

数控技术培训系列教程

世纪星铣床数控系统

HNC-21/22M

编程说明书



华中科技大学国家数控系统工程技术研究中心
武汉华中数控股份有限公司

2002 年 11 月

前 言

非常感谢您选用了本公司生产的 HNC-21/22 世纪星系列数控系统。

本说明书详细介绍了数控编程基本知识、指令体系、各指令功能的特点、注意事项和宏指令编程方法，并配以大量典型编程实例和图例加以说明。既可作为世纪星车床数控系统产品说明书，也可作为数控编程的培训教材。

在使用本产品前，请先仔细阅读本说明书，以达到最佳使用效果。

请妥善保管说明书，并交最终使用者认真阅读。

本说明书版权为武汉华中数控股份有限公司所有。

华中科技大学国家数控系统工程技术研究中心
武汉华中数控股份有限公司

2002 年 11 月

目 录

第一章 概述	4
1.1 数控编程概述	4
1.1.1 定义零件程序	4
1.1.2 准备零件程序	4
1.2 数控机床概述	5
1.2.1 控制轴	5
1.2.2 机床坐标轴	5
1.2.3 机床坐标系、机床零点和机床参考点	6
1.2.3 工件坐标系、程序原点和对刀点	7
第二章 零件程序的结构	9
2.1 程序的基本形式	9
2.2 指令字的格式	9
2.3 程序段的格式	10
2.4 主程序和子程序的格式	10
第三章 HNC-21M 的编程指令体系	13
3.1 辅助功能 M 代码	13
3.1.1 CNC 内定的辅助功能	13
(1) M00 (程序暂停)	13
M02 ()	14
(2) 程序结束	14
(3) M30 (程序结束并返回到零件程序头)	14
(4) M98 和 M99 (子程序调用和从子程序返回)	14
3.1.2 PLC 设定的辅助功能	14
(1) M03、M04、M05 (主轴正转、反转、停止控制指令)	14
(2) M06 (换刀指令)	14
(3) M07、M09 (冷却液打开、停止指令)	14
3.2 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T	15
3.2.1 主轴功能 S	15
3.2.2 进给速度 F	15
3.2.3 刀具功能(T 机能)	15
3.3 准备功能 G 代码	15

3.3.1 有关单位的设定.....	18
(1) 尺寸单位选择 G20, G21, G22.....	18
(2) 进给速度单位的设定 G94、G95.....	18
3.3.2 有关坐标系和坐标的指令.....	19
(1) 绝对值编程 G90 与增量值编程 G91.....	19
(2) 工件坐标系设定 G92.....	20
(3) 工件坐标系选择 G54~G59.....	21
(4) 直接机床坐标系编程 G53.....	23
(5) 坐标平面选择 G17, G18, G19.....	23
3.3.3 进给控制指令.....	24
(1) 快速定位 G00.....	24
(2) 单方向定位 G60.....	25
(3) 线性进给 G01.....	26
(4) 圆弧进给 G02/G03.....	26
(5) 螺旋线进给 G02/G03.....	28
(6) 虚轴指定 G07 及正弦线插补.....	29
3.3.4 回参考点控制指令.....	30
(1) 自动返回参考点 G28.....	30
(2) 自动从参考点返回 G29.....	31
3.3.5 刀具补偿功能指令.....	32
(1) 刀具半径补偿 G40, G41, G42.....	32
(2) 刀具长度补偿 G43, G44, G49.....	34
3.3.6 其他功能指令.....	36
(1) 暂停指令 G04.....	36
(2) 准停检验 G09.....	36
(2) 段间过渡方式 G61, G64.....	37
3.3.7 简化编程指令.....	38
(1) 镜像功能 G24, G25.....	38
(2) 缩放功能 G50, G51.....	40
(3) 旋转变换 G68, G69.....	41
3.3.8 固定循环.....	42
(1) G73: 高速深孔加工循环.....	44
(2) G74: 反攻丝循环.....	45

(3) G76: 精镗循环	45
(4) G81: 钻孔循环(中心钻)	46
(5) G82: 带停顿的钻孔循环	47
(6) G83: 深孔加工循环	47
(7) G84: 攻丝循环	48
(8) G85: 镗孔循环	48
(9) G86: 镗孔循环	48
(10) G87: 反镗循环	49
(11) G88: 镗孔循环	50
(12) G89: 镗孔循环	50
(13) G80: 取消固定循环	50
3.4 宏指令编程	52
3.4.1 宏变量及常量	52
(1) 宏变量	52
(2) 常量	54
3.4.2 运算符与表达式	54
(1) 算术运算符: +, -, *, /	54
(2) 条件运算符	54
(3) 逻辑运算符	54
(4) 函数	54
(5) 表达式	54
3.4.3 赋值语句	54
3.4.4 条件判别语句 IF, ELSE, ENDIF	55
3.4.5 循环语句 WHILE, ENDW	55
铣削编程实例一	57
铣削编程实例二	59
铣削编程实例三	61

第一章 概述

1.1 数控编程概述

1.1.1 定义零件程序

零件程序是由数控系统专用编程语言书写的一系列指令组成的（应用得最广泛的是 ISO 码：国际标准化组织规定的代码）。]

数控系统根据零件程序控制机床动作。最常使用的程序存储介质是穿孔纸带和磁盘。

1.1.2 准备零件程序

如图 1.1 所示，可以用传统的方法手工编制一个零件程序，也可以用一套 CAD/CAM 系统（如目前流行的 MasterCAM 系统）来创建一个零件程序。

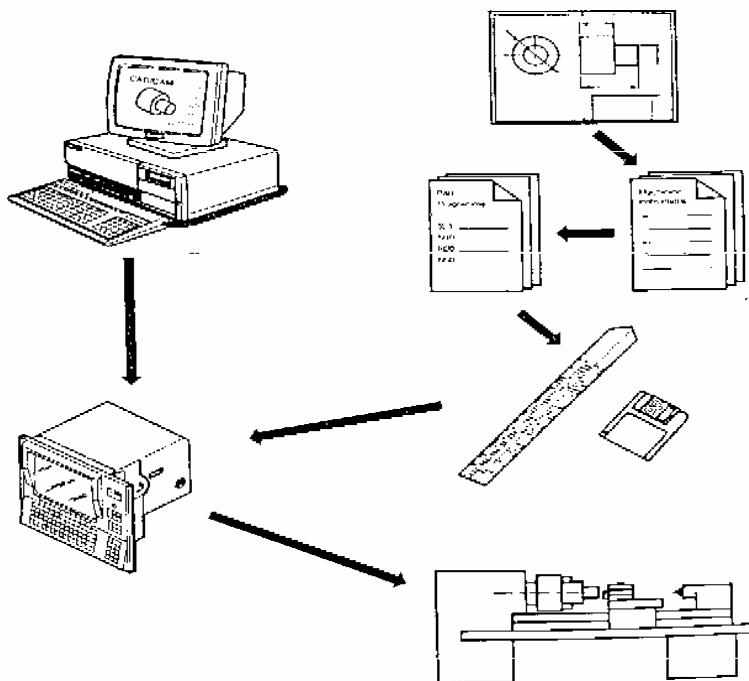


图 1.1 准备一个零件程序

1.2 数控机床概述

1.2.1 控制轴

a) 控制轴数

控制轴数	3 轴
同时控制轴数	3 轴
最大控制轴数	4 轴

设定单位

最小设定单位	最小移动单位	最大行程
0.001mm	0.001mm	99999.999mm
0.0001inch	0.0001inch	999.99999inch
0.001deg	0.001deg	99999.999deg

最大行程

$$\text{最大行程} = \text{最小移动单位} \times 99999999$$

1.2.2 机床坐标轴

为了简化编制程序的方法和保证记录数据的互换性。对数控机床的坐标和方向的命名国际上很早就制定有统一标准，我国于 1982 年制定了 JB3051—82 《数控机床坐标和运动方向的命名》标准。

在标准中统一规定采用右手直角笛卡儿坐标系对机床的坐标系进行命名。用 X , Y , Z 表示直线进给坐标轴， X , Y , Z 坐标轴的相互关系由右手法则决定，如图 1.2 所示。

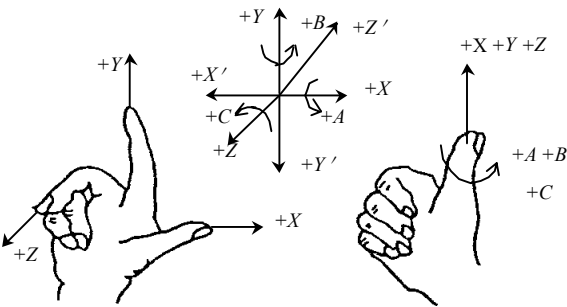


图 1.2 机床坐标轴

围绕 X , Y , Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A , B , C 表示，根据右手螺旋定则确定 $+A$, $+B$, $+C$ 的方向，如图 1.2 所示。

数控机床的进给运动，有的由主轴带动刀具运动来实现，有的由工作台带着工件运动来实现。通常在编程时，不论机床在加工中是刀具移动，还是被加工工件移动，都一律假定被加工工件相对静止不动，而刀具在移动，并规定刀具远离工件的方向作为坐标的正方向。

如果把刀具看作相对静止不动，工件移动，则在坐标轴的符号上加注“'”，如 X' 、 Y' 、 Z' 等。按相对运动的关系，工件运动的正方向恰好与刀具运动的正方向相反，即有：

$$+X = -X' , +Y = -Y' , +Z = -Z' ,$$

$$+A = -A' , +B = -B' , +C = -C'$$

同样两者运动的负方向也彼此相反。

机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局，对铣床而言：

Z 轴与主轴轴线重合，刀具远离工件的方向为正方向(+ Z)；

X 轴垂直于 Z 轴，并平行于工件的装卡面，如果为单立柱铣床，面对刀具主轴向立柱方向看，其右运动的方向为 X 轴的正方向(+ X)；

Y 轴可根据已选定的 X 轴和 Z 轴按右手法则来确定，如图 1.3 所示。

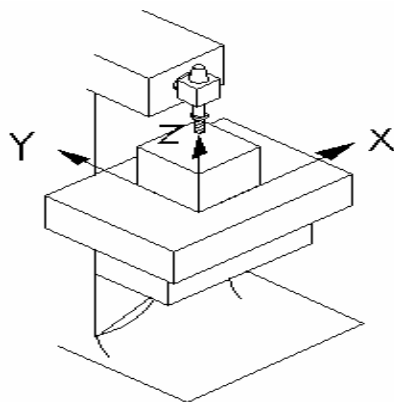


图 1.3 机床坐标名称

1.2.3 机床坐标系、机床零点和机床参考点

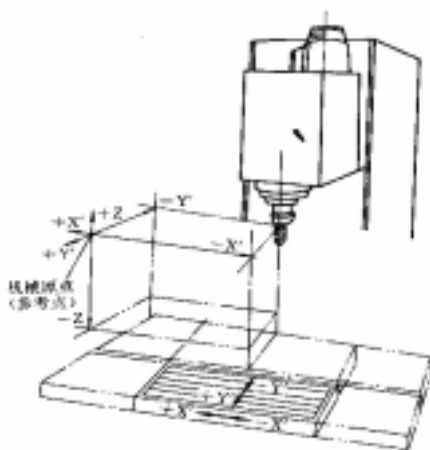


图 1.4 机床坐标系

机床坐标系是确定工件位置和机床运动的基本坐标系。

机床坐标系的原点也称为机械原点（机械零点）或机床原点（机床零点）。在机床经过设计、制造和调整 after，这个原点便被确定下来，它是固定的点。

通常在每个坐标轴的移动范围内设置一个机床参考点，它在接近正向极限位置的地方。如果设定机床参考点和机床零点相对位置为零，既机床参考点与机床零点重合。机床参考点与机床零点也可以不重合，通过参数指定机床参考点到机床零点的距离。

机床起动时，通常要进行手动返回参考点，机床回到了参考点位置，也就知道了该坐标轴的零点位置，找到所有坐标轴的参考点，CNC 就确定了机床坐标系。之后换刀时，可采用自动返回参考点的功能。

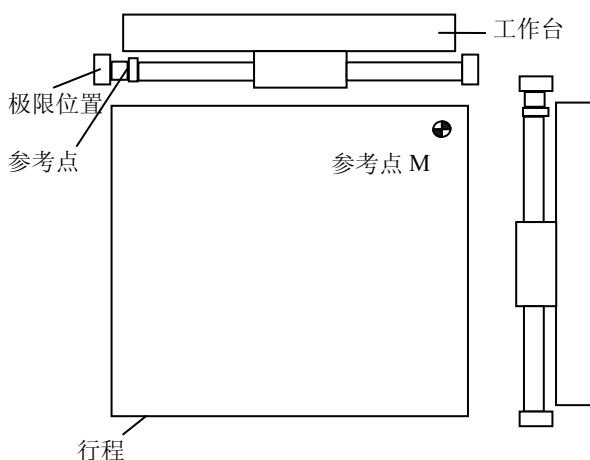


图 1.5 机床参考点 M

1.2.3 工件坐标系、程序原点和对刀点

编程时，是在工件坐标系中描述刀具按工件的几何形状运动的轨迹。

选择被加工零件图上的某一点为坐标原点，建立一个坐标系，这个坐标系称为工件坐标系(如图 1.2.4)，坐标原点称为程序原点。工件坐标系一旦建立便一直有效，直到被新的工件坐标系所取代。

工件坐标系的原点选择要尽量满足编程简单，尺寸换算少，引起的加工误差小等条件。

一般情况下，以坐标式尺寸标注的零件，程序原点应选在尺寸标注的基准点；对称零件或以同心圆为主的零件，程序原点应选在对称中心线或圆心上。Z 轴的程序原点通常选在工件的上表面。

在编程时要设定工件坐标系，设定方法有两种。

1. 用 G92 的方法：由程序指令，用 G92 后续数值设定工件坐标系；
2. 用 G54~G59 的方法：预先由 MDI 功能设定 6 个工件坐标系；根据程序指令 G54~G59，选择使用哪个工件坐标系。

零件加工前需进行对刀。对刀的目的是确定程序原点在机床坐标系中的位置。

使用 G92 指令，在加工前，要确定对刀点；对刀点是零件加工程序执行 G92 指令的起刀点，它与程序原点之间必须有固定的坐标关系，由 G92 指令后续坐标值确定。对刀点可与程序原点重合，也可在任何便于对刀之处。

使用 G54 指令，在加工前，要确定程序原点在机床坐标系中的坐标值，并预先设置在“坐标系”功能表中。

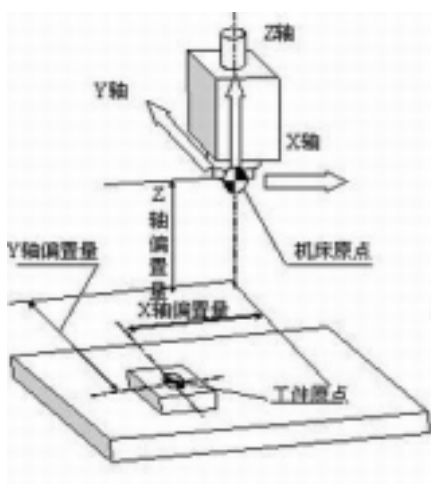


图 1.6 工件坐标系

第二章 零件程序的结构

2.1 程序的基本形式

一个零件程序是一组被传送到数控系统中去的指令和数据。

一个零件程序是由遵循一定结构、句法和格式规则的若干个程序段组成的，而每个程序段是由若干个指令字组成的。如图 2.1 所示。

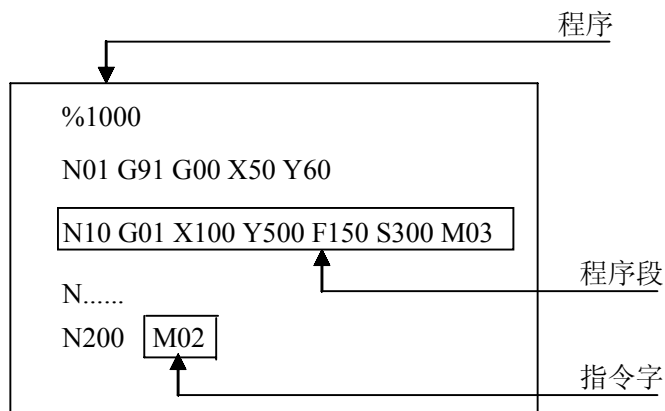


图 2.1 程序的结构

一个零件程序由以下各部分构成：

3. 起始符 (%I000)
4. 程序体 (N 个程序段)
5. 结束符 (M02)

华中世纪星数控系统 HNC-21/22M 的程序结构的说明：

1. 程序起始符：%(或 O)符并后续程序号。
 2. 程序结束符：M02 或 M30。
 3. 程序注释符：括号()内或分号；后的内容为注释文字。程序执行时将跳过这部分内容。
 4. 程序段结束：每个程序段的结束用“Enter”(回车键)
- 一个零件程序是按程序段的输入顺序执行的，而不是按程序段号的顺序执行的，但书写程序时，建议按升序书写程序段号。

2.2 指令字的格式

一个指令字是由地址符(指令字符)和带符号(如定义尺寸的字：X-100)或不带符号(如准备功能字 G 代码：G01)的数字数据组成的。

程序段中不同的指令字符及其后续数值确定了每个指令字的含义。在数控程

序段中包含的主要指令字符如表 2.1 所示。

表 2.1 指令字符一览表

机 能	地 址	意 义
零件程序号	%或 O	程序编号：%1~4294967295
程序段号	N	程序段编号：N0~4294967295
准备功能	G	指定动作方式(如：直线、圆弧等) G00-99
尺寸字	X, Y, Z	坐标轴的移动命令±99999.999
	R	圆弧的半径；固定循环的参数
	I, J, K	圆心相对于起点的坐标；固定循环的参数
进给速度	F	进给速度的指定 F0~24000
主轴功能	S	主轴旋转速度的指定 S0~9999
刀具功能	T	刀具编号的指定 T0~99
辅助功能	M	机床侧开/关控制的指定 M0~99
补偿号	H, D	刀具补偿号的指定 00~99
暂停	P, X	暂停时间的指定 秒
程序号的指定	P	子程序号的指定 P1~4294967295
重复次数	L	子程序的重复次数，固定循环的重复次数 L1~32767
参数	P, Q, R	固定循环的参数

2.3 程序段的格式

一个程序段定义一个将由数控系统执行的指令行。程序段的格式定义了每个程序段中功能字的句法，如图 2.2.1 所示。

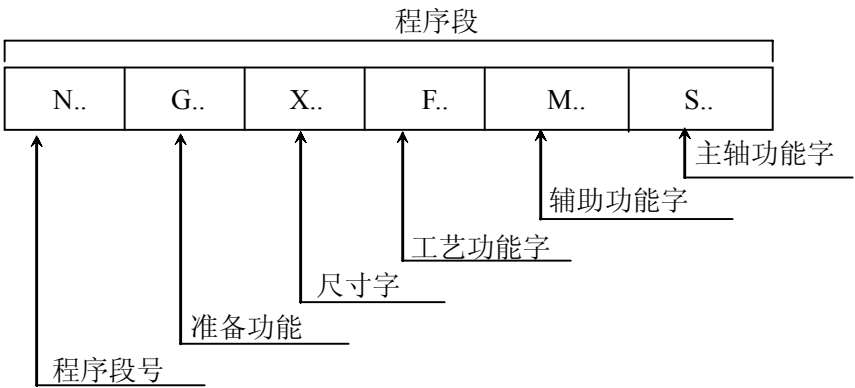


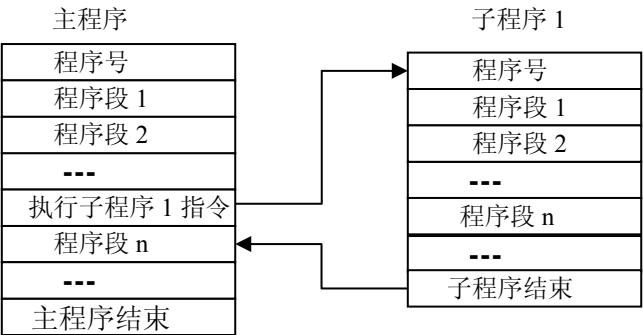
图 2.2 程序段格式

2.4 主程序和子程序的格式

当相同模式的加工在程序中多次出现时,可把这个模式编成一个程序,该程

序称为**子程序**，原来的程序称为**主程序**。

在主程序执行期间出现子程序执行指令时，就执行子程序；当子程序执行完毕，CNC控制返回主程序继续执行。



2.4.1 子程序的格式

```
%****
.....
M99
```

在子程序开头，必须规定子程序号，以作为调用入口地址。在子程序的结尾用 M99，以控制执行完该子程序后返回主程序。

例：%1000

```
G91 G01 X100 F200
Y10
X-100
Y10
M99
```

2.4.2 调用子程序的格式

```
M98 P_ L_
```

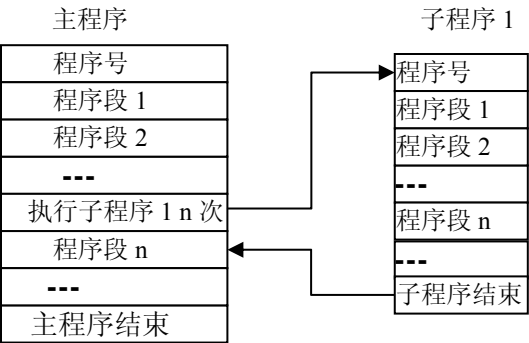
P: 被调用的子程序号。

L: 重复调用次数，当不指定重复数据时, 子程序只调用一次。

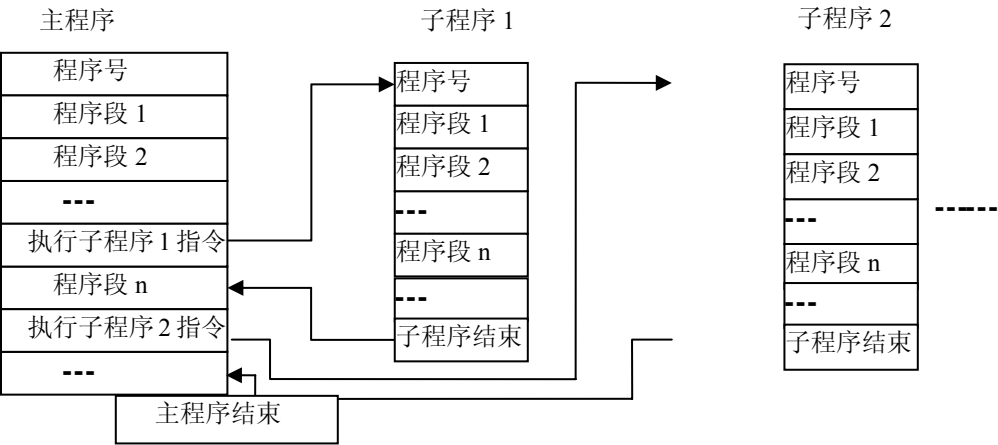
例：%0001

```
G92 X0 Y0 Z10
G00 X-10 Y-10
G01 Z-5 F200 M03
M98 P1000 L6
M05
M30
```

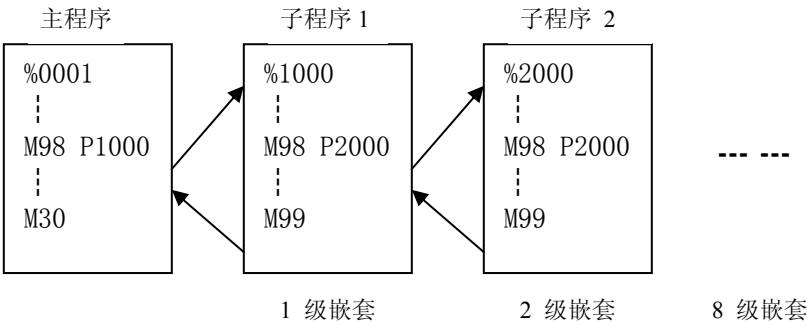
说明： 1. 调用指令可以重复地调用子程序, 最多**32767**次。



2. 主程序可以调用多个子程序, 最多**64**个。



3. 子程序可以由主程序调用, 被调用的子程序也可以调用另一个子程序。
当主程序调用子程序时它被认为是一级子程序, 子程序调用可以嵌套8级, 如下所示。



第三章 HNC-21M 的编程指令体系

3.1 辅助功能 M 代码

辅助功能由地址字 M 和其后的一或两位数字组成，主要用于控制零件程序的走向，以及机床各种辅助功能的开关动作。

M 功能有**非模态 M 功能**和**模态 M 功能**二种形式。

- 非模态 M 功能 (当段有效代码)：只在书写了该代码的程序段中有效；
- 模态 M 功能(续效代码)：一组可相互注销的 M 功能，这些功能在被同一组的另一个功能注销前一直有效。

模态 M 功能组中包含一个缺省功能（见表 3.1），系统上电时将被初始化为该功能。

另外，M 功能还可分为**前作用 M 功能**和**后作用 M 功能**二类。

- 前作用 M 功能：在程序段编制的轴运动之前执行；
- 后作用 M 功能：在程序段编制的轴运动之后执行。

HNC-21/22M 数控系统 M 指令功能如表 3.1 所示（标记 ►者为缺省值）：

表 3.1 M 代码及功能

代 码	特 性	功 能 说 明	代 码	特 性	功 能 说 明
M00	非模态、后作用	程序停止	M03	模态、前作用	主轴正转起动
M02	非模态、后作用	程序结束	M04	模态、前作用	主轴反转起动
M30	非模态、后作用	程序结束并返回程序起点	M05	模态、后作用	主轴停止转动
M98	非模态	调用子程序	M06	非模态、后作用	换刀
M99	非模态	子程序结束	M07	模态、前作用	切削液打开
			M09	模态、后作用	切削液停止

其中：

- M00、M02、M30、M98、M99 用于控制零件程序的走向，是 CNC 内定的辅助功能，不由机床制造商设计决定，也就是说，与 PLC 程序无关；
- 其余 M 代码用于机床各种辅助功能的开关动作，其功能不由 CNC 内定，而是由 PLC 程序指定，所以有可能因机床制造厂不同而有差异(表内为标准 PLC 指定的功能)，请使用者参考机床说明书。

说明：在一个程序段中仅能指定一个 M 代码

3.1.1 CNC 内定的辅助功能

(1) M00 （程序暂停）

在包含 M00 的程序段执行之后，自动运行暂停；当程序运行停止时，全部现存的模态信息保持不变。用“循环启动”CNC 继续运行后续程序。

此功能便于操作者进行刀具和工件的尺寸测量、工件调头、手动变速等操作。

(2) M02 （程序结束）

M02 编写在主程序的最后一个程序段中，表示主程序的结束。程序结束时，自动运行停止并且 CNC 装置复位。

用 M02 结束程序后，若要重新执行该程序，就得重新调用该程序，或在自动加工子菜单下，按 F4 键（请参考 HNC-21M 操作说明书），然后再按操作面板上的“循环启动”键。

(3) M30 （程序结束并返回到零件程序头）

M30 除具有 M02 功能外，还兼有控制返回到零件程序的开头(%)作用。

用 M30 的结束程序后，若要重新执行该程序，只需再次按操作面板上的“循环启动”键。

(4) M98 和 M99（子程序调用和从子程序返回）

M98 用来调用子程序。

M99 表示子程序结束，执行 M99 使 CNC 控制返回到主程序。

详细内容见 2.4.2

3.1.2 PLC 设定的辅助功能**(1) M03、M04、M05（主轴正转、反转、停止控制指令）**

M03 启动主轴以程序中编制的主轴速度顺时针方向（从 Z 轴正向朝 Z 轴负向看）旋转。

M04 启动主轴以程序中编制的主轴速度逆时针方向旋转。

M05 使主轴停止旋转。

(2) M06（换刀指令）

M06 用于在加工中心，调用一个欲安装在主轴上的刀具。

刀具将被自动地安装在主轴上。

(3) M07、M09（冷却液打开、停止指令）

M07 指令将打开冷却液管道。

M09 指令将关闭冷却液管道。

3.2 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T

3.2.1 主轴功能 S

主轴功能 S 控制主轴转速，其后的数值表示主轴速度，单位为转/每分钟(r/min)。

S 是模态指令，S 功能只有在主轴速度可调节时有效。

3.2.2 进给速度 F

F 指令表示工件被加工时刀具相对于工件的合成进给速度，F 的单位取决于 G94(每分钟进给量 mm/min)或 G95(每转进给量 mm/r)。

当工作在 G01, G02 或 G03 方式下，编程的 F 一直有效，直到被新的 F 值所取代，而工作在 G00、G60 方式下，快速定位的速度是各轴的最高速度，由 CNC 参数设定，与所编 F 无关。

借助操作面板上的倍率按键，F 可在一定范围内进行倍率修调。当执行攻丝循环 G84，螺纹切削 G33 时，倍率开关失效，进给倍率固定在 100%。

3.2.3 刀具功能(T 机能)

T 代码用于选刀，其后续两位数字，数值表示选择的刀具号，T 代码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，刀库转动选择所需的刀具，然后等待，直到 M06 指令作用时自动完成换刀。

T 指令为非模态指令。

3.3 准备功能 G 代码

准备功能 G 指令由 G 后续一或二位数值组成，它用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作。

HNC-21/22M 数控系统 G 功能指令见表 1。

表 3.2 准备功能一览表

G 代码	组	功能	后续参数（地址字）	索引
▶ G00	01	快速定位	X, Y, Z, 4TH[注 1]	3.3.3 节
G01		直线插补	同上	
G02		顺圆插补	X, Y, Z, I, J, K, R	
G03		逆圆插补	同上	
G04	00	暂停	P	3.3.6 节
G07	16	虚轴指定	X, Y, Z, 4TH	3.3.3 节
G09	00	准停校验		3.3.6 节

▶ G17 G18 G19	02	XY 平面选择 ZX 平面选择 YZ 平面选择	X, Y X, Z Y, Z	3.3.2 节
▶ G20 G21 G22	08	英寸输入 毫米输入 脉冲当量		3.3.1 节
▶ G24 G25	03	镜像开 镜像关	X, Y, Z, 4TH	3.3.7 节
G28 G29	00	返回到参考点 由参考点返回	X, Y, Z, 4TH 同上	3.3.4 节
▶ G40 G41 G42	09	刀具半径补偿取消 左刀补 右刀补	D D	3.3.5 节
G43 G44 ▶ G49	10	刀具长度正向补偿 刀具长度负向补偿 刀具长度补偿取消	H H	3.3.5 节
▶ G50 G51	04	缩放关 缩放开	X, Y, Z, P	3.3.7 节
G52 G53	00	局部坐标系设定 直接机床坐标系编程	X, Y, Z, 4TH	3.3.2 节
▶ G54 G55 G56 G57 G58 G59	11	工件坐标系 1 选择 工件坐标系 2 选择 工件坐标系 3 选择 工件坐标系 4 选择 工件坐标系 5 选择 工件坐标系 6 选择		3.3.2 节
G60	00	单方向定位	X, Y, Z, 4TH	3.3.3 节
▶ G61 G64	12	精确停止校验方式 连续方式		3.3.6 节
▶ G68 G69	05	旋转变换 旋转取消	X, Y, Z, P	3.3.7 节
▶ G73 G74 G76 G80 G81 G82 G83 G84 G85 G86	06	深孔钻削循环 逆攻丝循环 精镗循环 固定循环取消 定心钻循环 钻孔循环 深孔钻循环 攻丝循环 镗孔循环 镗孔循环	X, Y, Z, P, Q, R, I, J, K 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上	3.3.8 节

G87		反镗循环	同上	
G88		镗孔循环	同上	
G89		镗孔循环	同上	
▶ G90	13	绝对值编程		3.3.2 节
G91		增量值编程		
G92	00	工件坐标系设定	X, Y, Z, 4TH	3.3.2 节
▶ G94	14	每分钟进给		3.3.1 节
G95		每转进给		
▶ G98	15	固定循环返回起始点		3.3.8 节
G99		固定循环返回到 R 点		

注：1. 4 TH 指的是 X、Y、Z 之外的第 4 轴，可用 A、B、C 等命名。

2. 00 组中的 G 代码是非模态的，其他组的 G 代码是模态的。

3. ▶ 标记者为缺省值。

G 功能有**非模态 G 功能**和**模态 G 功能**之分。

1. 非模态 G 功能：只在所规定的程序段中有效，程序段结束时被注销；

例： N10 G04 P10.0 (延时 10s)

N11 G91 G00 X-10.0 F200 (X 负向移动 10mm)

N10 程序段中 G04 是非模态 G 代码，不影响 N11 程序段的移动。

2. 模态 G 功能：一组可相互注销的 G 功能，这些功能一旦被执行，则一直有效，直到被同一组的 G 功能注销为止。

例： N15 G91 G01 X-10.0 F200

N16 Y10.0 (G91, G01 仍然有效)

N17 G03 X20 Y20 R20 (G03 有效, G01 无效)

说明：



1. 模态 G 功能组中包含一个缺省 G 功能（表 3.3.1 中有标记者），上电时将被初始化为该功能。

例： N01 G54 X50 Y50

程序段中省略了 G00、G17、G21、G25、G40、G49、G50、G61、G69、G80、G90、G94

2. 没有共同参数的不同组的 G 代码可以放在同一程序段中，而且与顺序无关。

例： N02 G91 G00 G17 G40 X50 Y50

G24、G68、G51 等不能与 G01 放在同一程序段。

3.3.1 有关单位的设定

(1) 尺寸单位选择 G20, G21, G22

格式: G20
 G21
 G22

说明:

G20: 英制输入制式;

G21: 公制输入制式;

G22: 脉冲当量输入制式。

3 种制式下线性轴、旋转轴的尺寸单位如表 3.3 所示。

表 3.3 尺寸输入制式及其单位

	线性轴	旋转轴
英制(G20)	英寸	度
公制(G21)	毫米	度
脉冲当量(G22)	移动轴脉冲当量	旋转轴脉冲当量

在尺寸单位制式转换之后改变下面值的单位制:

1. 由F代码指令的进给速度
2. 位置指令
3. 工件零点偏移值
4. 刀具补偿值
5. 手摇脉冲发生器的刻度单位
6. 在增量进给中的移动距离
7. 某些参数

说明:

1. 这 3 个 G 代码必须在程序执行运动指令前设定指令。
2. G20, G21, G22 不能在程序执行的中途切换。

(2) 进给速度单位的设定 G94、G95

格式: G94 [F_];
 G95 [F_];

说明:

G94: 每分钟进给;

G95: 每转进给。

G94 为每分钟进给, F 之后的数值直接指定刀具每分钟的进给量。对于线性轴, F 的单位依 G20/G21/G22 的设定而为 mm/min, in/min 或脉冲当量/min; 对于旋转轴, F 的单位为度/min 或脉冲当量/min。

G95 为每转进给, 即主轴转一周时刀具的进给量。F 的单位依 G20/G21/G22 的设定而为 mm/r, in/r 或脉冲当量/r。这个功能只在主轴装有编码器时才能使用。

用机床操作面板上的开关可以对进给速度应用倍率调节, 倍率值为 5%到 140%, 间隔 10%。更详细的情况见机床制造厂的相关说明书。

注意: 对某些指令不能使用倍率, 例如螺纹切削。

3.3.2 有关坐标系和坐标的指令

(1) 绝对值编程 G90 与增量值编程 G91

格式: G90

G91

说明:

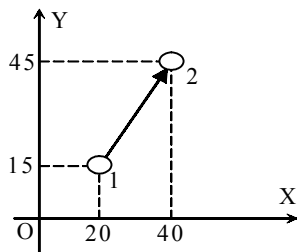
G90: 绝对值编程, 每个编程坐标轴上的编程值是相对于程序原点的。

G91: 增量值编程, 每个编程坐标轴上的编程值是相对于前一位置而言的, 该值等于沿轴移动的距离。

G90、G91 为模态功能, 可相互注销, G90 为缺省值。

G90、G91 可用于同一程序段中, 但要注意其顺序所造成的差异。

例. 如图 3.1 所示, 使用 G90、G91 编程: 控制刀具由 1 点移动到 2 点。



绝对值编程: G90 X40 Y50

增量值编程: G91 X20 Y30

图 3.1 G90/G91 编程

选择合适的编程方式可使编程简化。

当图纸尺寸由一个固定基准给定时, 采用绝对方式编程较为方便。

当图纸尺寸是以轮廓顶点之间的间距给出时, 则采用增量方式编程较为方便。

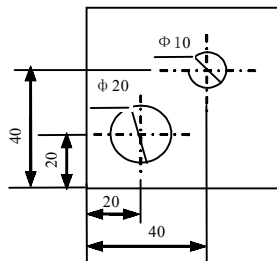


图 3.2 绝对值编程

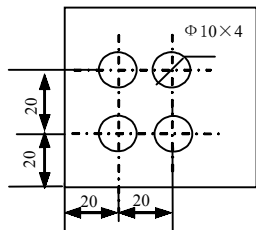


图 3.3 增量值编程

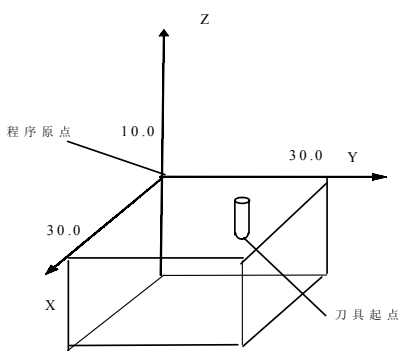
(2) 工件坐标系设定 G92

格式: G92 X_Y_Z_

说明: X、Y、Z: 设定的工件坐标系原点到刀具起点的有向距离。

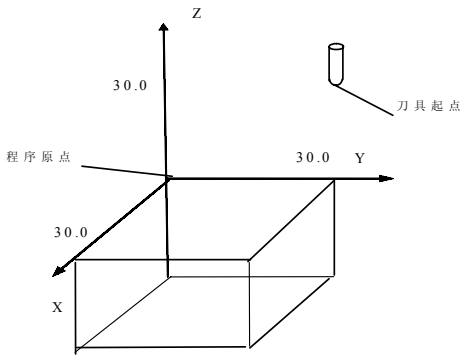
G92 指令通过设定刀具起点（对刀点）与坐标系原点的相对位置建立工件坐标系。工件坐标系一旦建立，绝对值编程时的指令值就是在此坐标系中的坐标值。

例. 使用 G92 编程，建立如图 3.4 和 3.5 所示的工件坐标系。



G 92 X30.0 Y30.0 Z10.0

图 3.4 工件坐标系的建立



G 92 X0.0 Y30.0 Z30.0

图 3.5 工件坐标系的建立

执行此程序段只建立工件坐标系，刀具并不产生运动。刀尖与程序起刀点重合。G92 指令为非模态指令，一般放在一个零件程序的第一段。

例:

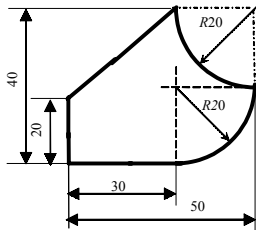


图 3.6 零件图

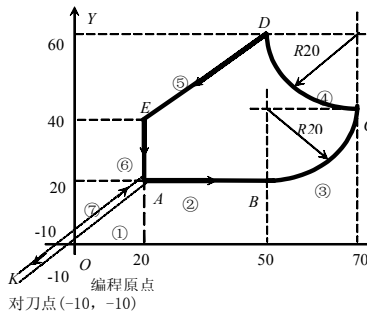


图 3.7 G92 编程轨迹

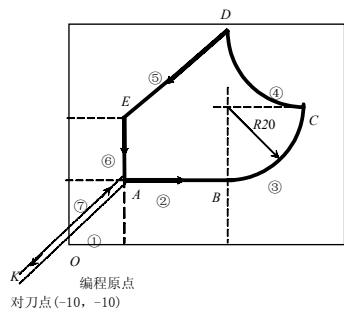


图 3.8 加工零件图

(3) 工件坐标系选择 G54~G59

格式： $\left. \begin{matrix} G54 \\ G55 \\ G56 \\ G57 \\ G58 \\ G59 \end{matrix} \right\}$

说明：G54~G59 可预定 6 个工件坐标系(如图 3.9)，根据需要任意选用。

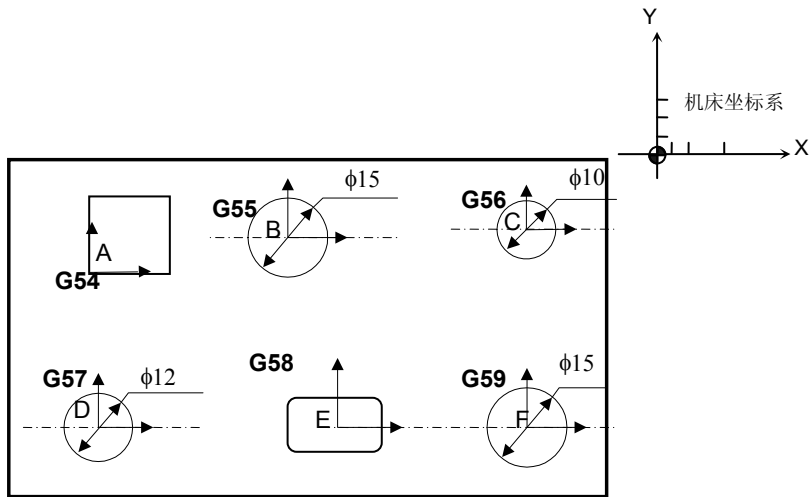


图 3.9 选择工件坐标系

这 6 个预定工件坐标系的原点在机床坐标系中的值(工件零点偏置值，如图 3.10 所示)用 MDI 方式预先输入在“坐标系”功能表中，系统自动记忆。当程序中执行 G54~G59 中某一个指令，后续程序段中绝对值编程时的指令值均为相对此工件坐标系原点的值。

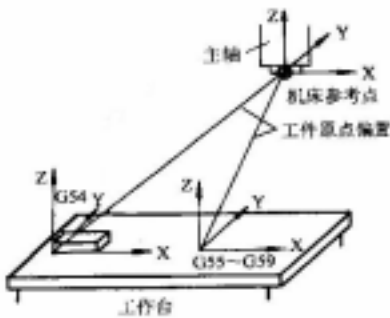


图 3.10 工件坐标系选择

例. 如图 3.11 所示，用 G54 和 G59 选择工件坐标系指令编程：要求刀具从当前点（任一点）移动到 A 点，再从 A 点移动到 B 点。

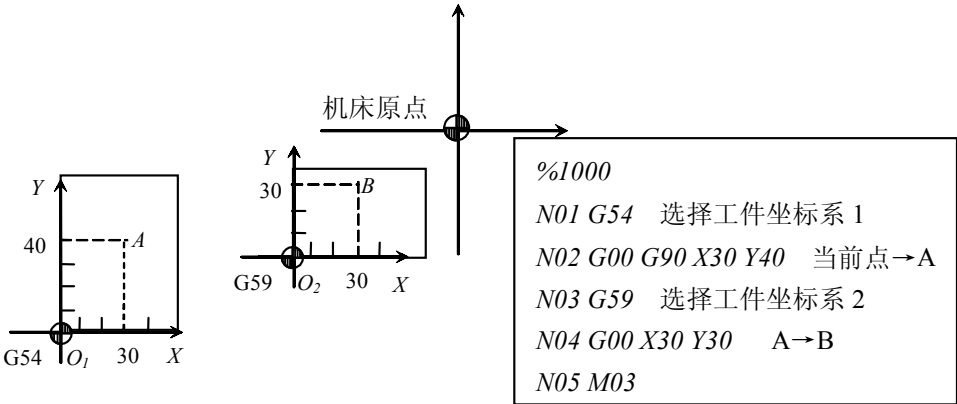


图 3.11 用 G54 和 G59 编程

注意：

使用该组指令前，先用 MDI 方式输入各坐标系的坐标原点在机床坐标系中的坐标值。

如上例中：

G54 X: X_{O1} Y: Y_{O1} Z: Z_{O1}	G59 X: X_{O2} Y: Y_{O2} Z: Z_{O2}
---	---

(4) 直接机床坐标系编程 G53

格式: G53

说明: G53 是设定坐标轴移动值为机床坐标系中的坐标值; 在含有 G53 的程序段中, 绝对值编程时的指令值是在机床坐标系中的坐标值。G53 指令为非模态指令。

例:

```
%1001
```

```
N01 G54                选择点 (-200, -170, -250) 为程序原点
```

```
N02 G90 G00 X50 Y20    刀具到达工件坐标系中点 (50, 20)
```

```
N03 G01 Z-5 F200
```

```
N04 Z20
```

```
N05 G00 X0 Y0
```

```
N06 G53 X-20 Y-20      刀具到达机床坐标系中点 (-20, -20)
```

```
N07 M30
```

(5) 坐标平面选择 G17, G18, G19

格式: G17

G18

G19

说明: G17: 选择 XY 平面; G18: 选择 ZX 平面; G19: 选择 YZ 平面。

执行圆弧插补和建立刀具半径补偿功能时, 必须用该组指令选择所在平面。

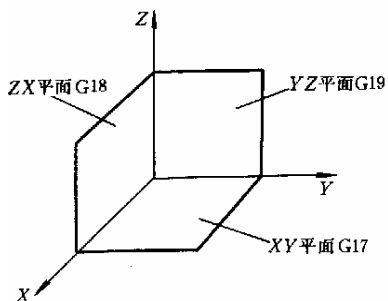


图 3.12 平面设定

注意: 移动指令与平面选择无关。

例: %1002

```
N01 G54                选择点 (-200, -170, -250) 为程序原点
```

```
N02 G17 G01 X0 Y0 Z10 F200  Z 轴到达工件坐标系中点 (0, 0, 10)
```

```
N07 M30
```

例：加工图 3.14 所示零件，当铣削圆弧面 1 时，应在 XY 平面内进行圆弧插补，选用 G17；当铣削圆弧面 2 时，应在 YZ 平面内进行圆弧插补，选用 G19。由于数控铣床大都在 XY 平面内进行圆弧插补，故 G17 可以省略。

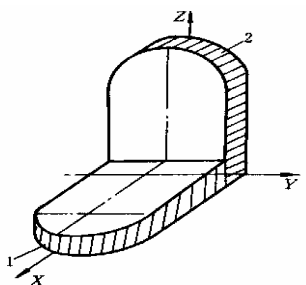


图 3.13 平面设定

3.3.3 进给控制指令

(1) 快速定位 G00

格式：G00 X_Y_Z_

说明：X、Y、Z：定位终点坐标。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位移量。不运动的轴可以不写。

G00 指定刀具相对于工件以各轴预先设定的速度，从当前位置快速移动到程序段指令的定位目标点。

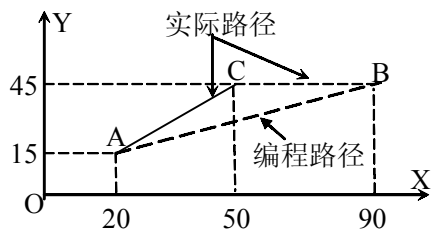
G00 指令中的快移速度由机床参数“快移进给速度”对各轴分别设定，不能用 F__规定。

G00 一般用于加工前快速定位或加工后快速退刀。

快移速度可由面板上的快速修调旋钮修正。

注意：在执行 G00 指令时，由于各轴以各自速度移动，不能保证各轴同时到达终点，因而联动直线轴的合成轨迹不一定是直线。操作者必须格外小心，以免刀具与工件发生碰撞。常见的做法是，将 Z 轴移动到安全高度，再执行 G00 指令。

例。如图 3.14 所示，使用 G00 编程：要求刀具从 A 点快速定位到 B 点。



从 A 到 B 快速定位

绝对值编程：

G90 G00 X90 Y45

增量值编程：

G91 G00 X70 Y30

图 3.14 G00 编程

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→B。

(2) 单方向定位 G60

格式: G60 X_Y_Z_

说明: X、Y、Z: 单向定位终点, 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位移量。

G60 单方向定位过程: 各轴先以 G00 速度快速运动到一定位中间点, 然后以一固定速度移动到定位终点, 如图 3.15。

各轴的定位方向(从中间点到定位终点的方向)以及中间点与定位终点的距离(过冲量)由系统参数“单向定位偏移值”设定。

当过冲量值 <0 时, 定位方向为负, 如图 3.15 中起始点 1 或起始点 2 运动到终点。

当过冲量值 >0 时, 定位方向为正, 如图 3.16 所示。

G60 指令仅在其被规定的程序段中有效。

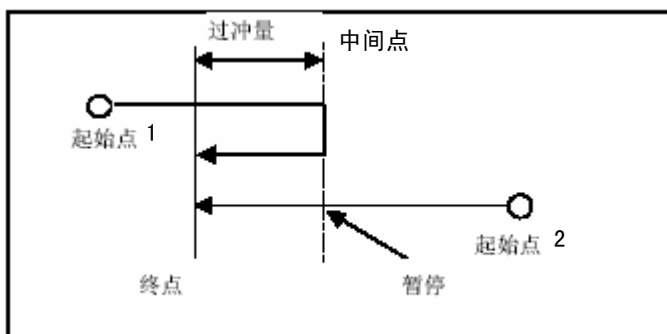


图 3.15 G60 执行过程及负方向定位

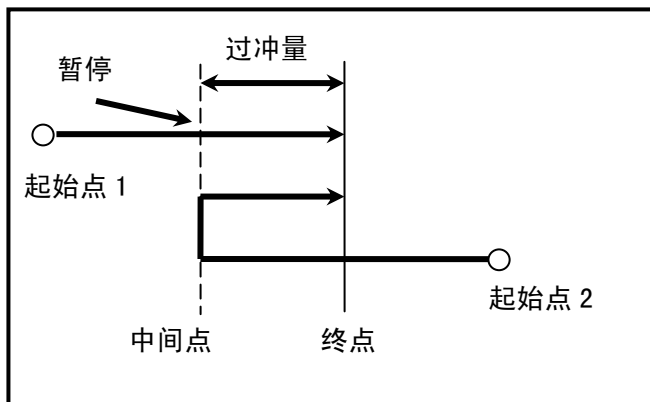


图 3.16 G60 执行过程及正方向定位

(3) 线性进给 G01

格式: G01 X_Y_Z_F_;

说明: X、Y、Z: 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位移量;

F: 合成进给速度。

G01 指令刀具以联动的方式, 按 F 规定的合成进给速度, 从当前位置按线性路线(联动直线轴的合成轨迹为直线)移动到程序段指令的终点。

例. 如图 3.17 所示, 使用 G01 编程: 要求从 A 点线性进给到 B 点(此时的进给路线是从 A→B 的直线)。

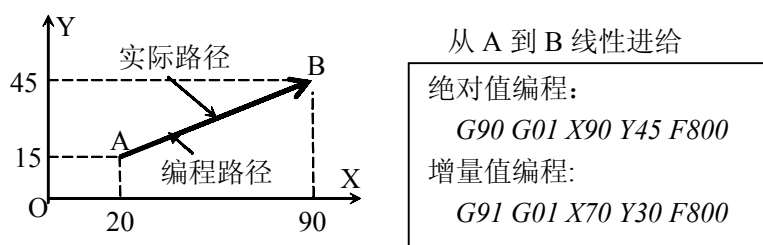


图 3.17 G01 编程

(4) 圆弧进给 G02/G03

格式: G17 $\begin{Bmatrix} G02 \\ G03 \end{Bmatrix} X_Y_ \begin{Bmatrix} I_J_ \\ R_ \end{Bmatrix} F_$

G18 $\begin{Bmatrix} G02 \\ G03 \end{Bmatrix} X_Z_ \begin{Bmatrix} I_K_ \\ R_ \end{Bmatrix} F_$

G19 $\begin{Bmatrix} G02 \\ G03 \end{Bmatrix} Y_Z_ \begin{Bmatrix} J_K_ \\ R_ \end{Bmatrix} F_$

说明:

G02: 顺时针圆弧插补(如图 3.18 所示);

G03: 逆时针圆弧插补(如图 3.18 所示);

X, Y, Z: 圆弧终点, 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位移量;

I, J, K: 圆心相对于圆弧起点的偏移值(等于圆心的坐标减去圆弧起点的坐标, 如图 3.19 所示), 在 G90/G91 时都是以增量方式指定;

R: 圆弧半径, 当圆弧圆心角小于 180° 时, R 为正值, 否则 R 为负值

F : 被编程的两个轴的合成进给速度。

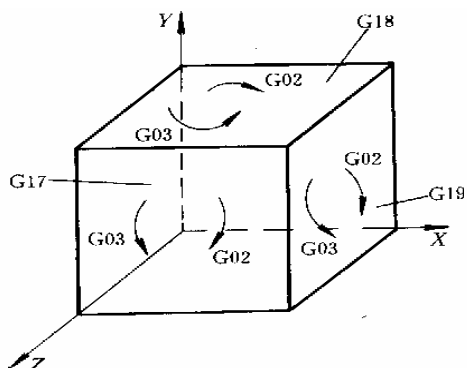


图 3.18 不同平面的 G02 与 G03 选择

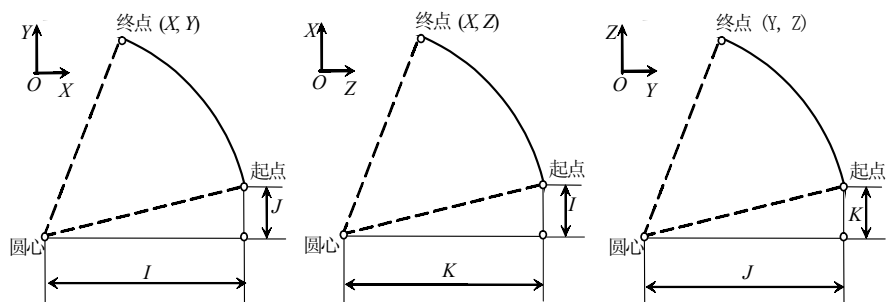


图 3.19 I、J、K 的选择

例 使用 G02 对图 3.20 所示劣弧 a 和优弧 b 编程。

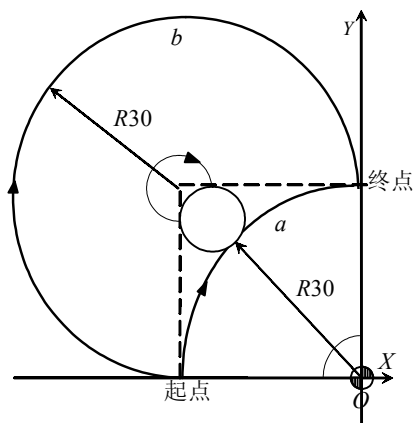


图 3.20 圆弧编程

圆弧编程的 4 种方法组合

(i) 圆弧 a

```
G91 G02 X30 Y30 R30 F300
G91 G02 X30 Y30 I30 J0 F300
G90 G02 X0 Y30 R30 F300
G90 G02 X0 Y30 I30 J0 F300
```

(ii) 圆弧 b

```
G91 G02 X30 Y30 R-30 F300
G91 G02 X30 Y30 I0 J30 F300
G90 G02 X0 Y30 R-30 F300
G90 G02 X0 Y30 I0 J30 F300
```

例 使用 G02/G03 对图 3.21 所示的整圆编程。

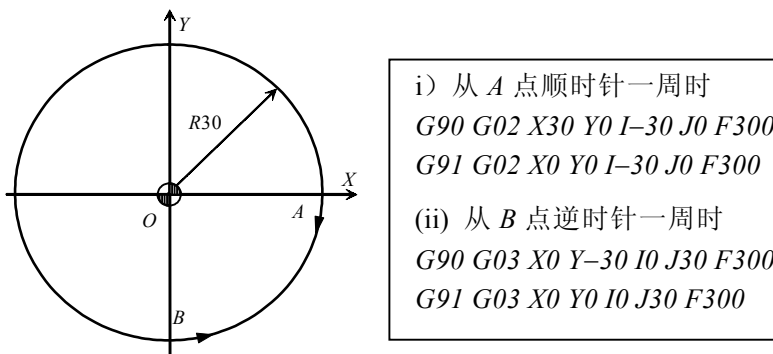


图 3.21 整圆编程

注意：

- (1) 顺时针或逆时针是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；
- (2) 整圆编程时不可以使用 R ，只能用 I 、 J 、 K ；
- (3) 同时编入 R 与 I 、 J 、 K 时， R 有效。

(5) 螺旋线进给 G02/G03

格式：

$$G17 \left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_Y_ \left\{ \begin{matrix} I_J_ \\ R_ \end{matrix} \right\} Z_F_$$

$$G18 \left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} X_Z_ \left\{ \begin{matrix} I_K_ \\ R_ \end{matrix} \right\} Y_F_$$

$$G19 \left\{ \begin{matrix} G02 \\ G03 \end{matrix} \right\} Y_Z_ \left\{ \begin{matrix} J_K_ \\ R_ \end{matrix} \right\} X_F_$$

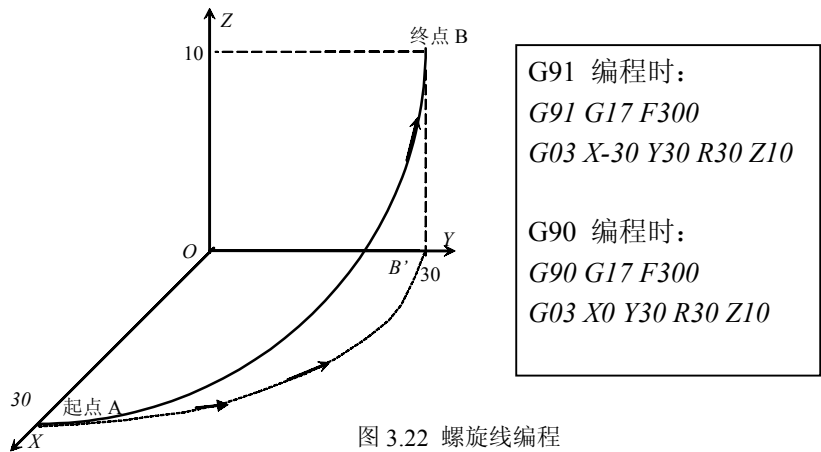
说明：

X 、 Y 、 Z 中由 G17/G18/G19 平面选定的两个坐标为螺旋线投影圆弧的终点，意义同圆弧进给，第 3 坐标是与选定平面相垂直的轴终点；其余参数的意义同圆弧进给。

该指令对另一个不在圆弧平面上的坐标轴施加移动指令，对于任何小于 360° 的圆弧，可附加任一数值的单轴指令。

例 使用 G03 对图 3.22 所示的螺旋线编程。AB 为一螺旋线，起点 A 的坐标为 (30, 0, 0)，终点 B 的坐标为 (0, 30, 10)；圆弧插补平面为 XY 面，圆弧 AB' 是 AB 在 XY 平面上的投影，B' 的坐标值是 (0, 30, 0)，从 A 点到 B' 是逆时针方向。在加工 AB 螺旋线前，要把刀具移到螺旋线起点 A 处，则加工程

序编写如下：



(6) 虚轴指定 G07 及正弦线插补

格式：G07 X_Y_Z_

说明：

X、Y、Z：被指令轴后跟数字 0，则该轴为虚轴，后跟数字 1，则该轴为实轴。

G07 为虚轴指定和取消指令。G07 为模态指令。

若一轴设为虚轴，则此轴只参加计算，不运动。虚轴仅对自动操作有效，对手动操作无效。

在螺旋线插补指令功能前，用 G07 将参加圆弧插补的某一轴指定为虚轴，则螺旋线插补变为正弦线插补。

例 9：使用 G03、G07 对图 3.23 所示的关于 Y-Z 平面上的正弦线编程。正弦线在 XY 平面上的投影如图 3.24 所示。

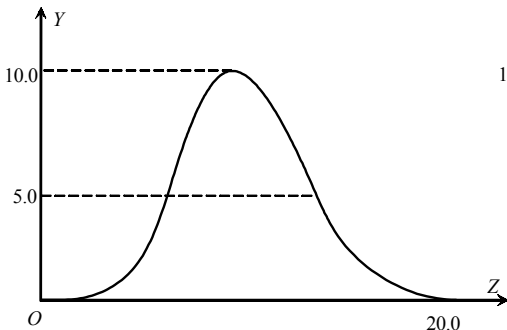


图 3.23 正弦线插补编程

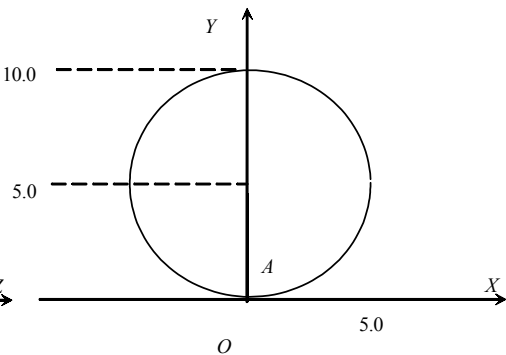


图 3.24 正弦线在 XY 平面的投影

程序如下：

```

N01 G92 X0 Y0 Z50  设定工件上表面 Z30，起刀点距上表面 20mm。
N02  G01 Z0 F200 M03
N03  G07 X0          设定 X 轴为虚轴。
N04  G03 X0 Y.0 I0 J5.0 Z20.0 F100  正弦线插补功能。
N05  G07 X1          设定 X 轴为实轴。
N06  G01 Z50
N07  M30

```

3.3.4 回参考点控制指令

(1) 自动返回参考点 G28

格式：G28 X_Y_Z_

说明：

X、Y、Z：回参考点时经过的中间点（不是机床参考点），在 G90 时为中间点在工件坐标系中的坐标；在 G91 时为中间点相对于起点的位移量。

G28 指令先使所有的编程轴都快速定位到中间点，然后再从中间点到达参考点，如图 3.25。

一般，G28 指令用于刀具自动更换或者消除机械误差，在执行该指令之前应取消刀具半径补偿和刀具长度补偿。

在 G28 的程序段中不仅产生坐标轴移动指令，而且记忆了中间点坐标值，以供 G29 使用。

系统电源接通后，在没有手动返回参考点的状态下，执行 G28 指令时，刀具从当前点经中间点自动返回参考点，与手动返回参考点的结果相同。这时从中间点到参考点的方向就是机床参数“回参考点方向”设定的方向。

G28 指令仅在其被规定的程序段中有效。

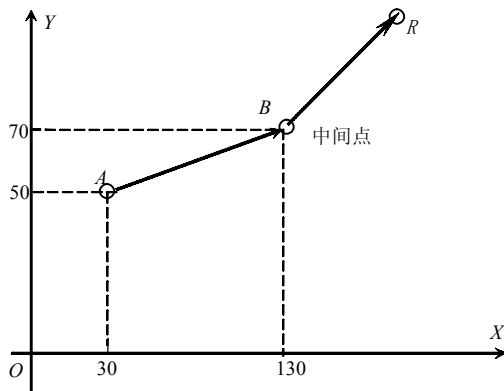


图 3.25 G28 编程

例：图 3.25 从 A 经过 B 回参考点 R 轨迹编程如下：

```
%1101
```

```
G92 X30 Y50 Z20    以 A (30,50,20) 为起刀点建立工件坐标系。
```

```
G91 G28 X100 Y20 Z0    从 A 点按增量移动到 B，最后到达 R。
```

```
M02
```

本例表明，程序员不必计算从中间点到参考点的实际距离。

(2) 自动从参考点返回 G29

格式：G29 X_Y_Z_

]说明：

X、Y、Z：返回的定位终点，在 G90 时为定位终点在工件坐标系中的坐标；在 G91 时为定位终点相对于 G28 中间点的位移量。

G29 可使所有编程轴以快速进给经过由 G28 指令定义的中间点，然后再到达指定点。通常该指令紧跟在 G28 指令之后。

G29 指令仅在其被规定的程序段中有效。

例：用 G28、G29 对图 3.26 所示的路径编程：要求由 A 经过中间点 B 并返回参考点，然后从参考点经由中间点 B 返回到 C 点。

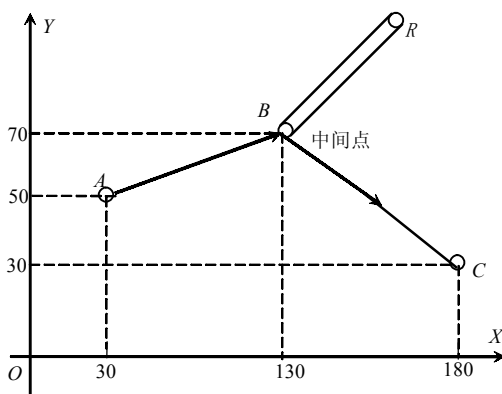


图 3.26 G28/G29 编程

图 3.26 轨迹编程如下：

```
%1102
```

```
G92 X30 Y50 Z20    以 A (30,50,20) 为起刀点建立工件坐标系。
```

```
G91 G28 X100 Y20 Z0    从 A 点按增量移动到 B，最后到达 R。
```

```
G29 X50 Y-40        从参考点经过 B，到达 C
```

```
M02
```

3.3.5 刀具补偿功能指令

(1) 刀具半径补偿 G40, G41, G42

格式: $\begin{Bmatrix} G17 \\ G18 \\ G19 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G40 \\ G41 \\ G42 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G00 \\ G01 \end{Bmatrix} X_Y_Z_D_$

说明:

G40: 取消刀具半径补偿;

G41: 左刀补(在刀具前进方向左侧补偿), 如图 3.27(a);

G42: 右刀补(在刀具前进方向右侧补偿), 如图 3.27(b);

G17: 刀具半径补偿平面为 XY 平面;

G18: 刀具半径补偿平面为 ZX 平面;

G19: 刀具半径补偿平面为 YZ 平面;

X, Y, Z: G00/G01 的参数, 即刀补建立或取消的终点(注: 投影到补偿平面上的刀具轨迹受到补偿);

D: G41/G42 的参数, 即刀补号码(D00~D99), 它代表了刀补表中对应的半径补偿值。

G40、G41、G42 都是模态代码, 可相互注销。

注意:

- (1) 刀具半径补偿平面的切换必须在补偿取消方式下进行;
- (2) 刀具半径补偿的建立与取消只能用 G00 或 G01 指令, 不得是 G02 或 G03。

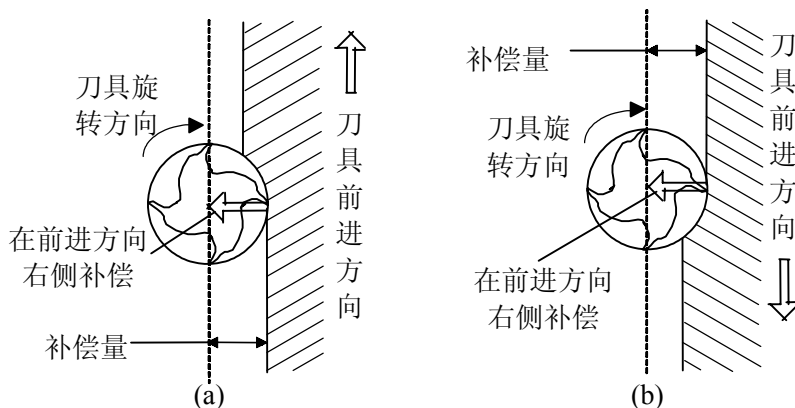


图 3.27 刀具补偿方向

(a)左刀补 (b)右刀补

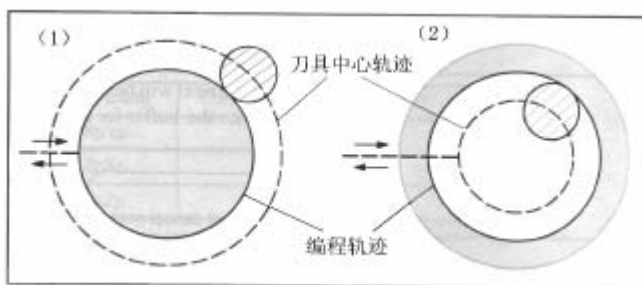
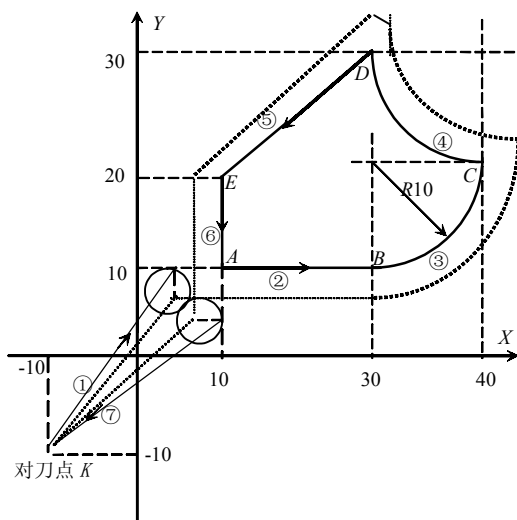


图 3.28 刀具中心轨迹

在加工如图 3.28 所示零件的外轮廓或内腔，编程时，按编程轨迹坐标编写程序，并设定刀具半径补偿方向和补偿值。加工时，刀具按刀具中心轨迹运动。

例：考虑刀具半径补偿，编制图 3.29 所示零件的加工程序：要求建立如图所示的工件坐标系，按箭头所指示的路径进行加工，设加工开始时刀具距离工件上表面 50mm，切削深度为 10mm。



零件程序如下：

```
%1008
G92 X-10 Y-10 Z50
G90 G17
G42 G00 X4 Y10 D01
Z2 M03 S900
G01 Z-10 F800
X30
G03 X40 Y20 I0 J10
G02 X30 Y30 I0 J10
G01 X10 Y20
Y5
G00 Z50 M05
G40 X-10 Y-10 M02
```

图 3.29 刀具半径补偿编程

注意：

- (1) 加工前应先用手动方式对刀，将刀具移动到相对于编程原点 $(-10, -10, 50)$ 的对刀点处；在系统“刀具表”中设定 01 号刀的半径值。
- (2) 图中带箭头的实线为编程轮廓，不带箭头的虚线为刀具中心的实际路线。

(2) 刀具长度补偿 G43, G44, G49

格式: $\begin{Bmatrix} G17 \\ G18 \\ G19 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G43 \\ G44 \\ G49 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G00 \\ G01 \end{Bmatrix} X_Y_Z_H_$

说明:

G17: 刀具长度补偿轴为 Z 轴;

G18: 刀具长度补偿轴为 Y 轴;

G19: 刀具长度补偿轴为 X 轴;

G49: 取消刀具长度补偿;

G43: 正向偏置(补偿轴终点加上偏置值);

G44: 负向偏置(补偿轴终点减去偏置值);

X, Y, Z: G00/G01 的参数, 即刀补建立或取消的终点;

H: G43/G44 的参数, 即刀具长度补偿偏置号(H00~H99), 它代表了刀具表中对应的长度补偿值。长度补偿值是编程时的刀具长度和实际使用的刀具长度之差。

G43、G44、G49 都是模态代码, 可相互注销。

用 G43(正向偏置), G44(负向偏置)指令设定偏置的方向。如右图 3.30 所示。

由输入的相应地址号H代码从刀具表(偏置存储器)中选择刀具长度偏置值。该功能补偿编程刀具长度和实际使用的刀具长度之差而不用修改程序。偏置号可用H00~H99来指定, 偏置值与偏置号对应, 可通过MDI功能先设置在偏置存储器中。

无论是绝对指令还是增量指令, 由 H 代码指定的已存入偏置存储器中的偏置值在 G43 时加, 在 G44 时则是从长度补偿轴运动指令的终点坐标值中减去, 计算后的坐标值成为终点。

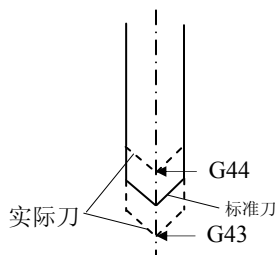


图 3.30 G43/G44 的选择

例: 考虑刀具长度补偿, 编制如图 3.31 所示零件的加工程序: 要求建立如图所示的工件坐标系, 按箭头所指示的路径进行加工。

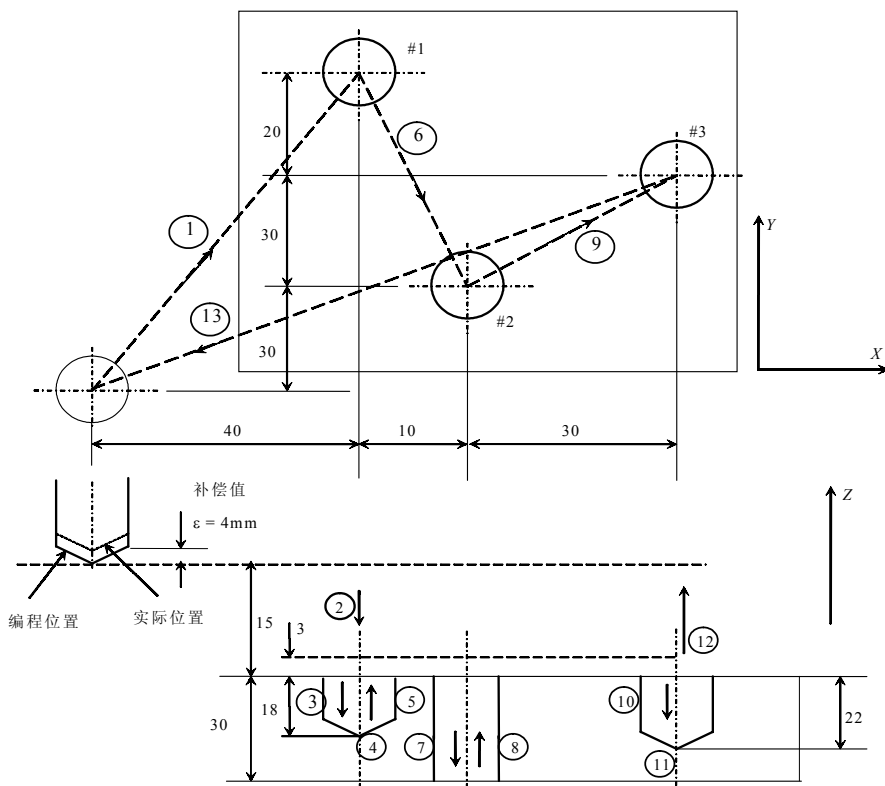


图 3.31 刀具长度补偿加工

其中

H01=4.0 预先在 MDI 功能中“刀具表”设置 01 号刀具长度值项。

%0001

G92 X0 Y0 Z15

起刀点坐标 (0, 0, 15)

N01 G91 G00 X40 Y80 M03

用增量方式移动到#1号点

N02 G01 G43 Z-12 H01 F100

移近工件表面，建立刀具长度补偿

N03 Z-21

加工#1号孔

N04 G04 P2

N05 G00 Z21

抬刀

N06 X10.0 Y-50.0

移动到#2号点

N07 G01 Z-33

加工#2号孔

N08 G04 P2

N09 G01 Z33

抬刀

N10 X30 Y30

移动到#3号点

N11 Z-25

加工#3号孔

N12 G04 P2

N13 G00 Z40

抬刀

N14 X-80 Y-60 移动到起始点
 N15 M05
 N16 M30

改变刀具长度补偿量, 需指定新的刀具号; 刀具长度按新的偏置值进行补偿。

例如, 设 H01 的偏置值为 5.0, H02 的偏置值为 10.0 时

G90 G43 Z100.0 H01 Z 将达到 105.0
 G90 G43 Z100.0 H02 Z 将达到 110.0

3.3.6 其他功能指令

(1) 暂停指令 G04

格式: G04 P_

说明:

P: 暂停时间, 单位为 s (秒)。

G04 在前一程序段的进给速度降到零之后才开始暂停动作。

在执行含 G04 指令的程序段时, 先执行暂停功能。

G04 为非模态指令, 仅在其被规定的程序段中有效。

例 13: 编制图 3.32 所示零件的钻孔加工程序。

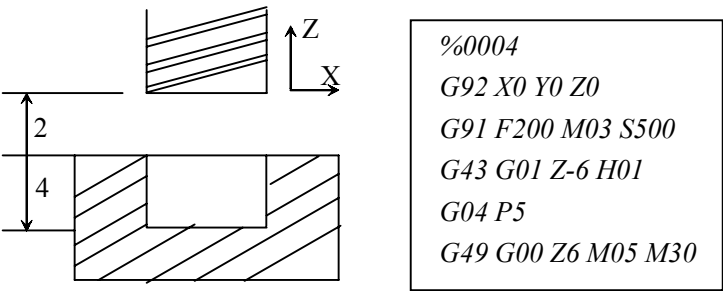


图 3.32 G04 编程

G04 可使刀具作短暂停留, 以获得圆整而光滑的表面。如对不通孔作深度控制时, 在刀具进给到规定深度后, 用暂停指令使刀具作非进给光整切削, 然后退刀, 保证孔底平整。

(2) 准停检验 G09

格式: G09

说明:

一个包括 G09 的程序段在继续执行下个程序段前, 准确停止在本程序段的终点。该功能用于加工尖锐的棱角。

G09 为非模态指令, 仅在其被规定的程序段中有效。

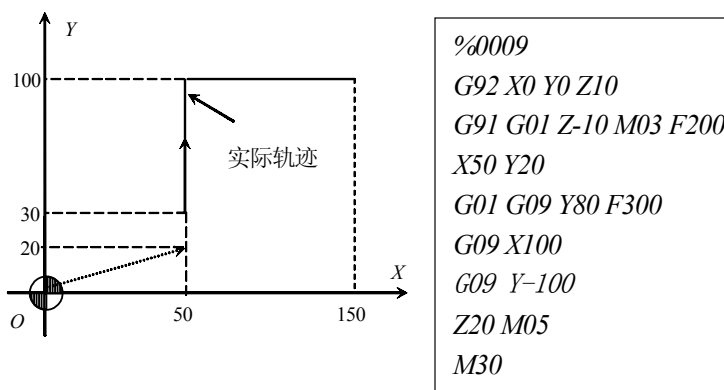


图 3.33 G09 编程

(2) 段间过渡方式 G61, G64

格式: $\begin{Bmatrix} G61 \\ G64 \end{Bmatrix}$

说明:

G61: 精确停止检验;

G64: 连续切削方式。

在 G61 后的各程序段编程轴都要准确停止在程序段的终点, 然后再继续执行下一程序段。

在 G64 之后的各程序段编程轴刚开始减速时 (未到达所编程的终点) 就开始执行下一程序段。但在定位指令(G00, G60)或有准停校验 (G09)的程序段中, 以及在不合运动指令的程序段中, 进给速度仍减速到 0 才执行定位校验。

G61 方式的编程轮廓与实际轮廓相符。

G61 与 G09 的区别在于 G61 为模态指令。

G64 方式的编程轮廓与实际轮廓不同。其不同程度取决于 F 值的大小及两路径间的夹角, F 越大, 其区别越大。一般在实际加工时, 如果要求程序段间不停顿, 连续做小线段切削, 则设定在 G64 方式。

G61、G64 为模态指令, 可相互注销, G64 为缺省值。

例: 编制如图 3.33 所示轮廓的加工程序: 要求编程轮廓与实际轮廓相符。

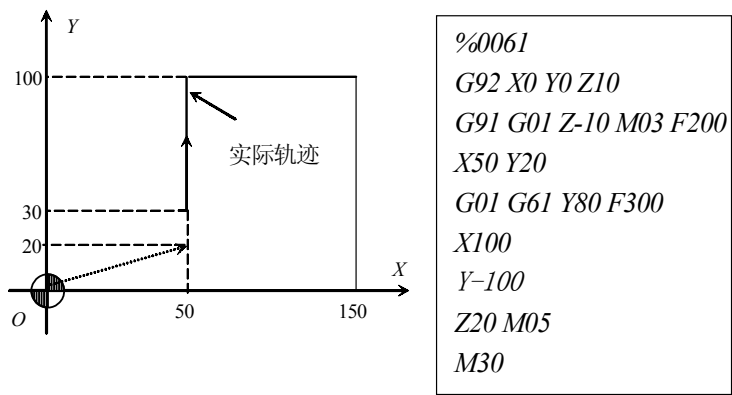


图 3.34 G61 编程

例：编制如图 3.34 所示轮廓的加工程序：要求程序段间不停顿。

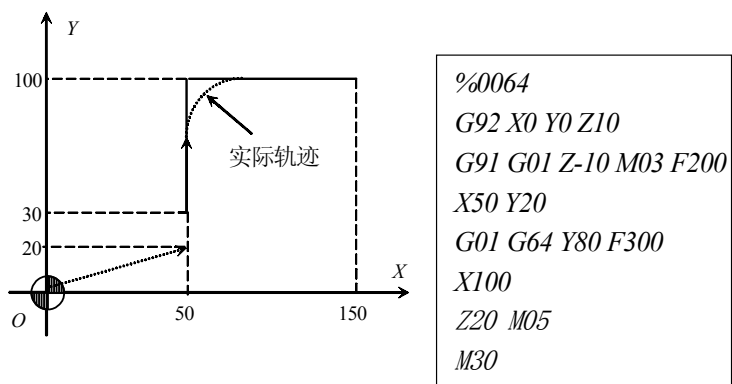


图 3.35 G64 编程

3.3.7 简化编程指令

(1) 镜像功能 G24, G25

格式： G24 X__Y__Z__
M98 P_
G25 X__Y__Z__

说明：

G24：建立镜像；
G25：取消镜像；
X、Y、Z：： 镜像位置。

当工件相对于某一轴具有对称形状时，可以利用镜像功能和子程序，只对工件的一部分进行编程，而能加工出工件的对称部分，这就是镜像功能。

当某一轴的镜像有效时，该轴执行与编程方向相反的运动。

G24、G25 为模态指令，可相互注销，G25 为缺省值。

例：使用镜像功能编制如图 3.36 所示轮廓的加工程序：设刀具起点距工件上表面 10mm，切削深度 5mm。

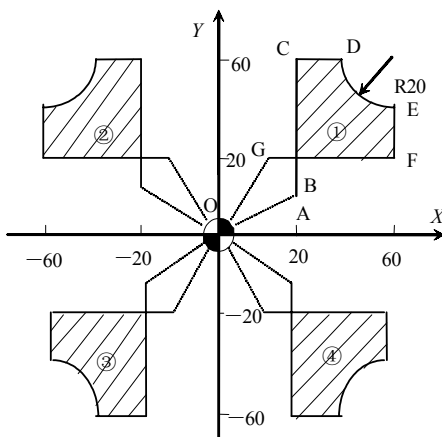


图 3.36 镜像功能

预先在 MDI 功能中“刀具表”设置 01 号刀具半径值项 D01= 6.0，长度值项 H01= 4.0。

```

%0024.....主程序

G92 X0 Y0 Z10      建立工件坐标系
G91 G17 M03 S600
M98 P100           加工①
G24 X0             Y 轴镜像，镜像位置为 X=0
M98 P100           加工②
G24 Y0             X、Y 轴镜像，镜像位置为(0, 0)
M98 P100           加工③
G25 X0             ; X 轴镜像继续有效，取消 Y 轴镜像
M98 P100           ; 加工④
G25 Y0             ; 取消镜像
M30
%100              ; 子程序(①的加工程序):
N100 G41 G00 X20 Y8 D01      O→A
N110 Y2                   A→B
N120 G43 Z-8 H01           Z 接近工件上表面
N130 G01 Z-7 F300          Z 进刀
N140 Y50                   B→C
  
```

N150 X20	C →D
N160 G03 X20 Y-20 I20 J0	D →E
N170 G01 Y-20	E →F
N180 X-50	F →G
N190 G49 G00 Z55	Z 进刀
N200 G40 X-10 Y-20	回到 O
N210 M99	

(2) 缩放功能 G50， G51

格式： G51 X_Y_Z_P_
M98 P_
G50

说明：

- G51： 建立缩放；
- G50： 取消缩放；
- X、Y、Z： 缩放中心的坐标值；
- P： 缩放倍数。

G51 既可指定平面缩放，也可指定空间缩放。

在 G51 后，运动指令的坐标值以 (X, Y, Z) 为缩放中心，按 P 规定的缩放比例进行计算。

在有刀具补偿的情况下，先进行缩放，然后才进行刀具半径补偿、刀具长度补偿。

G51、G50 为模态指令，可相互注销，G50 为缺省值。

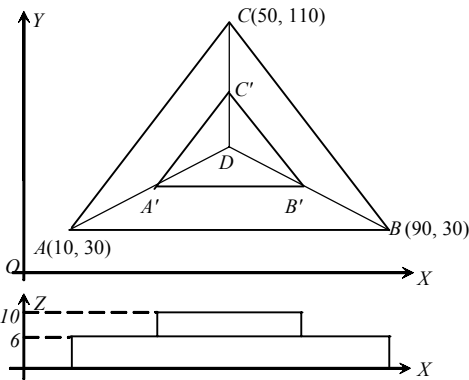


图 3.37 $\triangle ABC$ 缩放示意图

%0051 ; 主程序
G92 X0 Y0 Z60
G91 G17 M03 S600 F300

```

G43 G00 X50 Y50 Z-46 H01
#51=14
M98 P100          ; 加工三角形 ABC
#51=8
G51 X50 Y50 P0.5   ; 缩放中心(50, 50), 缩放系数 0.5
M98 P100          ; 加工三角形 A'B'C'
G50               ; 取消缩放
G49 Z46
M05 M30
%100              ; 子程序(三角形 ABC 的加工程序):
N100 G42 G00 X-44 Y-20 D01
N120 Z[-#51]
N150 G01 X84
N160 X-40 Y80
N170 X-44 Y-88
N180 Z[#51]
N200 G40 G00 X44 Y28
N210 M99

```

(3) 旋转变换 G68, G69

格式: G17 G68 X__Y__P__
 或 G18 G68 X__Z__P__
 或 G19 G68 Y__Z__P__
 M98 P_
 G69

说明:

G68: 建立旋转;

G69: 取消旋转;

X、Y、Z: 旋转中心的坐标值;

P: 旋转角度, 单位是($^{\circ}$), $0 \leq P \leq 360^{\circ}$ 。

在有刀具补偿的情况下, 先旋转后刀补(刀具半径补偿、长度补偿); 在有缩放功能的情况下, 先缩放后旋转。

G68、G69 为模态指令, 可相互注销, G69 为缺省值。

例: 使用旋转功能编制如图 3.3.23 所示轮廓的加工程序: 设刀具起点距工件上表面 50mm, 切削深度 5mm。

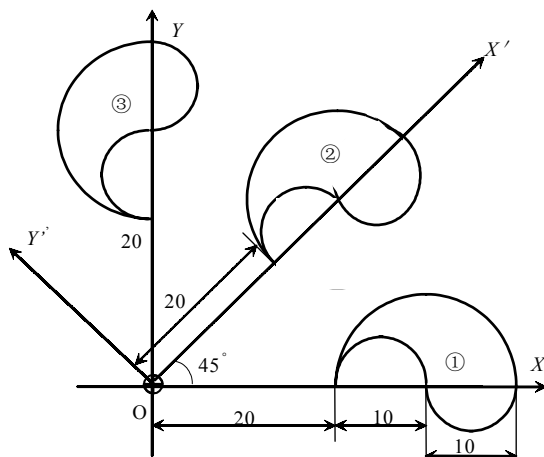


图 3.38 旋转变换功能

```

%0068                                     ; 主程序
N10 G92 X0 Y0 Z50
N15 G90 G17 M03 S600
N20 G43 Z-5 H02
N25 M98 P200                             ; 加工①
N30 G68 X0 Y0 P45                       ; 旋转 45°
N40 M98 P200                             ; 加工②
N60 G68 X0 Y0 P90                       ; 旋转 90°
N70 M98 P200                             ; 加工③
N20 G49 Z50
N80 G69 M05 M30                           ; 取消旋转
%200                                     ; 子程序 (①的加工程序)
N100 G41 G01 X20 Y-5 D02 F300
N105 Y0
N110 G02 X40 I10
N120 X30 I-5
N130 G03 X20 I-5
N140 G00 Y-6
N145 G40 X0 Y0
N150 M99

```

3.3.8 固定循环

数控加工中,某些加工动作循环已经典型化。例如,钻孔、镗孔的动作是孔位平面定位、快速引进、工作进给、快速退回等,这样一系列典型的加工动作已经预

先编好程序(请参考附录 1), 存储在内存中, 可用称为固定循环的一个 G 代码程序段调用, 从而简化编程工作。

孔加工固定循环指令有 G73, G74, G76, G80~G89, 通常由下述 6 个动作构成(见图 3.3.24):

- (1) X、Y 轴定位;
- (2) 定位到 R 点(定位方式取决于上次是 G00 还是 G01);
- (3) 孔加工;
- (4) 在孔底的动作;
- (5) 退回到 R 点(参考点);
- (6) 快速返回到初始点。

固定循环的数据表达形式可以用绝对坐标(G90)和相对坐标(G91)表示, 如图 3.39 所示, 其中图(a)是采用 G90 的表示, 图(b)是采用 G91 的表示。

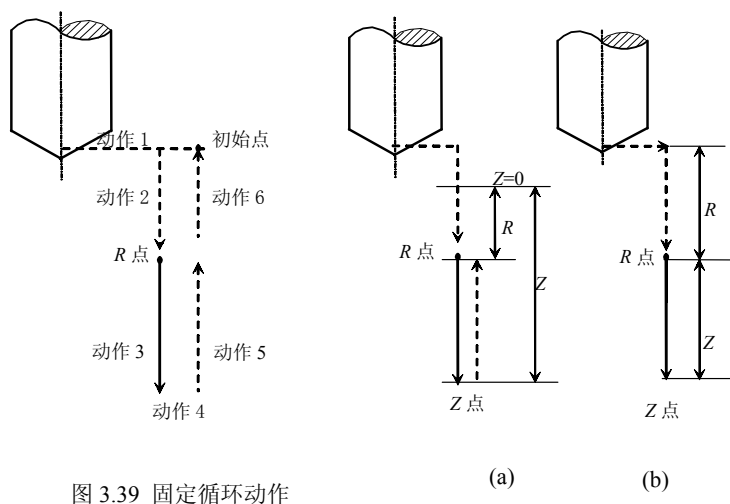


图 3.40 固定循环的数据形式

固定循环的程序格式包括数据形式、返回点平面、孔加工方式、孔位置数据、孔加工数据和循环次数。数据形式(G90 或 G91)在程序开始时就已指定, 因此, 在固定循环程序格式中可不注出。固定循环的程序格式如下:

$$\left\{ \begin{array}{l} G98 \\ G99 \end{array} \right\} G_X_Y_Z_R_Q_P_I_J_K_F_L_;$$

说明:

G98: 返回初始平面;

G99: 返回 R 点平面;

G_: 固定循环代码 G73, G74, G76 和 G81~G89 之一;

X、Y: 加工起点到孔位的距离(G91)或孔位坐标(G90);

R : 初始点到 R 点的距离(G91)或 R 点的坐标(G90);

Z : R 点到孔底的距离(G91)或孔底坐标(G90);

Q : 每次进给深度(G73/G83);

I 、 J : 刀具在轴反向位移增量(G76/G87);

P : 刀具在孔底的暂停时间;

F : 切削进给速度;

L : 固定循环的次数。

G73、G74、G76 和 G81~G89、 Z 、 R 、 P 、 F 、 Q 、 I 、 J 、 K 是模态指令。G80、G01~G03 等代码可以取消固定循环。

(1) G73: 高速深孔加工循环

格式: $\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G73 X_Y_Z_R_Q_P_K_F_L_;$

说明:

Q : 每次进给深度;

k : 每次退刀距离。

G73 用于 Z 轴的间歇进给, 使深孔加工时容易排屑, 减少退刀量, 可以进行高效率的加工。

G73 指令动作循环见图 3.41。

注意: Z 、 K 、 Q 移动量为零时, 该指令不执行。

例: 使用 G73 指令编制如图 3.41 所示深孔加工程序: 设刀具起点距工件上表面 42mm, 距孔底 80mm, 在距工件上表面 2mm 处(R 点)由快进转换为工进, 每次进给深度 10mm, 每次退刀距离 5mm。

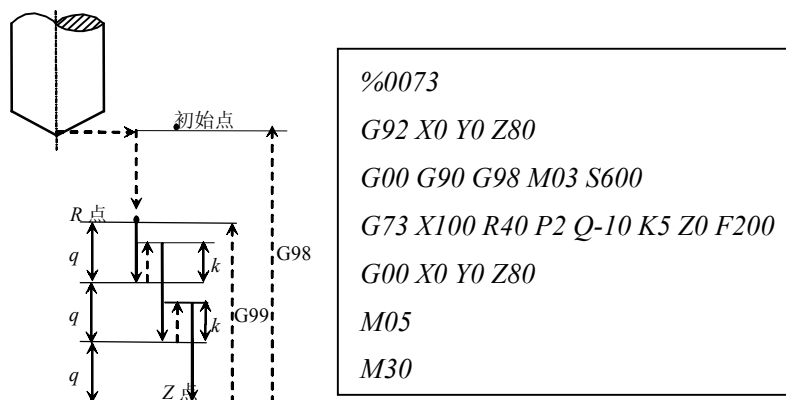


图 3.41 G73 指令动作图与 G73 编程

(2) G74: 反攻丝循环

格式: $\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G74 X_Y_Z_R_P_F_L_;$

G74 攻反螺纹时主轴反转，到孔底时主轴正转，然后退回。

G74 指令动作循环见图 3.42。

注意:

- (1) 攻丝时速度倍率、进给保持均不起作用;
- (2) R 应选在距工件表面 7mm 以上的地方;
- (3) 如果 Z 的移动量为零，该指令不执行。

例: 使用 G74 指令编制如图 3.42 所示反螺纹攻丝加工程序: 设刀具起点距工件上表面 48mm，距孔底 60mm，在距工件上表面 8mm 处(R 点)由快进转换为工进。



图 3.42 G74 指令动作图及 G74 编程

(3) G76: 精镗循环

格式: $\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G76 X_Y_Z_R_P_I_J_F_L_;$

说明:

I: X 轴刀尖反向位移量;

J: Y 轴刀尖反向位移量。

G76 精镗时，主轴在孔底定向停止后，向刀尖反方向移动，然后快速退刀。这种带有让刀的退刀不会划伤已加工平面，保证了镗孔精度。

G76 指令动作循环见图 3.43。

注意: 如果 Z 的移动量为零，该指令不执行。

例: 使用 G76 指令编制如图 3.43 所示精镗加工程序: 设刀具起点距工件上

表面 42mm，距孔底 50mm，在距工件上表面 2mm 处(R 点)由快进转换为工进。

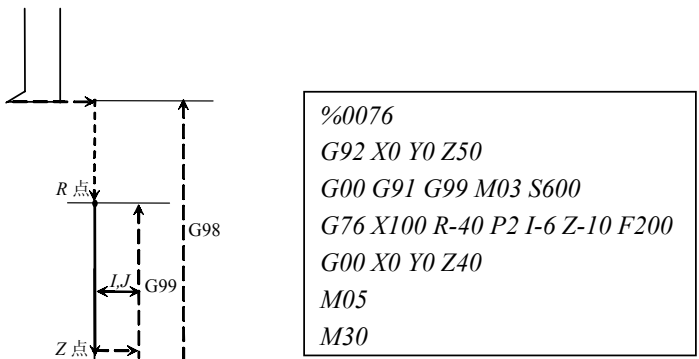


图 3.43 G76 指令动作图及 G76 编程

(4) G81：钻孔循环(中心钻)

格式： $\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G81 X_Y_Z_R_F_L_;$

G81 钻孔动作循环，包括 X，Y 坐标定位、快进、工进和快速返回等动作。

G81 指令动作循环见图 3.44。

注意：如果 Z 的移动量为零，该指令不执行。

例：使用 G81 指令编制如图 3.44 所示钻孔加工程序：设刀具起点距工件上表面 42mm，距孔底 50mm，在距工件上表面 2mm 处(R 点)由快进转换为工进。

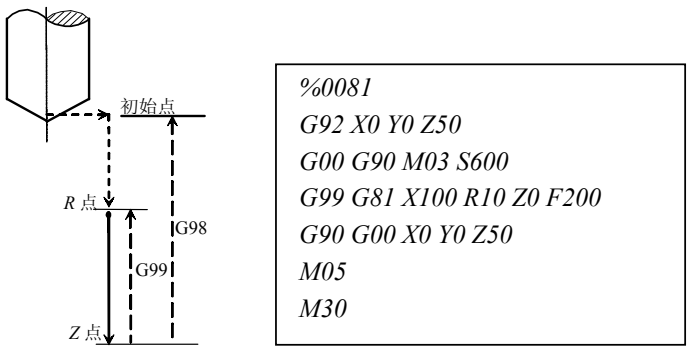


图 3.44 G81 指令动作图及 G81 编程

(5) G82: 带停顿的钻孔循环

格式: $\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G82 X_Y_Z_R_P_F_L_;$

G82 指令除了要在孔底暂停外, 其他动作与 G81 相同。暂停时间由地址 P 给出。
G82 指令主要用于加工盲孔, 以提高孔深精度。

注意:

如果 Z 的移动量为零, 该指令不执行。

(6) G83: 深孔加工循环

格式: $\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G83 X_Y_Z_R_Q_P_K_F_L_;$

说明:

Q: 每次进给深度;

k: 每次退刀后, 再次进给时, 由快速进给转换为切削进给时距上次加工面的距离。

G83 指令动作循环见图 3.45。

注意: Z、K、Q 移动量为零时, 该指令不执行。

例: 使用 G83 指令编制如图 3.45 所示深孔加工程序: 设刀具起点距工件上表面 42mm, 距孔底 80mm, 在距工件上表面 2mm 处(R 点)由快进转换为工进, 每次进给深度 10mm, 每次退刀后, 再由快速进给转换为切削进给时距上次加工面的距离 5mm。

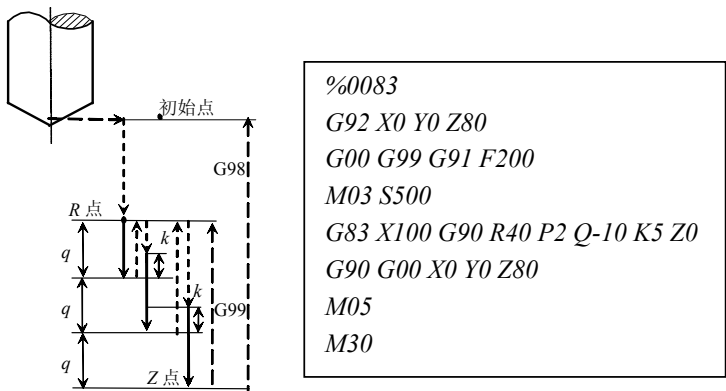


图 3.45 G83 指令动作图及 G83 编程

(7) G84: 攻丝循环

格式: $\begin{Bmatrix} G98 \\ G99 \end{Bmatrix} G84 X_Y_Z_R_P_F_L_;$

G84 攻螺纹时从 R 点到 Z 点主轴正转, 在孔底暂停后, 主轴反转, 然后退回。

G84 指令动作循环见图 3.46。



图 3.46 G84 指令动作图及 G84 编程

注意:

- (1) 攻丝时速度倍率、进给保持均不起作用;
- (2) R 应选在距工件表面 7mm 以上的地方;
- (3) 如果 Z 的移动量为零, 该指令不执行。

例: 使用 G84 指令编制如图 3.46 所示螺纹攻丝加工程序: 设刀具起点距工件上表面 48mm, 距孔底 60mm, 在距工件上表面 8mm 处(R 点)由快进转换为工进。

(8) G85: 镗孔循环

G85 指令与 G84 指令相同, 但在孔底时主轴不反转。

(9) G86: 镗孔循环

G86 指令与 G81 相同, 但在孔底时主轴停止, 然后快速退回。

注意:

- (1) 如果 Z 的移动位置为零, 该指令不执行;
- (2) 调用此指令之后, 主轴将保持正转。

(10) G87: 反镗循环

格式: $\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G87 X_Y_Z_R_P_I_J_F_L_;$

说明:

I: X 轴刀尖反向位移量;

J: Y 轴刀尖反向位移量.

G87 指令动作循环见图 3.47。描述如下

- (1) 在 *X*、*Y* 轴定位;
- (2) 主轴定向停止;
- (3) 在 *X*、*Y* 方向分别向刀尖的反方向移动 *I*、*J* 值;
- (4) 定位到 *R* 点(孔底);
- (5) 在 *X*、*Y* 方向分别向刀尖方向移动 *I*、*J* 值;
- (6) 主轴正转;
- (7) 在 *Z* 轴正方向上加工至 *Z* 点;
- (8) 主轴定向停止;
- (9) 在 *X*、*Y* 方向分别向刀尖反方向移动 *I*、*J* 值;
- (10) 返回到初始点(只能用 G98);
- (11) 在 *X*、*Y* 方向分别向刀尖方向移动 *I*、*J* 值;
- (12) 主轴正转。

注意: 如果 *Z* 的移动量为零, 该指令不执行。

例: 使用 G87 指令编制如图 3.47 所示反镗加工程序: 设刀具起点距工件上表面 40mm, 距孔底(*R* 点)80mm。

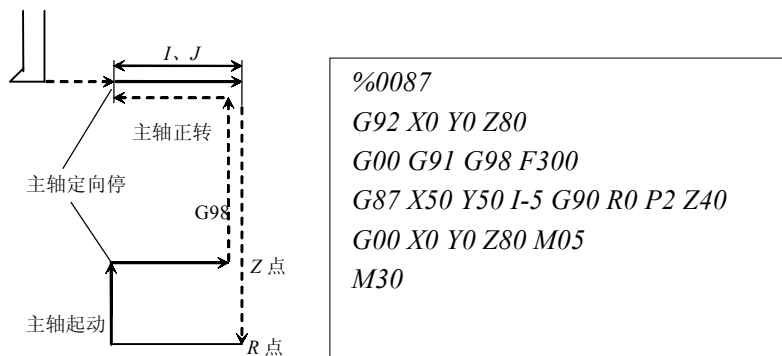


图 3.47 G87 指令动作图及 G87 编程

(11) G88: 镗孔循环

格式: $\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G88 X_Y_Z_R_P_F_L_;$

G88 指令动作循环见图 3.48。描述如下

- (1) 在 X 、 Y 轴定位;
- (2) 定位到 R 点;
- (3) 在 Z 轴方向上加工至 Z 点 (孔底);
- (4) 暂停后主轴停止;
- (5) 转换为手动状态, 手动将刀具从孔中退出;
- (6) 返回到初始平面;
- (7) 主轴正转。

注意: 如果 Z 的移动量为零, 该指令不执行。

例: 使用 G88 指令编制如图 3.48 所示镗孔加工程序: 设刀具起点距 R 点 40mm, 距孔底 80mm。

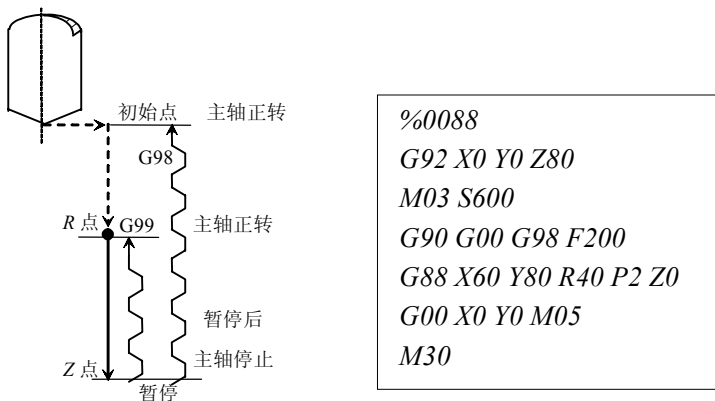


图 3.48 G88 指令动作图及 G88 编程

(12) G89: 镗孔循环

G89 指令与 G86 指令相同, 但在孔底有暂停。

注意: 如果 Z 的移动量为零, G89 指令不执行。

(13) G80: 取消固定循环

该指令能取消固定循环, 同时 R 点和 Z 点也被取消。

小结:

使用固定循环时应注意以下几点:

- (1) 在固定循环指令前应使用 M03 或 M04 指令使主轴回转;

- (2) 在固定循环程序段中, X, Y, Z, R 数据应至少指令一个才能进行孔加工;
- (3) 在使用控制主轴回转的固定循环(G74、G84、G86)中, 如果连续加工一些孔间距比较小, 或者初始平面到 R 点平面的距离比较短的孔时, 会出现在进入孔的切削动作前时, 主轴还没有达到正常转速的情况, 遇到这种情况时, 应在各孔的加工动作之间插入 G04 指令, 以获得时间;
- (4) 当用 G00~G03 指令注销固定循环时, 若 G00~G03 指令和固定循环出现在同一程序段, 按后出现的指令运行;
- (5) 在固定循环程序段中, 如果指定了 M , 则在最初定位时送出 M 信号, 等待 M 信号完成, 才能进行孔加工循环。

例 使用 G88 指令编制如图 3.49 所示的螺纹加工程序: 设刀具起点距工作表面 100mm 处, 切削深度为 10mm。

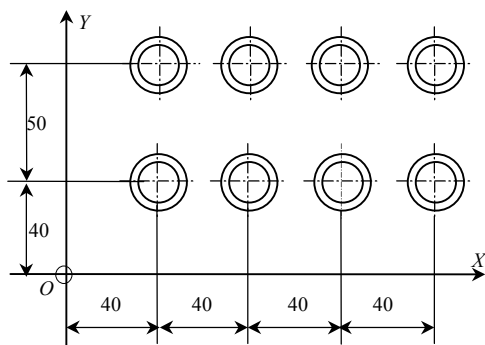


图 3.49 螺纹加工

(i) 先用 G81 钻孔

```
%1000
G92 X0 Y0 Z0
G91 G00 M03 S600
G99 G81 X40 Y40 G90 R-98 Z-110 F200
G91 X40 L3
Y50
X-40 L3
G90 G80 X0 Y0 Z0 M05
M30
```

(ii) 再用 G84 攻丝

```
%2000
G92 X0 Y0 Z0
G91 G00 M03 S600
```

```
G99 G84 X40 Y40 G90 R-93 Z-110 F100
G91 X40 L3
Y50
X-40 L3
G90 G80 X0 Y0 Z0 M05
M30
```

3.4 宏指令编程

HNC-21M 数控系统为用户配备了强有力的类似于高级语言的宏程序功能，用户可以使用变量进行算术运算、逻辑运算和函数的混合运算，此外宏程序还提供了循环语句、分支语句和子程序调用语句，利于编制各种复杂的零件加工程序，减少乃至免除手工编程时进行繁琐的数值计算，以及精简程序量。

3.4.1 宏变量及常量

(1) 宏变量

#0～#49	当前局部变量	
#50～#199	全局变量	
#200～#249	0 层局部变量	
#250～#299	1 层局部变量	
#300～#349	2 层局部变量	
#350～#399	3 层局部变量	
#400～#449	4 层局部变量	
#450～#499	5 层局部变量	
#500～#549	6 层局部变量	
#550～#599	7 层局部变量	
#600～#699	刀具长度寄存器 H0～H99	
#700～#799	刀具半径寄存器 D0～D99	
#800～#899	刀具寿命寄存器	
#1000 “机床当前位置 X”	#1001 “机床当前位置 Y”	#1002 “机床当前位置 Z”
#1003 “机床当前位置 A”	#1004 “机床当前位置 B”	#1005 “机床当前位置 C”
#1006 “机床当前位置 U”	#1007 “机床当前位置 V”	#1008 “机床当前位置 W”
#1009 保留	#1010 “程编机床位置 X”	#1011 “程编机床位置 Y”
#1012 “程编机床位置 Z”	#1013 “程编机床位置 A”	#1014 “程编机床位置 B”
#1015 “程编机床位置 C”	#1016 “程编机床位置 U”	#1017 “程编机床位置 V”
#1018 “程编机床位置 W”	#1019 保留	#1020 “程编工件位置 X”
#1021 “程编工件位置 Y”	#1022 “程编工件位置 Z”	#1023 “程编工件位置 A”
#1024 “程编工件位置 B”	#1025 “程编工件位置 C”	#1026 “程编工件位置 U”
#1027 “程编工件位置 V”	#1028 “程编工件位置 W”	#1029 保留

#1030 “当前工件零点 X”	#1031 “当前工件零点 Y”	#1032 “当前工件零点 Z”
#1033 “当前工件零点 A”	#1034 “当前工件零点 B”	#1035 “当前工件零点 C”
#1036 “当前工件零点 U”	#1037 “当前工件零点 V”	#1038 “当前工件零点 W”
#1039 保留	#1040 “G54 零点 X”	#1041 “G54 零点 Y”
#1042 “G54 零点 Z”	#1043 “G54 零点 A”	#1044 “G54 零点 B”
#1045 “G54 零点 C”	#1046 “G54 零点 U”	#1047 “G54 零点 V”
#1048 “G54 零点 W”	#1049 保留	#1050 “G55 零点 X”
#1051 “G55 零点 Y”	#1052 “G55 零点 Z”	#1053 “G55 零点 A”
#1054 “G55 零点 B”	#1055 “G55 零点 C”	#1056 “G55 零点 U”
#1057 “G55 零点 V”	#1058 “G55 零点 W”	#1059 保留
#1060 “G56 零点 X”	#1061 “G56 零点 Y”	#1062 “G56 零点 Z”
#1063 “G56 零点 A”	#1064 “G56 零点 B”	#1065 “G56 零点 C”
#1066 “G56 零点 U”	#1067 “G56 零点 V”	#1068 “G56 零点 W”
#1069 保留	#1070 “G57 零点 X”	#1071 “G57 零点 Y”
#1072 “G57 零点 Z”	#1073 “G57 零点 A”	#1074 “G57 零点 B”
#1075 “G57 零点 C”	#1076 “G57 零点 U”	#1077 “G57 零点 V”
#1078 “G57 零点 W”	#1079 保留	#1080 “G58 零点 X”
#1081 “G58 零点 Y”	#1082 “G58 零点 Z”	#1083 “G58 零点 A”
#1084 “G58 零点 B”	#1085 “G58 零点 C”	#1086 “G58 零点 U”
#1087 “G58 零点 V”	#1088 “G58 零点 W”	#1089 保留
#1090 “G59 零点 X”	#1091 “G59 零点 Y”	#1092 “G59 零点 Z”
#1093 “G59 零点 A”	#1094 “G59 零点 B”	#1095 “G59 零点 C”
#1096 “G59 零点 U”	#1097 “G59 零点 V”	#1098 “G59 零点 W”
#1099 保留	#1100 “中断点位置 X”	#1101 “中断点位置 Y”
#1102 “中断点位置 Z”	#1103 “中断点位置 A”	#1104 “中断点位置 B”
#1105 “中断点位置 C”	#1106 “中断点位置 U”	#1107 “中断点位置 V”
#1108 “中断点位置 W”	#1109 “坐标系建立轴”	#1110 “G28 中间点位置 X”
#1111 “G28 中间点位置 Y”	#1112 “G28 中间点位置 Z”	#1113 “G28 中间点位置 A”
#1114 “G28 中间点位置 B”	#1115 “G28 中间点位置 C”	#1116 “G28 中间点位置 U”
#1117 “G28 中间点位置 V”	#1118 “G28 中间点位置 W”	#1119 “G28 屏蔽字”
#1120 “镜像点位置 X”	#1121 “镜像点位置 Y”	#1122 “镜像点位置 Z”
#1123 “镜像点位置 A”	#1124 “镜像点位置 B”	#1125 “镜像点位置 C”
#1126 “镜像点位置 U”	#1127 “镜像点位置 V”	#1128 “镜像点位置 W”
#1129 “镜像屏蔽字”	#1130 “旋转中心(轴 1)”	#1131 “旋转中心(轴 2)”
#1132 “旋转角度”	#1133 “旋转轴屏蔽字”	#1134 保留
#1135 “缩放中心(轴 1)”	#1136 “缩放中心(轴 2)”	#1137 “缩放中心(轴 3)”
#1138 “缩放比例”	#1139 “缩放轴屏蔽字”	#1140 “坐标变换代码 1”
#1141 “坐标变换代码 2”	#1142 “坐标变换代码 3”	#1143 保留
#1144 “刀具长度补偿号”	#1145 “刀具半径补偿号”	#1146 “当前平面轴 1”
#1147 “当前平面轴 2”	#1148 “虚拟轴屏蔽字”	#1149 “进给速度指定”
#1150 “G 代码模态值 0”	#1151 “G 代码模态值 1”	#1152 “G 代码模态值 2”
#1153 “G 代码模态值 3”	#1154 “G 代码模态值 4”	#1155 “G 代码模态值 5”
#1156 “G 代码模态值 6”	#1157 “G 代码模态值 7”	#1158 “G 代码模态值 8”

#1159 “G 代码模态值 9”	#1160 “G 代码模态值 10”	#1161 “G 代码模态值 11”
#1162 “G 代码模态值 12”	#1163 “G 代码模态值 13”	#1164 “G 代码模态值 14”
#1165 “G 代码模态值 15”	#1166 “G 代码模态值 16”	#1167 “G 代码模态值 17”
#1168 “G 代码模态值 18”	#1169 “G 代码模态值 19”	#1170 “剩余 CACHE”
#1171 “备用 CACHE”	#1172 “剩余缓冲区”	#1173 “备用缓冲区”
#1174 保留	#1175 保留	#1176 保留
#1177 保留	#1178 保留	#1179 保留
#1180 保留	#1181 保留	#1182 保留
#1183 保留	#1184 保留	#1185 保留
#1186 保留	#1187 保留	#1188 保留
#1189 保留	#1190 “用户自定义输入”	#1191 “用户自定义输出”
#1192 “自定义输出屏蔽”	#1193 保留	#1194 保留

(2) 常量

PI: 圆周率 π

TRUE: 条件成立(真)

FALSE: 条件不成立(假)

3.4.2 运算符与表达式

(1) 算术运算符: +, -, *, /

(2) 条件运算符

EQ (=), NE ($\neq$), GT (>),

GE ($\geq$), LT (<), LE ($\leq$)

(3) 逻辑运算符

AND, OR, NOT

(4) 函数

SIN, COS, TAN, ATAN, ATAN2,

ABS, INT, SIGN, SQRT, EXP

(5) 表达式

用运算符连接起来的常数, 宏变量构成表达式。

例如: $175/\text{SQRT}[2] * \text{COS}[55 * \text{PI}/180]$;

$\#3 * 6 \text{ GT } 14$;

3.4.3 赋值语句

格式: 宏变量=常数或表达式

把常数或表达式的值送给一个宏变量称为赋值。

例如: $\#2 = 175/\text{SQRT}[2] * \text{COS}[55 * \text{PI}/180]$;

$\#3 = 124.0$;

3.4.4 条件判别语句 IF， ELSE， ENDIF

格式 (i): IF 条件表达式

...

ELSE

...

ENDIF

格式(ii) : IF 条件表达式

...

ENDIF

3.4.5 循环语句 WHILE， ENDW

格式: WHILE 条件表达式

...

ENDW

条件判别语句的使用参见宏程序编程举例。

循环语句的使用参见宏程序编程举例。

6 宏程序编制举例

例 切圆台与斜方台，各自加工 3 个循环，要求倾斜 10° 的斜方台与圆台相切，圆台在方台之上，顶视图见图 3.50。

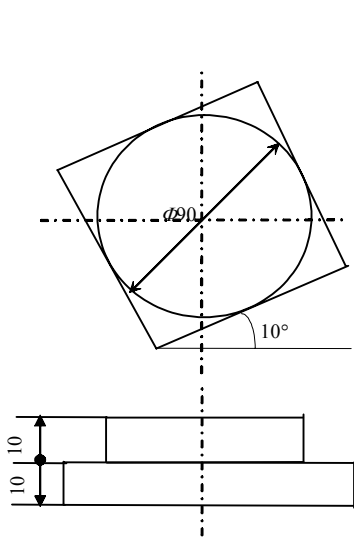


图 3.50 宏程序编制例图

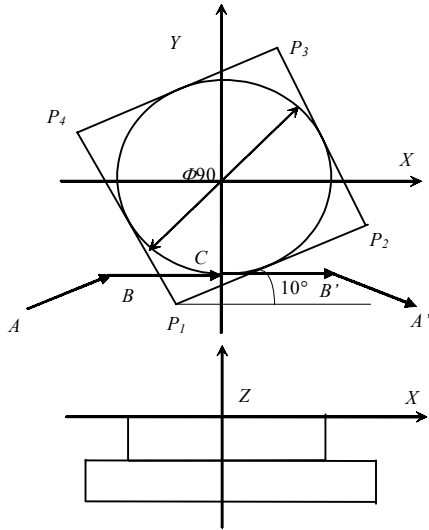


图 3.51 宏程序编制例图

%8002

#10=10.0

; 圆台阶高度

#11=10.0

; 方台阶高度

#12=124.0

; 圆外定点的 X 坐标值

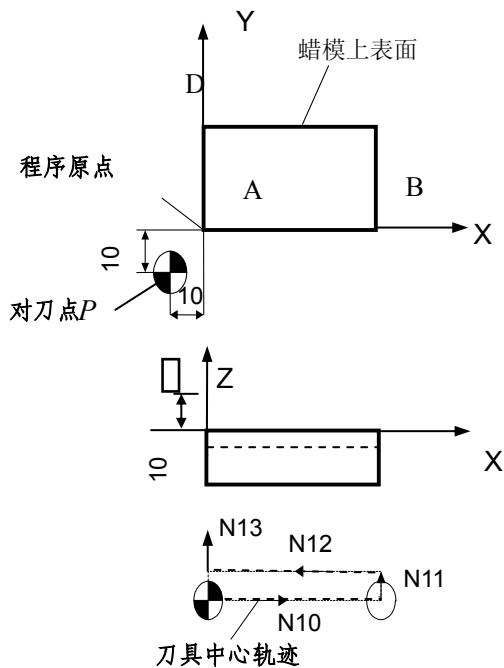
```

#13=124.0          ; 圆外定点的 Y 坐标值
#101=8.0           刀具半径偏置 (粗加工)
#102=6.5           刀具半径偏置 (半精加工)
#103=6.0           刀具半径偏置 (精加工)
N01 G92 X0.0 Y0.0 Z10.0
#0=0
N06 G00 X[-#12] Y[-#13]          ; →A
N07 G01 Z[-#10] M03 S600 F200    ; Z 轴进刀,准备加工圆台
WHILE #0 LT 3          ; 加工圆台
N[08+#0*6] G01 G42 X[-#12/2] Y[-90/2] F280.0 D[#0+101] ; →B
N[09+#0*6] X[0] Y[-90/2]          ; →C
N[10+#0*6] G03 J[90/2]          ; 整圆加工
N[11+#0*6] G01 X[#12/2] Y[-90/2] ; →B'
N[12+#0*6] G40 X[#12] Y[-#13]     ; →A'
N[13+#0*6] G00 X[-#12] Y[-#13]    ; →A
#0=#0+1                          ; #0 中数值加 1
ENDW
N100 Z[-#10-#11]                ; Z 轴进刀,准备加工斜方台
#2=90/SQRT[2]*COS[55*PI/180]    ; P1 点坐标(X=-#12,Y=-#13)
#3=90/SQRT[2]*SIN[55*PI/180]
#4=90*COS[10*PI/180]            ; P1 P2 间 X 增量为#4, Y 增量为#5
#5=90*SIN[10*PI/180]
#0=0
WHILE #0 LT 3                    ; 加工斜方台
N[101+#0*8]G01 G42 X[-#12/2] Y[-90/2] F280.0 D[#0+101] ; →B
N[102+#0*8]X[-#2] Y[-#3]          ; →P1
N[103+#0*8]G91 X[+#4] Y[+#5]      ; →P2
N[104+#0*8]X[-#5] Y[+#4]          ; →P3
N[105+#0*8]X[-#4] Y[-#5]          ; →P4
N[106+#0*8]X[+#5] Y[-#4]          ; →P1
N[107+#0*8] G90 X[#12/2] Y[-90/2] ; →B'
N[108+#0*8]G00 G40 X[-#12] Y[-#13] ; →A
#0=#0+1
ENDW
G00 X0 Y0 M05 M30

```

铣削编程实例一

用提供的刀具（Φ12mm 立铣刀）在零件上完成上表面整平加工；零件上表面长 180mm、宽 120mm、厚 50mm（有效厚度）



图附-1 凸轮零件图

参考程序：

对刀点选在零件左下角，刀具进刀深度以零件上表面低凹处为准。

%1000（主程序）

N01 G92 X-10 Y-10 Z10

N02 G90 G01 Z-5 F300 M03

N03 X0 Y0

N04 M98 P2000 L6

N05 G90 Z10

N06 G00 X-10 Y-10

N07 M05

N08 M30

%2000（子程序）

N10 G91 G01 X180 F300

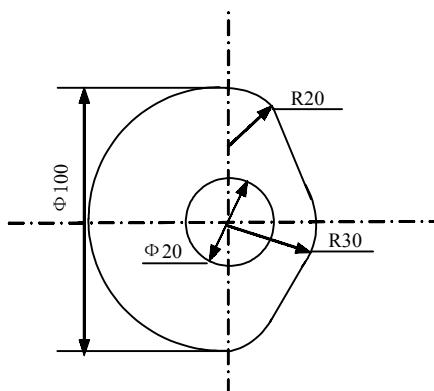
```
N11 Y10  
N12 X-180  
N13 Y10  
N14 M99
```

对刀操作参考步骤:

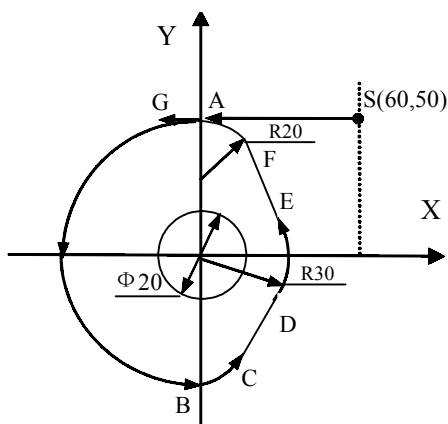
- ① 机床回参考点（回零）
- ② 手动启动主轴正转，然后将刀具移至 D 点（见图 2-2），并下降到低于蜡模上表面处。
- ③ 手动控制刀具边缘从 D 点移至 A 点，从显示屏上读取“机床坐标系”中 X 坐标并记录。
- ④ 手动控制刀具边缘从 A 点移至 B 点，从显示屏上读取“机床坐标系”中 Y 坐标并记录。
- ⑤ 手动控制刀具底部接触零件上表面，从显示屏上读取“机床坐标系”中 Z 坐标并记录。
- ⑥ 根据读取的 X、Y、Z，计算出程序原点相对机床原点的偏移量（即 A 点坐标值） X_A 、 Y_A 、 Z_A ；
$$X_A = X + R ; Y_A = Y + R ; Z_A = Z ; R \text{ 为刀具半径}$$
- ⑦ 根据程序原点计算出对刀点相对机床原点的偏移量 X_p 、 Y_p 、 Z_p ；
$$X_p = X_A - 10, Y_p = Y - 10_A, Z_p = Z_A ;$$
- ⑧ 用 MDI 功能将刀具移至对刀点
$$G53 X_p, Y_p, Z_p$$

铣削编程实例二

编制如图附-2 所示的凸轮轮廓程序并加工操作。



图附-2 凸轮零件图



图附-3 凸轮加工工艺路线

配 HNC-21/22M 数控系统的钻铣床。

1. 根据图纸要求确定加工工艺

- (i) 加工方式：立铣。
- (ii) 加工设备和材料：HNC-21/22M 数控系统的钻铣床；
6mm 厚的铝板或塑料板。
- (iii) 加工刀具：直径 $\phi 12$ 的立铣刀。
- (iv) 切削用量：参照《工艺手册》有关资料选择主轴转速
600rpm，进给速度 200mm/min。
- (v) 工艺路线：工艺路线如图附-3 的箭头所示。
- (vi) 定位夹紧：过 $\phi 20$ 孔用螺栓通过垫块安装在工作台上。

2. 加工程序的编制

- (i) 确定工件坐标系

选择凸轮大圆的圆心为工件坐标系 X 、 Y 轴零点，工件表面为 Z 轴零点，建立工件坐标系。

- (ii) 数学处理

在编制程序之前要计算每一圆弧的起点坐标和终点坐标值，有了坐标值方能正式编程。计算过程此处不再赘述，算得的基点坐标分别为

F (18.856, 36.667)， E (28.284, 10.000)，

D (28.284, -10.000)， C (18.856, -36.667)。

- (iii) 零件程序编制

根据算得的基点和设定的工件坐标系，编制零件程序。

参考程序：

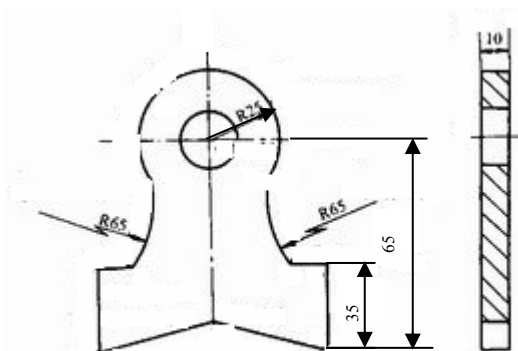
程序单	说 明
%2000	定义零件程序号 0--9999
#101=6	φ12 的立铣刀
N01 G92 X0 Y0 Z35	建立工件坐标系(坐标参数由对刀点确定)
N02 G90 G00 X60 Y50	快速由对刀点移动到 S 点上方 (60, 50, 35)
N03 G01 Z-7.0 M03 F500 S600	到点 S (50, 80, -7)
N04 G01 G42 D101 X0 Y50 F200	由点 S 到点 A (0, 50, -7)，建立刀补
N05 G03 Y-50 J-50	加工圆弧 AB
N06 G03 X18.856 Y-36.667 R20.0	加工圆弧 BC
N07 G01 X28.284 Y-10.0	加工直线 CD
N08 G03 X28.284 Y10.0 R30.0	加工圆弧 DE
N09 G01 X18.856 Y36.667	加工直线 EF
N10 G03 X0 Y50 R20	加工圆弧 FA
N11 G01 X-10	到点 G (-10, 50, -7)
N12 G01 Z35.0 F500	到 G 点上方 (-10, 50, 35)
N13 G40 X0 Y0	取消刀补，
N14 M05	回到对刀点
N15 M30	程序结束

3. 加工操作

- (i) 机床回参考点。
- (ii) 装夹 φ12 的立铣刀。
- (iii) 将工件毛坯装夹在工作台上。
- (iv) 手动操作机床，在编程原点正上方 35mm 处对刀。
- (v) 输入凸轮加工程序。
- (vi) 校验程序，若有错误，则修改程序使之完善。
- (vii) 运行程序直到加工完毕。

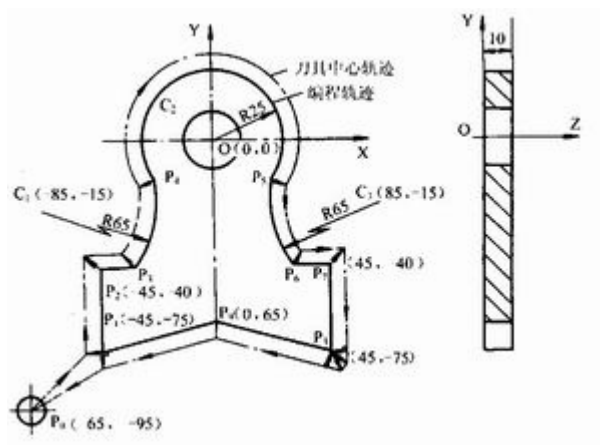
铣削编程实例三

编制如图附-4 所示的零件的加工程序。



图附-4

编程坐标系如图附-5 所示设定， $O(0, 0, 0)$ 点为建立的工件坐标系原点，对刀点 $(0, 0, 10)$ ，建立刀补点和取消刀补点为 $P_0(-65, -95)$ 。刀具从 P_1 点切入工件，然后沿点划线上箭头方向进行进给加工，最后回到 P_0 点。



图附-5

切削用量参照《 有关资料选择：主轴转速 600rpm，进给速度 200mm/min。

首先进行基点计算，图中 P_1 、 P_2 、 P_7 、 P_8 、 P_9 点坐标已知， P_3 、 P_4 、 P_5 、 P_6 点的坐标经计算得： $P_3(-25, -40)$ ， $P_4(-20, -15)$ ， $P_5(20, -15)$ ， $P_6(25, 40)$ 。

各圆弧插补段的起点相对圆弧圆心的坐标如下：

C_1 圆弧的圆心为 $I=-60$ ， $J=25$ ； C_2 圆弧的圆心为 $I=20$ ， $J=15$ ； C_3 圆弧的圆心为 $I=65$ ， $J=0$ 。

铣削加工程序编制如下:

	零件程序名
%0003	设定工件坐标系
N01 G92 X0 Y0 Z10	快速至点 P ₆ 上方
N02 G90 G41 G00 X-65.0 Y-95.0 D01	切削液打开, 主轴启动, Z 轴进刀
N03 G01 Z-10.0 F200 M03 M07 S600	直线插补 P ₀ → P ₁
N04 X-45.0 Y-75.0	直线插补 P ₁ → P ₂
N05 Y-40.0	直线插补 P ₂ → P ₃
N06 X-25.0	圆弧插补 P ₃ → P ₄
N07 G03 X-20.0 Y-15.0 I-60.0 J25.0	圆弧插补 P ₄ → P ₅
N08 G02 X20.0 I20.0 J15.0	圆弧插补 P ₅ → P ₆
N09 G03 X25.0 Y-40.0 I65.0 J0.0	直线插补 P ₆ → P ₇
N10 G01 X45.0	直线插补 P ₇ → P ₈
N11 Y-75.0	直线插补 P ₀ → P ₉
N12 X0.0 Y-65.0	直线插补 P ₉ → P ₁
N13 X-45.0 Y-75.0	回 P ₀ 点, 注销刀具半径补偿
N14 G40 X-65.0 Y-95.0	切削液关闭, 主轴停止, Z 轴抬刀
N15 Z10.0 M05 M09	程序结束
N16 M30	