

# 学习情境一

## FANUC/华中系统数控车床编程与实例

### 任务一 FANUC/华中系统数控车床编程基础

数控车床具有加工通用性好、加工精度高、加工效率高和加工质量稳定等特点,是理想的回转体零件加工机床,能自动地完成轴类和盘类零件内外圆柱面、圆锥面、球面、圆柱螺纹、圆锥螺纹等工序的切削加工,并能进行切槽、钻孔、扩孔、铰孔等工序的加工。

FANUC 系统的编程指令与华中系统数控车床的编程指令相似,其不同之处在本书中会加以说明。本书将重点介绍 FANUC 0i Mate-TC 系统与 FANUC-21/22 T 系统的用法。

#### 一、程序结构

##### 1. FANUC 0i Mate-TC 系统加工程序的组成

数控加工中零件加工程序的组成形式与采用的数控系统形式略有不同。现在的数控系统中,其加工程序可分为主程序和子程序,但不论是主程序还是子程序,每一个程序都由若干个程序段组成。程序段由一个或若干个字(字由表示地址的字母和数字、符号等组成,它是控制数控机床完成一定功能的具体指令)组成,它表示数控机床为完成某一特定动作而需要的全部指令。例如:

```
O1001;  
N10 G54 G98 G21;  
N20 M03 S600;  
N30 T0101;  
N40 G00 X42 Z2;  
...  
N50 M05;  
N60 M30;
```

上面每一行称为一个程序段,N10、G54、M03、S600...都是一个字。



华中系统数控车床(HNC-21/22T)的准备功能 G 指令见表 1-1-2。

表 1-1-2 华中系统数控车床(HNC-21/22T)的准备功能 G 指令

G 指令	组号	功 能	G 指令	组号	功 能
G00	01	快速定位	G56	11	工作坐标系设定
☆G01		直线插补	G57		工作坐标系设定
G02		顺时针方向圆弧插补	G58		工作坐标系设定
G03		逆时针方向圆弧插补	G59		工作坐标系设定
G04	00	暂停指令	G71	06	内外径粗车复合循环
G20	08	英制单位设定	G72		端面车削复合循环
☆G21		米制单位设定	G73		闭环车削复合循环
G28	00	从中间点返回参考点	G76		螺纹切削复合循环
G29		从参考点返回	☆G80	内外径车削固定循环	
G32	01	螺纹车削	G81	01	端面车削固定循环
☆G36	16	直径编程	G82		螺纹切削固定循环
G37		半径编程	G90	13	绝对值编程
☆G40	09	刀具半径补偿取消	G91		增量值编程
G41		刀具半径左补偿	G92	00	工件坐标系设定
G42		刀具半径右补偿	☆G94	14	每分钟进给
G53	00	机床坐标系选择	G95		每转进给
☆G54	11	工作坐标系设定	G96	16	恒线速度控制
G55		工作坐标系设定	☆G97		取消恒线速度控制

注:1. G 指令根据功能的不同分成若干组,其中 00 组的 G 功能为非模态 G 指令,指令只在所规定的程序段中有效,程序段结束时被注销;其余组的 G 功能为模态 G 指令,这些功能一旦被执行,则一直有效,直到被同一组的 G 指令注销为止。

2. 模态 G 指令组中包含一个缺省 G 指令(上表中带有☆记号的 G 指令),上电时将初始化该功能。

3. 没有共同地址符的不同组 G 指令代码可以放在同一程序段中,而且与顺序无关,如 G90、G17 可与 G01 放在同一程序段中。

4. G 指令后一般由两位数字组成,在编程时,G 指令中前面的 0 可省略,如 G00、G01、G02、G03、G04 可简写为 G0、G1、G2、G3、G4。

## 2. 辅助功能 M 指令

M 指令主要用于机床操作时的工艺性指令,如主轴的启、停和切削液的开、关等。

表 1-1-3 列出了 FANUC 0i Mate-TC 系统数控车床常用的辅助功能 M 指令。



5) 切削液开关指令 M08/M09

**编程格式**

M08(M09);

**编程说明**

M08 表示打开切削液, M09 表示关闭切削液。

M 功能有非模态和模态两种形式。非模态 M 功能(当段有效指令)只在有该指令的程序段中有效, 下一程序段无效; 模态 M 功能(续效指令)一旦被指定, 就一直有效, 直到这些功能被同一组的另一个功能注销。

在一个程序段中只能指令一个 M 功能, 如果在一个程序段中同时指令了两个或两个以上的 M 功能, 则只有最后一个 M 功能有效。如 M03 S600 M08; 其中 M08 有效, 而 M03 无效。

华中系统数控车床(HNC-21/22T)的辅助功能 M 指令见表 1-1-4。

表 1-1-4 华中系统数控车床(HNC-21/22T)的辅助功能 M 指令

M 指令	模 态	功 能	M 指令	模 态	功 能
M00	非模态	程序暂停	M07	模态	切削液开
M02	非模态	主程序结束	M09	模态	切削液关
M03	模态	主轴正转启动	M30	非模态	主程序结束 返回程序起点
M04	模态	主轴反转启动	M98	非模态	调用子程序
M05	模态	主轴停转	M99	非模态	子程序结束
M06	非模态	换刀			

注: 在编程时, M 指令中前面的 0 可省略, 如 M00、M03 可简写为 M0、M3。

### 3. 其他功能指令

1) 进给功能 F 指令

进给功能 F 指令用字母 F 及其后面的数字表示。

F 指令主要指定机床加工工件时, 刀具相对于工件的进给量(进给速度), 有两种使用方法。

(1) 每转进给量指令 G99。

**编程格式**

G99 F<sub>;</sub>

**编程说明**

F 后面的数字表示的是主轴每转进给量, 单位为 mm/r。如 G99 F0.2 表示主轴每转进给量为 0.2 mm/r。

特别注意, 系统开机状态为 G99 指令状态, 只有输入 G98 指令后, G99 指令才被取消。在含有 G99 指令的程序段后面, 在遇到 F 指令时, 认为 F 所指定的进给速度单位为 mm/r。

(2) 每分钟进给量指令 G98。

**编程格式**

G98 F<sub>;</sub>



### 编程格式

G97 S<sub>—</sub>;

### 编程说明

①S后面的数字表示恒线速控制取消后的主轴转速,如S未指定,将保留G96指令的最终值,例如,G97 S500表示恒线速控制取消后主轴转速为500 r/min。

②该指令用于车削螺纹或工件直径变化较小的场合。采用此功能,可设定主轴转速并取消恒线速度控制。

(3)主轴最高转速限定指令G50。G50指令可防止因主轴转速过高,离心力太大而产生危险及影响机床寿命。

### 编程格式

G50 S<sub>—</sub>;

### 编程说明

①G50指令有坐标系设定和主轴最高转速设定两种功能,此处指后一种功能,用S指定的数值设定主轴每分钟最高转速。例如,G50 S2000把主轴最高转速设定为2 000 r/min。

②用恒线速控制加工端面、锥度、圆弧时,容易获得内外一致的表面粗糙度,但由于X坐标值不断变化,所以由公式 $S=n=1\,000\ v/\pi d$ 计算出的主轴转速也不断变化,当刀具逐渐靠近工件中心时,主轴转速会越来越高,此时工件有可能因卡盘调整压力不足而从卡盘中飞出。为防止发生事故,在使用G96指令之前,最好设定G50指令来限制主轴最高转速。

#### 例 1-1-2 设定主轴速度。

设定主轴速度分别为:

G96 S100; 设定线速度恒定,切削点线速度为100 m/min

G50 S3000; 设定主轴最高转速为3 000 r/min

...

G97 S300; 取消线速度恒定功能,主轴转速为300 r/min

F指令、T指令、S指令均为模态指令。

## 三、准备功能G指令

### 1. 绝对值编程和增量值编程指令

在FANUC 0i Mate-TC系统中,绝对值编程采用地址X、Z进行编程(X为直径值);而在增量值编程时,用U、W代替X、Z进行编程。U、W的正负由行程方向确定,行程方向与机床坐标方向相同时取正,反之取负。在编程时一般采用绝对编程。

华中世纪星(HNC-21/22T)系统绝对值编程时,用G90指令后面的X、Z表示X轴、Z轴的坐标值,所有程序段中的尺寸均是相对于工件坐标系原点的。增量编程时,用U、W或G91指令后面的X、Z表示X轴、Z轴的增量值,其后的所有程序段中的尺寸均是以前一位置为基准的增量尺寸,直到被G90指令取代。其中表示增量的字符U、W不能用于循环指令G80、G81、G82、G71、G72、G73、G76程序段中,但可用于定义精加工轮廓的程序中。G90、G91为模态指令,可相互注销,G90为缺省值。





### 编程说明

(1) X(U)、Z(W)为圆弧终点坐标。

(2) I、K 分别为圆心相对圆弧起点的增量坐标,即  $I = \text{圆心坐标 X} - \text{圆弧起点的 X 坐标}$ ,  $K = \text{圆心坐标 Z} - \text{圆弧起点的 Z 坐标}$ ;不管用绝对方式还是增量方式编程,都是以增量方式指定;在直径、半径编程时 I 都是半径值。

(3) R 为圆弧半径,有正值与负值之分。当圆弧圆心角小于或等于  $180^\circ$  时,程序中的 R 用正值表示,反之则用负值表示,通常情况下,数控车床所加工圆弧的圆心角一般小于  $180^\circ$ 。

(4) F 为进给速度。

**例 1-1-3** 如图 1-1-3 所示,刀具以  $0.1 \text{ mm/r}(F0.1)$  的速度沿 A—B—C—D—E 运动。编程原点建在工件右端面中心,编写加工程序。

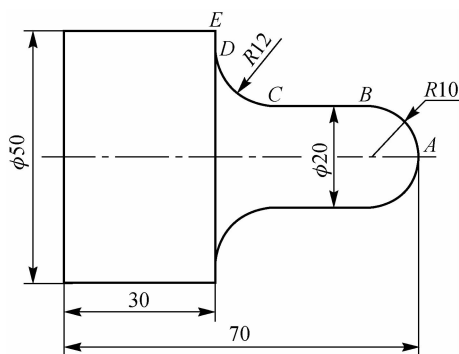


图 1-1-3 圆弧插补

绝对坐标方式:

N10 G03 X20.0 Z-10.0 I0 K-10.0(或 R15.0) F0.1; A—B

N20 G01 Z-28.0; B—C

N30 G02 X44.0 Z-40.0 I12.0 K0(或 R12.0); C—D

N40 G01 X50.0; D—E

增量坐标方式:

N10 G03 U20.0 W-10.0 I0 K-10.0(或 R15.0) F0.1; A—B

N20 G01 W-18.0; B—C

N30 G02 U24.0 W-12.0 I12.0 K0(或 R12.0); C—D

N40 G01 U8.0; D—E

### 5. 程序延时(暂停)指令 G04

G04 指令可使刀具短时间停顿。

#### 编程格式

G04 X\_;

或 G04 P\_;

#### 编程说明

(1) G04 指令按给定时间延时,不做任何动作,延时结束后再自动执行下一段程序。

(2) G04 指令主要用于切槽、钻孔时为了保证槽底、孔底的尺寸及表面粗糙度时可使刀具在短时间无进给方式下进行光整加工。



当为  $R \pm r$  时,圆弧倒角情况如图 1-1-5 所示。

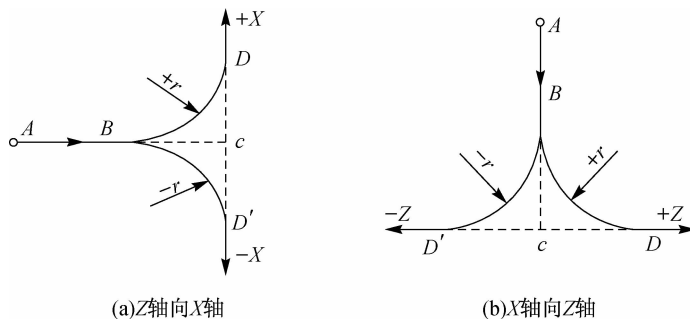


图 1-1-5 倒圆角

### 3) 倒角特点

倒角的特点如下。

(1) 倒直角和倒圆角指令中的 C 值和 R 值有正、负之分。当倒直角和倒圆角的方向指向另一坐标轴的正向时, C 值和 R 值为正;反之, C 值和 R 值为负。

(2) FANUC 系统中的倒直角和倒圆角指令仅适用于两直角边间的倒直角和倒圆角。

(3) 倒直角和倒圆角指令格式可用于实现凸、凹形尖角轮廓。

(4) 在螺纹切削程序段中不得出现倒角控制指令。

(5) 对于倒直角或倒圆角的移动必须是 G01 方式中沿 X 或 Z 轴的单个移动。下一个程序段必须是沿 X 或 Z 轴的垂直于前一个程序段的单个移动。

(6) I 或 K 和 R 的命令值为半径编程。

(7) 在跟着一个倒直角或倒圆角的程序段中, 指定命令的始点不是图 1-1-4 及图 1-1-5 中的  $D(D')$ , 而是 C 点。在增量程序中, 指定从 C 点出发的距离。

**例 1-1-5** 如图 1-1-6 所示, 用倒角指令编程。

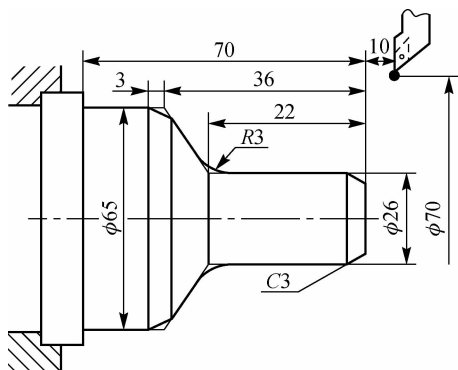


图 1-1-6 倒角编程举例

用倒角指令编程为:

```
O0001;
```

```
N05 M03 S500 T0101;
```

```
N10 G00 X0 Z3.0;
```

G40——刀具半径补偿取消指令,即使用该指令后,G41、G42 指令无效。

## 五、固定循环指令

固定循环指令是预先给定一系列操作,用来控制机床位移或主轴运转,从而完成各项加工的指令。对非一刀加工完成的轮廓表面,即加工余量较大的表面采用循环编程,可以缩短程序段的长度,减少程序所占内存。

固定循环一般分为单一形状固定循环和复合形状固定循环。本书主要介绍使用较多的复合形状固定循环。

### 1. 复合形状固定循环

复合形状固定循环应用于切除非一次加工即能加工到规定尺寸的场所。利用复合固定循环功能,只要编写出最终加工路线,给出每次的背吃刀量等加工参数,车床即可自动地重复切削直到加工完为止。

#### 1) 外径、内径粗车循环指令 G71

G71 指令适用于圆柱棒料毛坯粗车外径或圆筒毛坯粗车内径。该指令只需指定精加工路线、精加工余量、粗加工每次切深、F 功能、S 功能、T 功能等,系统会自动给出粗加工路线,刀具循环路径如图 1-1-8 所示。

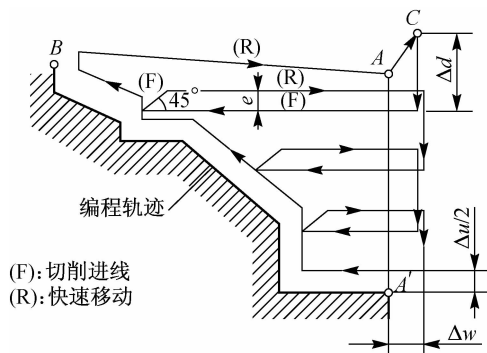


图 1-1-8 外径、内径粗加工循环

#### 编程格式

G71 U( $\Delta d$ ) R( $e$ );

G71 P( $ns$ ) Q( $nf$ ) U( $\Delta u$ ) W( $\Delta w$ ) F( $f$ ) S( $s$ ) T( $t$ );

#### 编程说明

(1) G71 指令中各参数意义: $\Delta d$  为背吃刀量(半径值,无正负号); $e$  为每次切削后的退刀量(半径值,无正负号); $ns$  为精加工轮廓程序第一个程序段的段号; $nf$  为精加工轮廓程序最后一个程序段的段号; $\Delta u$  为 X 轴向精加工余量(直径值); $\Delta w$  为 Z 轴向精加工余量; $f$ 、 $s$ 、 $t$  为 F、S、T 指令所赋的值。

(2) 顺序号  $ns \sim nf$  程序段中的 F、S、T 指令,即使被指定也对粗车循环无效,而在 G71 程序段或前面程序段中指定的 F、S 或 T 指令有效。

(3) 零件轮廓必须符合 X 轴、Z 轴方向同时单调增大或单调减少。

(4) 顺序号  $ns \sim nf$  的程序段中不能调用子程序。

### 编程格式

G72 W( $\Delta d$ ) R( $e$ );

G72 P(ns) Q(nf) U( $\Delta u$ ) W( $\Delta w$ ) F( $f$ ) S( $s$ ) T( $t$ );

### 编程说明

式中各参数的含义和要求与 G71 指令相同,这里不再重复。

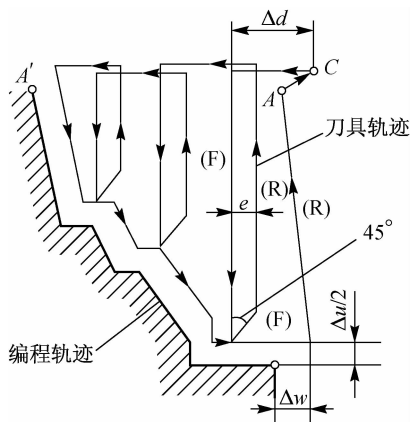


图 1-1-10 端面粗加工循环

**例 1-1-7** 如图 1-1-11 所示,毛坯为  $\phi 140$  mm,要进行端面粗车,主轴转速为 500 r/min,粗车背吃刀量为 2 mm,退刀量为 2 mm,留给精加工的余量 X 向为 0.5 mm,Z 向为 0.1 mm,粗车进给量为 0.3 mm/r,使用 G72 指令编写加工程序,编程原点建在右端面中心。

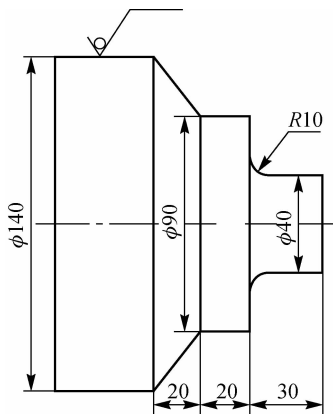


图 1-1-11 端面粗加工循环实例

参考程序如下:

O0020;

N05 M03 S500;

N10 T0101;

N15 G00 X145.0 Z0 M08;

N20 G72 W2.0 R2.0;

N25 G72 P30 Q55 U0.5 W0.1 F0.3;

主轴正转,转速为 500 r/min

选用 1 号刀

快速到达循环起刀点,切削液开

调用端面粗加工循环



N15 G00 X200.0 Z10.0 M08;	快速到达循环起刀点,切削液开
N20 G73 U50.0 W10.0 R10.0;	轮廓粗加工循环
N25 G73 P30 Q55 U1.0 W0.5 F0.3;	
N30 G00 X80.0;	} 精加工路线程序段
N32 Z0.0;	
N35 G01 Z-20.0;	
N40 X120.0 W-10.0;	
N45 W-20.0;	
N50 G02 X160.0 W-20.0 R20.0;	
N55 G01 X180.0 W-10.0;	
N60 G00 X260.0 Z80.0 M05 M09;	回换刀点,主轴停,切削液关
N65 M30;	程序结束

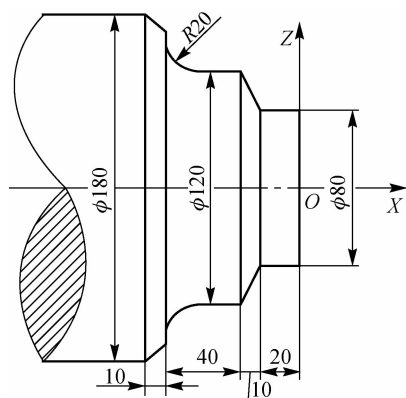


图 1-1-13 G73 指令应用实例

#### 4) 精加工循环指令 G70

当用 G71、G72、G73 指令粗车工件后,用 G70 指令来指定精车循环,切除粗加工中留下的余量。精加工时,G71、G72、G73 指令程序段中的 F、S、T 指令无效,只有在 ns~nf 程序段中的 F、S、T 指令才有效。

##### 编程格式

G70 P(ns) Q(nf);

##### 编程说明

式中 ns 为精加工轮廓程序段中开始程序段的段号,nf 为精加工轮廓程序段中结束程序段的段号。

**例 1-1-9** 如图 1-1-14 所示,试用 G70、G71 指令编程加工工件。

参考程序如下:

O0051	
N05 M03 S500;	主轴正转,转速为 500 r/min
N10 T0101;	选用 1 号刀
N15 G00 X40.0 Z5.0 M08;	快速到达 G71 循环起刀点,切削液开
N20 G71 U2.0 R2.0;	外圆粗加工循环



### 编程说明

$e$ ——每次沿  $X$  向切削  $\Delta i$  后的退刀量(mm),其值为模态值;

$X(U) Z(W)$ ——切槽终点处坐标;

$\Delta i$ —— $X$  向每次循环进刀量( $\mu\text{m}$ ),不带符号;

$\Delta k$ —— $Z$  向每次切削完成后进刀量( $\mu\text{m}$ ),不带符号,需注意其值要小于刀宽;

$\Delta d$ ——切削到终点时  $Z$  方向的退刀量(可以缺省),通常不指定;

$f$ ——切削时的进给速度。

**例 1-1-10** 加工图 1-1-16 所示的零件,编程原点建在右端面中心。

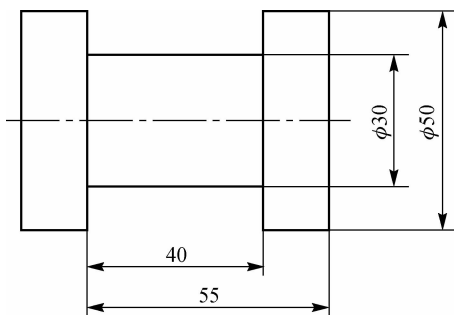


图 1-1-16 G75 指令应用实例 1

参考程序如下:

O3014;

N10 T0202;

切槽刀,刀宽 5 mm

N20 M03 S300;

N30 G00 X52.0 Z-20.0 M08;

起刀点为槽口的右侧,刀具从右侧开始  
向左侧加工

N40 G75 R1.0;

N50 G75 X30.0 Z-55.0 P3000 Q4500 R0.0 F0.1;

N60 G00 X100.0 Z80.0 M09;

N70 M05;

N80 M30;

使用切槽复合固定循环时的注意事项如下。

(1)在 FANUC 系统中,当出现以下情况而执行切槽复合固定循环指令时,将会出现程序报警。

① $X(U)$ 或 $Z(W)$ 指定,而 $\Delta i$ 或 $\Delta k$ 值未指定或指定为 0。

② $\Delta k$ 值大于 $Z$ 轴的移动量( $W$ )或 $\Delta k$ 值设定为负值。

③ $\Delta i$ 值大于 $U/2$ 或 $\Delta i$ 值设定为负值。

④退刀量大于进刀量,即 $e$ 值大于每次切深量 $\Delta i$ 或 $\Delta k$ 。

(2)由于 $\Delta i$ 和 $\Delta k$ 为无符号值,刀具切深完成后的偏移方向由系统根据刀具起刀点及切槽终点的坐标自动判断。

(3)切槽过程中,刀具或工件受较大的单方向切削力,容易在切削过程中产生振动,因此,切槽加工中进给速度 $F(f)$ 的取值应略小(特别是在端面切槽时),通常取 $50\sim 100\text{ mm/min}$ 。



### 编程说明

$\Delta d$  为切削深度;  $r$  为每次退刀量;  $ns$  为精加工路径第一个程序段的程序段号;  $nf$  为精加工路径最后程序段的程序段号;  $e$  为精加工余量, 其为  $X$  向的等高距离; 外径切削时为正, 内径切削时为负; 粗加工时  $G71$  指令中编程的  $F$ 、 $S$ 、 $T$  指令有效, 而精加工时处于  $ns \sim nf$  程序段之间的  $F$ 、 $S$ 、 $T$  指令有效。

该指令执行的粗加工和精加工轨迹如图 1-1-19 所示。

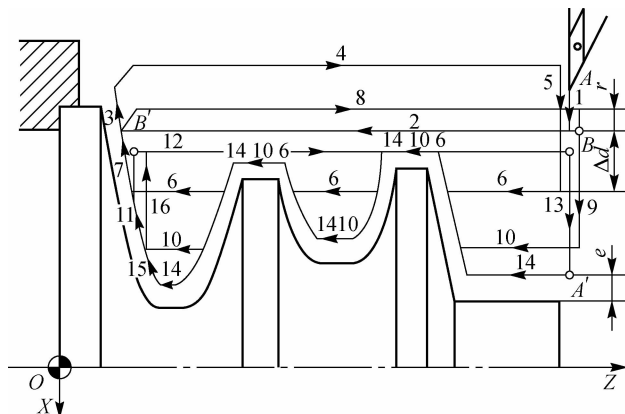


图 1-1-19 内、外径粗车复合循环指令  $G71$  (有凹槽)

### (二) 端面粗车复合循环指令 $G72$

#### 编程格式

$G72$   $W(\Delta d)$   $R(r)$   $P(ns)$   $Q(nf)$   $X(\Delta x)$   $Z(\Delta z)$   $F(f)$   $S(s)$   $T(t)$ ;

#### 编程说明

该循环指令与  $G71$  指令的区别仅在于该循环指令切削方向平行于  $X$  轴。

$\Delta d$  为切削深度, 指定时不加符号;  $r$  为每次退刀量;  $ns$  为精加工路径第一程序段的顺序号;  $nf$  为精加工路径最后程序段的顺序号;  $\Delta x$  为  $X$  向精加工余量;  $\Delta z$  为  $Z$  向精加工余量; 粗加工时  $G71$  指令中编程的  $F$ 、 $S$ 、 $T$  指令有效, 而精加工时处于  $ns \sim nf$  程序段之间的  $F$ 、 $S$ 、 $T$  指令有效。

该指令执行的粗加工和精加工轨迹如图 1-1-20 所示。

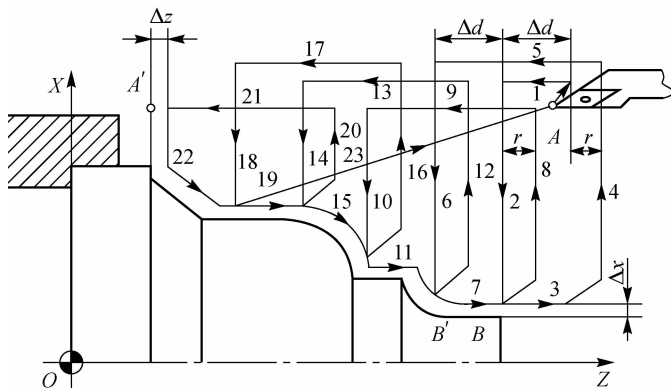


图 1-1-20 端面粗车复合循环指令  $G72$

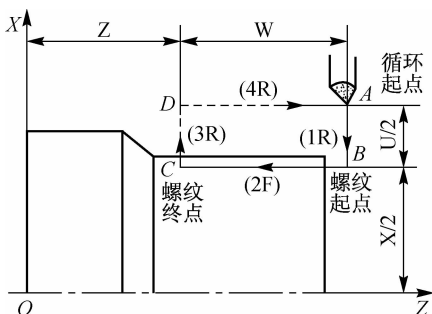


图 1-1-22 圆柱螺纹加工轨迹

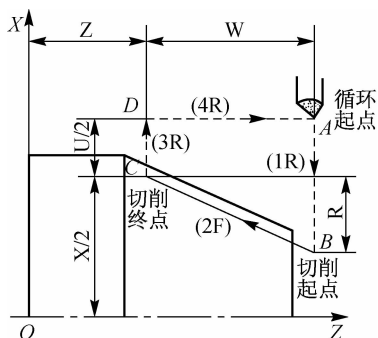


图 1-1-23 圆锥螺纹加工轨迹

**例 1-1-11** 图 1-1-24 所示为内螺纹车削实例。编程原点设在右端面中心,利用 G92 指令编写螺纹加工程序。

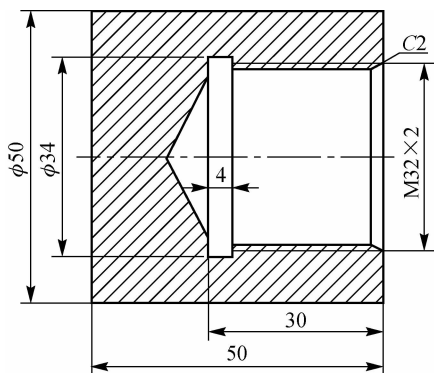


图 1-1-24 内螺纹车削实例

参考程序如下:

O0326;

N010 M03 S350;

N020 T0101;

N030 G00 X26.0 Z3.0 M08;

N040 G92 X29.4 Z-28.0 F2;

N050 X30.3;

N060 X30.9;

N070 X31.5;

N080 X31.9;

N090 X32.0;

N100 G00 X80.0 Z50.0 M09;

N110 M05;

N120 M30;

主轴正转,转速为 350 r/min

选用 1 号刀

快速定位到 G92 指令循环起刀点

螺纹切削循环 1

螺纹切削循环 2

螺纹切削循环 3

螺纹切削循环 4

螺纹切削循环 5

螺纹切削循环 6

快速退刀到换刀点,切削液关

主轴停

程序结束

**例 1-1-12** 加工如图 1-1-25 所示的圆锥螺纹,螺纹导程为 2 mm,利用螺纹固定循环指令 G92 编写加工程序。





点坐标小于切削终点坐标时,  $i$  为负, 反之为正;  $f$  为螺纹导程;  $k$  为螺纹高度 ( $X$  轴方向的半径值);  $\Delta d$  为第一次切入量 ( $X$  轴方向的半径值)。

G76 指令刀具切入方法如图 1-1-26 所示, 在循环加工中, 刀具为单侧刃加工, 可以使刀尖的负载减轻。每一次粗车螺纹深度为  $d = \Delta d \sqrt{n}$ ,  $n$  为当前粗车循环次数,  $\Delta d$  为第一次粗车的螺纹切深。按照车螺纹的规律, 每次吃刀时的切削面积应尽可能保持均衡的趋势, 因此, 相邻两次的吃刀深度应按递减规律逐步减小。

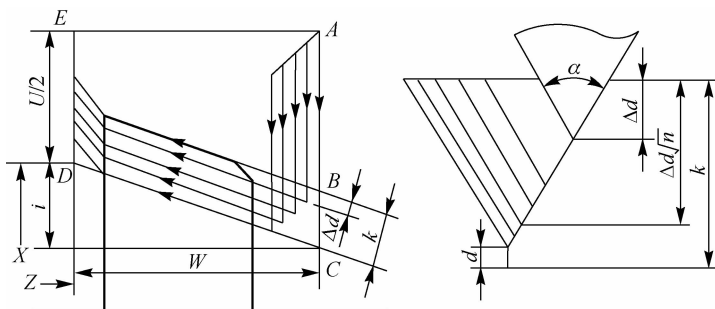


图 1-1-26 复合螺纹加工路线及进刀法

**例 1-1-13** 加工如图 1-1-27 所示的零件, 要求车端面、车 M30 螺纹大径、切槽、切断。编程原点建在工件右端面中心, 用 G76 指令编程。

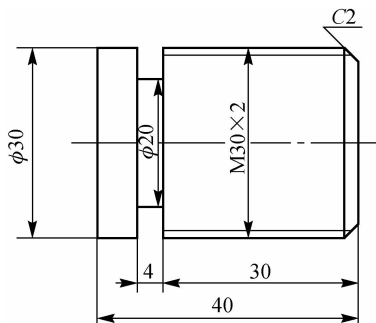


图 1-1-27 车螺纹实例

参考程序如下:

O0329;

N05 M03 S800;

主轴正转, 转速 800 r/min

N10 T0101;

调用 1 号刀 (外圆车刀)

N15 G00 X35.0 Z0;

刀具快速定位

N20 G01 X-0.5 F0.15;

车端面

N25 Z1.0;

N30 G00 X24.0;

N35 G01 X29.8 Z-2.0;

倒角

N40 Z-34.0;

车螺纹大径

N45 X30.0;

N50 Z-45.0;



需要注意的是,螺纹切削循环同 G32 螺纹切削一样,在进给保持状态下,该循环在完成全部动作之后才停止运动。

## 2. 锥螺纹切削循环

### 编程格式

```
G82 X_ Z_ I_ R_ E_ C_ P_ F_;
```

### 编程说明

X、Z 为绝对值编程时螺纹终点 C 在工件坐标系下的坐标,为增量值编程时螺纹终点 C 相对于循环起点 A 的增量;I 为螺纹起点 B 与螺纹终点 C 的半径差,其符号为差的符号(无论是绝对值编程还是增量值编程);F 为螺纹导程;R、E 为螺纹切削的回退量,R、E 均为绝对值,R 为 Z 向回退量,E 为 X 向回退量,R、E 可以省略,表示不用回退功能;C 为多线螺纹切削时的螺纹线数,C 为 0 时表示切削单线螺纹;P 为单头螺纹切削时,主轴基准脉冲处距离切削起始点的主轴转角,为多线螺纹切削时相邻螺纹线的切削起始点之间对应的主轴转角。

该指令执行图 1-1-29 所示 A—B—C—D—A 的轨迹动作。

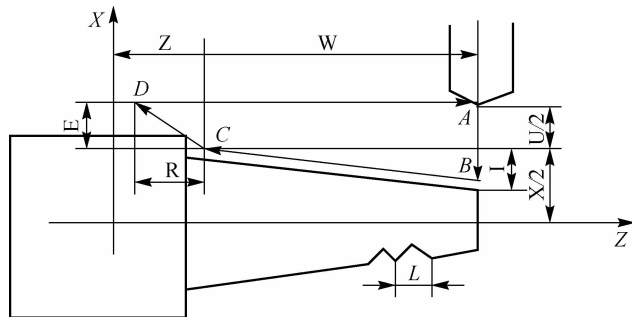


图 1-1-29 锥螺纹切削循环

## (二) 螺纹切削复合循环指令 G76

### 编程格式

```
G76 C(c) R(r) E(e) A( $\alpha$ ) X(x) Z(z) I(i) K(k) U(d) V( $\Delta d_{\min}$ ) Q( $\Delta d$ ) P(p) F(L);
```

### 编程说明

螺纹切削固定循环指令 G76 执行图 1-1-30 所示的加工轨迹,其单边切削及参数如图 1-1-31 所示。其中, $c$  为精整次数(1~99),为模态值; $r$  为螺纹 Z 向退尾长度(00~99),为模态值; $e$  为螺纹 X 向退尾长度(00~99),为模态值; $\alpha$  为刀尖角度(两位数字),为模态值,在  $80^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $29^\circ$  和  $0^\circ$  六个角度中选一个; $x$ 、 $z$  为绝对值编程时,有效螺纹终点 C 的坐标,为增量值编程时有效螺纹终点 C 相对于循环起点 A 的增量; $i$  为螺纹两端的半径差,若  $i=0$ ,则为直螺纹(圆柱螺纹)切削方式; $k$  为螺纹高度,该值由  $x$  轴方向上的半径值指定; $\Delta d_{\min}$  为最小切削深度(半径值),当第  $n$  次切削深度  $(\Delta d \sqrt{n} - \Delta d \sqrt{n-1})$  小于  $\Delta d_{\min}$  时,则切削深度设定为  $\Delta d_{\min}$ ;  $d$  为精加工余量(半径值); $\Delta d$  为第一次切削深度(半径值); $p$  为主轴基准脉冲处距离切削起始点的主轴转角; $L$  为螺纹导程(同 G32)。

需要注意的是,G76 段中的 X( $x$ )和 Z( $z$ )指令实现循环加工,增量编程时,要注意  $u$  和  $w$  的正负号(由刀具轨迹 AC 和 CD 段的方向决定),G76 指令循环进行单边切削,减小了刀尖的受力。第一次切削时切削深度为  $\Delta d$ ,第  $n$  次的切削总深度为  $\Delta d \sqrt{n}$ ,每次循环的背吃刀量

## 任务训练一

1. 数控车床编程有哪些特点?
2. 为什么要应用恒定切削速度指令 G96?
3. 在应用倒直角和倒圆角指令时应注意什么问题?
4. 为什么要应用刀具补偿指令?

## 任务二 轴类零件的加工编程

### 一、外轮廓的车削加工编程

编制图 1-2-1 所示零件的加工程序。零件材料为尼龙棒或 45 钢,毛坯尺寸为  $\phi 80 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ 。

#### 1. 零件编程工艺分析

##### 1) 刀具设置

1 号刀:  $95^\circ$  正偏刀(机械夹固式,硬质合金可转位刀片)。

2 号刀:  $95^\circ$  正偏刀(机械夹固式,硬质合金可转位刀片)。

##### 2) 工艺路线

(1) 棒料伸出卡盘卡爪右端面外约 85 mm,找正后夹紧。

(2) 用 1 号刀进行零件的轮廓循环粗加工。

(3) 用 2 号刀进行零件的轮廓精加工。

##### 3) 加工工艺卡片

填写加工工艺卡片,见表 1-2-1。

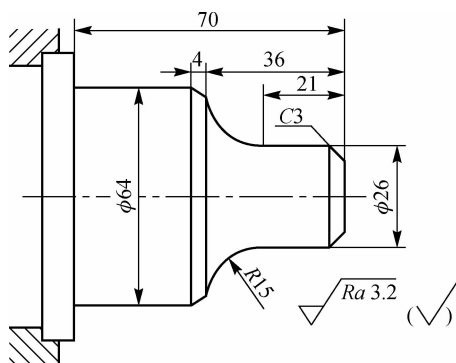


图 1-2-1 带圆弧的台阶轴加工实例

表 1-2-1 轴类零件(台阶轴)外轮廓车削的加工工艺卡

数控实训基地	数控加工工艺卡片		产品名称或代号		零件名称	材料	零件图号
			×××		台阶轴	45 钢	×××
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备		车间	
	O1001	三爪自定心卡盘		数控车床		数控实训基地	
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格/mm	主轴转速/ ( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )	进给速度/ ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ )	背吃刀量/mm	备注
1	粗车左端部分外轮廓	T01	25×25	600	100	4.0	自动
2	精车左端部分外轮廓	T02	25×25	1 000	60	1.0	自动
编制		审核		共 页		第 页	



华中 HNC-21T/22T 系统的指令大部分与 FANUC 指令一致,需更改的指令为 G71 指令的格式。

程序段号	加工程序	程序说明
	O1001;	
N10	G54 G94 G21;	采用 G54 坐标系,分进给,公制单位
N20	M03 S600;	主轴正转,转速为 600 r/min
N30	T0101;	换 1 号刀粗车外圆
...		和 FANUC Oi 的程序相同,在此省略
N80	G71 U2 R1 P150 Q220 X1 Z0.1 F100;	复合循环调用—粗车加工, N150 ~ N220 为循环部分轮廓
N90	Z200;	快速退刀到换刀点
N100	M05;	主轴停止
N110	M00;	系统暂停,可以对粗车后的工件进行 测量
N120	T0202;	换 2 号刀精车外圆
N130	M03 S1000;	主轴以 1 000 r/min 正转,准备精车
N140	G0 X90 Z2;	
N150	G1 X20;	到达加工的起始点
N160	G1 Z0;	
N170	G1 X26 Z-3;	车 C3 倒角
N180	G1 Z-21;	车 $\phi 26$ mm 外圆
N190	G2 X56 Z-36 R15;	车 R15 mm 圆弧
N200	G1 X64 Z-40;	车圆锥
N210	Z-70;	车 $\phi 64$ mm 外圆
N220	X90;	车台阶
N230	G0 Z100;	快速退刀
N240	M05;	主轴停
N250	M30;	主程序结束

## 二、切槽与外螺纹的车削加工编程

如图 1-2-2 所示,外轮廓已粗、精加工至图示尺寸,请编制槽和螺纹的加工程序。零件材料为尼龙棒或 45 钢,毛坯尺寸  $\phi 40$  mm。



程序段号	加工程序	程序说明
	O1002;	
N10	G54 G98 G21;	采用 G54 坐标系,分进给,公制单位
N20	M03 S300;	主轴正转,转速为 300 r/min
N30	T0303;	换 3 号切槽刀
N40	G00 X45;	快速进刀至(X45,Z-45)
N50	Z-45;	
N60	G75 R0.1;	切槽循环
N70	G75 X26 Z-44 P500 Q3000 R0 F30;	
N80	G0 X100;	快速退刀
N90	Z100;	
N100	T0404;	换 4 号螺纹刀
N110	M03 S600;	主轴正转,转速为 600 r/min
N120	G00 X32 Z-10;	快速移到螺纹加工起点
N130	G76 P10160 Q60 R0.1;	螺纹切削复合循环
N140	G76 X28.14 Z-41 R0 P930 Q500 F1.5;	
N150	G0 X100;	快速退刀
N160	Z100;	
N170	M05;	主轴停
N180	M30;	主程序结束

华中系统(HNC-21 T/22T)用螺纹切削复合循环指令 G76 编程如下:

程序段号	加工程序	程序说明
	O1002;	
N10	G54 G94 G21;	采用 G54 坐标系,分进给,公制单位
N20	M03 S300;	和 FANUC Oi 系统的程序相同,在此省略解释
N30	T0303;	
N40	G0 X45;	
N50	Z-45;	
N60	G1 X26.2 F30;	切槽至 $\phi 26.2$ mm
N70	X45;	退刀
N80	G0 Z-44;	向右移动 1 mm
N90	X26.2 F30;	切槽至 $\phi 26.2$ mm
N100	X45;	退刀
N110	G0 Z-45;	向左移动 1 mm
N120	X26 F30;	切槽至 $\phi 30$ mm
N130	Z-44;	向右横拖 1 mm,消除切刀接缝线



加工出该零件。

### 1. 零件编程工艺分析

#### 1) 刀具设置

1 号刀:端面车刀。

2 号刀:φ16 mm 麻花钻。

3 号刀:镗孔刀(内孔车刀)。

#### 2) 工艺路线

(1) 夹毛坯,伸出卡盘长度 60 mm 左右。

(2) 用 1 号端面车刀手动车右端面。

(3) 用 2 号麻花钻手动钻孔(φ16 mm×30 mm)。

(4) 用 3 号镗刀粗加工内轮廓。

(5) 用 3 号镗刀精加工内轮廓。

#### 3) 加工工艺卡片

填写加工工艺卡片,见表 1-3-1。

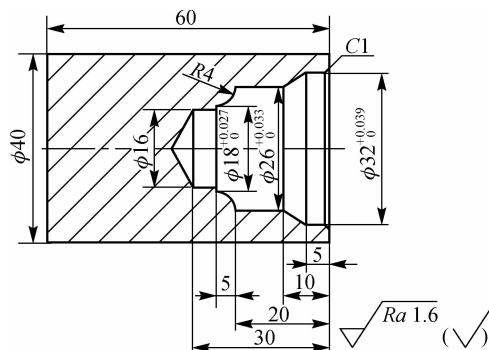


图 1-3-1 简单套类零件加工实例

表 1-3-1 套类零件(轴套)内轮廓车削的加工工艺卡

数控实训基地	数控加工工艺卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号	
			×××	轴套		×××	
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备	车间		
	O1003	三爪自定心卡盘		数控车床	数控实训基地		
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格/mm	主轴转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	进给速度/ (mm·min <sup>-1</sup> )	背吃刀量/mm	备注
1	车端面	T01	25×25	600			手动
2	钻孔 φ16 mm×30 mm	T02	φ16	300			手动
3	粗镗内轮廓	T03	25×25	600	80	1.5	自动
4	精镗内轮廓	T03	25×25	1 200	50	0.5	自动
编制		审核				共 页	第 页

### 2. 程序编制

采用 FANUC 0i Mate-TC 数控系统编制程序,用 T01 刀手动车端面后,用 T02 麻花钻手动钻孔 φ16 mm×30 mm,镗孔编程如下:

程序段号	加工程序	程序说明
	O1003;	
N10	G54 G98 G21 G00 X80 Z80;	建立 G54 工件坐标系,到程序起点位置
N20	M03 S600;	主轴正转,转速为 600 r/min
N30	T0303;	换 3 号镗孔刀
N40	G00 X16 Z2;	快进至循环起点
N45	G71 U1.5 R2;	



## 二、内沟槽与内螺纹的车削加工编程

如图 1-3-2 所示,零件毛坯选用  $\phi 40$  mm 的钢棒料,试编制该零件内轮廓的加工程序并加工出该零件。

### 1. 零件编程工艺分析

#### 1) 刀具设置

- 1 号刀:端面车刀。
- 2 号刀: $\phi 20$  mm 麻花钻。
- 3 号刀:镗孔刀(内孔车刀)。
- 4 号刀:宽 4 mm 切槽刀。
- 5 号刀: $60^\circ$ 内螺纹车刀。

#### 2) 工艺路线

- (1)夹毛坯,伸出卡盘卡爪右端面长度 60 mm 左右。
- (2)用 1 号端面车刀手动车右端面。
- (3)用 2 号麻花钻手动钻孔( $\phi 20$  mm $\times$ 30 mm)。
- (4)用 3 号镗刀粗加工内轮廓。
- (5)用 3 号镗刀精加工内轮廓至尺寸要求。
- (6)用 4 号切槽刀加工 4 mm $\times$ 1.5 mm 槽。
- (7)用 5 号内螺纹车刀加工 M30 $\times$ 1.5—5g/6g 螺纹。

#### 3) 相关计算

螺纹小径: $d' = d - 2 \times 0.6495P = (30 - 2 \times 0.6495 \times 1.5) \text{ mm} = 28.052 \text{ mm}$

#### 4) 加工工艺卡片

填写加工工艺卡片,见表 1-3-2。

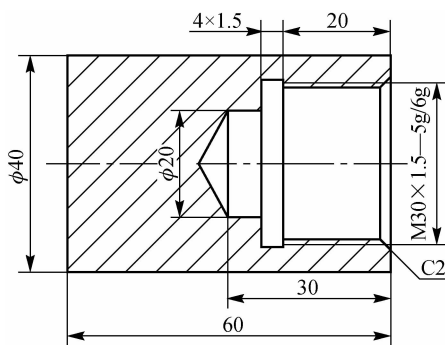


图 1-3-2 带内沟槽和螺纹的套加工范例

表 1-3-2 套类零件(内螺纹轴)内沟槽与内螺纹车削的加工工艺卡

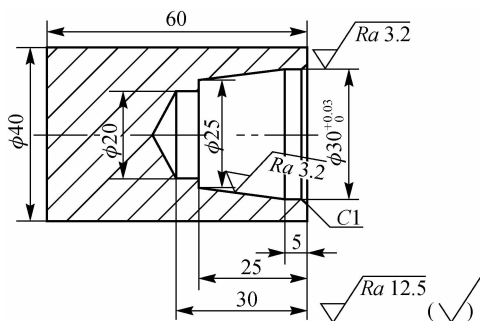
数控实训基地	数控加工工艺卡片			产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号
				×××	内螺纹轴	45 钢	×××
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备	车间		
	O1004	三爪自定心卡盘		数控车床	数控实训基地		
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格/mm	主轴转速/ ( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )	进给速度/ ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ )	背吃刀量/mm	备注
1	车端面	T01	25 $\times$ 25	600			手动
2	钻孔 $\phi 20$ mm $\times$ 30 mm	T02	$\phi 20$	300			手动
3	粗镗内轮廓	T03	25 $\times$ 25	600	100	1.5	自动
4	精镗内轮廓	T03	25 $\times$ 25	1 200	50	0.5	自动
5	切 4 mm $\times$ 1.5 mm 槽	T04	4	500	30	1	自动
6	加工 M30 $\times$ 1.5—5g/6g 螺纹	T05	25 $\times$ 25	500			自动
编制		审核			共 页		第 页



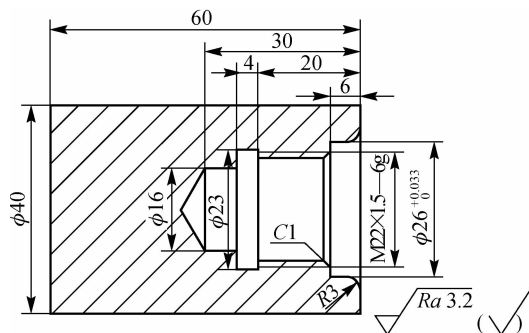
N20	M03 S600;	主轴正转,转速为 600 r/min
N30	T0303;	换 3 号镗孔刀
N40	G00 X14 Z5;	快进至循环起点
N50	G71 U1.5 R2 P60 Q90 X-0.4 Z0.2 F100;	
N55	M03 S1200;	主轴正转,转速为 1 200 r/min
N60	G01 X36.052 Z2 F50;	
N70	G01 X28.052 Z-2;	精加工轮廓起点
N80	G01 Z-24;	
N90	X14;	精加工轮廓终点
N120	G00 Z80;	Z 向退出
N130	G40 X80;	返回换刀点、取消刀补
N140	T0404;	换 4 号切槽刀(宽 4 mm)
N145	M03 S500;	
N150	G00 X14 Z5;	快进靠近工件
N160	Z-24;	
N170	G01 X31.052 F30;	切槽
N180	G01 X14;	
N190	G00 Z80;	
N200	G40 X80;	切槽结束,返回换刀点,取消刀补
N210	T0505;	换 5 号螺纹车刀
N220	G00 X18 Z5;	
N230	G76 C2 A60 X30 Z-22 K0.97 U0.1 V0.1 Q0.5 F1.5;	车螺纹复合循环
N250	G40 X80 Z80;	返回起刀点,并取消刀补
N260	M30;	主轴停转、主程序结束并复位

### 任务训练三

1. 试编制习题图 1-3-1 所示零件内轮廓的数控加工程序。
2. 试编制习题图 1-3-2 所示零件内轮廓的数控加工程序。



习题图 1-3-1



习题图 1-3-2





表 1-4-1 轴类综合零件(综合类轴)车削的加工工艺卡

数控实训基地		数控加工工艺卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号
				×××	综合类轴	45 钢	×××
工序号		程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备	车间	
		O1005	三爪自定心卡盘		数控车床	数控实训基地	
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格/mm	主轴转速/ ( $r \cdot \min^{-1}$ )	进给速度/ ( $\text{mm} \cdot \min^{-1}$ )	背吃刀量/mm	备注
1	车端面	T01	25×25	800	50		自动
2	粗车外轮廓	T01	25×25	800	100	2	自动
3	精车外轮廓	T02	25×25	1 200	50	0.5	自动
4	车螺纹退刀槽	T03	4	300	30		自动
5	车螺纹	T04	25×25	600			自动
编制		审核		共 页		第 页	

## 2. 程序编制

本程序以 FANUC 0i Mate-TC 系统为例进行编制,若采用华中系统可自行修改。

程序段号      加工程序

程序说明

	O1005;	程序名
N10	G54 G98 G21;	程序初始化,建立 G54 工件坐标系
N20	M03 S800;	主轴正转,转速为 800 r/min
N30	T0101;	换 1 号车刀
N40	G0 X42 Z0;	车端面
N50	G1 X-0.1 F50;	
N60	G0 X42 Z2;	刀具快速返回到循环加工起刀点
N70	G71 U1.5 R1.0;	
N75	G71 P80 Q170 U0.5 W0.1 F100;	复合循环调用—纵向外部粗车加工
N80	G1 X17;	轮廓起点
N85	Z0;	
N90	X20 Z-1.5;	倒角,若零件材料为钢件,则为 (X19.8,Z-1.5),主要考虑螺纹加工过程中的胀牙现象
N100	Z-21;	车 $\phi 20$ mm 外圆
N110	X22;	车台阶
N120	Z-31;	车 $\phi 22$ mm 外圆
N130	X24;	车台阶
N140	X28.5 Z-53.469;	车锥面
N150	G2 X38 Z-63 R15;	车圆弧
N160	G1 Z-71;	车 $\phi 38$ mm 外圆



## 1. 零件编程工艺分析

### 1) 刀具设置

1号刀:机夹外圆车刀(硬质合金可转位刀片)。

2号刀:宽4 mm的硬质合金机夹切槽刀。

3号刀:60°硬质合金机夹外圆螺纹刀。

4号刀:硬质合金焊接镗刀。

5号刀:φ20 mm锥柄麻花钻。

### 2) 工艺路线

(1)三爪自定心卡盘装夹工件右端,手动车削工件左端面,用φ20 mm麻花钻(5号刀)钻φ20 mm底孔。

(2)用93°正偏刀(1号刀)粗精车左端φ32 mm和φ38 mm外圆。

(3)用内孔镗刀(4号刀)镗φ22 mm内孔。

(4)掉头夹φ32 mm外圆,用1号外圆刀车右端面,车对总长,用轮廓循环粗、精车右端外形轮廓。

(5)用切槽刀(2号刀,刀宽4 mm)切φ26 mm螺纹退刀槽,并用切槽刀右刀尖倒出M30螺纹左端C2倒角。

(6)用60°外螺纹车刀(3号刀)车削循环车M30螺纹。

### 3) 加工工艺卡片

填写加工工艺卡片,见表1-4-2。

表 1-4-2 复杂综合零件(复杂轴)车削的加工工艺卡

数控实训基地		数控加工工艺卡片		产品名称或代号		零件名称		材料		零件图号	
				×××		复杂轴		45 钢		×××	
工序号		程序编号		夹具名称		夹具编号		使用设备		车间	
		左端:O1051 右端:O1052		三爪自定心卡盘				CKA6150i 数控车床		数控实训基地	
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格/mm	主轴转速/ (r · min <sup>-1</sup> )	进给速度/ (mm · min <sup>-1</sup> )	背吃刀量/mm	备注				
加工左端											
1	车削工件左端面	T01	93°正偏刀	600	80		自动				
2	粗车外轮廓	T01		600	100		自动				
3	精车外轮廓	T01		1 200	100		自动				
4	粗镗孔	T04	硬质合金焊接镗刀	600	80		自动				
5	精镗孔	T04		1200	80		自动				
加工右端											
1	车削工件右端面	T01	93°正偏刀	600	80		自动				
2	粗车外轮廓	T01		600	100		自动				
3	精车外轮廓	T01		1 200	50		自动				
4	车螺纹退刀槽	T02	刀宽4 mm	420	30		自动				
5	车螺纹	T03	60°外螺纹车刀	600			自动				
编制				审核				共 页		第 页	



N260	M03 S600 T0404;	主轴变速,转速为 600 r/min,换 4 号内孔镗刀
N270	G00 X21.5 Z2;	快速进刀
N280	G01 Z-20 F80;	镗内孔至 $\phi 21.5$ mm
N290	G01 X18;	孔内退刀
N300	G00 Z100;	快退回换刀点
N310	X100;	
N320	M05;	主轴停转
N330	M00;	程序暂停
N340	M03 S1200 T0404;	主轴变速,转速为 1 200 r/min,调整 4 号刀补值,消除磨损或对刀误差
N350	G00 X26 Z1;	快速进刀
N360	G01 X22.0165 Z-1;	倒孔口 C1 角
N370	G01 Z-20 F80;	以公差中间值精镗内孔至 $\phi 22$ mm
N380	G01 X18;	孔内退刀
N390	G00 Z100;	快退回换刀点
N400	X100;	
N410	M05;	主轴停转
N420	M30;	主程序结束

## 2) 右端加工程序

本程序以 FANUC 0i Mate-TC 系统为例,若为华中系统可自行修改。

程序段号	加工程序	程序说明
	O1052;	主程序名
N10	G98 G21 G54;	采用 G54 工件坐标系,采用分进给,米制编程
N20	T0101;	换 1 号外圆刀
N30	M03 S600;	主轴正转,转速为 600 r/min
N40	G00 X45 Z0;	快速进刀
N50	G01 X0 F80;	车端面
N60	G00 X45 Z2;	快速退刀
N70	G71 U1.5 R2;	粗加工循环,横向背吃刀量 1.5 mm(半径值),退刀量 2 mm(半径值)
N80	G71 P90 Q190 U0.5W0.1 F100;	粗加工循环开始段 N90,结束段 N190,横向(X 向)精加工余量 0.5 mm(直径值),纵向(Z 向)精加工余量 0.1 mm
N90	G00 X0;	
N100	G01 Z2;	
N110	G03 X18 Z-9 R9;	



## 学习情境三

### FANUC/华中系统数控铣床与加工中心编程与实例

#### 任务一 FANUC/华中系统数控铣床与加工中心编程基础

数控铣床与加工中心具有加工通用性好、加工精度高、加工效率高和加工质量稳定等特点,是理想的零件加工机床。FANUC 0i 的编程指令与华中系统数控铣床和加工中心的编程指令很相似,其不同之处在本书中会加以说明。

##### 一、程序结构

###### 1. FANUC 0i-MC 系统加工程序的组成

一个完整的程序由程序名、内容部分和结束部分组成,如下所示:

```
O0001;                                程序名
N10 G94 G54 G90 G21;
N20 G00 X100 Y30;
N30 M03 S300;
...
N100 G00 X100 Z110;
N210 M30;                               结束部分
```

###### 1) 程序名

每一个存储在系统存储器中的程序都需要指定一个程序名以相互区别,这种用于区别零件加工程序的代号称为程序名。因为程序名是加工程序开始部分的识别标记(又称为程序号),所以同一数控系统中的程序名不能重复。程序名写在程序的最前面。

###### 2) 内容部分

内容部分是整个加工程序的核心,它由许多程序段组成,每个程序段由一个或多个指令字构成,它表示数控机床中除程序结束外的全部动作。



### 3) 结束部分

结束部分由程序结束指令构成,它写在程序的最后,作用是保证最后程序段的正常执行。可以作为程序结束标记的 M 指令有 M02 和 M30,它们代表零件加工程序的结束。

此外,子程序结束的结束标记因不同的系统而各异,如 FANUC 系统中用 M99 表示子程序结束后返回主程序。

## 2. 程序段的组成

### 1) 程序段的基本格式

程序段是程序的基本组成部分,每个程序段由若干个地址字构成,而地址字又由表示地址的英文字母、特殊文字和数字构成,如 X100、G90 等。

程序段的格式如下:

```
N100 G01 X100 Z50 F50 M03 S300;
```

### 2) 程序段号与程序段结束

程序段由程序段号 N××开始,FANUC 系统程序段结束标记为“;”。

### 3) 程序的斜杠跳跃

有时在程序段的前面编有“/”符号,该符号称为斜杠跳跃符号,该程序段称为可跳跃程序段。

可跳跃程序段如下:

```
/N30 G01 X100;
```

这样的程序段,可以由操作者对其执行情况进行控制。当操作机床并使系统的“跳过程序段”生效时,程序在执行中将跳过这些程序段;当“跳过程序段”无效时,该程序段照常执行,即与不加“/”符号的程序段相同。

## 二、系统功能指令

数控铣床和加工中心在编程时,对其自动运行的各个动作,如主轴的启停、刀具的自动换刀、切削的进给速度、切削液的开关等,都要以指令的形式予以给定。通常把这类指令称为功能指令,它有准备功能 G 指令、辅助功能 M 指令以及 F、S、T、H、D 指令等几种。

### 1. 准备功能 G 指令

准备功能 G 指令有模态和非模态两种指令。非模态 G 指令只在指令它的程序段中有效,而模态 G 指令一直有效,直到被同一组的其他 G 指令所替代。

FANUC 0i-MC 系统数控铣床和加工中心的准备功能 G 指令见表 3-1-1。

表 3-1-1 FANUC 0i-MC 系统数控铣床和加工中心的准备功能 G 指令

G 指令	组号	功 能	G 指令	组号	功 能
G00 *	01	快速点定位	G50.1 *	22	可编程镜像取消
G01(* )		直线插补	G51.1		可编程镜像有效
G02		顺时针圆弧插补/螺旋线插补	G52	00	局部坐标系设定
G03		逆时针圆弧插补/螺旋线插补	G53		选择机床坐标系



续表

G 指令	组号	功 能	G 指令	组号	功 能
G41.1(G151)	19	法线方向控制左侧接通	G92	00	设定工件坐标系或最大主轴速度 钳制
G42.1(G152)		法线方向控制右侧接通			
G43	08	正向刀具长度补偿	G92.1	05	工件坐标系预置
G44		负向刀具长度补偿	G94 *		
G45	00	刀具偏置量增加	G95	13	恒表面速度控制
G46		刀具偏置量减少	G96		
G47		2 倍刀具偏置量	G97 *	10	恒表面速度控制取消
G48		1/2 刀具偏置量	G98 *		
G49 *	08	刀具长度补偿取消	G99		固定循环返回到初始点 固定循环返回到 R 点
G50 *	11	比例缩放取消	编程时,前面的 0 可省略,如 G00、G01 可简写为 G0、G1		
G51		比例缩放有效			

注:1.带 \* 号的 G 指令表示接通电源时,即为该 G 指令的状态。G00、G01;G17、G18、G19;G90、G91 由参数设定选择。

- 2.00 组 G 指令中,除 G10 和 G11 以外都是非模态 G 指令。
- 3.一旦指令了 G 指令表中没有的 G 指令,显示报警。
- 4.不同组的 G 指令在同一个程序段中可以指令多个,但如果同一个程序段中指令了两个或两个以上同一组的 G 指令,则只有最后一个 G 指令有效。
- 5.在固定循环中,如果指令了 01 组的 G 指令,则固定循环将被自动取消,变为 G80 的状态。但是,01 组的 G 指令不受固定循环 G 指令的影响。
- 6.G 指令按组号显示。

华中系统数控铣床和加工中心的准备功能 G 指令见表 3-1-2。

表 3-1-2 华中系统数控铣床和加工中心的准备功能 G 指令

G 指令	组号	功 能	G 指令	组号	功 能
G00	01	快速定位	G57	11	工件坐标系设定 4
☆G01		直线插补	G58		工件坐标系设定 5
G02		顺时针圆弧插补	G59		工件坐标系设定 6
G03		逆时针圆弧插补	G60	00	单方向定位
G04	00	暂停	☆G61	12	精确停止校验方式
G07	16	虚轴指定	G64		连续方式
G09	00	准停校验	G65	00	宏指令调用
☆G17	02	XY 平面选择	G68	05	坐标旋转
G18		ZX 平面选择	☆G69		坐标旋转取消
G19		YZ 平面选择	G73	06	深孔断屑钻孔循环
G20	08	英制尺寸	G74		攻左旋螺纹循环



表 3-1-3 FANUC 0i 系统数控铣床和加工中心的辅助功能 M 指令

指令	功 能	指令执行类别	指令	功 能	指令执行类别
M00	程序停止	后指令	M30	程序结束并返回	后指令
M01	程序选择停止		M63	排屑启动	
M02	程序结束		M64	排屑停止	
M03	主轴正转	前指令	M80	刀库前进	单独程序段
M04	主轴反转		M81	刀库后退	
M05	主轴停止	后指令	M82	刀具松开	
M06	刀具自动交换	前指令	M83	刀具夹紧	
M08	切削液开(有些厂家设置为 M07)		M85	刀库旋转	
M09	切削液关	后指令	M98	调用子程序	
M19	主轴定向	单独程序段	M99	调用子程序结束并返回	
M29	刚性攻螺纹				

注:M 指令一般由两位数字组成若其后第一个数字为 0,可以省略不写,如 M00、M01、M02、M03 可以写成 M0、M1、M2、M3,其他类推。

#### 1)M00 指令

M00 实际上是一个暂停指令。当执行有 M00 指令的程序段后,程序停止执行(进给停止,但主轴仍然旋转)。M00 指令与单段程序执行后停止相同,模态信息全部被保存,按下“循环启动”按钮,可使加工中心继续运转。利用该指令的暂停功能,可以检测加工工件的尺寸,但在执行上述操作时,在 M00 指令程序段前必须加一个 M05 指令的程序段,使主轴停转。

#### 2)M01 指令

M01 指令的作用和 M00 指令的相似,但必须是在预先按下操作面板上的“程序选择停止”按钮的情况下,执行完 M01 指令程序段的其他指令后,才会停止执行程序。如果不按下“程序选择停止”按钮,M01 指令无效,程序继续执行。

#### 3)M02 指令与 M30 指令

M02 指令只将控制部分复位到初始状态,表示程序结束;M30 指令除将机床及控制系统复位到初始状态外,还自动返回到程序名位置,为加工下一个工件做好准备。

在一个程序段中只能指令一个 M 指令,如果在一个程序段中同时指令了两个或两个以上的 M 指令,则只有最后一个 M 指令有效。

华中系统数控铣床和加工中心的辅助功能 M 指令见表 3-1-4。



(1) 刀具从上往下移动时的编程格式:

```
G00 X_ Y_ ;
      Z_ ;
```

(2) 刀具从下往上移动时的编程格式:

```
G00 Z_ ;
      X_ Y_ ;
```

刀具从上往下时,先在 XY 平面内定位,然后 Z 轴下降;刀具从下往上时,Z 轴先上升,然后再在 XY 平面内定位。

## 2. 直线插补指令 G01

### 编程格式

```
G01 X_ Y_ Z_ F_ ;
```

### 编程说明

G01 指令使刀具按 F 指令的速度从当前点运动到指定点。

## 3. 圆弧插补指令 G02、G03 与平面指定指令 G17、G18、G19

指令 G02 表示在指定平面顺时针插补,指令 G03 表示在指定平面逆时针插补。顺时针、逆时针的转向是指从与指定平面相垂直的坐标轴的正向往负向观察。平面指定指令与圆弧插补指令的关系如图 3-1-1 所示。

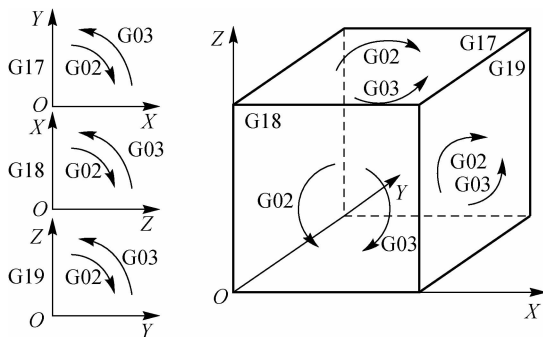


图 3-1-1 平面指定指令与圆弧插补指令的关系

### 编程格式

(1) 在 XY 平面上的圆弧:

$$G17 \left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_ Y_ \left\{ \begin{matrix} R_ \\ I_ J_ \end{matrix} \right\} F_ ;$$

(2) 在 ZX 平面上的圆弧:

$$G18 \left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} Z_ X_ \left\{ \begin{matrix} R_ \\ I_ K_ \end{matrix} \right\} F_ ;$$

(3) 在 YZ 平面上的圆弧:

$$G19 \left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} Y_ Z_ \left\{ \begin{matrix} R_ \\ J_ K_ \end{matrix} \right\} F_ ;$$

```
G91 G01 X100 Y100 C10;
G91 G02(G03) X100 Y100 R10 RC10;
```

### 5. 刀具长度补偿指令 G43、G44、G49

刀具长度补偿指令对立式加工中心而言,一般用于刀具轴向(Z向)的补偿,它将编程时的刀具长度和实际使用的刀具长度之差设定于刀具偏置存储器中,用 G43 或 G44 指令补偿这个差值而不用修改程序。

#### 编程格式

$$G00 \begin{cases} G43 \\ G44 \end{cases} Z_ H_;$$

...

```
G00 G49 Z_;
```

#### 编程说明

G43 指令表示刀具长度正方向补偿,G44 指令表示刀具长度负方向补偿,G49 指令表示取消刀具长度补偿。使用 G43 指令和 G44 指令时,不管是 G90 指令有效还是 G91 指令有效,刀具移动的最终 Z 向位置,都是程序中指定的 Z 与 H 指令的对应偏置量(进行运算后才能确定)。H 指令对应的偏置量在设置时可以为“+”、也可以为“-”,它们的运算关系如图 3-1-2 所示,编程时一般使用 G43 指令。

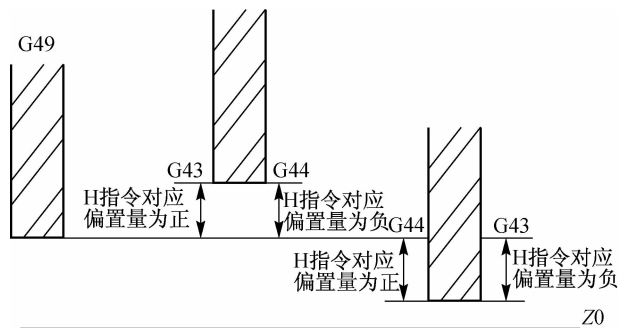


图 3-1-2 G43、G44 与 H 指令对应偏置量的运算结果

### 6. 刀具半径补偿指令 G40、G41、G42

当用半径为  $R$  的圆柱铣刀加工工件轮廓时,如果数控系统不具备刀具补偿功能,那么编程人员必须要按照偏离轮廓距离为  $R$  的刀具中心运动轨迹的数据来编程,其运算有时是相对复杂的;而当刀具磨损后,刀具的半径减少,此时就要按新的刀具中心运动轨迹进行编程,否则加工出来的零件要增加一个余量(即刀具的磨损量)。对于有刀具半径补偿功能的数控系统,可不必求刀具中心的运动轨迹,而只需按被加工工件轮廓曲线编程,同时在程序中给出刀具半径的补偿指令,数控系统自行计算后,偏置一定的距离(如刀具半径或其他设定值)后进行走刀,这样就可加工出具有轮廓曲线的零件,使编程工作大大简化。

G41 指令表示刀具半径左侧补偿,沿刀具进给方向看,刀具中心在零件轮廓的左侧。

G42 指令表示刀具半径右侧补偿,沿刀具进给方向看,刀具中心在零件轮廓的右侧。

G40 指令表示刀具半径补偿取消,当 G41 或 G42 程序完成后用 G40 程序段消除偏置



### 编程说明

X、Y 为旋转中心的绝对坐标值；R 为旋转角度，“+”为逆时针旋转，“-”为顺时针旋转。  
坐标系旋转取消指令 G69 以后的第一个移动指令必须用绝对值编程，如果用增量值编程，将不执行正确的移动。

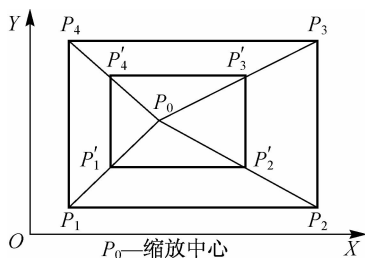


图 3-1-3 比例缩放( $P_1P_2P_3P_4-P'_1P'_2P'_3P'_4$ )

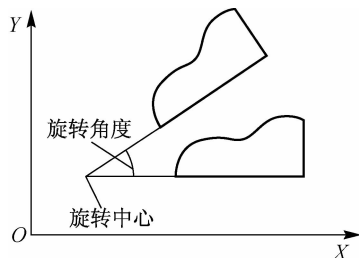


图 3-1-4 坐标系旋转

华中系统在 G17 指令有效时，编程格式：

G68 X_ Y_ P_;	坐标系开始旋转
...	坐标系旋转方式的程序段
G69	坐标系旋转取消指令

### 编程说明

X、Y 为旋转中心的绝对坐标值；P 为旋转角度，“+”为逆时针旋转，“-”为顺时针旋转。

## 9. 暂停指令 G04

G04 指令可使刀具暂时停止进给，直到经过指定的暂停时间，再继续执行下一程序段，一般用于镗平面、镗孔等场合。

### 编程格式

G04 X\_；或 G04 P\_；

### 编程说明

地址字符 X 或 P 为指定的暂停时间；其中地址字符 X 后可以是带小数点的数，单位为 s；地址 P 不允许用小数点输入，只能用整数，单位为 ms。

华中系统暂停指令 G04 的编程格式：

G04 P\_；

### 编程说明

P 为指定的暂停时间，单位为 s。

## 10. 绝对坐标与相对(增量)坐标指令 G90、G91

采用 G90 绝对坐标指令编程是根据预先设定的编程原点作为参考点进行编程，即在采用绝对值编程时，首先要指出编程原点的位置。这种编程方法一般不考虑刀具的当前位置，程序中的终点坐标是相对于原点坐标而言的。在编程时，绝大多数采用 G90 指令来指定绝对坐标。



## 五、固定循环指令

一般来说,在数控加工中一个动作就应编制一个程序段,但是在孔加工时,往往需要快速接近工件及孔加工完成后快速返回等固定动作。而固定循环指令可以用一个程序段完成一个孔加工的全部动作。固定循环主要包括钻孔、镗孔、攻螺纹等。固定循环指令的详细功能见表 3-1-6。

表 3-1-6 固定循环指令的详细功能

G 指令	钻削方式(-Z 向)	孔底的动作	回退(+Z 向)	用途
G73	间歇进给	—	快速移动	高速深孔往复排屑钻孔循环
G74	切削进给	主轴:停转—正转	切削进给	反转攻左螺旋纹循环
G76	切削进给	主轴定向停止—刀具移位	快速移动	精镗孔循环
G80	—	—	—	取消固定循环
G81	切削进给	—	快速移动	点钻、钻孔循环
G82	切削进给	进给暂停数秒	快速移动	铰孔、镗阶梯孔循环
G83	间歇进给	—	快速移动	深孔往复排屑钻孔循环
G84	切削进给	主轴:停转—反转	切削进给	正转攻右螺旋纹循环
G85	切削进给	—	切削进给	精镗孔循环
G86	切削进给	主轴停止	快速移动	镗孔循环
G87	切削进给	主轴正转	快速移动	反精镗孔循环
G88	切削进给	进给暂停—主轴停转	手动移动	镗孔循环
G89	切削进给	进给暂停数秒	切削进给	精镗阶梯孔循环

固定循环通常由以下 6 个基本动作构成,如图 3-1-5(a)所示,其图形符号如图 3-1-5(b)所示。

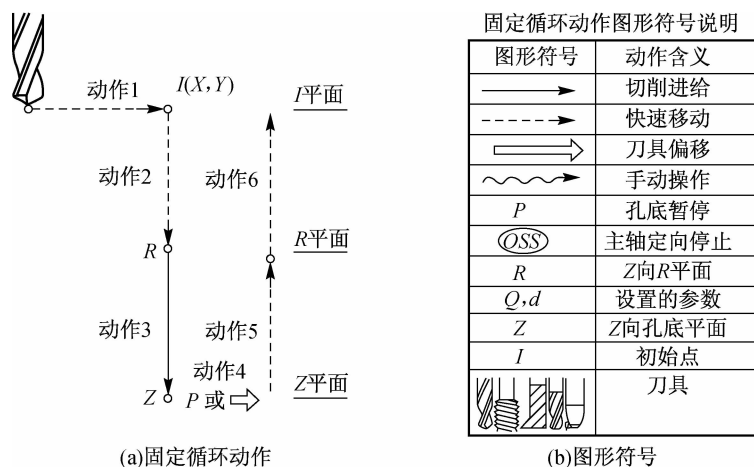


图 3-1-5 固定循环动作及图形符号

华中系统中 Q 用负值表示, P 规定的暂停时间以 s 为单位。

F: F 规定切削的进给速度。在图 3-1-5 中, 动作 3(切削进给)的速度由 F 指令指定, 而动作 5(快速移动)的速度则由选定的循环方式确定。

上述孔加工数据, 不一定全部都要写, 根据需要可省略若干地址和数据。

(6) 重复次数。

K: K 决定图 3-1-5 中动作 1 至动作 6 等一系列操作的重复加工次数, 最大值为 9999。没有指定 K 时, 系统默认为 1, 即 K1 可以省略; 如果把 K 指定为 0, 即 K0, 则只存储孔加工数据, 而不进行孔加工。

固定循环指令是模态指令, 一旦指定就一直保持有效, 直到用 G80 撤销指令为止。因此, 只要在开始时用了这些指令, 在后面连续的加工中不必重新指定。如果仅仅是某个孔加工数据发生变化(如孔深发生变化), 仅需要修改变化的数据即可。此外, G00、G01、G02、G03 也起撤销固定循环指令的作用。

### 1. 高速深孔往复排屑钻孔循环指令 G73

#### 编程格式

G73 X\_ Y\_ Z\_ R\_ Q\_ F\_;

G90、G91 及 G98、G99 指令省略, 其编程格式与 G73 相同。

孔加工动作如图 3-1-8 所示。钻头通过 Z 轴方向的间断进给, 有利于断屑与排屑, 适用于深加工。每次的钻孔深度由 Q 指定, 到达点 Z 的最后一次钻孔深度是若干个 Q 之后的剩余量, 它小于或等于 Q 的指定值。退刀距离  $d$  是由系统内部参数设定的。

### 2. 深孔往复排屑钻孔循环指令 G83

#### 编程格式

G83 X\_ Y\_ Z\_ R\_ Q\_ F\_;

孔加工动作如图 3-1-9 所示。与 G73 指令略有不同的是, 每次钻头间歇进给后回到 R 平面, 排屑更彻底。  $d$  表示钻头间歇进给时, 每次下降由快速转为切削进给时的那一点与前一次切削进给下降的点之间的距离, 同样由系统内部参数设定。

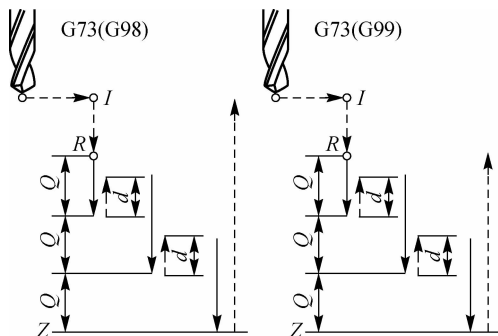


图 3-1-8 G73 指令

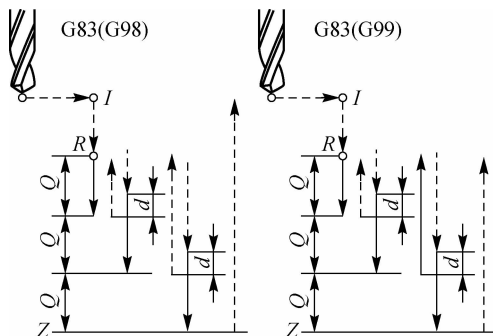


图 3-1-9 G83 指令

有暂停,所以适宜精镗阶梯孔。

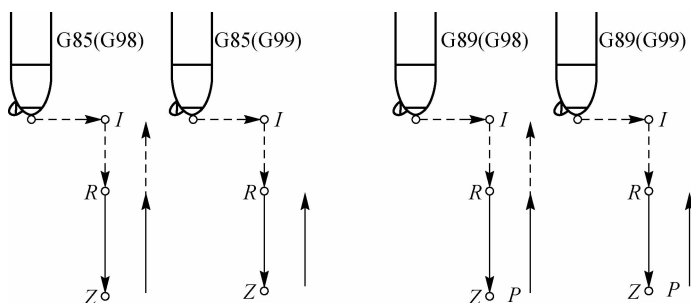


图 3-1-12 G85、G89 指令

## 6. 精镗孔循环指令与反精镗孔循环指令 G76、G87

### 编程格式

G76 X\_ Y\_ Z\_ R\_ Q\_ P\_ F\_;

G87 X\_ Y\_ Z\_ R\_ Q\_ P\_ F\_;

孔加工动作如图 3-1-13 所示。这两种指令只能用于有主轴定向停止(主轴准停)的加工中心。在 G76 指令中,刀具从上往下镗孔切削,切削完毕后定向停止,并在定向的反方向偏移一个 Q(一般取 0.5~1 mm)后返回。在 G87 指令中,刀具首先定向停止,并在定向的反方向偏移一个 Q(一般取多出精加工单边余量 0.5~1 mm),到孔底后由下往上进行镗孔切削。另外在 G87 指令中,点 Z 平面在点 R 平面的上方,所以没有 G99 状态。

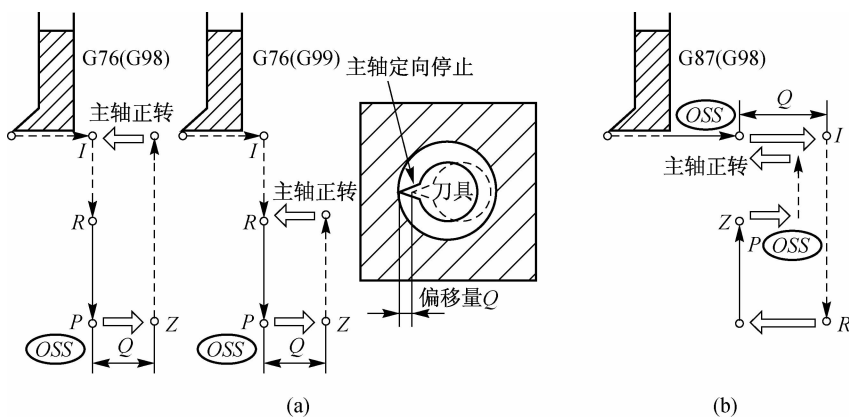


图 3-1-13 G76、G87 指令

## 7. 镗孔循环指令 G86、G88

### 编程格式

G86 X\_ Y\_ Z\_ R\_ F\_;

G88 X\_ Y\_ Z\_ R\_ P\_ F\_;

孔加工动作如图 3-1-14 所示。G86 指令在镗孔结束返回时快速移动,所以镗刀刀尖在孔壁会划出一条螺旋线,对孔壁质量要求较高的场合不适合用此指令。G88 指令在镗孔到底后主轴停止,返回必须通过手动方式,此时可使刀具水平移动微小的距离(刀尖离开孔壁)



## 任务训练一

1. M00、M02、M30 指令的区别是什么？
2. 为什么要使用刀具半径补偿指令？
3. 在使用刀具半径补偿指令时应注意哪些事项？
4. 固定循环指令通常包括哪些基本动作？
5. 用什么指令可以撤销固定循环指令？
6. 使用固定循环指令时应注意哪些事项？

## 任务二 平面凸台类零件的加工编程

### 一、平面的铣削加工编程

如图 3-2-1 所示的零件,已知毛坯外形尺寸为 125 mm×85 mm×20 mm,材料为 45 钢,按图纸尺寸要求,完成零件各表面的加工及编程,制订正确的工艺方案(包括定位、夹紧方案和工艺路线),选择合理的刀具和切削工艺参数。

选用机用平口虎钳装夹工件,底面朝下垫平,工件毛坯面高出钳口 12 mm,夹紧。

本例以 FANUC 0i-MC 系统加工编程,华中 HNC-22M 系统的程序基本相同,不同部分可根据本学习情境任务一内容自行修改。

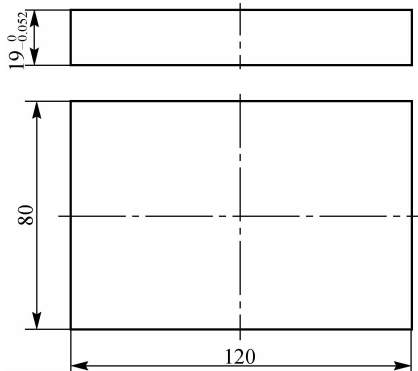


图 3-2-1 平面铣削加工范例

#### 1. 上、下水平面数控加工程序编制

##### 1) 加工工艺卡片

填写加工工艺卡片,见表 3-2-1。

表 3-2-1 平面凸台零件上、下水平面铣削加工工艺卡

数控实训基地		数控加工工艺卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号		
				×××	平面凸台	45 钢	×××		
工序号		程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备	车间			
		O0011	三爪自定心卡盘		加工中心 FANUC 0i-MC	数控实训基地			
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格/mm	主轴转速/ ( $r \cdot \min^{-1}$ )	进给速度/ ( $\text{mm} \cdot \min^{-1}$ )	背吃刀量/mm		刀具补偿	
						$a_e$	$a_p$	长度	半径
1	铣削工件 上下表面	T1	φ80 mm 面铣刀	600	120			H1	D1
编制		审核		共 页		第 页			

N50	G00 Z5;	Z 轴快进定位
N60	G01 Z-5 F100;	Z 轴进刀到第一层铣削深度
	G01 X68.1;	粗加工工件四周侧平面
	Y-48.1;	
	X-68.1;	
	Y48.1;	
N70	G01 Z-10;	Z 轴进刀到第二层铣削深度
	G01 X68.1;	
	Y-48.1;	粗加工工件四周侧平面
	X-68.1;	
	Y48.1;	
N80	G01 X-68 Y48 F100;	到达精加工程序起始点
N90	X68;	精加工工件四周侧平面
N100	Y-48;	
N110	X-68;	
N120	Y48;	
N130	G00 Z0 G49 M09;	Z 轴快速退刀,取消刀具长度补偿
N140	M05;	主轴停转
N150	M30;	程序结束

### 3) 加工工件要求

按照加工工艺方案装夹好工件后,调用程序加工工件,再翻过来装夹工件,调用程序加工工件四周其余侧平面。

## 二、外轮廓的铣削加工编程

如图 3-2-2 所示的零件,已知毛坯外形尺寸为  $120\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 19\text{ mm}$ ,材料为 45 钢。按图样尺寸要求,完成零件外轮廓的数控加工与编程(不需要残料清除),设定工件坐标系,制订正确的工艺方案(包括定位、夹紧方案和工艺路线),选择合理的刀具和切削工艺参数。

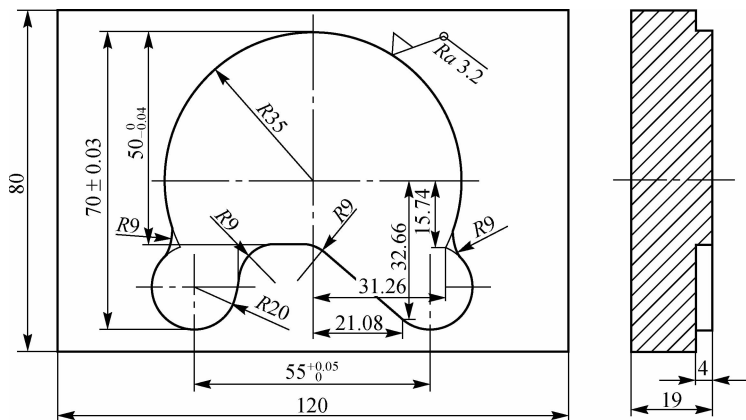


图 3-2-2 外轮廓铣削加工范例





N50	X-10 Y55;	刀具长度补偿)
N60	Z5 M8;	快速定位
N70	G1 Z-4 F100;	快速进刀,切削液开
N90	M98 P0022;	刀具进给到加工深度
N100	G0 Z100 M09;	调用子程序,粗加工外轮廓(刀具半径补偿 D1=8.2 mm)
N110	M05;	抬刀,关切削液
N120	M0;	主轴停转
N130	M03 S1000;	程序暂停,尺寸测量,更改刀具半径补偿值
N140	G0 X-10 Y55 M08;	更改主轴转速
N150	Z5;	快速定位,切削液开
N160	G1 Z-4 F50;	下刀
N170	M98 P0022;	刀具进给到加工平面,改变进给速率
N190	G0 Z200 M09;	调用子程序,精加工外轮廓(刀具半径补偿 D1=7.98 mm)
N200	M05;	抬刀,关切削液
N210	M30;	主轴停转
		程序结束

## 2)子程序

程序段号	加工程序	程序说明
	O0022;	子程序名
N10	G1 G41 X-10 Y45 D1;	走过渡直线,刀具偏置
N20	G3 X0 Y35 R10;	圆弧切入轮廓,防止过切
N30	G2 X31.26 Y-15.74 R35, R9;	加工 R35 mm 圆弧,并倒圆角 R9 mm
N40	G2 X21.8 Y-32.66 R10;	加工 R10 mm 圆弧
N50	G1 X0 Y-15, R9;	加工斜线,并倒圆角 R9 mm
N60	G1 X-17.5 Y-15 R9;	加工直线,并倒圆角 R9 mm
N70	G1 Y-25;	加工直线段
N80	G2 X-31.26 Y-15.74 R10, R9;	加工大于 180°的 R10 mm 圆弧,并倒圆角 R9 mm
N90	G2 X0 Y35 R35;	加工 R35 mm 圆弧
N100	G3 X10 Y45 R10;	圆弧切出轮廓
N110	G40 G1 X10 Y55;	取消半径补偿
N120	M99;	返回主程序



## 任务训练二

1. 完成习题图 3-2-1 所示零件外轮廓的编程(不要求清除残料)。
2. 完成习题图 3-2-2 所示零件外轮廓的编程(不要求清除残料)。



表 3-3-1 型腔类零件铣削的加工工序卡

数控实训基地		数控加工工艺卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号		
				×××	型腔件	45 钢	×××		
工序号		程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备	车间			
		O0004, O0005	机用平口虎钳		数控铣床 FANUC 0i-MC	数控实训基地			
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格/mm	主轴转速/ ( $r \cdot \min^{-1}$ )	进给速度/ ( $\text{mm} \cdot \min^{-1}$ )	背吃刀量/mm		刀具补偿	
						$a_c$	$a_p$	长度	半径
1	铣削工件型腔	T1	$\phi 16$ mm 键槽铣刀	600	100			H1	D1=8 mm
编制		审核		共 页		第 页			

## 2. 程序编制

本例使用加工中心,以 FANUC 0i-MC 系统加工编程,华中 HNC-22M 系统的程序基本相同,部分不同部分可根据本学习情境任务一内容自行修改。

说明:编程坐标系原点选在毛坯上表面的中心,工件坐标系设在 G54 上。

### 1) 主程序

程序段号	加工程序	程序说明
	O0004;	程序名
N10	G17 G54 G90 G21 G94 G49 G40;	程序初始化
N20	M03 S600;	主轴旋转
N30	G00 X0 Y0;	刀具在 XY 平面快进至切削起点
N40	G43 Z20 H1 M08;	执行 1 号长度补偿,Z 向快进至安全高度
N50	G00 Z5;	Z 轴快进定位
N60	G01 Z-4 F30;	Z 轴进刀到铣削深度
N70	M98 P0005;	调用子程序 O0005
N80	G00 Z0 G49 M09;	Z 轴快速退刀,取消刀具长度补偿
N90	M05;	主轴停转
N100	M30;	程序结束

### 2) 子程序

程序段号	加工程序	程序说明
	O0005;	程序名
N10	G01 G41 X10 Y15 D1 F100;	执行刀具半径左补偿
N20	G03 X0 Y25 R10 F30;	刀具走圆弧切入工件
N30	G01 X-25 Y25 F100;	
N40	G03 X-35 Y15 R10 F30;	
N50	G01 Y-15 F100;	
N60	G03 X-25 Y-25 R10.;	
N70	G01 X18;	逆时针走刀加工工件内轮廓



- (3) 钻孔加工孔  $\phi 38$  mm, 选用  $\phi 21$  mm 直柄麻花钻(T3)。  
 (4) 扩孔加工孔  $\phi 38$  mm, 选用  $\phi 35$  mm 直柄麻花钻(T4)。  
 (5) 扩孔加工孔  $2 \times \phi 12$  mm, 选用  $\phi 12$  mm 直柄麻花钻(T5)。  
 (6) 扩孔加工孔  $2 \times \phi 16$  mm, 选用  $\phi 15.5$  mm 直柄麻花钻(T6)。  
 (7) 铰孔加工孔  $2 \times \phi 16$  mm, 选用  $\phi 16$  mm 铰刀(T7)。  
 (8) 精镗孔  $\phi 38$  mm, 选用  $\phi 40$  mm 锥柄可微调镗刀(T8)。
- 3) 加工工艺卡片  
 填写加工工艺卡片, 见表 3-3-2。

表 3-3-2 孔系零件的铣削加工工序卡

数控实训基地		数控加工工艺卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号		
				×××	孔系件	45 钢	×××		
工序号		程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备	车间			
		O0006	机用平口虎钳		数控铣床 FANUC 0i-MC	数控实训基地			
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格/mm	主轴转速/ ( $r \cdot \min^{-1}$ )	进给速度/ ( $\text{mm} \cdot \min^{-1}$ )	背吃刀量/mm		刀具补偿	
						$a_e$	$a_p$	长度	半径
1	点孔加工孔 $2 \times \phi 12$ mm 与 $2 \times \phi 16$ mm	T1	$\phi 3$ mm 中心钻	1 200	100			H1	
2	钻 $2 \times \phi 12$ mm 及 $2 \times \phi 16$ mm 孔	T2	$\phi 10.2$ mm 钻头	600	100			H2	
3	钻 $\phi 38$ mm 的孔	T3	$\phi 21$ mm 钻头	300	40			H3	
4	扩 $\phi 38$ mm 的孔	T4	$\phi 35$ mm 钻头	150	20			H4	
5	扩 $2 \times \phi 12$ mm 孔	T5	$\phi 12$ mm 钻头	600	80			H5	
6	扩 $2 \times \phi 16$ mm 孔	T6	$\phi 15.5$ mm 钻头	400	50			H6	
7	铰 $2 \times \phi 16$ mm 孔	T7	$\phi 16$ mm 铰刀	250	30			H7	
8	镗 $\phi 38$ mm 的孔	T8	$\phi 38$ mm 镗刀	900	50			H8	
编制		审核		共 页		第 页			

## 2. 程序编制

本例使用铣床, 以 FANUC 0i-MC 系统加工编程, 与华中 HNC-22M 系统的程序基本相同, 不同部分可根据本学习情境任务一内容自行修改。

说明: 编程坐标系原点选在毛坯上表面的中心, 工件坐标系设在 G54 上。

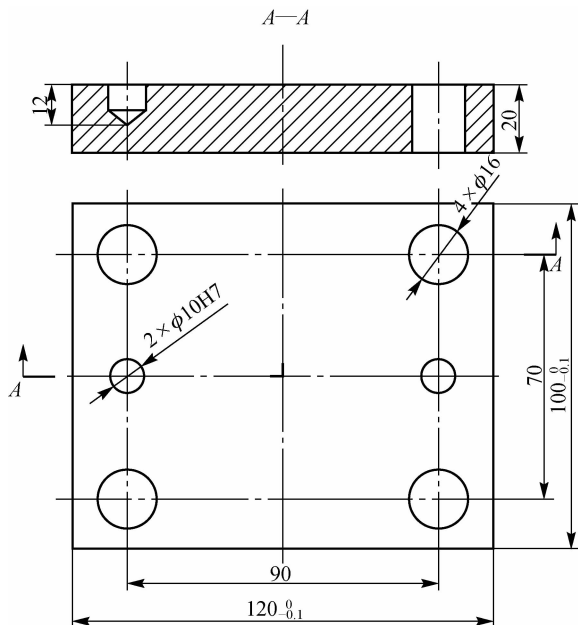
程序段号	加工程序	程序说明
	O0006;	程序名
N10	G54 G94 G90 G21 G40 G17 G49;	程序初始化
N20	G00 X0 Y0;	刀具在 XY 平面快进至切削起点
N30	G43 Z20 H1;	执行 1 号长度补偿, Z 向快进至安全高度
N40	M03 S1200 M07;	主轴正转, 切削液开



N330	G83 G99 X0 Y0 Z-42 R2 Q5 K1 F20;	扩孔,进给速率为 20 mm/min
N340	G80;	取消固定循环,Z 轴快速定位,切削液关
N350	G00 Z150 M09;	
N360	M05;	主轴停转
N370	M00;	程序暂停(手动换刀,换上 $\phi 12$ mm 麻花钻)
N380	M03 S600;	主轴正转,转速为 600 r/min
N390	G43 G00 Z100 H5 M07;	Z 轴快速定位,调用刀具 5 号长度补偿,切削液开
N400	X0 Y0;	X、Y 轴快速定位
N410	G83 G99 X-60 Y25 Z-31 R2 Q5 K1 F80;	扩孔,进给速率为 80 mm/min
N420	Y-25;	
N430	G00 Z150 M09;	取消固定循环,Z 轴快速定位,切削液关
N440	M05;	主轴停转
N450	M00;	程序暂停(手动换刀,换上 $\phi 15.5$ mm 麻花钻)
N460	M03 S400;	主轴正转,转速为 400 r/min
N470	G43 G00 Z100 H6 M07;	Z 轴快速定位,调用刀具 6 号长度补偿,切削液开
N480	X0 Y0;	X、Y 轴快速定位
N490	G83 G99 X60 Y-2.25 Z-33 R2 Q5 K1 F50;	扩孔,进给速率为 50 mm/min
N500	Y22.5;	
N510	G00 Z150 M09;	取消固定循环,Z 轴快速定位,切削液关
N520	M05;	主轴停转
N530	M00;	程序暂停(手动换刀,换上 $\phi 16$ mm 机用铰刀)
N540	M03 S250;	主轴正转,转速为 250 r/min
N550	G43 G00 Z100 H7 M07;	Z 轴快速定位,调用刀具 7 号长度补偿,切削液开
N560	X0 Y0;	X、Y 轴快速定位
N570	G85 G99 X60 Y-22.5 Z-30 R2 F30;	铰孔,进给速率为 30 mm/min



2. 编写习题图 3-3-2 所示工件的孔加工程序。



习题图 3-3-2

## 任务四 综合类零件的加工编程

### 一、内、外轮廓综合零件的铣削加工编程

综合类零件相对比较复杂,其形状集中包含了平面凸台类零件、孔系和型腔类零件的结构特点,其加工要求较高,所要加工的表面和要使用的刀具较多。

图 3-4-1 所示的零件毛坯外形尺寸为  $100\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ ,除上、下表面以外的其他四面均已加工,并符合尺寸与表面粗糙度要求,材料为 45 钢。按图样要求制订正确的工艺方案(包括定位、夹紧方案和工艺路线),选择合理的刀具和切削工艺参数,编写数控加工程序并进行加工。

#### 1. 零件编程工艺分析

##### 1) 工艺分析及操作要求

如图 3-4-1 所示的零件外形规则,被加工部分的各尺寸、表面粗糙度等要求都不高。图中包含了平面、内外轮廓、钻孔等加工。

外轮廓由三部分组成,其形状并不复杂,

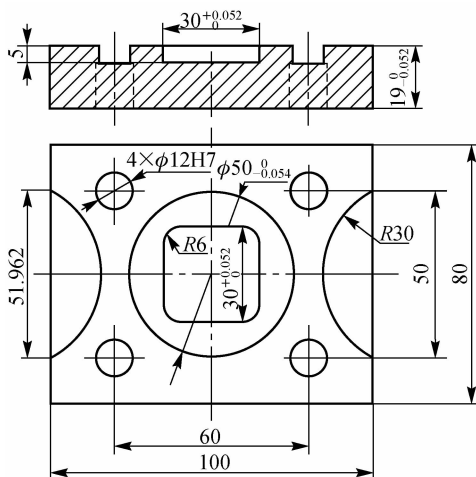


图 3-4-1 综合类零件加工范例



N20	M03 S600;	刀(工步 2) 主轴正转,转速为 600 r/min
N30	G00 G43 H1 Z200 M08;	Z 轴快速定位,调用 1 号长度补偿,切削液开
N40	X-105 Y-20;	X、Y 轴快速定位至起刀点
N50	Z5;	Z 轴快速定位
N60	G01 Z0 F120;	Z 轴直线进给,进给速率为 120 mm/min
N70	X105;	X 轴直线进给,铣削平面
N80	G00 Y20;	Y 轴快速定位
N90	G1 X-105;	X 轴直线进给,铣削平面
N100	G49 G0 Z0 M09;	取消长度补偿,Z 轴快速定位,切削液关闭
N110	M05;	主轴停转
N120	M00;	程序暂停,手动换 2 号 $\phi 8$ mm 立铣刀 (工步 3)
N130	M03 S700;	主轴正转,转速为 700 r/min
N140	G00 X0 Y50;	刀具在 XY 平面快进至切削起点
N150	G43 G00 Z20 H2 M08;	执行 2 号长度补偿,Z 向快进至安全高度,切削液开
N160	G00 Z5;	Z 轴快进定位
N170	G01 Z-5 F200;	Z 轴进刀到铣削深度
N180	G01 G41 X-12.5 Y37.5 D2 F50;	X、Y 轴进给,引入刀具半径补偿 D2(D2=4.1 mm)
N190	G03 X0 Y25 R12.5 F30;	刀具走圆弧切入工件
N200	G02 X0 Y25 I0 J-25;	粗加工 $\phi 50$ mm 整圆
N210	G03 X12.5 Y37.5 R12.5 F30;	刀具走圆弧切出工件
N220	G01 G40 X0 Y50 F30;	撤销刀具半径补偿
N230	G00 X-65 Y50;	刀具在 XY 平面快进至切削起点
N240	G00 Y0;	
N250	G00 G41 X-65 Y30 D2 ;	引入刀具半径补偿 D2(D2=4.1 mm)
N260	G02 X-65 Y-30 R30 F30;	粗加工左边 R30 mm 圆弧
N270	G01 G40 X-65 Y0;	撤销刀具半径补偿
N280	G00 Y50;	刀具在 XY 平面快进至切削起点
N290	G00 X65 Y50;	
N300	G00 Y0;	
N310	G01 G41 X65 Y-30 D2;	引入刀具半径补偿 D2(D2=4.1 mm)
N320	G02 X65 Y30 R30;	粗加工右边 R30 mm 圆弧
N330	G01 G40 X65 Y0;	撤销刀具半径补偿
N340	G00 Y50;	去除左上处残料



N710	G03 X-15 Y9 R6;	
N720	G01 Y-9;	
N730	G03 X-9 Y-15 R6;	
N740	G01 X9;	
N750	G03 X15 Y-9 R6.;	
N760	G01 Y9;	
N770	G03 X9 Y15 R6;	
N780	G01 X0 Y15;	
N790	G03 X-7.5 Y7.5 R7.5;	刀具走圆弧切出工件
N800	G01 G40 X0 Y0;	撤销刀具半径补偿
N810	G00 G49 Z0 M09;	取消刀具长度补偿,Z轴快速定位,关闭切削液
N820	M00;	程序暂停,手动换4号刀具(工步5)
N830	M03 S800;	主轴旋转,转速为800 mm/min
N840	G00 X0 Y50;	刀具在XY平面快进至切削起点
N850	G43 Z20 H4 M08;	执行4号长度补偿,Z向快进至安全高度
N860	G00 Z5;	Z轴快进定位
N870	G01 Z-5 F200;	Z轴进刀到铣削深度
N880	G01 G41 X-12.5 Y37.5 D4 F40;	引入刀具半径补偿 D4(D4=3.99 mm)
N890	G03 X0 Y25 R12.5 F30;	刀具走圆弧切入工件
N900	G02 X0 Y25 I0 J-25.;	精加工 $\phi 50$ mm 整圆
N910	G03 X12.5 Y37.5 R12.5 F30;	刀具走圆弧切出工件
N920	G01 G40 X0 Y50 F30;	撤销刀具半径左补偿
N930	G00 X-65 Y50;	刀具在XY平面快进至切削起点
N940	G00 Y0;	
N950	G01 G41 X-65 Y30 D4 F50;	引入刀具半径补偿 D4(D4=3.99 mm)
N960	G02 X-65 Y-30 R30;	精加工左边 R30 mm 圆弧
N970	G01 G40 X-65 Y0;	撤销刀具半径补偿
N980	G00 Y50;	刀具在XY平面快进至切削起点
N990	G00 X65 Y50;	
N1000	G00 Y0;	
N1010	G01 G41 X65 Y-30 D4;	引入刀具半径补偿 D4(D4=3.99 mm)
N1020	G02 X65 Y30 R30;	精加工右边 R30 mm 圆弧
N1030	G01 G40 X65 Y0;	撤销刀具半径补偿
N1040	G00 G49 Z0 M09;	取消刀具长度补偿,Z轴快速定位,关闭切削液
N1050	M05;	主轴停转
N1060	M00;	程序暂停,手动换5号刀具(工步6)



N1390	X0 Y0;	X、Y 轴快速定位
N1400	G83 G99 X-30 Y25 Z-25 R5 Q5 K1 F80;	钻孔,进给速率为 80 mm/min
N1410	Y-25;	
N1420	X30 Y25;	
N1430	Y-25;	
N1440	G00 Z150 M09;	取消固定循环,Z 轴快速定位,切削液关
N1450	M05;	主轴停转
N1460	M00;	程序暂停,手动换 8 号刀具 机用铰刀 (工步 9)
N1470	M03 S250;	主轴正转,转速为 250 r/min
N1480	G43 G00 Z100 H8 M07;	Z 轴快速定位,调用刀具 8 号长度补偿,切削液开
N1490	X0 Y0;	X、Y 轴快速定位
N1500	G85 G99 X-30 Y25 Z-25 R2 F20;	铰孔,进给速率为 20 mm/min
N1510	Y-25;	
N1520	X30 Y25;	
N1530	Y-25;	
N1540	G00 Z150 M09;	取消固定循环,Z 轴快速定位,切削液关
N1550	M05;	主轴停转
N1560	M30;	程序结束回起始位置,机床复位(切削液关,主轴停转)

## 二、复杂综合零件的铣削加工编程

如图 3-4-2 所示零件,已知毛坯外形尺寸为 120 mm×80 mm×25 mm,材料为 45 钢,除上表面以外的其他各面均已加工,并符合尺寸与表面粗糙度要求。按图样尺寸要求,完成零件内、外轮廓的程序编写,并制订相应的加工工艺。

### 1. 零件编程工艺分析

#### 1) 工艺分析及操作要求

如图 3-4-2 所示,零件外形规则,被加工部分的各尺寸、表面粗糙度等要求较高。图中主要包含内外轮廓(有精度要求)、平底盲孔(名义尺寸)加工,大部分的尺寸均达到 IT8~IT7 级精度。

选用机用平口虎钳装夹工件,使固定钳口与工作台 X 轴移动方向平行,在工件下表面与平口虎钳之间放入精度较高且厚度适当的平行等高垫块,工件露出钳口表面不低于 9 mm,避免刀具与钳口发生干涉,利用木槌或铜棒敲击工件,使平行垫块不能移动后夹紧工件。利用  $\phi 16$  mm 立铣刀作为基准刀具直接进行对刀,每把刀具的长度补偿值直接用刀具对刀确定,工件上表面为执行刀具长度补偿后的 Z 零点表面。





## 2. 程序编制

以加工中心为例,工步 1 铣平面在 MDI 方式下完成,不必设置坐标系;在执行工步 2 之前要进行对刀,将刀具送入刀库(对号入座)并设置工件坐标系以及补偿等参数,工步 2 至工步 7 由以下程序完成加工,正式加工前必须进行程序的检查和校验,确认无误后自动加工。

对于在数控铣床上进行加工的,把后面的“M06 T×”程序段改为“M0”,即采用手动换刀。

本例以 FANUC 0i-MC 系统加工编程,华中 HNC-22M 系统的程序基本相同,不同部分可根据本学习情境任务一内容自行修改。

### 1) 主程序

说明:编程坐标系原点选在毛坯上表面的中心,工件坐标系设在 G54 上。

程序段号	加工程序	程序说明
	O1001;	程序名
N10	G53 G90 G0 Z0;	Z 轴快速抬刀至机床原点
N20	M06 T1;	调用 1 号 $\phi 80$ mm 端铣刀(工步 2)
N30	G54 G90 M03 S600;	G54 工件坐标系,绝对坐标编程,主轴正转,转速为 600 r/min
N40	G0 G43 H1 Z200 M08;	Z 轴快速定位,调用 1 号长度补偿,切削液开
N50	X-105 Y-20;	X、Y 轴快速定位至起刀点
N60	Z5;	Z 轴快速定位
N70	G1 Z0 F120;	Z 轴直线进给,进给速率为 120 mm/min
N80	X105;	X 轴直线进给,铣削平面
N90	G0 Y20;	Y 轴快速定位
N100	G1 X-105;	X 轴直线进给,铣削平面
N110	G49 G0 Z0 M09;	取消长度补偿,Z 轴快速定位到机械原点,切削液关
N120	M05;	主轴停转
N130	M06 T2;	调用 2 号 $\phi 16$ mm 立铣刀(工步 3)
N140	M03 S400;	主轴正转,转速为 400 r/min
N150	G0 G43 H2 Z200 M08;	Z 轴快速定位,调用 2 号长度补偿,切削液开
N160	X-70 Y50;	X、Y 轴快速定位至起刀点
N170	Z5;	Z 轴快速定位
N180	G1 Z-4 F100;	Z 轴直线进给,进给速率为 100 mm/min
N190	G41 X-60 Y30 D2;	X、Y 轴进给,引入刀具半径补偿 D2(D2=8.1 mm)
N200	M98 P1011;	调用子程序加工外轮廓,程序名为 O1011
N210	G0 Z5;	Z 轴快速抬刀
N220	X-40 Y-50;	X、Y 轴快速定位



N560	G68 X-23 Y-12 R45;	坐标系相对点(X-23,Y-12)逆时针旋转 45°
N570	G1 Z-4 F15;	Z 轴直线进给,进给速率为 15 mm/min
N580	G41 G91 G1 X-2.5 Y5 D4 F30;	相对编程,引入刀具半径补偿 D4(D4 = 4.1 mm),进给速率为 30 mm/min
N590	M98 P1013;	调用子程序加工,程序名为 O1013
N600	G90 G0 Z5;	Z 轴快速抬刀
N610	G69;	取消坐标系旋转
N620	X-15 Y22;	X、Y 轴快速定位
N630	G68 X-15 Y22 R30;	坐标系相对点(X-50,Y22)逆时针旋转 30°(工步 6)
N640	G82 G99 X-15 Y22 Z-6 R2 P1000 F15;	固定循环加工 $\phi 8$ mm 孔,进给速率为 15 mm/min
N650	X-27;	固定循环加工 $\phi 8$ mm 孔
N660	X-39;	固定循环加工 $\phi 8$ mm 孔
N670	G0 Z50;	取消固定循环,快速抬刀
N680	G69;	取消坐标系旋转
N690	G49 G0 Z0 M09;	取消长度补偿、固定循环,Z 轴快速定位到机械原点,切削液关闭
N700	M05;	主轴停转
N710	M06 T5;	调用 5 号 $\phi 10$ mm 立铣刀(工步 7)
N720	M03 S800;	主轴正转,800 r/min
N730	G0 G43 H5 Z200 M08;	Z 轴快速定位,调用 5 号长度补偿,切削液开
N740	X-70 Y50;	X、Y 轴快速定位至起刀点
N750	Z5;	Z 轴快速定位
N760	G1 Z-4 F80;	Z 轴直线进给,进给速率为 80 mm/min
N770	G41 X-60 Y30 D5;	X、Y 轴进给,引入刀具半径补偿 D5(D5 = 4.99 mm)
N780	M98 P1011;	调用子程序加工外轮廓,程序名为 O1011
N790	G0 Z5;	Z 轴快速定位
N800	X5 Y0;	X、Y 轴快速定位至起刀点
N810	G68 X5 Y0 R60;	坐标系相对点(X5,Y0)逆时针旋转 60°
N820	G1 Z-4;	Z 轴直线进给
N830	G41 G91 G1 X-9.5 Y8 D11;	相对编程,引入刀具半径补偿 D11(D11 = 4.99 mm)
N840	M98 P1012;	调用子程序加工,程序名为 O1012
N850	G90 G0 Z5;	Z 轴快速抬刀
N860	G69;	取消坐标系旋转



## 3) 子程序 2

	O1012;	子程序名
N10	G3 X-8 Y-8 R8;	过渡圆弧进给,切向切入轮廓
N20	G1 Y-6.5;	Y 向直线进给
N30	G3 X6 Y-6 R6;	逆时针圆弧 R6 mm 进给
N40	G1 X23;	X 向直线进给
N50	G3 X6 Y6 R6;	逆时针圆弧 R6 mm 进给
N60	G1 Y13;	Y 向直线进给
N70	G3 X-6 Y6 R6;	逆时针圆弧 R6 mm 进给
N80	G1 X-23;	X 向直线进给
N90	G3 X-6 Y-6 R6;	逆时针圆弧 R6 mm 进给
N100	G1 Y-6.5;	Y 向直线进给
N110	G3 X8 Y-8 R8;	过渡圆弧进给,切向切出轮廓
N120	G40 G1 X9.5 Y8;	取消刀具半径补偿至起刀点
N130	X10;	X 轴直线进给,去除多余材料
N140	M99;	子程序结束,返回主程序 O1001 中

## 4) 子程序 3

	O1013;	子程序名
N10	G3 X-5 Y-5 R5;	逆时针圆弧 R5 mm 进给
N20	G1 Y-12.5;	Y 向直线进给
N30	G3 X5 Y-5 R5;	逆时针圆弧 R5 mm 进给
N40	G1 X5;	X 向直线进给
N50	G3 X5 Y5 R5;	逆时针圆弧 R5 mm 进给
N60	G1 Y25;	Y 向直线进给
N70	G3 X-5 Y5 R5;	逆时针圆弧 R5 mm 进给
N80	G1 X-5;	X 向直线进给
N90	G3 X-5 Y-5 R5;	逆时针圆弧 R5 mm 进给
N100	Y-12.5;	Y 向直线进给
N110	G3 X5 Y-5 R5;	逆时针圆弧 R5 mm 进给
N120	G40 G1 X2.5 Y5;	取消刀具半径补偿至起刀点
N130	M99;	子程序结束,返回主程序 O1001 中



## 任务训练四

1. 编写习题图 3-4-1 零件的数控综合加工程序(要求清除残料)。