

# 第 4 章 FANUC0i-M 系统的编程与操作

FANUC 数控系统以其高质量、低成本、高性能和较全面的功能适用于各种机床,是市场上应用比较广泛的系统之一。本章以配置 FANUC0i-M 系统的数控铣床为例,介绍其编程与操作的一些知识。

## 4.1 FANUC0i-M 系统的编程基础知识

### 4.1.1 程序结构

每一个程序都是由程序号、程序内容和程序结束三部分组成。

#### 1. 程序号

程序号又称为程序名。为了区分每个程序,对程序要进行编号。程序号由程序号地址和程序的编号组成,程序号必须放在程序的开头。程序的命名方法为“O××××”。其中,“O”为地址,其后为四位数字。在书写时,程序号中非零数字前的零可以省略不写。例如,“O0020”可以写成“O20”。

#### 2. 程序内容

程序内容是整个程序的核心,由许多程序段组成。一个程序段用识别程序段的顺序号开始,以程序段结束代码结束,本系统用“;”表示程序段结束。每个程序段由一个或多个指令组成,表示数控铣床要完成的全部动作。

#### 3. 程序结束

程序结束是以程序结束指令 M02 或 M30 作为整个程序结束的符号,子程序以 M99 作为整个程序结束的符号。

### 4.1.2 小数点编程

在数控铣床上加工工件,首先要编制程序。编程时可以使用小数点编程,也可不用小数点编程。对于允许使用小数点的地址,如 X、Y、Z、I、J、K、R、Q、F 等,由小数点决定该数值的单位,输入时应特别注意。使用小数点编程时,长度单位为 mm,时间单位为 s;不使用小数点编程时,长度单位为  $\mu\text{m}$ ,时间单位为 ms。如沿 X 轴正方向移动 25 mm,以下写法都是允许的。

```
G91 G00 X25.0;
```

```
G91 G00 X25.;
```

```
G91 G00 X25000;
```

但不能写成“G91 G00 X25;”，否则相当于移动了 25  $\mu\text{m}$ 。另外，在同一个程序段中，允许同时出现带小数点的数字和不带小数点的数字，即带小数点和不带小数点的数字可以混合编程。如“X1000 Z2. ;”，相当于“X1. Z2. ;”。暂停指令中用“X”时应加小数点，用“P”时不能用小数点。如暂停 5 s，编程时可以写成“G04 X5. ;”，相当于“G04 P5000;”。

## 4.2 FANUC0i-M 系统的编程指令

### 4.2.1 常用准备功能 G 指令

准备功能 G 指令由 G 及后面的两位数字组成，它用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、刀具补偿、坐标偏移等多种加工操作。G 指令有非模态 G 指令和模态 G 指令之分。非模态 G 指令只在所规定的程序段中有效，程序段结束时被注销；模态 G 指令是一组可相互注销的 G 指令，即某一个 G 指令一旦被执行，则一直有效，直到被同一组的另一个 G 指令注销为止。模态 G 指令组中包含一个默认 G 指令，上电时将被初始化为该指令。

#### 1. 选择机床坐标系指令 G53

编程格式：

G53 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_；

编程说明：

- (1)G53 是非模态指令，它仅在指定机床坐标系的程序段有效。
- (2)G53 在绝对坐标指令 G90 模式下有效，在增量坐标指令 G91 模式下无效。
- (3)X、Y、Z 为刀具在机床坐标系中的坐标值。

#### 2. 设定工件坐标系指令 G92

编程格式：

G92 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_；

编程说明：

- (1)G92 指令通过设定对刀点与工件原点的相对位置建立工件坐标系。
- (2)G92 指令为非模态指令，但其建立的工件坐标系在被新的工件坐标系取代前一直有效；G92 指令一般放在零件程序的第一段。
- (3)执行该指令时，若刀具当前点恰好在是对刀点位置上，此时建立的坐标系即为工件坐标系，加工原点与工件原点重合；若刀具当前点不在是对刀点位置上，则加工原点与工件原点不一致，加工出的产品有误差或报废，甚至出现危险。因此执行该指令时，刀具当前点必须恰好在是对刀点上，即加工前必须准确对刀。

(4)X、Y、Z 为设定的工件原点到对刀点的有向距离。

(5)执行 G92 指令时，机床并不动作，即 X、Y、Z 轴均不移动。坐标值 X、Y、Z 均不得省略，否则，未被设定的坐标轴将按以前的记忆执行，这样刀具在运动时，可能达不到预期的位置，甚至会造成事故。

编程举例：

如图 4-1 所示，建立工件坐标系的程序为

G92 X40. Y30. Z25. ；

执行此程序段只建立工件坐标系，并不产生刀具与工件的相对运动。

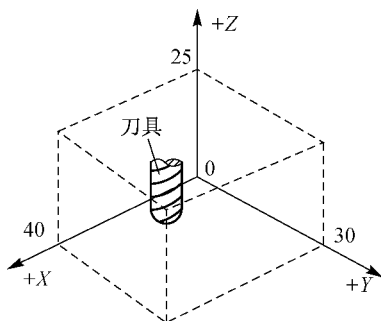


图 4-1 G92 建立工件坐标系

### 3. 选择工件坐标系指令 G54~G59

编程格式：

G54(G55、G56、G57、G58、G59)；

编程说明：

(1)若在工作台上同时加工多个零件，可以设定不同的工件原点，建立 G54~G59 共六个工件坐标系。其中，G54 坐标系是机床一开机并返回参考点后默认的有效坐标系。

(2)用 G54~G59 设定工件坐标系时，所用工件坐标系与机床坐标系之间的关系是由操作者在加工零件之前，通过“工件原点附加偏移”的操作实现的。操作者在安装工件后，测量工件原点相对于机床原点的偏移量，并把工件坐标系在各轴方向上相对于机床坐标系的位置偏移量写入工件坐标偏移存储器中，其后系统在执行程序时，就可以按照工件坐标系中的坐标值来运动了。

(3)G92 指令与 G54~G59 指令都是用于设定工件坐标系的，但在使用中是有区别的。G92 指令是通过程序来设定，它所设定的工件原点与当前刀具所在的位置有关，这一工件原点在机床坐标系中的位置是随当前刀具位置的不同而改变的。而 G54~G59 指令是在手动数据输入方式下设定工件坐标系的，一旦设定，工件原点在机床坐标系中的位置是不变的，它与刀具的当前位置无关。G92 建立的工件坐标系在机床重开机时消失，而 G54~G59 指令设定的工件坐标系在机床重开机时不会消失。G92 指令用单独一个程序段指定，而 G54~G59 建立工件坐标系时，可单独使用，也可与其他指令同段使用。

### 4. 局部坐标系指令 G52

在工件坐标系中编程序时，为方便编程，可以在工件坐标系中设置局部坐标系。这个坐标系又称为子坐标系。

编程格式：

G52 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_；

编程说明：

(1)用 G52 指令可以在工件坐标系 G54~G59 中设定局部坐标系。

(2)G52 指令为非模态指令,但其设定的局部坐标系在被取代或注销前一直有效。

(3)设定局部坐标系后,工件坐标系和机床坐标系保持不变。

(4) $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为局部坐标系原点在工件坐标系中的坐标值。

(5)要注销局部坐标系,可用“G52 X0 Y0 Z0;”来实现。

### 5. 坐标平面选择指令 G17、G18、G19

编程格式:

G17(G18、G19);

编程说明:

(1)该组指令用来选择进行圆弧插补或刀具半径补偿的平面。其中,G17 为选择  $XY$  平面,G18 为选择  $ZX$  平面,G19 为选择  $YZ$  平面。

(2)G17、G18、G19 为模态指令,可相互注销。

### 6. 绝对坐标与增量坐标指令 G90、G91

绝对坐标与增量坐标指令 G90、G91 已在第 3 章介绍,此处不再赘述。

### 7. 尺寸单位选择指令 G20、G21

编程格式:

G20; 英制输入

G21; 公制输入

编程说明:

接通电源时默认为公制单位,G20、G21 彼此可以互相注销。

### 8. 快速点定位指令 G00

编程格式:

G00 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_;

编程说明:

(1)用 G00 指令指定点定位,刀具从刀具所在点以点位控制方式、最快的速度移动到目标点。

(2) $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为终点坐标。当用 G90 编程时, $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为终点在工件坐标系中的坐标;当用 G91 编程时, $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为终点相对于起点的增量,即编程时刀具移动的距离。不运动的坐标可以不写。

(3)用 G00 快速移动时,地址 F 下编程的进给量无效。

**例 4-1** 如图 4-2 所示,使用 G00 指令编程,要求刀具从 A 点快速定位到 B 点。

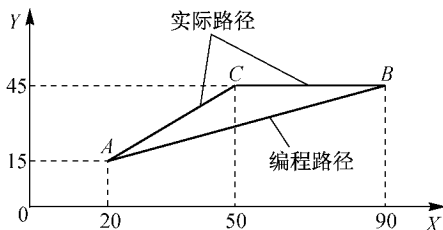


图 4-2 G00 指令编程举例

**解** 从 A 点到 B 点快速定位的 G90 和 G91 编程：

采用 G90 指令编程

G90 G00 X90. Y45. ;

采用 G91 指令编程

G91 G00 X70. Y30. ;

当 X 轴和 Y 轴的快进速度相同时,从 A 点到 B 点的快速定位路线为 A—C—B,即以折线的方式到达 B 点,而不是以直线方式从 A 到 B。

## 9. 直线插补指令 G01

编程格式：

G01 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ F\_\_ ;

编程说明：

(1)G01 指令使刀具按地址 F 下编程的进给速度从当前位置移动到程序段指令的终点。

(2)X、Y、Z 分别为线性进给终点,在 G90 时为终点在工件坐标系中的坐标,在 G91 时为终点相对于起点的增量。

(3)F 为合成进给速度。

**例 4-2** 如图 4-3 所示,使用 G01 指令编程,要求从 A 点线性进给到 B 点。

**解** 采用绝对坐标编程：

G90 G01 X90. Y45. F100. ;

采用增量坐标编程：

G91 G01 X70. Y30. F100. ;

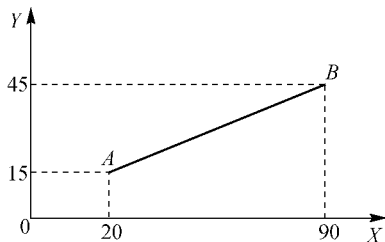


图 4-3 G01 指令编程举例

## 10. 圆弧插补指令 G02、G03

编程格式：

G17  $\left\{ \begin{array}{l} G02 \\ G03 \end{array} \right\} X\_ Y\_ \left\{ \begin{array}{l} I\_ J\_ \\ R\_ \end{array} \right\} F\_ ;$  XY 平面圆弧

G18  $\left\{ \begin{array}{l} G02 \\ G03 \end{array} \right\} X\_ Z\_ \left\{ \begin{array}{l} I\_ K\_ \\ R\_ \end{array} \right\} F\_ ;$  ZX 平面圆弧

G19  $\left\{ \begin{array}{l} G02 \\ G03 \end{array} \right\} Y\_ Z\_ \left\{ \begin{array}{l} J\_ K\_ \\ R\_ \end{array} \right\} F\_ ;$  YZ 平面圆弧

编程说明：

(1)G02/G03 指定刀具以联动的方式,按地址 F 规定的合成进给速度,在 G17/G18/G19 规定的平面内,从当前位置按顺/逆时针圆弧路线(联动轴的合成轨迹为圆弧)移动到程序段

指令的终点,如图 4-4 所示。

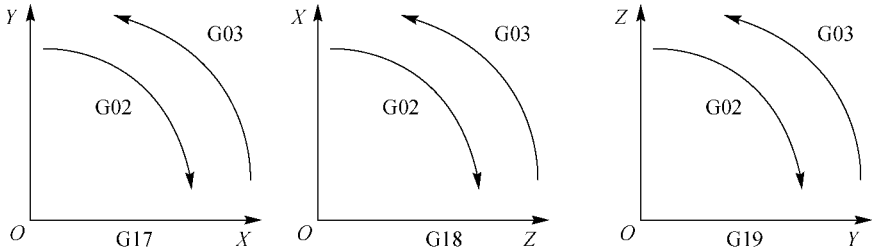


图 4-4 不同平面 G02 与 G03 的选择

(2)G02 为顺时针圆弧插补,G03 为逆时针圆弧插补。

(3)X、Y、Z 在 G90 时为圆弧终点在工件坐标系中的坐标,在 G91 时为圆弧终点相对于圆弧起点的增量。

(4)如图 4-5 所示, $I$ 、 $J$ 、 $K$  分别为圆心相对于圆弧起点的增量(等于圆心的坐标减去圆弧起点的坐标),在 G90、G91 时都是以增量方式来指定的。

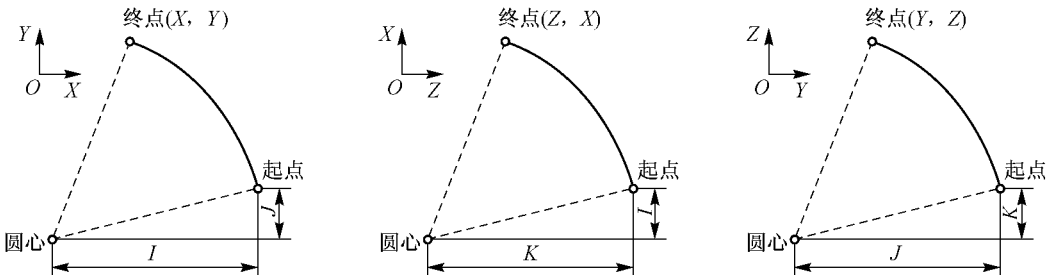


图 4-5  $I$ 、 $J$ 、 $K$  的选择

(5) $R$  为圆弧半径,当圆弧圆心角小于或等于  $180^\circ$  时, $R$  为正值;否则  $R$  为负值。

(6)所谓顺时针或逆时针,是指从垂直于圆弧所在平面的坐标轴的正方向看到的回转方向;整圆编程时不可以使用  $R$ ,只能用  $I$ 、 $J$ 、 $K$ ;当同时编入  $R$  和  $I$ 、 $J$ 、 $K$  时, $R$  有效。

**例 4-3** 如图 4-6 所示,使用 G02 对劣弧  $a$  和优弧  $b$  编程。

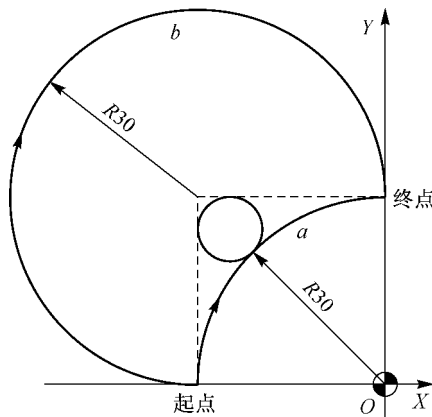


图 4-6 圆弧编程

解 劣弧  $a$  的四种编程方法:

G91 G02 X30. Y30. R30. F100. ;

G91 G02 X30. Y30. I30. J0 F100. ;

G90 G02 X0 Y30. R30. F100. ;

G90 G02 X0 Y30. I30. J0 F100. ;

优弧  $b$  的四种编程方法:

G91 G02 X30. Y30. R-30. F100. ;

G91 G02 X30. Y30. I0 J30. F100. ;

G90 G02 X0 Y30. R-30. F100. ;

G90 G02 X0 Y30. I0 J30. F100. ;

例 4-4 如图 4-7 所示,使用 G02/G03 对整圆编程。

解 从 A 点顺时针转一周:

G90 G02 X30. Y0 I-30. J0 F100. ;

G91 G02 X0 Y0 I-30. J0 F100. ;

从 B 点逆时针转一周:

G90 G03 X0 Y-30. I0 J30. F100. ;

G91 G03 X0 Y0 I0 J30. F100. ;

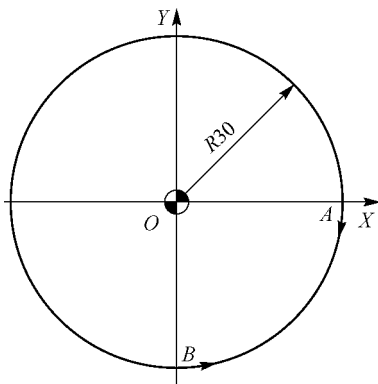


图 4-7 整圆编程

## 11. 螺旋线插补指令 G02、G03

螺旋线插补指令与圆弧插补指令相似,即 G02 和 G03 分别表示顺时针和逆时针螺旋线插补,顺、逆时针的定义和圆弧插补指令相同。在进行圆弧插补时,垂直于插补平面的插补轴同步运动,形成螺旋线移动轨迹。

编程格式:

G17  $\left\{ \begin{array}{l} G02 \\ G03 \end{array} \right\} X \_ Y \_ \left\{ \begin{array}{l} I \_ J \_ \\ R \_ \end{array} \right\} Z \_ F \_ ;$  XY 平面圆弧

G18  $\left\{ \begin{array}{l} G02 \\ G03 \end{array} \right\} X \_ Z \_ \left\{ \begin{array}{l} I \_ K \_ \\ R \_ \end{array} \right\} Y \_ F \_ ;$  ZX 平面圆弧

G19  $\left\{ \begin{array}{l} G02 \\ G03 \end{array} \right\} Y \_ Z \_ \left\{ \begin{array}{l} J \_ K \_ \\ R \_ \end{array} \right\} X \_ F \_ ;$  YZ 平面圆弧

编程说明：

螺旋线插补指令是在圆弧插补指令的基础上增加了一个移动轴指令。刀具以地址 F 指定的进给速度从当前点以螺旋线的轨迹移动到指定的位置。其参数意义同圆弧插补进给，第三个坐标是与选定平面相垂直的轴的终点。

**例 4-5** 如图 4-8 所示,使用 G03 对螺旋线编程。

**解** 采用 G91 编程：

```
G91 G17 F100. ;
```

```
G03 X-30. Y30. I-30. J0 Z10. F100. ;
```

采用 G90 编程：

```
G90 G17 F100. ;
```

```
G03 X0 Y30. I-30. J0 Z10. F100. ;
```

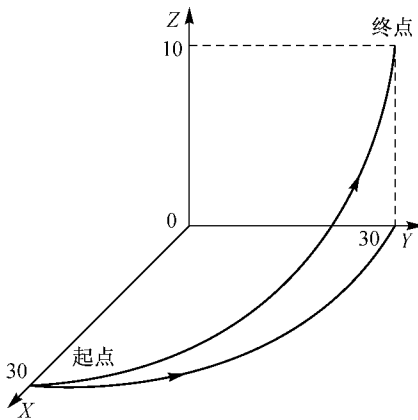


图 4-8 螺旋线编程

## 12. 返回参考点校验指令 G27

编程格式：

```
G27 X__ Y__ Z__;
```

编程说明：

(1)G27 指令可以检验刀具是否能够定位到参考点上,执行该指令后,如果刀具可以定位到参考点上,则相应轴的参考点指示灯就点亮。

(2)若不要求每次执行程序时,都执行返回参考点的操作,应在该指令前加上“/”(程序跳转),以便在不需要校验时,跳过该程序段。

(3)若希望执行该程序段后让程序停止,应在该程序段后加上 M00 或 M01 指令,否则程序将不停止而继续执行后面的程序段。

(4)执行该指令前,应先取消刀具补偿。

(5)X、Y、Z 分别代表参考点在工件坐标系中的坐标值。

## 13. 自动返回参考点指令 G28

编程格式：

```
G28 X__ Y__ Z__;
```

编程说明：

(1)X、Y、Z 为返回参考点时所经过的中间点坐标。



(2)G28 指令可使刀具以点定位方式经中间点快速返回到参考点,中间点的位置由该指令后面的 X、Y、Z 坐标值所决定,其坐标值可以用绝对值也可以用增量值,但这要取决于 G90 方式还是 G91 方式。设置中间点是为了防止刀具返回参考点时与工件或夹具发生干涉。

(3)通常,G28 指令用于自动换刀,原则上应在执行该指令前取消各种刀具补偿。

(4)在 G28 程序段中不仅记忆了移动指令坐标值,而且记忆了中间点的坐标值。换句话说,对于在使用 G28 程序段中没有被指定的轴,以前 G28 中的坐标值就作为那个轴的中间点坐标值。

编程举例:

N010 G90 X100. Y200. Z300. ;

N020 G28 X400. Y500. ;

中间点是(400.0,500.0)

N030 G28 Z600. ;

中间点是(400.0,500.0,600.0)

#### 14. 自动从参考点返回指令 G29

编程格式:

G29 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_;

编程说明:

(1)G29 指令可以使刀具从参考点出发,经过一个中间点到达由这个指令后面的 X、Y、Z 坐标值所指定的位置。中间点的坐标由前面的 G28 指令所规定,因此,G29 指令应与 G28 指令成对使用。

(2)X、Y、Z 为刀具终点的坐标,由 G90/G91 的状态决定是绝对值还是增量值。若为增量值,则是指到达点相对于 G28 中间点的增量值。

(3)在选择 G28 之后,G29 指令不是必需的,使用 G00 定位有时更为方便。

**例 4-6** 如图 4-9 所示,加工后刀具已定位到 A 点,取 B 点为中间点,C 点为执行 G29 指令时应到达的点,试编写刀具运动程序。

**解** 参考程序如下:

N040 G91 G28 X100. Y20. ;

N050 M06;

换刀

N060 G29 X50. Y-40. ;

此程序执行时,刀具首先从 A 点出发,以快速点定位的方式经 B 点到达参考点,换刀后执行 G29 指令,刀具从参考点先运动到 B 点再到达 C 点,B 点至 C 点的增量坐标为“X50. Y-40.”。

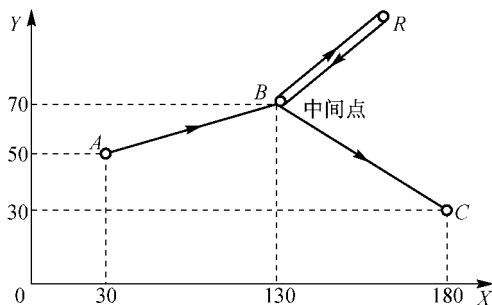


图 4-9 G28 指令与 G29 指令应用举例

### 15. 精确停止校验非模态指令 G09

G09 指令仅在所出现的程序段有效。在与包含有运动的指令同时被指定时,刀具在到达终点前减速并精确定位后才继续执行下一个程序段,因此,G09 可用于具有尖锐棱角的零件加工。

### 16. 精确停止校验模态指令 G61

G61 指令规定了精确停止校验方式,在指定了 G61 的程序段之后,当遇到与运动有关的指令,刀具到达该运动段的终点时,减速到零并精确定位之后再执行下一个程序段。该指令工作方式在遇到 G64 时可以自动终止。

G61 与 G09 的区别是 G61 为模态指令,而 G09 指令为非模态指令。

### 17. 切削进给方式指令 G64

在以切削进给方式工作时,刀具运动到指令的终点不减速而继续执行下一个程序段。换言之,机床在上一个程序段到达所编程的终点不减速和到位检查,就开始执行下一个程序段,使转角处形成一个小圆角,具有去除毛刺的效果。

### 18. 暂停指令 G04

编程格式:

G04 X \_\_ (或 P \_\_);

编程说明:

X 或 P 为暂停时间,其中,地址 X 后面可用带小数点的数,单位为 s(如“G04 X4.0;”表示在前一程序段执行完毕后,要经过 4 s 以后,后一程序段才执行);地址 P 后面不允许用小数点,单位为 ms(如“G04 P2000;”表示暂停 2 000 ms,即 2 s)。

### 19. 进给功能设定指令 G94、G95

编程格式:

G94(G95) F \_\_;

编程说明:

进给量的单位可以用每分钟进给量和每转进给量设定。G94 设定每分钟进给量,单位为 mm/min;G95 设定每转进给量,单位为 mm/r。

编程举例:

G94 F100. ;

表示进给量为 100 mm/min

G95 F0.5;

表示进给量为 0.5 mm/r

## 4.2.2 辅助功能 M 指令

辅助功能又称为 M 功能,由地址 M 和两位数字组成。在一个程序段中应只规定一个 M 指令,当在一个程序段中出现了两个或两个以上的 M 指令时,则只有最后一个 M 指令有效。对于不同的铣床制造厂来说,各 M 指令的含义可能有所不同,常用的 M 指令见表 4-1。

表 4-1 常用的 M 指令一览表

M 指令	功 能	说 明
M00	程序停止	程序停止时,所有模态指令不变,按循环启动按钮可以再启动
M01	选择停止	功能与 M00 相似,不同之处在于程序是否停止取决于机床操作面板上的选择停止按钮所处的状态,按下该按钮,当程序执行到 M01 时,程序停止;否则程序继续往下执行。当程序停止时,按循环启动按钮可以再启动
M02	程序结束	程序结束后不返回到程序开头的位置
M03	主轴正转	从主轴前端向主轴尾端看时为逆时针
M04	主轴反转	从主轴前端向主轴尾端看时为顺时针
M05	主轴停转	执行该指令后,主轴停止转动
M08	冷却液开	执行该指令时,应先使冷却液开关位于 AUTO 的位置
M09	冷却液关	—
M30	程序结束	程序结束后自动返回到程序开头的位置
M98	子程序调用	程序段中用 P 表示子程序地址
M99	子程序结束	—

### 1. 程序停止指令 M00

编程格式:

M00;

编程说明:

执行完包含 M00 的程序段后,铣床的所有动作均停止,此时所有存在的模态信息保持不变,铣床处于暂停状态。重新按下启动按钮后,系统将继续执行 M00 程序段后面的程序。若处于暂停状态时按下复位键,程序将返回到开始位置。此指令主要用于尺寸检验、排屑或插入必要的手工动作等。

### 2. 选择停止指令 M01

编程格式:

M01;

编程说明:

在机床操作面板上有一个选择停止按钮,当按下该按钮时,M01 功能同 M00,当不选择该按钮时,数控系统不执行 M01 指令,即跳过该指令继续向下运行程序。

### 3. 程序结束指令 M30、M02

编程格式:

M30(M02);

编程说明:

M30 表示程序结束,机床停止运行,数控系统装置复位,程序返回到开始位置;M02 表示程序结束,机床停止运行,程序停在最后一句。故程序结束使用 M30 比 M02 要方便些。

### 4. 主轴旋转指令 M03、M04、M05

编程格式:

M03(M04) S \_\_;

M05;

编程说明:

M03 为启动主轴正转, M04 为启动主轴反转, M05 为主轴停止转动, S 为主轴转速, 如“M03 S500”表示主轴以 500 r/min 转速正转。

### 5. 冷却液开关指令 M08、M09

编程格式:

M08(M09);

编程说明:

M08 为冷却液开, M09 为冷却液关。

### 6. 子程序调用及结束指令 M98、M99

M98 指令用来调用子程序。

M99 指令表示子程序结束, 执行 M99 指令后返回到主程序。

## 4.2.3 进给功能、主轴功能、刀具功能指令

### 1. 进给功能 F

F 指令表示刀具中心运动时的进给速度, 由 F 和其后的若干数字组成。F 的单位取决于 G94(每分钟进给量, 单位为 mm/min) 或 G95(每转进给量, 单位为 mm/r)。

### 2. 主轴功能 S

S 指令表示铣床主轴的转速, 由 S 和其后的若干数字组成, 其后的数值表示主轴速度(由于铣床的刀具安装在主轴上, 主轴转速即为刀具转速), 单位为 r/min。

### 3. 刀具功能 T

T 指令用于选刀, 其后的数值表示选择的刀具号, T 指令与刀具的关系是由机床制造厂规定的。在加工中心上执行 T 指令时, 首先刀库转动并选择所需的刀具, 然后等待, 直到 M06 指令作用时自动完成换刀。

## 4.2.4 刀具半径补偿

### 1. 刀具半径补偿指令 G41、G42、G40

在数控铣床上进行轮廓的铣削加工时, 由于刀具半径的存在, 刀具中心(刀心)轨迹与工件轮廓不重合。如图 4-10 所示, 如果数控系统不具备刀具半径自动补偿功能, 则只能按刀心轨迹进行编程, 即在编程时给出刀具的中心轨迹(图 4-10 中的点画线), 其计算相当复杂。

当数控系统具备刀具半径补偿功能时, 数控编程只需按工件轮廓(图 4-10 中的实线轨迹)编程即可。此时, 数控系统会自动计算刀心轨迹, 使刀具偏离工件轮廓一个半径值  $R$ (补偿量, 也称为偏移量), 即进行刀具半径补偿(简称为刀径补偿)。刀径补偿指令使编程工作大大简化。

数控系统的刀径补偿就是将计算刀具中心轨迹的过程交由数控系统执行。编程人员假设刀具的半径为零, 直接根据零件的轮廓形状进行编程, 因此, 这种编程方法也称为对零件的编程。实际的刀具半径存放在一个可编程刀具半径偏移寄存器中, 在加工过程中, 数控系统根据零件程序和刀具半径, 自动计算刀具中心轨迹, 完成对零件的加工。

现代数控系统一般都设置有若干个可编程刀具半径偏移寄存器, 并对其进行编号, 专供

刀具补偿之用。

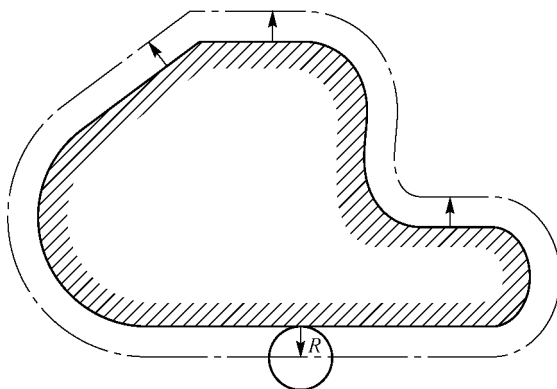


图 4-10 刀具半径补偿

如图 4-11 所示,铣削加工刀径补偿分为刀具半径左补偿(用 G41 定义)和刀具半径右补偿(用 G42 定义)。沿前进方向看,当刀具中心轨迹位于零件轮廓左边时,称为刀具半径左补偿,简称为左刀补;反之,当刀具中心轨迹位于零件轮廓右边时,称为刀具半径右补偿,简称为右刀补。使用 G40 指令可取消刀径补偿。

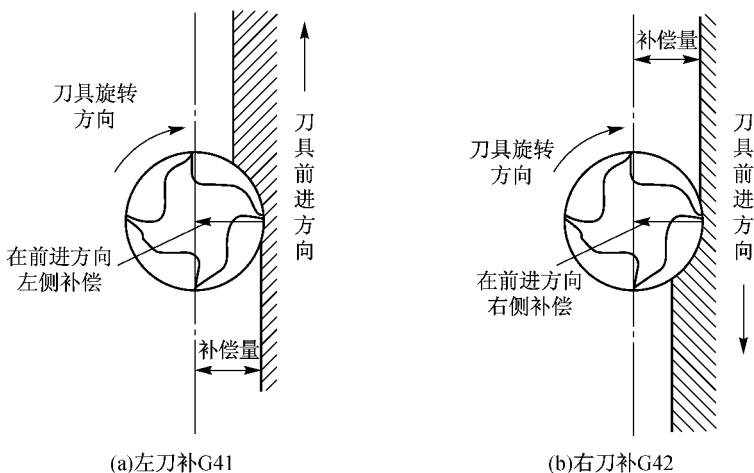


图 4-11 刀具半径补偿方向

编程格式:

$$\begin{Bmatrix} G17 \\ G18 \\ G19 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G41 \\ G42 \\ G40 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G00 \\ G01 \end{Bmatrix} X \_ Y \_ Z \_ D \_ (F \_);$$

编程说明:

(1)在进行刀径补偿前,必须用 G17、G18 或 G19 指定刀径补偿是在哪个平面上进行的。平面选择的切换必须在补偿取消的方式进行。

(2)由于刀径补偿的建立和取消必须在包含运动的程序段中完成,因此,以上编程格式中也写入了 G00(或 G01)。X、Y、Z 为目标坐标点;D 为刀径补偿代号,刀具半径值预先寄存在 D 指令的存储器中;F 为进给速度,用 G00 编程时 F 省略。

(3)所有平面上取消刀径补偿指令均为 G40。只有在线性插补 (G00、G01) 时才可以取消补偿运行。G40 之前的程序段刀具以正常方式结束(结束时补偿矢量垂直于轨迹终点处切线)。在运行 G40 程序段之后,刀具中心到达编程终点。G40、G41、G42 是模态代码,它们可以互相注销。

## 2. 刀径补偿的应用

刀径补偿功能给数控加工带来了方便,简化了编程工作。编程人员不但可以直接按零件轮廓编程,而且还可以用同一个加工程序,对零件轮廓进行粗、精加工。

如图 4-12 所示,当按零件轮廓编程以后,在粗加工零件时可以把偏移量设为  $d$ ,  $d = \Delta + R$ , 其中,  $R$  为铣刀半径,  $\Delta$  为精加工前的加工余量,那么零件被加工完成以后将得到一个比零件轮廓  $ABCDEFG$  各边都大  $\Delta$  的零件轮廓  $A'B'C'D'E'F'G'$ 。在精加工零件时,设偏移量  $d = R$ , 这样零件被加工完后,将得到零件的实际轮廓  $ABCDEFG$ 。

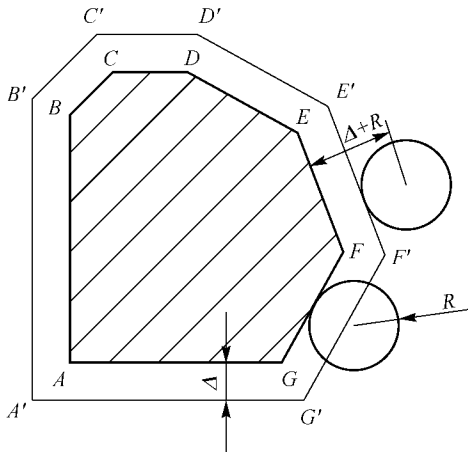


图 4-12 刀径补偿功能应用(一)

此外,可以利用刀径补偿功能,用同一个程序,加工同一个基本尺寸的内、外两个型面。如图 4-13 所示,粗实线为零件的轮廓线,当用同一刀补指令编程且偏移量为  $+d$  时,则刀具中心将沿轨迹在轮廓外侧切削,见图 4-13(a);当用同一刀补指令编程且偏移量为  $-d$  时,则刀具中心将沿轨迹在工件轮廓内侧切削,见图 4-13(b)。

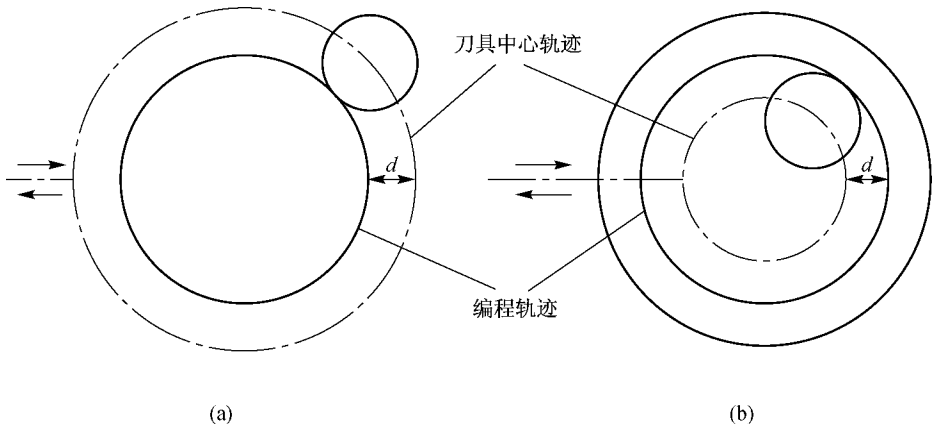


图 4-13 刀径补偿功能应用(二)

### 3. 刀径补偿的步骤

刀径补偿的执行过程一般可分为三步,即刀径补偿的建立、刀径补偿的进行和刀径补偿的撤销。

下面举例说明刀径补偿执行过程。

**例 4-7** 如图 4-14 所示,半径值存放在 D01 中。

**解** 参考程序如下:

```

O0001;
N010 G54 G90 G17 M03 S500;           由 G17 指定刀补平面
N020 G00 X0 Y0 Z5. ;
N030 G01 Z-2. F100. ;
N040 G41 X20. Y10. D01;               刀补建立,由 G41 确定刀补方向,由 D01
                                        指定刀补大小

N050 G01 Y50. ; }
N060 X50. ;      } 刀补进行
N070 Y20. ;      }
N080 X10. ;      }

N090 G01 G40 X0 Y0;                   刀补撤销
N100 G00 Z50. M05;
N110 M30;

```

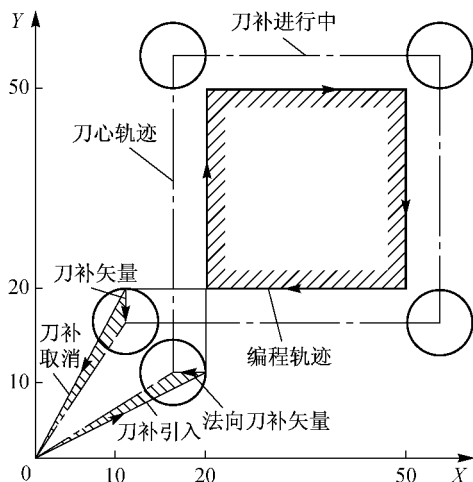


图 4-14 刀径补偿实例

**例 4-8** 如图 4-15 所示,现用  $\phi 20$  mm 立铣刀铣削该零件的轮廓。半径值存放在 D02。

**解** 参考程序如下:

```

O0002;
N010 G54 G17 G90;
N020 M03 S500;
N030 G00 X-10. Y-20. Z50. ;

```

```

N040 Z5. ;
N050 G01 Z-2. F200. ;
N060 G41 X0 Y0 D02 ;
N070 Y125. ;
N080 X50. ;
N090 Y100. ;
N100 G03 X75. Y75. R25. ;
N110 G01 X150. ;
N120 Y50. ;
N130 X100. Y0 ;
N140 X-10. ;
N150 G40 Y-20. ;
N160 G00 Z50. M05 ;
N170 M30 ;

```

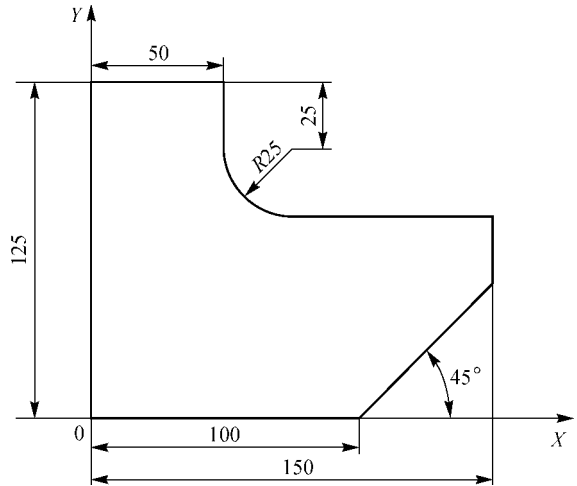


图 4-15 铣削零件轮廓

#### 4.2.5 刀具长度补偿指令

使用刀具长度补偿(简称为刀长补偿)功能,编程时不必考虑刀具的长度,按假定的标准刀具长度编程。当实际使用刀具与标准刀具长度有出入时,或刀具磨损后刀具长度变短时,不需重新改动程序或重新进行对刀调整,只需改变刀具补偿寄存器中存放刀长补偿值即可。如图 4-16 所示,若加工一个零件需要三把刀具,各刀的长短不一,对刀时,只需把假定为标准刀的那把刀具进行对刀,其余两把刀相对标准刀设置刀长补偿值即可。

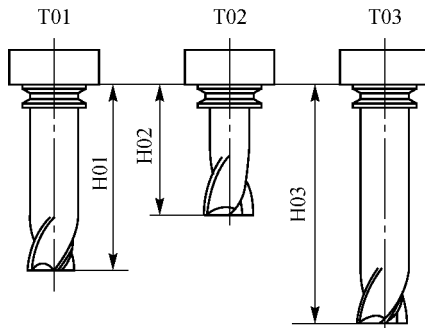


图 4-16 刀长补偿

编程格式:

G43 Z\_\_ H\_\_;

刀长正补偿

G44 Z\_\_ H\_\_;

刀长负补偿

G49(或 H00);

取消刀长补偿

编程说明:

Z 为目标点坐标;H 为刀长补偿号。补偿量存入由 H 地址指定的存储器中。无论是绝对坐标编程还是增量坐标编程,程序中指定的 Z 轴的终点坐标值,都要与 H 所指定存储器中的长度补偿值进行运算,G43 时相加,G44 时相减。如用 G43 编程时,若输入程序段“G00



G43 Z100. H01;”，并在 H01 中存入“-200.”，则执行该程序段时，将用 Z 坐标值“100.”与 H01 中所存“-200.”进行“+”运算，即“100. + (-200.) = -100.”，并将所求结果作为 Z 轴移动值。

**例 4-9** 用  $\phi 6$  mm 的刀具铣如图 4-17 所示的“X”、“Y”、“Z”三个字母，深度为 1 mm。设程序启动时刀心位于工件坐标系的 (0, 0, 100) 处，下刀速度为 50 mm/min，切削速度为 150 mm/min，主轴转速为 1 000 r/min，已知所用刀具比标准对刀柄短了 10 mm，编写其刀长补偿加工程序。

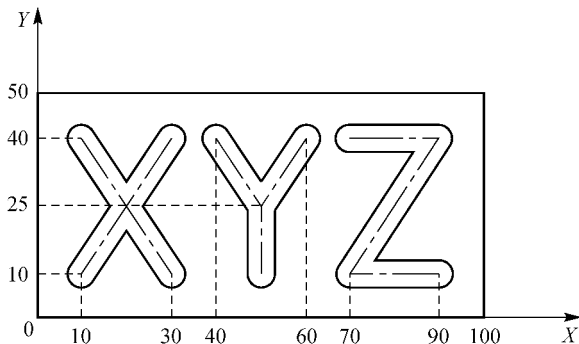


图 4-17 刀长补偿实例

**解** 参考程序如下：

```

O0003;
N010 G54 G90 G00 X0 Y0 Z100.;
N015 M03 S1000 T01;
N020 G43 H01 G00 Z5.;           H01 = -10, 刀具长度偏移值
N025 G00 X10. Y10.;
N030 G01 Z-1. F50.;
N035 G01 X30. Y40. F150.;
N040 Z2.;
N045 G00 X10.;
N050 G01 Z-1. F50.;
N055 X30. Y10. F150.;
N060 Z2.;
N065 G00 X40. Y40.;
N070 G01 Z-1. F50.;
N075 X50. Y25. F150.;
N080 Y10.;
N085 Z2.;
N090 G00 Y25.;
N095 G01 Z-1. F50.;
N100 X60. Y40. F150.;
N105 Z2.;

```

```

N110 G00 X70. ;
N115 G01 Z-1. F50. ;
N120 X90. F150. ;
N125 X70. Y10. ;
N130 X90. ;
N135 Z2. ;
N140 G00 X0 Y0;
N145 G49 G00 Z100. M05;
N150 M30;

```

## 4.2.6 缩放及镜像指令

### 1. 各轴以相同的比例放大或缩小

编程格式:

```
G51 X__ Y__ Z__ P__;          缩放开始
```

...

```
G50;                          缩放取消
```

编程说明:

(1)  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为比例缩放中心坐标;  $P$  为缩放比例。

(2) 编程的形状以  $P$  指定的缩放比例,  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  指定的缩放中心进行放大和缩小。

### 2. 各轴以不同的比例放大或缩小

编程格式:

```
G51 X__ Y__ Z__ I__ J__ K__;  缩放开始
```

...

```
G50;                          缩放取消
```

编程说明:

(1)  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为比例缩放中心坐标;

(2)  $I$ 、 $J$ 、 $K$  分别为与  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴对应的缩放比例系数, 在  $\pm 0.001 \sim \pm 9.999$  范围内。本系统设定  $I$ 、 $J$ 、 $K$  不能带小数点, 比例为 1 时, 应输入 1 000, 并在程序中都应输入, 不能省略。

### 3. 镜像功能

当各轴给定的比例系数为  $\pm 1 000$  时, 可获得镜像加工功能。

**例 4-10** 如图 4-18 所示, 零件上有四个形状尺寸相同的凸起, 高 2.5 mm, 试用镜像指令编写精加工程序。

**解** 参考程序如下:

```
O0004;
```

```
N005 G54 G90 G00 X0 Y0 Z50. ;
```

```
N010 M03 S1000 F150. ;
```

```
N015 G00 Z2. ;
```

```
N020 M98 P0011;
```

调用子程序, 加工图形①

N025 G51 X0 Y0 I-1000 J1000;	相对于 Y 轴镜像
N030 M98 P0011;	调用子程序,加工图形②
N035 G51 X0 Y0 I-1000 J-1000;	相对于原点镜像
N040 M98 P0011;	调用子程序,加工图形③
N045 G51 X0 Y0 I1000 J-1000;	相对于 X 轴镜像
N050 M98 P0011;	调用子程序,加工图形④
N055 G50 G00 Z50. M05;	
N060 M30;	
O0011;	
N005 G01 Z-2.5;	
N010 G41 X10. Y5. D01;	
N015 Y30. ;	
N020 X20. ;	
N025 G03 X30. Y20. R10. ;	
N030 G01 Y10. ;	
N035 X5. ;	
N040 G40 G01 X0 Y0;	
N045 G00 Z2. ;	
N050 M99;	

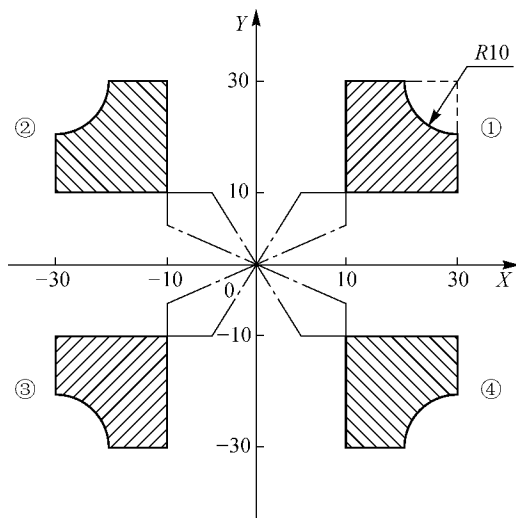


图 4-18 镜像功能加工实例

#### 4.2.7 坐标系旋转指令

编程格式:

G68 X\_\_ Y\_\_ R\_\_;

坐标系开始旋转

...

G69;

取消坐标系旋转

编程说明：

(1)该指令可使编程图形按指定的旋转中心及旋转方向旋转一定角度,如图 4-19 所示。如果 X、Y 值省略,则以工件坐标系原点为旋转中心。R 为旋转角度,逆时针旋转定义为正向,一般为绝对值。例如:“G68 R60. ;”表示以工件坐标系原点为旋转中心,将坐标系逆时针旋转 60°;“G68 X15. Y15. R60. ;”表示以坐标(15,15)为旋转中心,将坐标系逆时针旋转 60°。

(2)G69 为坐标系旋转取消指令,它与 G68 成对出现。

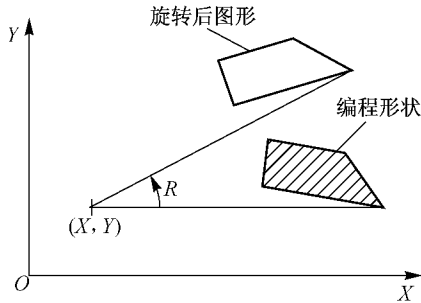


图 4-19 坐标系旋转功能

#### 4.2.8 极坐标指令

编程格式：

$$\left. \begin{array}{l} \{G17\} \\ \{G18\} \\ \{G19\} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \{G90\} \\ \{G91\} \end{array} \right\} G16; \quad \text{开始极坐标指令}$$

$$G00 \left\{ \begin{array}{l} X \_ Y \_ \\ X \_ Z \_ \\ Y \_ Z \_ \end{array} \right\};$$

G15; 取消极坐标指令

编程说明：

(1)坐标值可以用极坐标半径和角度输入,角度的正向是所选平面的第一轴正向的逆时针转向,而负向是顺时针转向。

(2)半径和角度两者可以用绝对坐标指令或增量坐标指令 G90/G91。

(3)G90 指定工件坐标系的原点作为极坐标系的原点,从该点测量半径;G91 指定当前位置作为极坐标系的原点,从该点测量半径。

(4)G00 后第一轴是极坐标半径,第二轴是极角。

**例 4-11** 如图 4-20 所示为一正六边形,已知外接圆半径为 50 mm,采用极坐标编程。

**解** 参考程序如下：

O0034;

N010 G17 G90 G54;

设定工件坐标系,选择 XY 平面

N020 G00 X100. Y100. Z100. M03 S800;

快速定位,主轴正转

N030 Z-5. ;

快速定位到工件下方 5 mm 处

N040 G41 X60. Y17.32 D01;

建立左刀补

N050 G16 G01 X50. Y0 F100. ;

建立极坐标

```

N060 Y-60.;
N070 Y-120.;
N080 Y-180.;
N090 Y-240.;
N100 Y-300.;
N110 Y-360.;
N120 G15;                取消极坐标
N130 G40 G00 X60. Y-17.32;  取消半径补偿
N140 Z100.;
N150 X100. Y100. M05;     回到原始点, 主轴停
N160 M30;                程序结束
    
```

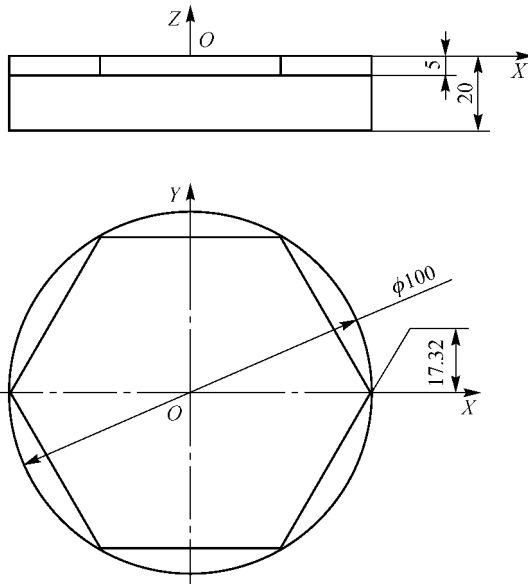


图 4-20 极坐标编程实例

### 4.3 FANUC0i-M 系统的固定循环编程

在前面介绍的常用加工指令中, 每一个 G 指令一般都对应铣床的一个动作, 它需要一个程序段来实现。为了提高编程效率, 可以利用固定循环编程指令, 只需编一个程序段就可以完成一个孔加工的全部动作, 即孔位平面定位、快速进给、工作进给、快速返回等动作, 这样可以大大简化程序。固定循环编程指令见表 4-2。

表 4-2 固定循环编程指令

G 指令	孔加工动作 (-Z 方向)	在孔底的动作	刀具返回方式 (+Z 方向)	用途
G73	间歇进给	—	快速进给	高速深孔钻
G74	切削进给	暂停、主轴正转	切削进给	攻左旋螺纹

续表

G 指令	孔加工动作 (-Z 方向)	在孔底的动作	刀具返回方式 (+Z 方向)	用途
G76	切削进给	主轴停止、刀具移位	快速进给	精镗孔
G80	—	—	—	取消固定循环
G81	切削进给	—	快速进给	钻孔
G82	切削进给	暂停	快速进给	铰孔、镗阶梯孔
G83	间歇进给	—	快速进给	深孔往复排屑钻
G84	切削进给	暂停、主轴反转	切削进给	攻右旋螺纹
G85	切削进给	—	切削进给	精镗孔
G86	切削进给	主轴停止	快速进给	半精镗孔
G87	切削进给	主轴停止	快速进给	反镗孔
G88	切削进给	暂停、主轴停止	手动操作	镗孔
G89	切削进给	暂停	切削进给	镗阶梯孔

### 4.3.1 固定循环的动作组成

孔加工固定循环通常由以下六个动作组成：

动作①——X轴和Y轴定位。使刀具快速定位到孔加工的位置。

动作②——快进到R点。刀具自初始点快速进给到R点。

动作③——孔加工。以切削进给的方式执行孔加工的动作。

动作④——在孔底的动作。包括暂停、主轴准停、刀具移位等动作。

动作⑤——返回到R点。继续孔的加工而又可以安全移动刀具时选择R点。

动作⑥——快速返回到初始点。孔加工完毕后一般应选择返回到初始点。

如图4-21所示为固定循环功能指令的动作，图中用虚线表示的是快速进给，用实线表示的是切削进给。

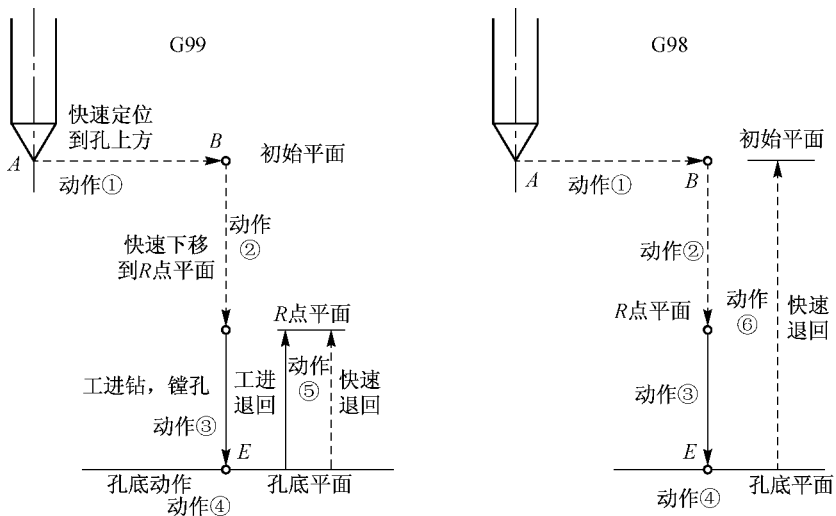


图 4-21 固定循环编程指令动作

### 4.3.2 固定循环中的平面

#### 1. 初始平面

初始平面是为安全下刀而规定的一个平面。初始平面到零件表面的距离在安全的前提下可以任意设定,当使用同一把刀具加工若干孔时,只有孔间存在障碍需要跳跃或全部孔加工完毕时,才使用 G98 指令使刀具返回到初始平面上的起始点。

#### 2. R 点平面

R 点平面又称为 R 参考平面,这个平面是刀具下刀时自快进转为工进的高度平面。距工件表面的距离(又称为刀具切入距离)主要考虑工件表面尺寸的变化,一般可取 2~5 mm。使用 G99 指令时,刀具将返回到该平面上的 R 点。

#### 3. 孔底平面

加工不通孔时孔底平面就是孔底的 Z 轴高度。加工通孔时一般刀具还要伸出工件底平面一段距离(又称为刀具切出距离),主要是保证全部孔深都加工到尺寸。钻削加工时还应考虑钻头钻尖对孔深的影响。

#### 4. 定位平面

孔加工循环与平面选择指令 G17、G18 或 G19 无关,即不管选择了哪个平面,孔加工都是在 XY 平面上定位并在 Z 轴方向上钻孔,即定位平面为 XY 平面。

### 4.3.3 固定循环指令

固定循环的动作由数据形式、返回点平面、孔加工方式指定。

编程格式:

$$\left. \begin{matrix} G90 \\ G91 \end{matrix} \right\} \left. \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G73 \sim G89 \quad X \_ \_ Y \_ \_ Z \_ \_ R \_ \_ Q \_ \_ P \_ \_ F \_ \_ K \_ \_ ;$$

编程说明:

(1)G73~G89 为孔加工方式,对应于固定循环指令;X、Y 为加工起点到孔位的增量(G91)或孔位坐标(G90);Z 为 R 点到孔底的增量(G91)或孔底绝对坐标(G90);R 为初始平面到 R 点的增量(G91)或 R 点的绝对坐标(G90);Q 在 G73、G83 间歇进给方式中,为每次加工的深度,在 G76、G87 方式中,为横移距离,在固定循环有效期间是模态值;P 为孔底暂停的时间,用整数表示,单位为 ms;F 为进给速度;K 为重复循环的次数,K1 可不写,K0 将不执行加工,仅存储加工数据。

(2)固定循环指令中 R、Z 的数据指定与 G90、G91 的选择有关,如图 4-22 所示为选择 G90 或 G91 时的坐标计算方法。

(3)由 G98、G99 决定刀具在返回时达到的平面指令,如果指令为 G98,则自该程序段开始,刀具是返回到初始平面,如果指令为 G99,则返回到 R 点平面。

(4)上述孔加工数据,不一定全部都写,根据需要可省略若干地址和数据。固定循环指令以及 Z、R、Q、P 等地址都是模态的,一旦指定,就一直保持有效,直到用 G80 撤销指令为止。此外,G00、G01、G02、G03 也起撤销固定循环指令的作用。

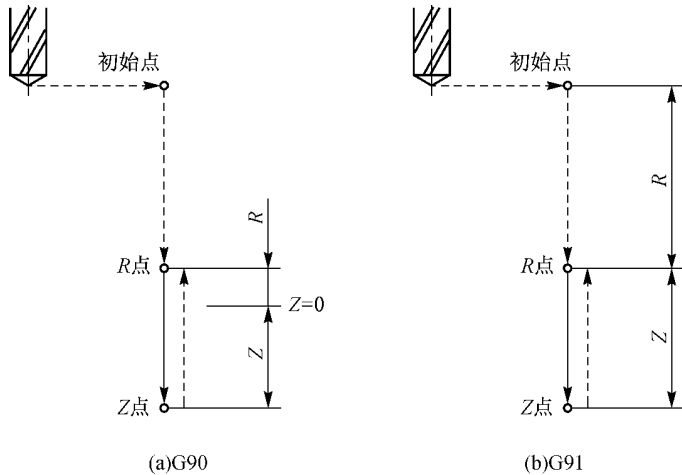


图 4-22 G90 和 G91 时 R 与 Z 的坐标计算

### 1. 高速深孔钻循环指令 G73

编程格式：

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

编程说明：

G73 指令用于高速深孔钻，指令动作如图 4-23 所示，通过 Z 轴方向的间歇进给可以实现断屑与排屑。

### 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\_\_；

编程说明：

G83 指令动作如图 4-24 所示，G83 指令与 G73 指令略有不同的是，每次刀具间歇进给后回退至 R 点平面，利于断屑和充分冷却。距离  $d$  由系统参数来设定。当要加工的孔较深时可采用此方式。

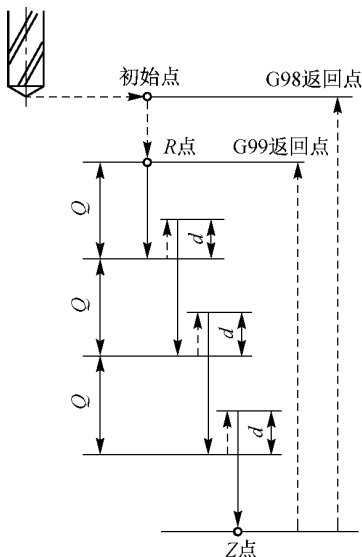


图 4-23 G73 指令动作

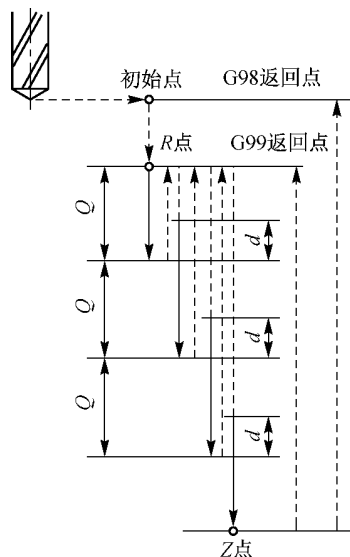


图 4-24 G83 指令动作



### 3. 攻左旋螺纹循环指令 G74

编程格式:

G74 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ R\_\_ P\_\_ F\_\_;

编程说明:

G74 指令动作如图 4-25 所示, G74 指令用于攻左旋螺纹。当到达孔底时, 主轴变换旋转方向, 主轴正转退回。

### 4. 攻右旋螺纹循环指令 G84

编程格式:

G84 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ R\_\_ P\_\_ F\_\_;

编程说明:

G84 指令动作如图 4-26 所示, G84 指令用于攻右旋螺纹。当到达孔底时, 主轴变换旋转方向, 主轴反转退回。

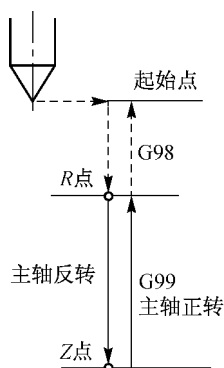


图 4-25 G74 指令动作

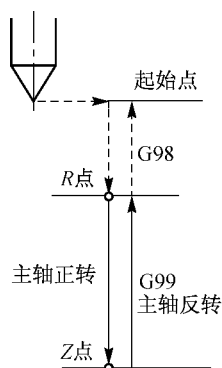


图 4-26 G84 指令动作

### 5. 精镗孔循环指令 G76

编程格式:

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

编程说明:

G76 指令动作如图 4-27 所示, G76 指令用于镗削精密孔。当到达孔底时, 主轴停止切削, 向与刀尖相反方向位移, 然后刀具离开工件的被加工表面并返回。采用这种方式镗孔可以保证退刀时不至于划伤内孔表面。

### 6. 钻孔循环指令 G81

编程格式:

G81 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ R\_\_ F\_\_;

编程说明:

G81 指令的循环动作如图 4-28 所示, 包括 X、Y 坐标定位、快进、工进和快速返回等动作。G81 指令用于正常钻孔, 切削进给执行到孔底, 然后刀具从孔底快速移动退回。

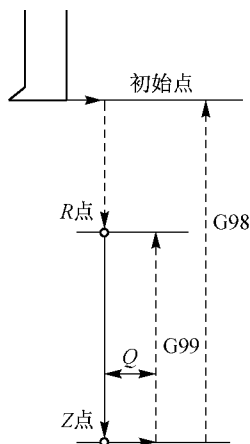


图 4-27 G76 指令动作

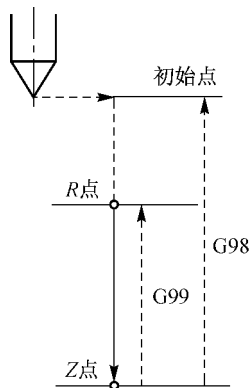


图 4-28 G81 指令动作

### 7. 镗孔、镗阶梯孔循环指令 G82

编程格式：

G82 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ R\_\_ P\_\_ F\_\_；

编程说明：

G82 与 G81 指令的唯一不同之处是 G82 在孔底增加了暂停(延时),因而适用于镗孔或镗阶梯孔,而 G81 用于一般钻孔。

### 8. 镗孔循环指令 G85

编程格式：

G85 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ R\_\_ F\_\_；

编程说明：

G85 指令的循环动作如图 4-29 所示,与 G81 类似,只是从 Z 点至 R 点为切削进给,以保证孔壁光滑。G85 指令主要适用于精镗孔等情况。

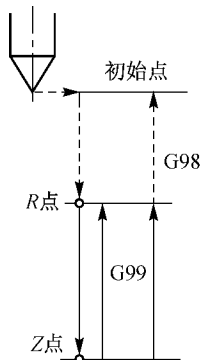


图 4-29 G85 指令动作

### 9. 精镗阶梯孔循环指令 G89

编程格式：

G89 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ R\_\_ P\_\_ F\_\_；

编程说明:

G89 指令与 G85 指令都是以切削进给的方式加工到孔底,然后又以切削进给的方式返回到 R 点平面,区别是 G89 指令在到达孔底位置后,进给暂停。

### 10. 半精镗孔循环指令 G86

编程格式:

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

编程说明:

G86 指令与 G81 指令的区别是:在到达孔底位置后,主轴停止,并快速退出。

### 11. 反镗孔循环指令 G87

编程格式:

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

编程说明:

G87 指令用于精密反镗孔,参数意义同 G76 指令。

### 12. 镗孔循环指令 G88

编程格式:

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

编程说明:

G88 指令的循环动作如图 4-30 所示,用于镗孔。当镗孔完成后,执行暂停,然后主轴停止,刀具从孔底 Z 点手动返回到 R 点,在 R 点主轴正转,并且执行快速移动到初始位置。

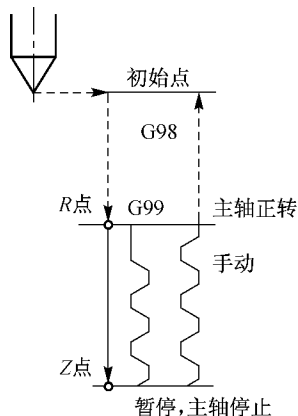


图 4-30 G88 指令动作

### 13. 取消孔加工循环指令 G80

编程格式:

G80;

编程说明:

当固定循环指令不再使用时,应用 G80 指令取消孔加工循环指令,它与其他孔加工循环指令成对使用。

**例 4-12** 使用循环指令 G83 编制如图 4-31 所示零件的加工程序。设刀具起点距离工件表面 100 mm, 切削深度为 40 mm 的通孔。

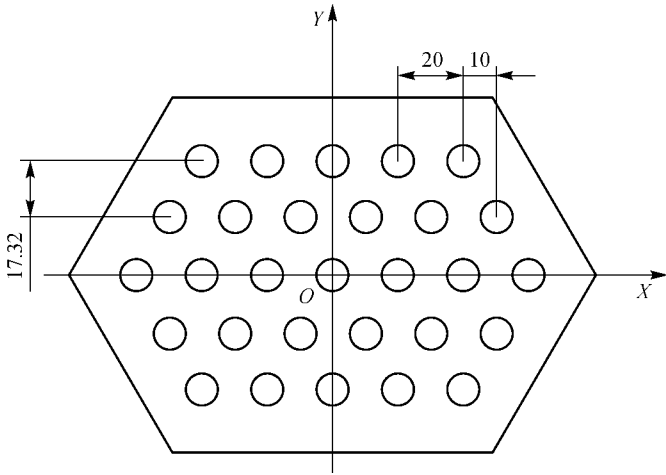


图 4-31 固定循环指令加工孔

**解** 参考程序如下:

O0030;	主程序
N010 G54 G00 X0 Y0 Z100. ;	建立工件坐标系, 刀具到达编程原点上方 100 mm 处
N020 M03 S500;	
N030 G00 X-60. Y34.64 M08;	快进到(-60, 34.64), 开启冷却液
N040 Z20. F80. ;	快进到工件上方 20 mm 处
N050 G91 G99 G83 X20. Z-46. R-17. K5;	从左至右钻削第一排五个孔
N060 X10. Y-17.32;	钻削第二排右边第一个孔
N070 X-20. K5;	钻削第二排其余五个孔
N080 X-10. Y-17.32;	钻削第三排左边第一个孔
N090 X20. K6;	钻削第三排其余六个孔
N100 X-10. Y-17.32;	钻削第四排右边第一个孔
N110 X-20. K5;	钻削第四排其余五个孔
N120 X10. Y-17.32;	钻削第五排左边第一个孔
N130 X20. K4;	钻削第五排其余四个孔
N140 G80 M09;	循环结束, 冷却液关
N150 G90 G00 Z100. ;	
N160 X0 Y0 M05;	
N170 M30;	程序结束

**例 4-13** 使用循环指令编制如图 4-32 所示的螺纹加工程序。设刀具起点距工作表面 100 mm, 切削深度为 10 mm 的通孔。

**解** 参考程序如下:

(1) 先用 G81 钻孔。

```

O0311;
N010 G54 G00 X0 Y0 Z100. ;
N020 M03 S500;
N030 G00 Z20. M08;
N040 G91 G99 G81 X30. Y30. R-17. Z-16. F80. ;
N050 X30. K3;
N060 Y40. ;
N070 X-30. K3;
N080 G90 G80 G00 X0 Y0 Z100. ;
N090 M05 M09;
N100 M30;
(2)再用 G84 攻螺纹。

```

```

O0312;
N010 G54 G00 X0 Y0 Z100. ;
N020 M03 S500;
N030 G00 Z20. M08;
N040 G91 G99 G84 X30. Y30. R-17. Z-16. F80. ;
N050 X30. K3;
N060 Y40. ;
N070 X-30. K3;
N080 G90 G80 G00 X0 Y0 Z100. ;
N090 M05 M09;
N100 M30;

```

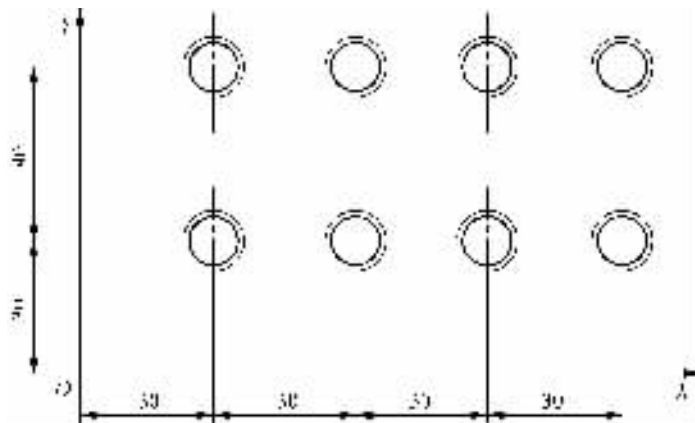


图 4-32 固定循环指令加工螺纹

## 4.4 FANUC0i-M 系统的子程序

在加工零件时,如果零件上的若干处具有相同的轮廓形状,那么在这种情况下,可以只编写一个轮廓形状的子程序,然后用一个主程序来调用该子程序。还可以用子程序再去调

用另外的子程序,以简化程序编制,缩短程序段。

另外,若被加工的零件虽然从外形上看并无相同的轮廓,但在加工中反复出现具有相同轨迹的走刀路线,即走刀轨迹总是出现某一特定的形状,那么在这种情况下,也可以用子程序编程,此时通常要以增量方式编程。

#### 4.4.1 子程序的结构

子程序都是由子程序号、子程序内容和子程序结束三部分组成。

编程举例:

```
O××××;           子程序号
N010 ...;
N020 ...;
...
N080 ...;
N090 M99;         子程序结束
```

编程说明:

在子程序的开头,在地址 O 之后规定子程序号。子程序号由四位数字组成,四位中前面的零可以省略。M99 为子程序结束指令,它不一定要单独使用一个程序段。如:

```
G00 X__ Y__ M99;
```

#### 4.4.2 子程序的调用

编程格式:

```
M98 P△△△××××;
```

编程说明:

M98 为调用子程序指令;△△△为子程序调用的次数,系统允许调用的次数为 999 次;××××为子程序号。如“M98 P51000;”表示调用子程序 O1000 共五次。如果不写重复次数,则认为重复次数为一次。如“M98 P1200;”表示调用子程序 O1200 一次。

调用子程序指令可以对同一子程序反复调用,当在主程序中调用了一个子程序时,称为一重嵌套。如果在子程序中又调用了另一个子程序,则称为二重嵌套,如图 4-33 所示。

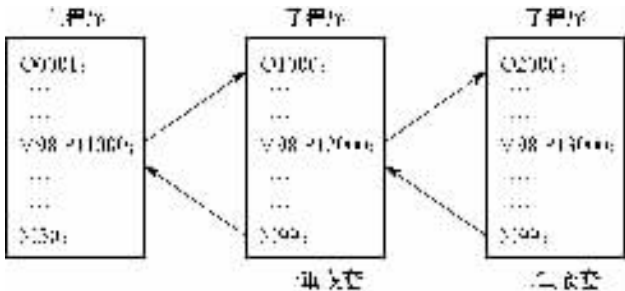


图 4-33 调用子程序的结构

下面举例说明调用子程序编程的方法。

**例 4-14** 如图 4-34 所示,用  $\phi 6$  mm 键槽铣刀加工,使用刀具半径补偿,每次 Z 轴下刀 2.5 mm,试利用子程序编写程序。

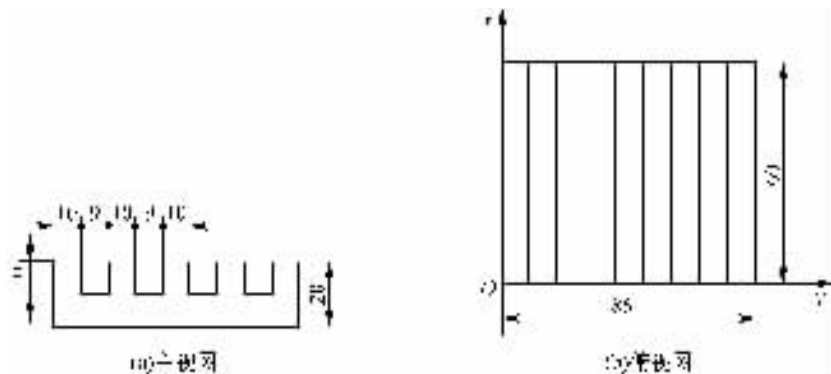


图 4-34 子程序编程

解 参考程序如下：

O0033;	主程序
N010 G54 G00 X0 Y0 Z20. ;	建立工件坐标系
N020 M03 S800;	
N030 G00 X-4.5 Y-10. M08;	快进到(-4.5, -10)
N040 Z0;	
N050 M98 P41100;	调用 O1100 子程序四次
N060 G90 G00 Z20. M05;	
N070 X0 Y0 M09;	
N080 M30;	
O1100;	子程序
N010 G91 G00 Z-2.5;	用增量方式编程,下刀到工件下方 2.5 mm 处
N020 M98 P41200;	调用 O1200 子程序四次
N030 G00 X-76. ;	
N040 M99;	
O1200;	子程序
N010 G91 G00 X19. ;	刀具从当前位置沿 X 轴正方向快速移动 19 mm
N020 G01 G41 D01 X4.5;	建立左刀补,刀具与第一个槽的右边对齐
N030 G01 Y75. F100. ;	加工槽
N040 X-9. ;	刀具向左移动 9 mm,与第一个槽的左边对齐
N050 Y-75. ;	第一个槽加工结束
N060 G40 G00 X4.5;	取消刀补
N070 M99;	

## 4.5 FANUC0i-M 系统数控铣床的操作面板

FANUC0i-M 系统数控铣床操作面板由系统控制面板和机床控制面板两部分组成。

### 4.5.1 数控系统控制面板

数控系统控制面板的作用主要是对系统各功能进行调整,即调试机床和系统;对零件程序进行编辑;选择需要运行的零件加工程序;控制和观察程序的运行等。数控系统控制面板如图 4-35 所示。

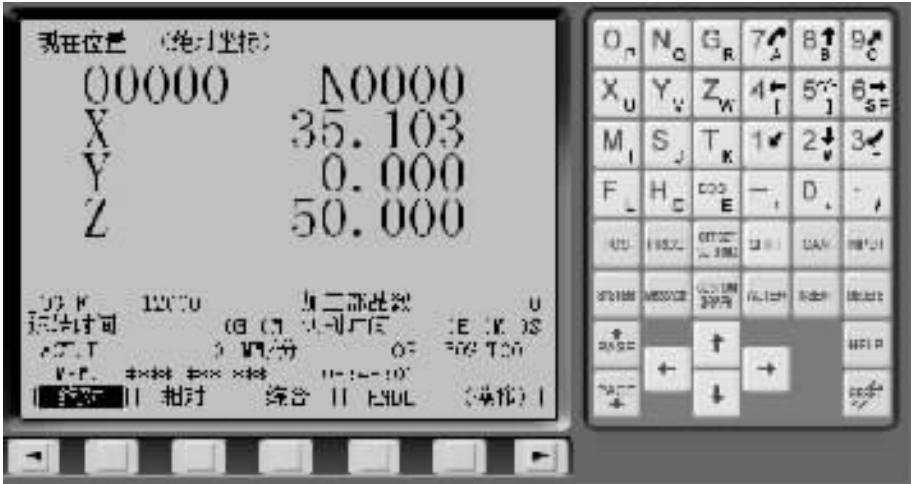











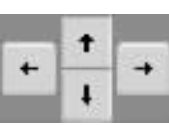






图 4-35 数控系统控制面板


数控系统控制面板上按键的含义见表 4-3。

表 4-3 数控系统控制面板按键的说明

按 键	功 能	按 键	功 能
	地址/数字键		帮助键。当对 MDI(手动数据输入)键的操作不明白时,按下这个键可以获得帮助
	替换键		插入键
	删除键		取消键。用于删除最后一个进入输入缓存区的字符或符号
	输入键。用于输入工件偏移值、刀具补偿值		复位键。解除报警
	翻页键。  键用于将屏幕显示的页面往前翻页;  键用于将屏幕显示的页面往后翻页		光标移动键。  键用于将光标向右或者向前移动,  键用于将光标向左或者往回移动,  键用于将光标向下或者向前移动,  键用于将光标向上或者往回移动



续表

按 键	功 能	按 键	功 能
	切换键。在键盘上的某些键具有两个功能,按下该键可以在这两个功能之间进行切换		换行键。按下该键生成“;”
	坐标显示键。显示位置坐标		程序键。显示程序
	偏移/设置键。显示偏移/设置屏幕		系统屏幕显示键
	信息屏幕显示键		用户宏屏幕显示键
	软键。按下功能键后,按与屏幕文字相对应的软键  ,可以进入该菜单。带有向左箭头的软键  为菜单返回键,带有向右箭头的软键  为菜单继续键		

### 4.5.2 数控机床控制面板

数控机床控制面板如图 4-36 所示。数控机床控制面板的按键、旋钮及其他旋钮说明见表 4-4。

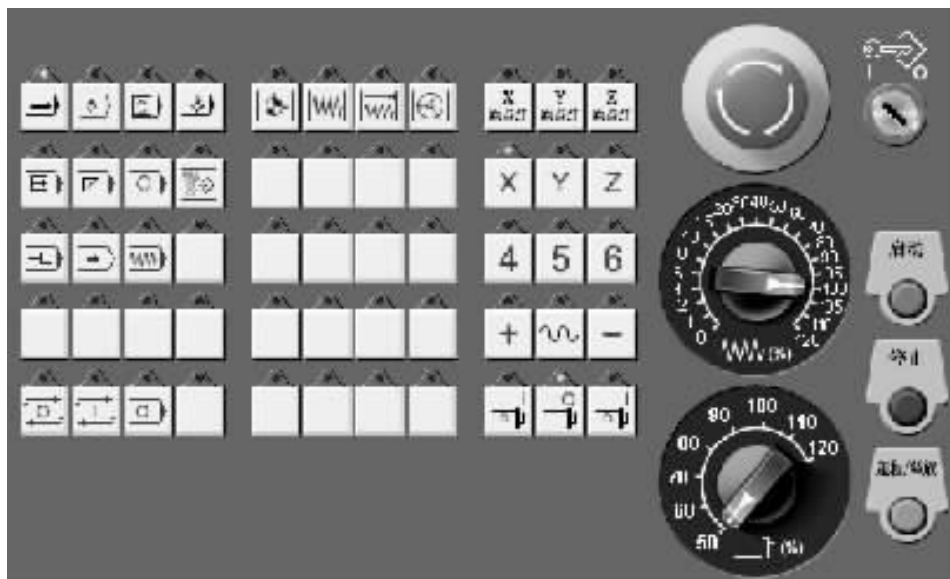


图 4-36 数控机床控制面板

表 4-4 数控机床控制面板的按键、旋钮及其他旋钮说明

按 键	功 能	按 键	功 能
	返回参考点键		手轮键
	连续点动键		自动键
	MDI 键		编辑键
	增量键		主轴停止键
	主轴反转键		主轴正转键
	单段运行键		进给暂停键
	空运行键		跳过键
	急停键		当 X 轴返回参考点时, X 原点灯亮
	当 Y 轴返回参考点时, Y 原点灯亮		当 Z 轴返回参考点时, Z 原点灯亮
	循环启动键		进给暂停指示灯
	X 键		Y 键
	Z 键		坐标轴正方向键
	坐标轴负方向键		快进键
	进给速度修调旋钮		主轴速度修调旋钮
	启动电源键		关闭电源键
	手轮进给放大倍数开关。每转动一下, 旋钮向相应的方向移动一个挡位		手轮。顺时针或逆时针转动手轮, 所选择的轴将向正向或负向移动一个选定的值












## 4.6 FANUC0i-M 系统数控铣床的基本操作

FANUC0i-M 系统数控铣床的基本操作主要包括手动操作、程序编辑、数据设置及自动运行操作等。

### 4.6.1 手动操作


#### 1. 开机和回参考点










按下机床控制面板上的“启动电源”键 ，接通电源，显示屏由原先的黑屏变为有

文字显示。按“急停”键 ，使该键抬起，这时系统完成上电复位。然后，可以进行手动、自动等操作。按下“返回参考点”键 。按下“X”键 ，再按下“坐标轴正方向”键 ，X 轴返回参考点，同时 X 原点灯  亮；按上述方法，依次按下“Y”键 、“坐标轴正方向”键 、“Z”键 、“坐标轴正方向”键 ，Y、Z 轴返回参考点，同时 Y、Z 原点灯 、 亮。


#### 2. 手动连续进给

手动连续进给操作如下：

(1) 按下“连续点动”键 ，系统处于连续点动运行方式。





(2) 选择进给速度，按下“X”键 （指示灯亮），再按住“坐标轴正方向”键  或“坐标轴负方向”键 ，X 轴产生正向或负向连续移动，松开“坐标轴正方向”键  或“坐标轴负方向”键 ，X 轴减速停止；依同样方法，按下“Y”键 、“Z”键 ，再按住“坐标轴正方向”键  或“坐标轴负方向”键 ，使 Y、Z 轴产生正向或负向连续移动。





#### 3. 点动进给速度选择

使用机床控制面板上的“进给速度修调”旋钮  选择进给速度，向右旋转该旋


钮，修调倍率递增；向左旋转该旋钮，修调倍率递减。向右旋转一下，修调倍率增加 5%；向左旋转一下，修调倍率递减 5%。

#### 4. 增量进给

按下“增量”键 ，系统处于增量运行方式。按下“X”键 （指示灯亮），再按一下“坐标轴正方向”键  或“坐标轴负方向”键 ，X 轴将向正向或负向移动一个增量值；依同




样方法按下“Y”键 、“Z”键 ,再按一下“坐标轴正方向”键 或“坐标轴负方向”键 ,Y、Z 轴将向正向或负向移动一个增量值。



## 5. 手轮进给

按下“手轮”键 ,系统处于手轮运行方式。选择移动轴和倍率,根据移动方向,顺时针或逆时针旋转手轮。


## 4.6.2 程序的创建、输入和编辑

### 1. 新建程序

按下机床控制面板上的“编辑”键 ,系统处于编辑运行方式。按下系统控制面板上的“程序”键 ,显示程序屏幕。然后使用“地址/数字”键,输入程序号。如输入程序号“O0001”,按下系统控制面板上的“插入”键 ,这时程序屏幕上显示新建的程序名,接下来可以输入程序内容,如图 4-37 所示。

在输入到一行程序的结尾时,先按“换行”键 生成“;”,然后再按“插入”键 。这样程序会自动换行,光标出现在下一行的开头。

### 2. 输入程序

在 FANUC0i-M 系统“地址/数字”键中,同一个按键既包含数字也包含字母,在输入的时候系统可以自动识别当前输入的应该是字母还是数字。输完一行里的几个字符后按“插入”键 ,即可完成该句程序的输入。



例如,要输入上一步骤建立的程序 O0001 的第一行内容“N10 G54 G01 X100. Y100. Z50. F200. M03”,首先将各符号全部输完后,按“换行”键 ,再按“插入”键 ,完成换行。这样就完成了程序第一行内容的输入,如图 4-38 所示。



图 4-37 新建程序



图 4-38 输入程序

### 3. 编辑程序

下列各项操作均是在编辑状态下进行的。

#### 1) 打开目录中的文件


在编辑方式下,按“程序”键  ,然后按系统显示屏下方与“DIR”对应的软键,显示程序名列表,如图 4-39 所示。使用“地址/数字”键,输入程序名“O0002”。在输入程序名的同时,系统显示屏下方出现“O 检索”,如图 4-40 所示。输完程序名后,按与“O 检索”对应的软键,显示屏上显示“O0002”这个程序的内容,如图 4-41 所示。



图 4-39 程序名列表

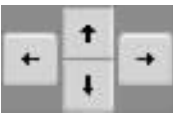


图 4-40 检索程序



图 4-41 打开程序

#### 2) 字的插入

使用“光标移动”键  ,将光标移到需要插入的后一位字符上。如图 4-42 所示,在“Z5.”前面要插入“X50.”,先把光标移到“Z5.”上,然后键入“X50.”,按下“插入”键


。光标所在的字符之前出现新插入的数据,同时光标还在原数据上,如图 4-43 所示。






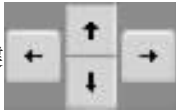
图 4-42 插入字之前




图 4-43 插入字之后





### 3) 字的替换

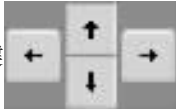
使用“光标移动”键    ,将光标移到需要替换的字符上,键入要替换的字和数据,



按下“替换”键  ,光标所在的字符被替换,同时光标移到下一个字符上。




### 4) 字的删除

使用“光标移动”键    ,将光标移到需要删除的字符上,按下“删除”键  ,





光标所在的字符被删除,同时光标移到被删除字符的下一个字符上。

### 5) 输入过程中的删除



在输入过程中,即字母或数字还在输入缓存区、没有按“插入”键  的时候,可以使用“取消”键  来进行删除。每按一下“取消”键  ,则删除一个字母或数字。

### 6) 删除目录中的文件

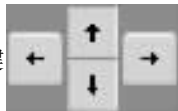
在编辑方式下,按“程序”键  ,再按“DIR”软键,显示程序名列表。使用“地址/数字”键,输入欲删除的程序名,然后按系统控制面板上的“删除”键  ,该程序将从程序名列表中删除。

## 4.6.3 数据设置

### 1. 设置刀具补偿值

按下“编辑”键  ,进入编辑运行方式。按下“偏移/设置”键  ,显示工具补正界面。

如果显示屏幕上没有显示该界面,可以按“补正”软键打开该界面。



例如,要设定 006 号刀的形状值为-1.000,可以使用“光标移动”键将光标移到需要设定刀补的地方,如图 4-44 所示。使用“地址/数字”键输入数值“-1.”,在输入数字的同时,软键中出现“输入”键;按“输入”键,或者按软键中的“输入”键,这时该值显示为新输入的数值,如图 4-45 所示。

如果要修改输入的值,可以直接输入新值,然后按“输入”键或者“输入”软键。也可以输入一个将要加到当前补偿值的值(负值将减小当前的值),然后按下“+输入”软键。



图 4-44 补偿值输入前

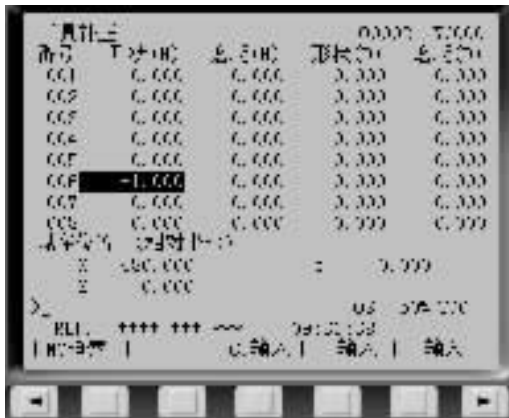
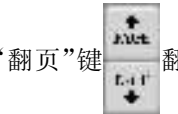


图 4-45 补偿值输入后

## 2. 设置工件原点偏移值

按下“偏移/设置”键,按下“坐标系”软键,屏幕上显示工件坐标系设定界面,如图 4-46 所示。该屏幕包含两页,可使用“翻页”键翻到所需要的页面。



在图 4-46 中,使用“光标移动”键将光标移动到想要改变的工件原点偏移值上。例如,要设定“G54 X-200. Y-100. Z-30.”,首先将光标移到 G54 的 X 值上。使用“地址/数字”键输入数值“-200.”,然后按下“输入”键,或者按“菜单继续”键后直到出现“输入”软键,按下该键。同样,如果要修改输入的值,可以直接输入新值,然后按“输入”键或者“输入”软键。也可以输入一个将要加到当前值的值(负值将减小当前的值),然后按下“+输入”软键。

按上述步骤,改变另两个偏移值,如图 4-47 所示。





图 4-46 工件坐标系设定前



图 4-47 工件坐标系设定后






#### 4.6.4 自动运行操作

##### 1. 选择和启动零件程序



选择需要加工的零件程序,按下“自动”键 ,系统进入自动运行方式。按“循环启动”键  (指示灯亮),系统执行程序。

##### 2. 停止、中断零件程序



###### 1) 停止



如果要中途停止,可以按下“循环启动”键  左侧的“进给暂停”键 ,这时铣床停止运行,并且“循环启动”键  的指示灯灭,进给暂停指示灯  亮。再按“循环启动”键 ,就能恢复被停止的程序。

###### 2) 中断

按下数控系统控制面板上的“复位”键 ,可以中断程序加工,再按“循环启动”键 ,程序将从头开始执行。

##### 3. MDI 运行

按下“MDI”键 ,系统进入 MDI 运行方式。按下系统控制面板上的“程序”键 ,打开程序屏幕,系统会自动显示程序号“O0000”,如图 4-48 所示。

用程序编辑操作编制一个要执行的程序,编写完毕后使用“光标移动”键 ,将光标移动到程序开头。按“循环启动”键  (指示灯亮),程序开始运行。当执行程序结束语句(M02 或 M30)或者“%”后,程序运行结束。



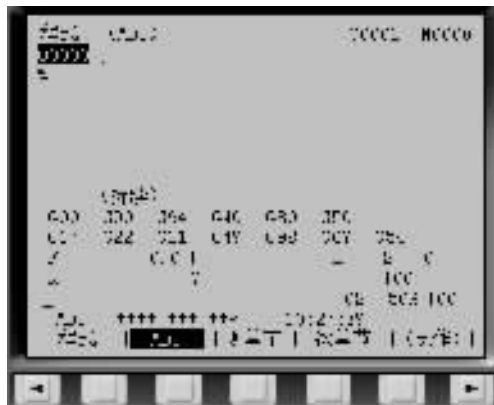








图 4-48 MDI 运行

#### 4. 停止、中断 MDI 运行

##### 1) 停止

如果要中途停止 MDI 运行,可以按下“循环启动”键  左侧的“进给暂停”键 ,这时铣床停止运行,并且“循环启动”键  的指示灯灭,进给暂停指示灯  亮。再按“循环启动”键 ,就能恢复 MDI 运行。

##### 2) 中断

按下数控系统控制面板上的“复位”键 ,可以中断 MDI 运行。

## 4.7 FANUC0i-M 系统的编程实例

**例 4-15** 如图 4-49 所示,已知 A、B、C、D、E、F 点坐标在 XY 平面上分别为 A(27.5, 21.65)、B(5, 34.64)、C(-32.5, 12.99)、D(-32.5, -12.99)、E(5, -34.64)、F(27.5, -21.65),工件毛坯为  $\phi 100 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$  的圆柱体,材料为 45 钢。试编制零件的加工程序。

**解** 参考程序如下:

主程序

O0001;

N010 G54 G90 G17;

N020 M03 S1000 F200.;

N030 G00 X80. Y80. Z100.;

N040 Z-5.;

N050 D01; D01 里放的数据就是第一次调用子程序时,刀具偏离编程轨迹的距离

N060 M98 P0041;

N070 D02;

N080 M98 P0041;

```

N090 G00 Z100. ;
N100 M30;
子程序
O0041;
N010 G01 G41 X40. Y60. ;
N015 X40. Y0 F100. ;
N020 G02 X27.5 Y-21.65 R25. ;
N025 G01 X5. Y-34.64;
N030 G02 X-32.5 Y-12.99 R25. ;
N035 G01 Y12.99;
N040 G02 X5. Y34.64 R25. ;
N045 G01 X27.5 Y21.65;
N050 G02 X40. Y0 R25. ;
N060 G01 X40. Y-60. ;
N065 G40 G00 X80. Y80. ;
N070 M99;

```

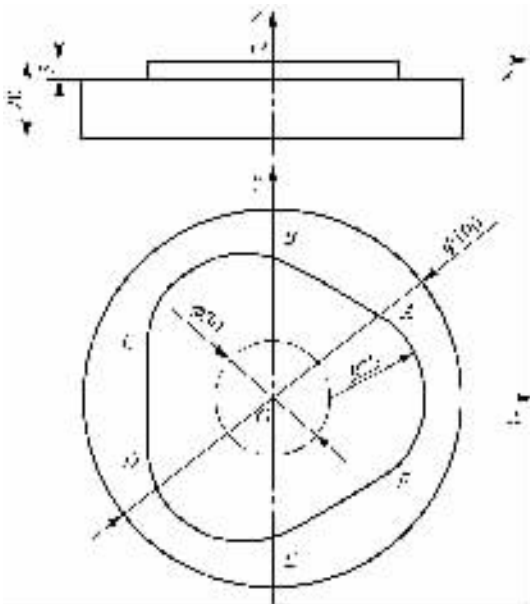


图 4-49 例 4-15 图

**例 4-16** 如图 4-50 所示,零件上有四个形状尺寸相同的方槽,槽深 2 mm,槽宽 8 mm,未注圆角 R4,设工件坐标系位于工件左下角的上表面, $\phi 8$  mm 的端铣刀具的初始位置在 (0,0,100)处。试用子程序和刀长补偿编制四个槽的加工程序。

**解** 参考程序如下:

主程序

```

O0002;
N010 G54 G90 G17;

```

```

N020 M03 S1000 F200. ;
N030 G00 X0 Y0 Z100. ;
N040 G43 H01 G00 Z50. ;      建立刀具长度补偿
N050 G00 X30. Y15. Z5. ;
N060 M98 P0042;
N070 G00 X100. Y15. ;
N080 M98 P0042;
N090 G00 X30. Y65. ;
N100 M98 P0042;
N110 G00 X100. Y65. ;
N120 M98 P0042;
N130 G00 X0 Y0;
N140 G49 G00 Z100. M05;
N150 M30;
子程序
O0042;
N010 G91 G01 Z-7. F100. ;
N020 Y30. ;
N030 X50. ;
N040 Y-30. ;
N050 X-50. ;
N060 Z7. ;
N070 G90;
N080 M99;

```

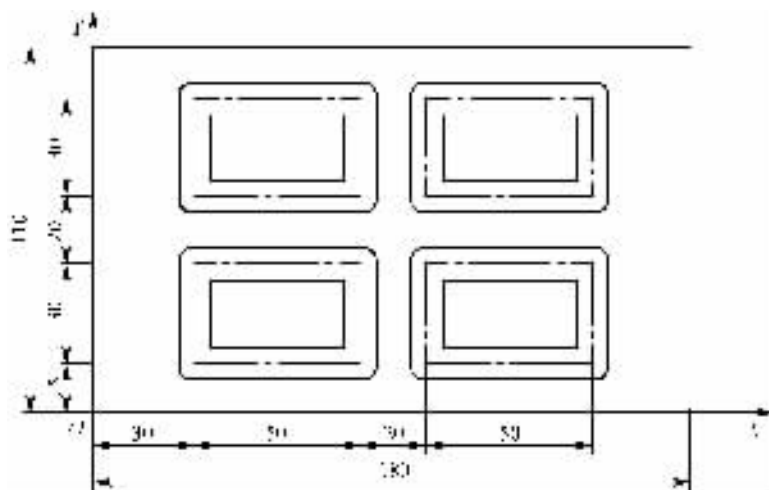


图 4-50 例 4-16 图

**例 4-17** 如图 4-51 所示,用直径为  $\phi 10$  mm 的立铣刀铣削该轮廓。所用刀具号为 T02, 偏移号为 D01, 试编写零件精加工程序。

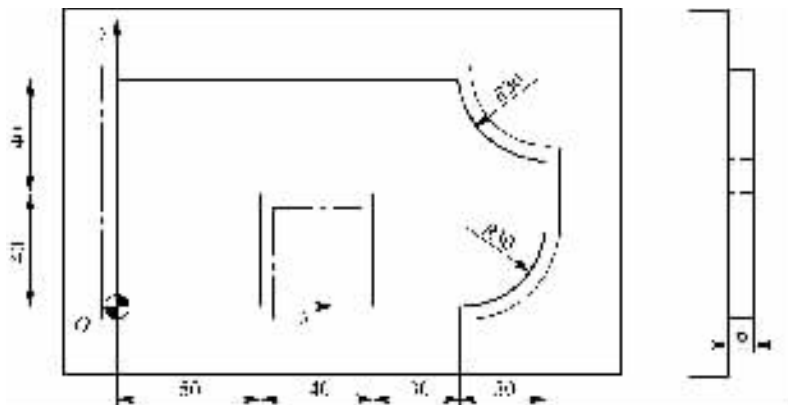


图 4-51 例 4-17 图

解 参考程序如下：

```

O0003;
N005 G54 G90 G17;
N010 M03 S1000;
N020 G00 X-10. Y-10. Z100. M08;
N030 Z5. ;
N040 G01 Z-6. F200. ;
N050 G41 X0 Y0 D01 F100. ;
N060 Y80. ;
N070 X120. ;
N080 G03 X150. Y50. R30. ;
N090 G01 Y30. ;
N100 G02 X120. Y0 R30. ;
N110 G01 X90. ;
N120 Y40. ;
N130 X50. ;
N140 Y0;
N150 X-10. ;
N160 G01 G40 Y-10. ;
N170 G00 Z100. M05;
N180 M09;
N190 M30;

```

## 本章小结

本章主要介绍了 FANUC0i-M 系统数控铣床的编程基础知识、编程的一些基本指令,以及固定循环程序编制和子程序的调用方法,同时还简要介绍了 FANUC0i-M 系统数控铣床的系统控制面板、机床控制面板以及数控铣床的基本操作方法和一些编程实例。通过本章

内容的学习,要求掌握一些常用的编程指令;能够应用于程序及固定循环指令编程,从而达到简化编程的目的;熟悉数控铣床的操作;能够对一些中等复杂程度的零件进行程序编制。

## 习 题 4

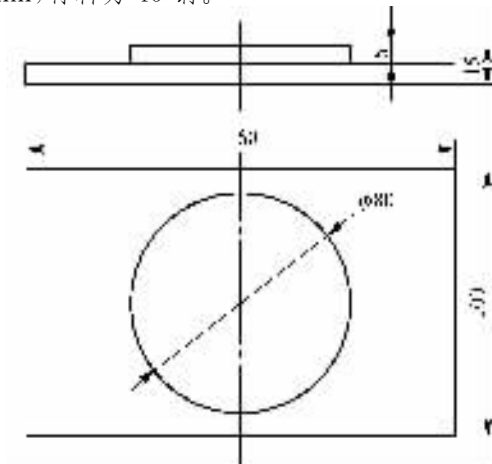
4-1 FANUC0i-M 系统程序结构由哪几部分组成?

4-2 刀长补偿有什么作用? 什么是刀长正补偿? 什么是刀长负补偿?

4-3 为什么要进行刀具轨迹的半径补偿? 刀径补偿的实现要分哪三大步骤?

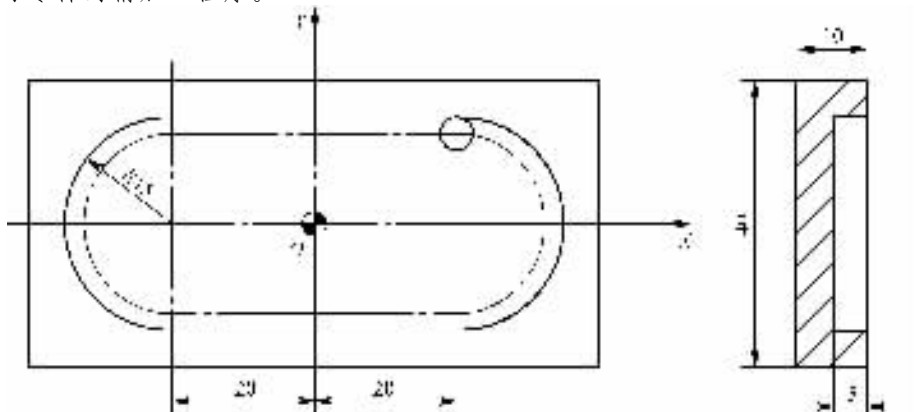
4-4 数控铣床圆弧插补编程有什么特点? 圆弧的顺逆应如何判断? 试用 FANUC0i-M 系统编制在 XY 平面上铣切一个  $\phi 50$  mm 整圆的程序段。

4-5 试用 FANUC0i-M 系统编制如图题 4-5 所示零件的加工程序,工件毛坯为  $160\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ ,材料为 45 钢。



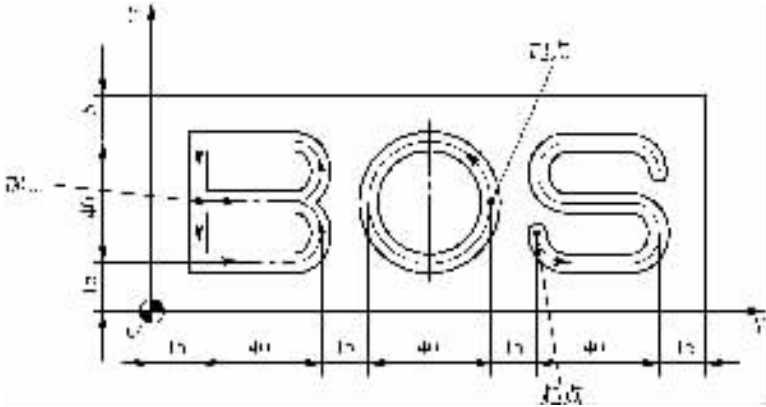
图题 4-5

4-6 如图题 4-6 所示,使用直径为  $\phi 6$  mm 的立铣刀,刀具选择 T01,试用 FANUC0i-M 系统编写零件的精加工程序。



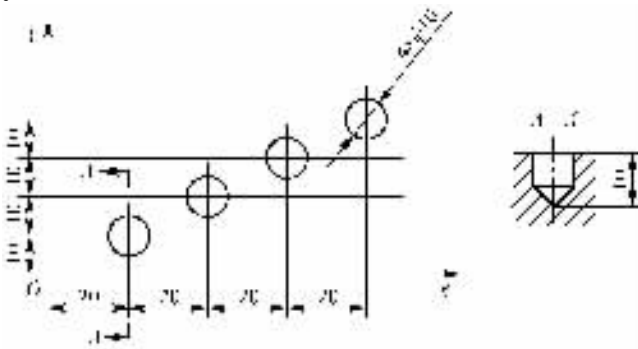
图题 4-6

**4-7** 如图题 4-7 所示,用  $\phi 6$  mm 的刀具铣“B”、“O”、“S”三个字母,深度为 2 mm,试用 FANUC0i-M 系统编写加工程序。



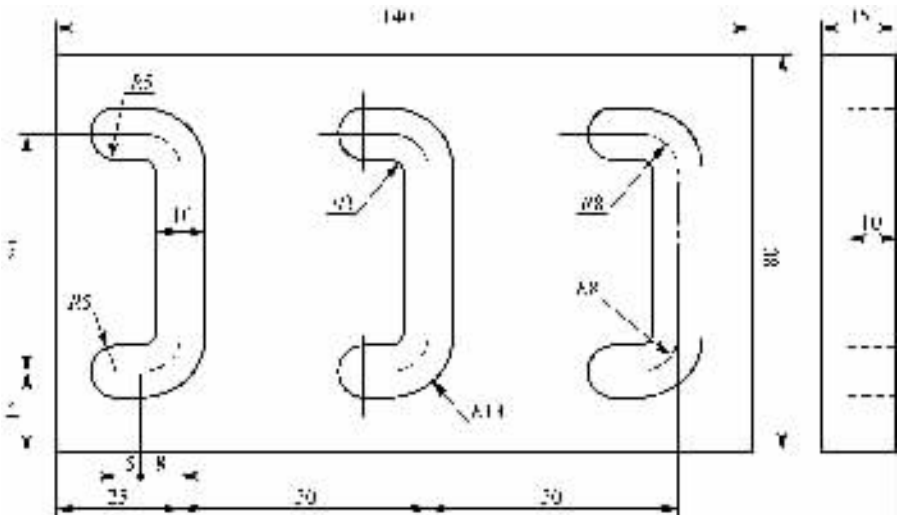
图题 4-7

**4-8** 如图题 4-8 所示,用直径为  $\phi 10$  mm 的钻头进行钻孔加工,试用 FANUC0i-M 系统编写数控加工程序。



图题 4-8

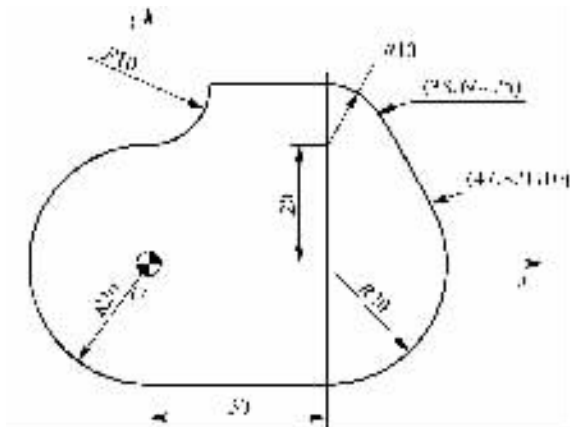
**4-9** 如图题 4-9 所示,工件材料为 45 钢。试用 FANUC0i-M 系统编写加工程序。



图题 4-9

**4-10** 某零件的外形轮廓如图题 4-10 所示,厚度为 15 mm。已知刀具为直径  $\phi 10$  mm 的铣刀。直线进刀,圆弧退刀,安全平面距零件上表面 2 mm。试求:

- (1)精铣外轮廓的走刀路线(左刀补)。
- (2)FANUC0i-M 系统中零件的精加工程序。



图题 4-10