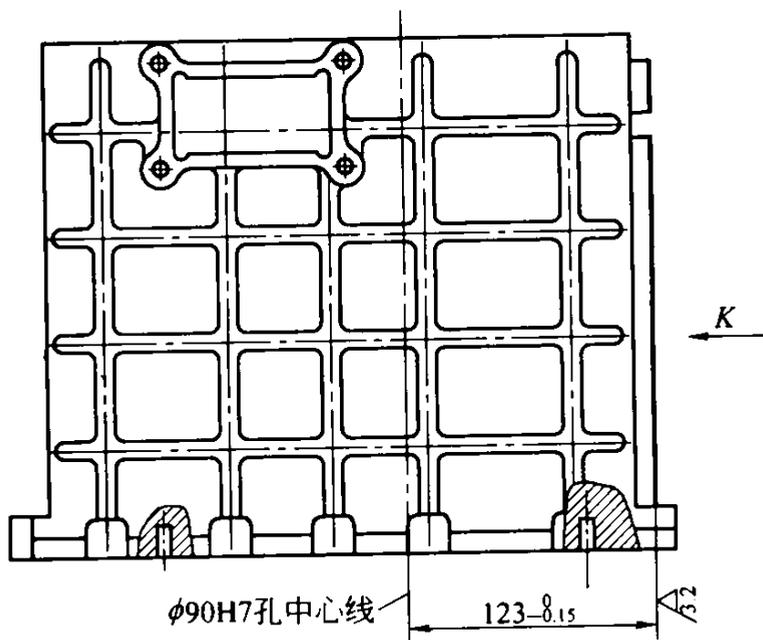


图 6-22 工序 4 工位 2 工序简图(主视图)

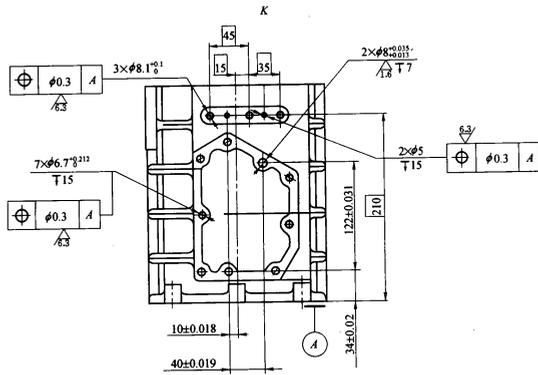


图 6-23 工序 4 工位 2 工序简图(K 向视图)

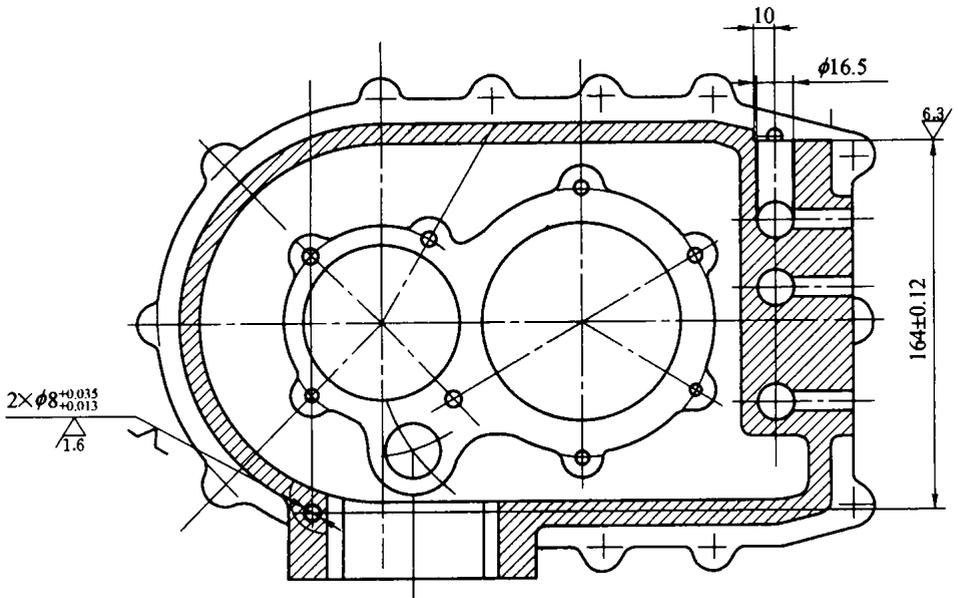


图 6-24 工序 4 工位 3 工序简图

表 6-20 变速器后壳体工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器后壳体	HT200		
工序号	工序名称	夹具	使用设备			车间
5	铣倒挡窗口内侧双面	专用夹具	卧式铣床			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	1) 粗铣倒挡窗口内侧双面 保证尺寸: $189.5 \pm 0.2$ $35.5 \pm 0.2$ (刀具保证) $Ra6.3$	铣刀		160	760	60
2	2) 精铣倒挡窗口内侧双面 保证尺寸: $36 \sim 36.1$ $189 \pm 0.10$ (刀具保证) $Ra1.6$	铣刀	长尺 塞板 卡尺	160	760	60
编制		审核	批准	共 1 页		第 1 页

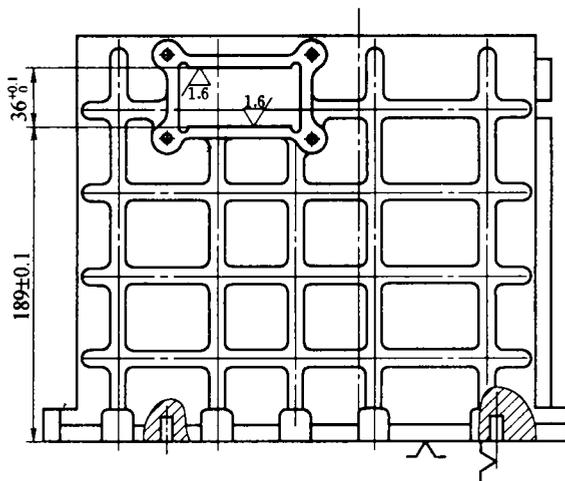


图 6-25 工序 5 工序简图

表 6-21 变速器后壳体工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号		零件名称		材料		零件图号	
				变速器后壳体		HT200			
工序号	工序名称		夹具		使用设备				车间
6	攻丝 M18×1.5—6H		专用夹具		立式铣床				
工步号	工步内容		刀具	量具及检具		进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)	
1	攻丝 M18×1.5—6H 15		M18-H2-3 丝锥	M18×1.5—6H 螺纹塞规 “T”“Z”		1.35	180	10.2	
编制		审核		批准		共 1 页		第 1 页	

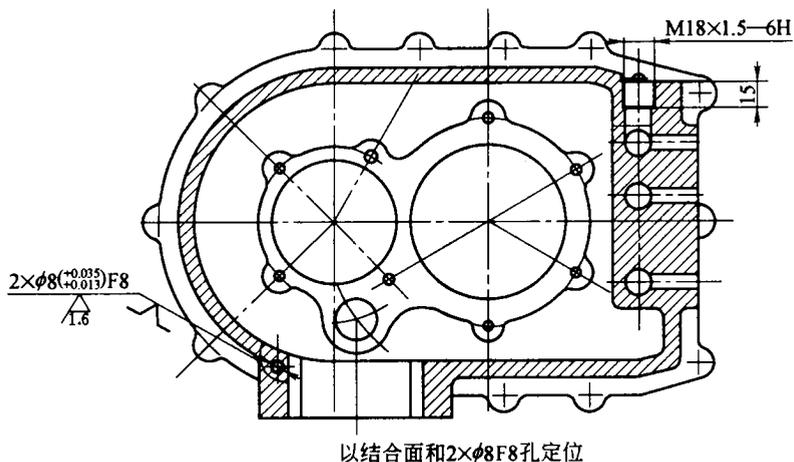


图 6-26 工序 6 工序简图

表 6-22 变速器后壳体工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号		零件名称		材料		零件图号	
				变速器后壳体		HT200			
工序号	工序名称		夹具		使用设备				车间
7	座面、小盖面攻丝		专用夹具		立式钻床				

(工厂)		工序卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
					变速器后壳体	HT200		
工步号	工步内容			刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	座面攻丝 $7 \times M18-6H \downarrow 13$			M8 - H2 丝锥	M18 $\times$ 1.5 - 6H 螺纹塞规 “T” “Z”	0.9	180	4.5
2	小盖面攻丝 $2 \times M6-6H \downarrow 13$			M6 - H2 丝锥	M6 $\times$ 1.5 - 6H 螺纹塞规 “T” “Z”	0.9	180	3.4
编制		审核		批准		共 1 页		第 1 页

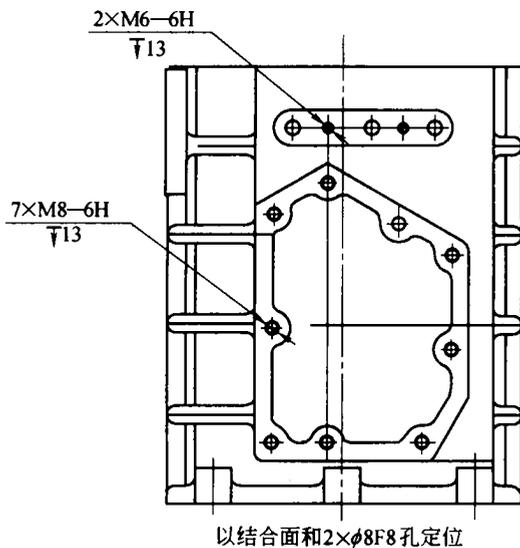
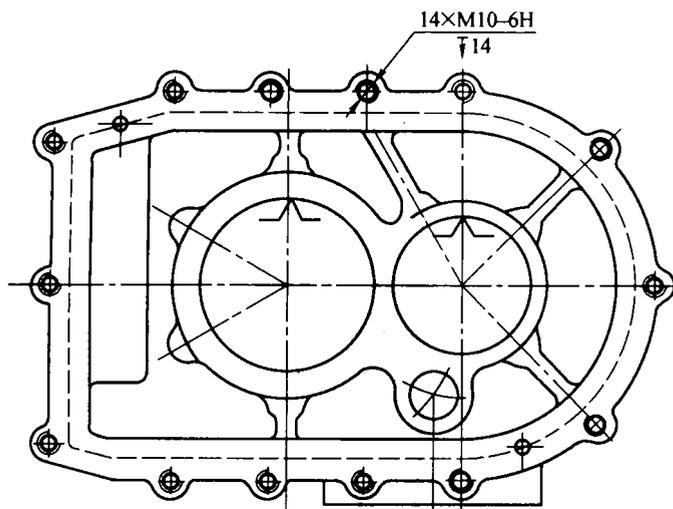


图 6-27 工序 7 工序简图

表 6-23 变速器后壳体工序卡

(工厂)		工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
				变速器后壳体	HT200		
工序号		工序名称	夹具	使用设备			车间
8		结合面攻丝 $14 \times M10-6H$	专用夹具	立式钻床			
工步号	工步内容		刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	结合面攻丝 $14 \times M10-6H$ ↓ 14		M10-H2 丝锥	M10×1.5-6H 螺纹塞规 “T”Z”	0.9	180	5.7
编制		审核		批准		共 1 页	第 1 页

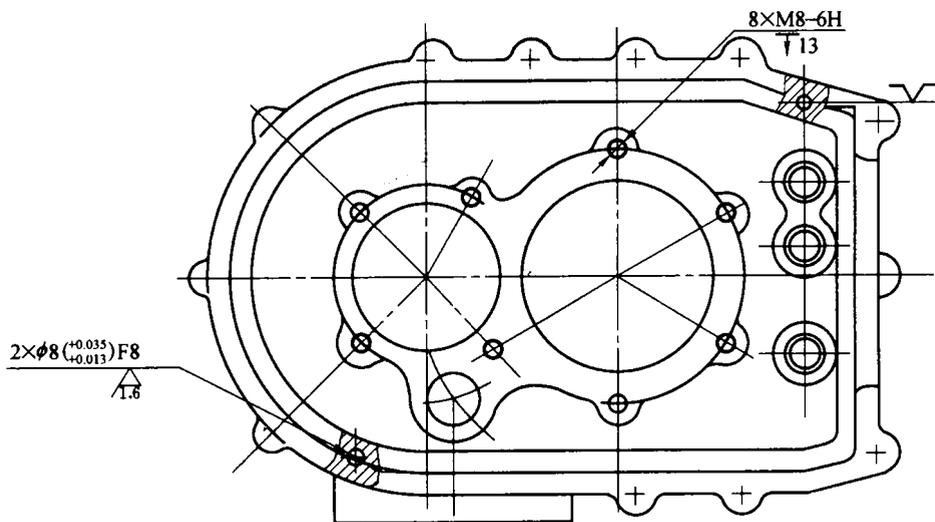


以后端面 and  $\phi 90H7$  孔、 $\phi 75H7$  孔定位

图 6-28 工序 8 个序简图

表 6-24 变速器后壳体工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器后壳体	HT200		
工序号	工序名称	夹具	使用设备			车间
9	后端面攻丝 $8 \times M8-6H$	专用夹具	立式钻床			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	后端面攻丝 $8 \times M8-6H \downarrow 13$	M8-H2 丝锥	M10×1.5—6H 螺纹塞规 “T”“Z”	0.9	180	4.5
编制		审核	批准	共 1 页		第 1 页



以结合面和 $2 \times \phi 8 F 8$ 孔定位

图 6-29 工序 9 个序简图

表 6-25 变速器后壳体工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			变速器后壳体	HT200		
工序号	工序名称	夹具	使用设备			车间
10	倒挡窗口面攻丝 $4 \times M8-6H$	专用夹具	立式钻床			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	倒挡窗口侧面攻丝 $4 \times M8-6H \downarrow 13$	M8-H2 丝锥	M8 $\times$ 1.5-6H 螺纹塞规 “T”Z”	0.9	180	4.5
编制		审核		批准		共 1 页
						第 1 页

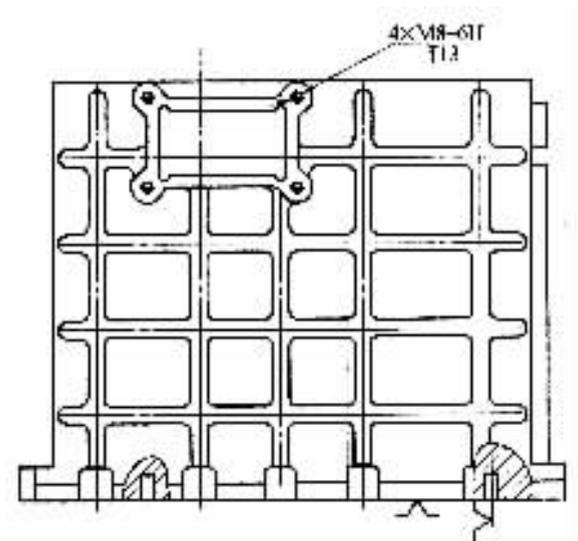


图 6-30 工序 10 个序简图

表 6-26 变速器后壳体工序卡

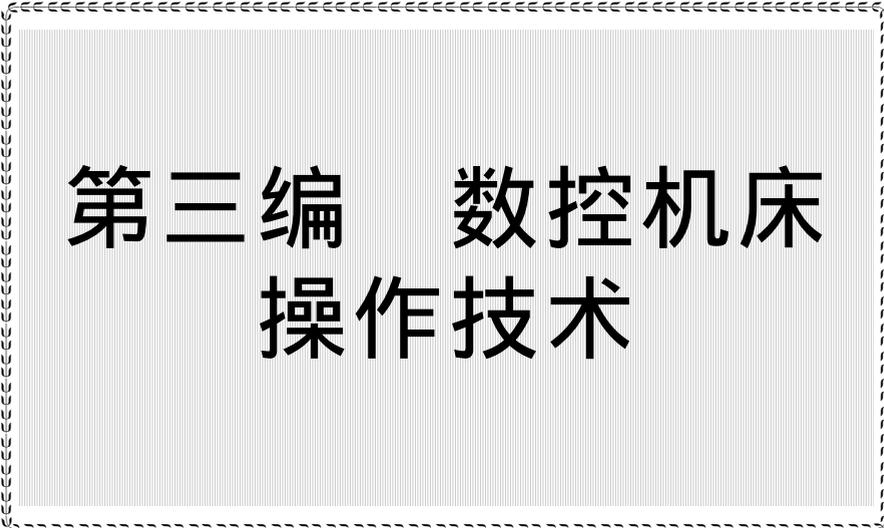
(工厂)	工序卡片	产品名称或代号		零件名称	材料	零件图号
				变速器后壳体	HT200	
工序号	工序名称	夹具	使用设备			车间
11	清洗		清洗机			
工步号	工步内容	刀具	量具及检具	进给量 (mm/r)	主轴转速 (r/min)	切削速度 (m/min)
1	清洗					
编制		审核		批准		共 1 页 第 1 页

表 6-27 变速器后壳体检验工序卡

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号		零件名称	材料	零件图号
				变速器反壳体	HT200	
工序号	工序名称	使用设备			车间	
12J	最终检查					
序号	检验内容	百分比	工序号	设备及检具	量具及标准号	量具名称
1	外观检查不得气孔、裂纹 加工表面不得有划伤、磕碰 及其他残留物	20/20				
2	给合面 平面度 0.04	1/20	3		0.04 400 × 500	塞尺 平台
3	对基准 A 平行度 0.05	1/20	3		0 - 5 0.01 Zb - I	百分表 磁力表座
4	高度 243.072 ~ 243.0 Ra1.6	1/10	3		0 - 300 0.02	深度尺
5	销孔 $\phi 8.013 \sim \phi 8.035$	1/10	3			塞规

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号		零件名称	材料	零件图号
				变速器反壳体	HT200	
6	两销孔距： $165 \pm 0.031$ $210 \pm 0.036$	1/10	3		275 - 300 $\phi$ .01	外径百分尺检棒
7	孔径： $\phi 90 \sim \phi 90.035$	1/10	3		50 - 160 $\phi$ .001	内径千分表
8	孔径： $\phi 75 \sim \phi 75.03$	1/10	3		AJ4 - 50 $\phi$ 0 50 - 160 $\phi$ .001	对表环规 内径千分表
9	孔径： $\phi 25 \sim \phi 25.021$	1/10	3		18 - 35 $\phi$ .001 AJ4 - 0 $\phi$ 35	内径千分表 对表环规
10	$3 \times \phi 16 \sim \phi 16.043$	1/10	3		10 - 18 $\phi$ .001 0 - 25 $\phi$ .01	内径千分表 百分尺
11	各孔形位精度及孔间尺寸精度(见工序图)	1/班	3	三坐标测量机		
12	$3 \times \phi 19 \sim \phi 19.033$	1/10	3		19 - 19.033	塞规
13	倒挡窗口面距离 30 ~ 30.1	1/10	4			塞板
14	M18 $\times$ 1.5—6H 侧面距离 $164 \pm 0.12$	1/10	4		0 - 300 $\phi$ .02	高度尺
15	座面、小盖面距离 123 ~ 122.85	1/10	4	三坐标测量机	0 - 300 $\phi$ .02	高度尺
16	$3 \times \phi 8.1 \sim \phi 8.2$ 对基准 A 位置度 $\phi 0.30$	1/10	4	三坐标测量机	8.1 - 8.2 VI	塞规
17	小盖面 $2 \times \phi 8.013 \sim \phi 8.035$ 两孔距： $122 \pm 0.031$ $10 \pm 0.018$ $34 \pm 0.02$ $40 \pm 0.019$	1/10 1/10	4	三坐标测量机		塞规

(工厂)	工序卡片	产品名称或代号		零件名称	材料	零件图号
				变速器反壳体	HT200	
18	工序间检查					
	1) 结合面 $14 \times \phi 8.5$ 对基准 <i>C</i> 位置度 $\phi 0.30$	1/20	3			孔位量规
	2) 后端面 $8 \times \phi 6.7$ 对基准 <i>D</i> 位置度 $\phi 0.30$	1/20	3			孔位量规
	3) 倒挡窗口侧面 $4 \times \phi 6.7 =$ 位置度 $\phi 0.30$	1/20	4			孔位量规
	4) 座面 $7 \times \phi 6.7$ 对基准 <i>A</i> 位置度 $\phi 0.30$	1/20	4			孔位量规
	5) 小盖面 $2 \times \phi 5$ 对基准 <i>A</i> 位置度 $\phi 0.30$	1/20	4		0-200 0.02	卡尺
19	螺纹孔 $M18 \times 1.5-6H$	1/50	6		$M18 \times 1.5-6H$ $M18 \times 1.5-6H$	螺纹塞规“ <i>T</i> ” 螺纹塞规“ <i>Z</i> ”
20	螺纹孔 $19 \times M8-6H$	1/50	7、9、 10		$M8-6H$ $M8-6H$	螺纹塞规“ <i>T</i> ” 螺纹塞规“ <i>Z</i> ”
21	螺纹孔 $2 \times M6-6H$	1/50	7		$M8-6H$ $M8-6H$	螺纹塞规“ <i>T</i> ” 螺纹塞规“ <i>Z</i> ”
22	螺纹孔 $14 \times M10-6H$	1/50	8		$M10-6H$ $M10-6H$	螺纹塞规“ <i>T</i> ” 螺纹塞规“ <i>Z</i> ”
23	其他工序间抽检 机床调整及换刀必检					
编制		审核		批准		共 1 页
						第 1 页



**第三编 数控机床  
操作技术**

# 第一章 数控车床的操作

## 第一节 概 述

GWK—6TA 型数控系统 ,主要适用于数控车床。GWK—6TA 数控系统 ,具有三个非常突出的优点 :

第一 ,高可靠性 ,故障率较低。

第二 ,GWK—6TA 数控系统拥有丰富的加工功能。GWK 车床数控系统不但能够实现端面、柱面、锥面、球面以及多种螺纹的多种加工 ,而且还能够实现椭球、双曲面、抛物面、正曲面第二次曲面的加工。具备补偿功能(间隙补偿 ,刀具补偿)断电保护功能、系统自诊断功能、故障错误代码显示功能、超程报警功能、加工中的动态速度调节以及动态模拟显示加工等功能。

第三 ,操作简便 ,具有示教编功能 ,使编程更加简便。

## 第二节 操作面板功能介绍

### 一、GWK—6TA 型系统面板的操作

#### 1. 操作面板的构成

GWK—6TA 型系统的操作面板由 CRT 显示器、主键盘、副键盘、工作方式选择、急停开关、程序保护开关、速度倍率开关和手动脉冲(即手动进给)组成(见图 1-1)。

图中数字含义如下 :

1—CRT 显示器

2—主功能区

3—副功能区

4—软菜单键

5—速度倍率开关

- 6—急停开关
- 7—手脉
- 8—程序保护开关
- 9—数控机床电源开关

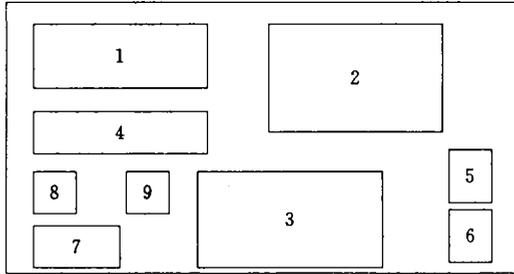


图 1-1 GWK—6TA 型系统的操作面板

(1) CRT 显示器 GWK—6TA 的 CRT 显示器的主要作用有：  
人机对话显示；工作状态显示；模拟加工显示。

(2) 主功能区 主功能区由功能键、编辑键、数字/字符/手动操作键、字符键组成( 见图 1-2)。

1) 功能键的意义 见表 1-1。

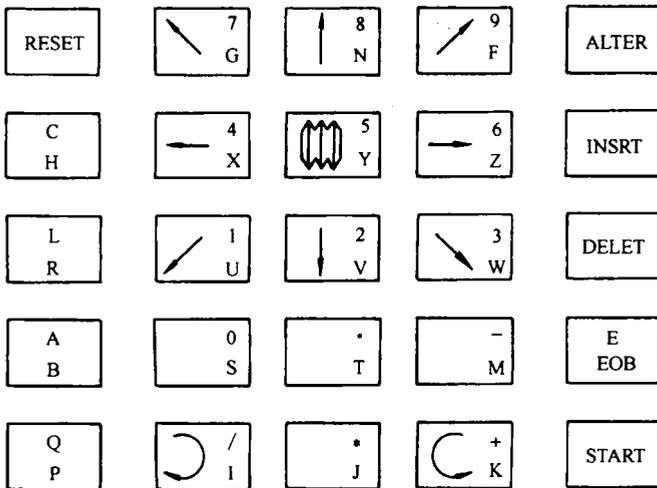


图 1-2 主功能区

表 1-1 功能键

键 名	意 义	功 能
RESET	复位键	中断当前操作 消除诊断信息 系统进入方式选择状态
ALTER	清除键	清除诊断信息 停止用户程序 消除显示的当前信息
CTRL	控制键	用以与其他键组合 形成某种控制功能
SHIFT	换档键	与其他键组合形成某种控制功能
LAST	翻页键	向上翻页( 查询程序、指令、内容 )
NEXT		向下翻页( 查询程序、指令内容 )

注 SHIFT + X 等同于按两次 X 键, + '表示' + '写前的键先按后放,本说明在其他地方意义相同,不再叙述。  
表示方法为:

CTRL + X 或 SHIFT + X

2) 编辑键 编辑键主要用于程序的输入和修改。

按 INSERT 键,表示操作的输入状态'插入状态'和'改写状态';

按 DELETE 键,表示删除;

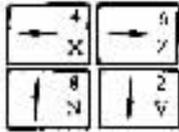
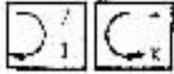
按 EOB 键,表示编程结束;

按 INPUT 键,表示输入程序字。

3) 数字/字符/手动操作键 各功能键的意义见表 1-2。

表 1-2 数字操作键

符 号	名 称	功 能
 	字符键	输入数字或指令
 	数字键 轴向键	

符 号	名 称	功 能
	字符键 数字键 螺纹键	输入指令字  选择螺纹加工
	字符键 数字键 轴向键	输入数字或指令  选择直线插补方向
	字符键 圆弧键	输入指令 选择圆弧插队

## 4) 字符键 各功能键的意义见表 1-3。

表 1-3 字符键

	字符键	输入指令 手动回零
	字符键	输入指令 手动调用子程序 输入坐标值
	字符键	输入指令
	字符键 数字键	输入指令 输入主轴转速
	字符键	输入小数点 选择刀具
	字符键	输入减/负号 选择辅助功能

5)光标移动键见图 1-3。

- 按 ↑ 键 光标上移；
- 按 ↓ 键 光标下移；
- 按 ← 键 光标左移；
- 按 → 键 光标右移。

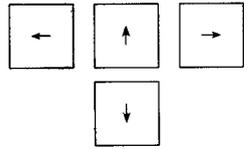


图 1-3 光标移动键

(3)副功能键

CNC	PMC	F7	F8	F9	F10	F11	F12
T1	T2	CNTN LD	0.005 AND	0.01 OR	0.1 NOT	1 RD	10 WR
T3	T4	PMX THAN	pmx TIME		-x	-X	+z
T5	T5	PMZ COUT	pmz MOVE		-Z	TRVRS	+Z
T7	T6	XZ JMP	xz OUT		-z	+X	+x
CH/EN	CAPS	SPIN -CW	SPIN OFF	SPIN CCW	COOL1 ON	COOL OFF	COOL2 ON

图 1-4 副功能键盘面板

1)副功能键盘面板(见图 1-4) 副功能键盘由进给方式选择、定向移动控制键、手脉选择键、软开关控制键、主轴控制键、冷却泵控制键、刀位控制键、驱动开关键和字符状态键组成。

2)副键盘功能(见图 1-4)

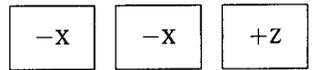
① 进给方式选择键见图 1-5(在点动方式下此功能才有效)。

CNTN	0.005	0.01	0.1	1	10
LD	AND	OR	NOT	RD	WD

图 1-5 进给方式选择键

- 按 CNTN 键,代表连续进给；
- 按 0.005 键,无意义；
- 按 0.01 键,每按一次进给键进给 0.01mm；
- 按 1.1 键,每按一次进给键进给 0.1mm；

按 1 键,每按一次进给键进给 1mm;  
按 10 键,每按一次进给键进给 10mm。



② 刀架移动指令见图 1-6。

在连续状态下,定向(X 方向或 Z 方向)快速移动,一直按某键,则刀架移动,一松手则刀架停止移动;进给速度受倍率开关的控制。

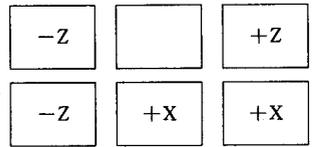


图 1-6 刀架移动指令

③ 手脉移动方向选择键

按 <PMX> 键, 

PMX
THAN

 可实现手脉控制的 X 正(或负)方向进给;

按 <PMZ> 键, 

PMZ
COU

 可实现手脉控制的 Z 正(或负)方向进给;

④ 软开关控制键见图 1-7。

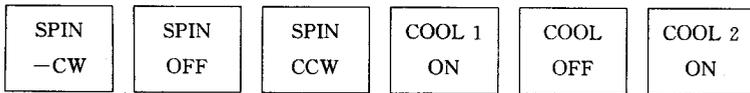


图 1-7 软开关控制键

<F7> 键,代表 1 号软开关;

按 <F7> 键,表示“跳程序段有效或无效”功能;

<F8> 键代表 2 号软开关;

按 <F8> 键,表示“限位开关有效或无效”功能;

<F9> 键,代表 3 号软开关;

按 <F9> 键,表示“间隙补偿有效或无效”功能;

<F10> 键,代表 4 号软开关;

按 <F10> 键,表示“刀具补偿有效或无效”功能;

<F11> 键,代表 5 号软开关;

按 <F11> 键,表示“空运行有效或无效”功能;

<F12> 键,代表 6 号软开关;

按 <F12> 键,表示“对刀有效或无效”功能。

⑤ 主轴、冷却泵状态键见图 1-8。

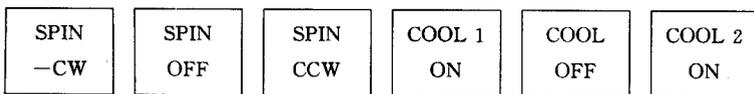


图 1-8 状态开关键

按 <SPIN—CCW> 键,表示主轴反转;

按 <SPIN—OFF> 键,表示主轴停止;

按 < SPIN—CW > 键 ,表示主轴正转 ;  
 按 < COOL1—ON > 键 ,表示 1 号冷却泵打开 ;  
 按 < COOL2—ON > 键 ,表示 2 号冷却泵打开 ;  
 按 < COOL—OFF > 键 ,表示 1、2 号冷却泵停止。

⑥ 刀位控制键见图 1-9。

按 T1 键 ,调出 1 号刀即 T11 指令 ;  
 按 T2 键 ,调出 2 号刀即 T22 指令 ;  
 按 T3 键 ,调出 3 号刀即 T33 指令 ;  
 按 T4 键 ,调出 4 号刀即 T44 指令 ;  
 按 T5 键 ,调出 5 号刀即 T55 指令 ;  
 按 T6 键 ,调出 6 号刀即 T66 指令 ;  
 按 T7 键 ,调出 7 号刀即 T77 指令 ;  
 按 T8 键 ,调出 8 号刀即 T88 指令 ;  
 按制 T1 ~ T8 号刀具自动进行转位。

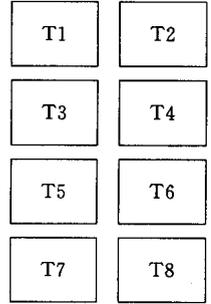


图 1-9 刀位  
控制

⑦ 驱动开关控制键。

**TRVRS** 按 TRVRS 键 ,可控制高压驱动有效或无效。

⑧ 字符状态键 :主要用于编辑操作。

**CH/EH** 输入主键盘的功能键时 ,按此键可以切换到字符状态或数字状态。以便显示该键的字符或数字。

**CAPS** 字母的输入 ,通过按此键来实现大写状态和小写状态的相互转化 ,以便实现字母的大写输入或小写输入。

(4) 软菜单键(简称 F 功能键) (见图 1-10)

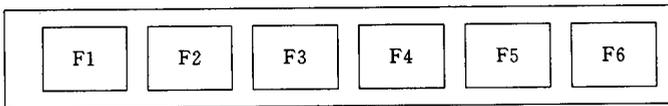


图 1-10 软菜单键

(5) 速度倍率开关(见图 1-11) 它的主要作用是动态调节加工运行速度。

倍率开关有六档可选 ,用于控制实际的进给速度 ,控制范围分为 1%、5%、25%、50%、75%、100%。在手动、自动、单段、示教方式下(加工螺纹除外) ,由倍率开关的档位决定实际进给速度与指定进给速度的倍率关系。

(6) 急停开关(见图 1-12) 在系统、机床或工件出现危险等紧急状态时 ,按下此键 ,系统急停并处于复位状态。

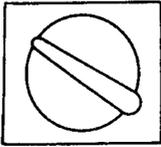


图 1-11 速度倍率开关

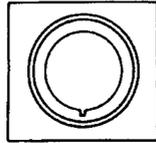


图 1-12 急停开关

(7)手脉发生器(见图 1-13) 手脉发生器用于控制刀具的进给。顺时针旋转手脉时,刀具沿负方向运动,逆时针旋转手脉时,刀具沿正方向运动。手脉发生器只有在手脉选择键按下后才有效。

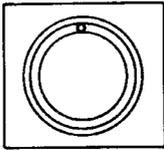


图 1-13 手脉发生器



图 1-14 程序保护开关

(8)程序保护开关(见图 1-14) 程序保护开关用于保护存储中的零件程序或其他信息。当程序保护开关处于“ON(开)”位置时,存储器中的零件程序或其他信息不保护。当程序保护开关处于“OFF(闭)”位置时,存储器中的零件程序或其他信息被保护。在编辑、清除零件程序或插入、修改、删除指令字时,应将程序保护开关处于“ON(开)”的位置。通常程序保护开关应处于“OFF(关)”的位置。

### 第三节 软菜单键操作

如何进入 GWK—6TA 数控系统的操作状态？

操作步骤：

1)开机床电源、系统电源后 CRT(见图 1-15),其中在屏幕下有一排 F 功能键盘,从左至右依次为 <F1> 键、<F2> 键、<F3> 键、<F4> 键、<F5> 键、<F6> 键。

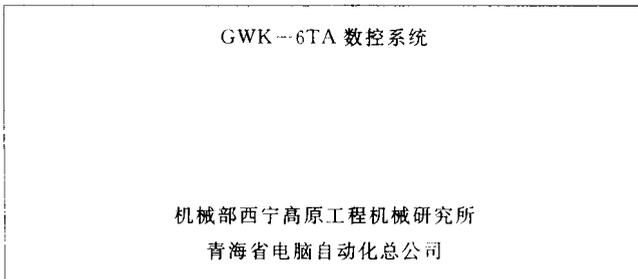


图 1-15 开机状态

2)在 F 功能键盘上按任意键(见图 1-16) 此时 F 功能键盘上六位功能键与 CRT 屏

幕下边六个方框内容意义相对应。

按 < F1 > 键 表示进入编辑操作；

按 < F2 > 键 表示进入示教操作；

按 < F3 > 键 表示进入手动操作；

按 < F4 > 键 表示进入自动操作；

按 < F5 > 键 表示进入单段操作；

< F6 > 键 通常表示进入返回上一屏幕状态。

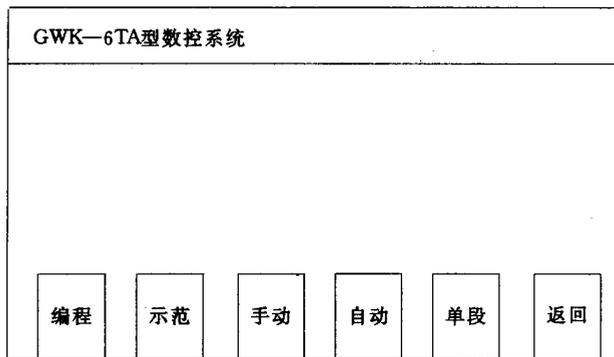


图 1-16 主功能区

## 一、手动操作

在图 1-16 状态下,按下 < F3 > 键,数控系统进入手动操作方式,见图 1-17。

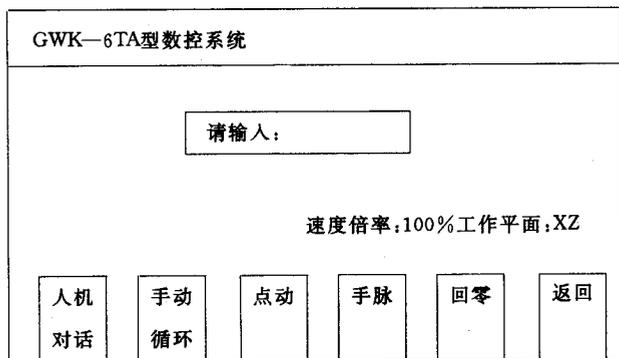


图 1-17 手动方式

### 1. 速度倍率开关操作

如图 1-17 所示,屏幕下面显示的“速度倍率:”后的百分数字,可以在任意状态下(除螺纹切削外)通过旋转电脑面板上的速度倍率开关,动态显示当前旋钮所至的档位百分数。此数值有 1%、5%、25%、50%、75%、100%。

## 2. 进给键操作

(1) 连续进给 在图 1-17 状态下,按 < F3 > 键 < 点动 > ,屏幕进入图 1-18 状态。

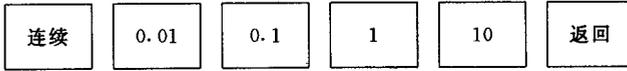


图 1-18 进给控制

此时按 4 个十字进给键 (< + X > , < - X > , < + Z > , < - Z > )之一,电脑根据进给键的定义,坐标显示动态变化直到进给键松开为止。

(2) 定量进给 在图 1-18 状态下, F 功能意义如下:

- 按 < F1 > 键,连续进给;
- 按 < F2 > 键,每按一次进给键进给 0.01mm;
- 按 < F3 > 键,每按一次进给键进给 0.1mm;
- 按 < F4 > 键,每按一次进给键进给 1mm;
- 按 < F5 > 键,每按一次进给键进给 10mm;
- 按 < F6 > 键,返回图 1-17 状态。

例如,需要每次 10mm 点动进给,则在图 1-18 状态下按 F5 键(见图 1-19)。

此时,功能键意义如下:

- 按 < + X > 进给键一次,则 X 的数值开始正向移动 10mm;
- 按 < - X > 进给键一次,则 X 的数值开始负向移动 10mm;
- 按 < + Z > 进给键一次,则 Z 的数值开始正向移动 10mm;
- 按 < - Z > 进给键一次,则 Z 的数值开始负向移动 10mm。

操作完毕,若不需要定量进给,则按 F6 键返回“人机对话状态”。

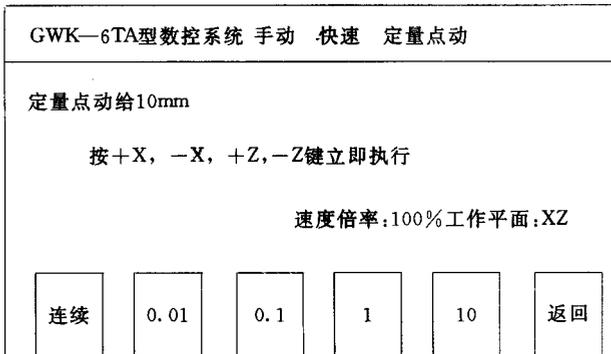


图 1-19 定量进给

## 二、手脉操作

在图 1-17 下,键入 < F4 > 键, CRT 显示转换成手脉操作状态(见图 1-20)。

GWK-6TA型数控系统 手动 手脉进给						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;">请选择手脉控制坐标</div>						
速度倍率:100%工作平面:XZ						
手脉 X	手脉 Z					返回

图 1-20 手脉操作

此时,功能键含义如下:

按 < F1 > 键,手脉 X 向进给。

按 < F2 > 键,手脉 Z 向进给。

< F3 >、< F4 >、< F5 > 键无意义。

例如,需要手脉 X 向进给,则按 < F1 > 键(见图 1-12)。

GWK-6TA型数控系统 手动 手脉进给						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;">X方向手脉进给</div>						
X+0010.00						
Z-0061.74						
加工时间:00:00:02 速度倍率:100%工作平面:XZ						
手脉 X	手脉 Z					返回

图 1-21 手脉进给方向

同理若选择 Z 向手脉进给,由按 < F2 > 键屏幕上边的提示窗口显示“Z 方向手脉进给”之后,摇动手脉。手脉操作完毕,按 < F6 > 返回“人机对话状态”。

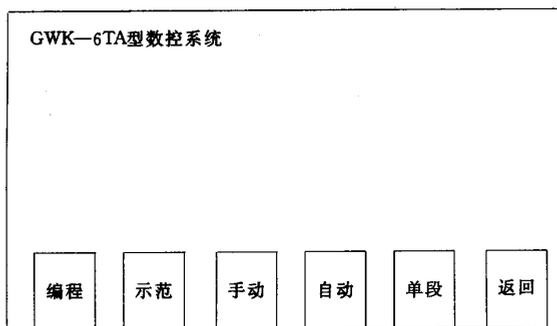


图 1-22 主功能区

### 三、程序编辑操作(见图 1-22)

#### (一)程序目录查询

操作步骤：

按 < F1 > 键 (见图 1-23)

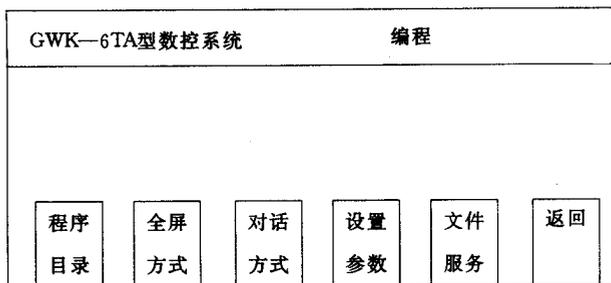


图 1-23 程序目录一

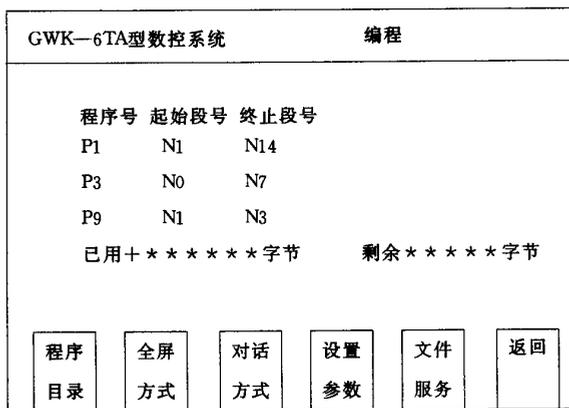


图 1-24 程序目录二

按 < F1 > 键 (见图 1-24)

## (二) 程序内容的输入、查询及修改

### 1. 程序内容的查询

操作步骤：

- 1) 打开程序保护开关。
- 2) 在图 1-24 状态下, 按 < F2 > 键 (见图 1-25)。

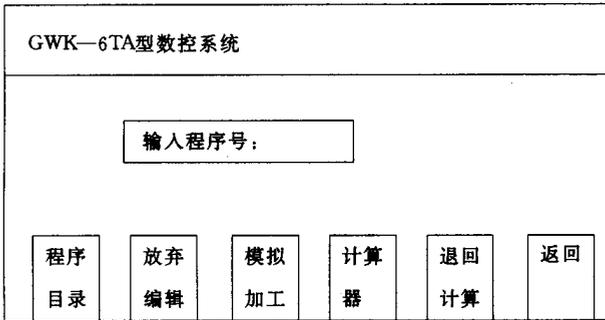


图 1-25 程序内容查询一

3) 在主键盘上键入 < P >、< n > 键, n 必须为 0~9 间的数字；

4) 在主键盘上键入 < START > 键 (见图 1-26) 若程序内容很多, 可按主键盘 < NEXT > 或 < LAST > 键, 进行向后或向前翻页查询。

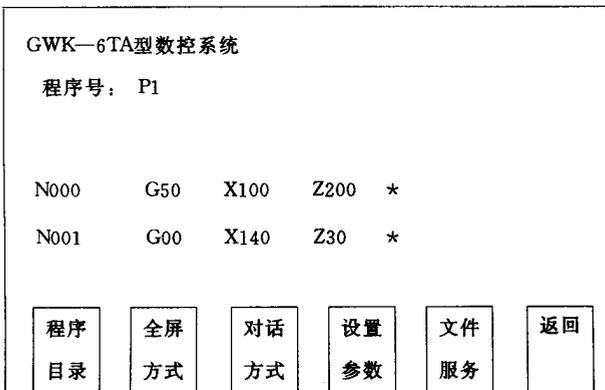


图 1-26 程序内容查询二

### 2. 程序的输入

(1) 程序段的输入与操作 输入程序段时, 必须依次输入顺序号、指令字和数据字。输入时顺序号与指令字之间、指令字与指令字之间, 必须加“空格”通过按主键盘上的 < INPUT > 键即可实现。另外, 程序的输入必须按照指令格式进行。

(2) 程序段间的操作 当一行程序段输完, 则必须按主键盘上的 < START > 键, 程序段最

后一个指令字后显示 \* 号 且在下一行自动显示下一个顺序号 光标移至其后的空格。

(3) 程序输入后的操作 程序输完之后 若保存则按 < F1 > 键 若放弃则按 < F2 > 键。  
例如输入如下程序：

```
“ N0    G50    X100    Z200
N1    G00    X40    Z30 ”
```

操作步骤

1) 输入数字‘ 0 ’ (见图 1-27)。

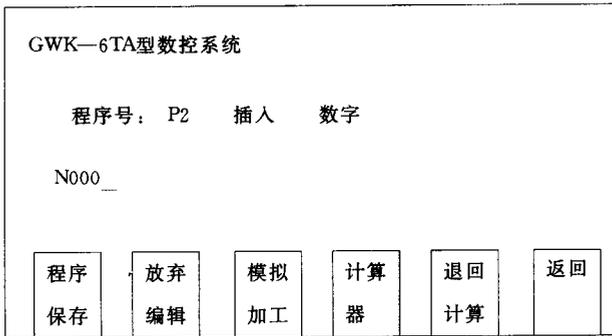


图 1-27 程序输入示意图一

说明 :屏幕上“ 插入 ”、“ 数字 ”表示两种状态。“ 插入 ”可以通过按主键盘上的 < INSERT > 键切换到“ 改写 ”状态。“ 数字 ”通过按副键盘上的字符/数字键切换到“ 字符 ”状态 当切换到“ 字符 ”状态时 ,该键上的灯发亮。

当未输入程序时( 程序区空时 ) ,按此两种键不起作用 ,只有在输入程序后 ,才能起到上述作用( 即在屏幕这种状态是不起作用的 )。此时 ,往下可以输入程序了。

2) 键入 < INPUT > 键( 相当于计算机的空格键 )。

另外“ N ”后显示三个“ 0 ” ,光标跳过一个空格显示 等待继续输入。显示见图 1-27。

若输入数字‘ 0 ’时 ,假如此时“ 数字 ”状态正处“ 字符 ”状态 这时“ N ”后显示“ S ” ,见图 1-28。

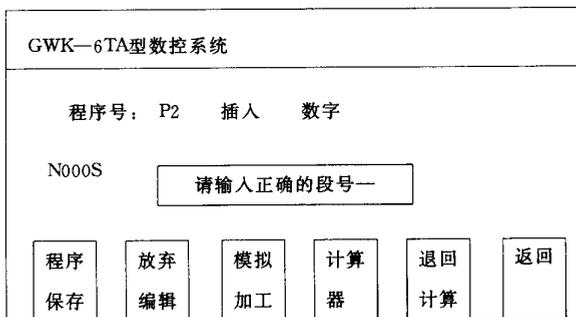


图 1-28 程序输入示意图二

出现上述错误,应按 < delete > 键删除 S,重新输入正确的数值(见图 1-28),之后依次输入“ X00 ”、“ Z100 ”

3)按 < STARTS > 键(相当于计算机的回车键,光标可以自动转到下一行),见图 1-29。其后程序段的输入方法和步骤均相同。当全部的程序段输入完毕,见图 1-30。

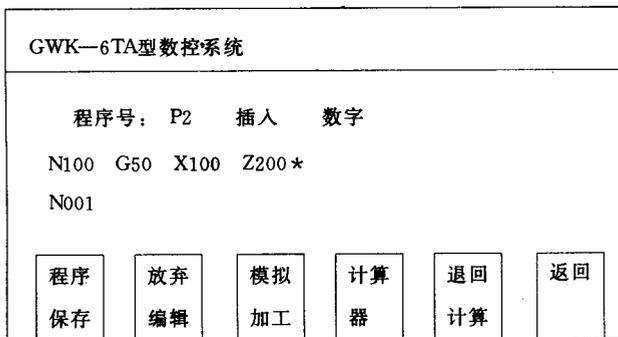


图 1-29 程序输入示意图三

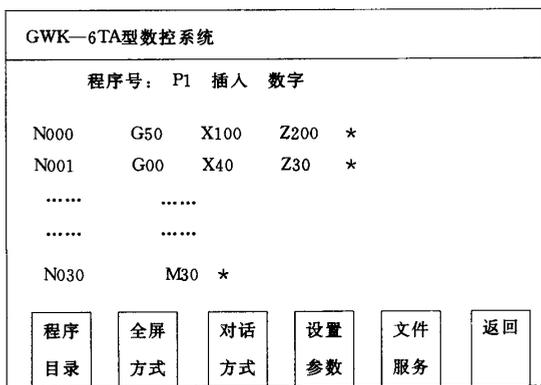


图 1-30 程序输入示意图四

注:图中的“.....”表示省略的程序段。

4)按 < F1 > 键,将程序保存,屏幕变为图 1-31 所示画面。

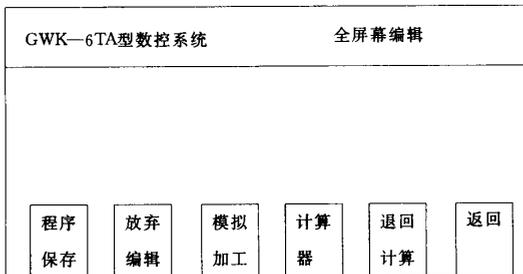


图 1-31 程序输入完成示意图

这样,该程序的输入过程全部结束,如此 P1 程序建立。其他程序的建立,步骤与此相同。

### 3. 程序的修改

(1) 程序段的增加 若希望在某一程序段前增加一段程序段内容(若在程序中的“N005”段前加一段内容)则操作如下:

1) 通过光标键,将光标移至“N005”的上一行的末尾。

2) 按 < START > 键,则在原“N005”前增加一空行,且顺序号为“N005”,而后所有的顺序号自动加 1,且其后的内容不变。此时光标在增加的“N005”段号后,等待输入内容。

若在其他段前增加一段程序段,操作方法类似。

(2) 程序段的删除 若希望删除一段程序段内容,则操作如下:

1) 通过光标键,将光标移至“N001”的“N”上。

2) 按 < DELET > 键,则删除“N001”段内容,此时光标在“N002”段号上。

若删除其他段内容,操作方法类似。

(3) 程序段内容的修改当输入程序段后存在错误,修改步骤如下:

1) 通过光标键,将光标移至错误的字符或数字上。

2) 当输入状态是“插入”时,按 < DELET > 键,则删除错误字符或数字,之后输入正确的字符或数字;当输入状态是“改写”时,直接输入正确的字符或数字。

说明 按 < INSERT > 键,可实现“插入”状态与“改写”状态的相互转化。另外,当修改的是字符时,必须将另一个输入状态选择到“字符”状态上;当修改的是数字时,则必须将另一个输入状态选择到“数字”状态上。字符/数字状态的转化可以通过按副键盘的 < 字符/数字 > 键来实现。

## 四、模拟加工

操作步骤:

1) 进入图 1-30 状态。

2) 键入 < F3 > 键,见图 1-32。

图中“请输入”窗口有四项要求操作者输入的内容,意义如下:

毛坯长度(mm)—工作毛坯的实际长度,以 mm 为单位。

毛坯直径(mm)—工作毛坯的实际直径,以 mm 为单位。

毛坯孔径(mm)—工作毛坯内孔的实际直径,以 mm 为单位。

毛坯孔深(mm)—工作毛坯内孔的实际深度,以 mm 为单位。

对上述四项内容输入时,根据光标的当前位置,输入相应的内容(初始情况下,光标在“毛坯长度(MM)= ”后)。另外,输入的步骤为:

① 根据光标位置所对应的内容,输入相应的数据;

② 按 < START > 键,光标跳至下一输入项。

GWK-6TA型数控系统      自动    系统自动加工程序					
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">输入</p> <p>毛坯长度(mm)=</p> <p>毛坯直径(mm)</p> <p>毛坯孔径(mm)</p> <p>毛坯孔深(mm)</p> </div>					
程序 保存	放弃 编辑	模拟 加工	计算 器	退回 计算	返回

图 1-32 设定毛坯

③ 对于下一选项的输入 操作骤同①、②。

但是,有时有些选项,用户输入无实际意义:所以,碰到这种情况,输入时,直接按 < START > 键跳至下一选项继续操作(例如有的工件没有孔,则不需输入孔深和孔径,按 START 即可)。

3)窗口提示数据输入完后,按 < START > 键(见图 1-33)。

GWK-6TA型数控系统      自动    系统自动加工程序					
输入程序号:					
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">请输入</p> <p>毛坯长度(mm)= 30</p> <p>毛坯直径(mm)= 40</p> <p>毛坯孔径(mm)= * * * *</p> <p>毛坯孔深(mm)= * * * *</p> </div>					
程序 保存	放弃 编辑	模拟 加工	计算 器	退回 计算	返回

图 1-33 毛坯设置完成

4)窗口提示数据输入完后,等待几十秒后,按 < START > 键(见图 1-34)。

图中表示六把刀具代号 A、B、C、D、E、F,各字母后有各刀具形状;

- A—外圆刀
- B—内孔刀
- C—外螺纹刀
- D—切断刀
- E—反刀

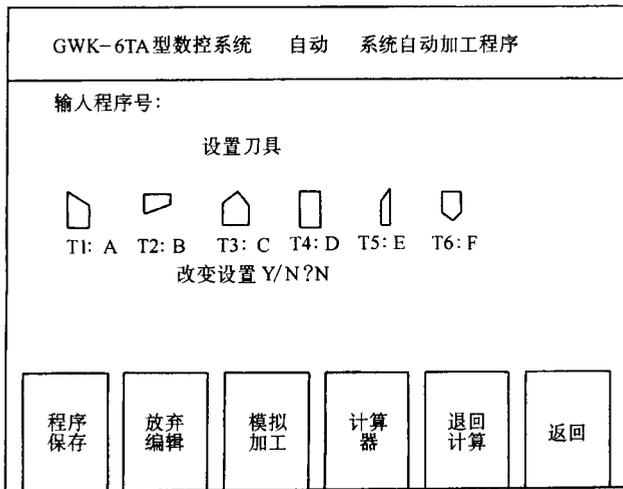


图 1-34 设置刀具

### F—内螺紋刀

在这些字母显示的下行有一行字符,它们分别为:

T1 = A—表示将 A 刀具(外圆刀)装夹在刀架的 1 号工位上。

T2 = B—表示将 B 刀具(内孔刀)装夹在刀架的 2 号工位上。

T3 = C—表示将 C 刀具(外螺紋刀)装夹在刀架的 3 号工位上。

T4 = D—表示将 D 刀具(切断刀)装夹在刀架的 4 号工位上。

T5 = E—表示将 E 刀具(反刀)装夹在刀架的 5 号工位上。

T6 = F—表示将 F 刀具(内螺紋刀)装夹在刀架的 6 号工位上。

另外,各刀具可装夹在刀架的各个工位上,可以通过改变 T\* 号右边字母来实现(这些字母只能在 A、B、C、D、E、F 六个字母中选一)。

具体操作为:

- ① 改变设置 Y/N? 键入 <Y> 键。
- ② 通过在主键盘上按 <→> 光标键,将光标移至所要修改的刀位上(T\* )。
- ③ 通过在主键盘上按 <↑> 光标键,来改变“=”号右的字母。
- ④ 改变设置 Y/N? 键入 <N> 键。

5) 按 <START> 键,进入动态模拟显示自动加工(见图 1-35)。

## 五、设置参数方式

操作步骤:

1) 在图 1-26 情况下,按 <F4> 键结果如图 1-36 所示。

将光标移动至第一个选项(间隙补偿值)或第二个选项(刀具补偿值),按 START 键即

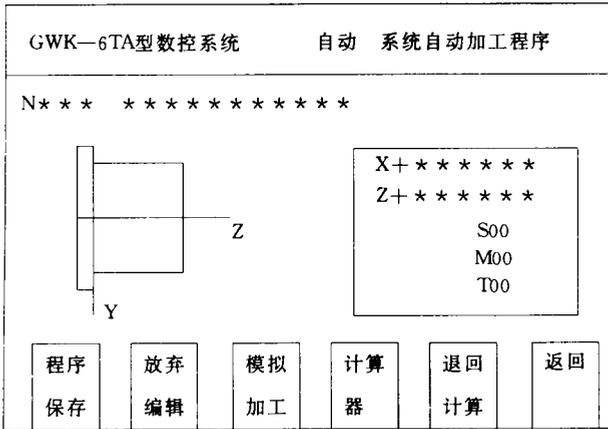


图 1-35 模拟显示

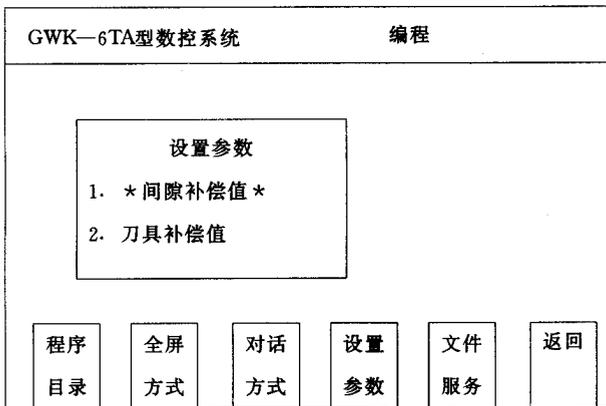


图 1-36 设置参数

可进行设置参数。

## 六、文件服务

操作步骤：

- 1) 在图 1-36 状态下。
- 2) 按 < F5 > 键 , 屏幕工作在文件服务方式 , 见图 1-37。
- 3) 选择功能

① 程序删除 按 < START > 键 ( 见图 1-38 )。

输入程序号 , 假如 P2 需删除 , 则键入“ P ”、“ 2 ”之后 , 按 < START > 键 , P2 所有程序段均删除 ( 见图 1-39 )。

② 程序复制。本功能实现程序区与程序间的程序传送：

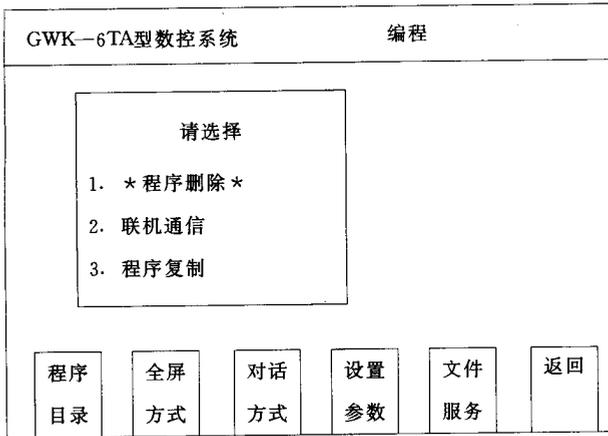


图 1-37 文件服务

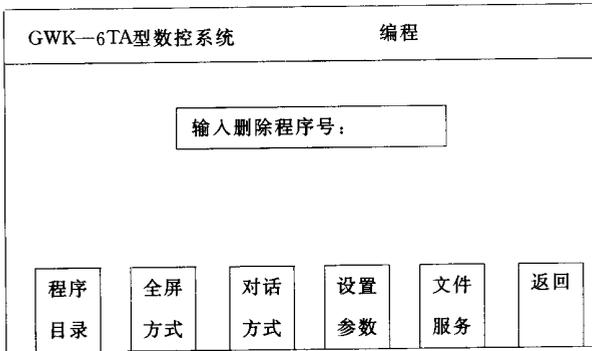


图 1-38 程序删除

按 < F5 > 键 , 屏幕工作在文件服务方式上 ;

按光标键 < ↓ > 键选择将光标移至程序复制项上按 < START > 键(见图 1-40) ;

假如从 P1 程序复制到 P9 区 , 操作如下 : 键入“ 1 ”之后 , 按 < INPUT > 键后键入“ 9 ” , 按 < START > 键 , 则实现 P1 程序复制到 P9 区程序。若 P9 有程序 , 则会覆盖 P9 区程序内容。

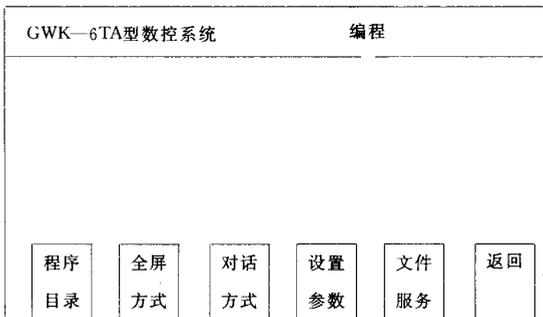


图 1-39 程序删除结束

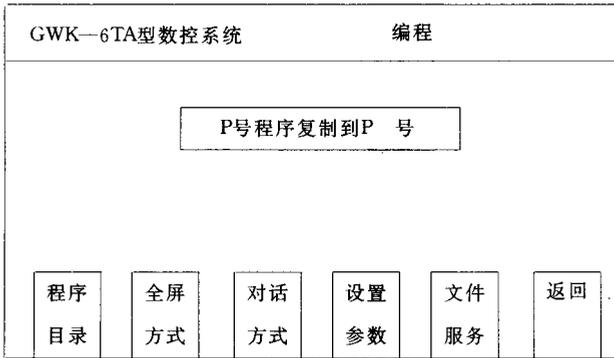


图 1-40 程序复制

## 七、自动操作

在自动工作方式下系统可连续运行一个完整的零件加工程序,并加工出该工件。自动操作是根据编程指令来操作机床的。通过调用存储在系统电脑加工零件程序区中的程序,使刀架根据加工程序指令运动,完成工件的自动加工。

另外,在进行自动切削时应先设定刀具位置补偿值、机床间隙补偿值,并输入电脑,再通过测量、计算,确定刀具起始位置。

### (一) 手动调整

#### 1. 刀具位置补偿

当所编制的程序中要求使用多把刀进行切削时,这时就必须在自动执行加工前,先进行各刀具位置补偿值的设定,设定刀具位置补偿值后,在自动加工过程中不论调用任何一把刀进行切削时,都能保证刀具的刀尖在同一切削点处,从而保证了工件加工精度。

刀具位置补偿值确定方法有以下两种:

一是使用对刀仪,确定各刀具的位置偏差值;二是通过手动试切对刀,确定各刀具的位置偏差值。

刀具调整完毕后,根据工件图样,试切对刀,但由于刀具补偿值有人眼的观察误差存在,故需要在实际加工中根据实际情况进行补偿修正一次,此时对刀补偿方能确定。

#### 2. 机床间隙补偿

当机床间隙影响到了工件的加工尺寸和精度时,就应在程序中设置机床间隙补偿,在机床坐标轴做正、负向运动时,先对机床间隙予以补偿。

#### 3. 刀具起点位置调整

手动试切对刀后,还需要通过手动方式将刀具移到加工程序所设定的位置处(也就是加工起点)。这里应注意必须使用基准刀来确定刀具起点位值。

一般情况下由于工件坐标系原点选择在主轴夹盘的中心线或工件轴线上,因而不便

于直接测量刀尖与原点间的距离。此时应以与坐标原点有基准关系的基准面来间接测量刀尖与原点间在 X、Z 轴向上的距离。

例如程序中设定：

```
NO1 G50 X100 Z100
```

设定工件坐标原点为 O，通过计算刀具尖与 O 点 X 方向之间距离，确定 X 值；通过计算刀具尖与 O 点 Z 方向之间距离确定 Z 值（见图 1-41）。试切对刀步骤如下：

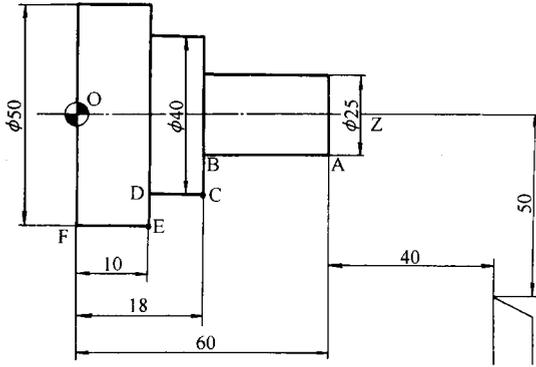


图 1-41 设定坐标系

1) 将刀具移动至 BC 面，距离很小时慢速移动，当刀具刚好接触到工件并且产生微小的切屑时，停止刀具移动，按 F6 键返回上一级菜单，按 B 字母，出现 X 值，按回车（START 键），出现 Z 值，输入一个 0 进行对 Z 值清零。

2) 将刀具沿 X 正方向移动工件，沿 Z 负方向移动至 C、D 点之间，在沿 X 负方向靠近 CD 面，距离很小时慢速移动，当刀具刚好接触到工件并且产生微小的切屑时，停止刀具移动，按 F6 键返回上一级菜单，按 B 字母，出现 X 值输入一个 0 进行对 X 值清零，出现 Z 值，按回车（START 键）。

3) 最后将刀具先沿 X 轴正方向退刀 60mm（ $50 \times 2 - 40$ ），在沿 Z 轴正方向退刀 82mm（ $40 + 60 - 18$ ）。刀具起点位置已调整后，可启动自动加工程序。

## （二）自动加工操作

操作步骤：

1) 进入图 1-16 状态。

2) 键入 < F4 > 键（自动加工）。

3) 屏幕窗口显示“输入程序号”。

4) 将加工的程序号输入，键入 < START > 键开始自动加工，在加工过程中，如有错误，立即按主键盘上的 RESERT 键，机床运行停止，排除错误后，重新加工。

## 八、单段操作

单段方式操作,实际上是自动方式的分步进行,即每执行完一个程序段后就自动暂停。系统功能选择在单段加工状态,才能执行单段方式操作。建议对不确定的程序一定要采用单段方式试运行后,再进行自动加工,这样可以有效地保护机床和工件。

单段加工操作方式同自动加工一样,只不过单段加工时系统每执行完一个程序段之后就自动暂停。在图 1-16 状态下,按 F5 键输入要加工的程序号后,按 < START > (见图 1-42)。

执行完一段程序之后系统自动暂停,再按一次 < START > 键系统开始执行下一个程序段。同样,加工程序执行结束时系统自动暂停,屏幕显示:

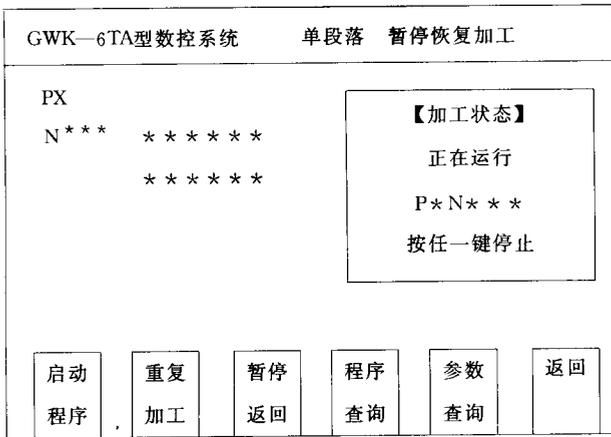
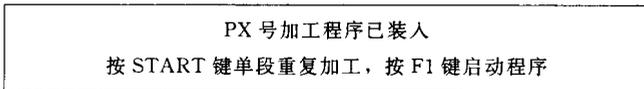


图 1-42 加工画面



按 < START > 键,加工程序重复单段执行一次,按 < F1 > 键,系统返回到单段启动程序状态。

暂停返回,按 F6 键系统返回主菜单。

按 F6 键,系统返回到主菜单。

## 九、补偿功能

为了提高加工精度,并实现多把刀自动转换进行切削加工,系统配备了刀具补偿功能和间隙补偿功能。

### (一) 刀具补偿

GWK-6TA 系统支持 4 个工位自动回转刀架。进行刀具转换时,由于刀具长度、形状

及安装位置的差异刀尖(或切削刀刃)位置产生一个偏差值。刀具补偿功能就是通过在换刀时,对刀具位置进行适当调整,从而实现刀具自动补偿。

### 1. 刀具补偿值的确定

刀具补偿值(即刀具位置偏差值)可用如下方法确定,并存储于系统之中。

(1)试切对刀法 试切刀法,采用传统车工工艺中,试切工件确定刀具位置方法,轮流转换刀具,并将其刀尖(或切削刃)对准到工件同一位置(即参考基准点),由数控电脑记录刀具偏差值(即补偿值),并进行存储。具体操作步骤如下:

1)进入手动手操作方式,开启主轴。

操作步骤:

① 进入手动操作方式(见图 1-43)。

② 在副键盘上键入 <SPPIN—CW> 键,主轴启动。

2)在副键盘上键入 <F12> 对刀键,此时 <F12> 键上的指示灯亮(见图 1-44)。

确定基准刀具,根据工艺要求,一般宜选精车刀为基准刀具,通过指令转动刀架,使基准刀具为当前刀具,如选“T1”为基准刀,则键入“1”后,按 <START> 键(见图 1-45)。

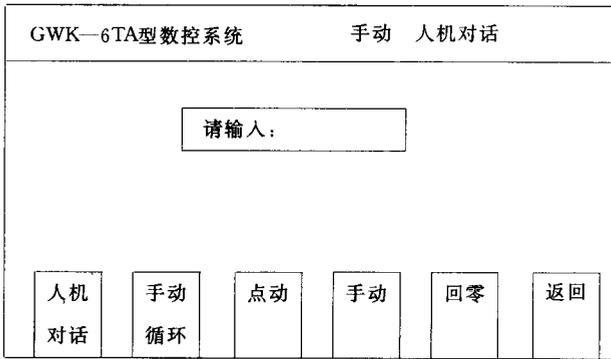


图 1-43 手动操作方式

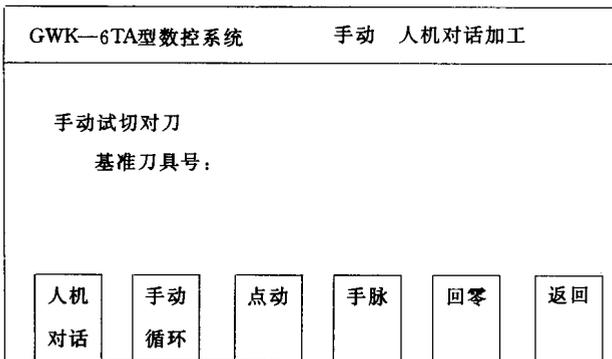


图 1-44 对刀画面一

3)1号刀到位后,根据刀具与参数基准点的距离,通过手动快移点动、手脉微动等操

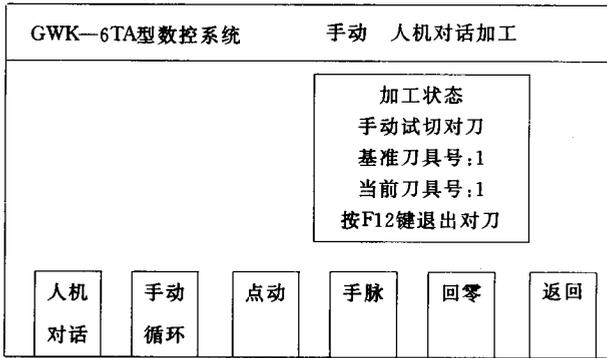


图 1-45 对刀画面二

作 将基准刀具尖(或切削刃)对准到参数基准点,然后按下<CTRL>键+<T>键,于是1号刀补偿值在X、Z两方向均为零(见图1-46)。表明基准刀具号刀具补偿值(0.0)已输入,可进入其他刀号对刀。

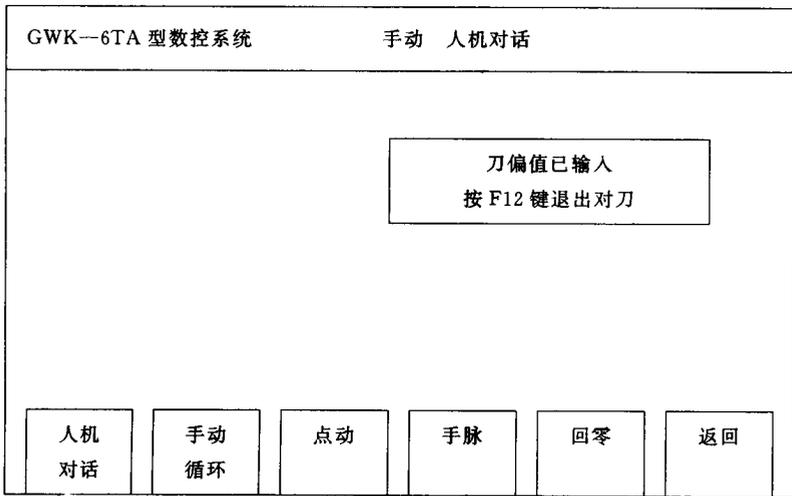


图 1-46 对刀画面三

4)通过手动操作退刀到适当位置(尽量远离工件)。

5)键入<T>键,再键入当前刀具号N(0~8中的一个数字),例如:为2号刀,则通过指令操作,使2号刀尖(或切削刃)对准参数基准(见图1-47)。

6)2号刀到位后,根据刀具与参数基准点的距离,通过手脉微调等操作,将2号刀刀尖(或切削刃)对准到参数基准下<CTRL>键+<T>键,于是2号刀补偿存入电脑(见图1-48)。

7)按⑤、⑥步骤分别确定其他刀具的刀偏值。

8)按<F12>键,退出试切对刀状态,停止主轴。

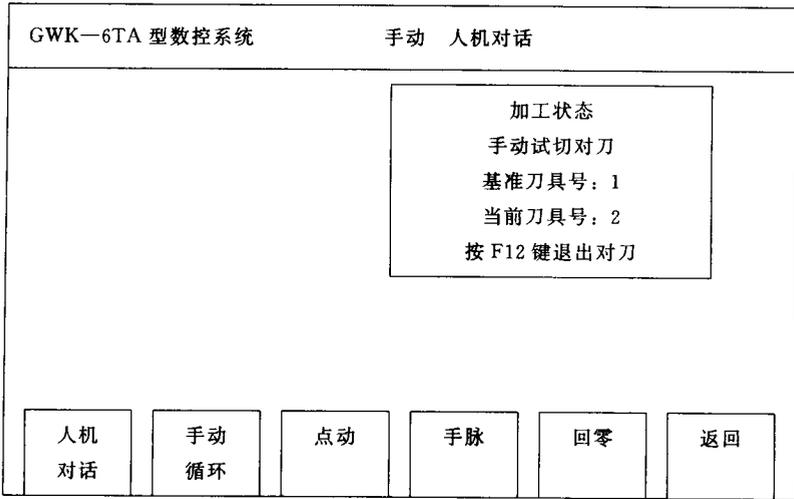


图 1-47 对刀画面四

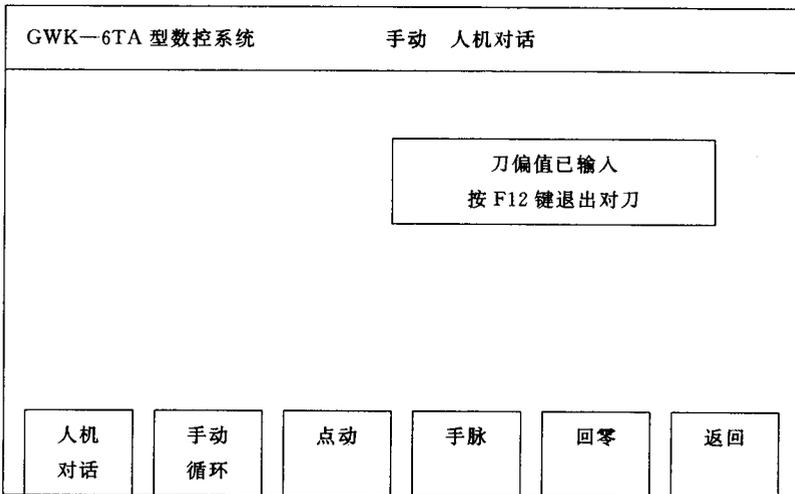


图 1-48 对刀画面五

注:如采用对刀镜,亦参照上述方法进行对刀。

(2) 刀具补偿值的输入、修改、存储 对于高精度的工作(GWK 数控系统所允许的最高精度范围),试切对刀法由于人眼误差,因而必须在加工过程中进行修改、校正,才能保证加工精度。另外,刀具补偿值也可以用对刀仪测得直接输入数控电脑的刀具补偿存储单元。例如 2 号刀原刀补偿值为  $X = -0.18\text{mm}$ 、 $Z = 2\text{mm}$ ,现刀具补偿值为  $X = 2.5\text{mm}$ 、 $Z = 5.12\text{mm}$ 。具体操作如下:

- 1) 打开数控电脑控制面板上的程序保护开关。
- 2) 选择工作方式编辑工作方式(见图 1-49)。

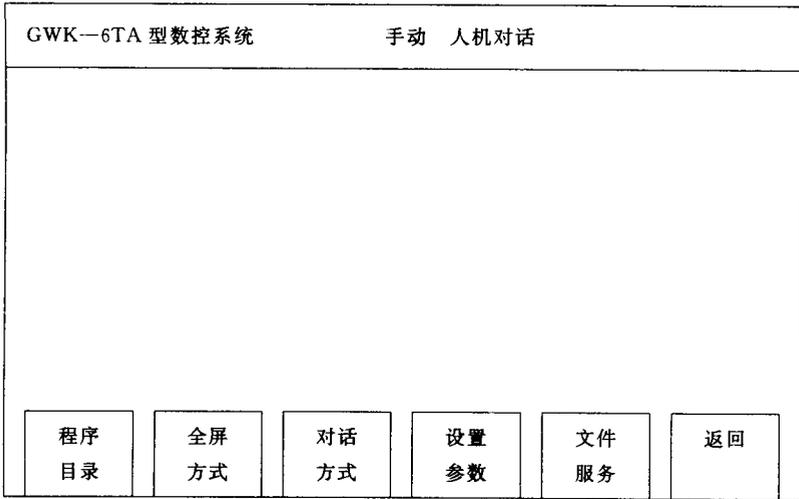


图 1-49 编辑工作方式

3) 在 F 功能键盘上键入 < F4 > 键(见图 1-50)。

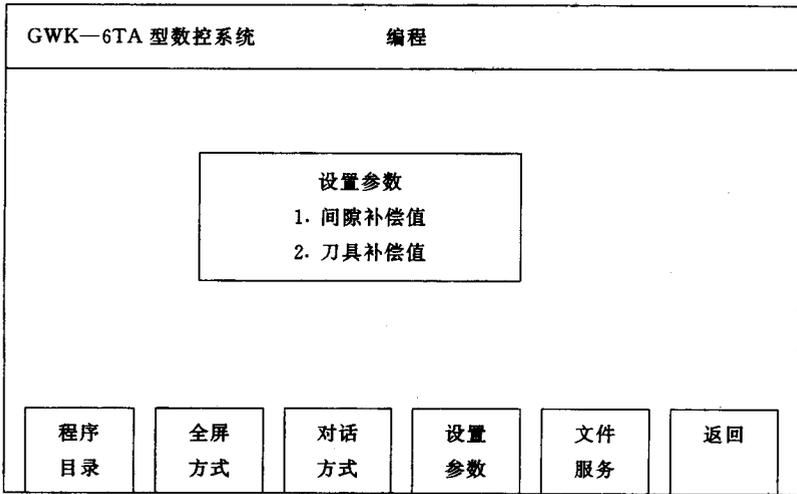


图 1-50 设置参数

4) 将主功能区光标键 < ↓ > 键上下移动, 可以在屏幕“设置参数”窗口内选择“2, 刀具补偿值”。键入 < START > 键(见图 1-51)。

此时, 光标在刀补号 0 的 X 数值第一位。

5) 主键盘上的光标键, 将光标移到刀补号 2 的 X 向数值第一位。依次输入“2”“.”“5”按 < START > 键。光标跳至 Z 向数值第一位, 再依次输入“5”“.”“1”“2”, 在主键盘上按 < START > 键, 光标跳至刀补号 3 的 X 向数值第一位(见图 1-25)。

6) 在 F 功能键盘上按 < F1 > 键保存退出, 则 2 号刀刀具补偿值存入电脑(若按 < F2 >

GWK—6TA 型数控系统 设置参数

刀补号	刀具补偿值	
	X	Z
0	000.00	000.00
1	000.00	000.00
2	-0.8	3.2
3	12.34	5.06
4	-23.32	-9.06
5	000.00	000.00
6	000.00	000.00
7	000.00	000.00
8	000.00	000.00
9	000.00	000.00

保存放弃返回

图 1-51 参数输入画面一

GWK—6TA 型数控系统 设置参数

刀补号	刀具补偿值	
	X	Z
0	000.00	000.00
1	000.00	000.00
2	2.5	5.12
3	12.34	5.06
4	-23.32	-9.06
5	000.00	000.00
6	000.00	000.00
7	000.00	000.00
8	000.00	000.00
9	000.00	000.00

保存放弃返回

图 1-52 参数输入画面二

键放弃,表示放弃 2 号刀具补偿值存入电脑)。如图 1-53 所示。其他刀具的补偿值输入和修改方法与上雷同。

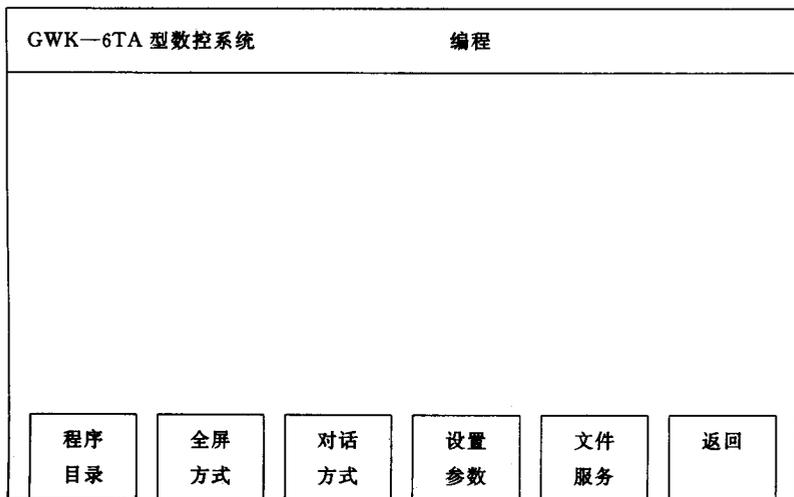


图 1-53 参数输入画面三

## 2. 如何使用刀具补偿

1) 调用刀具补偿功能之前,必须在数控电脑存储器中建立正确有效的刀具补偿值。

2) GWK 数控电脑中,设有专用软开关(<F10>键)来控制刀具补偿功能是否有效,由软开关 M94、M95 指令开启和关闭,M94 刀具补偿有效,M95 刀具补偿无效。

M94、M95 指令在自动和手动状态下均可使用。M94、M95 均为模态指令,即一旦设置后,若不取消,一直有效。

3) 在使用刀具补偿功能时,必须正确使用 T 指令。具有刀具补偿的 T 指令格式为:T+刀号+补偿号。例如:T11、T33 等一般情况为防止调用错误,刀具补偿号与刀具号最好一致,如果需要,也呆以任意组合。

## (二) 间隙补偿

### 1. 简介

机床加工工件时,由于滑板的运动是通过齿轮、丝杠来传动的,齿轮间、丝杠与丝母间并不是紧密配合,存在着间隙,因此在加工中,只要存在滑板的换向运动,人工或自动操作滑板理论位移量与滑板实际位移量便存在着误差,我们把这种误差叫做间隙误差。

在滑板换向运动时,存在传动滞后现象。这种误差在滑板往返运动中,表现为规则的、累积的,通常称为累积误差。一般好的机床,间隙都调到很小。

由于间隙误差的存在,在工件精度要求不高的情况下,这个误差可以忽略,但是对于高精度的工件加工,这个间隙就显得非常重要。如果在换向切削中,不弥补这个间隙值,加工的零件因些会报废。通常我们把间隙在换向时滑板运动弥补的位移量叫做“间隙补偿”。

### 2. 间隙的测量

空载时(无工件时)可用千分表测出间隙。间隙通常是由纵、横向间隙组成,类似坐标值。

(1)横向(X向)的间隙测量 具体方法为:

1)将千分表座固定在床身的适当位置上,使表头碰触刀架+X向面壁,看千分表是否放置合适,将表指引对准零刻度。

2)在数控电脑上,发出向-X向走100mm(例如),让刀架向-X向运动100mm。

3)操作电脑,让电脑反向走(+X向)100mm。于是刀架走回,刀架面壁触千分表触头,这时表针发生变化。

4)记录这个表针的变化值(假如是0.03mm),则这个变化量就是在空载情况下横向的间隙值。

5)将此值乘以 $\alpha$ 必须输入数控电脑间隙补偿存储单元,至此横向间隙补偿值在数控电脑存储中就建立起来了。

(2)纵向(Z向)的间隙测量

1)将千分表座固定在床身的适当位置上,使表头碰触刀架+Z向,看千分表是否放置合适,将指针对准零刻度。2)操作电脑,让电脑走(+Z向)100mm。让电脑反向走(-Z向)100mm,于是刀架走回原位,刀架面壁碰触千分表触头,这时表针发生变化。

3)记录这个表针的变化量(假如是0.03mm),则这个变化量就是在空载情况下纵向的间隙值。

4)将此值直接输入数控电脑间隙补偿存储单元,至此纵向间隙补偿值在数控电脑存储器中就建立起来了。

(3)间隙补偿值的输入、查询和修改

1)进入编程方式(必须在程序保护开关打开前提下),如图1-54所示。

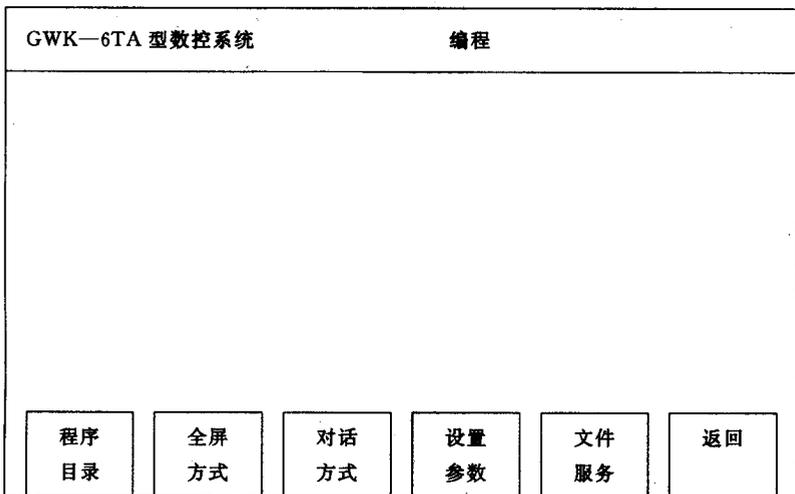


图 1-54 编程方式

2)在F功能键盘上键入<F4>键设置参数(见图1-55)。此时,光标在屏幕“设置参

数'窗口内的“间隙补偿值”上。

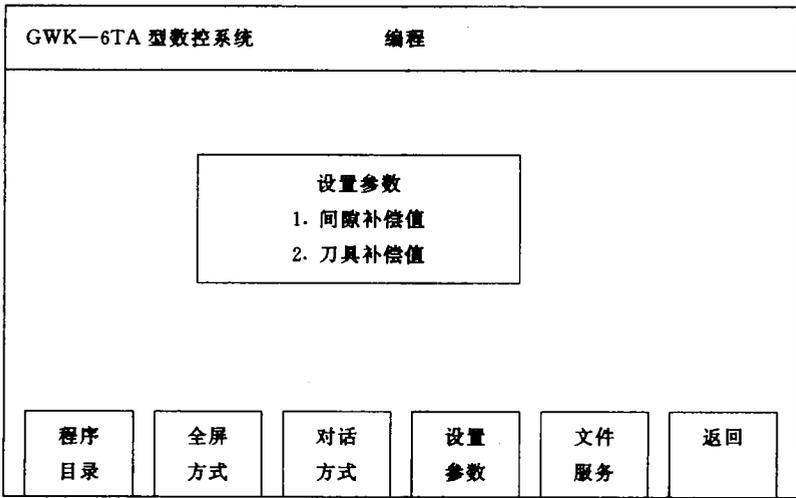


图 1-55 设置参数

3) 键入 < START > 键(见图 1-56)。此时,光标在“间隙补偿”窗口内 X 的正下方。

4) 倘若 X 向的间隙值为 0.2mm, Z 向的间隙值为 0.5mm。则在主键盘上键入“0”, “.”; 2”之后按光标键 < → > 键,光标跳至“Z”的正下方。键入“0”; “.”; 5”(见图 1-57)。

5) 在 F 功能键盘上键入 < F1 > 键,将上述间隙补偿值存入电脑。键入 < F2 > 键,表示放弃间隙补偿值的输入(见图 1-58)。或要修改间隙补偿值。只需按上术方法输入新的补偿即可。

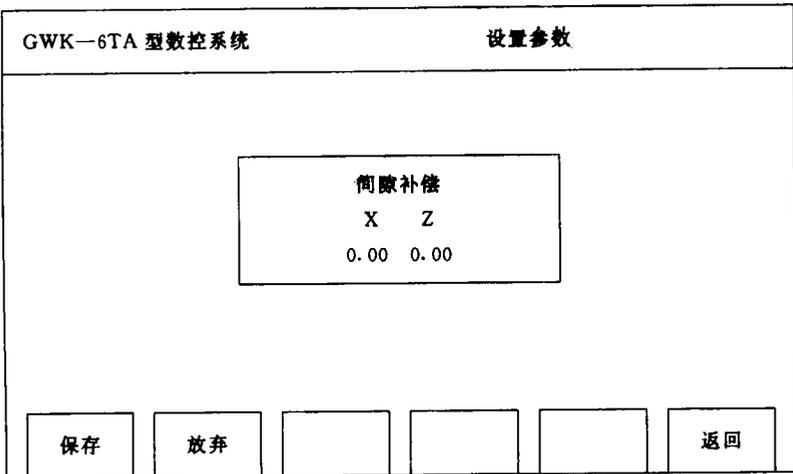


图 1-56 间隙补偿一

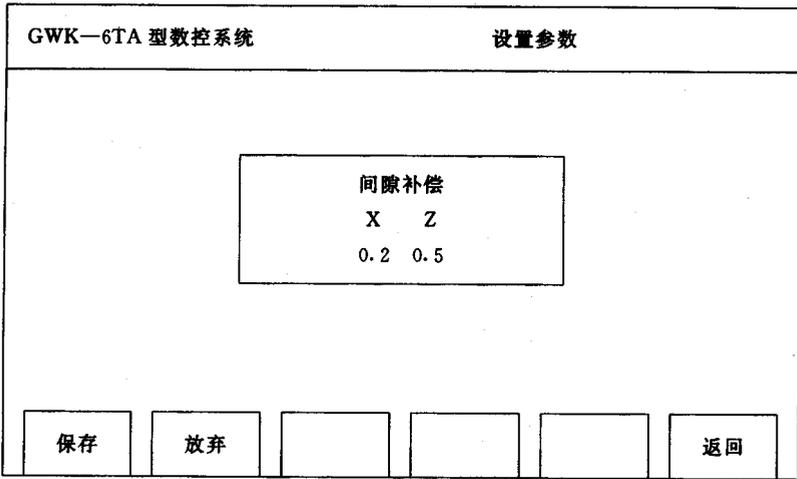


图 1-57 间隙补偿二

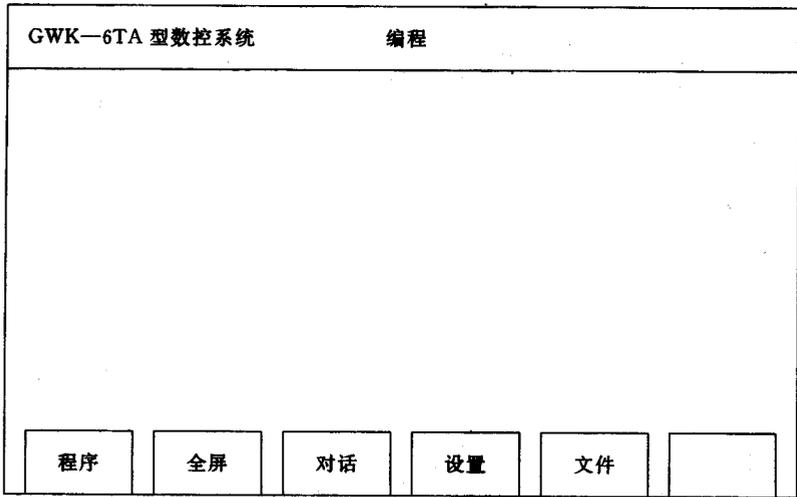


图 1-58 间隙补偿完成

## 第四节 编程

在数控机床上实现自动加工工件,首先必须编制程序。GWK—6TA 为用户提供了丰富的符合 ISO 标准的软件指令,操作人员在熟悉系统软件指令的基础上,根据工件加工工艺要求进行巧妙地组合,可编制出高水平的工件加工程序。

## 一、数控编程基础

### 1. 程序编制的内容

在数控机床上加工工件时,要把加工工件的全部工艺过程、工艺参数和位移数据,以信息的形式记录在控制介质(数控电脑)上,用控制介质上的信息控制机床,实现工件的全部加工过程。这里我们把从工件图样到获得数控机床所需控制介质的全部过程,称为程序编制。

使用数控机床加工工件时,程序编制是一项重要的工作。迅速、正确而经济地完成程序编制工作,对于有效地利用数控机床是具有决定意义的一环。

程序编制应该包括以下内容:

(1)分析工件图样 要分析工件的材料、形状、尺寸、精度及毛坯形状和热处理要求等,以便确定工件是否适宜在数控机床上加工,或适宜在哪台数控机床上加工。有时还要确定在某台数控机床上加工该工件的哪些工序或哪几个表面。

(2)确定工艺过程 确定工件加工方法(如采用的夹具、装夹定位方法等)、加工路线(如对刀点、走刀路线),并确定加工用量等工艺参数(如走刀速度、主轴转速、切削宽度和深度等)。

(3)数值计算 根据工件图样和确定的加工路线,算出数控机床所需输入数据,如工件加工轮廓相邻几何元素的交点和切点(称为基点)。用直线或圆弧逼近工件轮廓时相邻几何元素的交点或切点(称为节点)的计算。

(4)编写程序单 根据加工路线计算出的数据和已确定的加工用量,结合数控系统的程序段格式编写工件加工程序。

(5)程序输入 将手工编制的程序输入到控制介质上(数控电脑的用户程序区内)。

(6)校对程序 检查由于人工造成的错误。

(7)首件试加工 根据加工工隋况测试编写的程序,直到加工出满足要求的工件为止。

### 2. 程序的结构

工件加工程序由程序段序列组成,而每个程序段则由顺序号、数据字及段结束符组成。顺序号是字母N开头后面1~3位数字即序号。GWK数控系统中顺序号001~999任选,有效数字前,零可以省略。数据字包括准备功能字、尺寸字、进给功能字、主轴速度功能字、刀具功能字、辅助功能字等。

准备功能字,由字母G和两个数字组成,通称G代码。G代码是为插补运算作好准备的工艺指令。在数控系统中插补运算之前必须预先规定。G代码有两种:

1)非模态G代码,这种代码只能在被指定的程序段才有效。

2)模态G代码,在同组的其他G代码出现之前一直有效。

GWK—6TA,G代码格式见表1-4。

表 1-4 程序格式

N	G	X(U)	Z(W)	I	K	L	D	R	H	F	S	T	M	*
N0	G50	70.0	100.0											*
N1	G50	-15.0	-20.0								S60	T11	M03	*
N2			Z-10.0							F50.0				*
N3		(20.2)	(-78.4)							F100.				*
N4													M30	*

功能准备字:字母 G 和两个数字组成,通称 G 代码。G 代码是为插补运算作好准备的工艺指令。在数控系统中插补运算之前必须预先规定。G 代码有两种:

- 1)非模态 G 代码,这种代码只能在被指定的程序段才有效。
- 2)模态 G 代码,在同组的其他 G 代码出现之前一直有效。

GWK—6TA G 代码含义见表 1-5。

表 1-5 G 代码

代码	含义	状态	级别	备注
G00	快速移动定位	模态(初始)	01	
G01	直线插补	模态	01	
G02	顺时针圆弧插补	模态	01	
G03	逆时针圆弧插补	模态	01	
G04	暂停	一次性	00	
G06	抛物线插补	模态	01	
G07	正弦曲线插补	模态	01	
G10	工件零点偏置值设定	模态	07	
G11	顺时针椭圆插补	模态	01	
G12	逆时针椭圆插补	模态	01	
G13	顺时针双曲线插补	模态	01	
G14	逆时针双曲线插补	模态	01	
G20	程序段循环	模态	01	
G21	程序段循环注销	模态	01	
G27	返回程序加工起点	一次性	00	
G28	返回上一程序段加工起点	一次性	00	
G32	公制螺纹加工	模态	01	
G33	英制螺纹加工	模态	01	
G50	工件坐标系设定	一次性	00	
G51	机床坐标系设定	模态	07	选择项
G53	工件坐标系注销	模态	07	选择项
G54	工件坐标系 1	模态	07	选择项

代码	含义	状态	级别	备注
G55	工件坐标系 2	模态	07	选择项
G56	工件坐标系 3	模态	07	选择项
G57	工件坐标系 4	模态	07	选择项
G58	工件坐标系 5	模态	07	选择项
G59	工件坐标系 6	模态	07	选择项 :
G70	柱面固定循环切削	模态	01	
G71	锥面固定循环切削	模态	01	
G72	球面顺时针固定循环切削	模态	01	
G73	球面逆时针固定循环切削	模态	01	
G74	端面固定循环切削	模态	01	
G76	公制螺纹固定循环切削	模态	01	
G77	英制螺纹固定循环切削	模态	01	
G84	深孔循环加工	摸态	01	选择项
G85	切槽循环加工	模态	01	选择项
G94	每转进给取消	模态	05	选择项
G95	每转进给设定	模态	05	选择项
G98	固定循环返回到初始点	模态初始	10	选择项
G99	固定循环返回到参考点	模态初始	10	选择项

尺寸字 :由字母数字组成 ,用来指定坐标值及其他有关数据。见表 1-4。

进给功能字 :由字母 F 与 1~4 位数字组成 ,用来指定进给速度。

主轴速度功能字 :由字母 S 及 1~2 位数字组成 ,通称 S 功能 ,用来指定主轴速度。

刀具功能字 :由字母 T 及 2 位数字组成 ,通称 T 功能 ,用来指定刀具号和刀具补偿号。

辅助功能字 :由字母 M 及 1~2 位数字组成 ,通称 M 功能 ,用来控制主轴启、停、正、反转、冷却泵启、停 ,程序运行结束及软开关的通断等。GWK-6TA 的 M 功能定义见表 1-6。

表 1-6 M 功能

代码	功 能	说 明
M03	主轴正转	
M04	主轴反转	
M05	主轴停转	注销 M03、M04
M07	打开 2 号冷却泵	
M08	打开 1 号冷却泵	
M09	关闭冷却泵	注销 M07、M08
M30	程序结束	程序结束
M88		跳程序段有效

代码	功 能	说 明
M89		跳程序段无效
M92		间隙补偿有效
M93		间隙补偿无效
M94		刀具位置补偿有效
M95		刀具位置补偿无效
M96		空运行有效
M97		空运行无效

程序段结束符 ;GWK — 6TA 系统以“ \* ”作为程序段结束符。

### 3. 编程事项

(1) 最小输入、输出增量 最小输入增量为 0.01mm ,最小输出增量 X 轴为 0.005mm ,Z 轴为 0.01mm。

(2) 直径编程 GWK 数控系统均采用直径编程 ,即径向( X 向 )数值以直径值表示。

(3) 绝对编程和相对编程 X、Z 为绝对编程方式坐标地址码 ;U、W 为相对编程方式坐标地址码。

(4) 跳步 跳步 就是在程序执行过程中跳过其中若干程序段而不予执行。

跳步指令编程操作步骤为 :

D 设定 M88 指令。

2) 将“ / ”标记加至不运行程序段首。

### 4. 程序编制中基本指令的使用

数控机床在加工过程中的动作 ,都是事先由编程人员在程序中用指令的方式予以规定的。例如机床的启停、正、反转 ,刀具走刀路线的方向 ,粗、精切削走刀次数的划分 ,加工过程中测量位置的安排 ,必要的端点停留等。这类指令称为工艺指令。工艺指令大体上可分为两类 :一类是准备性工艺指令。这类指令是在数控系统插补运算之前预先规定 ,为插补运算做好准备的工艺指令。如刀具沿哪个坐标平面运动 ,是直线还是圆弧插补等 ;另一类是辅助性工艺指令。这类指令与数控系统插补运算无关 ,而是根据操作机床的需要予以规定的工艺指令。如主轴的启停、计划中停、主轴定向等。

#### (1) 坐标系指令

1) 工件坐标系 加工工件用的坐标系称为工件坐标系 ,工件坐标系用 G50 指令来设定。

指令格式 :G50X——Z——

X、Z 加工起点在设定工件坐标系中的绝对坐标值。

通过指令坐标原点和加工起点间的距离就可确定下来 ,也就是说工件坐标系被设定。该指令必须是程序第一段的内容。

坐标系 数控车床一般是两坐标(轴)车床 ,沿主轴的方向是 Z 坐标方向 ,正向是由床

头指向床尾, X 坐标方向是横向导轨的方向,与 Z 坐标垂直,正向是刀架离开加工工件指向操作者的方向(见图 1-59)。

用户编程时只需考虑刀具相对于工件的运动,直接用 X、Z 或相应的 U、W 来编程。

坐标系原点( $X=0, Z=0$ )的位置是任意的。坐标系原点一般设置在加工工件的轴线上,但根据实际情况也能设置在工件轴线以外。

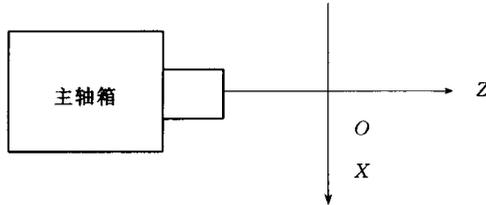


图 1-59 机床俯视图

## 2) 坐标系偏移指令

G10P—U—W—

其中“P”为 1~6 中的一个数,对应工件坐标系的序号;“U、W”是工件零点偏置值。这个指令可以分别设置六个工件坐标系。

3) 机床坐标系 机床有其自身的零点,有些情况下该零点设置在刀具不能到达的位置上(为安全,尽可能少用机床坐标系)。

(2) 刀具快速移动指令 G00 G00 指令是指定刀具快速移动的指令,用于使刀具快速移动、无切削、定位于靠紧工件附近某个位置,更有效的缩短加工时间。

刀具快速移动指令格式为:G00(X—)(Z—)

X、Z:刀具移动到终点的绝对坐标值(在 X、Z 两轴的绝对坐标值)。

U、W:刀具终点到起点的相对坐标值(在 X、Z 两轴的相对坐标值)。

## (3) 圆柱面切削指令 G01、G70

1) 一次走刀圆柱面切削指令 G01 指令是指定刀具线性插补的指令,通常用于切削圆柱面、端面及锥面。

指令格式:

G01X—Z—F—

X:刀具移动到终点的绝对坐标值(在 X 方向的绝对坐标值)。

Z:刀具移动到终点的绝对坐标值(在 Z 方向的绝对坐标值)。

F:切削速度

G01U—W—F—

U:刀具终点到起点的相对坐标值(在 X 方向的相对坐标值)。

W:刀具终点到起点的相对坐标值(在 Z 方向的相对坐标值)。

F:切削速度

举例说明:切削速度设定为 120mm/min(见图 1-60)。

编制程序为：

G01U3W - 30F120.0

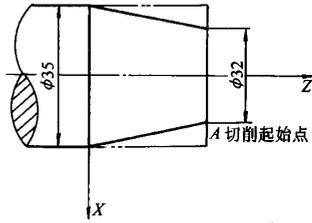


图 1-60 直线切削

2)多次走刀循环切削圆柱面指令 G70 G70 指令是指定刀具循环加工圆柱面的指令,用于大切削量的圆柱面加工。

指令格式：

G70Z—R—L—F—

G70W—R—L—F—

Z:刀具移动到终点的绝对坐标值(在 Z 方向的绝对坐标值)。

W:刀具终点到起点的相对坐标值(在 Z 方向的相对坐标值)。

R:X 向总进给量,R 为直径值,外柱面 R 为负值、内孔面 R 为正值。

L:循环加工次数(走刀次数)。

F:切削速度。

(4)多次走刀循环切削端面指令 G74 G74 指令是指定刀具循环加工端面的指令加工。

指令格式：

G74X—R—L—F—

G74U—R—L—F—

X:刀具移动到终点的绝对坐标值(在 X 方向的绝对坐标值)。

U:刀具终点到起点的相对坐标值(在 X 方向的相对坐标值)。

R:Z 向总进给量,为负值。

L:循环加工次数(走刀次数)。

F:切削速度。

(5)多次走刀循环切削圆锥面指令 G71 G71 指令是指定刀具循环加工圆锥面的指令。

指令格式：

G71X—Z—R—I—F—

G71U—W—R—L—F—

X、Z:刀具移动到终点的绝对坐标值。

U、W:刀具终点到起点的相对坐标值。

R :X 向总进给量 外锥面加工 R 为负值 ,R 以直径方式编程。

L :循环加工次数(走刀次数)。

F :切削速度。

(6)球面切削指令 G02/G03 ,G72/G73

1)一次走刀球面切削指令 G02/G03 G02/G03 是指定刀具顺时针方向和逆时针方向圆弧插补的指令 ,用于切削球面。

① 使用半径值 R 编程

顺时针方向圆弧插补指令格式 :

G02X—Z—R—F

G02U—W—R—F

逆时针方向圆弧插补指令格式 :

G03X—Z—R—F

G03U—W—R—F

X、Z :刀具移动到终点的绝对坐标值。

U、W :刀具终点到起点的相对坐标值。

R :圆弧半径值。

F :切削速度。

圆弧插补方向确定方法见图 1-61。

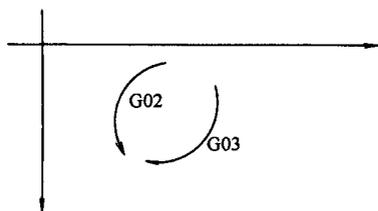


图 1-61 圆弧方向

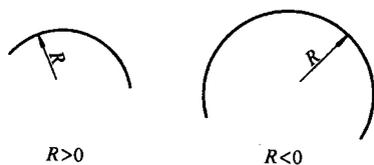


图 1-62 圆弧角度

这里圆弧半径值 R 有正负之分 ,当圆弧所对的圆心角小于  $180^\circ$  时 R 为正值 ,圆心角大于是  $180^\circ$  时 R 为负值(见图 1-62)。

举例说明 :切削速度取为  $120\text{mm}/\text{min}$ (见图 1-63)。

指令程序为 :

G02U4W—14R50 F120.0

②使用 I、K 值编程

顺时针方向圆弧插补编程格式 :

G02X(U)—Z(W)—I—K—F—

逆时针方向插补编程格式 :

G03X(U)—Z(W)—I—K—F—

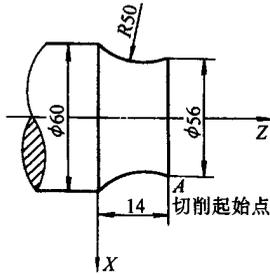


图 1-63 圆弧切削

X、Z : 刀具终点在工件坐标系的绝对坐标值。

U、W : 刀具终点到起点的相对坐标值。

I、K : 刀具起点相对加工圆弧圆心的相对坐标值。

F : 切削速度。

2) 多次走刀循环切削球面指令 G72/G73 G72/G73 指令是指定刀具循环加工球面的指令。

顺时针/逆时针方向圆弧插补指令格式 :

G72/G73 X—Z—R—Q—L—F—

G72/G73 U—W—R—Q—L—F—

X、Z : 刀具终点在工件坐标系的绝对值。

U、W : 刀具终点到起点的相对坐标值。

R : 圆弧半径值。

Q : X 方向总进给量 , Q 为负值。

L : 循环加工次数(走刀次数)。

F : 切削速度。

(7) 螺纹切削指令 G32/G33、G76/G77

1) 一次走刀螺纹切削指令 G32/G33 G32/G33 指令是刀具进行螺纹加工的指令。使用 G32/G33 指令可加工直螺纹、锥度螺纹、端面螺纹。

指令格式 :

公制螺纹加工 :

G32 X(U)—Z(W)—D—I—H—F—

英制螺纹加工 :

G33 X(U)—Z(W)—D—I—H—F—

X、Z : 螺纹终点在工件坐标系中绝对坐标值。

U、W : 螺纹终点相对加工起点的相对坐标值。

D : 螺纹头数 , 省略时系统自动设置为 1。

I : 退刀量 , 1 ~ 99mm。

H 退刀方式 ,外螺纹 :H30 表示螺纹带退刀槽。

H35 表示螺纹不带退刀槽。

内螺纹 :H40 表示螺纹带退刀槽。

H45 表示螺纹不带退刀槽。

F 螺距 ,英制螺纹加工范围是 2 ~ 99 牙/in ,公制螺纹加工范围是 0.01 ~ 24.0 mm。

螺纹切削时 ,应注意 :速度倍率开关控制无效 ,这时应选定在 100% 档 ;主轴正转。

举例说明 :设引入距离为 3mm ,超越距离为 1mm ,螺距是 1mm ,螺纹加工带退刀槽 (见图 1-64)。

指令程序为 :

G32 W28 H30 F1

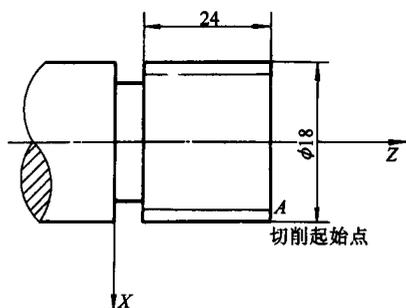


图 1-64 螺纹切削

2) 多次走刀循环切削螺纹指令 G76/G77 G76/G77 指令是指定刀具循环加工螺纹的指令 ,用于大切削量的螺纹加工。使用 G76/G77 指令可加工直螺纹、锥度螺纹、端面螺纹。

公制螺纹循环加工指令格式 :

G76 X(U) — Z(W) — L — R — D — I — H — F —

英制螺纹循环加工指令格式 :

G77 X(U) — Z(W) — L — R — D — I — H — F —

X、Z :刀具终点在工件坐标系中绝对坐标值。

U、W :刀具终点相对加工起点的相对坐标值。

L :循环加工次数。

R :循环加工总进给量。

D 螺纹头数 ,省略时系统默认为 1。

I 退刀量 ,1 ~ 99mm(不写为 1mm)。

H 退刀方式 ,同 G32/G33 指令中定义。

F 螺距 ,同 G32/G33 指令中定义。

(8) 暂停指令 G04

指令格式 :

G04 H—

H 指定暂停时间,范围为 0.01~9999.99s

例如 :G04H12.5 表示暂停 12.5s

(9)返回参考点指令 G27 在这里总回零不是返回坐标原点( $X=0, Z=0$ ),而是返回本次加工程序的加工起始点,即 G50 指令所设定的刀具起点在工件坐标系中的绝对坐标值处。

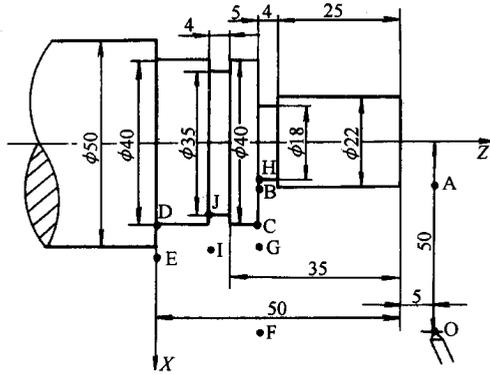


图 1-65 综合零件

指令格式：

G27H—

H:刀具沿坐标轴返回程序加工起点的方式

总回零方式有：

G27 H00 表示刀具先沿 X 轴后 Z 轴总回零(建议采用此项比较安全)。

G27 H01 表示刀具先沿 Z 轴后 X 轴总回零。

(10)主轴转速功能(S 功能)。

指令格式 S—

S 后直接跟(0~99)的数字。

(11)辅助功能(M 功能)

指令格式 :M—

M 后直接跟(0~99)的数字。

(12)T 功能：

指令格式 :T

刀补号(0—8)一位数字。

刀具号(0~8)一位数字。

## 二、编程举例(见图 1-65)

刀具 1 # 刀为 90°外圆刀。

2 # 刀为切断刀 ;刀宽 4mm。

刀具起始点在距工件轴心线 50mm、距离 5φ22mm 外圆端面 5mm 处编写程序。

N0G50X100Z55	设定坐标系
N1M3S1 *	主轴正转 ,转速为低速档
N2M94 *	设定刀具位置补偿有效
N3T11 *	调用 1 # 刀
N4GOX22 *	快速进给 0→A
N5G1Z20F120.0 *	切削 A→B
N6G1X40F300.0 *	退刀 B→C
N7G1ZOF120.0 *	切削 C→D
N8G1X52F300.0 *	退刀 D→E
N9G27H00 *	返回加工起点
N10T22 *	调换 2 #
N11G0Z20 *	快速进给 0→F
N12G0X42 *	快速进给 F→G
N13G01X18F80.0 *	切槽 G→H
N14G01X42 *	快速进给 H + G
N15G0Z11 *	快速进给 G→I
N16G1X35F80.0 *	切槽 I→J
N17G27 *	返回加工起点
N18M95 *	设定刀具位置补偿无效
N19M06 *	主轴停止
N20M30 *	程序结束

## 第二章 数控铣床的操作

### 第一节 KND200—M 系统

KND200—M 系统是一个典型的国产系统 ,它的优点主要有以下几点 :

- 1)操作简单 ,功能齐全 (包含无级变速功能) ,全部采用中文菜单。
- 2)系统的自我保护性好 ,有超行程开关对工作台的限制。

3)可以实现电脑和本系统的自动连接 ,程序可以自动传输 ,不用人工输入 ,效率高 ,准确性高。

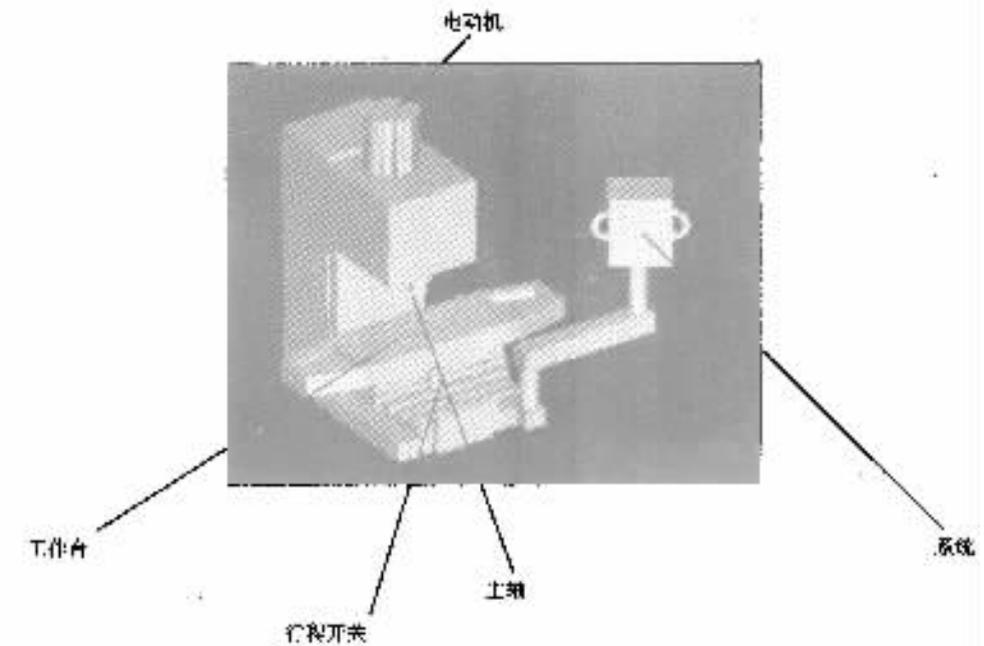


图 2 - 1 KND200 - M 数控铣床的结构

#### 一、KND200 - M 数控铣床的结构(见图 2 - 1)

各部分功能如下 :

电动机 :是给主轴提供动力。

工作台 :用于放置加工零件。

行程开关 :限制工作台的最大行程。

主轴 :旋转并且进行切削。

系统 :控制机床的各种动作。

## 二、KND 数控铣床的加工范围

铣削 ;钻孔 ;扩孔 ;镗孔 ;铰孔 ;及螺纹加工。

## 三、数控机床的坐标系和运动方向的确定。

数控机床坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系(见图 2-2),规定空间直角坐标系 X、Y、Z 三者的关系,其方向由右手定则判定(拇指是 X 的正方向,食指是 Y 的正方向,中指是 Z 的正方向)。规定传送切削动力的主轴作为 Z 轴坐标轴,使工件和刀具的之间距离增大的方向是 Z 坐标轴的正方向,刀具靠近工件的方向是 Z 坐标的负方向。

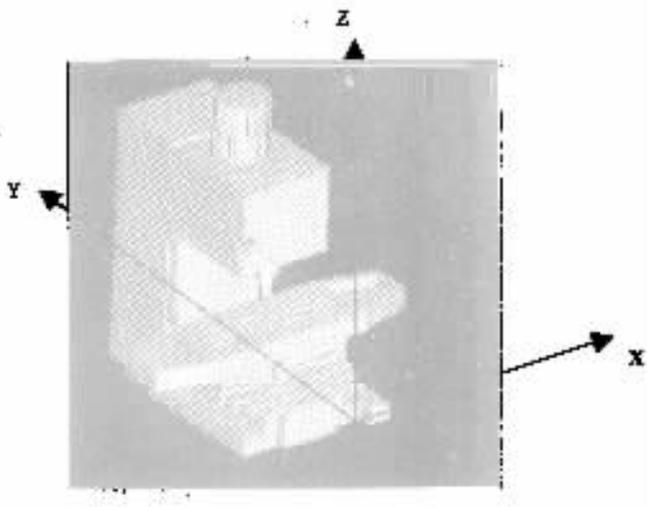


图 2-2 数控机床坐标系

X 坐标轴一般是水平线,与工件装夹面平行,且垂直 Z 坐标轴。面对刀具主轴看立柱,+X 方向指向右向。

Y 坐标轴的方向可以根据 Z 和 X 方向由右手定则判别:

判断 X、Y、Z 的方向应该注意的问题:不要看工作台的运动,只要看刀具的运动,刀具向右运动,则是向 +X 方向运动,刀具向左运动,则是向 -X 方向运动;刀具向前运动(靠近操作者的方向)则是向 -Y 方向运动;刀具向后运动(远离操作者的方向)则是向 +Y

方向运动 ;刀具向上运动 ,则是向 + Z 方向运动 ;刀具向下运动 ,则是向 - Z 方向运动。

## 四、数控铣床控制面板的操作

### (一) 准备功能和辅助功能

#### 1. G 代码(见表 2-1)

表 2-1 G 代码

G 代码	组别	功 能	G 代码	组别	功 能	
G00	01	直线插补(切削进给)	G73	00	宏程序命令	
G01 *		圆弧插补 CW(顺时针)	G74	09	钻深孔循环	
G02		圆弧插补 CCW(逆时针)	G76		左旋攻螺纹循环	
G03		暂停,准停	G80 *		精镗循环	
G04	00	偏移值设定	G81		09	固定循环注销
G10		XY 平面选择	G82	钻孔循环(点转循环)		
G14 *	02	ZX 平面选择	G83	09	钻孔循环(镗阶梯孔)	
G18		YZ 平面选择	G84		深孔钻循环	
G19		英制数据输入	G85		右旋攻螺纹循环	
G20	06	公制数据输入	G86	09	镗孔循环	
G21	00	返回参考点检查	G87		钻孔循环	
G27	00	返回参考点	G88		反镗孔循环	
G28		从参考点返回	G89		镗孔循环	
G29	00	拐角偏移圆弧擦补	G90 *		镗孔循环	
G39		刀具半径补偿注销	G91		00	绝对值编程
G40 *	07	刀具半径左补偿	G92		03	增量值编程
G41		刀具半径右补偿	G98		00	坐标系设定
G42	08		G99		10	在固定循环中返回初始平面
G43		刀具长度补偿(正方向)				返回到 R 点(在固定循环中)
G44		刀具长度补偿(负方向)				
G49 *		刀具长度补偿注销				

注 1. 带有 \* 记号的 G 代码,当电源接通时,系统处于这个 G 代码的状态。G20、G21 为电源前的状态;G00、G01 可以用参数设定来选择。

2. 00 组的 G 代码是非模态(即一次性代码)。

3. 如果使用了 G 代码一览表中未列出的,则出现报警(NO.010)或指令了不具有的选择功能的 G 代码,也报警。

4. 在同一个程序中可以指令几个不同组的 G 代码,如果在同一个程序段中指令了两个以上的同组 G 代码时,后一个 G 代码有效(为了安全尽可能避免此情况)。

5. 在固定循环中,如果指令了 01 组的 G 代码,固定循环则自动被取消,变成 G80 状态。但是 01 组的 G 代码不受固定循环的 G 代码影响。

6. G 代码分别用各组号表示。

G 代码又称准备功能,它是数控系统中已经设定好的功能,其范围由 G00 ~ G99,不同的 G 代码代表不同的意义与不同的动作方式。

准备功能可分为两大类:

非模态 G 码(One Shot G Code)此类 G 码仅在指令所在的程序段内有效,对其他程序段则不构成影响,如 G04、G28、G92 等等。

模态 G 码(Model G Code)此类 G 码经设定后,一直有效,直到被另一个 G 码取代之为止。

例 :G00            Z20.0 ;  
X50.0            Y50.0 ;                    ( G00 此程序段有效 )  
G01            Z—10.0 F300.0 ; ( G01 替代了 G00 )

2. M 代码(见表 2-2)

M 代码又称辅助功能,控制一些单纯的开/关(ON/OFF)动作,这些动作皆归类于辅助功能。

在同一程序段中若有两个 M 功能出现时,虽其动作不相冲突,但以排列在最后的 M 功能有效,如 S600M03M08,此时切削液开但主轴不转(为了安全尽可能避免同时有两个 M 代码的情况)。M 码的范围由 M00 ~ M99,不同的 M 码代表不同的动作。

## (二) 数控铣床控制器面板操作说明

### 1. KND200 - M 铣床控制器功能树状图(见图 2-3)

表 2-2 M 代码

M 代码	功 能	M 代码	功 能
M00	程式暂停	M08	冷却液开启
M01	选择程式暂停	M09	冷却液关闭
M02	程式终止	M30	程式结束,回复到起始点
M03	主轴启动(顺时针)	M98	呼叫子程式
M04	主轴启动(逆时针)	M99	返回主程式
M05	主轴停		

### 2. 屏幕部分(见图 2-4)

本画面说明:

- 1 区 显示坐标。
- 2 区 手动输入程序功能键。
- 3 区 系统开关及手轮。
- 4 区 调节进给速率。
- 5 区 速度倍率开关及几个方式的转换。

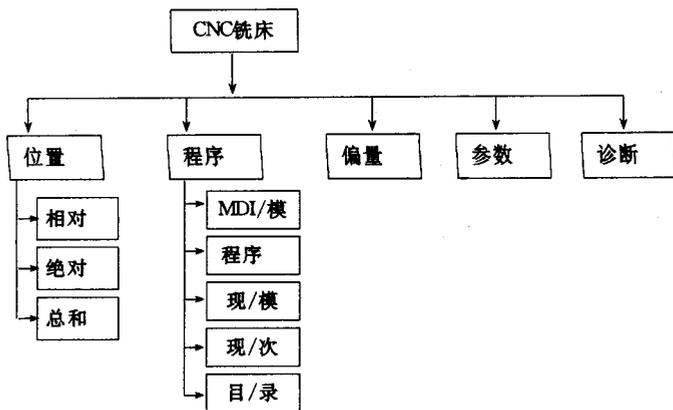


图 2-3 功能树

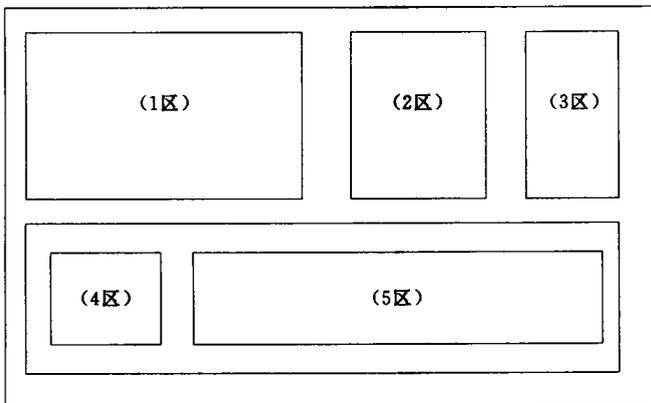


图 2-4 系统功能图

(1)主功能画面 图 2-5 为 KND200 - M 铣床控制器的主功能画面(即 1 区)。KND200 - M 铣床控制器之操作,是利用屏幕下方之 F1 ~ F5 功能键来操作,操作者仅需按下操作键盘上 F1 ~ F5 之功能键,即可进入对应的子功能。

图 2-5 画面说明：

- X： X 轴坐标值。
- Y： Y 轴坐标值。
- Z： Z 轴坐标值。
- 编程速率： 在程序里设置的速率。
- 实际速率： 刀具实际运行的速率。
- 进给倍率： 刀具的切削速度的倍率。
- 快速倍率： 刀具快速运动的倍率。
- G 功能码： 刀具加工过程中正在运行的 G 代码。
- 加工件数： 相同程序加工的总数。

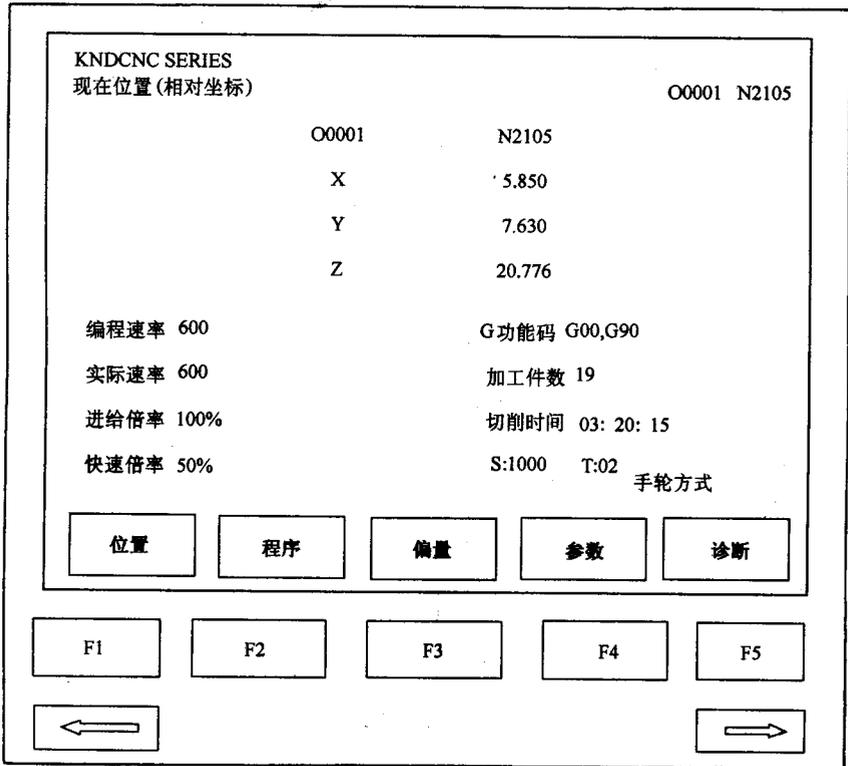


图 2-5 主功能画面

- S: 主轴的转速。  
 T: 目前正在运行的刀具。  
 切削时间: 零件加工的总的时间。  
 左箭头: 向左翻页。  
 右箭头: 向右翻页。  
 位置: F1。  
 程序: F2。  
 偏量: F3。  
 参数: F4。  
 诊断: F5。

(2) 区功能说明(见图 2-6)

图 2-6 画面说明:

- O: 程序名开头。  
 N: 程序段序号。  
 G: G 代码。

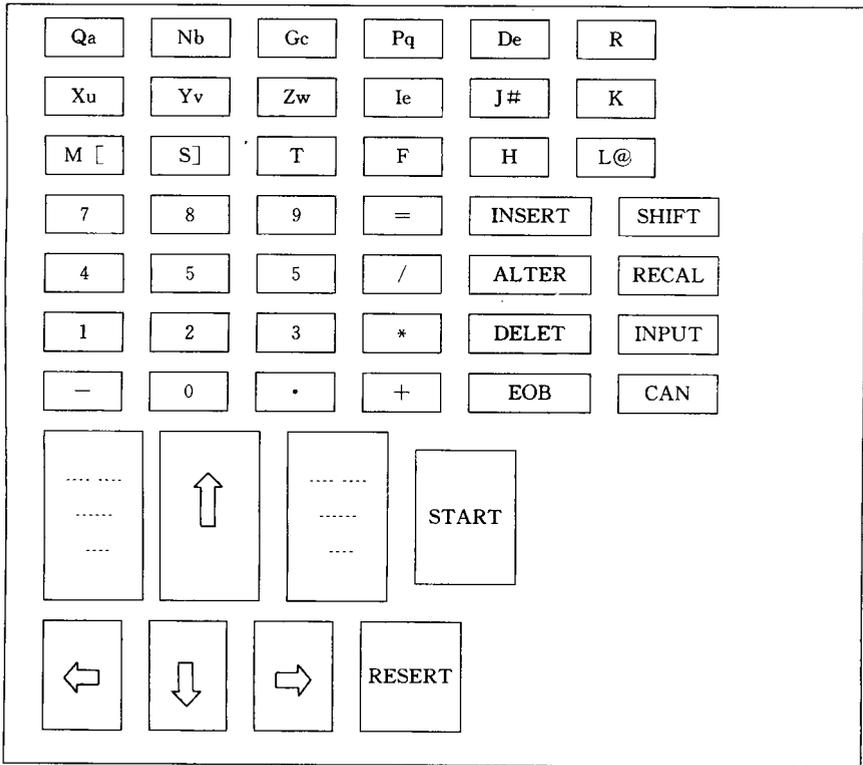


图 2-6 手动编程区

- D : 刀具半径补偿号。
- R : 刀具所走圆弧的半径。
- I : 刀具起始点相对于圆弧圆心的 X 增量值。
- J : 刀具起始点相对于圆弧圆心的 Y 增量值。
- M : M 代码。
- S : 主轴的转速。
- T : 换刀指令。
- F : 进给率。
- INSERT : 插入字母。
- SHIFT : 字母换档键。
- DELET : 删除键。
- INPUT : 输入键。
- EOB : 一行指令结束。
- CAN : 清零或取消。
- START : 程序开始。
- RESERT : 程序中断或复位。

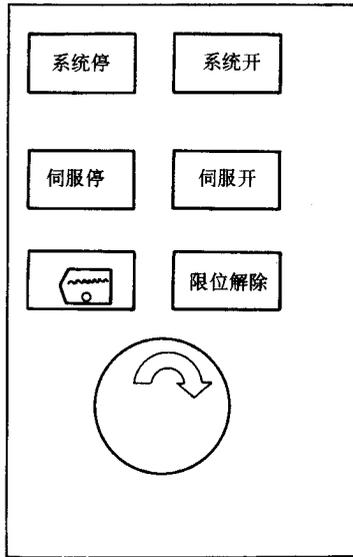


图 2-7 辅助功能



向前翻页和向后翻页。



向上运动光标。



向下运动光标。



向左运动光标。



向右运动光标。

(3) B 区功能说明(见图 2-7)

系统开 : 开启系统电源。

系统关 : 关闭系统电源。

伺服开 : 开启伺服系统。

伺服停 : 关闭伺服系统。

限位解除 : 取消行程开关的限制。

备注 : 限位解除下面带有红色箭头的键是紧急停 , 如果遇到撞刀或其他意外情况应马上按下此键。

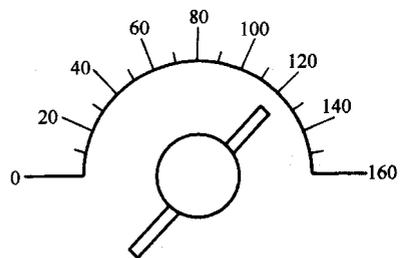


图 2-8 进给数率

图 2-7 最下面的键是手轮。以上未说明的键是本系统还未开发的功能。

#### (4) 4 区功能说明(见图 2-8)

说明:此功能是在采用 G01 加工时,调节进给速率,此功能不能用来调节 G00 的速度。

#### (5) 5 区功能说明(见图 2-9)

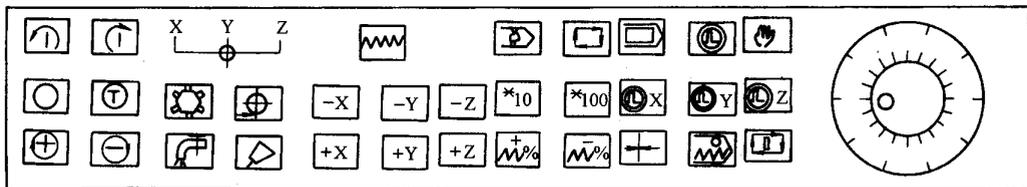
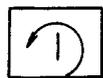
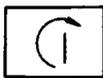


图 2-9 手动功能区

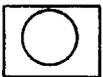
图 2-9 画面说明:



: 主轴反转,手动/手轮/单步方式下,按下此键,主轴反向转动开启。键指示灯:无论是何种方式下,只要主轴反转,此键指示灯则亮,否则指示灯灭。



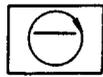
: 主轴正转,手动/手轮/单步方式下,按下此键,主轴正向转动开启。键指示灯:无论是何种方式下,只要主轴正转,此键指示灯则亮,否则指示灯灭。



: 主轴停(此键是红色),手动/手轮/单步方式下,按下此键,主轴停止转动。键指示灯:无论是何种方式下,只要主轴停止,此键指示灯则亮,否则指示灯灭。



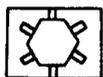
: 主轴加速,每按一次此键,主轴倍率以下面的顺序增加一档。  
50% → 60% → 70% → 80% → 90% → 100% → 110% → 120% → 130%。



: 主轴减速,每按一次此键,主轴倍率从当前倍率以下面的顺序减小一档。  
130% → 120% → 110% → 100% → 90% → 80% → 70% → 60% → 50%。



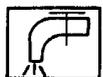
: 主轴加速停止。



: 换刀,手动/手轮/单步方式下,按下此键,刀架旋转换以下刀,换刀过程中,该键指示灯亮,换刀完毕指示灯灭(但是此功能对本机床无用)。



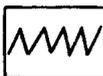
: 机床回零。  
使机床回到机械零点。



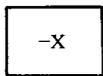
: 切削液关,手动/手轮/单步方式下,按下此键,无论是在何种方式下,只要削液开,键指示灯则亮,否则指示灯灭。



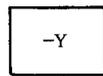
: 润滑开关,手动/手轮/单步方式下,按下此键,无论是在何种方式下,只要切削液开,键指示灯则亮,否则指示灯灭。



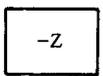
: 手动控制机床的运动。  
只有按下此键,此键下面的六个键才有效。



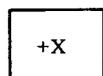
: 主轴向 X 轴的负方向运动。  
只有按下此键不放开,主轴才向 X 轴的负方向运动,否则此键无效。



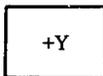
: 主轴向 Y 轴的负方向运动。  
只有按下此键不放开,主轴才向 Y 轴的负方向运动,否则此键无效。



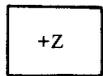
: 主轴向 Z 轴的负方向运动。  
只有按下此键不放开,主轴才向 Z 轴的负方向运动,否则此键无效。



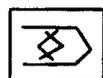
: 主轴向 X 轴的正方向运动。只有按下此键不放开,主轴才向 X 轴的正方向运动,否则此键无效。



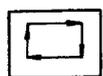
: 主轴向 Y 轴的正方向运动。  
只有按下此键不放开,主轴才向 Y 轴的正方向运动,否则此键无效。



: 主轴向 Z 轴的正方向运动。  
只有按下此键不放开,主轴才向 Z 轴的正方向运动,否则此键无效。



: 编辑方式。  
只有在此方式下才可以输入程序。



: 自动加工方式。  
在此方式下可以自动输入程序并且进行加工。



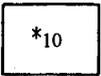
: 录入方式。  
在此方式下可以实现 MDI 输入。



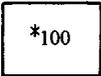
: 手动方式。  
先按下此键,  键及其下的六个键才可以生效。



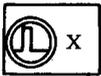
: 手轮方式。  
先按下此键, 其下的五个键才可以生效。



: 脉冲手轮运动速度为  $10\mu\text{m}/\text{格}$ 。  
先按下手轮方式键, 此键才可以生效。



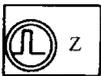
: 脉冲手轮运动速度为  $100\mu\text{m}/\text{格}$ 。  
先按下手轮方式键, 此键才可以生效。



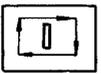
: 按下此键, 机床只沿 X 方向运动。  
先按下手轮方式键, 此键才可以生效。



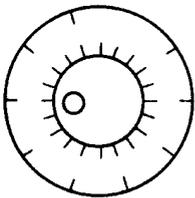
: 按下此键, 机床只沿 Y 方向运动。  
先按下手轮方式键, 此键才可以生效。



: 按下此键, 机床只沿 Z 方向运动。  
先按下手轮方式键, 此键才可以生效。



: 循环启动键。  
按下自动方式键, 再按下此键就可以进行自动加工。



: 手轮转动时, 动作要轻、均匀, 不要用力过猛、过快, 以免出现报警。先按下手轮方式键, 此键才可以生效。

### 3. 相关功能介绍

(1) 坐标切换 按主功能画面(见图 2-5)F1 键(位置), 出现如图 2-10 画面, 按 F1

出现相对坐标(见图 2-10)对刀时只能在相对坐标下才可以清零;按 F2 出现绝对坐标(见图 2-10)只是画面上现在位置的相对坐标变成了绝对坐标;按 F3 出现相对、绝对坐标和机床坐标(见图 2-11)。

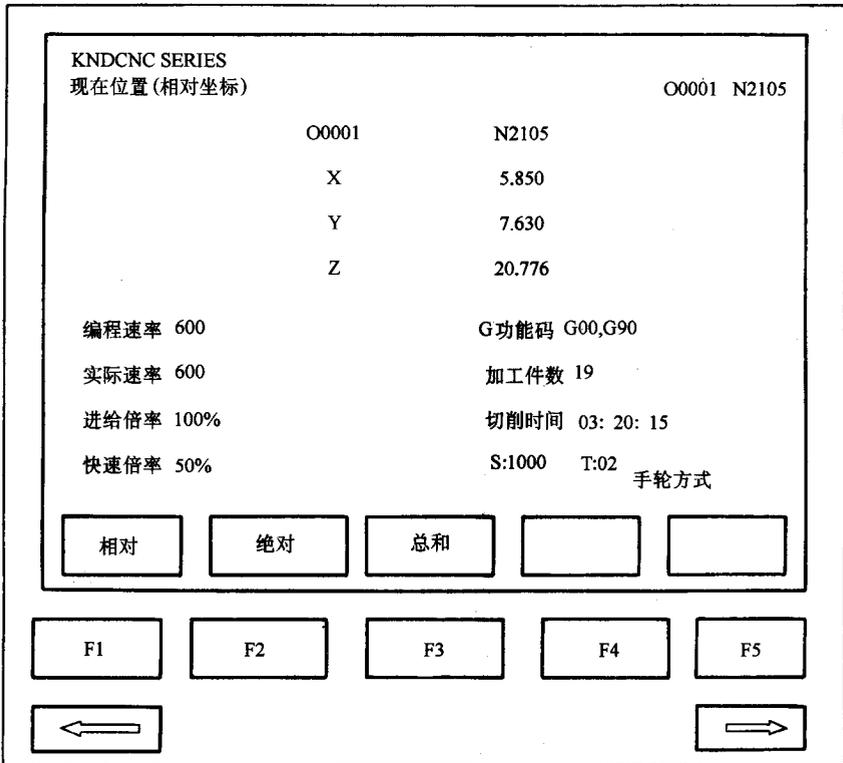


图 2-10 位置功能

(2)程序输入 按主功能有画面(见图 1-5)F2 键(程序)见图 2-12),在这些即可利用(2)区的功能键乾地输入程序。

输入程序的方法如下:

1)先输入程序名(必须在编辑的方式下才可以输入程序)。按 O0001 按 INSERT 键再按 EOB 键则出现图 2-13 画面。

2)依次再输入其余程序段。

(3)设置刀具半径和长度补偿 按主功能画面(见图 2-5)F3 键(偏置),出现图 2-14 画面。必须在编辑的方式下才可以设置刀具半径和长度补偿值。

(4)设置刀具半径和长度补偿值的方法 通过四个箭头将光标运动至 001 号,输入 20.0 按 INPUT 键即可(见图 2-15)。再利用箭头将光标移至下一个序号,可以设置其余的数值。

(5)查看报警信息 按主功能画面(见图 2-5)右箭头键,出现图 2-16 所示报警画面。按 F1(报警)即可看到报警信息(见图 2-17)。

KNDCNC SERIES

现在位置 (相对坐标)		(绝对坐标)	
X	5.850	X	5.850
Y	7.630	Y	7.630
Z	20.776	Z	20.776

(机床坐标)

X	-371.993		
Y	-263.610		
Z	-211.822		

手轮方式

相对

绝对

总和

图 2-11 全部坐标

程序

编辑方式

位置

程序

位置

参数

诊断

F1

F2

F3

F4

F5

图 2-12 输入程序一

程序

O0001;

位置

程序

位置

参数

诊断

F1

F2

F3

F4

F5

图 2-13 输入程序二

如果在加工中想观察正在加工的形状则按图 2-17 的 F2(图形)三次看到加工模拟

便置			
序号	数据	序号	数据
001	0.000	009	0.00
002	0.000	010	0.000
003	0.000	011	0.000
004	0.000	012	0.000
005	0.000	013	0.000
006	0.000	014	0.000

位置	程序	便置	参数	诊断
F1	F2	F3	F4	F5

图 2-14 刀具补偿一

便置			
序号	数据	序号	数据
001	020.0	009	0.00
002	0.000	010	0.000
003	0.000	011	0.000
004	0.000	012	0.000
005	0.000	013	0.000
006	0.000	014	0.000

位置	程序	便置	参数	诊断
F1	F2	F3	F4	F5

图 2-15 刀具补偿二

图(见图 2-18)。F3(启动)是开始作图,这时可以在荧幕上看到刀具的路线;F4(停止)则停止作图,但是不影响机床的正常加工;选择 F5(清除),清除已加工过的路线。

(6)机床内部的设置 按 F3(设置)键(见图 2-17)设置画面(见图 2-19)。通过光标来选择上下的参数,必须在录入方式才可以修改各值。按设置 3(F3)可改变坐标系如(见图 2-20)。用翻页键可以看下一页(见图 2-21)。

(7)机床面板的控制 按图 1-17 的 F4(机床)键,出现机床面板画面(见图 2-22)。通过光标来选择上下的参数,必须在录入方式才可以修改各值(一般情况下不要改变此参

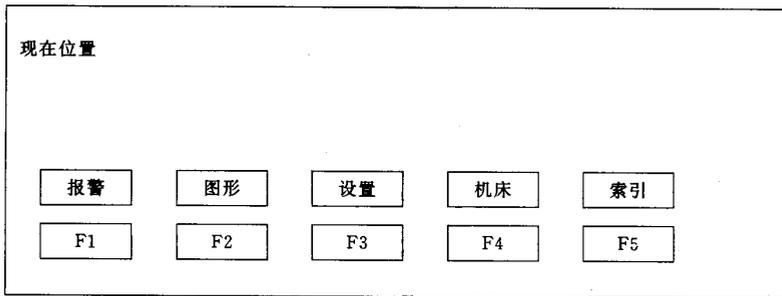


图 2-16 报警信息一

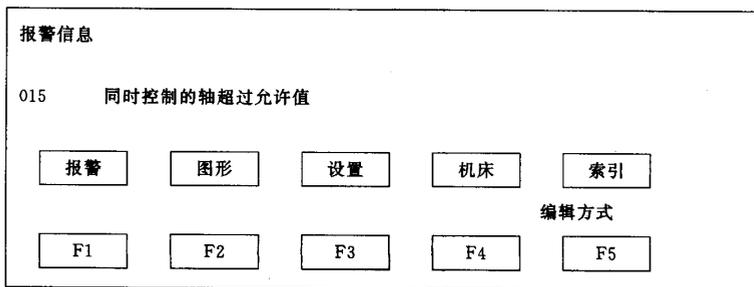


图 2-17 报警信息二

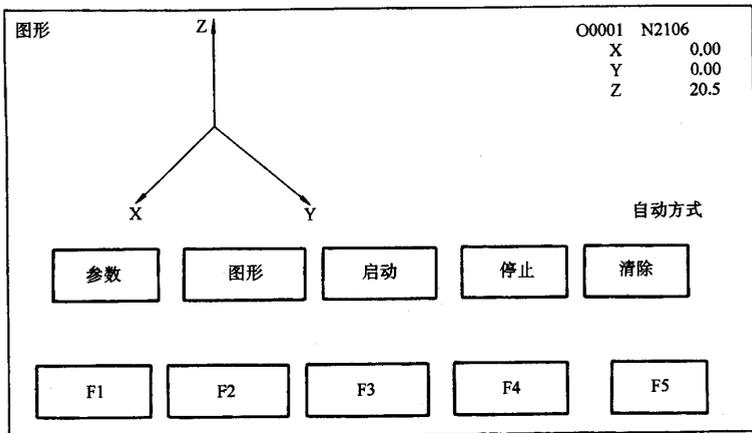


图 2-18 加工模拟图

数, 否则机床可能运行不正常)。

(8) 机床索引 利用此功能可以查阅用户不熟悉的功能 按图 2—17 的 F5 (索引) 得到图 2—23 所示画面, 用翻页键可以查阅更多的信息。

设置

X 轴镜向=0  
 Y 轴镜向=0  
 奇偶校验=0  
 ISO 代码=1 (0: EIA            1: ISO)  
 英制编程=0 (0 公制        1: 英制)  
 DNC=1  
 绝对编程=1 (0 增量        1: 绝对)  
 自动序号  
 REVX (第 1 项) =

设置 1	设置 2	设置 3		录入方式
F1	F2	F3	F4	F5

图 2-19 机床内部的设置

设置

G54 X0.000	G55 X0.000
Y0.000	Y0.000
Z0.000	Z0.000
G56 X0.000	G57 X0.000
Y0.000	Y0.000
Z0.000	Z0.000

设置 1	设置 2	设置 3		录入方式
F1	F2	F3	F4	F5

图 2-20 设置坐标系一

## 五、数控铣床加工实例

步骤：

### 1. 装零件

将零件装在虎钳的中间(放在中间,不要放在一边,以防夹持不稳或损坏虎钳),零件被加工的部分应高出虎钳的上平面,以防损坏虎钳,零件要装平,必要时用铜锤轻敲或用百分表找正一个侧面或上平面。

### 2. 装刀

要擦干净各工具,防止刀具发生偏斜。装刀时,可正装刀或反装刀(刀杆向下),反装

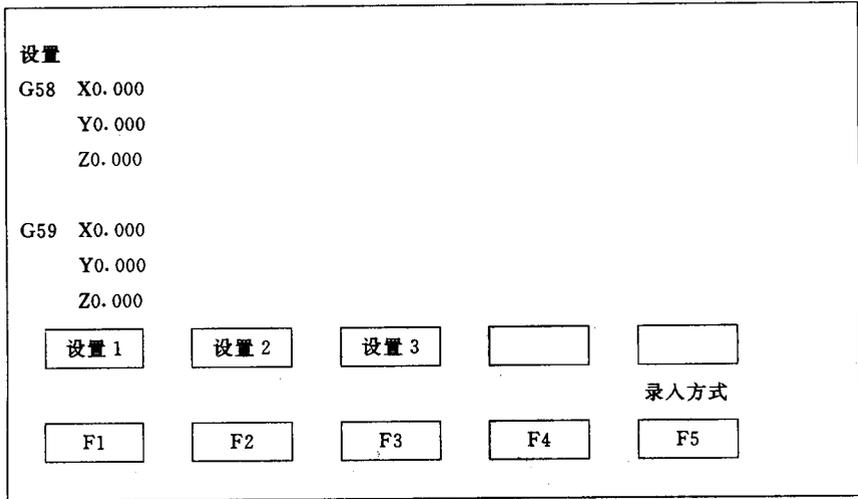


图 2-21 设置坐标系二

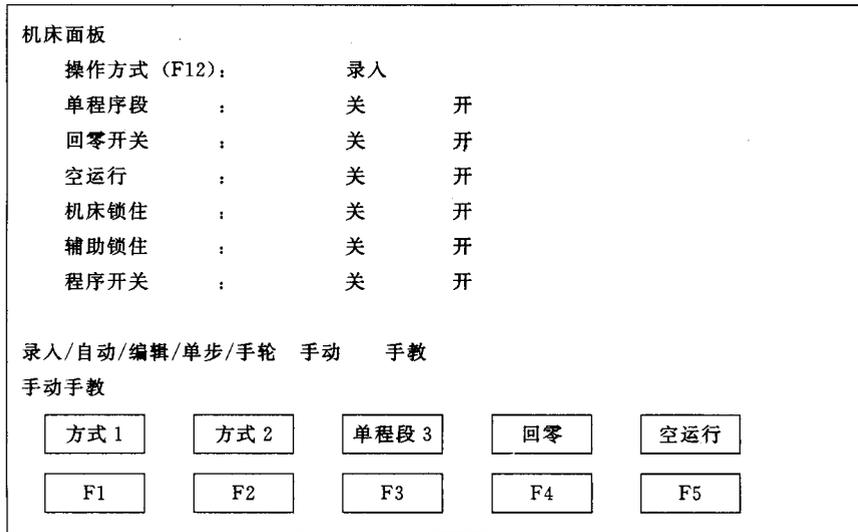


图 2-22 机床面板控制画面

时刀杆上应涂上颜色(用色笔),下一步分中时,以零件上被挨上颜色为准。要求更高时,不用刀,用专用的分中棒来分中。

3. 开机,主轴正转。

4. 运动主轴

可以看到,假设以 X、Y 为参照物,来看 Z 轴的运动,那么 Z 轴向右运动也就是 X 轴向正方向运动,Z 轴向后运动也就是 Y 轴向正方向运动,Z 轴向上运动也就是 Z 轴向正方向运动。这符合“右手定则”和数学中一般坐标系的习惯。因此实际加工中,通常都只看

索引信息 (操作一览表)			
存储器全清:	参数开关	ON	按 PST+DEL+STR
参数值初值:	参数开关	ON	按 PST 开机
程序清除:	参数开关	ON	按 DEL+STR 开机
程序全输出:	编辑方式	0~99	START
程序输出:	编辑方式	0~程序号	START
程序全删除:	编辑方式	0~-9999	DELET

录入方式				
报警	图形	设置	机床	索引
F1	F2	F3	F4	F5

图 2-23 索引信息

“刀具(或 Z 轴)的运动”。(只认为刀具或 Z 轴在运动)

### 5. 分中

(1) X 轴分中 将主轴(Z 轴)运动到零件的右侧并相隔一定距离,刀具高度保持在零件表面以下 5~10mm,运动 X 轴慢慢让刀具靠近零件,快要碰到时更要将运动速度调为慢速,当刀具刚刚碰到零件时,在面板上将 X 轴的值清零,方法是:按一下“Xu”键(面板上 X 跳动)→按一下“CAN”(CANCEL 的缩写)→X 不跳动并且该值变为零。再将刀具移到零件左侧,在同样的高度位置碰零件,刚刚碰到时记下这时 X 轴的值,将该值除以 2 得到一值,并将 X 轴移到该值,再清零,X 轴分中完成。

(2) Y 轴分中 将刀具移到零件后面,慢慢碰零件,刚刚碰到时清零(Yv→CAN),又将刀具移到零件前方,碰零件,刚刚碰到时记下 Y 轴的值,将 Y 轴移到该值的一半值处再清零,Y 轴分中完成。

### 6. Z 轴定 0

慢慢将刀具碰零件的表面,快要到时调慢速,刚刚碰到时将 Z 轴清零,方法是:Zw→CAN。然后,将 Z 轴移到安全高度位置(比如 Z=30)。

### 7. 锁住机床

按“程序”三次→自动加工按“□”(符号)一次一循环启动一次,这时,再按面板上的任何键,发现不起作用,因为机床已由旁边的电脑控制。

### 8. 自动传输

1)在和机床连接的电脑上,将所编的程序拷贝到 KND 子目录下

C:\ > CD KND ✓

C:\ KNC > COPY A:\ W.NC ✓

2)自动传输

C:\KND>KND↙

进入传输画面→按 F4 系统提示输入文件名—输入 W.NC/这时机床就开始加工了  
(注意 加工过程中,有异常情况时,立即按面板上的急停键)。

## 第二节 FANUC 系统

FANUC 系统是一个非常典型的进口系统,它产于日本。现占全世界数控系统的 80%。1956 年,日本第一部 NC 开发成功,直到现在的 FANUC15 系列,其性能一直在不断的改进。FANUC15 系统其主要特点:功能齐全,易操作,加工范围大,系统的稳定性好。

### 一、代码功能说明

(1)G 功能(见表 2-3)

例 G90G00G01X100.0F300.0;—仅 G01 有效 G00 自动被取消。

(2)M 功能(见表 2-4) M 码的范围由 M00~M99,不同的 M 码代表不同的动作。表 2-4 列出了常用的 M 功能。

1)M00 程序停止 程序自动执行后,当执行到 M00 指令时,数值控制单元将停止一切的加工指令动作,再按启动钮后可继续执行下面的程序指令,M00 一般均单独成为一个程序段。

2)M01 程序选择性停止 此一指令的功能与 M00 相同,但其停止或不停止,与操作面板上的“OPTIONSTOP”按钮有关。当开关置于 ON 时,则 M01 有效,其功能等于 M00,若开关置于 OFF 时,则 M01 将不被执行,即程序不会停止。

3)M02 程序结束 M02 表示加工程序结束,此时执行“指标”(cursor)停留于此程序段上,欲使光标回到程序开头,必须先将模式钮(model 钮)置于“EDIT”上,再按“RESET”键使光标回复到程序的开始。

4)M03 主轴正转。

5)M04 主轴反转。

6)M05 主轴停止。

7)M06 刀具交换,将刀库中目前置于待换刀位置的刀具换至主轴位置。

8)M07 喷雾开启,有喷雾装置之机械,令其开启喷雾泵。

9)M08 削液开启,切削液泵开启,通常还有一机械式门阀可以手动调节切削液流量大小。

10)M09 喷雾及冷却液开关,喷雾及冷却液泵关。

表 2-3 G 功能一览表

G 指令	组群	机 能	G 指令	组群	机 能
G00	01	快速定位	G54	14	第一工作坐标系设定
G01		直线插补	G55		第二工作坐标系设定
G02		顺时针方向圆弧插补	G56		第三工作坐标系设定
G03		逆时针方向圆弧插补	G57		第四工作坐标系设定
G04	00	暂停指令	G58		第五工作坐标系设定
G10		设定程序偏移值	G59		第六工作坐标系设定
* G15	17	极坐标系统取消	G65	00	自设程序
G16		极坐标系统设定	G68	16	坐标系旋转
* G17	02	XY 平面设定	* G69		坐标系旋转取消
G18		XZ 平面设定	G73	09	深钻孔循环
G19	YZ 平面设定	G74	左螺纹攻牙循环		
G20	06	英制单位设定	G76		精钻孔循环
* G21		公制单位设定	* G80		固定循环取消
G22	04	软体极限设定	G81		钻孔循环
G23		软体极限设定取消	G82		盲孔钻孔循环
G27	00	机械原点回归检测	G83		钻孔循环
G28		自动经中间点回归机械原点	G84		右螺纹攻牙循环
G29		自动从机械原点经中间点至参考点	G85		铰孔循环
* G40		刀具半径补偿取消	G86	镗孔循环	
G41	07	刀具半径左补偿	G87	09	反镗孔循环
G42		刀具半径右补偿	G88		手动退刀盲孔镗孔循环
G43	08	刀具长度沿正向补偿	G89		盲孔铰孔循环
G44		刀具长度沿负向补偿	G90		03
* G49	刀具长度补偿取消	G91	增量值坐标系统		
G45	00	刀具位置增加一倍补偿值	G92	00	工作坐标系设定
G46		刀具位置减少一倍补偿值	G98	10	返回固定循环起始点
G47		刀具位置增加两倍补偿值	G99		返回固定循环参考点(R 点)
G48		刀具位置增减少倍补偿值			

注 1.“ / ”为开机时系统的起始设定功能,如 G40、G49、G80 等。

2. 属于“ 00 组群 ”的 G 码为一次式 G 码。

3.“ 00 组群 ”以外的 G 码皆为模式 G 码。

4. 在同一程序段中,同一组群的 G 码,仅能设定一个。若重复设定,则以最后一个 G 码有效。

表 2-4 M 码一览表

M 指令	功 能	MMS	功 能
M00	程序停止	M07	喷雾开启
M01	选择性程序停止	M08	切削液开启
M02	程序结束	M09	喷雾关或切削液关

M 指令	功 能	MMS	功 能
M03	主轴正转	M19	主轴定位
M04	主轴反转	M30	程序结束
M05	主轴停止	M98	调用于程序
M06	刀具交换	M99	调用子程序结束,返回主程序

11) M19 :主轴定位 ,主轴旋转至一固定方向后停止旋转 ,用于装夹精镗孔刀及反镗孔刀使用 ,G76 或 G87 指令 ,必须先手动插入此一指令 ,以对正偏位方向。

12) M30 :程序结束 ,记忆回复 ,纸带回卷 ,此指令相似于 M02 功能 ,不同之处是执行到此指令时 ,如为记忆操作执行 ,光标会自动回复至程序开始位置 ,以便于同一程序继续执行。

13) M98 :调用子程序 ,当系统执行到此指令时 ,执行动作会跳至所指定的子程序 ,且连续执行指定的次数。子程序里亦可再呼叫指定的子程序。

14) M99 :子程序结束 ,返回主程序 ,当子程序执行完毕后 ,程序最后必须以此指令来表示子程序结束 ,使系统回到主程序中继续执行主程序后面的程序。

(3) S 功能 S 功能又称主轴转速功能 ,在 AC(无级变速)主轴电动机上 ,主轴转速可由 S 和后面的每分钟转速来控制 ,如其值大于或小于制造厂商所设定之最高或最低转速时 ,将以制造厂商所设定之最高或最低转速为实际转速。在操作中为了实际加工条件之需要 ,亦可由操作面板之“spindlespeedoverride”旋钮来调整主轴实际转速与程序 S 指令值之百分比。S 指令应当和 M03 或 M04 指令同时使用。

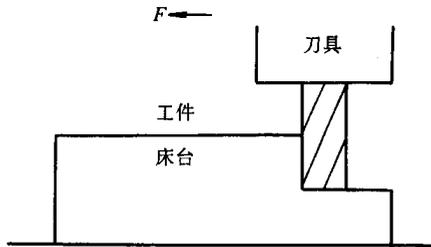


图 2-24 进给速率  $F_{mm/min}$

(4) F 功能 F 功能又称为进给率功能 ,用于控制刀具位移的速度(见图 2-24) ,其后所接数值代表每分钟刀具进给量 ,单位为  $mm/min$ 。F 功能指令值如超过制造商所设定之范围时 ,则以制造商所设定之最高或最低进给率为实际进给率。F 功能一经设定后如未被重新指定 ,则先前所设定之进给率一直有效。在操作中为了实际加工条件之需要 ,亦可由操作面板中之“进给倍率”旋钮来调整实际进给率与程序 F 指令值之百分比。主面板见图 2-25。

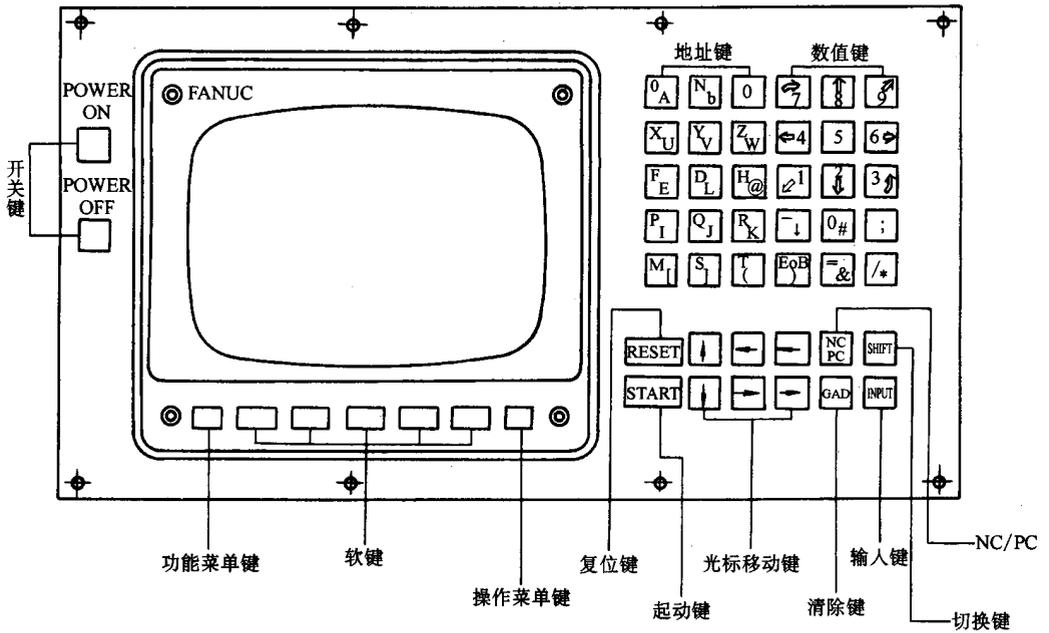


图 2-25 主面板

## 二、键盘的说明

- (1) 电源 (POWER) ON/OFF 为关闭 NC 电源 (见图 2-26)。
- (2) 复位 (RESET) 键 消除报警等, 要使 NC 复位时, 按动此键 (见图 2-27)。

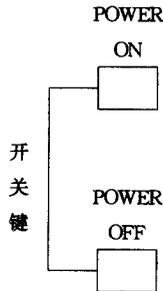


图 2-26 系统电源开关

- (3) 起动 (START) 键 消除报警等, 要进行 MDI 循环或自动加工循环起动时, 按此键。
- (4) 切换 (SHIFT) 键 有的一个键上刻有 2 个字母。先按下换档键再按地址键时, 则能输入右下角的字母。
- (5) 输入 (INPUT) 键 输入地址或数字时, 在 MDI 方式下, 先输入地址或数字后, 按此

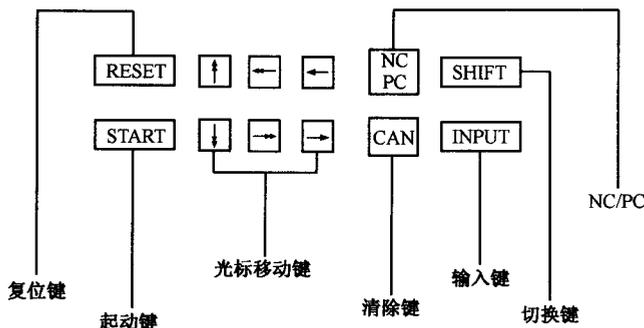


图 2-27 程序编辑键

键即可 INPUT(输入)键,此键与软键的等价,使用哪个键都可以。

(6)清除(CAN)键 想删除被输入的字母或地址时按此键。键入缓冲区里的内容被显示在 CRT 上,接着如果按地址或数字键则用—表示被插入的位置。若按 CAN(清除)键,则—前面的字母被清除。例如当键入缓冲的显示为:

> N001XI00Z—时

若按 CAN(清除)键,则 Z 被清除而留下

> N001XI00

(7)光标移动键有 4 种光标移动键。

→ :使光标以小单位向右移动。

← :使光标以小单位向左移动。

→→ :使 CRT 画面的光标以大单位顺向移动。

←← :使 CRT 画面的光标以大单位逆向移动。

(8)页面切换键有两种页面切换。

↓ :使 CRT 画面向下翻页。

↑ :使 CRT 画面向前翻页。

(9)NC/PMC 切换键当带有 PMC—I 时,用 NG 使用 MDI/CRT? 还是用 PMC 使用 MDI/CRT? 切换时使用。

(10)功能菜单键(见图 2-28) 返回上一级子菜单,9 英寸 MDI/CRT 面板设有 5 个软键,根据情况有时不足上述的软键数,此种情况下在 CRT 右下角显示“+”,并通知其未被显示的键。

(11)软键 软键有各种各样的功能。显示在 CRT 画面的最下面。

(12)操作菜单键 在 CRT 右下角显示“+”,通知有未被显示的键。

(13)地址/数字键(见图 2-29) 输入字母与数字时使用。

### 三、键入缓冲区

按地址键与数值键,则与键对应的字母就被键入缓冲区。而键入缓冲区里的内容被

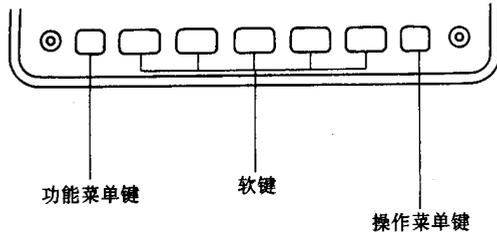


图 2-28 菜单切换键

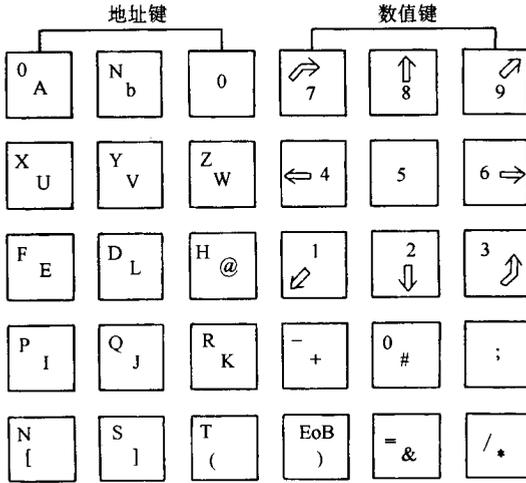


图 2-29 程序输入键

显示在 CRT 画面的下部。为表示键入的数据 在其前头有记号 > 在键入的数据最后用 — 表示 表示下个字母的输入位置。一个键上刻有上下两个字母时输入其下面字母首先要按 SHIFT 键 ,接着再此键。当继续输入下面的字母时 ,则必须每个字母按一次 SHIFT 键。缓冲区一次最多输入 78 个字母。

## 四、键入缓冲区的内容变更方法

### 1. 字母的插入

要在缓冲区的内容中插入地址或数值键 ,则将光标移到要插入的位置 ,光标位置( — )是能够根据光标移动键 → 与 ← 而移动。使光标移动到要插入的位置后再键入要插入的字母。

例如 缓冲区显示 > N001X100.0Y200.0F100.0—当在 N001 的后面要插入 G90 时 :  
按光标移动键 ←← 使光标移动到如下的位置 :

> N001 — X100.0Y200.0F100.0 ;

键入 G90

> N001G90 — X100.0Y200.0F100.0 ;

输入完成后 ,按光标移动键→→ ,使光标移动到本程序段末

> N001G90X100.0Y200.0F100.0 ;—

## 2. 字母的删除

将光标移动到要删除字母的前面 ,按 DELET 键。

例如 缓冲区显示如下 ,要删除 Y200.0

> N001X100.0Y200.0F100.0 ;

按动光标移动键←← ,使光标移动到如下所示的位置

> N001X100.0—Y200.0F100.0 ;

按 DELET 键。

> N001X100.0—F100.0 ;

删除后用光标移动键→→将光标移动到本程序段末。

> N001X100.0F100.0 ;

## 五、报警信息

输入数据时 ,必须按照规定格式输入。如把违反规定格式的数据输入到缓冲区里 ,并做某些操作就有报警信息显示 ,报警信息显示在缓冲区的上一行。当报警信息显示后 ,软键变为 CANCEL 键 ,按 CANCEL 键(软键) ,则报警信息被删除 ,把键入缓冲区的数据变更为规定的格式才可以执行。

## 六、软键

CRT 画面上有 5 个软键(子菜单按键) ,软键如图 2-30 所示。

CRT 最下面的字母表示软键的键名 ,CRT 右下端显示 + ,表示由于软键不足 ,在 CRT 上有未被显示的键。

在软键操作中 ,键下有线表示一按此键立即执行(见图 2-31)。

括号所括起来的键表示需要输入与括号中内容相对应的数据 ,若按此键 ,则可促进输入数据的信息显示(见图 2-32)。

## 七、软键不足时

在 9 英寸 MDI/CRT 面板上有 5 个软键 ,有时 5 个软键有不够用的时候。例如当把软键作为功能键使用时 ,因为能选择的功能有 7 种 ,故 5 个软键就不足。在此种情况下 ,在 CRT 的右下角显示出 +。

### 1. 当软键作为功能选择键被使用时

NOW POSITION			O0001 IN0001		
(RELATIVE)			(ABSOLUTE)		
X	186.401		X	-80.466	
Y	-22.803		Y	-118.809	
Z	89.001		Z	-155.276	
(MACHINE)		(DIST TO)		(SPEED)	
X	-80.466	X	0.000	F	
Y	-118.809	Y	0.000		
Z	-155.276	Z	0.000	S	
* * * * J+H STOP * * * * * * * * * * * * *					
* * * LSK * * * *					
POSITION	PROGRAM	OFFSET	PRG — CHK	CHAPTER	+

图 2-30 主画面

EXEC					
------	--	--	--	--	--

图 2-31 子菜单一

			(PROG: #)	
--	--	--	-----------	--

图 2-32 子菜单二

CRT 右下角已经有 + 显示时,若按功能菜单键(左侧的键),则软键变为以前未被显示的功能选择键。

2. 当软键作为操作选择键被使用时

当 CRT 右下角已经显示出来 + 时,若按操作菜单键(右侧键),则软键变为以前未被显示的操作选择键。

3. 当软键作为子菜单使用时

当 CRT 右下角已经显示出 + 时,若按页选择菜单键,则软键变为此前未被显示的子菜单。

## 八、软键的切换方法

软键主要有功能选择键、子菜单、操作选择键、操作引导键。

软键是作为功能选择键作用,还是作为子菜单使用?或者作为操作选择键使用?或

者操作引键使用？是需要切换的。软键的切换按照如下进行。

### 1. 切换功能选择键的方法

若按左侧的功能菜单键，则能使软键回到功能选择键。

### 2. 切换子菜单的方法

1) ①在功能选择键状态下选择页，被选择的功能键，面板用光亮显示，若按此功能键，则每按此键一次就能顺序地选择新的一页。

2) 从功能选择键切换到子菜单的方法。若按 CHAPTER 键(右侧的软键)则能使软键从功能选择键切换到子菜单。当要使软键恢复到功能选择键时，则按操作菜单键。

### 3. 切换操作选择键的方法

1) 若按右侧的操作菜单键，则不管从怎样的状态都能把软键变成操作选择键。

2) 当软键处于功能选择键状态时，向缓冲区键入信息，则可看作操作者正在想做某种操作，将软键自动地切换成操作选择键。

4. 切换操作引导键的方法：按操作选择键切换成操作引导键。

## 九、其他操作

1) 用 MDI/CRT 面板显示或输入大的项目，利用功能选择键来选择。

2) 为将各个项目进一步包含子菜单(页)，用软键来选择子菜单(页)。

3) 当要进行输入操作时，利用操作选择键进行操作选择。

4) 若按操作选择键，则软键变成操作引导键，根据操作引导键能知道可进行的操作。

5) 若按了操作引导键，则可立即开始对应的操作，而为了进行对应的操作，有时要促使必要的的数据输入。开始对应操作的字母 CRT 显示为光亮。

6) 若把必要的的数据键入缓冲区里，则软键变 EXEC 键。

7) 数据键入缓冲区后，如按 EXEC 键就可进行对应的操作。

## 十、功能选择键

按功能选择键后，软键变成功能键，功能选择在任何方式下都可以选择。详细的功能选择用子菜单来进行。功能选择键(软键)如图 2-33 和图 2-34 所示。

POSITON	PROGRAM	OFFSET	PRG — CHK	CHAPTER	+
---------	---------	--------	-----------	---------	---

图 2-33 功能选择键一

(1) POSITION 键 显示现在的位置。

(2) PROGRAM 键 显示零件程序画现。

(3) OFFSET 键 显示刀具位置偏置(偏移)或工作原点偏置。

SETTING	SERVICE	MESSAGE		CHAPTER	+
---------	---------	---------	--	---------	---

图 2-34 功能选择键二

- (4) PRG—CHK 键 检查程序。  
 (5) SETTING 键 设定画面。  
 (6) SERVICE 键 显示选择参数与诊断画面。  
 (7) MESSAGE 键 显示报警信息及操作信息。

## 十一、子菜单

为选择主菜单而使用功能选择键,各主菜单包含子菜单。

- (1) 显示坐标的操作(选择功能键—坐标(POSITION))坐标显示的选择键有以下四个

NOW POSITION		O0001	N0001
(RELATIVE)		(ABSOLUTE)	
X	186.401	X	-80.466
Y	-22.803	Y	-118.809
Z	-89.001	Z	-155.276
(MACHINE)		(DIST TO)	(SPEED)
X	-80.466	X	0.000
Y	-118.809	Y	0.000
Z	-155.276	Z	0.000
			F
			S
*****J+H STOP*****			
*** ** * LSK * * * *			
OVERALL	RELATIV	ABSOLUT	MACHINE

图 2-35 坐标显示

选项(见图 2-35)。1) OVERALL 键 从坐标显示画面切换为综合坐标画面。

- 2) RELATIV 键 显示相对坐标画面(见图 2-36)。  
 3) ABSOLUT 键 从坐标显示画面切换为绝对坐标画面(见图 2-37)。  
 4) MACHINE 键 从坐标显示画面切换为机械坐标画面(见图 2-38)。

(2) 程序的子菜单有以下两种(见图 2-39)

- 1) TEXT 键 显示程序的内容(见图 2-40)。  
 2) DIRMEM 键 显示程序的目录(见图 2-41)。从图中可以看出一共有四个程序。

(3) 刀具参数设置菜单(见图 2-42)

- 1) TOOL 键 显示刀具偏置画面。  
 2) WRKZER 键 显示工作坐标系画面(见图 2-43)。

NOW POSITION						O0001 N0001
(RELATIVE)						
X 186.401						
Y -22.803						
Z -89.001						
(SPEED)						
F						
S						
*****J+H STOP*****						
*****LSK*****						
OVERALL	RELATIV	ABSOLUT	MACHINE			

图 2-36 相对坐标

(4)指令值的子菜单(功能键—(PRG—CHK)的页选择) (见图 2-44) 指令值的子菜单有以下几种:

NOW POSITION						O0001 N0001
(ABSOLUTE)						
X -80.466						
Y -118.809						
Z -155.276						
(SPEED)						
F						
S						
*****J+H STOP*****						
*****LSK*****						
OVERALL	RELATIV	ABSOLUT	MACHINE			

图 2-37 绝对坐标

CHECK 键 选择程序或坐标(相对或绝对)

- 1)LAST 键 选择前个程序段的指令值或前面被执行的 G 代码、F 代码等。
- 2)ACTIVE 键 选择现在执行中的程序段的指令值或前面被执行的 G 代码、F 代码等。
- 3)NEXT 键 选择后个程序段的指令值。
- 4)BUFFER3 键(见图 2-45) 要选择执行中前两个程序段的指令值或其前面被执行的 G 代码、F 代码等。

NOW POSITION						O0001 N0001
(MACHINE)						
X	-	180.466				
Y	-	218.809				
Z	-	355.276				
(SPEED)						
F						
S						
*****J+H STOP*****						
*****LSK*****						
OVERALL	RELATIV	ABSOLUT	MACHINE			

图 2-38 机械坐标

PROGRAM						O0001 N0001
O0001;						
G90G54X0Y0Z100.;						
M3S500;						
X20.Y30.;						
Z-5.;						
G1Y100.F500.0;						
G0Z100.0;						
X0Y0;						
M30;						
%						
*****J+H STOP*****						
*****LSK*****						
TEXT	DIR·MEM					

图 2-39 程序子菜单

5) BUFFER2 键 选择出执行中前 3 个程序段的指令值或其前面被执行的 G 代码、F 代码等。

(5) 设定子菜单( 设定( SETTING )功能键的选项 ) ( 见图 2-46 )

- 1) HANDY 键 输出输入关系的设定画面。
- 2) GENERAL 键 参数设定画面。
- 3) OPPANL 键 菜单开关或软键操作画面。
- 4) MACRO 键 用户宏程序参数值画面。

(6) 服务的子菜单( 服务( SERVICE )功能键选项 ) ( 见图 2-47 )

- 1) PARAM 键 参数画面。
- 2) PITCH 键 螺距误差补偿画面。
- 3) DIAGNOS 键 诊断画面。

<pre> PROGRAM <span style="float: right;">O0001 N0001</span>  O0001; G90G59X0Y0Z100.; M3S500; X20. Y30. Z-5.; G1Y100. F500. 0; G0Z100.; X0Y0; M30; %  <span style="float: right;">***J+H STOP*****</span>  *** ** * LSK ** *                 </pre>					
TEXT	DIR · MEM				

图 2-40 程序内容

<pre> PROGRAM <span style="float: right;">O0001 N0001</span>  O0001 O0002 O0003 O0004  <span style="float: right;">***J+H STOP*****</span>  *** ** * LSK ** *                 </pre>					
TEXT	DIR · MEM				

图 2-41 程序目录

4) DSP.MEM 键 显示 NC 软体控制存储器的内容。

(7)信息的子菜单(功能键—信息(NOTICE)的页选择)(见图 2-48) 信息的子菜单有以下两个选项。

- 1) AIARM 键 显示报警画面。
- 2) MESSAGE 键 显示操作信息画面。

TOOL OFFSET						O0001 N0001
NUMBER	TONE	(LENGTH)		(RADIUS)		NOW POSITION
		WASTE	TONE	WASTE	(RELATIVE)	
001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	X 186.401
002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Y -22.803
003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Z -89.001
004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
						*****J+H STOP*****
*****LSK*****						
TOOL	WRK · ZER					

图 2-42 刀具参数

TOOL OFFSET								O0001 N0001
NO. 00 (EXT)	NO. 02 (G55)		NO. 04 (G57)		NO. 06 (G59)			
X -186.401	X	-186.401	X	-186.401	X	-186.401	X -186.401	
Y -22.803	Y	-22.803	Y	-22.803	Y	-22.803	Y -22.803	
Z -89.001	Z	-89.001	Z	-89.001	Z	-89.001	Z -89.001	
NO. 01 (G54)	NO. 03 (G56)		NO. 05 (G58)					
X -186.401	X	-186.401	X	-186.401				
Y -22.803	Y	-22.803	Y	-22.803				
Z -89.001	Z	-89.001	Z	-89.001				
*****J+H STOP*****								
*****LSK*****								
TOOL	WRK · ZER							

图 2-43 工作坐标系

BUFFER		O0001 N0001	
(BUFFER)		(BUFFER1)	
X	D	X	D
Y	N	Y	N
Z	P	Z	P
A	Q	A	Q
B	R	B	R
C	L	C	L
U		U	
V		V	
W		W	
I		I	
J		J	
K		K	
F		F	
S		S	
T		T	
M		M	
B		B	
*****J+H STOP*****			
***LSK***			
CHECK	LAST	ACTIVE	

图 2-44 指令值子菜单一

## 十二、操作选择键

依功能选择键或子菜单所选择的画面不同而异。只是显示可能做的操作,故操作性好。把软键变成操作选择键,通过操作选择键进行切换。

举例说明:偏置量的设定(见图 2-49)。

操作选择键

(1)当缓冲区里什么也没输入时

- 1)按 INPUT 键,则软键变成操作引导键(见图 2-50)。
- 2)按 VALUE 键,则促使键入偏置量的信息被显示出来。
- 3)若键入偏置数据则软键变为如图 2-51 所示。
- 4)若按 EXEC 键,则缓冲区的数据被输入光标所处的偏置号的存储器内。

(2)当偏置量已被输入到缓冲区里时若按 INPUT 键,则键入缓冲区的数据被输入在光标所处的偏置号的存储器内。

BUFFER		O0001 N0001	
(BUFFER2)		(BUFFER3)	
X	D	X	D
Y	N	Y	N
Z	P	Z	P
A	Q	A	Q
B	R	B	R
C	L	C	L
U		U	
V		V	
W		W	
I		I	
J		J	
K		K	
F		F	
S		S	
T		T	
M		M	
B		B	
*****J+H STOP*****			
***LSK***			
BUFFER3			

图 2-45 指令值的子菜单二

HANDY	GENERAL	OPPANL	MACRO		
-------	---------	--------	-------	--	--

图 2-46 设定子菜单

PARAM	PITCH	DIAGNOS	DSP·MEM		
-------	-------	---------	---------	--	--

图 2-47 服务的子菜单

ALARM	MESSAGE				
-------	---------	--	--	--	--

图 2-48 信息子菜单

INPUT	+INPUT	MEASURE	PUNCH	INP-NO	+
-------	--------	---------	-------	--------	---

图 2-49 操作选择键



图 2-50 输入数值一

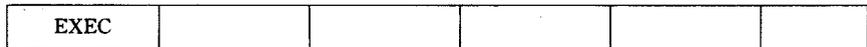


图 2-51 输入数值二

### 十三、CRT 画面的消除方法

当把清除 (CAN) 键和移位 (SHIFT) 键同时按下时,画面显示就消失,若再按下其他任意一个键。则恢复画面显示。长时间通电的情况下不使用装置,请消除显示,这可防止画面的劣化。

### 十四、机械操作面板(见图 2-52)

循环起动按钮:按此钮程序就自动执行,指示灯亮(见图 2-53)。

进给保持按钮:在自动运转中按此钮,则刀具减速停止(见图 2-53)。

方式选择按钮:根据操作需要来选择各个方式(见图 2-53)。

快速进给:要使刀具加速时,按此钮(见图 2-53)。

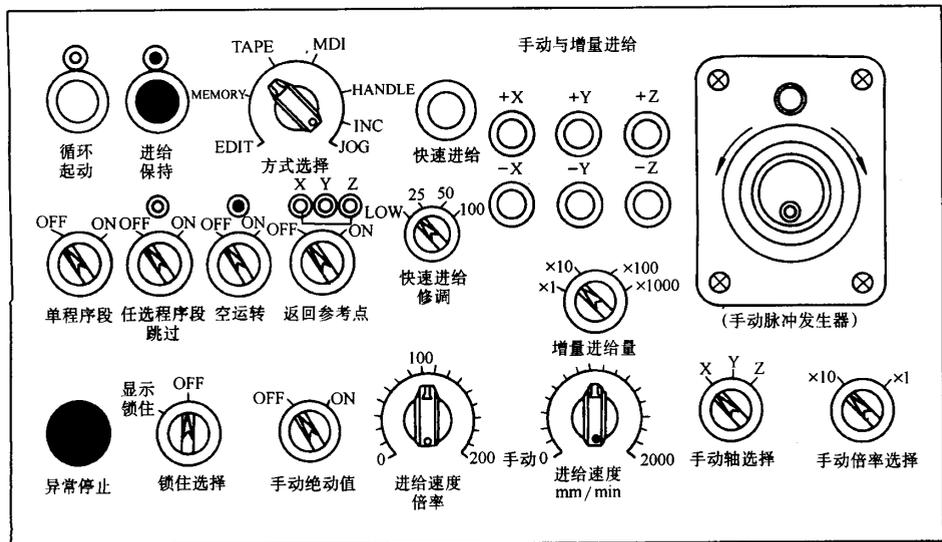


图 2-52 机械操作面板

手动进给与增量进给:可进行手动

连续进给和增量进给(见图 2-54)。

手轮 通过旋转手轮能使刀具在相应方向上移动(见图 2-54)。

增量进给值 选择增量进给中每步的移动量(见图 2-54)。

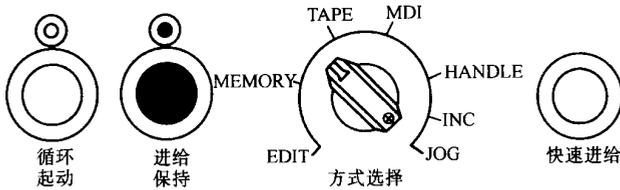


图 2-53 功能转换

单程序段 想使自动运转按每个程序段进行时 将单程序段开关扳到“ON”位置(见图 2-55)

跳过任选程序段开关 想要跳过任选程序段 将此开关扳到“ON”位置(见图 2-55)。

空运转 当要进行空运转时 此开关扳到“ON”位置上(见图 2-55)。

返回参考点 当要返回参考点时 将此开关扳到“ON”位置上(见图 2-55)。

快速进给倍率 当加速进给倍率时 将此开关扳到“ON”位置(见图 2-55)。

异常停止 当在加工中出现异常情况时 按此按钮紧急停止(见图 2-56)。

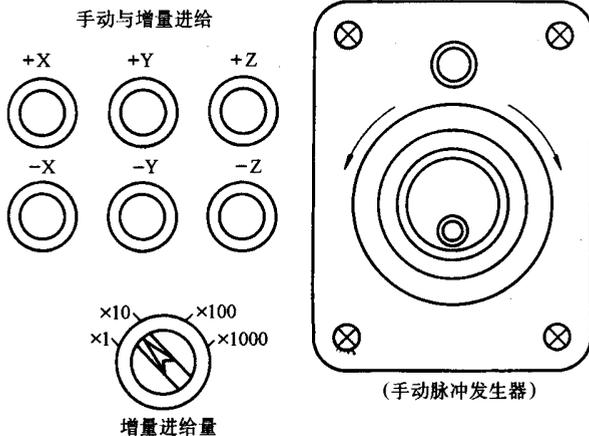


图 2-54 手脉进给

锁住选择 可选择显示锁住或机床锁住(见图 2-56)。

手动绝对值 当手动操作转换为自动操作时 手动操作的移动量是否放入到绝对值寄存器中? 可以通过此按钮来调节(见图 2-56)。

进给速度倍率 用它来调节自动操作或手动操作的倍率(见图 2-56)。

手动进给速度 选择手动连续进给的速度(见图 2-57)。

手轮轴选择 选择手轮移动的方向(见图 2-57)。

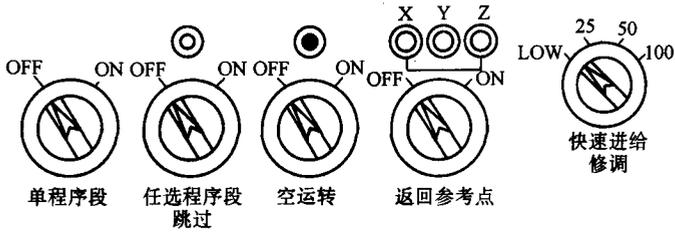


图 2-55 控制程序功能

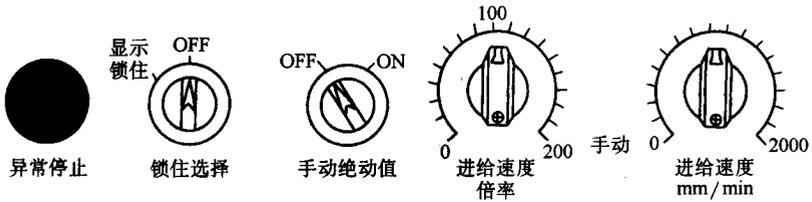


图 2-56 移动控制功能

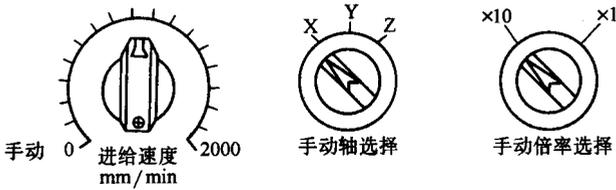


图 2-57 手动操作功能

手动倍率选择: 在手动进给中, 可选择每个刻度移动量的倍率(见图 2-57)。

## 第三章 VMC800 加工中心的操作

VMC800 加工中心产于台湾,是一种典型的加工中心,其主要特点是:

- 1) 加工精度高,性能稳定。
- 2) 操作简单(人机对话简单),功能强。
- 3) 结构合理,机床刚性好。
- 4) 控制系统数据处理速度快。
- 5) 维护简单方便。

### 第一节 VMC800 加工中心的面板

VMC800 加工中心一共有两块面板,第一块见图 3-1;第二块见图 3-2。第一块面板的功能与第二章数控铣床相同,这里就不再讲解。下面具体介绍第二块面板上各个功能键的用途。

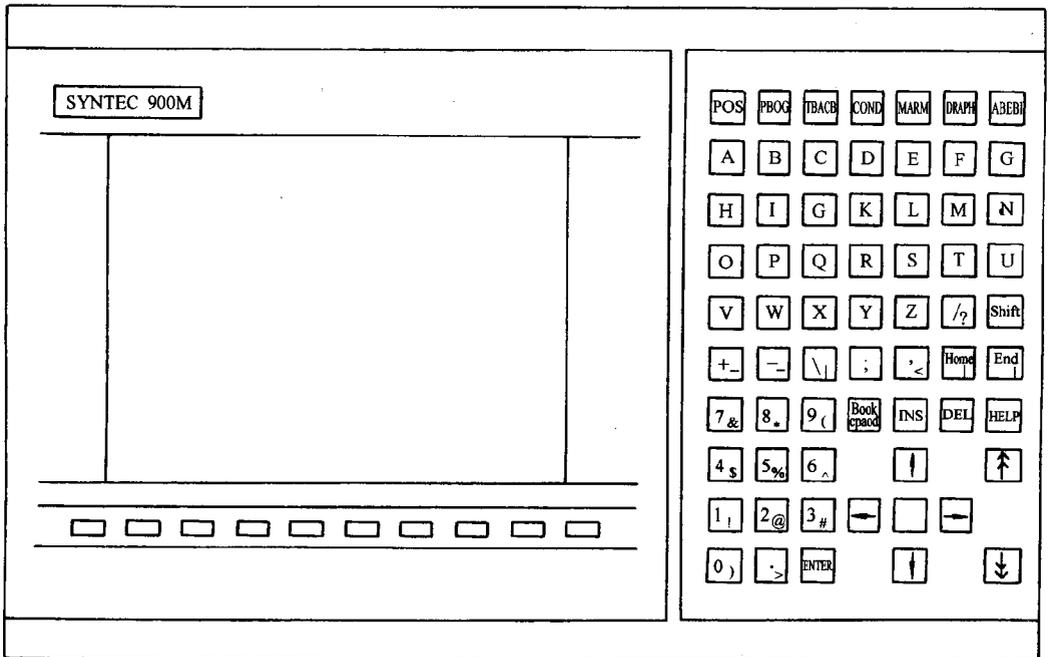


图 3-1 VMC800 加工中心第一面板

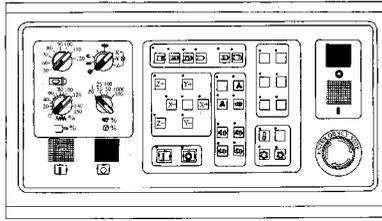


图 3-2 加工中心第二块面板

第二块面板各个按键功能介绍：



紧急停止按钮：

紧急情况时 按下此按钮 机床锁住。排除故障后 重新使用时 顺时针旋转此按钮即可。此按钮按下时 机床的状态如下：

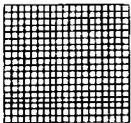
- 1) 工作台运动停止。
- 2) 主轴立即停止转动。
- 3) NC 变为复位状态 顺时针旋转此按钮后 需再做机械归零。



电源开启键：

加工中心开机步骤：

- 1) 打开右侧主电源开关。
- 2) 按下操作面板上电源开关
- 3) 顺时针方向旋转紧急停止按钮。



电源关闭键：

加工中心关机步骤：

- 1) 主轴转动时先停止转动。
- 2) 压下紧急停止按钮。
- 3) 按下操作面板上电源关闭键。



自动开启排屑装置键：

按此键后 此键灯亮 排屑电动机起动 排屑螺旋杆开始起动进行排屑。



加工用吹屑按键：

按此键后 指示灯亮 风压电磁阀启动吹气 当再按此键时 其风压电磁阀关闭不进行吹气。



工作灯按键：

按此键后 指示灯亮 护罩内的工作灯管亮 再按此键工作灯管熄灭。



刀库正转按键：



刀库反转按键：



辅助功能按键(MPG)：

按此键后,指示灯亮,各轴的运动由手轮控制。

注:即使此按钮打开,M00、M01、M02、M30、M98、M99仍然有效。



试运转按钮(DRN)：

按此键后,指示灯亮,自动加工过程中,程序指令进给率会忽略且快速移动机床,以点动速率试运转。



选择停止按钮(OPT)：

指示灯亮,程序执行到M01指令即停止。再启动时,按下循环启动键,则程序继续执行下一程序段,此按钮关时,指示灯熄灭,则M01指令忽略。



单段忽略按钮(BSK)：

指示灯会亮,程序中,开头有斜线"/"的程序段,自动操作时不执行,此按钮关时,指示灯熄灭,程序中,在开头有斜线"/"的程序段,依然执行。



机械锁住按钮(MLK)：

按此键后,指示灯亮,则所有轴向移动停止,除了机械坐标不变,其他坐标仍然可显示。



单段执行按钮(SBK)：

按下此键,则此键的指示灯亮,自动操作变为单段操作,按循环键,程序只执行1个程序段即停止,再按循环启动按钮,则程序执行下一程序段,再按一次此单段执行(SBK)按钮则变为连续动作,按循环启动键,程序连续执行。



切削液(手动)开关按钮：

任何时候按下此键,指示灯亮,切削液打开,再按一次则(灯熄掉)切削液关闭。切削液(自动)开关→依照程序指令M08、M09使切削液开启或关闭。



主轴正转按钮：

按本键,主轴开始正转。



主轴停止按键：  
按本键，主轴停止转动。

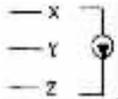
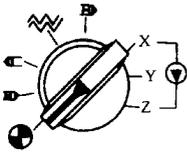


主轴反转按键：  
按本键，主轴开始反转。



主轴点动按键：  
主轴转动时，按本键，主轴速度降为点动速度，方便校模用。

模式选择开关。



手轮进给模式：此模式可改变手轮移转方向。

- 1) 开关至手轮进给模式则操作面板上手轮的灯亮。
- 2) 以轴向选择开关设定移动方向。
- 3) 以移动增量选择开关设定手轮转动 1 格机床的移动量，移动量如下：

X1:0.001mm X10:0.01mm X100:0.1mm

- 4) 顺时针方向转动手轮，主轴向正方向移动；逆时针方向转动，主轴向负方向移动。



自动执行模式：在此模式可执行储存在存储器的程序。操作方法如下：

- 1) 由模式选择旋钮选择进入自动模式，准备开始加工。
- 2) 启动：选好加工程序后，按“循环启动”键，刀具以加工程序的内容进行加工。
- 3) 停止：加工中，按“停止”键，机器会暂停加工状态，如果不按“停止”键，则机床加工完后自动停止。



快速移动模式：在 X 此模式可作轴向快速移动，操作方法如下：  
选择快速移动模式后，分别按 X+、X-、Y+、Y-、Z+、Z- 时，刀具沿所选方向移动。



MPG 点动模式按键：  
进入手轮模式后，手动一格，刀具移动一段固定距离。



MDI 加工模式：

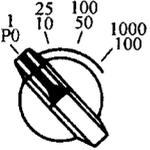
操作方法：进入 MDI 模式，在“执行加工画面”输入一行 MDI 所欲加工的程序，按“循环启动”键，刀具以加工程序所设定内容进行加工，加工完机床自动停止。



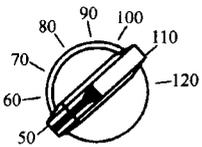
原点回归：

操作方法：由模式选择旋钮进入原点回归模式，分别按 X+、Y+、Z+ 后，机床停在各轴机械原点上。

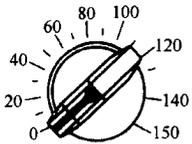
快速移动及点动百分比选择开关，可以控制快速移动的速率。



主轴转速选择开关 此开关可以控制主轴转速百分比，达到控制主轴转速的快慢。



切削进给率百分比选择开关：此开关可以控制程序执行时 G01、G02、G03 等进给率快慢。



## 第二节 加工指令

### 一、G 代码(见表 3-1)

表 3-1 G 代码

指令	功能	指令	功能
G00	直线快速移动	G17	刀具沿 $X-r$ 平面加工
G01	直线插补	G18	刀具沿 $Z-X$ 平面加工
G03	圆弧插补(逆时针)	G19	刀具沿 $r-Z$ 平面加工
G10	程序资料输入	G28	回归参考点
G02	圆弧插补(顺时针)	G29	从参考点回归
G04	暂停	G40	刀具半径补偿取消
G15	极坐标插补取消	G41	刀具半径左补偿
G16	极坐标插补	G42	刀具半径右补偿
G43	刀具长度正补偿	G84	右旋攻螺纹循环
G44	刀具长度负补偿	G85	镗孔循环
G49	刀具长度补偿取消	G86	高速镗孔循环
G54 ~ G59	工作坐标系设定	G87	背面精细镗孔循环
G70	英制单位	G88	半自动精细镗孔循环
G71	公制单位	G89	镗孔循环(孔底暂停)
G73	高速钻孔循环	G90	绝对坐标方式
G74	左旋攻螺纹循环	G91	相对坐标方式
G76	精细镗孔循环	G92	坐标系设定
G80	取消循环	G94	每分钟进给(mm/min)
G81	钻孔循环	G95	每转进给量(mm/r)
G82	钻孔循环(孔底暂停)	G98	回归到初始点
G83	钻孔循环(啄式)	G99	回归到参考点(R点)

### 二、T 代码

指令格式 :T\_\_

说明 :T 功能也可称为刀具功能,主要为选择刀具,一般会配合刀具交换指令(M06)一起来选定刀具,如此便可自动交换刀具。

范例 :T03 M6 ;表示选择换 3 号刀具。

### 三、F 代码

指令格式 :F—

说明 :切削工件时 ,程序中所设定刀具移动速度称为进给速度。设定进给速度的方法可分为每分钟进给(G94)与每转进给(G95)两种。若使用 G94 模式 ,则对 300mm/min 的刀具进给率可设定 F300 ,若采用 G95 模式 ,则 F0.5 表示 0.5mm/r。

范例 :

G94 G01 X100.0 Y100.0 F300 ; 刀具做直线切削 ,每分钟进给 300mm

G95 G01 X100.0 Y100.F 0.5 ; 刀具做直线切削 ,每转进给 0.5mm

### 四、辅助功能

辅助功能是用于控制机械功能的 ON 及 OFF。其格式为在指令后有两位数字。现将常用的辅助功能分述如下(见表 3-2) ;

1)M00 程序暂停 ,当 CNC 执行 M00 指令时 ,主轴会停止旋转 ,进给暂停 ,切削液关闭 ,方便操作者进行尺寸检验及观察。

2)M01 选择程序暂停 ,M01 功能与 M00 类似 ;但是 M01 是由“选择停止”来控制 ;当开关放在 ON 时 ,M01 有效 ,会使程序暂停 ;若开关放在 OFF 时 ,则 M01 无效。

表 3-2 M 功能表

指 令	功 能	指 令	功 能
M00	程序暂停	M09	加工液关闭
M01	选择程序暂停	M19	主轴定位 ,使主轴停止于一个固定的位置
M02	程序结束		
M03	主轴起动(顺时针)	M30	程序结束 ,光标回复到起始程序段
M04	主轴起动(逆时针)	M50	气缸松刀
M05	主轴停止	M51	气缸夹刀
M06	刀具交换	M98	调用子程序
M08	加工液开起	M99	返回主程序

3)M02 程序终止 ,在主程序的末尾若有 M02 指令。当 CNC 执行到此指令时 ,机器会停止所有的动作 ,若要重新执行程序时 ,必须先按下“RESET”键 ,再按“循环启动”键才能够有效。

4)M03 主轴顺时针方向旋转 ,M03 指令可使主轴作顺时针方向旋转 ,与 S 功能一起使用 ,让主轴按照设定转速作顺时针方向旋转。

5) M04 主轴逆时针方向旋转 ,M04 指令可使主轴作逆时针方向旋转。

6) M05 主轴停止 ,M05 指令使主轴停止 ,一般主轴在旋转时想要变换正、反转时 ,要使用 M05 让主轴先停止旋转 ,再变换其动作。

7) M06 刀具交换 ,M06 指令可执行刀具交换指令 ,此指令不包括刀具选择 ,需配合 T 功能一起使用。

8) M08/M09 液体冷却液起动/关闭 ,M08 指令可使液体冷却液起动 ,M09 指令可使液体冷却液关闭。

9) M19 主轴定位停止转动 ,此指令使主轴在一设定的转角位置上定位。

10) M30 程序结束 ,M30 指令表示程序至此结束 ,程序执行至 M30 指令时所有动作均停止执行 ,并将记忆回复到程序最前面开始位置。

11) M50 气缸松刀 ,M50 指令是由控制器以辅助功能指令感应拆刀气缸作松刀动作 ,使刀杆脱离主轴本体。

12) M51 气缸夹刀 ,M51 指令是由控制器以辅助功能指令感应拆刀气缸作夹刀动作 ,使刀杆锁住夹刀于主轴一体。

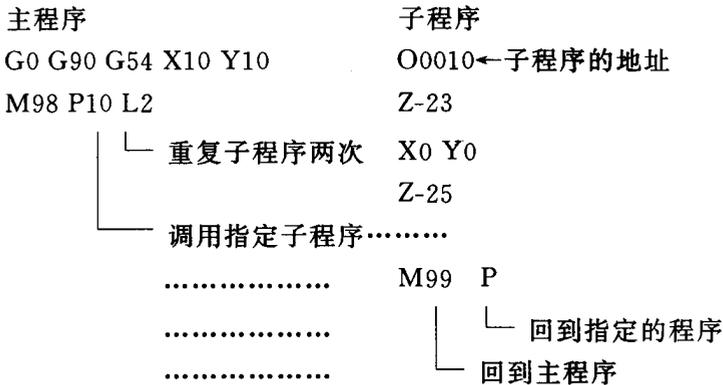
13) M98/M99 子程序控制 ,是指有固定的加工程序或经常重复使用的参数 ,事先准备完成并存放于存储器中 ,当需要使用时 ,可以用主程序调用。子程序的调用由 M98 执行 ,结束则是 M99。

指令格式 :子程序调用 M98P-H-L ;

其中 P 为子程序名 ,H 为主程序中开始调用子程序的程序段号码 ,L 为子程序重复执行的次数。

子程序结束格式 M99P- ;

其中 P 为子程序结束后 ,返回调用程序的顺序号码。例一



例二

G0 G90 G55 X10 Y10

M98 H11 L2

└─ 重复子程序两次

└─ 调用子程序的程序段号

N11 Z-23

X10 Y0

Z-25

.....

.....

M99

└─ 回到主程序

### 第三节 加工中心控制器面板

01010 L1	机台设定	14 : 58 : 36	2001/02/01
机械坐标		相对坐标	
<b>X</b>	<b>— 120.000</b>	X	120.000
<b>Y</b>	<b>— 30.000</b>	Y	30.000
<b>Z</b>	<b>— 40.000</b>	Z	-40.000
		绝对坐标	
		X	20.000
		Y	-20.000
		Z	-40.000
		剩余距离	
进给速率	600.0 mm/min	X	0.000
主轴转速	500 r/min	Y	0.000
		Z	0.000
		<input type="button" value="就绪"/>	<input type="button" value="自动执行"/>
		<input type="button" value="警报"/>	
机台设定	程序编辑	(空)	执行加工
		警报显示	参数显示
		诊断设定	操作指引

图 3-3 屏幕部分

## 一、屏幕部分(见图 3-3)

图 3-3 画面说明 :1 为程序编号 2 为标题 3 为时间 4 为日期 5 为资料输入 6 为提示 7 为状态功能键选择。

## 二、主功能画面

图 3-4 为 VMC800 加工中心“新代”控制器的主功能画面。“新代”控制器的操作,是利用屏幕下方的 F<sub>1</sub> ~ F<sub>8</sub> 功能键采操作,使用者按下 F<sub>1</sub> ~ F<sub>8</sub> 功能键即可进入对应功能。

01010 L1	机台设定	14 : 58 : 36	2001/02/01				
机械坐标		相对坐标					
<b>X</b>	<b>— 120.000</b>	X 120.000					
<b>Y</b>	<b>— 30.000</b>	Y 30.000					
<b>Z</b>	<b>— 40.000</b>	Z -40.000					
		绝对坐标					
		X 20.000					
		Y -20.000					
		Z -40.000					
		剩余距离					
进给速率	600.0 mm/min	X 0.000					
主轴转速	500 r/min	Y 0.000					
		Z 0.000					
				就绪	自动执行	警报	
机台设定	程序编辑	(空)	执行加工	警报显示	参数显示	诊断设定	操作指引

图 3-4 主功能画面

## 三、F1 机台设定画面

显示现在位置的各种坐标系(见图 3-5),并可用于相对坐标系的设定。按下主功能画面下的 F<sub>1</sub> 键机台设定进入画面(注:当系统刚启动时,图 3-4 是最初的画面)。

### 1. 图 3-5 画面说明

X :X 轴坐标值。

Y :Y 轴坐标值。

Z :Z 轴坐标值。

进给速率 :每次切削时,显示刀具移动速度,单位为 mm/min。

主轴转速 :显示主轴的转速。

机械坐标 :显示机械坐标。

相对坐标 :显示相对坐标。

绝对坐标 :显示绝对坐标。

剩余距离 :表示执行刀具移动的指令后 ,刀具尚须要移动的距离 ,其正负号表示其移动的方向。

## 2. 相关功能说明

### (1) F1 坐标系切换

功能 :坐标系显示切换。

操作方式 :在‘机台设定’画面 ,无论使用者何时连续按 F1 键 ,可切换显示四种坐标系的数值 ,且会以较大的字体显示在屏幕的左上方。如图 3-5 所示为机械坐标。

01010 L1	程序编辑	15 : 00 : 35	2001/02/01				
Program: 01010 Line: 00001 Column: 1 F1000. S500; G90; G00 X0. Y0. Z0. //M00; G18 G90; G98; G74 X0. Z0. Y-20. R-5. ; // HOLE 1 X10. ; // HOLE 2 X20. R-10. ; // HOLE 3 G99 Z-10. ; // HOLE 4 G98 G91 Z-10. ; // HOLE 5 Z-10. Y-10. ; // HOLE 5 G90 Z-40. Y-20. ; G80; M02;							
				就绪	自动执行	警报	
插入循环	删除行	编辑循环		程序编辑 子功能	教道	图形模拟	程序管理

图 3-5 坐标系切换

### (2) F2 1/2 坐标

功能 :设定工件的中心点。

操作方式 :在‘机台设定’画面 ,在信息列显示输入 X(或 Y 或 Z) ,按下 F2 键(1/2 坐标)相对应坐标的 X 轴(或 Y 轴或 Z 轴)即可清除。

### (3) F4 相对坐标全部清除

功能 相对坐标 XYZ 轴坐标值清除(其余坐标除外)。

操作方式 在‘机台设定’画面下,按下 F4 键(相对坐标全部清除),可清除 XYZ 轴。

(4) F5 设定工件坐标(见图 3-6)

功能 G54 ~ G59 相对于机械坐标系的设定(见图 3-6)。

01010 L1	程序编辑	15:00:35	2001/02/01	
Program: 01010 Line: 00001 Column: 1				
<pre>F 1000. S500; G90; G00 X0. Y0. Z0. //M00; G18 G90; G98; G74 X0. Z0. Y-20. R-5.; // HOLE 1 X10.; // HOLE 2 X20. R-10.; // HOLE 3 G99 Z-10.; // HOLE 4 G98 G91 Z-10.; // HOLE 5, Z-10. Y-10.; // HOLE 5 G90 Z-40. Y-20.; G80; M02;</pre>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">加工循环输入画面</p> <p>LineNo: 0                      圆周孔循环</p> <p style="text-align: right;">XY 平面参数</p> <p style="text-align: right;">圆周中心</p> <p style="text-align: right;">X 轴</p> <p style="text-align: right;">Y 轴      10.000</p> <p style="text-align: right;">圆周半径 I      5.000</p> <p style="text-align: right;">起始角度 J      10.000</p> <p style="text-align: right;">钻孔个数 K      10</p> <p style="text-align: center;">尚有资料</p> </div>		
圆周中心的 X 坐标		就绪	自动执行	警报
输入完成				

图 3-6 坐标系设定

操作方式 在‘机台设定’画面下,按下 F5 键(工作坐标系设定),出现画面如图 3-6 所示,再按下 F1 键(机械坐标自动设定),即可逐一设定 G54 ~ G59 相对于机械坐标自动设定(系统模式需为单段模式,即 MDI 模式)。

(5) 外部坐标偏移”操作者能在同时设定所有的工作坐标系(G54 ~ G59)。

(6) 假如没有设定任何坐标系,则 CNC 控制器内定为 G54。

## 四、F2 程序编辑画面(见图 3-7)

此功能键主要功能为程序管理、编辑程序。主画面提供全屏幕编辑能力,可利用光标移动键(↑↓←→)选择欲编辑位置。进入本画面请按下主功能画面的 F2 键(程序编辑)。相关功能说明如下:

1. F1 插入循环

功能 插入一个程序段。

操作方式 在‘程序编辑’画面下,按下 F1“插入行”,即可在目前光标所在的位置插入

一行或一循环。

01010 L1		程序编辑		15 : 00 : 35		2001/02/01							
Program: 01010 Line: 00001 Column: 1 F1000. S500; G90; G00 X0. Y0. Z0. //M00; G18 G90; G98; G74 X0. Z0. Y-20. R-5. ; // HOLE 1 X10. ; // HOLE 2 X20. R-10. ; // HOLE 3 G99 Z-10. ; // HOLE 4 G98 G91 Z-10. ; // HOLE 5 Z-10. Y-10. ; // HOLE 5 G90 Z-40. Y-20. ; G80; M02;													
				就绪		自动执行		警报					
插入循环		删除行		编辑循环		程序编辑子功能		教道		图形模拟		程序管理	

图 3-7 程序编辑

### 2. F2 删除行

功能 删除目前光标所在的那一行。

操作方式 在“程序编辑”画面下,按下 F2(删除行),可删除目前光标所在那一行。

### 3. F3 编辑循环(见图 3-8)

功能 编辑本控制器已建的单段或循环。

操作方式 在“程序编辑”画面下,按 F3 即可编辑一行循环,在光标目前的位置。

### 4. F5 程序编辑子功能(见图 3-9)

功能 在“程序编辑”画面下,做“搜寻”“置换”“行数搜寻”“拷贝行”“插入行”等功能。

(1)在“程序编辑子功能”画面下——F1(搜寻)

功能 字串搜寻。

操作方式 在“程序编辑”画面下,按 F5(程序编辑子功能),再按 F1(搜寻)去寻找字串,接着对话框将跳出并要求使用者输入欲寻求字串(见图 3-10),输入一字串后,按 F1 键开始搜寻。

(2)在“程序编辑子功能”画面下——F2(置换)

功能 置换字串。

01010 L1	程序编辑	15 : 00 : 35	2001/02/01
Program: 01010 Line: 00001 Column: 1			
<pre>F1000. S500; G90; G00 X0. Y0. Z0. //M00; G18 G90; G98; G74 X0. Z0. Y-20. R-5.; // HOLE 1 X10.; // HOLE 2 X20. R-10.; // HOLE 3 G99 Z-10.; // HOLE 4 G98 G91 Z-10.; // HOLE 5. Z-10. Y-10.; // HOLE 5 G90 Z-40. Y-20.; G80; M02;</pre>		<p>加工循环输入画面</p> <p>LineNo: 0            圆孔循环</p> <p>XY 平面参数</p> <p>圆周中心</p> <p>    X 轴</p> <p>    Y 轴     10.000</p> <p>    圆周半径 I     5.000</p> <p>    起始角度 J     10.000</p> <p>    钻孔个数 K     10</p> <p>尚有资料</p>	
圆周中心的 X 坐标		就绪	自动执行
输入完成		警报	

图 3-8 编辑循环

01010 L1	程序编辑	15 : 00 : 35	2001/02/01
Program: 01010 Line: 00001 Column: 1			
<pre>F1000. S500; G90; G00 X0. Y0. Z0. //M00; G18; G90; G98; G74 X0. Z0. Y-20. R-5.; // HOLE 1 X10.; // HOLE 2 X20. R-10.; // HOLE 3 G99 Z-10.; // HOLE 4 G98 G91 Z-10.; // HOLE 5 Z-10. Y-10.; // HOLE 5 G90 Z-40. Y-20.; G80; M02;</pre>			
		就绪	自动执行
		警报	
搜寻	置换	行数搜寻	拷贝行
插入行			

图 3-9 程序编辑子功能一

操作方式: 在‘程序编辑’画面下,按 F5(程序编辑子功能),再按 F2(置换)字串,接着—对话框将跳出并要求使用者去输入一个将被置换的字串和新的字串(见图 3-11),

键入字符串之后,按 F1 键即可执行置换。

### (3) 在‘程序编辑子功能’画面下——F3(行数搜寻)

功能 程序行数搜寻。

操作方式 在‘程序编辑’画面下,按 F3(程序编辑子功能),再按 F3(行数搜寻),接着对话框跳出并要求使用者输入欲搜寻行数(见图 3-12),键入欲搜寻行数,按 F1 键即可到欲到达行数。

### (4) 程序编辑子功能’画面下——F4(拷贝行)

功能 拷贝目前光标位置整行程序到下一行。

操作方式 在‘程序编辑’画面下,按 F3(程序编辑子功能),再按 F4(拷贝行),把目前光标位置整行程序拷贝到下一行(见图 3-12)。

01010 L1	程序编辑	15:00:35	2001/02/01	
Program: 01010 Line: 00001 Column: 1				
<pre> F1000. S500; G90; G00 X0. Y0. Z0. //M00; G18; G90; G98; G74 X0. Z0. Y-20. R-5.; // HOLE 1 X10.; // HOLE 2 X20. R-10.; // HOLE 3 G99 Z-10.; // HOLE 4 G98 G91 Z-10.; // HOLE 5 Z-10. Y-10.; // HOLE 5 G90 Z-40. Y-20.; G80; M02; </pre>				
		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">就绪</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">自动执行</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">警报</div> </div>		
搜寻	置换	行数搜寻	拷贝行	插入行

图 3-10 程序编辑子功能二

### (5) 程序编辑子功能’画面下的功能——F5(插入行)

功能 在目前光标位置插入一行程序。

操作方式 在‘程序编辑’画面下,按 F3(程序编辑子功能),再按 F5(插入行)即可插入新的一行程序。

### 5. F6 教导(相当于加入)

功能 教导现在的绝对值坐标到 NC 程序。

操作方式 在‘程序编辑’画面下,按 F6(教导)(见图 3-13)。

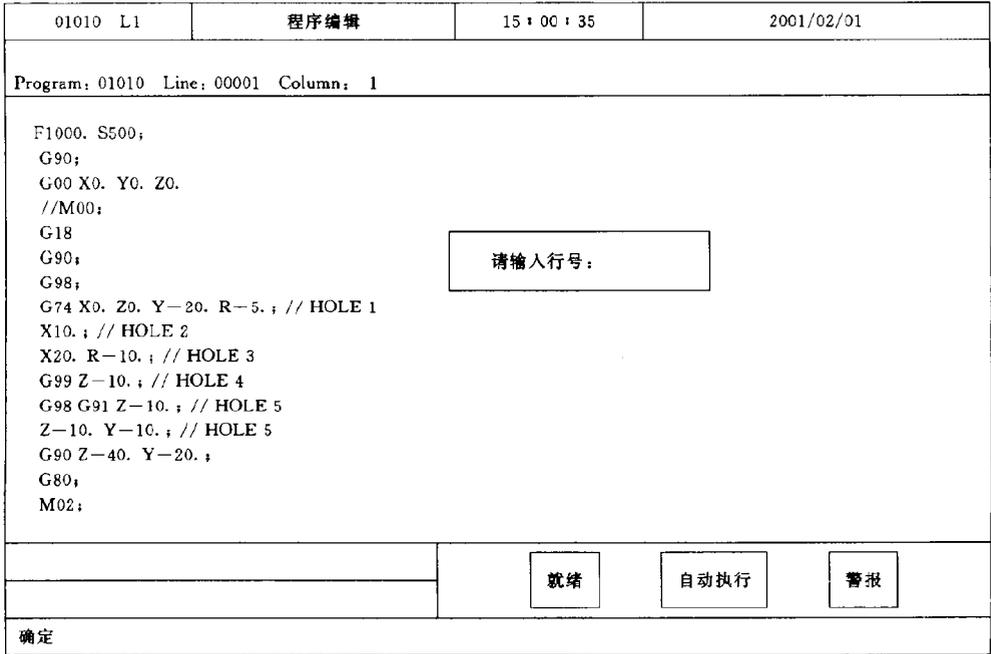


图 3-11 程序编辑器功能三

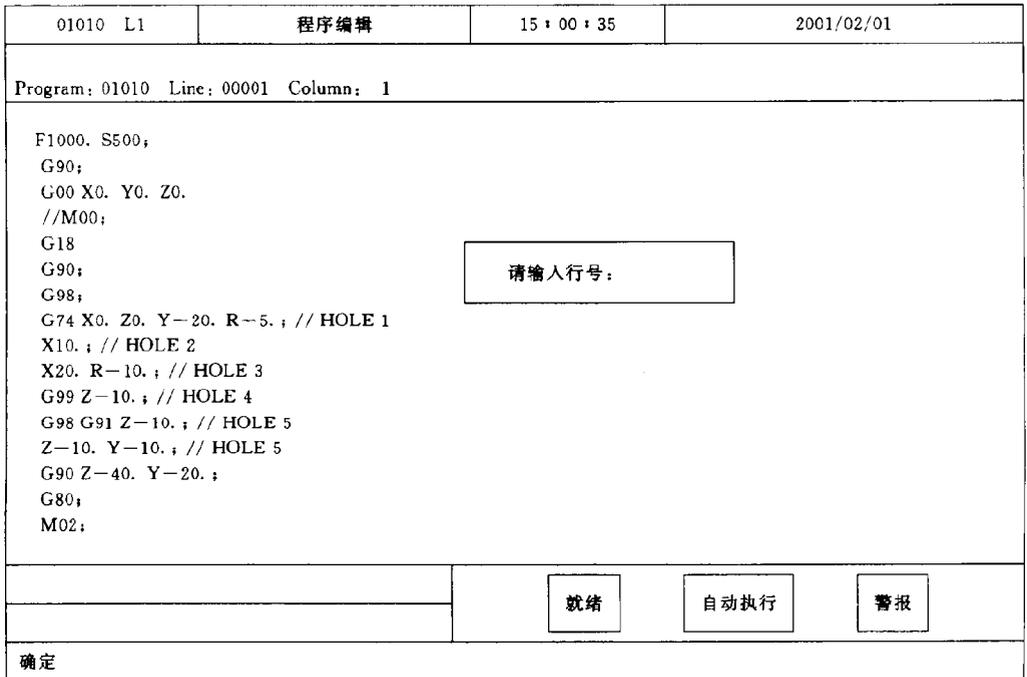


图 3-12 程序编辑器功能四

01010 L1		程序编辑		15 : 00 : 35		2001/02/01	
Program: 01010		Line: 00001		Column: 1			
F1000. S500; G90; G00 X0. Y0. Z0. //M00; G18 G90; G98; G74 X0. Z0. Y-20. R-5. ; // HOLE 1 X10. ; // HOLE 2 X20. R-10. ; // HOLE 3 G99 Z-10. ; // HOLE 4 G98 G91 Z-10. ; // HOLE 5 Z-10. Y-10. ; // HOLE 5 G90 Z-40. Y-20; G80; M02;				绝对坐标 X            -100.000 Y            -50.000 Z            0.000  圆弧中间点 X 轴坐标 Y 轴坐标			
				就绪		自动执行	
				警告			
快速定位教导	直线切削教导	圆弧教导	取消圆弧中间点	删除行			

图 3-13 教导

教导画面相关功能如下：

(1) F1 :快速定位教导

功能 :以现在的绝对值坐标 加入“ G00 ”程序到 NC 程序中。

(2) F2 :直线切削教导

功能 :以现在的绝对值坐标 加入“ G01 ”程序到 NC 程序中。

(3) F3 :圆弧教导

功能 加入“ F02 ”或“ G03 ”码到 NC 程序。

第一次按 按此功能键(圆弧教导),CNC 自动填入圆弧中点的目前数值。

第二次按 按此功能键(圆弧教导),CNC 自动计算 G02 或 G03 ,并自动地将完整的程序加入 NC 程序。

(4) F4 :取消圆弧中点教导

功能 :在圆弧教导时 ,使用者可使用此键取消中点教导功能。

(5) F5 :删除行

功能 :当使用者使用教导功能 ,使用者能使用此“ 删除行 ”删除整行指令。

### 6.F7 :图形模拟( 见图 3-14 )

功能 :模拟工件程序验证所编辑程序是否正确。

操作方式 :在程序编辑画面下 ,按 F7。“ 图形模拟 ”相关功能说明如下 :

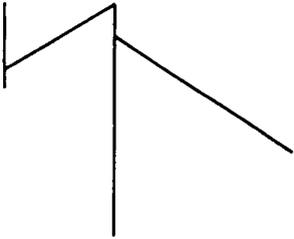
01010 L1	程序编辑	15:00:35	2001/02/01
Program:01010 Line:00001 Column: 1			: 01010 L10
		绝对坐标 X 10.000 Y -20.000 Z -5.000 (铣床测试程序 FOR G74) F1000. S500; G90; G00 X0. Y0. Z0. //M00; G18 G90; G98; G74 X0. Z0. Y-20. R-5.; // HOLE 1 X10.; // HOLE 2 X20. R-10.; // HOLE 3 G99 Z-10.; // HOLE 4 G98 G91 Z-10.; // HOLE 5 Z-10. Y-10.; // HOLE 5	
		就绪	自动执行
		报警	
步进	连续	放大缩小	
		回复	取消
		模拟参数设定	

图 3-14 图形模拟

#### (1)F1 :步进

功能 :模拟 NC 档一个单段一个单段地检查加工程序。

操作方式 :在程序编辑画面下 ,按 F7( 图形模拟 )接着按 F1“ 步进 ”,能使用此功能一个单段一个单段地检查 NC 程序。

#### (2)F2 :连续

功能 :自动模拟 NC 档。

操作方式 :在程序编辑画面下 ,按 F7( 图形模拟 )然后按 F2( 连续 ) ,能透过此功能去检查 NC 档加工整体的图形。

#### (3)F3 :放大缩小

功能 :放大缩小模拟图。

操作方式 :在程序编辑画面下 ,按 F7( 图形模拟 )然后再按 F3 放大缩小 ,操作者能利用“ ← ”;“ ↑ ”;“ → ”;“ ↓ ”光标去移动决定放大缩小范围的图框 ,接着使用“ Page Up ” Page Down ”键去放大这个局部范围。

#### (4)F5 :回复

功能 :回复已被局部放大的模拟图形。

(5)F6 取消

功能 取消模拟动作。

7.F8 程序管理

在程序编辑画面下,按 F8 就会出现图 3-15,使用方向键(↑、↓)去选择程序来编辑,按 ENTER 键后,程序的内容将被显示在屏幕上。

01010 L1		机台设定		14:58:36		2001/02/01	
剩余空间.....							
O0001 .....							
O1000 .....							
RS232 DNC Program							
				就绪		自动执行	
				警报			
开启新档	拷贝程序	删除程序	磁碟机输入	输出到磁碟机	RS232 输入	RS232 输出	

图 3-15 程序管理

相关功能说明如下：

1)F1 开启新档

操作方式 步骤 1 按下“开启新档”一个对话式视窗将显示在屏幕中,键入新的程序名接着按 ENTER 键。

步骤 2 :一个空的编辑画面将显示等待使用者输入新的程序。

2)F2 拷贝程序

操作方式 按 F2 后,一个对话式窗口显示在屏幕上,键入新的程序名接着按 ENTER 键,原来的程序将被拷贝以不同的程序名存入硬盘。

3)F3 删除程序

操作方式 按(↑、↓)选择一个程序删除,选择后将显示一个对话式视窗,确认已选择的程序。

4) F4 磁碟机(软驱)输入(见图 3-16)

功能:从软驱输入程序。

操作方式:插入一个磁盘到软驱,接着按 F4,从按(↑、↓、←、→)键选择一个程序名,按 ENTER 键从软驱中输入一个程序。

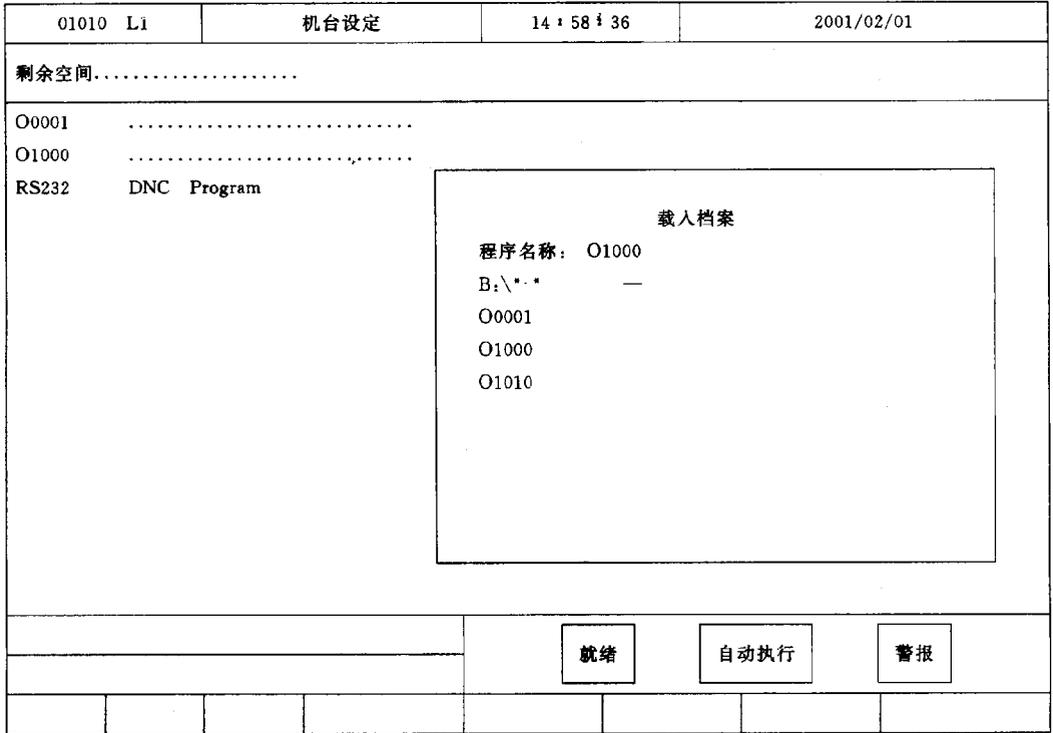


图 3-16 输入程序

1) 软盘格式是 ASCII 码。

2) 代 CNC 也能接受 \*.ZIP 格式,当从软盘输入资料时,CNC 也能自动地解压缩。

3) 如程序太大,也能使用更多的软盘输入 NC 文档,分割一个大的程序到一些软盘,接着输入相同的程序名从软盘到硬盘,这种方式添加程序并不复杂,这是很容易安装大程序的方式。

4) 可以从网络安装大容量程序。

5) F5 输出至软驱

功能:输出程序至软驱。

操作方式按(↑、↓)键选择一个程序,接着按 F5(输出到磁碟机),之后在屏幕中出现一个对话视窗,接着按 ENTER 键确认。

6) F6RS232 输入/F7RS232 输出

功能:使用 RS232 通信功能输入/输出 NC 程序

操作方式 :在提示对话框键入一个程序名。

## 五、F4 :执行加工画面

此功能显示加工速度、加工时间和手动指令输入( MDI)以及加工中常用的信息,如坐标显示、程序显示。进入本画面请按下主功能画面的 F4( 执行加工画面 )。其各功能如下 :

### 1. F1 :坐标显示

功能 :切换四大坐标系以及工件图形模拟路径显示与绝对坐标显示( 在屏幕的右上角 )

操作方式 :在‘ 执行加工 ’画面下 ,按下 F1( 坐标显示 )键 ,即出坐标系图形( 见图 3 - 17 )。

01010 L1		执行加工		14: 58 : 36		2001/02/01			
机械坐标 <b>X        0.000</b> <b>Y        0.000</b> <b>Z        0.000</b>				<加工状态> 加工时间 工件数 进给率 主轴转数 T 0 起始单节序号 MDI :					
相对坐标 X    0.000 Y    0.000 Z    0.000		绝对坐标 X   -100.000 Y   -50.000 Z     0.000		..... ..... ..... ..... .....					
				就绪		自动执行		警报	
坐标显示	图形调整	MDI 输入	加工参数设定	刀具设定					

图 3 - 17 坐标显示

### 2. F2 :图形调整( 见图 3 - 18 )

相关功能说明如下 :

#### ( 1 ) F1 :放大缩小

功能 :放大缩小工件图形。

操作方式 :在‘ 执行加工画面 ’下 ,按 P2 键接着按 n 键 ,操作者能使用光标去移动放大缩小的图框 ,去选定欲放大的范围。

#### ( 2 ) F2 :回复

功能 :回复之前被放大缩小的工件图形。

01010 L1		执行加工		14 : 58 : 36		2001/02/01			
相对坐标 <b>X        0.000</b> <b>Y        0.000</b> <b>Z        0.000</b>				〈加工状态〉 加工时间 工件数 进给率 主轴转速 T 0 起始单节序号 MDI :					
相对坐标 X    0.000 Y    0.000 Z    0.000		绝对坐标 X    -100.000 Y    -50.000 Z    0.000		F1000, S500. G90; G00X0. Y0. Z0. 0; /M0; G18;					
				就绪		自动执行		警报	
放大缩小		回复		模拟参数设定					

图 3-18 图形调整

操作方式 在“执行加工画面”下,按 F2 键(图形调整)接着按 F2 键(回复)。

### (3) F5 模拟参数设定

功能 设定模拟参数。

操作方式 在“执行加工画面”下,按 F2 键(图形调整)接着按 F5 键(模拟参数设定)。

### 3. F3 MDI 输入

功能 手动程序输入

操作方式 “执行加工”画面下,可以操作加工中心,此功能必须在 MDI 模式下,以便手动输入单段指令。待指令输入后,按下 F1 确定键,所输入的指令即出现在屏幕的右上方,此时只要在机械面板上按下启动键,即可执行此一行指令(见图 3-19)。

### 4. F4 加工参数设定(见图 3-20)

功能 设定工件数及需求工件数。

操作 从此屏幕使用者能设定所需的工件数。

1) 当 CNC 执行到 M02、M30、M99 时,工件数将自动地加一。

2) 件数达到需求工件数,CNC 就停止执行。

### 5. F5 刀具设定(见图 3-21)

功能 设定刀具补偿值。

操作方式 半径 G41/G42 刀具半径 D 补偿(非直径)。

半径磨损,刀具半径小尺寸调整。

刀长 G43/G44 刀具长度 H 补偿。

刀长磨损,刀具长度小尺寸调整。

01010 L1	执行加工	14 : 58 : 36	2001/02/01
相对坐标 <b>X        0.000</b> <b>Y        0.000</b> <b>Z        0.000</b>		〈加工状态〉 加工时间 工件数 进给率 主轴转数 T 0 起始单节序号 MDI :	
		..... ..... ..... ..... .....	
相对坐标                  绝对坐标 X    0.000                  X    -100.000 Y    0.000                  Y    -50.000 Z    0.000                  Z    0.000		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">就绪</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">自动执行</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">警报</div> </div>	
确定			

图 3-19 手动程序输入

## 六、F5 :警报显示画面( 见图 3-22 )

警报显示是当系统运作过程中或工件程序执行中,发生一些错误以致系统无法继续执行时,系统会发出警告信息,使用者可在‘警报显示’的画面中了解发生警报的原因进行排除。进入本画面请按主功能画面(图 3-4)下的 F5(警报显示)。

相关功能说明如下：

(1)F1 :现存警报

操作方式:在‘警报显示’画面下,按下 F1 键可显示目前系统所发生的警报。

(2)F2 :历来警报

操作方式:在‘警报显示’画面下,按下 F2 键可显示系统曾经发生的警报。

## 第四节 新代 MVC800 系统的加工实例

本节介绍如何一步一步的操作此控制器进行加工。

01010 L1		执行加工		14 : 58 : 36		2001/02/01	
相对坐标 <b>X        0.000</b> <b>Y        0.000</b> <b>Z        0.000</b>				<G 吗状态> ..... ..... <工件数设定> 累计加工时间 工件数        ..... 需求工件数			
相对坐标                  绝对坐标 X        -100.000        X        0.000 Y        -50.000        Y        0.000 Z        0.000        Z        0.000		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">就绪</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">自动执行</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">警报</div> </div>					
清除累计加工时间							

图 3-20 加工参数设定

## 一、原点回归

因为刀具设定及现工件坐标设定都要根据机械零点来设定,所以机械零点 CNC 机器被启动后,必须使用原点回归功能来确认。

操作方法(见图 3-23):

- 1) 旋开紧急停止开关, CNC 状态将由“未就绪”改变为“就绪”。
- 2) 将模式选择开关, 旋转至“原点回归模式”。
- 3) 按轴向键(X+, Y+, Z+), 被选择的轴将回归原点。
- 4) 可同时执行三轴回归。
- 5) 回归后, 机械坐标都为零。

回归完成后, 因行程限制有效, 所以回归前, 请不要过快移动机床。

## 二、功能(JOG, INC—JOG, MPG)

在开启新代控制器后, 有以下 3 种模式可以手动移动机床,

01010 L1		执行加工		14 : 58 : 36		2001/02/01			
相对坐标 <b>X      0.000</b> <b>Y      0.000</b> <b>Z      0.000</b>				输入模式(A:绝对; I:增量)      增量输入 (X-Z测量输入) (刀具补偿)					
				刀具直径      刀具磨损      刀具长度      刀长磨损					
相对坐标      绝对坐标 X      -100.000      X      0.000 Y      -50.000      Y      0.000 Z      0.000      Z      0.000				01 0.000      0.000      0.000      0.000 02 0.000      0.000      0.000      0.000 03 0.000      0.000      0.000      0.000 04 0.000      0.000      0.000      0.000 05 0.000      0.000      0.000      0.000 06 0.000      0.000      0.000      0.000 07 0.000      0.000      0.000      0.000 08 0.000      0.000      0.000      0.000					
				就绪		自动执行		警报	
清除 X 轴 相对坐标	清除 Y 轴 相对坐标	清除 Z 轴 相对坐标							

图 3-21 设定刀具补偿值

手动连动模式：

- 1) 旋开紧急停止开关 ,CNC 状态将由“未就绪”改变为“就绪”。
- 2) 将模式选择开关 旋转至“手动连动模式”。
- 3) 按轴向键 (X+ ,X- ,Y+ ,Y- ,Z+ ..... ) ,刀具将移动。
- 4) 操作者能使用点动倍率旋钮调整点动速度。
- 5) 操作者能同时按轴向键和快动键“ ~ ” 机器将快速移动。

手动点动模式：

- 1) 旋开紧急停止开关 ,CNC 状态将由“未就绪”改变为“就绪”。
- 2) 将模式选择开关 旋转至“手动点动模式”。
- 3) 按轴向键 (X+ ,X- ,Y+ ,Y- ,Z+ ..... ) 机床每次以一固定距离移动。
- 4) 操作者能从 G0%( \* 1 , \* 10 , \* 100 ) 旋钮来选择每次移动的固定距离。

MPC 手动点动模式 (MPG)：

- 1) 旋开紧急停止开关 ,CNC 状态将由“未就绪”改变为“就绪”。
- 2) 将模式选择开关 旋转至“MPG 手动点动模式”。
- 3) 选择欲移动轴。
- 4) 选择移动距离( \* 1 , \* 10 , \* 100 )。
- 5) 旋转手动转轮 (MPG ) 来移动刀具。

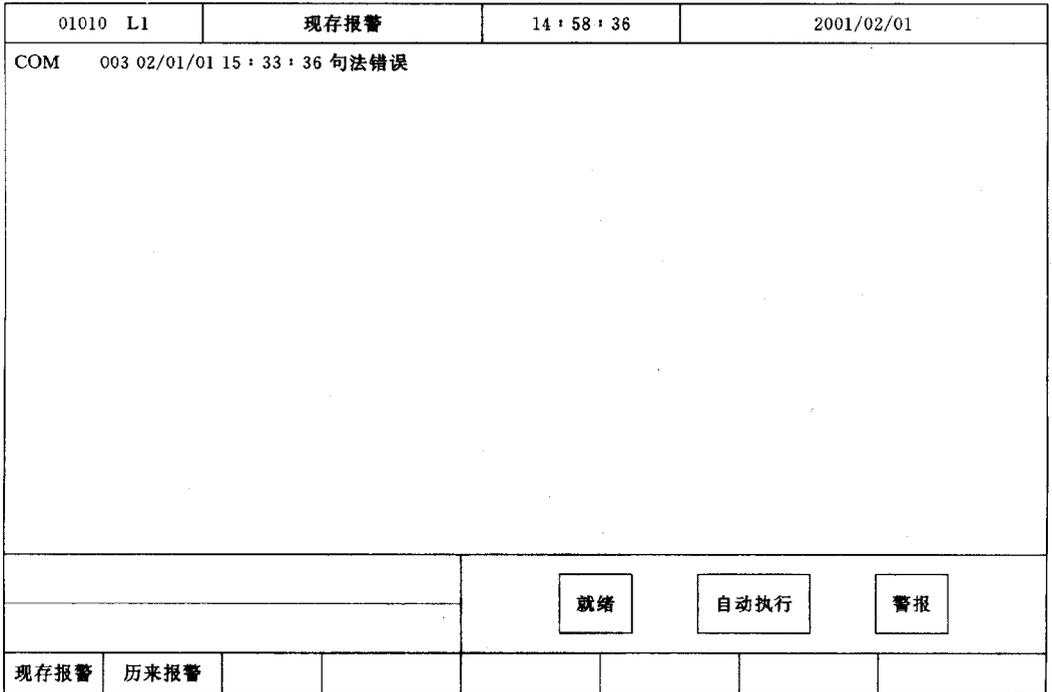


图 3-22 警报显示

### 三、开启程序(编辑/软驱/RS232)

操作方法：

- 1)按主画面底下的功能键“程序编辑”。
- 2)按子功能键“档案管理”。
- 3)屏幕中将显示程序系统。
- 4)按 F1(开启新档)开启一新程序。
- 5)按 F2(拷贝程序)拷贝目前所选的程序到目标程序。
- 6)按 F3(删除程序)删除目前所选的程序到目标程序。
- 7)按 F4(磁碟机输入)从软盘输入一个新文档。
- 8)按 F5(输出至磁碟机)输出目前所选的程序到软盘。
- 9)按 F6(RS232 输入)输入一个新文档到 RS232。
- 10)按 F7(RS232)输出目前所选的程序到 RS232。

### 四、刀具设定(G40/G41/G42。G43/G44/G49)

刀具设定程序(见图 3-24)：

01010 L1		机台设定		14 : 58 : 36		2001/02/01	
机械坐标				相对坐标			
<b>X</b>	<b>0.000</b>			X	0.000		
<b>Y</b>	<b>0.000</b>			Y	0.000		
<b>Z</b>	<b>0.000</b>			Z	0.000		
				绝对坐标			
				X	0.000		
				Y	0.000		
				Z	0.000		
				剩余距离			
进给速率				0.0 mm/min			
主轴转速				500 r/min			
				X	0.000		
				Y	0.000		
				Z	0.000		
				就绪		自动执行	
				警报			
坐标切换	1/2 坐标	清除坐标	相对坐标 全部清除	设定工件 坐标系统			

图 3-23 原点回归

- 1) 按主画面底下的功能键“ 执行加工画面 ”。
- 2) 按“ 刀具设定 ”键。
- 3) 利用换页键“ Page up/down ”或方向键“  $\uparrow$  ,  $\downarrow$  ,  $\leftarrow$  ,  $\rightarrow$  ”, 移动光标到欲改变数值的位置。
- 4) 键入“ A ”或“ I ”来选择输入型式“ 绝对值 ”或“ 增量值 ”。
- 5) 一般使用绝对值型式输入刀具半径补偿或刀具长度补偿。
- 6) 一般使用增量值型式输入刀具半径磨损补偿或刀具长度磨损补偿。
- 7) 刀具半径补偿 + 刀具半径磨损补偿为实际 G41/G42 补偿量。
- 8) 刀具长度补偿 + 刀具长度磨损补偿为实际 G43/G44 补偿量。

## 五、刀具长度测量( G43/G44/G49 )步骤

- 1) 使用手动操作移动基准刀具( T1 )直到接触特定位置。
- 2) 按主画面的“ 机台设定 ”功能键清除相对坐标为零。
- 3) 调用另一把刀具( T2 ), 使用手动操作移动 T2 直到接触 T1 的位置。记下此时的相

01010 L1		执行加工		14 : 58 : 36		2001/02/01																																	
<b>相对坐标</b> <b>X            0.000</b> <b>Y            0.000</b> <b>Z            0.000</b>				输入模式(A:绝对; I:增量)      增量输入 (X、Z 测量输入)																																			
				<刀具补正> <table border="1"> <thead> <tr> <th>刀具直径</th> <th>刀具磨损</th> <th>刀具长度</th> <th>刀长磨损</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01 0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>02 0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>03 0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>04 0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>05 0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>06 0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>07 0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>08 0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> </tbody> </table>				刀具直径	刀具磨损	刀具长度	刀长磨损	01 0.000	0.000	0.000	0.000	02 0.000	0.000	0.000	0.000	03 0.000	0.000	0.000	0.000	04 0.000	0.000	0.000	0.000	05 0.000	0.000	0.000	0.000	06 0.000	0.000	0.000	0.000	07 0.000	0.000	0.000	0.000
刀具直径	刀具磨损	刀具长度	刀长磨损																																				
01 0.000	0.000	0.000	0.000																																				
02 0.000	0.000	0.000	0.000																																				
03 0.000	0.000	0.000	0.000																																				
04 0.000	0.000	0.000	0.000																																				
05 0.000	0.000	0.000	0.000																																				
06 0.000	0.000	0.000	0.000																																				
07 0.000	0.000	0.000	0.000																																				
08 0.000	0.000	0.000	0.000																																				
<b>相对坐标</b> X    -100.000 Y    -50.000 Z     0.000		<b>绝对坐标</b> X    0.000 Y    0.000 Z    0.000		<table border="1"> <tr> <td>就绪</td> <td>自动执行</td> <td>警报</td> </tr> </table>				就绪	自动执行	警报																													
就绪	自动执行	警报																																					
清除 X 轴 相对坐标	清除 Y 轴 相对坐标	清除 Z 轴 相对坐标																																					

图 3-24 刀具参数设定

对坐标。

4)按主画面底下的“执行加工”功能键,接着按“刀具设定”画面。移动光标到 T2 的位置,将刚才记下的坐标输入。

## 六、设定工作坐标(G54...G59)(见图 3-25)

操作方法 按主画面的机台设定“功能”:

- 1)按子功能键“设定工作坐标”。
- 2)工作坐标设定荧幕由两个画面组成,按“Page up/Page Dn.”键切换到欲设定的画面。
- 3)可移动光标到欲改变数值的位置作数值更改。
- 4)在“外部坐标偏移”栏上输入数值,全部的工作坐标(G54~G59)将同步产生偏移。
- 5)F1“机械坐标自动设定”可使用此功能自动将目前机床所处位置的机械坐标显示在(G54~G59)的位置上。

## 七、手动程序输入(MDI)方法

- 1) 模式旋钮旋至“ MDI 加工模式 ”。
- 2) 按主画面底下的功能键“ 执行加工 ”。

01010 L1	机台设定		14 : 58 : 36	2001/02/01
外部坐标偏移	G54 设定	G55 设定	G56 设定	
X 0.000	X 100.000	X 0.000	X 0.000	
Y 0.000	Y 50.000	Y 0.000	Y 0.000	
Z 0.000	Z 0.000	Z 0.000	Z 0.000	
G57 设定	G58 设定	G59 设定	G59.1 设定	
X 0.000	X 0.000	X 0.000	X 0.000	
Y 0.000	Y 0.000	Y 0.000	Y 0.000	
Z 0.000	Z 0.000	Z 0.000	Z 0.000	
			就绪	自动执行
			警报	
机械坐标 自动设定				

图 3-25 设定工作坐标

- 3) 按子功能键“ MDI 输入 ”。
- 4) 屏幕中随即出现 MDI 输入对话框。
- 5) 输入想要输入的程序段接着按“ ENTER ”键。
- 6) 按第二操作面板的“ 启动 ”键可执行目前的单段程序。

## 八、自动执行 NC 程序的操作方法

- 1) 模式旋钮转至“ 自动模式 ”。
- 2) 确认 CNC 状态栏为“ 就绪 ”。
- 3) 按主画面底下的功能键“ 程序编辑 ”, 选择要执行的 NC 程序。
- 4) 按主画面底下的功能键“ 机台设定 ”, 然后执行的程序自动被指定。

5)按“ENTER”键即可。

## 九、图形模拟的操作方法

1)模式旋钮转至“自动模式”。

2)按主画面底下的“程序编辑”功能键,选择想要执行的 NC 程序,按画面下的“图形模拟”。

3)可使用“进步”来一步步的检查 NC 程序。

4)可使用“连续”来模拟出总图。

5)可使用“放大缩小”做更仔细的检查。

## 十、新代控制器下检查 NC 程序的操作方法

1)模式旋钮转至“自动模式”。

2)按主画面底下的功能键“执行加工”。

3)按“MPG 模拟”键(灯亮)。

4)按“启动”键,CNC 状态栏从“就绪”变为“加工中”。

5)刀具目前的状态为静止的。

6)旋转 MPG 手轮,此时机床沿着切削路径移动。

7)MPG 手轮转动愈快,机床移动愈快;MPG 手轮转动停止,机床移动便停止,操作者能从画面上看到光标模拟切削路径。

## 第四章 SINUMERIK 840D 加工中心

本章介绍德国西门子公司的 SINUMERIK840D 数控系统。SINUMERIK840D 数控系统功能强大,可控制多轴联动。FV-800 立式加工中心,选择了第四回转轴,具有 X、Y、Z、A 四轴联动功能。

**坐标系** 机床中使用右手笛卡尔直角坐标系(见图 4-1):

规定了大拇指、食指和中指的方向分别为 X、Y、Z 三个直角坐标轴的正方向。根据右手螺旋方法,可确定 A、B、C 三个旋转坐标的方向。对于立式加工中心,主轴方向定义为 Z 轴,工作台长度方向(纵向)为 X 轴,宽度方向(横向)为 Y 轴。下图中, $X_m$ 、 $Y_m$ 、 $Z_m$  的箭头方向为坐标轴的正方向(见图 4-2)。

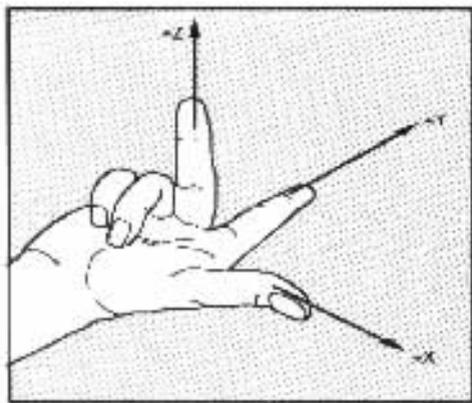


图 4-1 右手笛卡尔直角坐标系

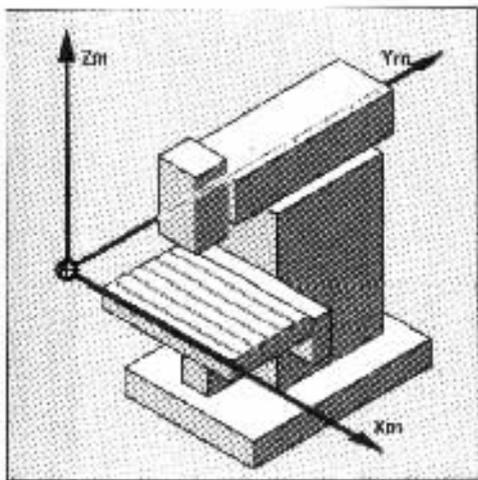


图 4-2 坐标轴的正方向

**机床坐标系(MCS)** 机床坐标系的原点定在机床零点,该点作为参考点,由机床生产厂家确定。 $X_m$ 、 $Y_m$ 、 $Z_m$  坐标系为机床坐标系(见图 4-3)。

**工件坐标系(WCS)** 为了编程方便,可相对机床坐标系的原点进行坐标平移,得到一编程原点,依规定形成工件(编程)坐标系。工件坐标系的零点(也称为编程原点)由编程人员自由选择。下图中  $X_w$ 、 $Y_w$ 、 $Z_w$  坐标系为工件坐标系(见图 4-3)。

**当前工件坐标系** 编程原点可重新偏置。编程人员可通过“可编程的零点偏置”指令相对于工件坐标系进行零点偏置,由此产生“当前工件坐标系”。上图中的  $X_a$ 、 $Y_a$ 、 $Z_a$  坐标

系为当前工件坐标系。

**机床参考点** 机床参考点是数控机床上一个固定基准点,又称机床零点。机床回参考点后,主轴锥孔大端中心所处的位置为机床坐标系的原点。

**刀具参考点** 刀具参考点又称为刀具零点,是主轴刀柄上的一个固定点,加工中心主轴取刀后,刀具零点即与主轴锥孔大端的中心重合。

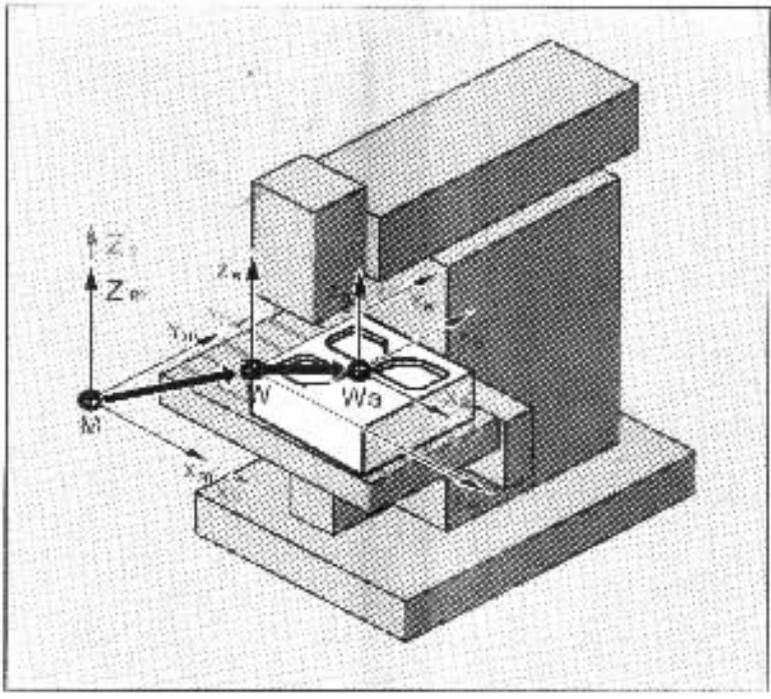


图 4-3 工件坐标系

**刀位点** 对于立铣刀、键槽铣刀等,是指刀具端面与其轴线的交点,钻头的刀位点为横刃与轴线的交点。

## 第一节 操作控制

### 一、操作面板 OP031 上的键功能

数控机床提供的各种功能可通过其控制面板操作来实现。控制面板一般分为数控系统操作面板和机床控制面板。图 4-4 为德国西门子公司 SINUMERIK840D 操作面板 OP031 和机床控制面板。

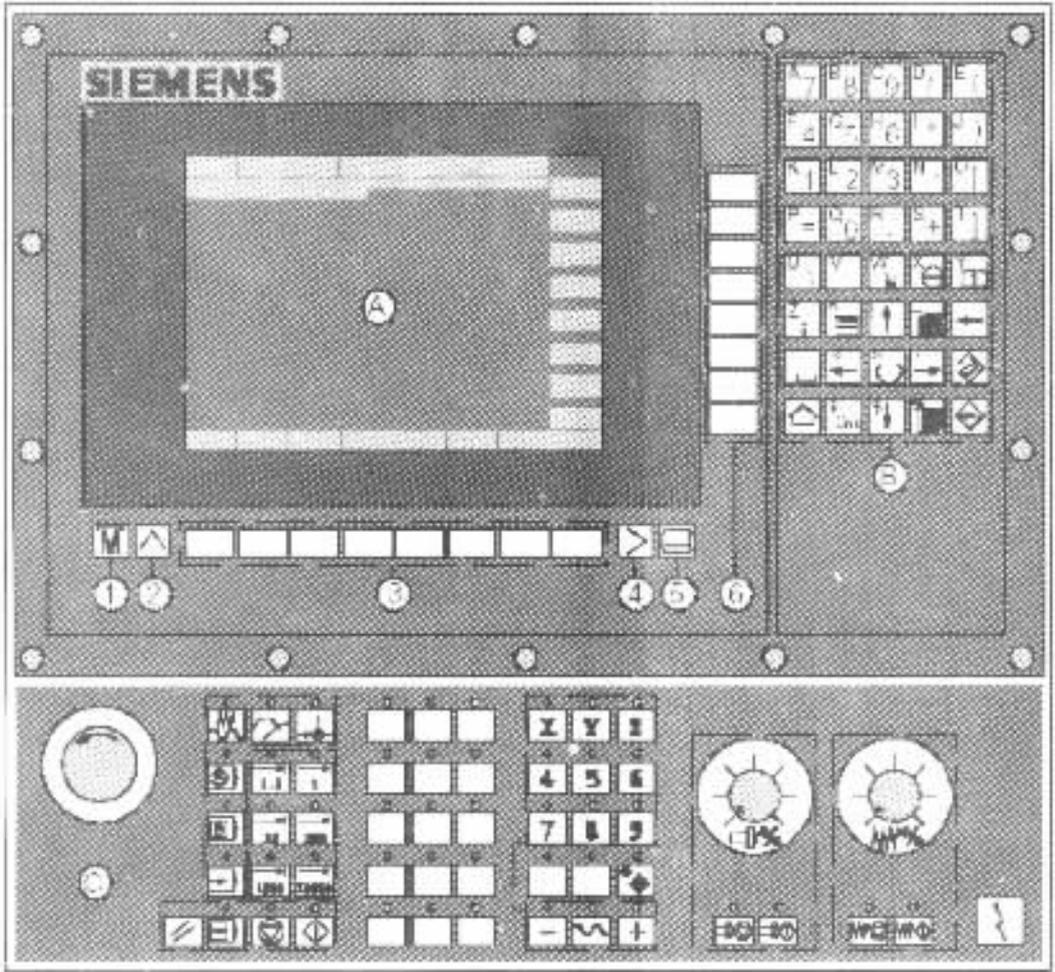


图 4-4 操作面板

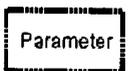
- A—显示屏 B—字母数字键和修改、光标控制键区 C—机床控制面板  
 1—加工区域键 2—返回键 3—软键(水平方向) 4—扩展键(菜单扩展)  
 5—区域转换键 6—软键(垂直方向)

## 二、操作键盘的键功能

键上符号的含义：

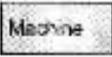


软键 按此键可进入相应的子菜单和选择菜单。



(水平或垂直方向)软键 操作区域主菜单。



加工区域键 :与  功能相同。



返回键 :返回到上一级菜单。



扩展键( 菜单扩展 ) :同一菜单下水平方向软键功能扩展。



区域转换键 :不管进入到何级子菜单 ,按一下此键可直接返回主菜单 ;再按一下又可回到原来的子菜单。



通道切换键。



报警应答键。



帮助信息键。



选择窗口键 :在几个窗口之间切换。



移动光标键。



向上翻页键。



删除字符键 :可删除位于光标左边的字符。



空格键。



选择键/触发键。



编辑/取消编辑键。



上档键。



行末键。



向下翻页键。



输入键:确认输入的数值,打开或关闭目录,打开程序。

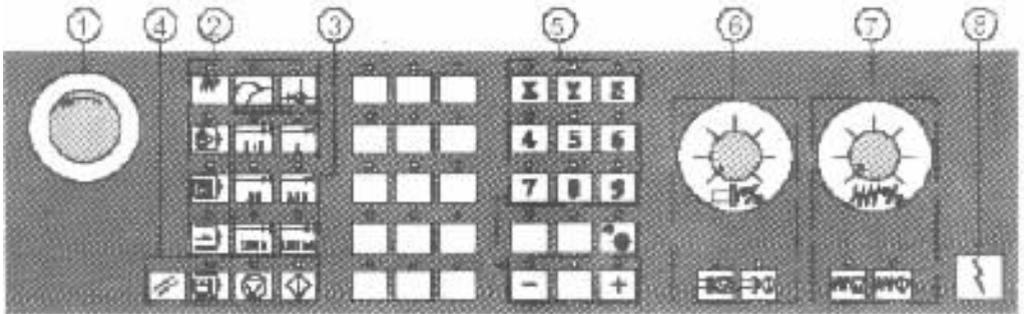
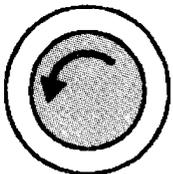


图 4-5 控制面板

### 三、外部机床控制面板上的键功能(见图 4-5)

#### 1. 急停按钮—



当加工过程中出现紧急情况时,可按下此按钮。

#### 2. 工作方式和加工功能



手动方式。



示教方式。  
MDA 方式(手动输入,自动运行)。



自动方式。



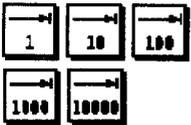
返回断点。



回参考点。  
3. 步进方式移动(增量)



步进增量设定。



步进增量选择 1 $\mu$ m, 10 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 1000 $\mu$ m, 10000 $\mu$ m。  
4. 程序控制



NC 起动脉键。



NC 停止键。



单程序段运行。



复位键。  
5. 坐标轴键



轴选择键。



方向键。



快速点动键。

6. 主轴控制



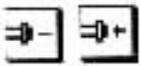
主轴转速倍率。



主轴停止。

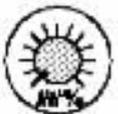


主轴起动。



主轴反转或正转。

7. 进给控制



进给/快速移动倍率。



进给停止。



进给起动。

8. 钥匙开关



### 四、图形用户界面(见图 4-6)

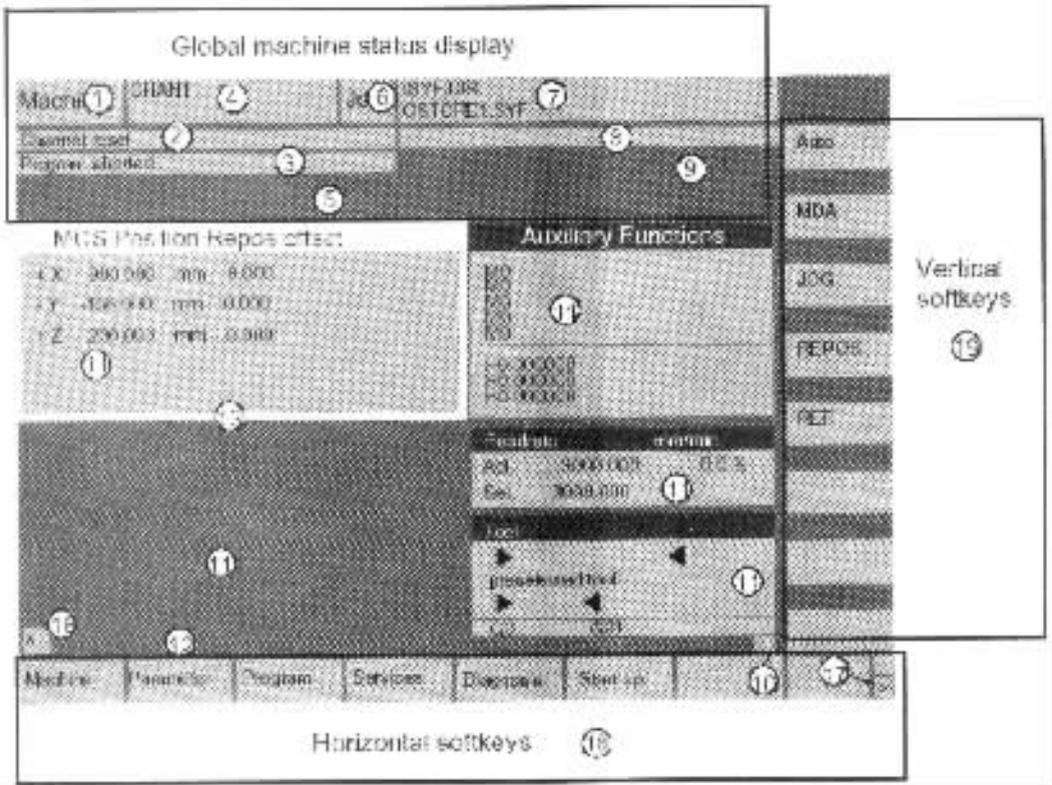


图 4-6 图形用户界面

图 4-6 画面说明 1—操作区域显示 2—通道状态 3—程序状态 4—通道和工作方式组  
 5—报警和提示行 6—工作方式显示 7—路径和程序名 8—通道操作信息 9—通道状态显示  
 10—工作区域窗口和 NC 显示 11—加工参数解释 12—带用户信息的对话行 13—聚焦框 16—返回键  
 17—扩展键 18—水平方向软键菜单栏 19—垂直方向软键菜单栏

### 五、操作区域

数控系统中的基本操作功能可划分为以下几个区域：

#### 1. 操作区域(见图 4-7)

MACHINE 部分程序控制及手动控制    PARAMETERS 编辑用于程序/刀具管理的数据

PROGRAM 程序的开发及调整    SERVICES 程序和数据的输入、输出

DIAGNOSIS 报警显示和服务显示    START-UP 用于调整机床及系统设置的数据

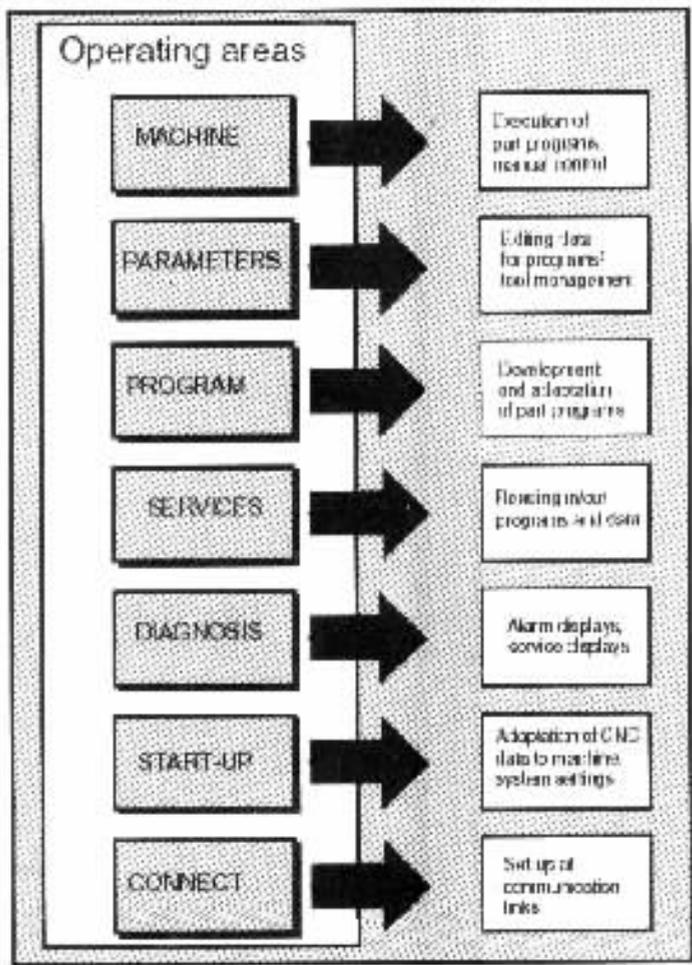


图 4-7 操作区域

CONNECT 设置通信连接

2. SINUMERIK840D 的主菜单(水平和垂直软键菜单)(见图 4-8)

使用“区域转换键”  可从任意一级菜单返回主菜单。当按下此键时,主菜单中有关操作区域的选项显示在水平方向的软键菜单栏内。

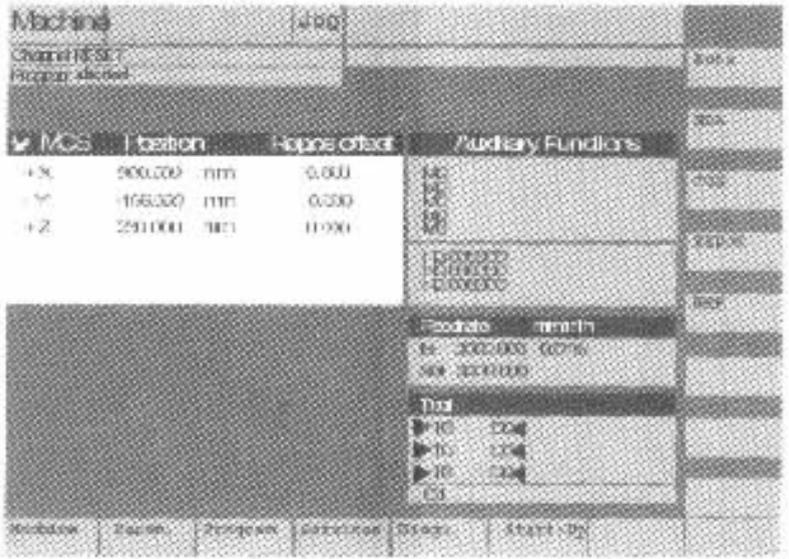


图 4-8 主菜单

## 六、操作方法



**区域切换键** :从任何一级菜单返回到数控系统的主菜单



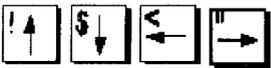
水平方向功能软键：

这些键将每个操作区域进一步划分为下一级菜单,每一个水平菜单有一个垂直菜单栏



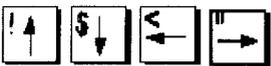
垂直方向功能软键：

在当前选定的水平菜单项之下确定功能



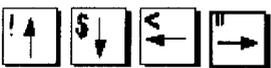
菜单窗口中的操作：

改变菜单窗口,将聚焦框切换到所选择的菜单窗口。



滚动菜单窗口中的内容：

向前或向后滚动一页。



在菜单窗口中移动光标；

在菜单窗口中把光标移到所需的位置。

目录树中的操作：



选目录/文件：  
移动光标到所要的目录或文件上。



打开/关闭目录：  
打开或关闭所选择的目录



打开文件：  
打开所要的文件。  
选文件 选择所要的文件。



选择几个文件 :同时按下上档键和'光标下移'键。



选择一个块的起端 :按下'光标上移'键或'光标下移'键时 ,就可选到相邻的文件。



选择或撤去对所选文件的选择。



注销所有的选择。

输入量/数值的编辑：

您若要对输入量/数值进行编辑 ,在输入区的右边常自动地显示出相应的键 ,下面是常用的输入区：



选择区 ,激活或不激活选择区。



输入区 进入输入方式。  
用数字键输入数值或字(例如 :文件名、类型等) ,



如果您一开始把光标放到输入区 ,您就自动地转到输入方式。每次都要用'输入'键确认您的输入 ,该数值被接受。



选择清单 :显示已选择的可能数值。打开选择清单。



移动光标。



每次都要用'输入'键确认你的输入 ,数值被接受。



不必显示出全部清单而转入选择清单中的下一个数值。  
确认/注销输入



确认输入：

保存输入并退出当前菜单(自动转到调用它的菜单)。



注销输入：

不接受输入值并退出当前菜单(自动转到调用它的菜单)。



不接受输入值并退出当前菜单(自动转入到上一级菜单)。



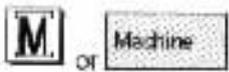
清除当前的输入值但保持当前菜单。

## 第二节 加工准备

### 一、开机和回参考点

接通加工中心电源 1 ~ 2min 左右,进入 CNC 系统图形用户界面,如出现报警“急停”,您可按箭头方向旋转急停按钮,再按复位键解除急停状态,此时,CNC 系统接通电源。机床参考点又称机床零点。系统上电后,必须进行回参考点操作。回机床参考点的目的是确认机床坐标系的零点。进行回参考点操作之前,在 Jog 手动方式下,使机床移动部件到达安全位置。

#### 操作步骤



选择“加工”操作区域。



选择“手动”方式。



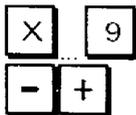
选择“回参考点”机床功能。



按机床操作面板上的主轴启动键和进给启动键



进给速度修调倍率开关调至 100%



用轴选择键配合以“+”方向键移动轴,一般 Z 轴应优先回参考点。选择 Z 轴,按一下“+”方向键,待显示屏参考点窗口出现 Z,表示 Z 轴已经回过参考点。然后 X、Y 或第四轴可同时进行回参考点操作,方法同 Z 轴。



在轴到达参考点之前,可用此键停止其运动。

所有坐标轴都到达参考点后,您可选择其它运行方式,如 Jos、Auto、MDA 结束该功能。

注意:

- 如果坐标轴尚未处在安全位置上,则将它们移动到安全位置。
- 当坐标轴未进行“回参考点”操作时,其坐标值是随机动态值,显示无效。
- 系统上电后,必须回参考点,这样零件加工程序才能被执行。
- 一般情况下,系统上电后只需回一次参考点。如果由于意外而按下紧急停止或硬限位超程等报警,则必须重新回一次参考点。

## 二、输入刀具补偿值

对于立式加工中心,刀具补偿值是指刀具长度补偿值 L1 和刀具半径补偿值 R。刀具补偿值可通过机外对刀仪测量获得。如无对刀仪,也可以通过机内试切对刀测量获得刀具补偿值,这种方法将在下一节中介绍。通过对刀仪测量可得到每把刀具的长度值和半径值。介绍如何将刀具的长度值和半径值输入到刀具参数存储器。

Parameter

选择“参数”操作区,进入子菜单页面(见图 4-9):

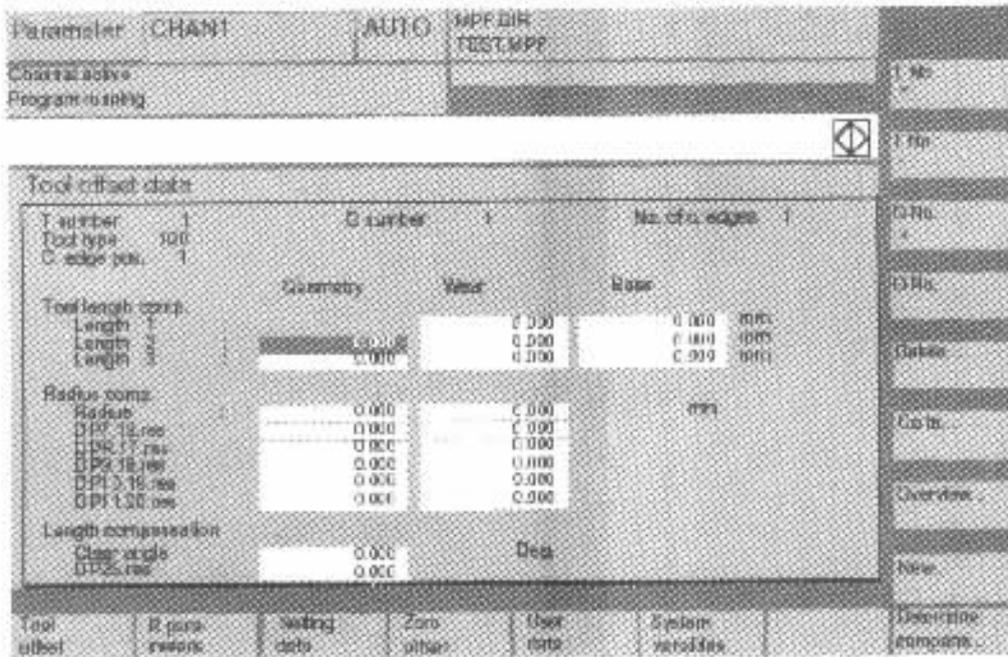


图 4-9 子菜单页面

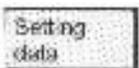
水平方向软键：



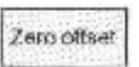
刀具补偿子菜单。



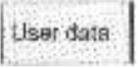
R 参数子菜单。



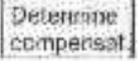
设定数据子菜单。



零点偏置子菜单。



用户数据子菜单。



刀具补偿测量。  
垂直方向软键



刀具(刀号 T)选择。



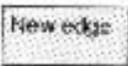
刀具补偿参数存储器(D号)选择。



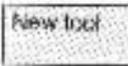
删除刀具号或刀具补偿存储器号。



寻找刀具。



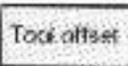
建立新刀沿参数存储器。



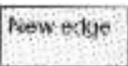
建立新刀具。

建立新刀具并输入刀具补偿值

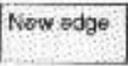
操作步骤



选择刀具补偿菜单。



选择此软键,出现一对话框,输入刀具号并定义刀具类型,此时刀具补偿参数存储器号默认值为 D1。



如有必要也可建立新的刀具补偿参数存储器号,如 D2、D3、...等,此时可输入刀具长度值 L1 和刀具半径值 R。

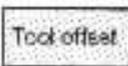


取消建立新刀具。

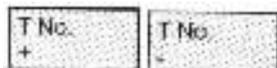


确认建立新刀具并退出对话框。

寻找刀具操作步骤:



选择刀具补偿菜单。



选择当前刀号渐高的或渐低的刀具号。

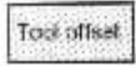
选择当前刀沿号渐高的或渐低的刀沿号。  
或按下此软键 输入刀具号。



确认刀具号的输入 ,显示此刀具补偿对话框 ,此时可输入新的刀具长度值和刀具半径值。



删除刀具操作步骤：  
选择刀具补偿菜单。



选择要删除的刀具号。



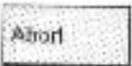
选择要删除刀具的刀补号。



按下“ 删除 ”软键。



取消删除。



确认删除。



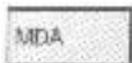
### 三、计算刀具补偿值

本内容将介绍如何通过机内试切对刀方法获得刀具参数补偿值。加工中心采用多把刀具自动加工时 ,刀具调用后 ,刀具长度补偿自动生效 ,数控系统自动进行刀具长度补偿。刀具的长度补偿值不一定是刀具的实际长度 ,但必须是相对于“ 基准刀具 ”的相对长度值。所以采用机内试切对刀时 ,为了对刀和计算的方便 ,常把其中一把刀具的长度补偿值 L1 设定为 0 ,这把刀具称为基准刀具。

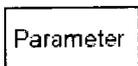
刀具的长度补偿值是该刀具与基准刀具的长度之差。

如果当前刀具的长度大于基准刀具的长度 ,则其长度补偿值为正值 ;反之 ,如果当前刀具的长度小于基准刀具的长度 ,则其长度补偿值为负值。

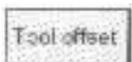
操作步骤：



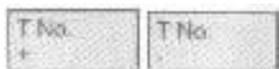
在 MDA 方式下 , 主轴换成基准刀具 , 或装上基准刀具。



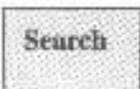
选择“参数”操作区。



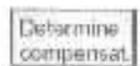
选择“刀具补偿”菜单。



选择基准刀具号或。输入基准刀具号 , 查找基准刀具 , 并输入长度补偿值为 0。在手动方式下 , 使基准刀具轻微碰到工件上表面 , 记录下 Z 轴的机床坐标值。主轴换成当前刀具 , 在手动方式下 , 使当前刀具轻微碰到



工件上表面。将光标置于所要的刀具长度参数 L1 上。



选择刀具补偿测量进入测量页面。



选择坐标轴 Z 并输入偏移值 基准刀具 Z 轴的机床坐标值。



数控系统根据当前坐标轴的位置和偏移值 , 自动计算出当前刀具的长度补偿值 L1。



取消并退出刀具测量页面。



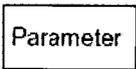
确认刀具长度补偿值 , 并退出刀具测量页面。

## 四、输入/变更零点偏置值

零点偏置值 在回机床参考点后 , 实际值存储器以及显示的机床坐标值均以机床零点为基准 , 而工件的加工程序则以编程零点(也叫工件零点)为基准 , 工件零点相对于机床

零点的偏移量称为零点偏置值。当工件装夹到机床工作台上后求出偏移量 ,可输入到规定的数据库( G54、G55、... )。

操作步骤

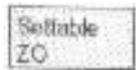


选择“参数”操作区。



选择“零点偏置”子菜单。选择零点偏置：

- 在“标号”区中 ,送入所要的零点偏置存储器号。
- 或将光标定位于所要的零点偏置存储器号上。



选择“可设定零点偏置”菜单 ,进入可设定零点偏置页面。



或按“确认”键 ,进入可设定零点偏置页面。

输入/变更零点偏移值：



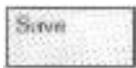
将光标定位于所要的域上。



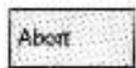
输入/变更新的数值。



用输入键确认。



必须保存零点偏移数值 ,否则输入值无效。



取消并返回上一级菜单。



接受输入值并返回上一级菜单。

## 五、确定/计算零点偏置值

零点偏置值通常是使用寻边器、Z轴设定器或三轴设定器来寻边和对高 ,并通过计算来获得的。精度要求不高时也可用刀具直接来寻边和对高 ,但易擦伤工件表面。

基本原理 寻边器的直径为 10.00mm(半径  $R = 5.00\text{mm}$ ),Z 轴设定器的高度为 50.00mm。

X、Y 轴方向的寻边(见图 4-10):

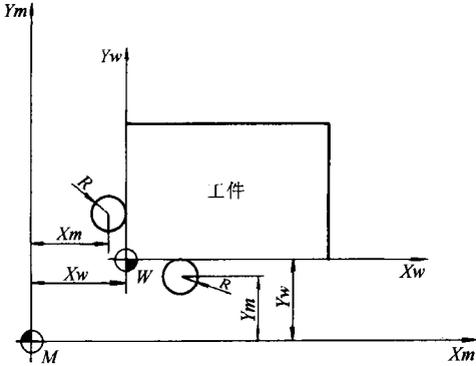


图 4-10 水平对刀

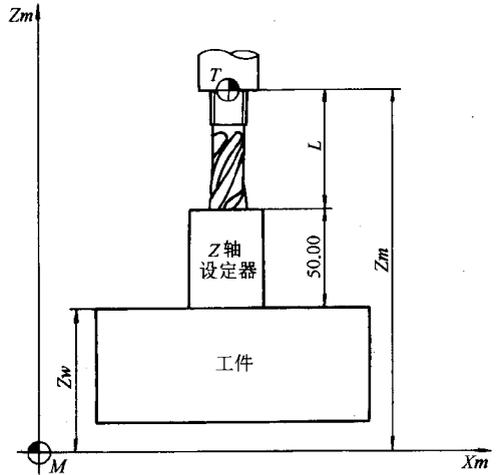


图 4-11 垂直对刀

假定工件零点 W 设定在工件的左下角,则

X 轴方向的零点偏移值  $X_w = X_m + R$

Y 轴方向的零点偏移值  $Y_w = Y_m + R$

Z 轴方向的设定(见图 4-11):

假定 Z 轴方向的工件零点设定在工件的上表面,则 Z 轴方向的零点偏移值  $Z_w = Z_m - L_1 - 50$ 。

前提条件:

刀具长度值  $L_1$  和半径值 R 已经测量并输入到相应的刀具参数存储器中。

操作步骤:

Parameter

选择“参数”操作区。

Zero offset

选择“零点偏置值”菜单。

选择零点偏置:

· 在“标号”区中,送入所要的零点偏置存储器号。

· 或将光标定位于所要的零点偏置存储器号上。

Settable  
Z0

选择“可设定零点偏置”菜单,进入可设定零点偏置页面。

确定零点偏置值:



选择‘确定零偏’菜单

将光标定位于所要偏置轴的域上 ,按此键切换到‘测量单元’窗口

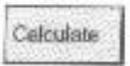
并在‘测量单元’窗口输入：

- 刀具号(T号)
- 刀沿号(D号)
- 相应的长度参数(1,2,3)和偏移方向(+,-,无)
- 半径值和偏移方向(+,-,无)
- 用户定义的偏移值和方向(+,-,无)



您可以用“选择”键选择长度参数类型(1,2,3)和(+,-,无)。

根据寻边器、Z轴设定器和刀具相对于工件的位置来确定“+、-”号。



计算可设定的零点偏置：

依据坐标轴位置和‘测量单元’窗口内输入的偏移值 ,计算出所选定的零点偏置参数值。



取消并返回上一级菜单。



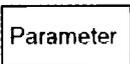
必须保存零点偏移值 ,否则输入值无效。



接受零点偏移值并返回上一级菜单。

## 六、编制设定数据

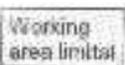
操作步骤：



选择‘参数’操作区。



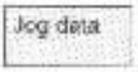
选择‘设定数据’菜单。



利用设定数据定义操作状态：

- 改变加工区域值。可限制刀具的运动范围 ,避免发生碰

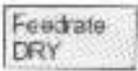
撞。



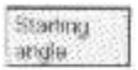
· 改变点动数据。可设定在 Jog 手动方式下的进给率。



· 改变主轴数据。可对主轴的转速和旋转方向进行设定。



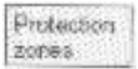
· 改变运行进给率。在自动方式中若选择空运行功能,则机床不按编程的进给率运行,而是执行此进给率。



· 改变螺纹切削的起始角。



· 显示各类辅助的设置数据。



· 选择保护区的等级。



把光标定位在所要求的范围,并改变数值。



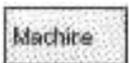
按输入键或者光标键确认输入。

## 第三节 手动操作

### 一、手动/点动—增量方式：

可使用手动/点动来移动坐标轴,在增量方式也可用电子手轮来移动坐标轴。

操作步骤



选择“加工”操作区域。



选“手动”方式或按机床操作面板上的  键；回参

考点”方式被撤销。

选择要移动的坐标轴。



选择要移动的方向，移动速度存于“设定数据”中。



如有必要可使用进给倍率旋钮开关改变移动速度。



同时按下坐标轴移动方向键和此“快进”键，可快速移动坐标轴。

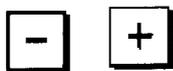


选择/输入增量方式的步长(“Inc”)：

按照确定的步长值(单位：/4m)移动坐标轴。



按一下则移动一个步长值或转动手轮一格，则移动一个步长值。



输入所要求的步长值。



按输入的步长值移动坐标轴。



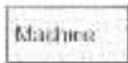
注意 进给倍率旋钮开关置于零时，不能移动坐标轴。可通过进给倍率开关修调移动速度。

## 二、MDA 方式

可使用 MDA 方式来换刀，也可执行一个小程序。

操作步骤：

选择“加工”操作区。





选“MDA”方式 输入一个或几个连续的 NC 程序段。  
确认输入。



保存程序到 MDA 缓冲器。如果没有输入程序名,则该程序以 OSTORE1.MPF 的程序名自动存入 MDA 缓冲器中。



可删除 MDA 缓冲器的程序。



执行 NC 程序段。



NC 停止键。



单程序段运行。



复位键。

### 三、手动主轴控制

可在手动方式下控制主轴的运行和停止。

操作步骤



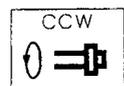
选择“加工”操作区域。



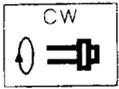
选“手动”方式或按机床操作面板上的  键。



按机床操作面板上的主轴启动键。



主轴正转。



主轴反转。



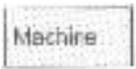
主轴停止。

注意 :手动主轴的转速依据以前的 S 指令值 ,也可在 MDA 方式下设定主轴的转速值 S ,此时可利用机床控制面板上的‘ 主轴速度倍率 ’旋钮选择主轴转速的 50% ~ 120%。

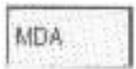
### 四、手动刀库控制

可在手动方式下取刀和装刀。

操作步骤



选择‘ 加工 ’操作区域。



选‘ MDA ’方式 ,输入所换刀号的 NC 程序段。



确认输入。



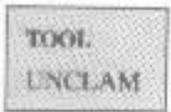
执行 NC 程序段 ,换刀。



复位键。

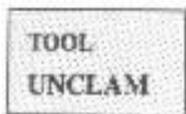


选‘ 手动 ’方式或按机床操作面板上的  键。



手动取刀 :

左手握住主轴内的刀柄 ,右手压住位于主轴头上方的松刀按钮不放 ,此时松刀气缸动作 ,顶住碟形弹簧 ,左手把刀柄取下。待左手把刀柄取下后可松开右手。



手动装刀：

左手握住刀柄放到主轴孔内,右手压住位于主轴头上方的松刀按钮不放,此时松刀气缸动作,顶住碟形弹簧,左手把刀柄插入。待左手把刀柄插入后才可松开右手。右手离开按钮后,用左手试着摇动手柄,以检测是否已经夹紧。确认刀柄已经夹紧后,左手才能离开刀柄。

## 第四节 程序管理

### 一、程序菜单页面

程序子菜单页面见图 4-12。

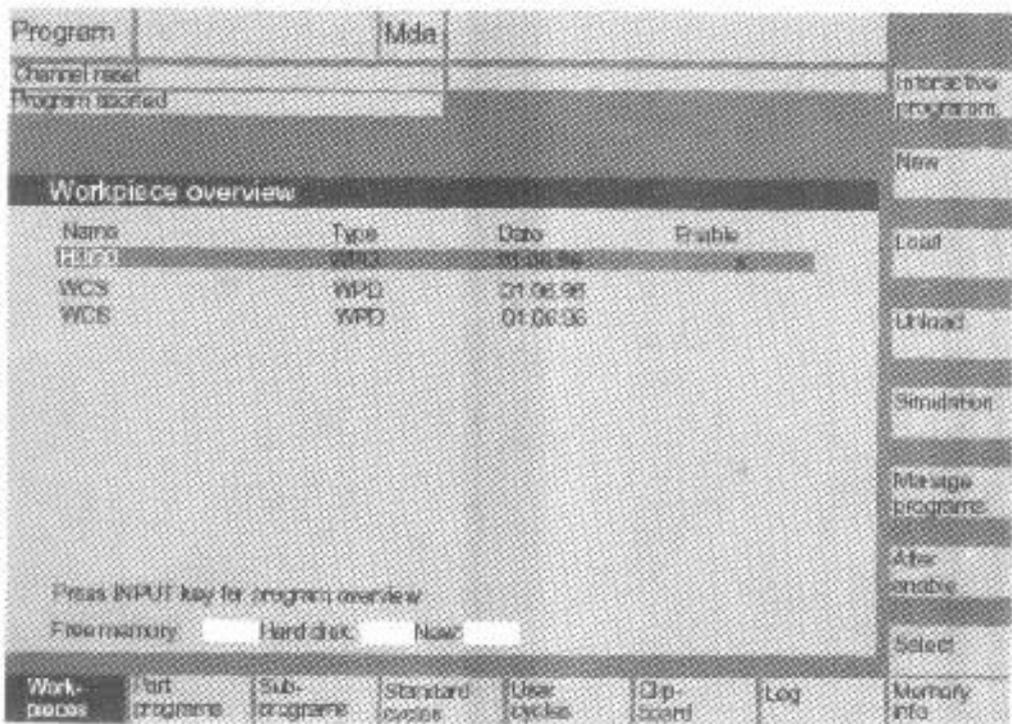


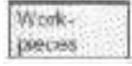
图 4-12 程序子菜单页面



选择“程序”操作区域。

选择工件/零件程序：

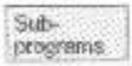
选择程序类型：



工件。



主程序。



子程序。



标准循环。



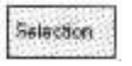
用户循环。



剪切板。



按下水平方向相应的软键,进入程序目录,将光标定位在目录树中所期望的程序名上,设置(×)或取消( )程序的使能。



选择要加工的零件程序。

## 二、打开/关闭程序

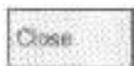
操作步骤：



选择“程序”操作区域。打开零件程序,选择程序类型,将光标定位在目录树中所要打开的程序名上。



按下“输入”键,即打开该程序,可进行编辑。



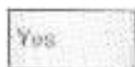
关闭程序编辑页面。



取消。



不保存编辑的程序并返回程序目录管理页面。



保存编辑的程序并返回程序目录管理页面。

### 三、建立新的工件/零件程序

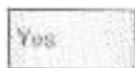
操作步骤：



选择“程序”操作区域。  
建立工件名：



选择工件子菜单。



输入工件名称。



移动光标选择程序类型：WPD。



取消建立工件名。



确认建立的工件名。建立工件程序：



选择“程序”操作区域。



选择工件子菜单 移动光标到工件名上。



打开该工件的程序目录。  
输入程序名。



移动光标选择程序类型 :主程序 :MPF。



取消建立工件程序。



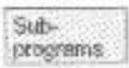
确认工件程序名并进入文本编辑窗口。  
建立零件程序：



选择“程序”操作区域。



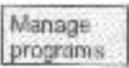
选择零件主程序。



选择子程序。



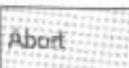
输入主程序或子程序的名称。



移动光标选择程序类型 :主程序 :MPF 子程序 :SPF。

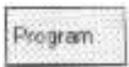


取消建立零件程序。



确认零件程序名并进入文本编辑窗口。

#### 四、编辑/修改程序操作步骤



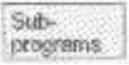
选择“程序”操作区域。  
选择程序类型：

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Workpiece" is written in a sans-serif font, with "piece" on the second line.

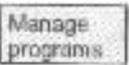
进入工件目录菜单 移动光标到所期望的工件上 ,按' 输入 '键打开工件程序目录。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Part programs" is written in a sans-serif font, with "programs" on the second line.

进入零件程序目录。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Sub-programs" is written in a sans-serif font, with "programs" on the second line.

进入子程序目录。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Manage programs" is written in a sans-serif font, with "programs" on the second line.

移动光标定位在所编辑或修改的程序名上。



打开程序 ,同时文本编辑器被激活。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Position" is written in a sans-serif font.

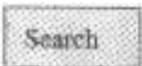
定位行号 ,程序开始( 1 ) 程序终了( 0 )。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Overwrite" is written in a sans-serif font.

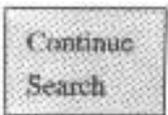
插入和覆盖方式切换。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Setmark" is written in a sans-serif font.

选择程序段。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Search" is written in a sans-serif font.

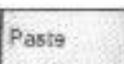
搜索程序段。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Continue Search" is written in a sans-serif font, with "Search" on the second line.

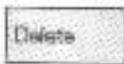
继续搜索。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Copy" is written in a sans-serif font.

保存程序段到剪切板中。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Paste" is written in a sans-serif font.

粘贴剪切板中的程序段。

A rectangular button with a light gray background and a thin border. The text "Delete" is written in a sans-serif font.

删除程序段。



关闭程序。



取消关闭。



不保存编辑的程序并返回程序目录管理页面。



保存编辑的程序并返回程序目录管理页面。

### 五、复制/粘贴、改名、删除

操作步骤：



选择“程序”操作区域。



按垂直菜单“程序管理”软键。



选择程序类型，定位光标到目录树中所期望的程序名上。  
复制/粘贴程序：



选择源程序，按 COPY 软键。



移动光标到目标目录，按此键，将源程序存到目标目录中，此时可重新命名程序名和程序类型。



取消程序复制。



确认零件程序的复制。  
程序改名



选择程序类型，定位光标到目录树中所期望的程序名上。



按'改名'软键,重新命名程序名。



用光标键选择程序类型。

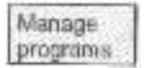


取消程序改名。



确认零件程序的改名。

删除程序：



选择程序类型,定位光标到目录树中所期望的程序名上。



从目录中删去程序。



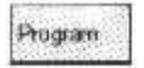
取消删除程序。



确认零件程序的删除。

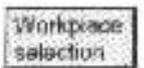
## 六、运行工件/零件程序

操作步骤



选择'程序'操作区。

选择加工件：

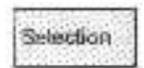


把光标定位在所要的工件上,选择要加工的工件名。

选择零件程序,选择所要的类型



把光标定位在所要程序上。



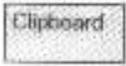
选择要加工的零件程序。



选择自动方式。



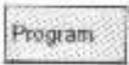
起动工件/零件程序。



也可直接从剪切板中运行零件程序。

## 七、程序的装载/卸载

### 操作步骤



选择“程序”操作区域,定位光标到目录树中所要的程序上。



将程序装入 CNC 存储器。



将程序保存到硬盘。

注意:当你激活“装载”命令,程序自动从硬盘上删除,当你激活“卸载”命令,程序自动从 CNC 存储器中清除。

## 八、传送数据和程序

服务主菜单页面见图 4-13。

先要根据 SINUMERIK 840D 的规定进行通信协议设定(可查阅有关手册),然后利用 PCIN 通信软件传送数据。

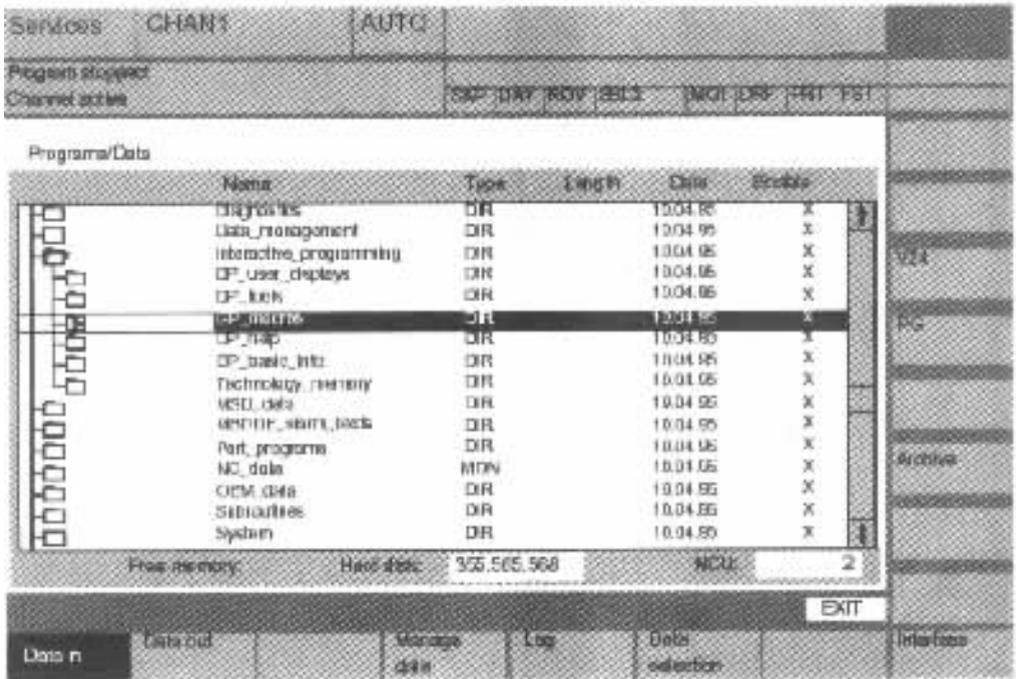


图 4-13 服务主菜单页面

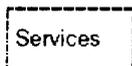


设置通信协议。

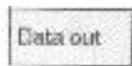


保存设置。

操作步骤



选择“服务”操作区域。



读出数据：



选“程序/数据”菜单。



打开该目录。



选目录树中的数据或程序。

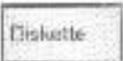
选目标区：



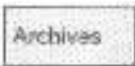
V24 接口。



编辑器。



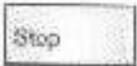
软盘驱动器。

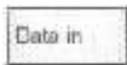


从硬盘上“获取”。

起动传送：

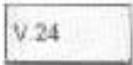
按垂直菜单栏内相应的软键 ,起动数据传送 ,同时此软键的菜单文字

改变为  “停止”。



读入数据：

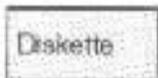
选择“程序/数据”菜单目录 ,选择目录树中的数据或程序。选择源区域：



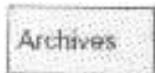
V24 接口。



编辑器。



软盘驱动器。



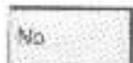
从硬盘上“获取”。

起动传送 :按垂直菜单栏内相应的软键 ,起动数据传送 ,同时此

软键的菜单文字改变为  “停止”数据传送是自动起动的。

您可以在任何时刻中断数据传送 ,只要再按一次此软键即可。

不保存传送的程序。





保存传送的程序。

## 第五节 自动方式

### 一、选择工件程序

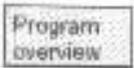
操作步骤：



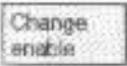
选择“加工”操作区域。



选择“自动”方式。



选择“程序概貌”菜单,定位光标在目录树上所要的工件上。



设置(×)程序释放。



打开/关闭此工件的程序目录。



移动光标到所要加工的工件程序上。



选择要执行的程序,同时该程序被装入 CNC 存储器,被选择的程序名显示在屏幕区“程序名”的位置。



返回到上一级菜单(“加工”操作区域)。

## 二、启动/停止/取消程序

自动方式加工的菜单页面见图 4-14。

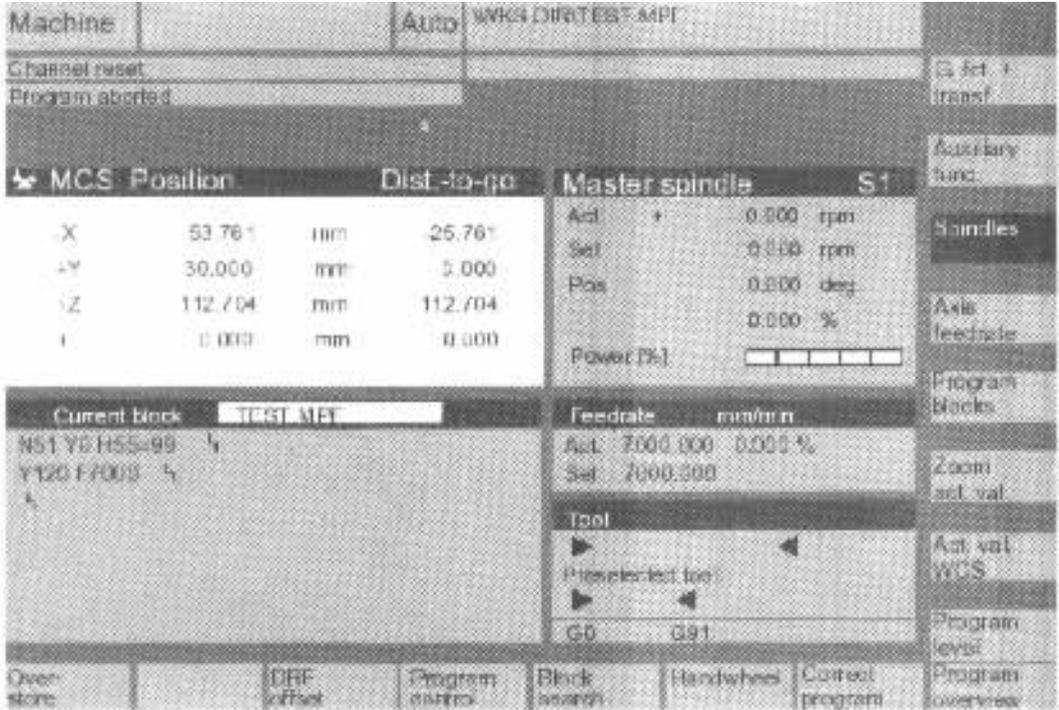
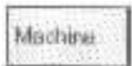


图 4-14 自动方式菜单

### 操作步骤



选择“加工”操作区域。

选择自动方式

请核对：

- 1) 当前无报警，
- 2) 程序已选好，
- 3) 进给使能已具备，
- 4) 主轴使能已具备。



进入程序控制页面窗口。

移动光标到所期望的运行状态上：

SKP 程序段跳越

DRY 试车空运行

ROV 快速修调

SBL1 单段 1 停于每个加工功能段后

SBL2 单段 2 停于每个程序段后

M01 选择停止

DRF 增量零点偏置

PRT 程序测试



按选择键触发该运行状态。



确认所选的运行状态,同时在屏幕区“通道状态显示”处显示所选的运行状态。



起动零件程序。



停止零件程序。



取消零件程序(复位)。

注意:用“NC 停止”键中断的零件程序,可用“NC 起动”键来继续运行程序。用“复位”键中断的零件程序,当你按“NC 起动”键时,将从头开始运行程序。

### 三、中断后的重定位

程序中中断后(“NC 停止”)你可用手动方式从加工轮廓退出刀具。控制器将中断点坐标保存,并能显示离开轮廓的坐标值。

操作步骤：



选择“加工”操作区域。



选择“手动”方式(退出刀具)。



程序中断后的重新定位。



选择要移动的坐标轴。



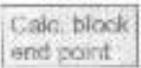
选择要移动的方向并使其返回到接近中断点的位置。



选择“自动”方式。



搜索中断点。



计算程序中断点。



按启动键使刀具返回到中断点的位置。



如需继续加工再按 NC 启动键。

注意 返回中断点时进给倍率修调开关应旋至较小位置 ,以防碰撞发生事故。

## 四、覆盖存储

### 操作步骤



选择“加工”操作区域。



选择“自动”方式。  
单个程序段覆盖存储功能：



程序自动停在下一程序段的边界上。



输入要执行的数值和功能。



运行输入的程序段。  
非单个程序段覆盖存储功能：



停止零件程序运行。



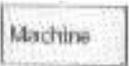
输入要执行的数值和功能。



运行输入的程序段。

## 五、显示程序级

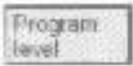
操作步骤



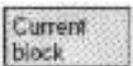
选择“加工”操作区域。



选择“自动”方式。



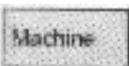
显示主程序的程序段号和相应子程序及其执行的次数(P)。



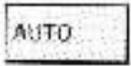
显示当前程序的程序段。按下“程序级”软键时，“当前程序段”显示窗口自动变为“程序嵌套级”显示。

## 六、程序的纠错

操作步骤



选择“加工”操作区域。



选择“自动”方式。



改正有错误的程序段。



返回到上一级菜单。



继续加工。

## 七、从硬盘中装/卸载程序

操作步骤：



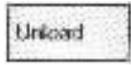
选择“加工”操作区域。



选择“程序概貌”菜单，定位光标在目录树上所要求的程序上。



“装载”程序从硬盘装入 CNC 存储器中。



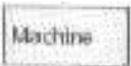
“卸载”将程序保存到硬盘上。

注意：当你激活“装载”时，程序就自动从硬磁盘中删除。当你激活“卸载”时，程序自动从 CNC 存储器中清除。

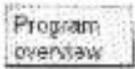
## 八、从硬盘执行程序

当程序长度较长，缓冲存储器装不下该程序时，可从硬盘起动执行该程序。

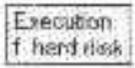
操作步骤：



选择“加工”操作区域。



选择“程序概貌”菜单,定位光标在目录树上所要求的程序上。



起动程序的读入和执行,此时部分程序被装入缓冲存储器并被自动选择,且显示在程序选择栏内。当缓冲存储器的程序被处理后,程序被自动再装入。



返回到上一级菜单:“加工”操作区域。



按“NC 起动”键开始执行程序,程序被连续装入,无论是程序运行结束,还是按“复位”键,程序都自动从控制系统退出。进行“从硬盘执行”的操作时,程序仍然保存于硬盘上。

## 第六节 报警和信息

### 一、报警和信息

报警诊断子菜单页面见图 4-15。

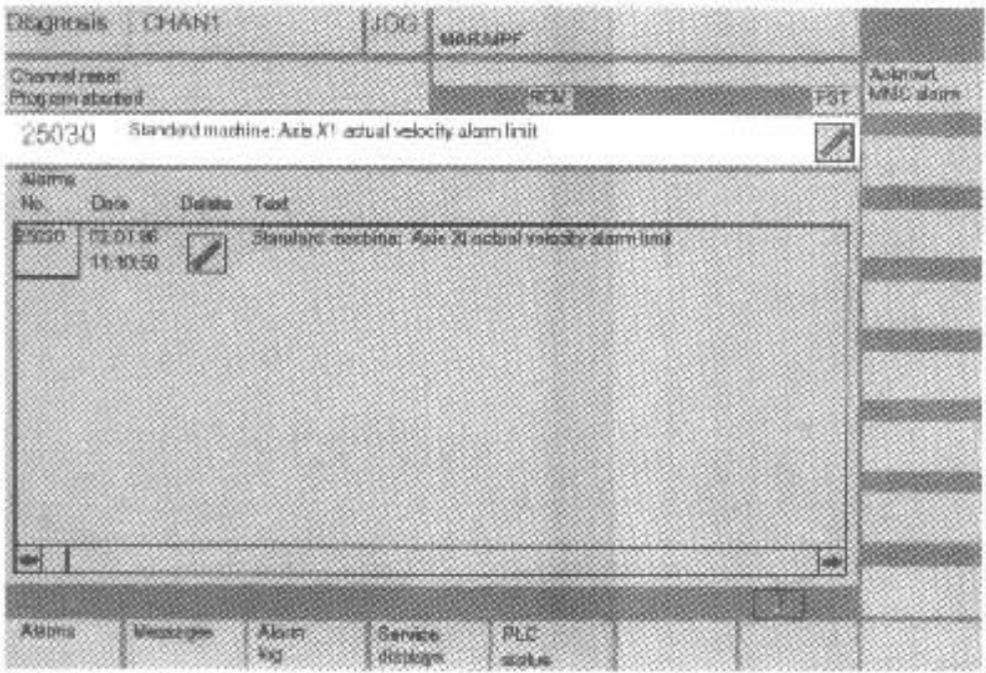


图 4-15 报警诊断子菜单页面



选择“诊断”操作区域。

显示报警：

显示报警内容包括：“报警号”、“日期及时间”、“解释”及“删除方法”。

删除报警：



控制器断电再通电。



按复位键。



按“报警应答键”。

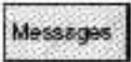


“NC 启动”时,报警被删除。



用“返回”键删除报警。

显示信息：

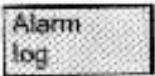


显示 PLC 出错提示和 PLC 操作提示。

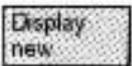
注意：

PLC 出错提示需要确认。

显示报警记录：



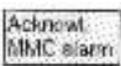
显示全部已经发生过的报警和提示的记录。



刷新报警记录。



PLC 状态。



选择和删除 MMC 报警。

## 第五章 线切割加工

线切割加工也是一种新的工艺形式,采用电极丝(钼丝、钨钼丝)作为工具电极,在脉冲电源作用下,工具电极和加工工件之间形成火花放电,火花通道产生大量的热,使得工件表面熔化甚至气化。线切割机床通过 X—Y 拖板和 U—V 拖板的运动,使电极丝沿着预定的轨迹运动,从而达到加工工件的目的。线切割机床应用很广泛,目前在模具加工、特殊加工场合、难加工材料加工方面已经得到广泛应用。电火花线切割机床的类型很多,下面介绍国内的 DK7725E 机床,它是高速走丝、微型计算机控制的全数控四轴联动机床。

### 第一节 线切割机床的结构、功能及应用

#### 一、DK7725E 线切割机床的结构及各部分的功能

##### (一) 线切割机床的结构

###### 1. 床身部分

床身是坐标工作台、绕丝机构及丝架的支承和固定的基础。

###### 2. 坐标工作台部分

线切割最终是通过坐标工作台与电极丝的相对运动来完成对零件加工的。一般都采用“十”字拖板、滚动导轨和丝杠传动副将电动机旋转运动变为图形曲线轨迹。为保证精度,丝杠和螺母之间必须消除间隙。

###### 3. 走丝机构

走丝机构包含绕丝筒、导电块、导向器、挡丝棒及上下丝架,在运行过程中,电极丝依靠导轮保持电极丝与工作台垂直。各部分功能如下:

1) 运丝电动机 为绕丝筒高低速运转提供动力。

2) X—Y 拖板及步进电动机 使电极丝沿着预定的轨迹运动,完成工件的加工。

3) 上丝、紧丝电动机 把钼丝从丝盘均匀地绕在绕丝筒上加以张紧。

4) 丝架、U—V 拖板 调整电极丝相对与工作台的垂直度。

5) 导轮、导电块、挡丝棒 电极丝走丝时的导向作用,以及电极丝的导电作用。

6) BKDC 控制机 全自动控制,包括计算机编程、控制及运行。

## (二) BKDC 控制机的主要控制功能

- 1) 控制轴数 X、Y、U、V 四轴联动控制。
- 2) 最小设定及移动单位 0.001mm。
- 3) 线径补偿 0~9.999mm。
- 4) 编程方式 ISO、3B 或 DXF 代码。
- 5) 定位方式 自动对边、自动找正孔中心、钼丝自动回垂直。
- 6) 切割方向 正向或反向。
- 7) 实时控制 短路处理(自动回退)、断丝处理(返回切割起始点或断丝点穿丝后继续加工)、加工停电处理(全状态记忆、可恢复加工)。

## 二、线切割加工的应用范围

线切割加工为新产品试制、精密零件、难加工材料及模具制造开辟了一条新的工艺途径,主要应用于以下几个方面:

- 1) 加工电火花成型用的电极 一般带有小孔或锥度的电极,用线切割加工特别经济方便,电火花成型机加工用的电极的放电间隙(尺寸大小)通过钼丝线径补偿可轻松得到,同时也适用于加工微细复杂的电极。
- 2) 加工模具 适用于加工冲模、注塑模,调整不同的线径补偿量,一次切割就可以切割凸模等,运用轨迹跳步,可一次性把所有的顶杆孔切割出来,并保证其顶杆孔的相对位置精度。
- 3) 加工零件 在某些难加工材料方面,特别是淬火材料,用线切割加工特别有效。加工薄件或窄缝时,考虑刀具和变形的因素,用线切割加工可消除此因素。另外,线切割加工还用在试制新产品,这样可大大的缩短制造周期,降低成本。

## 第二节 线切割加工的程序编制

### 一、ISO 代码

线切割加工的编程,手工编程和自动编程两大类,根据指令格式主要有以下两种:

- 1) 3B 指令(个别扩充为 4B 或 5B)格式。
- 2) ISO 指令格式(国际通用代码)。

由于我国生产的线切割控制系统逐步已采用 ISO 代码,故下面介绍 ISO 编程。

## (一) G 功能代码

系统共有很多种代码,移动类代码(模态有效)同前一行代码相同时可省略,除暂停类代码以外,其余代码全程有效,直至被同类代码取代为止。

### 1. 编程方式类

1) G90 绝对编程方式。

2) G91 增量编程方式。

### 2. 移动类代码

1) G01 线性插补

格式: G01 X—Y—U—V—

加工速度从起点运行至终点, X、Y、U、V 四轴联动作线性插补。

2) G02 顺时针圆弧插补

格式: G02 X—Y—I—J—

以加工速度从起点运行至终点, X、Y 为终点坐标, I、J 为圆心相对于起点坐标(与绝对编程和相对编程无关)。

3) G03 逆时针圆弧插补(同 G02)。

### 3. 斜度类

G27 常态加工(无锥度加工)

格式: G27

G28 用恒锥度加工

格式: G28 Aa a 从 -45000 至 +45000(即正负 45°)。

在加工轨迹的几何段上,电极丝只在加工轨迹法线方向倾斜,且倾角为  $a$ ,在几何段相交点处,电极丝将沿一个圆锥面运动,以保证恒定锥度和光滑地转到下一个几何段。沿着加工轨迹看,铝丝向右倾斜时,  $a$  大于零,钻丝向左倾斜时,  $a$  小于零。

G29 尖角锥度加工

格式: G29 Aa

在加工轨迹的几何段上, G29 使电极丝倾角在加工轨迹方向连续变化,在加工轨迹法线方向保持恒值  $a$ ,使得在几何段相交点处电极丝倾角等于下一个几何段起点之倾角。

### 4. 线径补偿类

1) G40 取消线径补偿

格式: G40

2) G41 线径左补偿

格式: G41 Dd

3) G42 线径右补偿

格式: G42 Dd

顺着切割轨迹方向看,当铝丝在工件的左边为左补偿(G41),反之为右补偿(G42)。

### 5 偏移方式类

- 1) G45 相交过渡方式。
- 2) G46 自动圆弧过渡补偿方式。
- 6 单位类
  - 1) G70 英制单位。
  - 2) G71 公制单位。
- 7 铝丝穿丝点
  - G92 定义工件坐标。

## (二) M 功能代码

- 1) M00 停止加工关脉冲电源,出现提示“ Press enter to continue cut ”,用户按 ENTER 键后系统恢复加工。
  - 2) M02 加工结束关运丝电动机、工作液泵及脉冲电源,切割结束。
  - 3) M20 开运丝电动机、工作液泵及加工电源。
  - 4) M21 关运丝电动机、工作液泵及加工电源。
- 手工编程举例(见图 5-1):

图形分析 图 5-1 为一模具型腔中的镶件,根据图形可看出此镶件带有两个小孔(顶杆孔),此项杆孔的位置和尺寸精度都很高,所以需用轨迹跳步,把孔和外形一次性切割出来,钢丝采用  $\phi 0.18\text{mm}$ 。

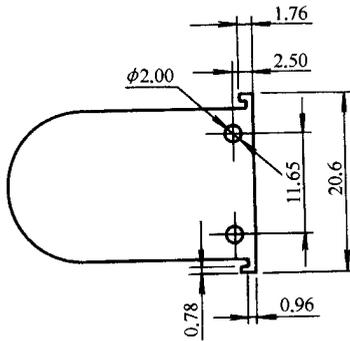


图 5-1 模具型腔镶件

线径补偿分析:由于此工件为型腔的镶件,所以在尺寸方面很重要;又因为此工件上带有顶杆孔,此孔需与顶杆配合,如孔大,则配合有间隙(打模时会发生溢料),反之则会不能配合。因此根据型腔和顶杆的尺寸来决定钼丝的补偿量。镶件的外形的补偿量为 0.11,顶杆孔的补偿量为 0.105。

切割的顺序:利用轨迹跳步把此镶件一次性切割,具体顺序如下:第一步,先切割两顶杆孔,第二步,切割外形。

程序编制:

```
N0010 G92X231298Y210221
```

```
N0015 G01 X231745
```

N0020 X232193  
N0025 G02 X232193 Y210221 I - 895 J0  
N0030 G01 X231298 切割顶杆孔  
N0035 M21 关运丝电动机、工作液泵及加工电源  
N0040 M00 停止加工,关脉冲电源  
N0045 G00 X231297 Y198571 跳步  
N0050 M00  
N0055 M20  
N0060 G01 X231745  
N0065 X232192  
N0070 G02 X232192 Y198571 I - 895 J0  
N0075 G01 X231297  
N0080 M21  
N0085 M00  
N0090 G00 X235270 Y214599  
N0095 M00  
N0100 M20  
N0105 G01 X234589 Y214599  
N0110 X233908 Y214599  
N0115 X233907 Y194096  
N0120 G02 X233797 Y193986 I - 109 J0  
N0125 G01 X232037  
N0130 G02 X231927 Y194096 I0 J110  
N0135 G01 X231927 Y194876  
N0140 G02 X232037 Y194986 I109 J0  
N0145 G01 X232728  
N0150 X232728 Y195586  
N0155 X213697  
N0160 G02 X213698 Y213206 I0 J8809  
N0165 G01 X232728  
N0170 X232728 Y213806  
N0175 X232038  
N0180 G02 X231928 Y213916 I0 J110  
N0185 G01 X231928 Y214696  
N0190 G02 X232038 Y214806 I109 J0  
N0195 G01 X233798

N0200 G02 X233908 Y214696 I0 J-110

N0205 G01 Y214599

N0210 X235270 Y214599

N0215 M02

自动编程 :DK7725E 线切割机床的自动编程软件采用 WAP-V,其编程方法见本章第三节。

### 第三节 BKDC 控制机的屏幕及菜单

BKDC 的操作绝大部分的操作都在键盘上进行,而所有的操作屏幕都有提示,所以 BKDC 的操作非常简单明了。

#### 一、控制机的屏幕划分

在 BKDC 的工作过程中,各种信息在屏幕上都有自己特定的位置,整个屏幕分布如图 5-2 所示。

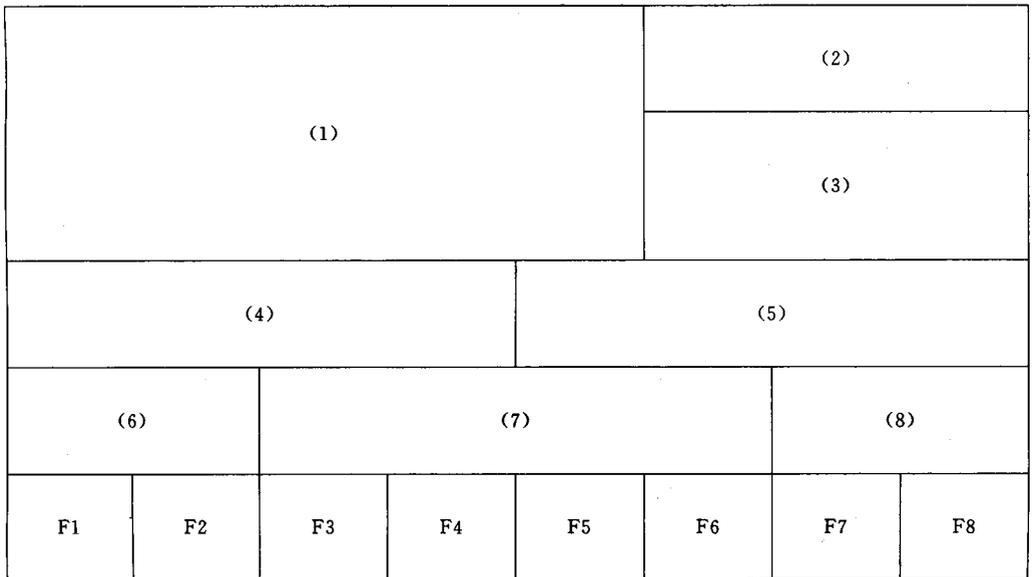


图 5-2 图屏幕分布图

- 1 区 显示图形、数据文件及其他有关信息。
- 2 区 显示坐标和其他有关信息。

- 3 区 显示当前几何参数和电气参数。
- 4 区 显示系统提示信息 ,指导用户操作。
- 5 区 显示操作结果 ,告诉用户操作成功或出错。
- 6 区 显示最近操作的文件名。
- 7 区 显示版本信息及菜单目前所处的位置。
- 8 区 显示当前时间。

F1 ~ F8 是系统菜单。用户所有的操作都可根据菜单和提示选择 F1 ~ F8 键来实现。

## 二、BKDC 控制机的菜单结构

BKDC 控制机的菜单采用树状结构 ,从上往下 ,最上层是主菜单 ,主菜单又有子菜单。主菜单如图 5-3 所示 ,子菜单如图 5-4 所示 ,子菜单的分支不再写出。

文件	材料	测试	设置	人工	语言	运行	编辑
----	----	----	----	----	----	----	----

图 5-3 主菜单图

运行	画面	中运行	电参数		形参数	反向割	正向割	退出
语言	中文简	中文繁	英文					
人工	上丝	单步	相对动	绝对动	垂直	对边	定中心	退出
设置	坐标	回零		数据盘	电参数	机参数	日期	退出
测试	开泵	关泵	高速丝	低速丝	关滤芯		电源	退出
编辑	ISO	CMD	3B		更新	合成	校验	退出
文件	输入	存盘	列目录	删除	五输入	DXF	转换	退出

图 5-4 菜单结构图

## 三、各项菜单的应用

(1)文件菜单 :其主要作用是管理文件。

(2)编辑菜单 :其主要作用是通过系统编辑器编辑三种文件(“ ISO ”、“ CMD ”、“ 3B ”),还可通过“ 合成 ”子菜单产生上下异型的文件 ,其操作步骤为 :首先选取 U、V 平面内的文件 ,然后选取 X、Y 平面内的文件 ,系统即会产生上下异型的文件。“ 合成 ”命令只对“ ISO ”文件操作。“ 合成 ”文件的条件是两个文件的对应点数目必须相等 ,即钼丝同时到达对应点。

(3)测试菜单 :其主要作用是在加工零件之前 ,作一些准备工作 ,如测试工作液泵、运丝电动机是否正常工作 ;另外 ,还可以产生高频 ,进行手工火花校正钼丝垂直、手工单双边

碰火花定钼丝的中心点(此种方法比自动定中心的精度高)。

1) 火花校正钼丝垂直的流程图为：

测度 → 开泵、高运丝、电源 → 选择电参数、测试

当依次选择好以上几个按键后,手摇移动 X 或 Y 轴,钼丝缓缓靠进工件,使之产生火花,此时看火花是否均匀,如果火花不均匀,则移动 U、V 两轴,使之分别均匀。这样一来就可以使钼丝始终与工件平行。

2) 四面碰火花定中心(见图 5-5)

方形板上已预先钻一穿丝孔,运用四面碰火花定中心的方法求得穿丝点正好在正方形中心。

操作步骤：

1) 在测试菜单中同火花校正垂直一样产生高频、火花。

2) 移动 X 轴向正方向移动使工件的左边与钼丝相碰产生火花(火花一定要均匀),停止移动,把 X 轴的刻度盘设定为零。

3) 同样移动 X 轴使钼丝与工件的右边碰火花,得出从左到右的长度值。

4) 把钼丝移至数值的一半,此处即为工件 X 方向的中心(此时可从中心分别两边碰火花,两边的距离应相等)。

5) 同理,移动 Y 轴使钼丝与工件的前后碰火花,得出 Y 轴的中心,两轴中心即为钼丝的穿丝点。

(4) 设置菜单 其主要作用在设置 X、Y、U、V 四轴的当前坐标系(只有在系统初次启动、系统失电记忆出错等情况下才可设置此菜单)以及四轴的反向间隙补偿值(设置范围  $0 \sim 127\mu\text{m}$ ),设置加工用的电参数和机参数。

(5) 人工菜单 其主要作用在于坐标轴的各种移动、上丝及钼丝的自动回垂直、对边定中心。

1) 上丝、紧丝 上丝、紧丝的示意图见图 5-6。

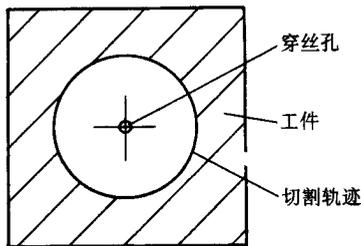


图 5-5 四面碰火花定中心

操作步骤：

① 首先安装排丝架,同时把丝盘装在床身内的紧丝装置上(此时请把贮丝筒的两个换向开关放在左右侧)。

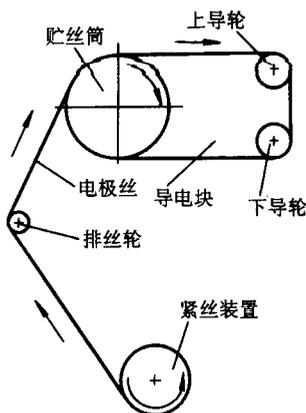


图 5-6 上丝、紧丝示意图

② 然后将贮丝筒移至最前方(即靠近操作者方向),把丝头旋入贮丝筒左边的螺钉上,使之压紧,钼丝放入排丝架,并使钼丝紧绕在贮丝筒 3~4 圈。

③ 闭合上丝、紧丝开关,盘丝电动机旋转,实现自动盘丝,此时丝盘转向与电极丝运动相反,达到张紧丝的目的。

④ 断开上丝、紧丝开关,盘丝电动机停止,绕丝筒停,结束自动盘丝,电极丝的另一端也用螺钉压紧,粗调绕丝筒的行程开关。

⑤ 紧丝,应用排丝架使钼丝的间距、松紧适当(本机排丝距为 0.27mm。精调绕丝筒的行程开关,使钼丝两头各留 3~4mm 的运丝缓冲距离。

2)单步移动 单步分为 X、Y、U、V 四轴,步数分为正反 1、10、100、1000 $\mu\text{m}$ 8 种,移动速度约为 7mm/min。

操作步骤:

**F2 单步** → **选择单步骤 F5 单步加/F6 单步减** → **选择移动轴**

说明 移动轴由 F1~F4 选择,单步数值由 F5 和 F6 选择,当单步量为正时,拖板向选择轴的正向移动,反之则向反向移动,F8 中止移动并返回上一级菜单。

3)相对动

**F3 相对动** → **选择移动轴,并输入距离** → **选择移动速度 F5/F6** → **F7 移动**

操作步骤:

说明 相对动即定长移动。F1~F4 输入各轴的移动距离,输入值的正负代表移动的方向,单位为 mm。F5、F6 选择移动速度,系统把移动速度分为 1~10 共十档,对应的单轴移动速度从 4~60mm/min,移动速度的改变可以在移动开始前也可以在移动进行中。

4)绝对动

操作步骤:

**F4 绝对动** → **选择移动轴,并输入指定的坐标值** → **移动速度** → **F7 移动**

说明:定点移动,系统移到指定点。F1~F4输入指定点的坐标。其余同“相对动”。

5)回垂直 能使 U、V 移动至绝对坐标为零处,单轴移动速度为 7mm/min,系统移动时,运丝电动机将开启。

6)对边(边缘找正)此菜单完成 X、Y 四个方向的边缘找正。

工作原理:当选择对边以后钼丝通电,选择 X、Y 四个方向的任一边缘,通过工件表面与钼丝相碰产生火花,使之拖板停止移动,边缘找正也就结束。

操作步骤:

**F6 对边** → **选择 X、Y 四个方向**

注意事项:

① 边缘找正时,电极丝一定要与所对工件的面相平行,此时边缘找正的精度才能很高,反之,则边缘找正的精度很低,所切割的平面是倾斜的。

② 边缘找正时,工件的找正平面的毛刺一定要去尽,否则会发生尺寸精度超差,另外,工件的表面的粗糙度一定要好,否则会发生断丝(以下的定中心的注意事项同上)。

7)定中心(中心找正) 此菜单完成中心对称图形的中心找正,系统有 C<sub>x</sub> 和 C<sub>y</sub> 两种找正方式,C<sub>x</sub> 首先寻找 X 轴方向中心,然后找 Y 轴方向中心,C<sub>y</sub> 则相反。

工作原理:与对边的工作原理相同,只不过是找正两个轴的正负两个方向,通过系统处理分别求得两边的中点。图 5-7 所示为工作原理图,具体找正方法(以 C<sub>x</sub> 为例)设 D 点为电极丝穿丝孔中的初始位置,先沿 X 坐标进给,当与孔的圆周在 A 点接触后,立即反向进给并开始计数,直至和孔周边的 B 点接触时,再反向进给一半的距离,电极丝移至 AB 的中点 C(即 X 轴的零点),然后再沿 Y 轴坐标进给,重复以上过程,最后自动停止在穿丝孔的中心。

操作步骤:

**F7 定中心** → **F1XY/F2YX**

(6)运行菜单(加工菜单):所有工件的切割加工都必须在此菜单下完成,此菜单还可以进行画图及快速作图切割检查。

1)画图 “放大”用窗口改变绘图比例。窗口由用户确定的两个矩形对角点确定,用户通过光标键来移动系统提供的两根直线,直线每次的移动量由“Pgup”和“Pgdn”键来

调节,用户按下“ENTER”键就可确定当前两条直线的交点为窗口的一个对角点,绘图比例 SCALE1 从 1-863。“原图”以绘图比例 SCALE1=1 重新画程序图形。“形参数”改变程序的几何参数。此菜单用于切割斜度类工件,可操作的参数及含义如下:

H1 线架下导轮中心点到工件编程距离,此值必须大于 0。

H2 工件编程面到参考平面的距离,当参考面在编程面上面此大于零,否则小于零。例如工件厚 50mm,上表面为编程面,下表面为参考面,则 H2 = -50mm。参考平面是锥度加工时除编程面外的有尺寸要求的面。

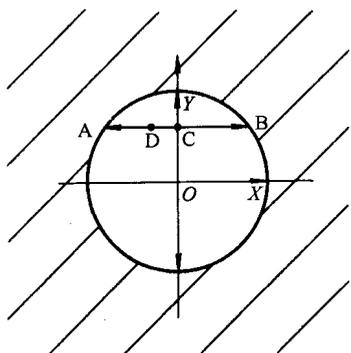


图 5-7 中心找正

HGD 线架上下导中心面的距离。H1、H2、HGD 单位均为 mm。

SCALE 程序缩放比例。这不同于绘图比例 SCALE1, SCALE1 只影响屏幕图大小, 不改变加工工件的大小, 而 SCALE 改变加工工件的尺寸大小。

ANGLE 程序旋转角度。操作者可输入任意值, 但系统归为  $-360 \sim +360$ 。后在屏幕上显示。ANGLE 单位为度, 逆时针为正。

MIRROR 程序对称轴。分为 X、Y、XY(中心)对称三种。

PATH: 程序画图方式。分为 FRM、OFT、FRM + OFT 三种, 由“Pgup”和“Pgdn”选择。FRM 是程序无线径补偿时的图形, OFT 是加入线径补偿后的图形。

SECT 改变绘图平面。分为以下几种:

PRP 编程平面      PSP 参考平面      UGP 上导轮中心面

DGP 下导轮中心面      RANDOM 随机面      PRP + PSP(编程 + 参考平面)      UGP + DGP(上导轮中心面 + 下导轮中心面)

注意: 锥度加工时 h1、h2 和 HGD 等项必须准确设置, 也可以在 Run/Parameter 下设置。

2) 空运行 快速作图检查。在此菜单下, 系统将显示切割图形, 然后以切割段为单位快速运行一次, 同时图形跟踪显示。在此菜单下, 拖板不动作。

操作步骤:

运行 → 空运行 → 连续/单段 → 暂停/退出

“连续”系统将连续运行至程序结束或按下 F6。

“单段”系统每次运行一个切割段。

“暂停”暂停系统的连续运行。

3) 电参数, 详见本章第四节。

4) 正向割 系统将按选择程序从起始点至终点进行切割。对于一个起点和终点重合的程序来说, 反向切割和正向切割在轨迹上效果完全一样。

操作步骤:

运行 → 选择程序 → 画图、调整图形大小 → 选择电参数 → 正、反向割

“暂停”：暂停加工，即在切割过程中可任意暂停，依照系统提示操作后可恢复加工。

“电参数”：加工过程中改电参数，期间加工继续进行，电参数对于线切割加工来说是一组很重要的工艺参数，它对切割稳定有直接作用（如何调整参数见本章第四节）。

“P坐标”：显示工件坐标 X、Y、U、V 值及步进频率  $f$ （单位 Hz）。

“M坐标”：显示机床坐标 X、Y、U、V 值及加工时间 T（单位 min）。

“A坐标”：显示绝对坐标 X、Y、U、V 值及切割长度 L（单位 mm）。

“速度加”：加快速度进给速度。

“速度减”：减慢速度进给速度。

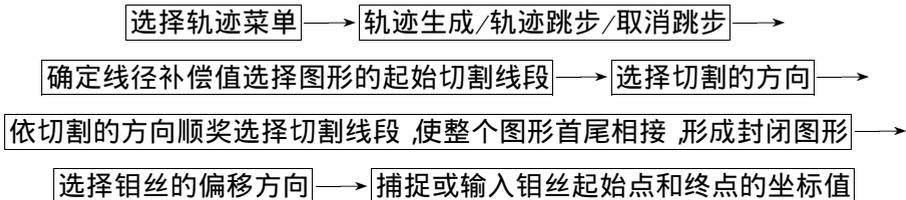
5) 反向割 系统将按选择程序从终点起始点进行切割。对于一个起点和终点重合的程序来说，反向切割和正向切割在轨迹上效果完全一样。它的运行轨迹正好和正向割相反，假如你一开始是用正向割切割工件，中途发生断丝，你可以重新回到切割起始点，用反向割进行切割，这样既保证尺寸又可提高加工效率，免除一开始重复切割，但是，此种方法只适用于起点和终点重合的程序。编程菜单采用 WAP-V 编程软件，它是绘图与编程一体化的编程软件，绘图采用电子图板的方式，简便易懂。

## 四、线切割编程步骤

- 1) 根据工件的要求绘制切割图形。
- 2) 根据所绘制图形，按加工要求生成加工工件的切割轨迹（详见本节第五部分），
- 3) 模拟所生成的加工轨迹
- 4) 生成 G 或者 3B 代码

## 五、生成加工工件的切割轨迹

操作步骤：



轨迹生成：其作用在于生成钼丝切割工件的整个运行轨迹。它可以从工件的任何一个方向开始切割，运用钼丝线径补偿可以放大或缩小整个工件的尺寸，而不需要修改图形，你可以随心所欲给工件或电极留下磨量、放电间隙。

例 见图 5-8。切割一个外正方形，钼丝的直径为 0.18mm，考虑单边放电间隙为 0.01mm，钼丝的线径补偿为 0.10mm。

此工件轨迹生成的操作顺序如下：

## 1. 选择轨迹生成工具菜单, 并选择生成轨迹

此时会弹出对话框(见图 5-9), 按要求选择下列加工参数。

### (1) 切入方式

1) 直线切入 即在切割工件时, 从穿丝点到切割工件的起始线段的起点的连线, 这条连线即为直线切入(见图 5-10a)。

2) 垂直切 即在切割工件时, 从穿丝点到切割工件的起始线段的垂直线, 这条连线即为直线切入见图 5-10b)。

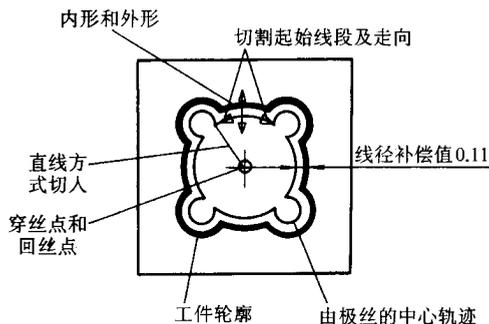


图 5-8 切割示意图

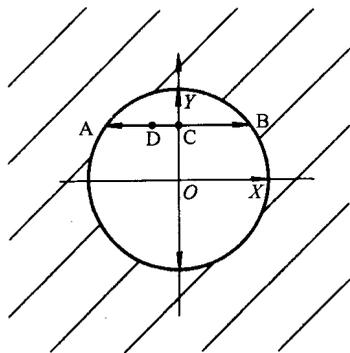


图 5-10 加工参数

(2) 切割次数 即在切割工件时, 有时为了使工件减少变形和达到尺寸要求, 需分几次切割, 每次的线径补偿各不相同, 例如: 现需切割一尺寸要求很高、变形较小、形状复杂的片状电极, 为了达到这些要求, 考虑薄片状电极, 应消除变形, 所以需分两次切割, 考虑尺寸要求(钼丝直径 0.18mm), 最后的切割余量留 0.45mm(与钼丝有关), 这样一来, 第一次的线径补偿为 0.45mm(尽量把大部分的材料切除), 第二次的线径补偿为 0.110mm(保证尺寸要求)。两次切割法见图 5-11。

## 2. 确定线径补偿

即考虑钼丝的半径补偿, 见图 5-12。由于是放电加工, 考虑放电间隙的存在, 所以线径补偿量 = 实际钼丝的一半(使用中的钼丝会有损耗) + 单边放电间隙。

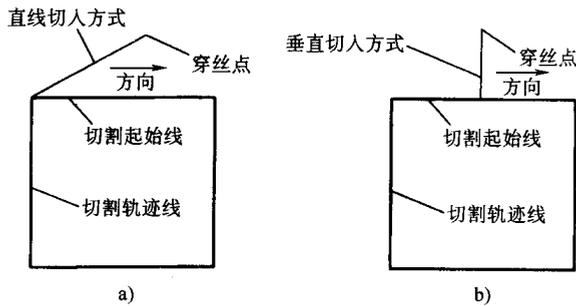


图 5-10 切入方式  
a) 直线切入 b) 垂直切入

### 3. 选择轮廓的起始切割线段

可以选择轮廓的任意线段作为起始线段,但是一定要考虑工件的装夹和变形(详见第四节),还有起始线段一般为直线。

### 4. 选择切割方向(见图 5-12)选择轮廓是逆时针还是顺时针走向。

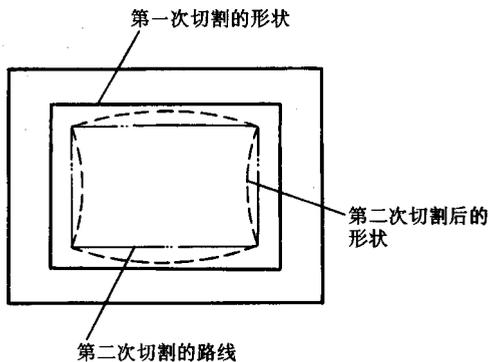


图 5-11 两次切割

### 5. 线径补偿的方向

即从钼丝的运行方向看,如钼丝在工件的左边为左补偿,反之则为右补偿,也可以这样认为,选择切割内形还是外形,见图 5-12。

### 6. 输入钼丝起点和终点

即输入钼丝的穿丝点和轮廓切割的终点。如果工件轮廓是封闭图形,则起点和终点一致。在切割一次成形的工件时,起点不要考虑线径补偿,如果是几次成形或要保证相对尺寸要求时,一定要考虑线径补偿。

### 轨迹跳步

有时为保证内外型腔位置尺寸,需用到“轨迹跳步”,在一次装夹、一次程序下完成。它能保证几个内腔、内外形之间的位置要求。

工作原理:几个轮廓分别生成轨迹,然后用轨迹跳步把所有的轨迹都选择,它会根据

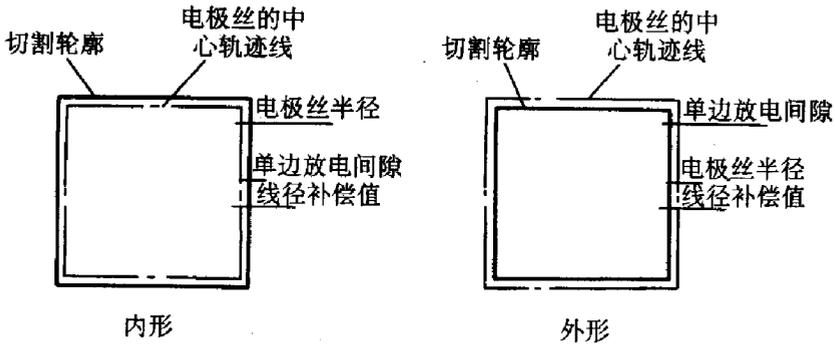


图 5-12 线径补偿示意图

你生成轨迹的先后顺序依次连接,在切割中,当第一个轮廓切割好,运丝电动机和冷却液泵会自动停止,绕丝筒会自动停于一侧,放丝,依照系统提示,按下回车键,滑板移动,到达第二轮廓穿丝点,重新上丝,根据系统提示,继续切割。

轨迹模拟:当工件轮廓轨迹生成后,可利用此工具来检验轨迹的运行方向和路线是否正确,如有不对之处可加以修正。

G 代码或 3B 指令:运用此工具可生成 G 代码或 3B 指令程序,从而可以调用此程序进行加工。

## 第四节 线切割加工参数、装夹、调整

### 一、加工参数的选择

在线切割加工过程中,加工参数的选择对加工工件的质量起着至关重要的作用,它可随时调整,使加工稳定。

(1) 电参数设定:在加工之前,应粗略选择好电参数中的各项数值,此菜单设置起始切割的电参数,否则系统将以屏幕显示的电参数进行起始切割。F1 ~ F7 分别改变参数中不同项;Pgup 和 Pgdn 键将选择工艺数据中的成套参数。

(2) 线切割加工的七大参数:丝速(W<sub>sp</sub>)、脉冲宽度(Pul<sub>on</sub>)、脉冲间隙与脉冲宽度比(P<sub>ratio</sub>)、分组脉冲宽度(G<sub>p<sub>on</sub></sub>)、分组脉冲间隙与分组脉冲宽度比(G<sub>ratio</sub>)、峰值电流(I<sub>max</sub>)、进给速度(Speed)。

(3) 加工参数选择的基本规则

1) 运丝速度 W<sub>sp</sub>:运丝速度分为两档即高速、低速。高速有利于排屑,低速有利于减小钼丝的振动,保持丝的稳定。在工件厚度大于 10mm 时,一般应采用高速运丝。

2)最大电流  $I_{\max}$  最大电流分为 1~15 共 15 档,最大峰值电流约为档数乘以 4。

从加工速度和加工稳定性来说,峰值电流越大,单脉冲能量越大,放电间隙越大,加工稳定性和加工速度越好。从加工件的表面粗糙度和电极丝损耗来看,最大电流越小越好。为了保证加工继续,对于相应厚度的工件,表 5-1 规定了最小应选择的最大电流,当然也可以超过表 5-1 的范围以提高加工效率。

表 5-1 最大电流

工件厚度/mm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100~12...	以上
最大电流/A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

3)脉冲宽度( $Pul_{on}$ ) 脉冲宽度分为 2,4,6,8,12,16,44,32,64 $\mu s$  共 10 档。脉冲宽度与加工件表面粗糙度有很大关系,表 5-2 是根据表面粗糙度选择脉冲宽度的一般规则。

表 5-2 脉冲宽度

表面粗糙度 $Ra/\mu m$	1.6	2.0	2.3	2.5	2.8	3.2	3.5	4.0	4.5	5.0
脉宽/ $\mu s$	2	4	6	8	12	16	24	32	48	64

4)脉冲间隙与脉冲宽度比( $P-ratio$ ) 脉冲间隔比越大,排屑越充分,工件越厚,间隔比应越大,表 5-3 是根据工件厚度选择脉冲间隔比的数据。

表 5-3 脉冲间隙与脉冲宽度比

工件厚度/mm	3	6	10	20	30	40	50	60	80	90 以上
间隔比	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

5)分组脉冲宽度( $G_{rp}_{on}$ ) 分为 0,128,256,384,512 五档,0 表示普通脉冲。

6)分组脉冲间隙与分组脉冲宽度比( $G_{ratio}$ ) 分为 0~3 四档。选择分组脉冲时, $Pul_{on}$  应小于 8 $\mu s$ , $P_{ratio}$  应为 1,当  $Pul_{on}$  大于 8 $\mu s$  时,系统自动设定为 8 $\mu s$ , $P_{ratio}$  总设定为 1。

7)加工进给速度  $Speed$  分为 0~10 共 11 档,速度从慢到快。进给速度过低会降低切割效率,过高会引起短路频繁甚至烧丝。当进给速度适当时,屏幕显示步进频率  $S$  大致恒定(不包括运丝电动机换向时间),控制机面板上电压表电流表指针稳定。一般来说,当系统的加工电流达到加工电源短路电流的 75%~80%时,加工进给比较恰当。

(4)根据电参数的几个方面综合来看,可分为 3 种类型的加工

- 1) 适用于表面粗糙度型加工 一般脉宽较小,峰值电流较小,表面粗糙度值较小。
- 2) 适用于速度型加工 一般脉宽较大,峰值电流较大,加工速度较快。
- 3) 适用于损耗型加工 选择分组脉冲,电极丝损耗较小。

## 二、线切割加工的工件装夹

线切割时零件的精度与工件的装夹方法有很大的关系,这是因为对热处理过的坯件进行线切割加工时,由于大面积去除金属和切断工件,会使材料内部残余应力的相对平衡受到破坏,从而产生很大的变形,降低了零件的加工精度。工件的装夹与切割的路线又有很大的关系,图 5-13a 的切割路线是错误的,按此加工,切割完第一道工序,继续加工时,由于原来主要连接的部位被割离,余下的材料被夹持部分较少,工件刚度大为降低,容易产生变形,从而影响加工精度。图 5-13b 的切割路线加工,可减小由于材料割离后残余应力重新分布而引起的变形。一般最好将其夹持部分切割的线段安排在最后切割。

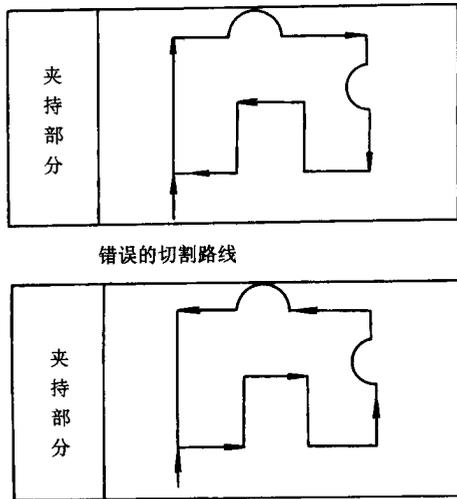


图 5-13 切割路线分析

## 三、机床的调整

丝架的调整:

1) 电极丝垂直度的调整 电极丝相对于工作台的垂直度是由用户自行调整的,但无论是采用火花法、目测法或其他方法进行调整时,都必须在电极丝张紧的情况下进行。对于 DK7725e 型机床, X 方向在出厂时已调整好正确的切割路线借助导向器的轴向位移来实现。调整好电极丝垂直度后,把 U 和 V 的计数刻度盘调整为零,即可进行切割。当切割大厚度直壁模时,上丝架升高后电极丝的垂直度必须进行复查,若需调整,只需调整 U、

V 刻度盘即可达到要求(火花法调整的方法和步骤见本章第三节)。

2)导电块与挡丝棒的调整 由于电极丝与导电块(上下丝架各有一块)红宝石挡丝棒(在丝架下方)经长期摩擦,会出现磨损痕迹,如果继续在原位置运丝,将直接影响电极丝的正常运行,因此应该及时调换。

3)导向器的拆装和调整 导向器的更换和调整比较容易,先旋松 2 个螺钉  $M5 \times 8$  (用于固定轴套的),然后松开锁紧螺母,整个导向器部件就能沿轴向移出,松开压紧螺母和小圆螺母就能把导向器和轴承分开,更换导向器后必须检查导向器 V 形面的径向跳动应小于  $0.005\text{mm}$ ,否则就会加剧电极丝抖动,影响切割精度。调整后要导向器转动灵活,不得有卡死现象。

## 第五节 一个典型的操作实例

### 一、开机到加工结束的具体操作步骤

- 1) 合上总电源开关。
- 2) 按下控制面板上的白色带灯按钮,灯亮,系统启动,系统自检进入欢迎屏幕。
- 3) 按下面板上绿色按钮,机床电器部分能正常工作。
- 4) 按任意键进入主菜单。
- 5) 按编程菜单,自动生成工件切割的程序。
- 6) 在人工菜单中完成上丝、紧丝工作。
- 7) 在测试菜单中调整钼丝垂直度,通过碰火花定钼丝的穿丝点。
- 8) 在运行菜单中选择画图,使工件图形在屏幕上适中。
- 9) 选择合适的电参数。
- 10) 按下正向割或反向割,系统自动开启运丝电动机和工作液泵,调节工作液阀门,使工作液刚好包住钼丝流下,同时观察加工电压表和电流表,调节进给速度,使加工稳定。
- 11) 切割结束后,系统提示“Cut End, Select menu Please”。
- 12) 返回主菜单。

以上各项步骤有的可以省略,请读者自行操作时考虑。

例 见图 5-14,此零件为某模具上的下型腔,穿丝孔已预制,根据图样可分析出加工要求。

### 二、加工要求

- 1) 型腔与外形中心对称。

- 2) 内形与顶杆孔的位置必须正确。
- 3) 顶杆孔与顶杆的配合必须适当。

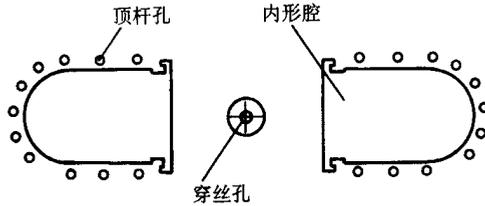


图 5-14 下型腔

**编程** 根据加工要求,先在编程菜单中画好图形(也可以在 CAD 上预先画好图形,用 DXF 文件的类型保存,然后通过软盘传输进入),采用轨迹跳步把内形和顶杆孔的轨迹连接起来,使之确定内形腔和顶杆孔的相对位置,通过线径补偿来确定顶杆孔的大小,使之与顶杆相配合。

**钼丝其始位置的确定** 通过四面碰火花,使钼丝停于正四方的中心。

**运行** 在运行菜单中调出所对应的程序,通过画图和放大使之在屏幕中合理显示,调整电参数,开始切割。

### 三、加工过程中一些特殊情况的处理

(1) **短路** 当力口工过程中出现短路时,出现提示“ Short back ,Press ESC to Exit ”,同时系统自动原轨迹回退,短路消除后加工继续。短路回退过程中,用户按 ESC 键后,系统将停止回退,但当系统恢复加工后,下一次短路仍具有自动回退功能。系统自动回退最大为 7000 步,回退到头时,系统出现提示“ Short pause ”,可能出现工件变形等异常情况。

(2) **断丝** 加工过程中断丝发生时,系统自动关运丝电动机、工作液泵和加工电源,同时出现提示“ Wire break S、P、N”,用户选择“ S ”,系统将回退至切割起始点,重新穿丝再进行切割(这时可反向切割)。

如用户选择“ N ”,上丝按钮处于开放状态,在断丝点穿丝后依系统提示后继续加工。

**用户暂停** 用户按 F1 键,系统进入暂停状态,加工电源关,出现“ Pause ,press ESC to continue ”,用户如果需恢复加工,按 ESC 键即可。

## 第六章 电火花加工操作

电火花加工又称放电加工(Electrical Discharge Machining 简称 EDM),是一种利用电、热能量进行加工的方法。它是在加工过程中,使电极与工件之间不断产生脉冲性的火花放电,靠放电时局部瞬时产生的高温把金属蚀除下来。因放电过程中可见到火花,故称之为电火花加工。

本章以 MD21NC 系统为例,讲解经济性数控脉冲电源系统,可实现三轴数控,其中任一轴作为主伺服轴时,另外两轴可作多种形式的平动加工,编程采用国际标准 ISO 代码,电柜采用模块化结构,性能优良,稳定可靠。

### 第一节 概 述

#### 一、机床结构

数控电火花成型机床由主机与数控电源柜两大部分构成,电柜是完成控制、加工操作的部分,是机床的指挥系统(见图 6-1)。

#### 二、机床的坐标系和运动方向的确定

数控机床的规定见图 6-2。

#### 三、系统功能介绍

- 1)加工控制利用人机交互界面。
- 2)编程代码采用国际标准 ISO 代码。
- 3)适时显示当前各轴坐标值,并能显示加工轴的最大值。
- 4)具有拉弧、短路自适应处理功能。
- 5)具有螺距误差补偿和反向间隙补偿功能。

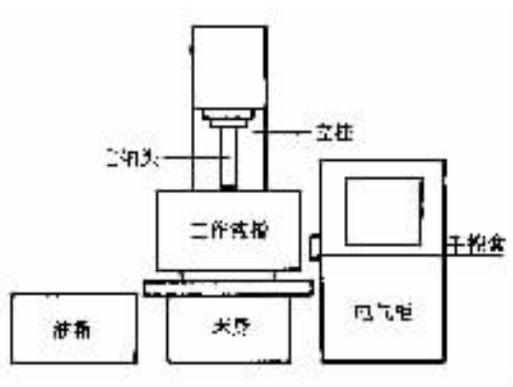


图 6-1 机床结构

- 6) 具有  $45^\circ$ 、圆和方形平动功能。
- 7) 具有自动找正定位功能(孔中心、柱中心、边角)。
- 8) 具有快速移动功能(极限、半程、任意)。
- 9) 具有火花找正功能。
- 10) 具有  $1/2$  功能。
- 11) 具有接触感知功能。
- 12) 具有加工条件自动转换功能。
- 13) 具有绝对、增量方式转换功能。

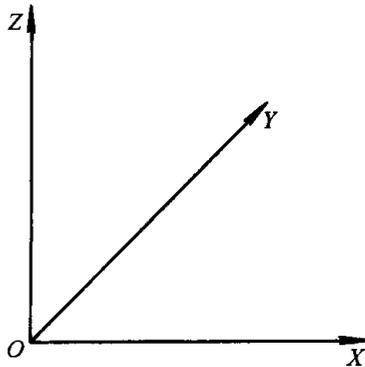


图 6-2 机床坐标系

- 14) 具有自动返回加工起点功能。
- 15) 系统可控制三轴。

## 四、加工功能

- 1) Z 轴向下加工。

- 2) Z 轴向上加工。
- 3) 重复移位加工。
- 4) X、Y 侧向加工。
- 5) 圆平动加工。
- 6) 方平动加工。
- 7) 锁定平动加工。
- 8) 45°平动加工。
- 9) 自动寻找孔内中心。
- 10) 自动寻找外周中心。

## 五、加工指标

- 1) 最佳粗糙度  $R_a < 0.3\mu\text{m}$
- 2) 最小电极损耗  $< 0.1\%$ 。
- 3) 最高效率 400mm/min。

## 第二节 控制面板的操作

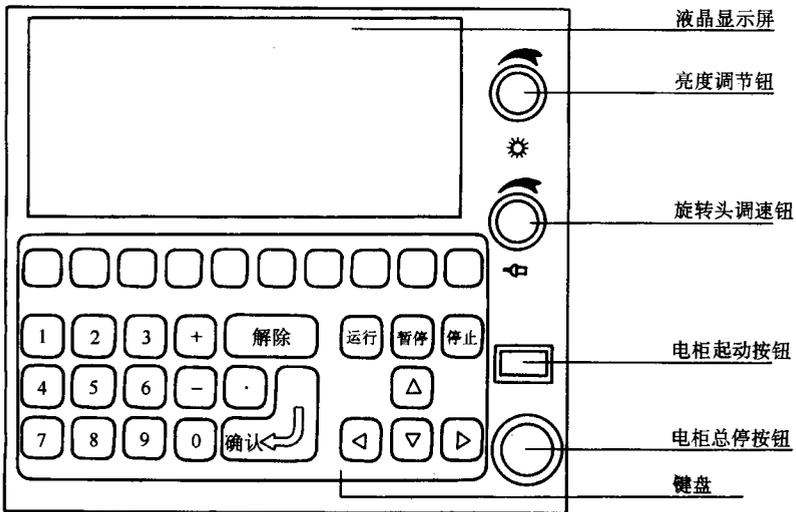


图 6-3 控制面板

## 一、控制面板的操作(见图 6-3)

(1)液晶显示屏(主功能操作画面) 可显示加工操作的各级操作功能与信息提示,是人机对话的窗口。

(2)亮度调节钮 用于调节液晶显示屏的亮度。应注意,调节时应缓慢、轻度旋转,以防过亮而损坏显示屏。

(3)旋转头调速钮 用于调节旋转速度(旋转头为特殊附件)。

(4)启动按钮 用于启动电源,使电柜与系统通电。

(5)总停按钮 用于关闭电柜的总电源。

(6)键盘 图 6-3 中有 10 个功能键,在键盘的最上方,10 个数字键(0~9),3 个符号键(+、-、·),四个方向键及其他几个常用键。

## 二、基本操作

### (一)开机

1)合上电柜右侧空气开关,旋出面板红色蘑菇头总停按钮。

2)按下绿色启动按钮。显示主画面见图 6-4。应注意,两次开机时间间隔不得小于 50s。

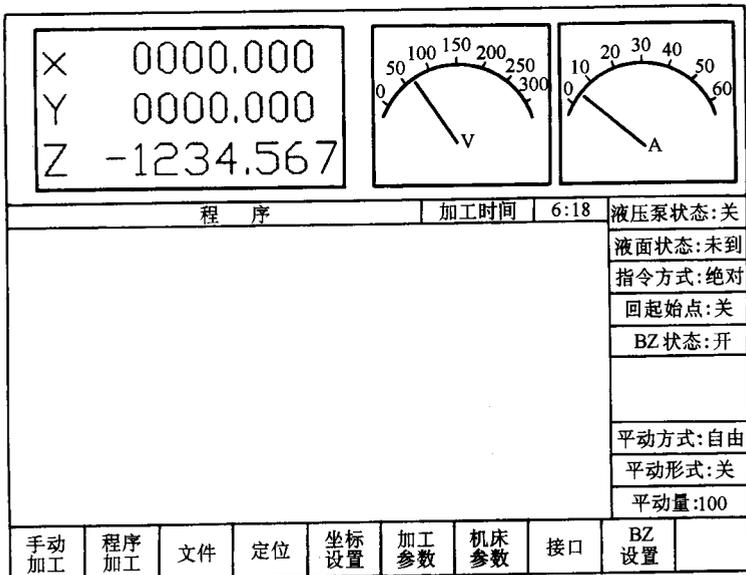


图 6-4 主画面

## (二) 加工

加工方式有手动加工和程序加工两种,加工画面如图 6—5 示。应注意,在放电加工过程中,严禁手或身体各部位触摸卡头和电极。

## (三) 关机

按下红色蘑菇头按钮,关闭总电源。

## 三、手控盒的操作(见图 6-6)

1) 液压键 上油时,同时按运行和液压键。停止时,同样操作。

2) 停止键 终止正在执行的加工指令。

3) 暂停键 暂停正在执行的加工指令,按运行键可恢复。

4) 解除键 解除或确认当前指令或屏幕提示信息。

5) 接触感知键 机床将在忽略接触感知状态下移动。应注意,必须确认移动方向上无障碍物,否则会损坏电极和机床。

6) X+、X-、Y+、Y-、Z+、Z- 键,按此键,按指定方向移动。应注意,若机床限位,蜂鸣器报警,主画面显示“接触机床限位”信息,此时,按解除键才可进行其他操作。

7) 速度设置键 四种选择。0 速:1 $\mu$ m 单步移动;1 速:3mm/min;2 速:120mm/min;3 速:600mm/min。

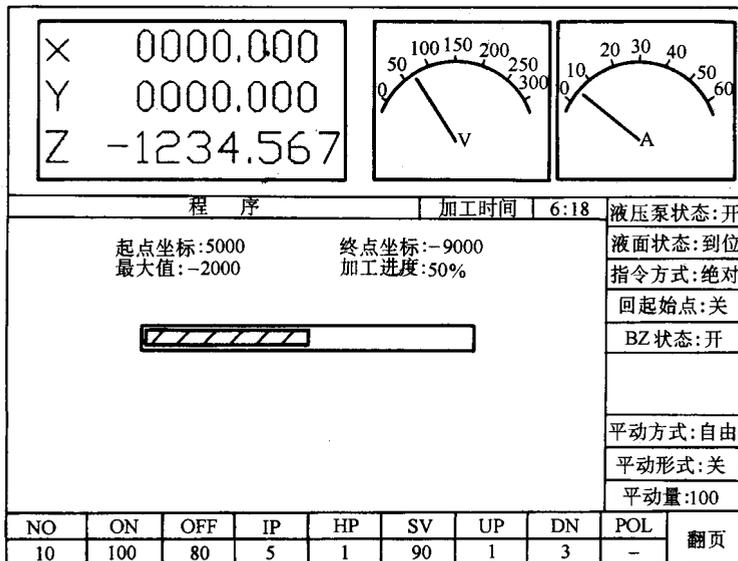


图 6-5 加工画面

8) 运行键 输入指令开始执行或启动、关闭液压泵,在暂停时按此键可恢复运行。

9)手控盒上方为 X、Y、Z 轴坐标显示窗口。与屏幕主画面显示的坐标值相同。应注意,手控盒上与面板上相同名的按键,其功能和用法完全相同。

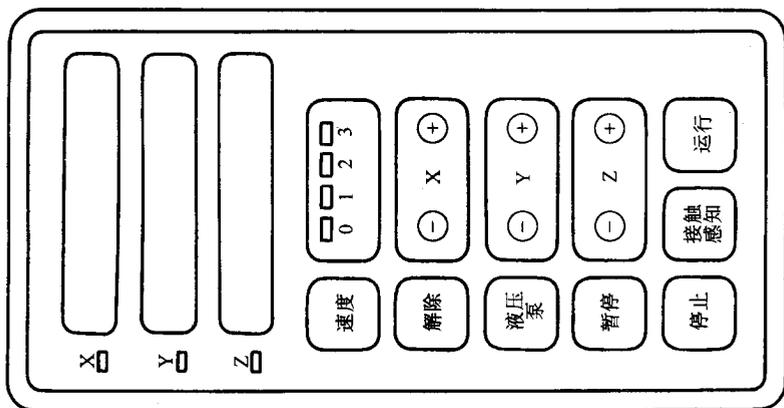


图 6-6 手控盒

### 第三节 主功能区的操作

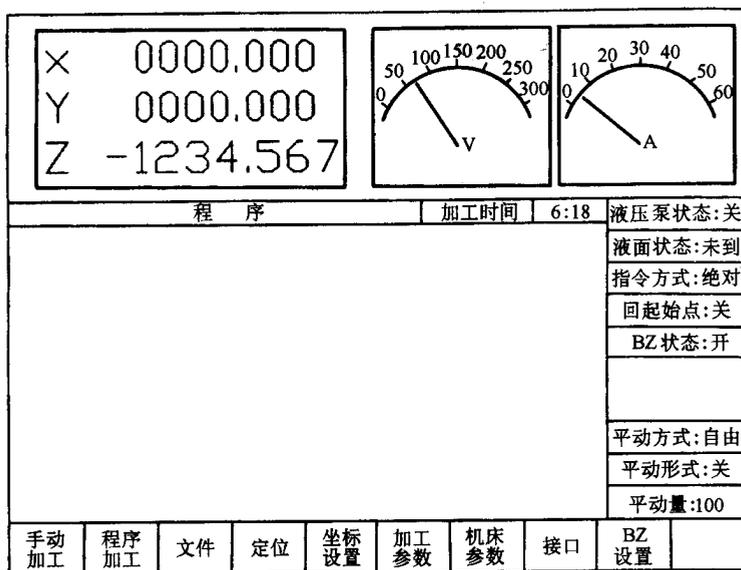


图 6-7 主功能画面

## 一、主功能画面的介绍(见图 6-7)

- (1) 屏幕左上区显示当前 X、Y、Z 轴的坐标值。
- (2) 屏幕右上区显示当前加工时的电压、电流值。
- (3) 屏幕右边是加工状态设置显示区。
- (4) 屏幕下方为功能操作区,与面板上按键一一对应。
- (5) 屏幕中部可显示加工起点、加工进程等信息,可显示将要加工的程序,也可为程序编辑区。

## 二、功能操作说明

### (一) 手动加工

- (1) 按下手动加工键,出现图 6-8 画面。

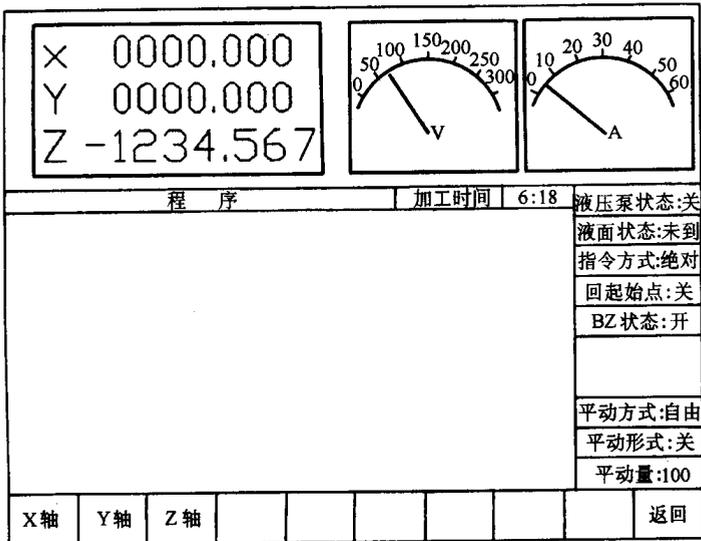


图 6-8 手动加工一

- (2) 选择需要加工轴(X、Y、Z轴),出现画面(见图 6-9),此时也可按返回键返回到上一级菜单。

- (3) 输入终点坐标值,按下确认键,出现画面(见图 6-10),此时也可按解除键返回到上一级菜单。

- (4) 按运行键即可加工

- 1) 液压键 可开启或关闭液压泵,同时液压状态随之变化。
- 2) 起点控制键 用于控制加工完成后,主轴是否回到起始点位置,起始点状态随之变

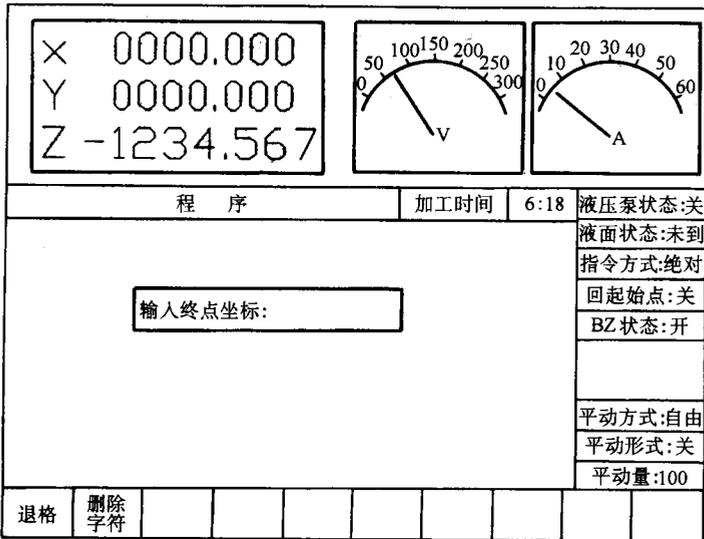


图 6-9 手动加工二

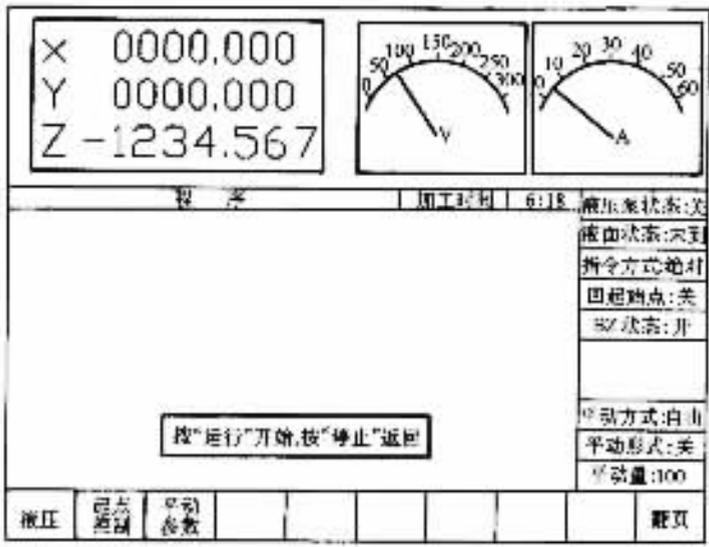


图 6-10 手动加工三

化。

3)平动参数键 可设置以下平动参数:方式键可循环选择“自由、步进、锁定”三种平动形式;平动量键可输入平动量大小。平动参数修改完后需按下确认键系统认可,否则无效,此时也可按返回键返回到上一级菜单。形式键可循环选择“圆、方、X、关”四种状态。

4)翻页键 可设置加工条件中的各项参数,出现画面(见图 6-11)。再按翻页键可出现图 6-12 画面。

参数含义 这些参数的确定要在实践中不断总结,以便给出最佳的加工参数。

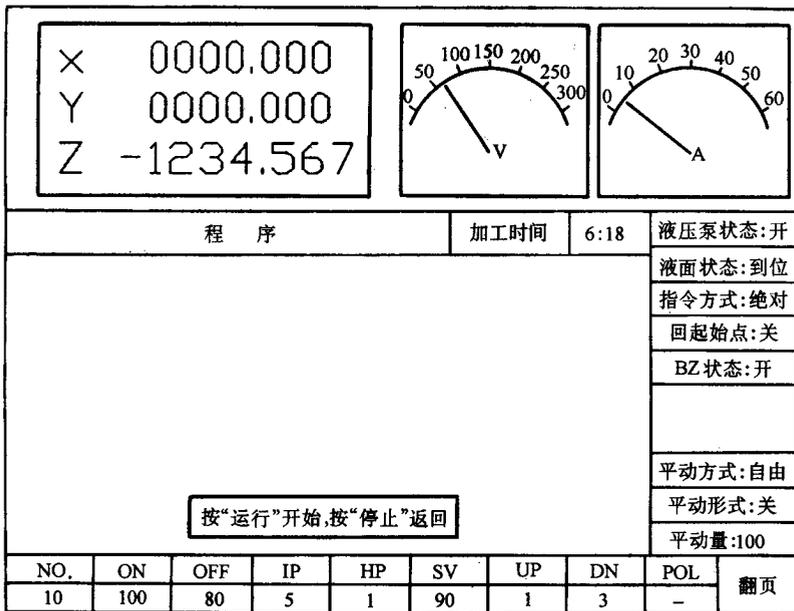


图 6-11 手动加工四

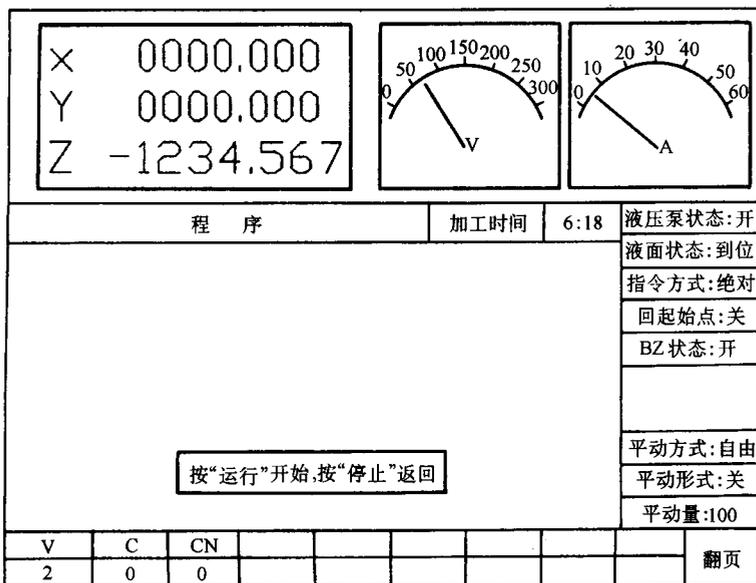


图 6-12 手动加工五

ON 脉冲宽度。

OFF 脉冲间隙。

- IP 加工电流。
- HP 高压及损耗控制。
- SV 伺服基准电压。
- UP 抬刀上升距离。
- DN 放电加工时间。
- POL 放电极性。
- V 低压加工电压。
- C 加工电容。
- CN 波形控制。

### (二) 程序加工

若程序已装入,按程序加工键后按运行键即可(若力口工中间需修改有关参数,操作方法同手动加工)。

### (三) 文件

按文件键出现图 6-13 画面。

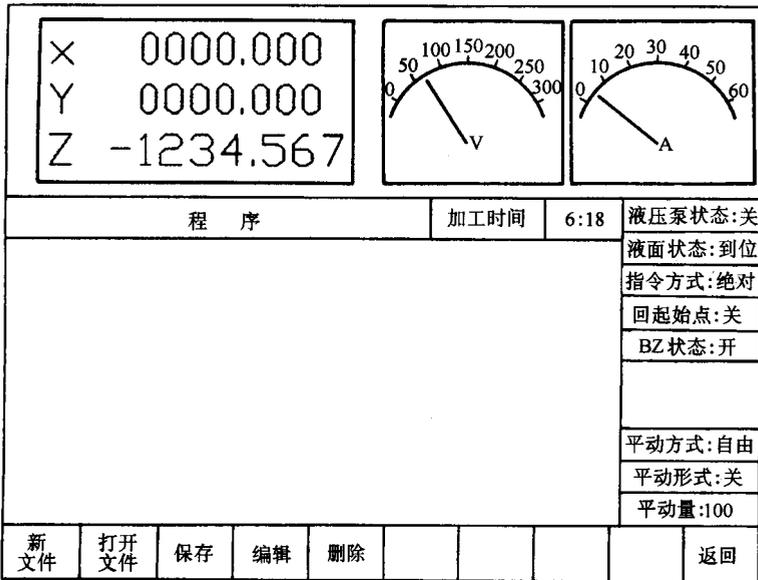


图 6-13 文件主功能

(1) 新文件键 可编辑一个新的程序文件(见图 6-14)。

1) 编辑 H 码 可编辑 H0~H9 的宏代码,单位为 pm,将光标移到指向其后面的字符,按退格或删除字符清除所定义的值,或直接在光标所在的位置重新输入字符即可。

2) 编辑 C 参数 这些参数都可修改,并随文件一起保存。操作方式同编辑 H 码的操作方式。

3)编辑程序 可编辑程序,此时也可按返回键返回到上一级菜单。

(2)打开文件键 可打开已存在的文件进行修改、编辑。操作方法是按“打开文件”键,用光标移动键选择一文件,按确认键即可。

(3)保存键

1)按保存键。

2)输入文件名,可与已存在的文件同名,但保存后会覆盖原文件。

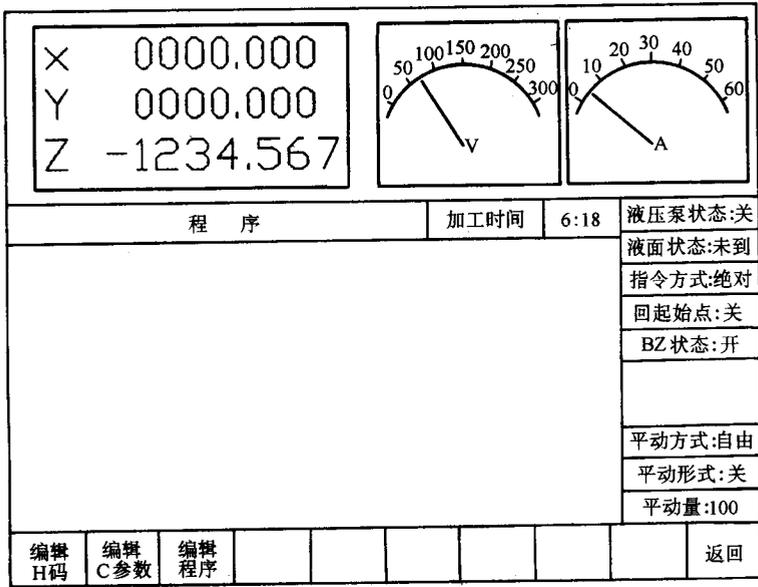


图 6-14 新文件菜单

3)按确认键可保存,否则按解除键就不保存退出。

(4)编辑键 可编辑程序(此操作与新文件键操作方式相同)。

(5)删除键 删除所选的文件。用方向移动键选择文件后按确认键即可。

(四)定位(见图 6-15)

(1)移动键 可移动电极到所需的位置。

1)按移动键。

2)选择所需移动的轴。

3)输入终点的坐标值。

4)按确认键,或按解除键放弃返回。

(2)M05 移动键 在忽略接触感知状态下移动坐标轴。操作时要小心,确认在移动过程中,没有障碍物,以防损坏电极与工件。

(3)感知定位键 按选定轴方向移动到感知定位处停止(见图 6-16)。

(4)极限移动键 按选定轴方向移动到极限位置处停止。

(5)半程键 按选定的坐标轴所输入的数值移动,移动到所输入当前数值的一半处停

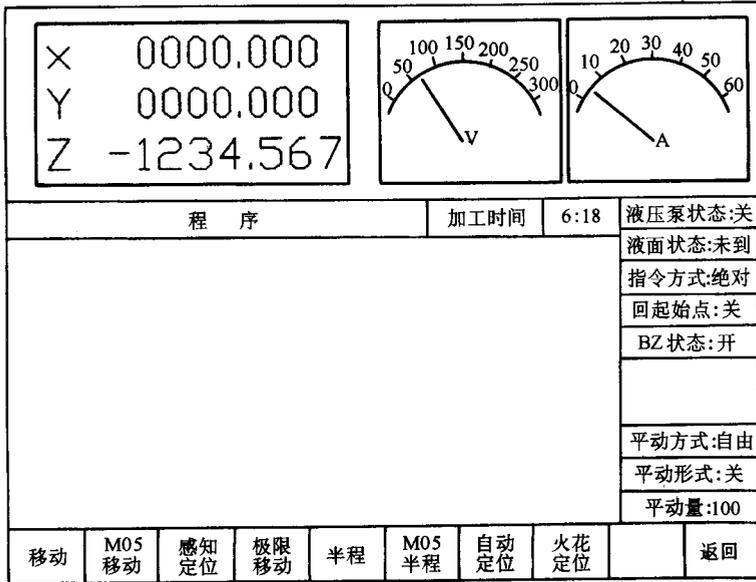


图 6-15 定位功能

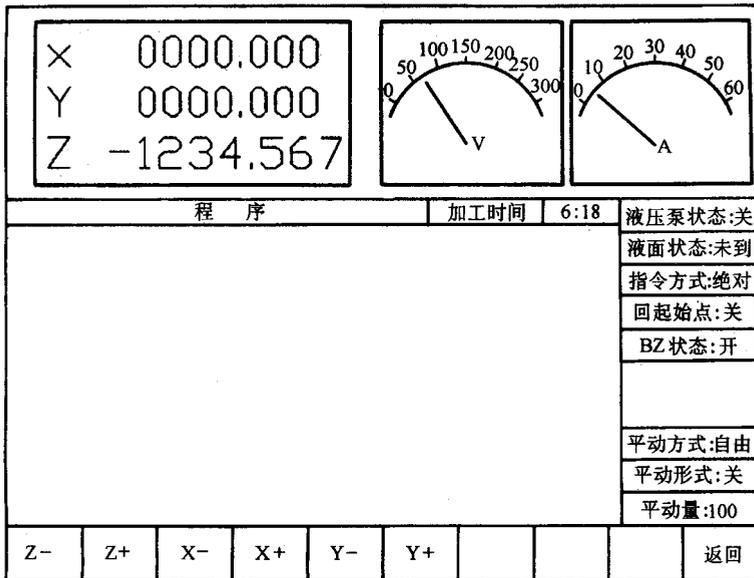


图 6-16 感知定位菜单

止,同时当前坐标值更新为原来的一半。

(6) M05 半程键 是 M05 移动键与半程键的合成功能。

(7) 自动定位(见图 6-17)。

操作方法：

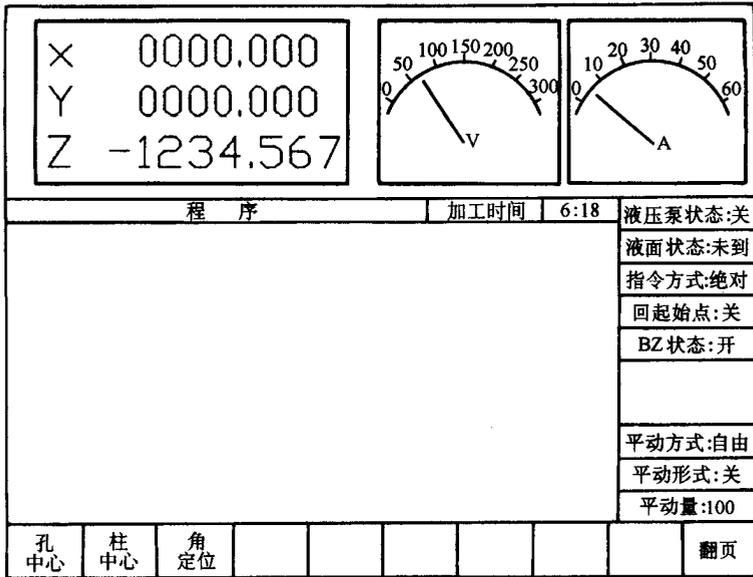


图 6-17 自动定位

- 1) 按定位键,再按自动定位键。
- 2) 选择定位方式柱中心(孔中心,角定位)。
- 3) 选择定位平面 X—Y 平面(Y—Z 平面 Z—X 平面)。
- 4) 选 X、Y 轴方向(X 轴方向,Y 轴方向)。
- 5) 输入横轴移动量后按确认键。
- 6) 输入纵轴移动量后按确认键。
- 7) 输入感知回退值后按确认键即可。

(8)火花定位 主要用于找正电极与工件,按选定的轴的方向移动接触工件表面,并有小火花放电(见图 6-16)。

#### (五)坐标设置(见图 6-18)

(1)指令方式键 用来设置绝对或增量坐标方式的。

(2)X 轴坐标、Y 轴坐标、Z 轴坐标 按选定轴输入数值后按确认键,则当前显示的坐标值更新为新输入的数值。

(3)三轴清零键 当前显示的三坐标值同时清零。

(六)加工参数 本系统中 C0~C9 参数是用户可修改的,将光标移到所需位置可进行修改,想保存以备后用,应按保存键。C10~C99 参数是用户不可修改的,可用上页键或下页键来查看系统提供的加工参数。

(七)机床参数 设置机床的一些固有的参数,这些参数在出厂前已进行确定,不允许用户更改。

(八)接口 主要用于诊断机床状况及出厂前的系统调试,只供系统调试人员使用,不

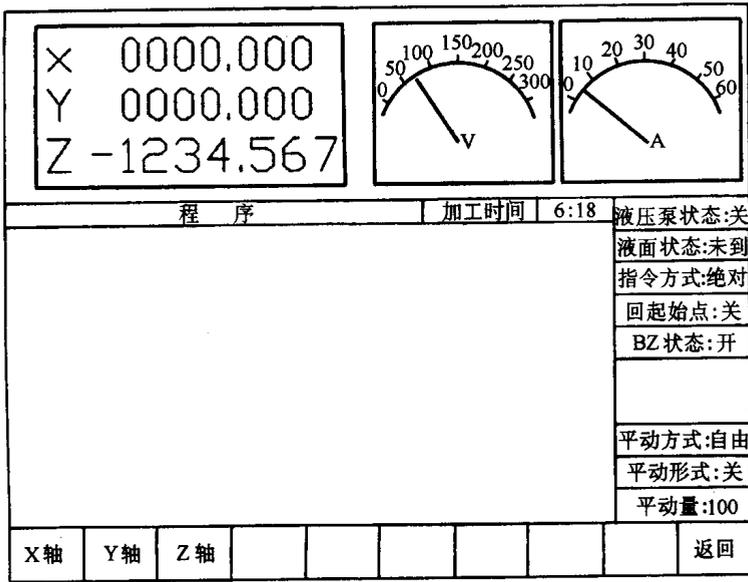


图 6-18 坐标设置

允许用户使用。

## 第四节 编程

### 一、编程指令表(见表 6-1)

表 6-1 程序指令

代码	功能	代码	功能
G00	快速定位	G92	赋坐标值
G01	直线插补	G97	三坐标清零
G04	暂停	M02	程序结束
G80	接触感知	M04	回加工起始点
G82	半程移动	M05	忽略接触感知
G90	绝对坐标系	M98	子程序调用
G91	增量坐标系	M99	子程序返回

## 二、编程的格式

例 某一工件要求最终  $R_a < 1.25\mu\text{m}$  ,电极的实际尺寸与名义尺寸之差为 H7 ,最终加工深度为 H6 ,电极形状为圆形。

程序为 :

```
G90
G80 Z—
G97
G00 M05 Z1.
M04 C01 LN01 STEP6 + H7 G01 Z260—H6
M04 C02 LN01 STEP100 + H7 G01 Z180—H6
M04 C03 LN01 STEP140 + H7 G01 Z140—H6
M04 C04 LN01 STEP160 + H7 G01 Z100—H6
M04 C05 LN01 STEP180 + H7 G01 Z60—H6
M04 C06 LN01 STEP200 + H7 G01 Z30—H6
M04 C90 LN01 STEP220 + H7 G01 Z0—H6
M02
```

## 三、编程的输入

(1)依次按文件键、新文件键或打开文件键、编辑程序键即可进入编程界面。

- 1)退格键 用于退格并清除光标之前的字符。
- 2)删除字符键 用于删除光标之上不用或无效的字符。
- 3)删除行 进行整行删除。
- 4)无效行 当某行语句暂时不执行时,可在该语句行前加[ ; ],程序中即把该行语句作为无效行处理。
- 5)空格 插入程序语句中需要空格格式的地方。
- 6)上页 向上翻页。
- 7)下页 向下翻页。
- 8)返回 返回前一画面。

9)插入代码 按此键进入插入代码子功能模块,可在程序中插入所需的 G 代码、M 代码、C 代码、H 代码、N 代码、K 代码、Y 代码、Z 代码以及平动码等,按所需的代码键、文件编辑框中即显示该代码,用户只要在代码后输入字符,就能完成此代码的定义。

备注 N 代码 :在子程序段之前,必须加上 N 代码,作为子程序的标示。平动码的格式为 :

LNXX STEPXXX

平动幅度、半径

平动轨迹

伺服方式

平动类型见图 6-19。

轨迹 方式	OFF			
自由	00	01	02	03
步进	10	11	12	13
锁定	20	21	22	23

图 6-19 平动类型

(2) 编辑完程序后按返回键直到看到保存键,按此键输入文件名按确认键即可,此程序名可与已有的文件名重名,但此程序将覆盖以前的程序。