

# 实训三 手动操作实训

## 3.1 实训目的与要求

1. 熟悉“手动”主菜单的操作界面；
2. 熟练掌握面板上手动操作键的使用；
3. 掌握 G00、G01 以及 F, S, T, M 指令的运用；。
4. 通过用手动操作加工简单零件。

## 3.2 实训设备

1. 微型计算机每人一台，FANUC0iMate 数控系统数控车床模拟软件。
2. FANUC0iMate 数控系统数控车床 10 台；
3. 外圆车刀、切断刀。
3.  $\phi 25$  的塑料棒；
4. 1—200mm 游标卡尺。

## 3.3 相关知识

### 3.3.1 数车面板手动操作键的使用

在主功能菜单中选择手动方式，即可进入“手动”操作主菜单，若配上手轮也可操作手轮。

机床手动操作主要由手轮和机床控制面板共同完成，机床控制面板如图 3-1 所示。

图 3-1 机床控制面板

#### （一）、坐标轴移动

手动移动机床坐标轴的操作由手轮和机床控制面板上的方式选择、轴手动、增量倍率、进给修调、快速修调等按键共同完成。

#### （二）、主轴控制

主轴手动控制由机床控制面板上的主轴手动控制按键完成。

##### 1、主轴正转

在手动方式下，按一下“主轴正转”按键（指示灯亮），主电机以机床参数设定的转速正转，直到按压“主轴停止”或“主轴反转”按键。

## 2、主轴反转

在手动方式下，按一下“主轴反转”按键（指示灯亮），主电机以机床参数设定的转速反转，直到按压“主轴停止”或“主轴主转”按键。

## 3、主轴停止

在手动方式下，按一下“主轴停止”按键（指示灯亮），主电机停止运转。

注意：

“主轴正转”、“主轴反转”、“主轴停止”这几个按键互锁，即按一下其中一个（指示灯亮），其余两个会失效（指示灯灭）。

## 4、主轴点动

在手动方式下，可用“主轴正点动”、“主轴负点动”按键，点动转动主轴：

(1) 按压“主轴正点动”或“主轴负点动”按键（指示灯亮），主轴将产生正向或负向连续转动；

(2) 松开“主轴正点动”或“主轴负点动”按键（指示灯灭），主轴即减速停止。

### (二)、机床锁住

机床锁住禁止机床所有运动。

在手动运行方式下，按一下“机床锁住”按键（指示灯亮），此时再进行手动操作，显示屏上的坐标轴位置信息变化，但不输出伺服轴的移动指令，所以机床停止不动。

注意：

“机床锁住”按键只在手动运行方式下有效，在自动方式下无效。

### (二)、其他手动操作

#### 1、刀位转换

在手动方式下，按一下“手动选刀”按键，系统会预先计数转塔刀架将转动一个刀位，依次类推，按几次“手动选刀”按键，系统就预先计数转塔刀架将转动几个刀位，接着按一下“刀位转换”按键，转塔刀架才真正转动至指定的刀位。此为“预选刀”功能，可避免因换刀不当导致的撞刀。

操作示例如下：当前刀位为1号刀，要转换至4号刀，可连续按“手动选刀”键3此，然后按“刀位转换”键，4号刀就会转至正确的位置。

#### 2、冷却启动与停止

在手动方式下，按一下“冷却开停”按键，冷却液开（默认值为冷却液关），再按一下又为冷却液关，如此循环。

## 3.3.2 G00、G01 以及 F, S, T 指令

### 1. F 功能

F 功能指令用于控制切削进给量。在程序中，有两种使用方法。

(1) 每转进给量

编程格式 G95 F~

F 后面的数字表示的是主轴每转进给量，单位为 mm/r。

例：G95 F0.1 表示进给量为 0.1 mm/r。

(2) 每分钟进给量

编程格式 G94 F~

F 后面的数字表示的是每分钟进给量，单位为 mm/min。

例：G94 F200 表示进给量为 200mm/min。

2. S 功能

S 功能指令用于控制主轴转速。

编程格式 S~

S 后面的数字表示主轴转速，单位为 r/min。

例：S500 表示主轴转速为 500r/min。

3. T 功能

T 功能指令用于选择加工所用刀具。

编程格式 T~

T 后面通常用两位数表示所选刀具号码。T 后面用四位数字时，前两位是刀具号，后两位是刀具长度补偿号，又是刀尖圆弧半径补偿号。

例：T0303 表示选用 3 号刀及 3 号刀具长度补偿值和刀尖圆弧半径补偿值。T0300 表示取消刀具补偿。

4. M 功能

M00：程序暂停，可用 NC 启动命令 (CYCLE START) 使程序继续运行；

M01：计划暂停，与 M00 作用相似，但 M01 可以用机床“任选停止按钮”选择是否有效；

M03：主轴顺时针旋转；

M04：主轴逆时针旋转；

M05：主轴旋转停止；

M08：冷却液开；

M09：冷却液关；

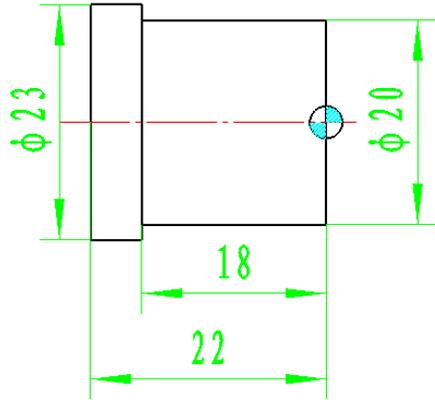
M30：程序停止，程序复位到起始位置。

5. G 功能

G00：快速定位 快移速度由机床参数设定，不能由 F 设定。一般用于加工前的快速定位或加工后的快速退刀；

G01：直线插补

## 2.4 实训指南



1. 练习图1，如图3-2所示。

### 三、实训内容

(一)、练习图1，如图3-2所示。

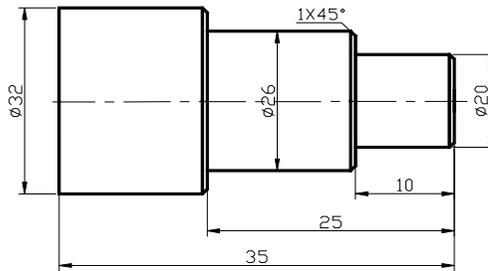


图3-2 单向台阶轴

加工步骤：

(1) 用三爪卡盘装夹工件，并将工件伸出 110mm 左右，工件夹紧后随手将卡盘扳手取下。

(2) 主轴调速手柄调到 750 转/分，用主轴正转开关启动主轴正转，用主轴停开关停止主轴旋转，用主轴反转开关启动主轴反转。

(3) 在数控系统操作面板上按“手动”键，实现手动操作。

(4) 练习进给速度修调开关的使用，熟悉手动进给速度。

(5) 练习点动移动的操作和点动量的选择；练习坐标值的清零。

(6) 完成图3-4 单向台阶轴的加工，加工工艺与在普通车床上加工一样。

(二)、练习图2，如图3-3所示。

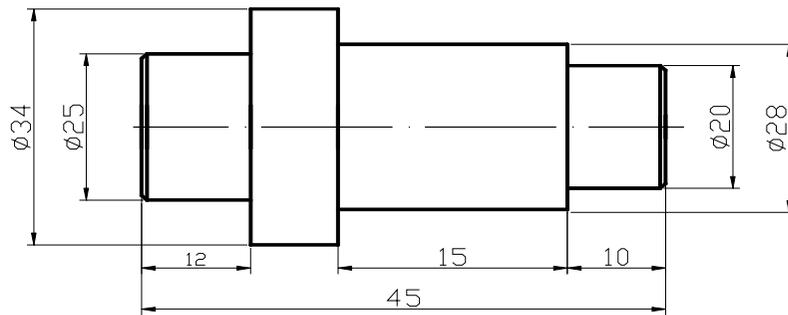


图 3-3 双向台阶轴

### (三)、练习要求

- (1) 由学生用手动操作独立完成零件的加工。
- (2) 按图纸精度要求完成图 3-4、图 3-5 台阶轴的加工。
- (3) 检查质量合格后切下工件交件待检。

### 四、容易产生的问题和注意事项

- (1) 车削前应检查工件装夹是否牢靠，刀具是否装夹紧固，卡盘扳手是否取下。
- (2) 车削前应检查主轴箱手柄位置。
- (3) 操作机床时，注意力要集中，以防拖板、刀架等碰撞。并将行程挡块调在安全位置，当发生超程时，起到保护机床的作用。
- (4) 手动操作移动刀具时，应注意调节进给速度修调开关，选择一个合适的快进速度。当刀具远离工件时可选择一个较快的速度；当刀具快要移动到工件附近时，降低快进速度，以防刀具速度过快撞到工件上，发生安全事故。
- (5) 点动操作时，在方向键上快速按一下后立即松开，如一直按住，则机床将连续运行直到手松开为止。
- (6) 数控系统接通电源后第一次启动主轴必须用 S 指令和 M3、M4 指令启动，主轴正、反转开关无效。
- (7) 不能由主轴正转直接变为主轴反转，必须要先停稳车后再变换转速。
- (8) 车床未停稳，不能使用量具测量工件。
- (9) 必须使用手动操作完成零件的加工，以提高手动操作熟练程度，形成技能。
- (10) 教师操作演示后，学生分组练习。

教学课题： 课题四 手动数据输入操作实训

教学目的：

- (1) 掌握常用的 G、M、F、S、T 指令的编程格式和使用
- (2) 熟练掌握手动数据输入操作的使用方法；
- (3) 熟练掌握用手动数据输入操作加工简单零件。

教学重点及处：

重点：掌握常用的 G、M、F、S、T 指令的编程格式和使用  
处理方法：多练习指令的使用

教学难点及处理方法：

难点：指令的熟练使用和车床加工工艺  
处理方法：先进行普车实习

教学方法：

集中讲授、示范操作、分散练习

教具：

数控车床

时间分配：

讲解示范 8 学时  
巡回指导 12 学时  
结束指导 4 学时

## 课题四 手动数据输入操作实训

### 一、课前准备

设备：数控车床 7 台

材料：Φ40 的木棒

工具：卡盘、刀架扳手各 7 套油壶 7 个

刀具：直头外圆刀、切断刀各 5 把

量具：300mm 钢尺、1—200mm 游标卡尺

### 二、常用的 G、M 功能和 F、S、T 功能指令

#### (一)、常用的 G 功能

##### 1. G00——快速定位

编程格式：G00 X (U) \_\_\_ Z (W) \_\_\_

G00 用于使刀具从当前位置以设定的快速度同时位移到目标位置。目标位置由 X (U)、Z (W) 来设定。不运动的坐标可以省略，省略的坐标轴不动作。

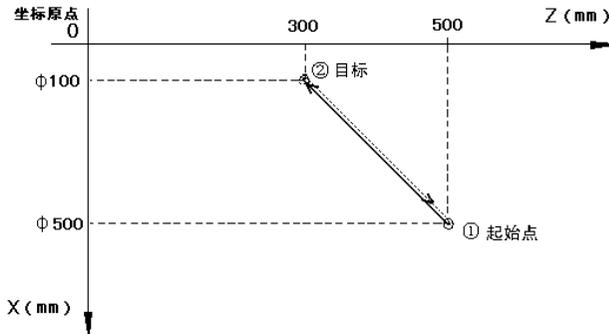


图 4-1 快速定位示意图

如图 5-1 所示，假设刀具原处于①点处，该点坐标值为  $X=500$ ， $Z=500$ ，如欲将刀具快进到②点处，该点坐标值为  $X=300$ ， $Z=100$ 。

绝对编程为： $G00\ X100\ Z300$

增量编程为： $G00\ U-400\ W-200$

刀具的运动轨迹如图实线所示。

假设刀具原处于②点处，欲将刀具快进到①点处，则：

绝对编程为： $G00\ X500\ Z500$

增量编程为： $G00\ U400\ W200$

刀具的运动轨迹如图虚线所示。

## 2. G01——直线插补

编程格式： $G01\ X(U)\ \_\ \_\ Z(W)\ \_\ \_\ F\ \_\ \_\$

G01 用于切削加工时的直线插补运动。使刀具从当前位置以 F 设置的进给速率直线运动至目标位置，目标位置由 X (U)、Z (W) 设置。不运动的坐标可以省略，省略的坐标不动作。

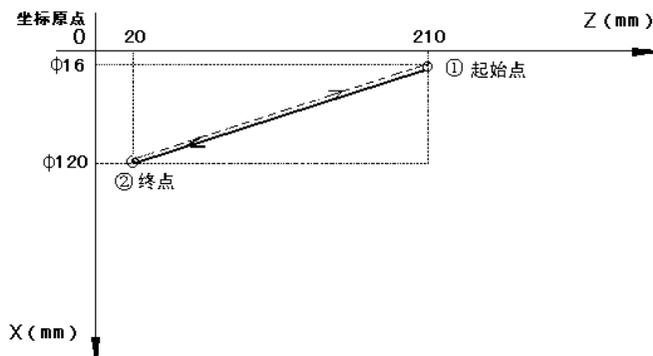


图 4-2 直线插补

如图 5-2 所示，假设原刀具处于①点处，设点①坐标值为 X=16，Z=210，并将刀具以 200 毫米/分的进给速率移动到点②处，该点坐标值为 X=120，Z=200。

绝对编程： G01 X120 Z20 F200

增量编程： G01 U104 W-190 F200

刀具轨迹如图实线所示。

假设刀具原处于②点处，将刀具以同样的速率移动到①点处则：

绝对编程： G01 X16 Z210 F200

增量编程： G01 U-104 W190 F200

刀具轨迹如图虚线所示。

进给速度 F 为模态，后续的 G01、G02、G03 等指令均可继承，直到被新指令终止。

### 3. G04——程序延时

编程格式：G04 P\_\_ \_\_

G04 用于程序执行过程中的延时，即当程序执行到本程序段时，系统按 P 设置的时间延时，延时结束后，继续执行下一段程序。在延时期间，系统处于暂停状态。

G04 的取值范围为 0.01 ~ 99.99 秒。

例如：G04 F2.0

执行到本程序段时，系统暂停工作。

在 G04 作用期间，暂停键对 G04 指令同样有效。

### 4. 尺寸单位选择 G20、G21

格式：G20

G21

说明：

G20：英制输入制式；

G21：公制输入制式；

两种制式下线性轴、旋转轴的尺寸单位如表 3.3 所示。

表 4-1 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   |

G20、G21 为模态功能，可相互注销，G21 为缺省值。

### 5. 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。对于线性轴，F 的单位依G20/G21 的设定而为 mm/min 或 in/min；对于旋转轴，F 的单位为度/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 的设定而为mm/r 或 in/r。这个功能只在主轴装有编码器时才能使用。

G94、G95 为模态功能，可相互注销，G94 为缺省值。

### 6. 绝对值编程 G90 与相对值编程 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：相对值编程，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。

绝对编程时，用G90 指令后面的X、Z 表示X 轴、Z 轴的坐标值；

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 为模态功能，可相互注销，G90 为缺省值。

例1. 如图3. 3. 1 所示，使用G90、G91 编程：要求刀具由原点按顺序移动到1、2、3 点，然后回到原点。



图4-3 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；而当图纸尺寸是以轮廓顶点之间的间距

给出时，采用相对方式编程较为方便。

G90、G91 可用于同一程序段中，但要注意其顺序所造成的差异。

#### 7. G92——建立工件坐标系

编程格式：G92 X\_\_ Z\_\_

在 G92 指令中，X、Z 值设定了当前刀具点位置在坐标系中的坐标值，从而重新确定了绝对坐标系中的原点位置。该指令应位于程序中的第一个程序段，X、Z 不可缺省。

当程序启动时，如果第一段程序是 G92 指令，那么执行后刀具不运动，只是当前点被置为 X、Z 的设定值，并默认与参考点重合。

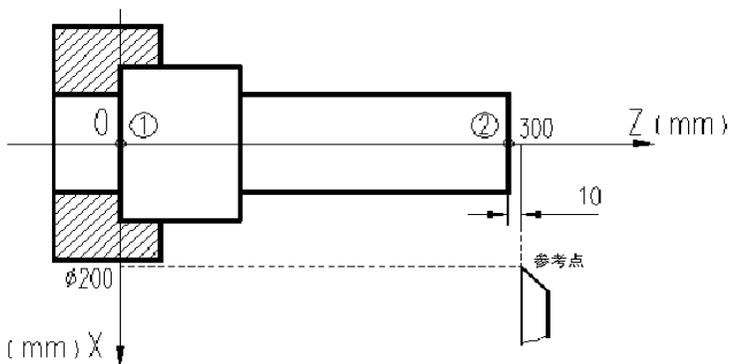


图 4-4 工件原点的确定

例如 1：N0010 G92 X200 Z300 到绝对坐标原点为①

例如 2：N0010 G92 X200 Z10 到绝对坐标原点为②

#### (二)、常用的 M 功能

辅助功能在编程中书写格式为 M\_\_，用字母 M 后跟两位数字表示。

M 功能的作用：

M 功能可用于控制程序的运行，控制机床的动作以及确定刀具状态。

下面就 M 功能作详细说明：

##### 1. M00—程序暂停

M00 用于程序运行时的暂停，按启动键，程序可继续执行。

##### 2. M02—程序结束

M02 表示加工程序结束。用户可以进行其它功能操作或重新启动加工。

##### 3. M03—主轴正转

M03 用于在程序中设定主轴顺时针方向转。

##### 4. M04—主轴反转

M04 用于在程序中设定主轴逆时针方向转。

##### 5. M05—主轴停止

M05 用于在程序中设定主轴停止旋转。

6. M07—冷却液开

M07 用于在程序中设定打开冷却液。

7. M09—冷却液关

M09 用于在程序中设定关闭冷却液。

8. M20—自动循环

M20 用于程序结束后，又自动从程序开头循环执行。

9. M30—主轴停止，程序结束

M30 表示程序结束，同时主轴停止旋转。

### (三)、F 功能

#### 1. 快进速度

用 G00 指令快速定位的速度是在参数设定中设定的，也是机床运行速度最高限。程序不需要指定。当使用倍率修调时，25%、50%、75%、100%有效。

#### 2. 切削速度

用指令 G01、G02、G03 等切削运动时，其进给的速度是由 F 和后面的数值给定的。设置范围为 1—9999.999 毫米/分。倍率修调 25%~200%，其进给速度最高不超过快进速度。手动方式下，进给倍率开关指以手动连续进给的速度。切削进给通常是控制切线方向的速度，使之达到指定的速度的值。

### (四)、S 功能

编程格式： S \_ \_ \_

本功能由 S 及后面四位数字组成。

### (五)、T 功能

通常加工一个零件总是需要计算所使用刀具的长度和半径，使加工按实际需要的轮廓切削。若事先将刀具的长度及半径存贮到 CNC 的刀具参考表中，则任何时候选用刀具都能通过程序指令（例 T0303）自动进行换刀，自动进行长度补偿，自动半径补偿（G41/G42/G40），而无需进行烦琐的计算。

编程格式： T \_ \_ \_

本指令由 T 和后面四位数组成，前两位数字可以直接指令换刀及按所换刀号取得刀具半径补偿，后面两位数字直接指令刀具长度补偿。

在程序中刀具补偿的书写格式为 T\_ \_ \_ \_，用字母 T 及后面四位数字表示，前面两位是刀具号，最多可设 10 个（01~10），00 表示不取刀号及半径，即默认半径为 0。一旦选定刀号，则系统自动换刀，并默认对应半径为当前半径补偿值。

后两位是刀具长度补偿号，也是 10 组（01~10）。00 表示取消刀补。

当 T00\_ \_ 时，表示取消刀具号及某半径，但无换刀动作，当 T\_ \_00 时，表示执行取消原来刀具长度补偿，返回对刀参考点。

在刀具补偿中的参数设置表中，刀具半径与刀具号是一一对应的。但

刀具长度补偿号可以不对应刀具号，（例 T0203）此适用一把刀对应多组补偿量情况（如 T0101， T0102）。

### 三、手动数据输入的面板操作

在图 2-2 所示的主操作界面下，按 **F3** 键进入 MDI 功能子菜单。命令行与菜单条的显示如图 4-4 所示。



图 4-5 MDI 功能子菜单

在 MDI 功能子菜单下，按 **F6** 进入 MDI 运行方式，命令行的底色变成了白色，并且有光标在闪烁，如图 4-5 所示。这时可以从 NC 键盘输入并执行一个 G 代码指令段，即“MDI 运行”。

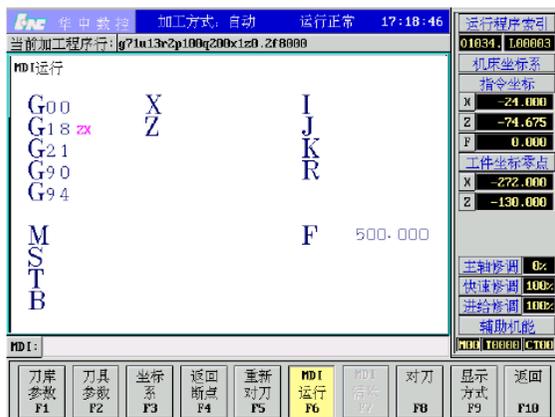


图 4-6 MDI 运行

注意：

自动运行过程中，不能进入 MDI 运行方式，可在进给保持后进入。

#### 1、输入 MDI 指令段

MDI 输入的最小单位是一个有效指令字。因此输入一个 MDI 运行指令段可以有下述两种方法：

- (1) 一次输入，即一次输入多个指令字的信息；
- (2) 多次输入，即每次输入一个指令字信息。

例如：要输入“G00 X100 Z1000” MDI 运行指令段，可以：

(1) 直接输入“G00 X100 Z1000”并按 Enter 键，图 3.5.2 显示窗口内关键字 G、X、Z 的值将分别变为 00、100、1000；

(2) 先输入“G00”并按 Enter 键，图 3.5.2 显示窗口内将显示大字符“G00”再输入“X100”并按 Enter 键，然后输入“Z1000”并按 Enter 键，显示窗口内将依次显示大字符“X100”、“Z1000”。

在输入命令时，可以在命令行看见输入的内容，在按 **Enter** 键之前发现输入错误，可用 **BS**、**▶**、**◀**键进行编辑；按 **Enter** 键后，系统发现输入错误，会提示相应的错误信息，此时可按 **F2** 键将输入的数据清除。

## 2、运行 MDI 指令段

在输入完一个 MDI 指令段后，按一下操作面板上的“循环启动”键，系统即开始运行所输入的 MDI 指令。

如果输入的 MDI 指令信息不完整或存在语法错误，系统会提示相应的错误信息，此时不能运行 MDI 指令。

## 3、修改某一字段的值

在运行 MDI 指令段之前，如果要修改输入的某一指令字，可直接在命令行上输入相应的指令字符及数值。

例如：在输入“X100”并按 **Enter** 键后，希望 X 值变为 109，可在命令行上输入“X109”并按 **Enter** 键。

## 4、清除当前输入的所有尺寸字数据

在输入 MDI 数据后，按 **F2** 键可清除当前输入的所有尺寸字数据（其他指令字依然有效），显示窗口内 X、Z、I、K、R 等字符后面的数据全部消失。此时可重新输入新的数据。

## 5、停止当前正在运行的 MDI 指令

在系统正在运行 MDI 指令时，按 **F1** 键可停止 MDI 运行。

## 四、实训内容

（一）、练习图 1，如图 5-7 所示。

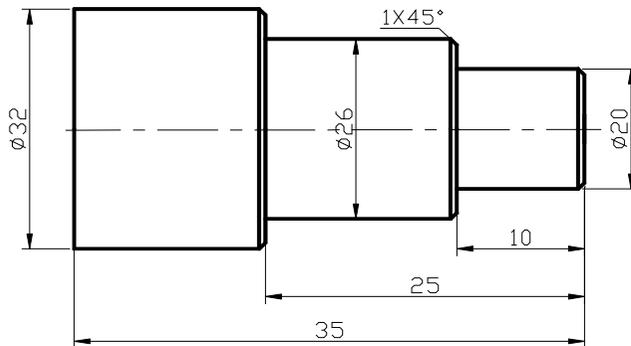


图 4-7 单向台阶轴

（二）、练习图 2，如图 5-8 所示。

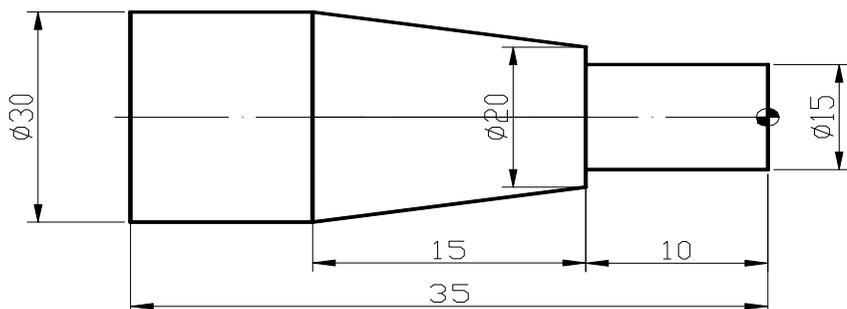


图 4-8 锥轴

### (三)、练习要求

- (1) 由学生用手动数据输入操作独立完成零件的加工。
- (2) 按图纸精度要求完成图 5-7、图 5-8 台阶轴的加工。
- (3) 检查质量合格后切下工件交件待检。

### 五、容易产生的问题和注意事项

- (1) 用 G00 编程时，也可以写成 G0。类似地，像 G01、G02、G03、G04 等指令，前面的 0 均可省略。
- (2) 快进速度在参数设置中设定，不能使用 F 指令。
- (3) 系统 CNC 计算 R 是依据相对起点坐标的 I、K 值计算的。
- (4) 系统过象限时自动间隙补偿，并无停顿插补。
- (5) 速度设定范围同直线插补 G01 指令（1~9999.999 毫米），并可模态继承 G01 的速度，省略编程 F 指令。
- (6) 当 G01、G02、G03 指令连用时，F 指令只需设定一次，后续的 F 指令可以省略，即保持模态，直到新值取代。
- (7) 在用手动数据输入操作加工零件前，数控系统的加工原点与编程原点必须重合，如果不重合一定不能加工，否则会发生安全事故。
- (8) 用手动数据输入操作加工零件时，如果切削速度不合适，可用进给速度修调开关调节。
- (9) 教师操作演示后，学生分组练习。

## 第5次课

教学课题： 课题五 数控车床程序的编制

教学目的：

- (1) 了解数控车床的编程特点和掌握数控编程步骤；
- (2) 掌握工件坐标系的设定；
- (3) 熟练掌握台阶轴及带外锥的零件的数控程序编制方法；
- (4) 熟悉“编程序”主菜单的操作界面；

教学重点及处：

重点：熟练掌握数控程序编辑的方法

处理方法：多练习编程

教学难点及处理方法：

难点：车床加工工艺

处理方法：先进行普车实习

教学方法：

集中讲授、示范操作、分散练习

教具：

数控车床

时间分配：

讲解示范 3 学时

巡回指导 0.5 学时

结束指导 0.5 学时

## 课题五 数控车床程序的编制

### 一、数控机床的坐标系与原点

为了保证数控机床的正确运动，避免工作的不一致性，简化编程和便于培训编程人员，ISO 和我国都统一了数控机床坐标轴的代码及其运动的正、负方向，这给数控系统和机床的设计、使用和维修带来了极大的方便。

#### (一)、坐标系的确定原则

我国机械工业部 1982 年颁布了 JB3052—82 标准，其中规定的命名原

则如下：

(1) 刀具相对于静止工件而运动的原则 这一原则使编程人员能在不知道是刀具移近工件还是工件移近刀具的情况下，就可依据零件图样，确定机床的加工过程。

(2) 标准坐标(机床坐标)系的规定 在数控机床上，机床的动作是由数控系统来控制的，为了确定机床上的成形运动和辅助运动，必须先确定机床上运动的方向和运动的距离，这就需要建立一个坐标系才能实现，这个坐标系就称为机床坐标系。

标准的机床坐标系是一个右手笛卡尔直角坐标系，如图4-1所示。在图中，大拇指的方向为X轴的正方向，食指为Y轴的正方向，中指为Z轴正方向。图4-2、图4-3分别给出了卧式车床和立式铣床的标准坐标系。根据右手螺旋方法，我们可以很方便地确定出A、B、C三个旋转坐标的方向。

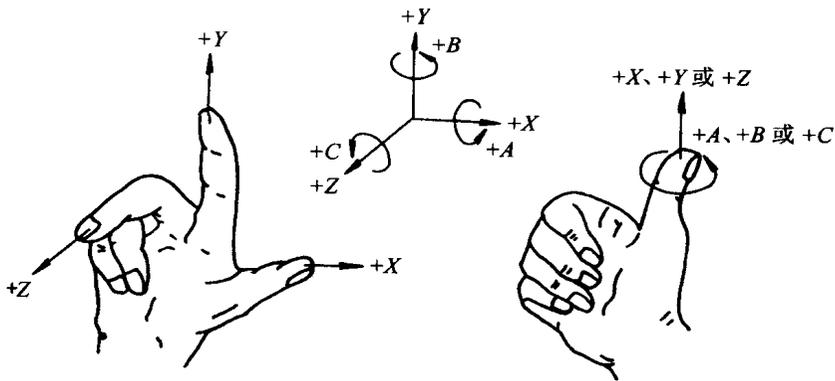


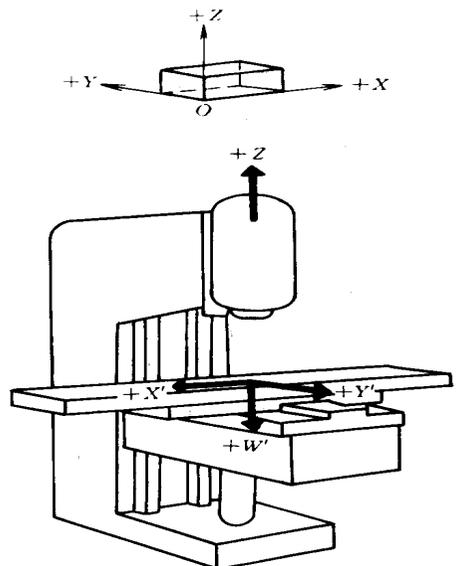
图5-1 右手笛卡尔直角坐标系

(3) 运动方向 数控机床的某一部件运动的正方向，是增大工件和刀具之间距离的方向。

## (二)、坐标轴的指定

### 1. Z坐标

Z坐标的运动由传递切削力的主轴决定，与主轴轴线平行的坐标轴即为Z坐标。对于车床、磨床和其它成形表面的机床是主轴带动工件旋转；对于铣床、镗床、钻床等是主轴带动刀具旋转。如图4-2、图4-3所示。如果没有主轴(如牛头刨床)，Z轴垂直于工件装夹平面。



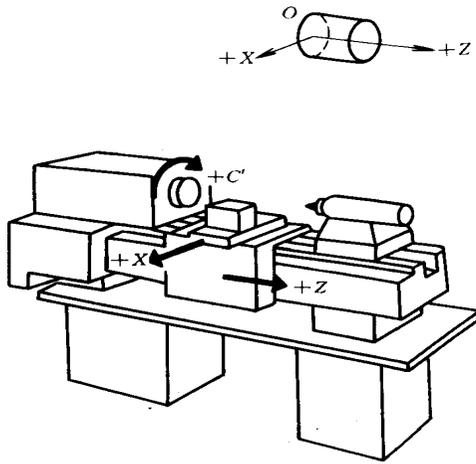


图 5-2 数 控 车 床

图 5-3 数控立式升降台铣床

Z 坐标的正方向为刀具远离工件的方向。

### 2. X 坐标

X 坐标一般是水平的，它平行于工件的装夹平面。这是在刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。对于工件旋转的机床(如车床、磨床等)，X 坐标的方向是在工件的径向上，

且平行于横向滑板，刀具离开工件

旋转中心的方向为 X 轴正方向，如图 4-2 所示。对于刀具旋转的机床(如铣床、镗床、钻床等)，从刀具向立柱看，右手方向为 X 运动的正方向，如图 4-3 所示。

### 3. Y 坐标

Y 坐标垂直于 X、Z 坐标轴。Y 运动的正方向根据 X 和 Z 坐标的正方向，按右手笛卡尔直角坐标系来判断。

### (三)、编程坐标系

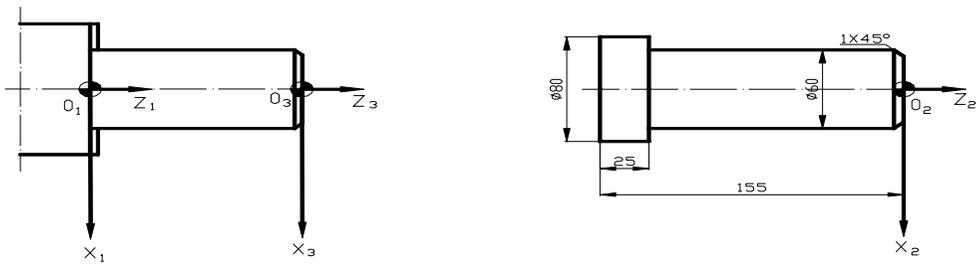
编程坐标系是编程人员在编程过程中使用的，由编程人员以工件图样上的某一固定点为原点所建立的坐标系，又称为工件坐标系或工作坐标系，编程尺寸都按工件的尺寸确定。

### (四)、坐标系的原点

在确定了机床各坐标轴及方向后，还应进一步确定坐标系原点的位置。

#### 1. 机床原点

机床原点是指在机床上设置的一个固定的点，即机床坐标系的原点。它在机床装配、调试时就已确定下来了，是数控机床进行加工运动的基准参考点。在数控车床上，一般取在卡盘端面与主轴中心线的交点处。如图 4-4a 所示。图中  $O_1$  即为机床原点。



a)

b)

图 5-4 数控车床坐标系原点

a) 数控车床机床原点及加工原点 b) 编程原点

## 2. 编程原点

编程原点是指根据加工零件图样选定的编制零件程序的原点，即编程坐标系的原点。如图 4-4b 中所示的  $O_2$  点。

## 3. 加工原点

加工原点也称程序原点。是指零件被装夹好后，相应的编程原点在机床原点坐标系中的位置。在加工过程中，数控机床是按照工件装夹好后的加工原点及程序要求进行自动加工的。加工原点如图 4-4a 中的  $O_3$  所示。

## 4. 机床参考点

机床参考点是指刀架中心退离距机床原点最远的一个固定点。该点在机床制造厂出厂时已调好，并将数据已输入到数控系统中。一般在车床上使用参考点。

## 二、编程格式

### (一)、数控编程中的有关规则及代码

为了满足设计、制造、维修、和普及的需要，在输入代码、坐标系统、加工指令、辅助功能及程序格式等方面，国际上已形成了两种通用的标准，即国际标准化组织 (ISO) 标准和美国电子工程协会 (EIA) 标准。我国机械工业部根据 ISO 标准制定了 JB3050—82《数字控制机床用的七单位编码字符》、JB3051—82《数字控制坐标和运动方向的命名》、JB3208—83《数字控制机床穿孔带程序段格式中的准备功能 G 和辅助功能 M 代码》。但是由于各个数控机床生产厂家所用的标准尚未完全统一，其所用的代码、指令及其含义不完全相同，因此，在数控编程时必须按所用数控机床编程手册中的规定进行。目前，数控系统中常用的代码有 ISO 代码和 EIA 代码。

### (二)、字与字的功能类别

字是程序字的简称，在这里它是机床数字控制的专门术语。它的定义是：一套有规定次序的字符，可以作为一个信息单元存储、传递和操作，

如 X160 就是一个“字”。一个字所含的字符个数叫做字长。常规加工程序中的字都是由一个英文字母与随后的若干位 10 进制数字组成。这个英文字母称为地址符。地址符与后续数字间可加正、负号。程序字按其功能的不同可分为 7 种类型，它们分别称为顺序号字、准备功能字、尺寸字、进给功能字、主轴转速功能字、刀具功能字和辅助功能字。

### 1. 顺序号字

它也叫程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首，它的地址符是 N，后续数字一般 2~4 位。顺序号可以用在主程序、子程序和宏程序中。

(1) 顺序号的作用 首先顺序号可用于对程序的校对和检索修改。其次在加工轨迹图的几何节点处标上相应程序段的顺序号，就可直观地检查程序。顺序号还可作为条件转向的目标，更重要的是，标注了程序段号的程序可以进行程序段的复归操作，这是指操作可以回到程序的(运行)中断处重新开始，或加工从程序的中途开始的操作。

(2) 顺序号的使用规则 数字部分应为正整数。顺序号的数字可以不连续，也不一定从小到大顺序排列。一般都将第一程序段冠以 N10，以后以间隔 10 递增的方法设置顺序号，这样，在调试程序时如需要在 N10 和 N20 之间加入两个程序段，就可以用 N11、N12。

### 2. 准备功能字

准备功能字地址符是 G，所以又称 G 功能或 G 指令。它的定义是建立机床或控制系统工作方式的一种命令。准备功能字中的后续数字大多为两位正整数。随着数控机床功能的增加，G00~G99 已不够用，所以有些数控系统的 G 功能字中的后续数字已经使用三位数。

### 3. 尺寸字

尺寸字也叫尺寸指令。尺寸字在程序段中主要用来指令机床上刀具运动到达的坐标位置，表示暂停时间等的指令也列入其中。尺寸字由地址符、+、-符号及绝对(或增量)数值构成。尺寸字的“+”可省略。尺寸字的地址码有 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、A、B、C、I、J、K、D、H 等。

### 4. 进给功能字

进给功能字地址符是 F，所以又称 F 功能或 F 指令。它的功能是指令切削的进给速度。由地址符和后续若干位数字构成。对于车床，可分为每分钟进给和主轴每转进给两种。

### 5. 主轴转速功能字

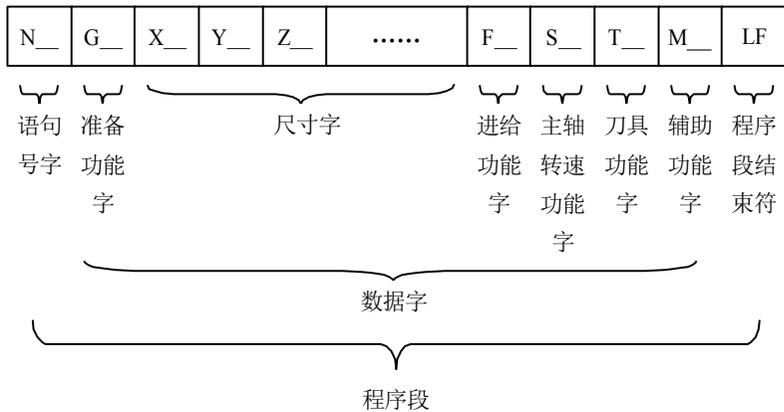
主轴转速功能字用来指定主轴的转速，单位为 r/min，地址符使用 S，所以又称为 S 功能或 S 指令。

### 6. 刀具功能字

刀具功能字用地址符 T 及随后的数字表示，所以也称为 T 功能或 T 指令。T 指令的功能含义主要是用来指定加工时使用的刀具号。对于车床，其后的数字还兼作指定刀具长度(含 X、Z 两个方向)补偿和刀尖半径补偿用。



字-地址程序段格式如下：



字-地址程序段格式由语句号、数据字和程序段结束符组成。各字前有地址，字的排列顺序要求不严格，数据的位数可多可少，不需要的字以及与上一级程序段相同的续效字可以不写。该格式的优点是程序简短、直观以及容易检查和修改。因此，该格式目前被广泛使用。

例如：N30 G01 X35 Z-60 F200 S350 T22 M30

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

## 第 6 次 课

教学课题：                  课题六  对刀操作实训

教学目的：

- (1) 了解刀具补偿的相关概念；
- (2) 熟悉“刀偏表”功能子菜单的操作界面和使用；
- (3) 熟悉“刀补表”菜单的操作界面和使用；
- (4) 熟练掌握对刀操作的方法和技巧。

教学重点及处：

重点：熟练掌握对刀操作的方法和技巧  
 处理方法：讲清楚刀具补偿的相关基本概念

教学难点及处理方法：

难点：熟练掌握对刀操作的方法和技巧  
 处理方法：多练习对刀操作

教学方法：

集中讲授、示范操作、分散练习

教具：

数控车床

时间分配：

讲解示范 2 学时

巡回指导 3 学时

结束指导 1 学时

## 课题六 对刀操作实训

### 一、刀具补偿的相关基本概念

刀具的补偿包括刀具的偏置和磨损补偿，刀尖半径补偿。刀具的偏置和磨损补偿，是由 T 代码指定的功能，而不是由 G 代码规定的准备功能。

刀具偏置补偿可以使刀具快速移动，使刀具与工件的距离和上一把刀保持一致。寻找各刀需要长度补偿的过程称为对刀。

对刀方法主要有：一般对刀、机外对刀仪对刀、ATC 对刀和自动对刀四种。经济型数控车床都采用一般对刀。一般对刀是指在机床上作手动对刀。手动对刀是通过试切零件来对刀。手动对刀要较多地占用机床时间，此方法用在数控车床上较为落后。

#### (一)、刀具偏置补偿和刀具磨损补偿

我们编程时，设定刀架上各刀在工作位时，其刀尖位置是一致的。但由于刀具的几何形状、及安装的不同，其刀尖位置是不一致的，其相对于工件原点的距离也是不同的。因此需要将各刀具的位置值进行比较或设定，称为刀具偏置补偿。刀具偏置补偿可使加工程序不随刀尖位置的不同而改变。刀具偏置补偿有两种形式：

##### 1. 相对补偿

如图图7-1所示，在对刀时，确定一把刀为标准刀具，并以其刀尖位置 A 为依据建立坐标系。这样，当其它各刀转到加工位置时，刀尖位置 B 相对标刀刀尖位置 A 就会出现偏置，原来建立的坐标系就不再适用，因此应对非标刀具相对于标准刀具之间的偏置值  $\Delta x$ 、 $\Delta z$  进行补偿。使刀尖位置 B 移至位置 A。本系统是通过控制机床拖板的移动实现补偿的。

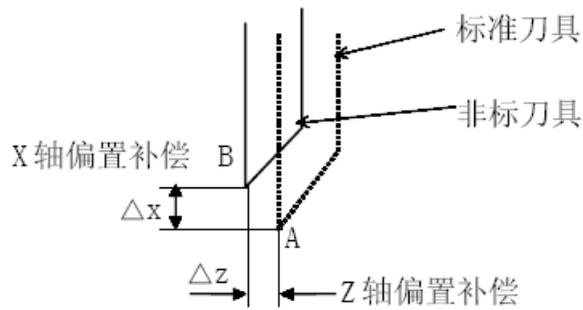


图6-1 刀具偏置的相对补偿形式

标准刀具偏置值为机床回到机床零点时，工件坐标系零点相对于工作位上标准刀具刀尖位置的有向距离。

### 2. 绝对补偿

即机床回到机床零点时，工件坐标系零点，相对于刀架工作位上各刀具刀尖位置的有向距离。当执行刀偏补偿时，各刀以此值设定各自的加工坐标系。见图7-2。

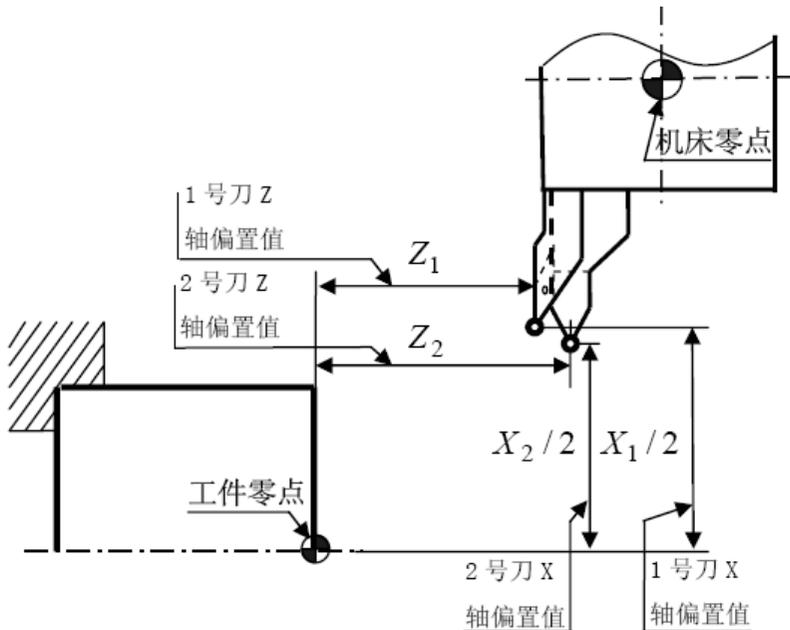


图6-2 刀具偏置的绝对补偿形式

刀具使用一段时间后磨损，也会使产品尺寸产生误差，因此需要对其进行补偿。该补偿与刀具偏置补偿存放在同一个寄存器的地址号中。各刀的磨损补偿只对该刀有效（包括标刀）。

刀具的补偿功能由T 代码指定，其后的4 位数字分别表示选择的刀具号和刀具偏置补偿号。T 代码的说明如下：

TXX      +      XX  
 刀具号      刀具补偿号

刀具补偿号是刀具偏置补偿寄存器的地址号，该寄存器存放刀具的X轴和Z轴偏置补偿值、刀具的X轴和Z轴磨损补偿值。

T加补偿号表示开始补偿功能。补偿号为00表示补偿量为0，即取消补偿功能。

系统对刀具的补偿或取消都是通过拖板的移动来实现的。

补偿号可以和刀具号相同，也可以不同，即一把刀具可以对应多个补偿号（值）。

如图7-3所示，如果刀具轨迹相对编程轨迹具有X、Z方向上补偿值（由X、Z方向上的补偿分量构成的矢量称为补偿矢量），那么程序段中的终点位置加或减去由T代码指定的补偿量（补偿矢量）即为刀具轨迹段终点位置。

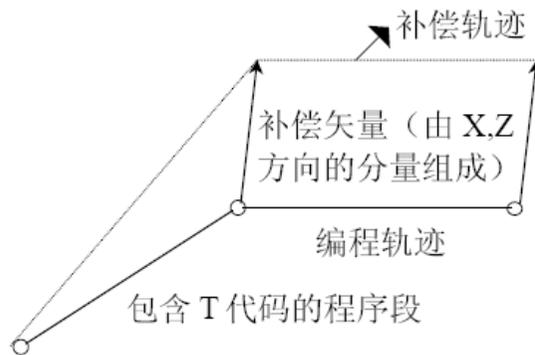


图6-3 经偏置磨损补偿后的刀具轨迹

例21 如图7-4，先建立刀具偏置磨损补偿，后取消刀具偏置磨损补偿。

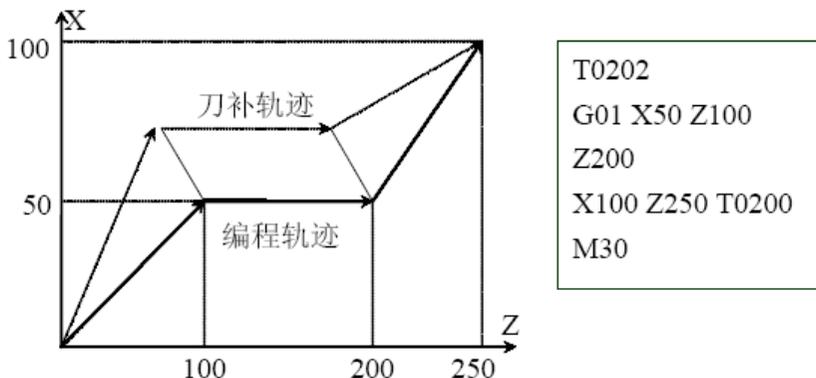


图6-4 刀具偏置磨损补偿编程

(二)、刀尖圆弧半径补偿G40, G41, G42

格式： $\left. \begin{matrix} G40 \\ G41 \\ G42 \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} G00 \\ G01 \end{matrix} \right\} X\_Z\_$

说明：

数控程序一般是针对刀具上的某一点即刀位点，按工件轮廓尺寸编制的。车刀的刀位点一般为理想状态下的假想刀尖A点或刀尖圆弧圆心O点。但实际加工中的车刀，由于工艺或其他要求，刀尖往往不是一理想点，而是一段圆弧。当切削加工时刀具切削点在刀尖圆弧上变动；造成实际切削点与刀位点之间的位置有偏差，故造成过切或少切。这种由于刀尖不是一理想点而是一段圆弧，造成的加工误差，可用刀尖圆弧半径补偿功能来消除。

刀尖圆弧半径补偿是通过G41、G42、G40 代码及T 代码指定的刀尖圆弧半径补偿号，加入或取消半径补偿。

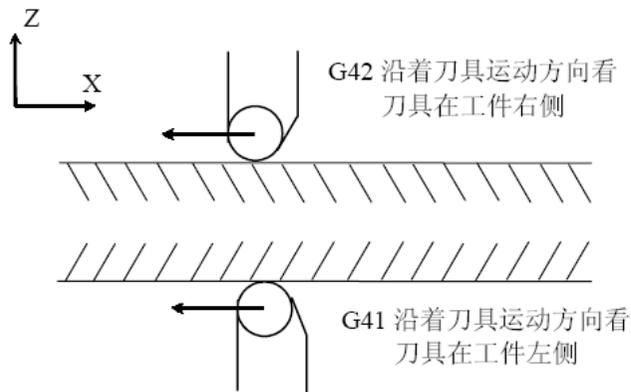
G40：取消刀尖半径补偿；

G41：左刀补(在刀具前进方向左侧补偿)，如图7-5；

G42：右刀补(在刀具前进方向右侧补偿)，如图7-5；

X, Z：G00/G01 的参数，即建立刀补或取消刀补的终点；

注意：G40、G41、G42 都是模态代码，可相互注销。



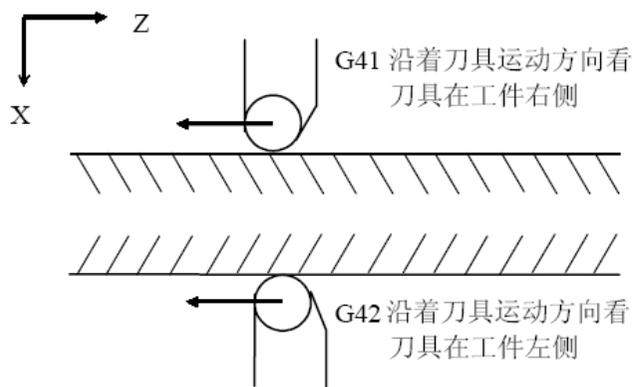


图6-5 左刀补和右刀补

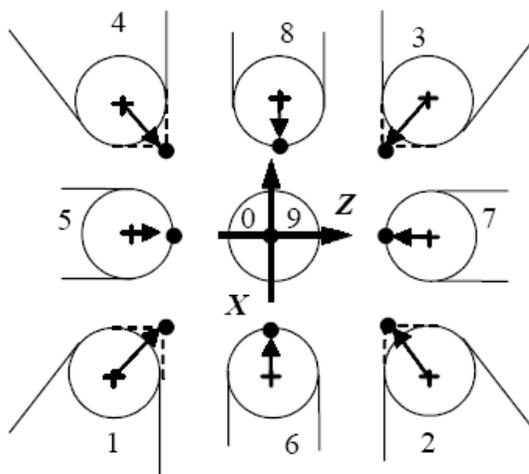
注意：

(1) G41/G42 不带参数，其补偿号(代表所用刀具对应的刀尖半径补偿值)由T 代码指定。其刀尖圆弧补偿号与刀具偏置补偿号对应。

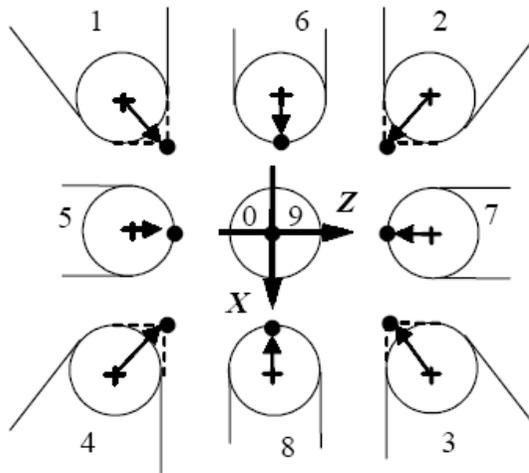
(2) 刀尖半径补偿的建立与取消只能用G00 或G01 指令，不得是G02 或G03。

刀尖圆弧半径补偿寄存器中，定义了车刀圆弧半径及刀尖的方向号。

车刀刀尖的方向号定义了刀具刀位点与刀尖圆弧中心的位置关系，其从0~9 有十个方向，如图7-6 所示。



●代表刀具刀位点A, + 代表刀尖圆弧圆心O



●代表刀具刀位点A, + 代表刀尖圆弧圆心O

图6-6 车刀刀尖位置码定义

## 二、对刀操作

刀具偏置补偿可以使刀具快速移动, 使刀具与工件的距离和上一把刀保持一致。寻找各刀需要长度补偿的过程称为对刀。

对刀方法主要有: 一般对刀、机外对刀仪对刀、ATC对刀和自动对刀四种。经济型数控车床都采用一般对刀。一般对刀是指在机床上作手动对刀。手动对刀是通过试切零件来对刀。手动对刀要较多地占用机床时间, 此方法用在数控车床上较为落后。

下面, 我们以华中世纪星 HNC-21T 数控系统为例讲解对刀方法。

刀具偏置补偿数据的设置有两种方法: 一种是手工填写, 另一种是采用试切法, 由系统自动生成。



图6-7 刀偏表编辑

### (一)、试切法确定刀具偏置值

试切法指的是通过试切，由试切直径和试切长度来计算刀具偏置值的方法。根据是否采用标准刀具它又可以分为绝对刀偏法和相对刀偏法。

#### 1.绝对刀偏法

绝对刀偏法是指，每一把刀具独立建立自己的补偿偏置值，如图7-7中该值将会反映到工件坐标系上(注绝对刀偏法时不存在标准刀具)。

绝对刀偏法对刀的具体步骤如下：

(1) 用光标键↑、↓将蓝色亮条移动到要设置刀具的行；

(2) 用刀具试切工件的外径，然后沿Z轴方向退刀（注意：在此过程中不要移动X轴）；

(3) 测量试切后的工件外径，将它手工填入图4.2.2中的“试切直径”这一栏。这样，X偏置就设置好了；

(4) 用刀具试切工件的端面，然后沿X轴方向退刀；

(5) 计算试切工件端面到该刀具要建立的工件坐标系的零点位置的有向距离，将该值填入到图4.1.2中的“试切长度”这一栏。这样这把刀的Z偏置就设置好了。

如果要设置其余的刀具，就重复以上步骤。

**注意：**

(1) 对刀前，机床必须先回机械零点；

(2) 试切工件端面到该刀具要建立的工件坐标系的零点位置的有向距离也就是试切工件端面在要建立的工件坐标系中的Z轴坐标值；

(3) 设置的工件坐标系X轴零点偏置=机床坐标系X坐标-试切直径，因而试切工件外径后，不得移动X轴；

(4) 设置的工件坐标系Z轴零点偏置=机床坐标系Z坐标-试切长度，因而试切工件端面后，不得移动Z轴。

## 2. 相对刀偏法

相对刀偏法是指有标准刀具，而其余的每一把刀具的偏置是相对于标准刀具的偏置。该值将不会反映到工件坐标系上，此时只建立一个由标刀确定的工件坐标系。其具体操作步骤如下：

(1) 先将标刀对刀。如果我们要选择作为标刀的刀具已经是标刀，我们就要将光标键↑、↓移到标刀位置，按F5键取消标刀，否则填入“试切直径”和“试切长度”参数时，系统会出现如图7-8所示提示：



图6-8 相对刀偏法标刀对刀提示

(2) 按照绝对对刀法(共五个步骤)，对好要作为标刀的刀具偏置，建立该刀具所确定的工件坐标系；

(3) 设置标刀；按光标键↑、↓移动蓝色亮条到已对好刀的刀具位置，按F5键设置该刀具为标刀，如图7-9所示。



图6-9 标刀选择

(4) 选择要对刀的刀具，按光标键↑、↓移动蓝色亮条到要对刀的刀具位置；

(5)按照绝对对刀法(共五个步骤), 对好所选的刀具偏置。

如果要设置其余的刀具, 就重复以上(4)、(5)步骤。这样就对好所有的刀具偏置。

**注意:**

在填写非标刀具的试切长度时, 是指非标刀具试切工件端面在标刀已建立工件坐标系中的Z 轴坐标值。

(二)、直接填写刀具偏置值

直接填写刀具偏置值就是参照标准刀具来直接填写刀具偏置值。其步骤如下:

(1) 执行相对刀偏中的步骤(1)、(2)、(3)填好标刀的偏置;

(2) 系统在手摇工作方式下, 用基准刀具对准工件的一基准点, 如图7-10的A 点;

(3) 按F1 “ X 轴置零”, 则屏幕上显示的X 轴坐标清零, 按F2 “Z 轴置零”则屏幕上显示的Z 轴坐标清零, 按F3 “ XZ 置零”则屏幕上显示的X Z 轴坐标清零;

(4) 使刀具退刀;

(5) 选择要对刀的刀具, 按光标键↑、↓移动蓝色亮条到要对刀的刀具位置, 手动换刀。同样旋转手摇脉冲发生器, 使刀尖对基准点A 。这时屏幕上显示的坐标值, 就是该刀对基准刀的偏置值 $\Delta X$ 、 $\Delta Z$ ;

(6) 将 $\Delta X$ 、 $\Delta Z$ 分别填入已选刀具的X 偏置和Z 偏置。

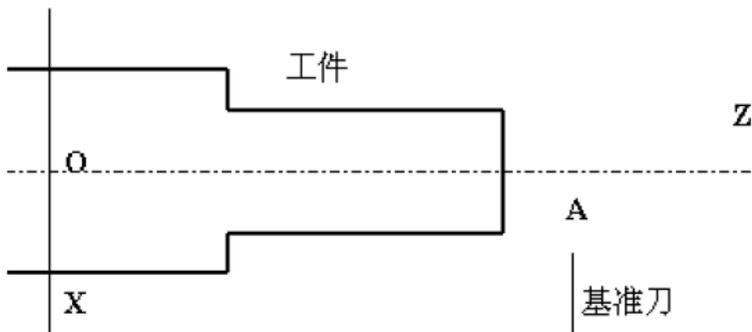


图6-10 测量刀偏数据

(二)、刀补的校验

所有刀具对刀完成后, 要进行刀补的校验。校验步骤如下:

(1) 编写一个校验刀补的程序, 在单段方式下执行该程序, 建立起加工坐标系;

(2) 对一号刀具进行试切和测量, 看测量的试切直径与面板上的工件坐标系X 轴显示的坐标值是否一致(注意: 测量退刀时只退Z 轴, 不能退X 轴)。一致, 则说明一号刀具X 轴的刀补值准确; 反之, 则说明一号刀具X 轴的刀补值不准确;

(3) 执行 G00 Z0, 再执行 G01 X10 F80, 看刀尖是否完全与已加工端面重合。重合, 则说明一号刀具 Z 轴的刀补值准确; 反之, 则说明一号刀具 Z 轴的刀补值不准确;

(4) 对所有已完成对刀的刀具依次重复(1)、(2)、(3)步骤, 即完成刀补的校验。

刀补值不正确, 必须重新对刀。

### 三、实训内容

(1) 熟悉“刀偏表”功能子菜单的操作界面, 并练习“刀偏表”功能子菜单的操作。

(2) 练习华中世纪星 HNC-21T 数控系统的手动对刀操作, 并熟练掌握。

### 四、容易产生问题和注意事项

(1) 对刀时, 需要将主轴正转, 否则无法试车削。

(2) 手动退刀时应注意方向性, 避免刀具撞上工件。

(3) 所有刀具对刀完毕后, 应校验各把刀的刀补是否正确。

(4) 注意在换刀前必须将刀具退到换刀安全区域, 否则执行换刀时刀具会和工件发生碰撞。

(5) 教师讲解和演示操作结束后, 学生分组练习, 每一位同学都必须熟练掌握对刀操作。

教学课题： 课题七 自动加工实训

教学目的：

- (1) 掌握回零功能的使用；
- (2) 掌握数控程序的调试方法。
- (3) 熟练掌握自动加工操作的方法和技巧；

教学重点及处：

- 重点：(1) 掌握数控程序的调试方法。  
(2) 熟练掌握自动加工操作的方法和技巧

处理方法：多练习

教学难点及处理方法：

- 难点：掌握数控程序的调试方法  
处理方法： 熟练掌握编程和加工工艺

教学方法：

集中讲授、示范操作、分散练习

教具：

数控车床

时间分配：

- 讲解示范 6 学时  
巡回指导 10 学时  
结束指导 2 学时

## 课题七 自动加工实训

### 一、确定加工坐标系原点位置的操作

在数控车削加工中，应首先确定零件的加工原点，以建立准确的加工坐标系，并确定刀具起始点位置。

加工原点也称程序原点。是指零件被装夹好后，相应的编程原点在机床原点坐标系中的位置。在加工过程中，数控机床是按照工件装夹好后的加工原点及程序要求进行自动加工的。因此，编程人员在编制程序时，只要根据零件图样就可以选定编程原点、建立编程坐标系、计算坐标值，而不必考虑工件毛坯装夹的实际位置。对加工人员来说，则应在装夹工件、调试程序时，确定加工原点的位置，并在数控系统中给以设定，这样数控机床才能按照准确的加工坐标系位置开始加工。

确定加工坐标系原点位置的操作常采用“试切-测量-调整”的方法。

### 二、自动加工

#### (一)、程序校验

程序校验用于对调入加工缓冲区的程序文件进行校验，并提示可能的错误。

以前未在机床上运行的新程序在调入后最好先进行校验运行，正确无误后再启动自动运行。程序校验运行的操作步骤如下：

- (1) 调入要校验的加工程序；
- (2) 按机床控制面板上的“自动”或“单段”按键进入程序运行方式；
- (3) 在程序菜单下，按 F5 键，此时软件操作界面的工作方式显示改为“校验运行”；
- (4) 按机床控制面板上的“循环启动”按键，程序校验开始；
- (5) 若程序正确，校验完后，光标将返回到程序头，且软件操作界面的工作方式显示改回为“自动”或“单段”；若程序有错，命令行将提示程序的哪一行有错。

#### 注意：

- (1) 校验运行时，机床不动作；
- (2) 为确保加工程序正确无误，请选择不同的图形显示方式来观察校验运行的结果。

#### (二)、空运行

在自动方式下，按一下机床控制面板上的“空运行”按键（指示灯亮），CNC 处于空运行状态。程序中编制的进给速率被忽略，坐标轴以最大快移速度移动。

空运行不做实际切削，目的在于确认切削路径及程序。

在实际切削时，应关闭此功能，否则可能会造成危险。

#### (三)、启动自动运行

系统调入零件加工程序，经校验无误后，可正式启动运行：

- (1) 按一下机床控制面板上的“自动”按键（指示灯亮）进入程序运行方式；
- (2) 按一下机床控制面板上的“循环启动”按键（指示灯亮），机床开始自动运行调入的零件加工程序。

#### (四)、暂停运行

在程序运行的过程中，需要暂停运行，可按下述步骤操作：

- (1) 在程序运行的任何位置，按一下机床控制面板上的“进给保持”按键（指示灯亮），系统处于进给保持状态；
- (2) 再按机床控制面板上的“循环启动”按键（指示灯亮），机床又开始自动运行调入的零件加工程序。

#### (四)、中止运行

在程序运行的过程中，需要中止运行，可按下述步骤操作：

- (1) 在程序运行的任何位置，按一下机床控制面板上的“进给保持”按键（指示灯亮），系统处于进给保持状态；

- (2) 按下机床控制面板上的“手动”键将机床的M、S功能关掉；
- (3) 此时如要退出系统，可按下机床控制面板上的“急停”键，中止程序的运行；
- (4) 此时如要中止当前程序的运行，又不退出系统，可按下“程序”功能下的F7键（重新运行），重新装入程序。

(五)、单段运行

按一下机床控制面板上的“单段”按键（指示灯亮），系统处于单段自动运行方式，程序控制将逐段执行：

- (1) 按一下“循环启动”按键，运行一程序段，机床运动轴减速停止，刀具主轴电机停止运行；
- (2) 再按一下“循环启动”按键，又执行下一程序段，执行完了后又再次停止。

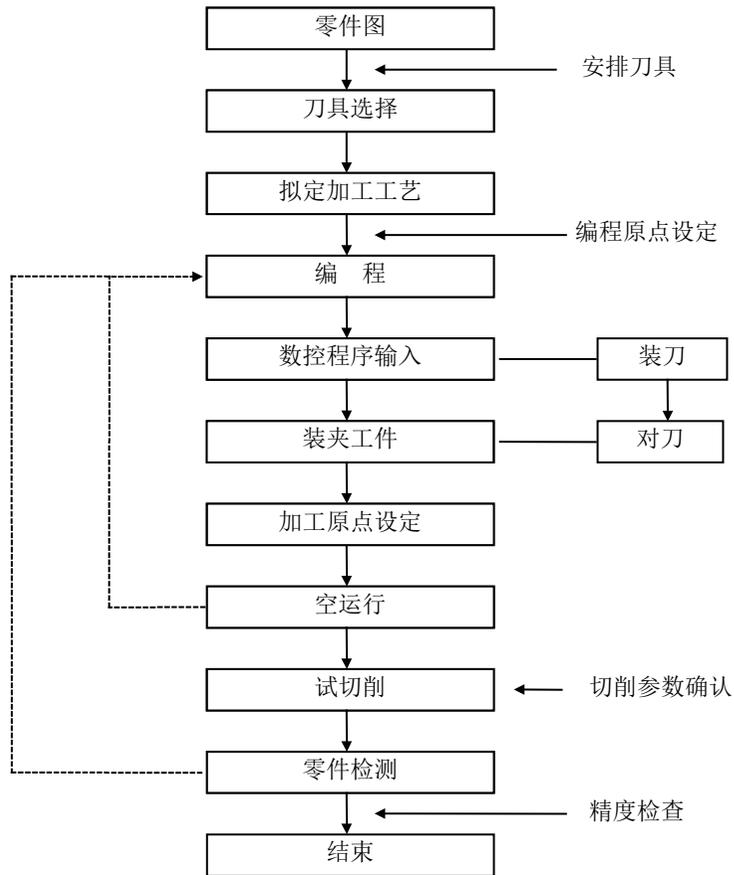


图 7-1 工作流程图

首件零件加工时，为确保加工安全，可使用单段运行加工方式，一段

一段地执行程序。若有任何意外按下“紧急停止”按钮。整个工作流程图如图9-2所示。

### 三、调试程序

首件零件加工完成后，应按图样要求的精度项目逐项对零件进行检测，看其是否满足图样的要求，是否合格。如果合格就可以开始批量生产；如果不合格，就需要对程序的相关参数进行修改，然后再试车，再检测，直至合格。

### 五、实训内容

#### 自动加工操作练习

将课题六编制的图6-7、图6-8和图6-9的程序调出，按要求安装好刀具，对好刀，练习单段、自动加工操作。

### 六、容易产生的问题和注意事项

- (1) 工件必须装夹牢固，卡盘扳手随手取下。
- (2) 加工之前必须确保加工程序的编程原点与加工原点完全重合。
- (3) 自动加工时，操作者不能离开机床。
- (4) 回零即是回刀具起始点。
- (5) 加工同一批零件时，必须保证毛坯的装夹长度一样。如果毛坯装夹时长时短，将会发生安全事故。

## 第 8 次 课

教学课题： 课题八 圆弧零件的编程及加工实训

教学目的：

- (1) 掌握圆弧插补指令和程序循环指令的编程格式；
- (2) 熟练掌握圆弧插补指令的编程方法和技巧；
- (3) 熟练掌握程序循环指令的编程方法和技巧；
- (4) 熟练掌握带圆弧的零件的编程方法和技巧。

教学重点及处：

重点：熟练掌握带圆弧的零件的编程方法和技巧

处理方法：多练习编程

教学难点及处理方法：

难点：熟练掌握程序循环指令的编程方法和技巧

处理方法：多练习编程

教学方法：

集中讲授、示范操作、分散练习

教具：

数控车床

时间分配：

讲解示范 6 学时

巡回指导 14 学时

结束指导 2 学时

### 课题八 圆弧零件的编程及加工实训

#### 一、圆弧插补指令和程序循环指令的使用

##### (一)、G02——顺时针圆弧插补

编辑格式：G02 X (U) \_\_\_ Z (W) \_\_\_ I \_\_\_ K \_\_\_ F \_\_\_  
G02 X (U) \_\_\_ Z (W) \_\_\_ R \_\_\_ F \_\_\_

G02 用于切削加工按指定进给速度的顺时针圆弧插补运动。使刀具从当前位置以 F 设置的进给速率沿圆心顺时针圆弧运动至目标位置。目标位置由 X (U) , Z (W) 设置, 无论其值是否为零, 均应输入; 圆心位置由 I、K 或 R 设置。I、K 分别为圆心相对于起始点的增量值, R 为圆弧半径值。I、K 值的大小和正、负的确定方法是: 从圆弧起点向圆心画一个矢量, 这个矢量在 X 轴的投影和方向就是 I 的数值和方向, 这个矢量在 Z 轴上的投影和方向就是 K 的数值和方向, 当 I、K 的方向与 X、Z 轴的坐标正方向一致时, I、K 值为正, 反之则为负。

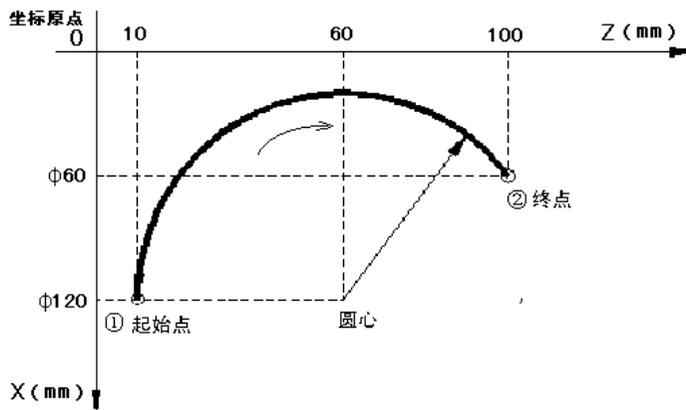


图 8-1 顺时针圆弧插补

如图 10-1 所示, 刀具处于①点处, 该点坐标值为  $X=120$ ,  $Z=10$  将刀具以 100 毫米/分的进给速率沿圆心顺时针移动到点②处, 该点坐标值为  $X=60$ ,  $Z=100$ 。圆心相对①点坐标为  $I=0$ ,  $K=50$ , 则:

绝对坐标编程: G02 X60 Z100 I0 K50 F100

相对坐标编程: G02 U-60 W90 I0 K50 F100

(二)、G03——逆时针圆弧插补

编辑格式: G03 X (U) \_\_\_ Z (W) \_\_\_ I \_\_\_ K \_\_\_ F \_\_\_

G03 X (U) \_\_\_ Z (W) \_\_\_ R \_\_\_ F \_\_\_

G03 用于切削加工时的逆时针圆弧插补运动。其坐标设置及运动方式与 G02 类似。只是运动方向与 G02 相反。

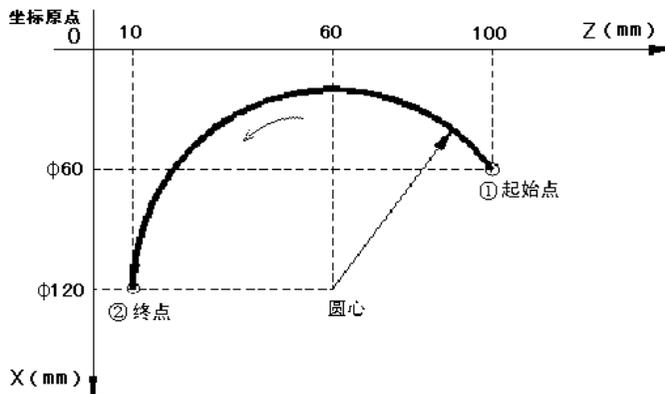


图 8-2 逆时针圆弧插补

如图 10-2 所示，假设刀具从①点沿圆心以与上图相同的速率逆时针移动至②点处，则：

绝对坐标编程：G03 X120 Z10 I60 K-40 F100

增量坐标编程：G03 U60 W-90 I60 K-40 F100

圆弧顺、逆方向的判别方法是：从垂直于圆弧平面的坐标方向的正方向向该圆弧平面看去，加工该圆弧的走刀运动方向是顺时针方向则为 G02；反之，则为 G03。

## 二、编程实例

例 加工如图 10-4 所示零件。毛坯为 $\phi 25$ 的硬铝棒料，从右端至左端轴向进给切削，粗加工每次进给深度 1.5~2mm，粗加工进给量为 200mm/分，精加工进给量为 50mm/分，精加工余量 X 向 0.5~1 mm，Z 向 0.1mm，切断刀刀宽 4mm，工件编程原点如图 10-4 所示。

表 8-1 各刀具的刀具号、刀补号

| 刀具类型       | 刀具号 | 刀具补偿号 |
|------------|-----|-------|
| 45°外圆车刀    | T01 | 01    |
| 90°外圆左偏车刀  | T02 | 02    |
| 90°窄头外圆车刀  | T03 | 03    |
| 刃宽 4mm 切断刀 | T04 | 04    |

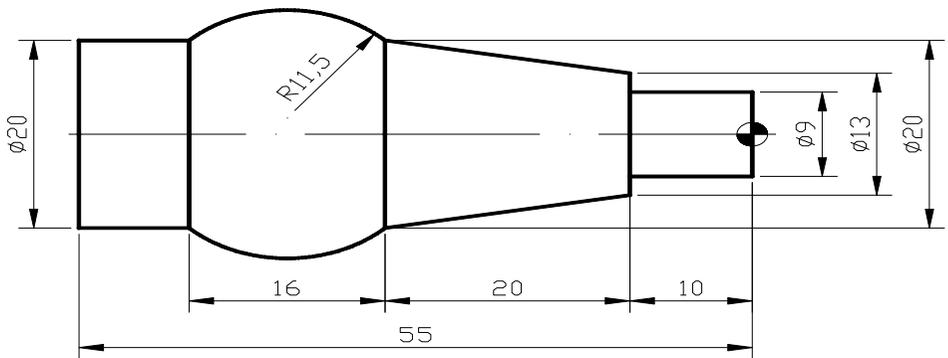


图 8-3 圆弧台阶轴

程序  
%0002；

说明

G92 X100 Z10 ;  
M3 S2 (750 转/分) ;  
N1 :

工序 1 : 粗、精车端面

T0101 ;  
G00 X30 Z0.1 ;  
G01 X0 F200 ;  
G00 X30 Z2 ;  
G00 Z0 ;  
G01 X0 F50 ;  
G00 X100 Z10

N2 :

工序 2 : 粗、精车圆锥台阶轴  
换 90°外圆左偏车刀

T0202 ;  
G00 X28 Z2 ;  
G22 L4 ;  
G00 U-6.8 ;  
G01 Z-10 F200 ;  
G01 U4 F200 ;  
G01 U7 W-20 ;  
G00 Z2 ;  
G00 U-8 ;

开始循环车圆锥台阶轴, 循环四次

G80 ;  
G00 X9 ;  
G01 Z-10 F50 ;  
G01 X13 F50 ;  
G01 X20 W-20 ;  
G26 ;

程序循环结束

T0404 ; (右刀尖对刀)  
G00 X25 Z-46 ;  
G01 X20.5 F100 ;  
G27 ;  
G29 ;

换切断刀

N3 :

工序 3 : 粗、精车圆弧台阶

T0303 ;  
G00 X28 Z-29 ;  
G22 L2 ;  
G01 U-6 F500 ;  
G01 Z-30 F200 ;  
G02 U0 W-16 R11.5 F200 ;

开始循环车圆弧台阶轴, 循环二次

```
G01 Z-60 F200 ;
G00 U4 ;
G00 Z-28 ;
G80 ;                               程序循环结束
G01 X20 F500 ;
G01 Z-30 F200 ;
G02 X20 W-16 R11.5 F50 ;
G01 Z-60 F200 ;
G27 ;
G29 ;
T0404 ;
G00 X25 Z-55 ;
G01 X0 F50 ;
G26 ;
T0101 ;
M30
```

### 三、实训内容

(一)、练习图如下图所示。

(二)、练习要求

(1) 由学生独立制定工艺方案，教师对工艺方案讲评后学生再完成数控程序的编制。

(2) 学生重点学习圆弧插补指令的使用。

(3) 学生将自编的图 10-4、图 10-5、图 10-6 所示零件的数控程序输入数控系统空运行检查，教师确认正确无误后，由学生独立操作将该零件加工完成。

### 四、容易产生的问题和注意事项

(1) G02 用于切削加工时的顺时针圆弧插补运动；G03 用于切削加工时的逆时针圆弧插补运动。

(2) 在 G02 或 G03 指令中，I 为半径量尺寸，R 为半径量尺寸。

(3) 车圆弧时，刀具的移动方向与 X、Z 轴的正方向一致时，I、K 值为正，反之，则为负。

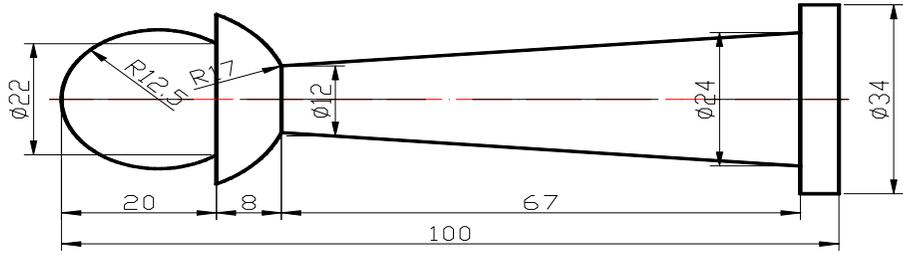


图8-4 圆弧综合件1

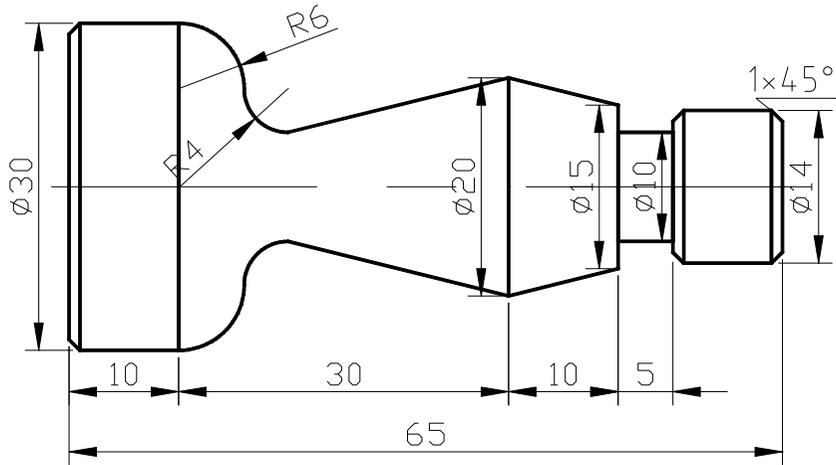


图8-5 圆弧综合件2

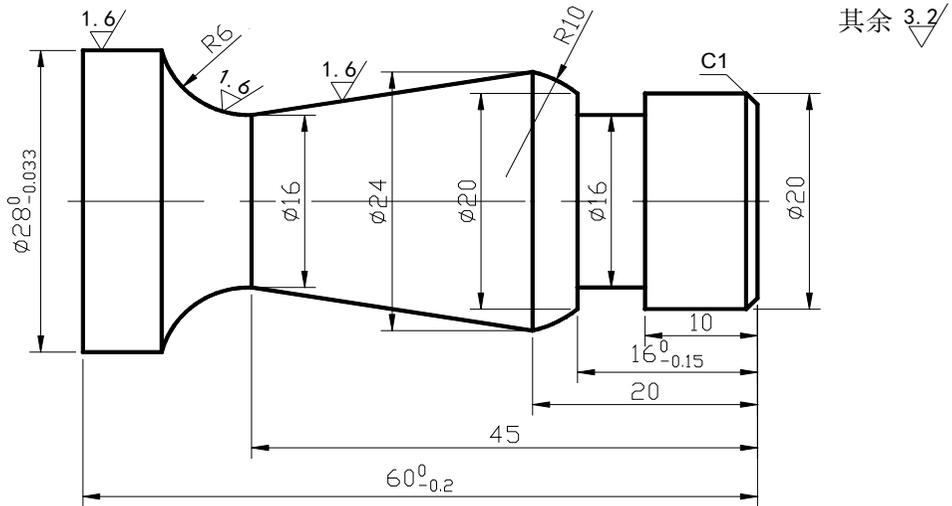


图 8-6 圆弧综合件 3

## 第 9 次 课

教学课题： 课题九 螺纹零件的编程及加工实训

教学目的：

- (1) 熟练掌握 G32、G82 螺纹切削指令的用法；
- (2) 熟练掌握 M98、M99 子程序调用及返回指令的用法；
- (3) 熟练掌握螺纹零件的编程方法和技巧。

教学重点及处：

重点：熟练掌握螺纹零件的编程方法和技巧

处理方法：多练习编程

教学难点及处理方法：

难点：熟练掌握螺纹零件的编程方法和技巧

处理方法：多练习编程

教学方法：

集中讲授、示范操作、分散练习

教具：

数控车床

时间分配：

讲解示范 5 学时

巡回指导 10 学时  
结束指导 1 学时

## 课题九 螺纹零件的编程及加工实训

### 一、螺纹切削指令和子程序指令的使用

#### (一)、G32—螺纹切削指令

编程格式： $G32 X(U) \_Z(W) \_R\_E\_P\_F\_$

说明：

X、Z：为绝对编程时，有效螺纹终点在工件坐标系中的坐标；

U、W：为增量编程时，有效螺纹终点相对于螺纹切削起点的位移量；

F：螺纹导程，即主轴每转一圈，刀具相对于工件的进给值；

R、E：螺纹切削的退尾量，R表示Z向退尾量；E为X向退尾量，R、E在绝对或增量编程时都是以增量方式指定，其为正表示沿Z、X正向回退，为负表示沿Z、X负向回退。使用R、E可免去退刀槽。R、E可以省略，表示不用回退功能；根据螺纹标准R一般取2倍的螺距，E取螺纹的牙型高。

P：主轴基准脉冲处距离螺纹切削起始点的主轴转角。

使用G32指令能加工圆柱螺纹、锥螺纹和端面螺纹。图3.3.12所示为锥螺纹切削时各参数的意义。

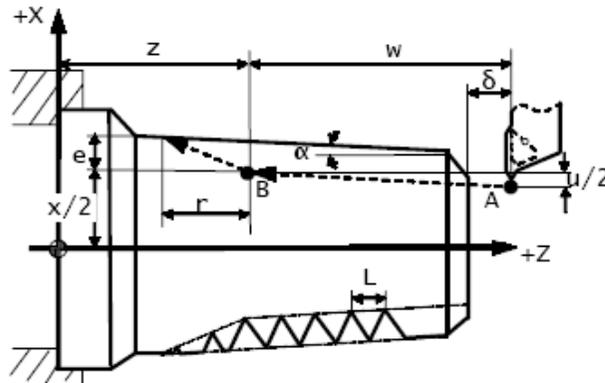


图 9-1 螺纹切削参数

#### (二)、G82—直螺纹切削循环指令

编程格式： $G82 X(U) \_Z(W) \_R\_E\_C\_P\_F\_$ ；

说明：

X、Z：绝对值编程时，为螺纹终点C在工件坐标系下的坐标；

增量值编程时，为螺纹终点C相对于循环起点A的有向距离，图形中

用 U、W 表示，其符号由轨迹 1 和 2 的方向确定；

R、E：螺纹切削的退尾量，R、E 均为向量，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：螺纹头数，为 0 或 1 时切削单头螺纹；

P：单头螺纹切削时，为主轴基准脉冲处距离切削起始点的主轴转角（缺省值为 0）；多头螺纹切削时，为相邻螺纹头的切削起始点之间对应的主轴转角。

F：螺纹导程；

该指令执行图 3.3.21 所示 A→B→C→D→E→A 的轨迹动作。

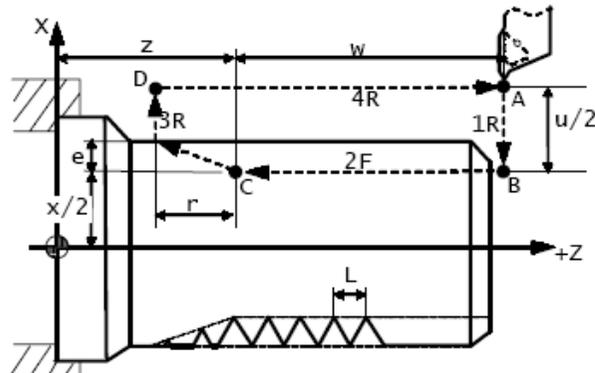


图 9-2 直螺纹切削循环

注意：

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。

(三)、M98、M99—子程序调用及返回

编程格式：M98 L\_\_ \_\_

·  
·  
·

M99

M98 用于在程序中执行该指令后，调用再由 L 指定的子程序段执行。子程序执行结束后，由 M99 指令返回，返回后，主程序继续顺序执行。

例：

·  
·  
·

N0100 M98 L300

调用 L 指定的子程序

N0110 G04 F2

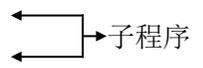
程序延时 2 秒

·

```

.
.
N0290 M97 L0320          程序跳转至 L 指定的程序段
N0300 G03 U0 Z-100 I0 K-50 F200 逆圆弧加工
N0310 M99                子程序返回
N0320
.
.
.

```



## 二、编程实例

以华中数控系统为例，介绍数控车床的编程。该数控车床共有四个刀位

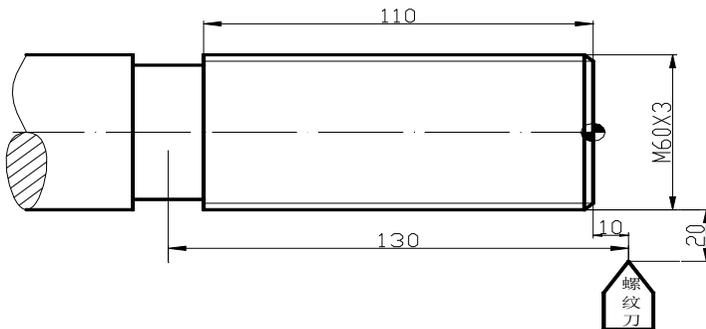


图 9-3 直螺纹加工

### 例 螺纹加工

工件如图 11-9 所示，螺纹导程为 3mm。设计为 4 刀车完，进刀量为 1.8, 1.2, 0.6, 0.3(直径量尺寸)mm。加工转速 750r/min。编程如下：

编程方法一

| 程序                   | 说明                  |
|----------------------|---------------------|
| %3                   |                     |
| N0010 T0303          |                     |
| N0020 S600 M03       |                     |
| N0030 G01 U-1.8 F500 | 车螺纹进刀 1.8 mm        |
| N0040 M98 L120       | 调用子程序 N120 ~ N150 段 |
| N0050 G01 U-1.2 F500 | 车螺纹进刀 1.2 mm        |
| N0060 M98 L120       | 调用子程序 N120 ~ N150 段 |
| N0070 G01 U-0.6 F500 | 车螺纹进刀 0.6 mm        |
| N0080 M98 L120       | 调用子程序 N120 ~ N150 段 |
| N0090 G01 U-0.3 F500 | 车螺纹进刀 0.3 mm        |
| N0100 M98 L120       | 调用子程序 N120 ~ N150 段 |

```

N0110 M30
N0120 G00 U-40
N0130 G33 W-130 F3 车直螺纹, 导程为 3mm
N0140 G00 U40
N0150 G00 W130
N0160 M99 子程序调用结束

```

编程方法二

程 序

说 明

```

%4
N0010 T0303
N0020 S600 M03
N0030 G00 X64 Z10
N0040 G82 X58 W-130 F3 公制直螺纹循环指令车削螺纹
N0050 G82 X57 W-130 F3
N0060 G82 X56.4 W-130 F3
N0070 G82 X56.1 W-130 F3
N0080 M30

```

#### 四、实训内容

(一)、练习图如图 11-10 所示。

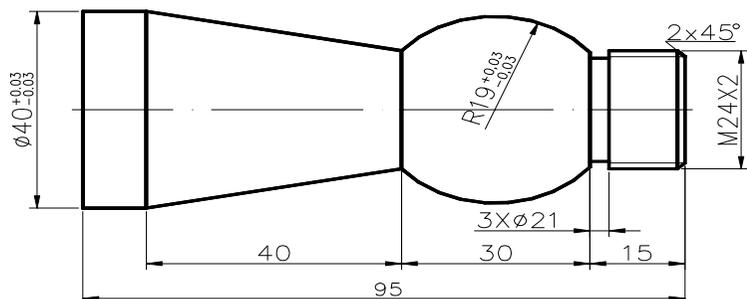


图 9-4 综合件 1

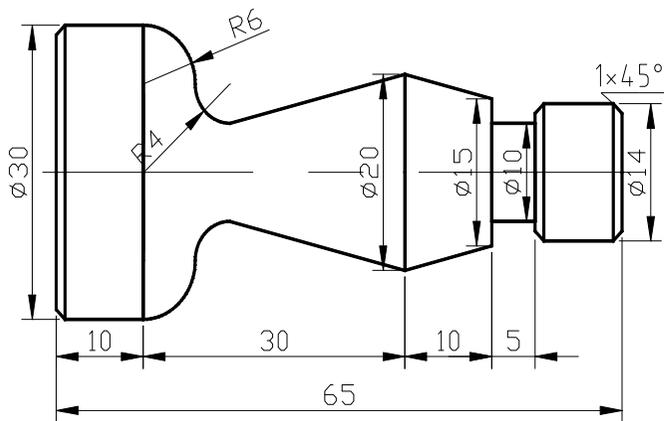


图9-5 综合件2

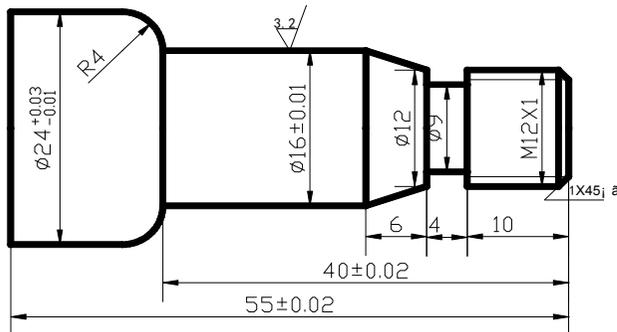


图8-6 综合件3

## (二)、练习要求

(1) 由学生独立制定工艺方案，教师对工艺方案讲评后学生再完成数控程序的编制。要求用 G32、G82 指令分别对螺纹加工进行编程。

(2) 学生重点学习 G32、G82 螺纹切削指令及 M98、M99 子程序调用及返回指令的使用。

(3) 学生将自编的图 11-10 所示零件的数控程序输入数控系统空运行检查，教师确认正确无误后，由学生独立操作将该零件加工完成。

## 五、容易产生的问题和注意事项

(1) 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) 从螺纹粗加工到精加工，主轴的转速必须保持一常数；

(3) 在没有停止主轴的情况下，停止螺纹的切削将非常危险；因此螺纹切削时进给保持功能无效，如果按下进给保持按键，刀具在加工完螺纹后停止运动；

- (4) 在螺纹加工中不使用恒定线速度控制功能；
- (5) 在螺纹加工轨迹中应设置足够的升速进刀段  $\delta$  和降速退刀段  $\delta'$ ，以消除伺服滞后造成的螺距误差。

## 第 10 次 课

教学课题：          课题十  手工编程技巧实训

教学目的：

- (1) 了解衡量程序的标准；
- (2) 熟练掌握复合循环指令的使用；
- (3) 能灵活应用子程序功能和复合循环功能编制数控加工程序。

教学重点及处：

重点：能灵活应用子程序功能和复合循环功能编制数控加工程序

处理方法：多练习编程

教学难点及处理方法：

难点：能灵活应用子程序功能和复合循环功能编制数控加工程序

处理方法：多练习编程

教学方法：

集中讲授、示范操作、分散练习

教具：

数控车床

时间分配：

讲解示范 8 学时  
巡回指导 28 学时  
结束指导 4 学时

## 课题十 手工编程技巧实训

### 一、衡量程序的标准

编程人员必须在充分消化、理解、使用数控编程说明书的基础上，正确掌握并充分利用编程中的各种指令和编程辅助指令，并结合自己的编程实践，不断提高编程技巧，才能编制出比较好的程序，提高机械加工的能力和质。衡量程序好坏的标准是：设计质量高，加工效果好，通用性强，程序编制时间短。

(1) 设计质量高 程序设计的思路应正确，程序内容应简单、清晰明了，占用存储器内存小；加工轨迹、切削参数选择合理。

(2) 加工效果好 程序加工零件要达到图样要求，操作要简单，调试方便，加工效率能达到要求。

(3) 通用性强 该程序除了加工某个零件外，还能对加工与其相似的其它零件有参考价值。提高成组零件编程能力。

(4) 程序编制时间短 一个程序在编制和调试上所花费的时间不能太长，否则会耽误生产。

### 二、倒角加工

#### (一)、倒直角

格式：G01 X (U) \_\_\_\_ Z (W) \_\_\_\_ C \_\_\_\_；

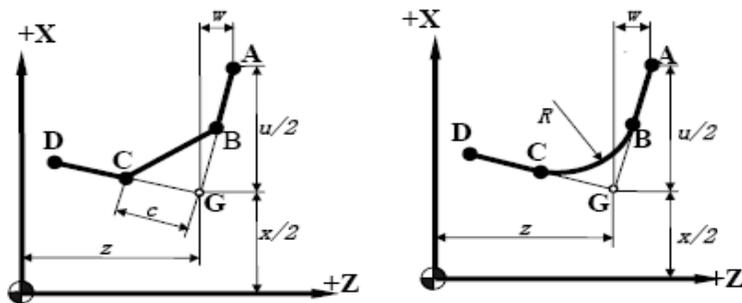


图 10-1 倒角参数说明

说明：该指令用于直线后倒直角，指令刀具从 A 点到 B 点，然后到 C 点（见图 9-1）。

X、Z：为绝对编程时，未倒角前两相邻轨迹程序段的交点 G 的坐标值

U、W：为增量编程时，G 点相对于起始直线轨迹的始点 A 点的移动距离

C：是相邻两直线的交点G，相对于倒角始点B的距离。

(二)、倒圆角

格式：G01 X (U) \_\_\_\_ Z (W) \_\_\_\_ R \_\_\_\_；

说明：该指令用于直线倒圆角，指令刀具从A点到B点，然后到C点（见图9-1）。

X、Z：为绝对编程时，未倒角前两相邻轨迹程序段的交点G的坐标值

U、W：为增量编程时，G点相对于起始直线轨迹的始点A点的移动距离

R：是倒角圆弧的半径值。

例6. 如图9-2所示，用倒角指令编程。

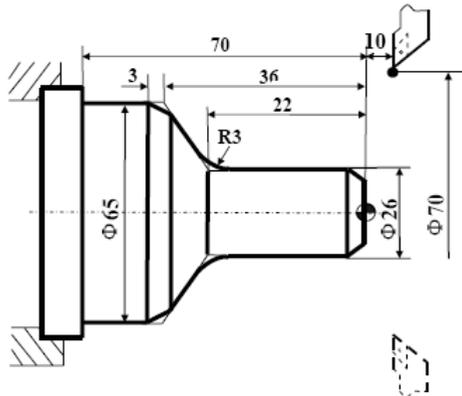


图 10-2 倒角编程实例

%3307

N1 G00 U-70 W-10 （从编程规划起点，移到工件前端面中心处）

N2 G01 U26 C3 F100 （倒3×45°直角）

N3 W-22 R3 （倒R3圆角）

N4 U39 W-14 C3 （倒边长为3等腰直角）

N5 W-34 （加工Φ65外圆）

N6 G00 U5 W80 （回到编程规划起点）

N7 M30 （主轴停、主程序结束并复位）

注意：

(1) 在螺纹切削程序段中不得出现倒角控制指令；

(2) 见图3.3.6，X、Z轴指定的移动量比指定的R或C小时，系统将报警，即GA长度必须大于GB长度。

二、G71—内（外）径粗车复合循环G71

格式：

G71 U(Δ d) R(r) P(ns) Q(nf) X(Δ x) Z(Δ z) F(f) S(s)

T(t)；

说明：

该指令执行如图3.3.24所示的粗加工和精加工，其中精加工路径为

$A \rightarrow A' \rightarrow B' \rightarrow B$  的轨迹。

$\Delta d$  : 切削深度(每次切削量), 指定时不加符号, 方向由矢量  $AA'$  决定;

$r$  : 每次退刀量;

$ns$  : 精加工路径第一程序段(即图中的  $AA'$ ) 的顺序号;

$nf$  : 精加工路径最后程序段(即图中的  $B'B$ ) 的顺序号;

$\Delta x$  : X 方向精加工余量;

$\Delta z$  : Z 方向精加工余量;

$f, s, t$  : 粗加工时 G71 中编程的  $F, S, T$  有效, 而精加工时处于  $ns$  到  $nf$  程序段之间的  $F, S, T$  有效。

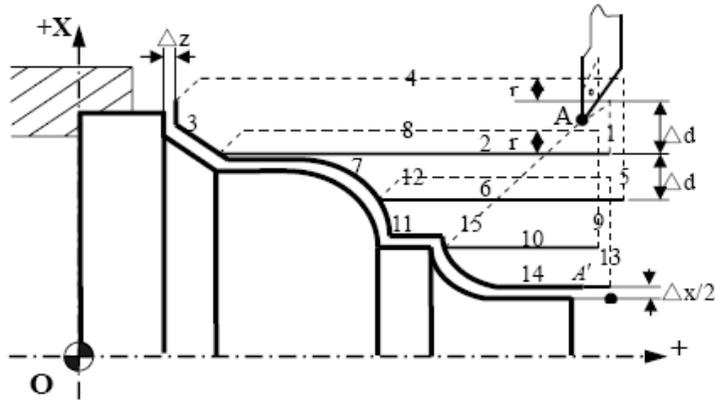


图 10-3 内、外径粗切复合循环

G71 切削循环下, 切削进给方向平行于 Z 轴,  $X(\Delta U)$  和  $Z(\Delta W)$  的符号如图 3.3.25 所示。其中 (+) 表示沿轴正方向移动, (-) 表示沿轴负方向移动

### 三、端面粗车复合循环 G72

格式:

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

T(t);

说明:

该循环与 G71 的区别仅在于切削方向平行于 X 轴。该指令执行如图 3.3.30 所示的粗加工和精加工, 其中精加工路径为  $A \rightarrow A' \rightarrow B' \rightarrow B$  的轨迹。

其中:

$\Delta d$  : 切削深度(每次切削量), 指定时不加符号, 方向由矢量  $AA'$  决定;

$r$  : 每次退刀量;

$ns$  : 精加工路径第一程序段(即图中的  $AA'$ ) 的顺序号;

$nf$  : 精加工路径最后程序段(即图中的  $B'B$ ) 的顺序号;

$\Delta x$  : X 方向精加工余量;

$\Delta z$  : Z 方向精加工余量;

f、s、t：粗加工时G71 中编程的F、S、T 有效，而精加工时处于ns 到nf 程序段之间的F、S、T 有效。

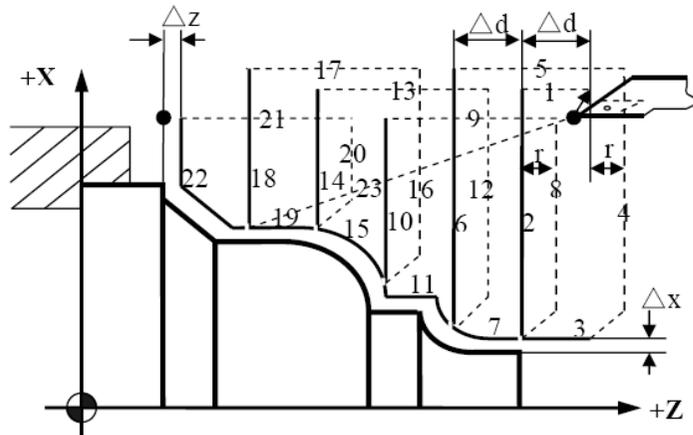


图10-4 端面粗车复合循环G72

G72切削循环下，切削进给方向平行于X轴，X( $\Delta U$ )和Z( $\Delta W$ )的符号如图3. 3. 31所示。其中(+)表示沿轴的正方向移动，(-)表示沿轴负方向移动。

注意：

- (1) G72 指令必须带有P、Q 地址，否则不能进行该循环加工。
- (2) 在ns的程序段中应包含G00/G01指令，进行由A到A'的动作，且该程序段中不应编有X向移动指令。
- (3) 在顺序号为ns 到顺序号为nf 的程序段中，可以有G02/G03指令，但不应包含子程序。

#### 四、闭环车削复合循环G73

格式：

G73 U( $\Delta I$ ) W( $\Delta K$ ) R(r) P(ns) Q(nf) X( $\Delta x$ ) Z( $\Delta z$ ) F(f)  
S(s) T(t)

说明：

该功能在切削工件时刀具轨迹为如图3. 3. 34 所示的封闭回路，刀具逐渐进给，使封闭切削回路逐渐向零件最终形状靠近，最终切削成工件的形状，其精加工路径为A→A'→B'→B。

这种指令能对铸造，锻造等粗加工中已初步成形的工件，进行高效率切削。

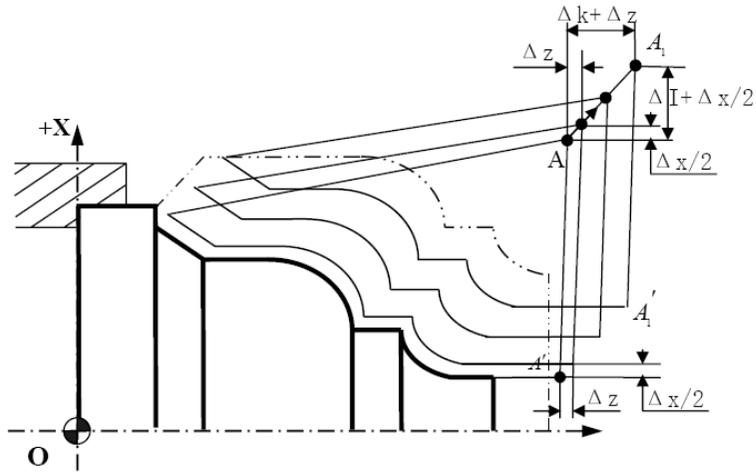


图10-5 闭环车削复合循环G73

其中：

$\Delta I$ ：X 轴方向的粗加工总余量；

$\Delta k$ ：Z 轴方向的粗加工总余量；

$r$ ：粗切削次数；

$ns$ ：精加工路径第一程序段(即图中的AA')的顺序号；

$nf$ ：精加工路径最后程序段(即图中的B'B)的顺序号；

$\Delta x$ ：X 方向精加工余量；

$\Delta z$ ：Z 方向精加工余量；

$f, s, t$ ：粗加工时G71 中编程的F、S、T 有效，而精加工时处于 $ns$  到 $nf$  程序段之间的F、S、T 有效。

注意：

$\Delta I$ 和 $\Delta K$ 表示粗加工时总的切削量，粗加工次数为 $r$ ，则每次X、Z方向的切削量为 $\Delta I/r, \Delta K/r$ ；按G73段中的P 和Q指令值实现循环加工，要注意 $\Delta x$ 和 $\Delta z$ ，

$\Delta I$  和 $\Delta K$ 的正负号。

### 五、螺纹切削复合循环G76

格式：

G76C(c)R(r)E(e)A(a)X(x)Z(z)I(i)K(k)U(d)V( $\Delta d_{min}$ )Q( $\Delta d$ )P(p)F(L)；

说明：

螺纹切削固定循环G76 执行如图3. 3. 36 所示的加工轨迹。其单边切削及参数如图3. 3. 37 所示。

其中：

$c$ ：精整次数(1~99)，为模态值；

$r$ ：螺纹Z向退尾长度(00~99)，为模态值；

- e：螺纹X向退尾长度(00~99)，为模态值；
- a：刀尖角度(二位数字)，为模态值；  
在80°、60°、55°、30°、29°和0°六个角度中选一个；
- x、z：绝对值编程时，为有效螺纹终点C的坐标；  
增量值编程时，为有效螺纹终点C相对于循环起点A的有向距离；  
(用G91指令定义为增量编程，使用后用G90定义为绝对编程。)
- i：螺纹两端的半径差；  
如i=0，为直螺纹(圆柱螺纹)切削方式；k：螺纹高度；该值由x轴方向上的半径值指定；
- $\Delta d_{min}$ ：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：精加工余量(半径值)；
- $\Delta d$ ：第一次切削深度(半径值)；
- p：主轴基准脉冲处距离切削起始点的主轴转角；
- L：螺纹导程(同G32)；

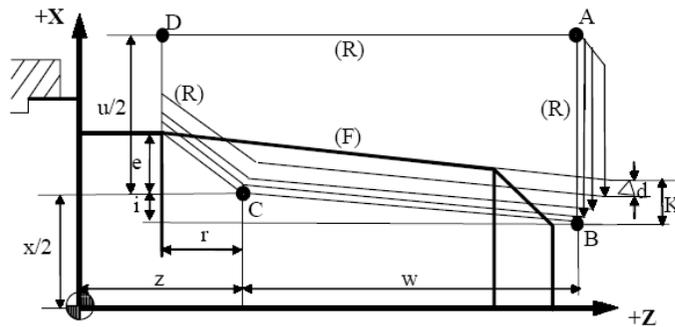


图10-6 螺纹切削复合循环G76

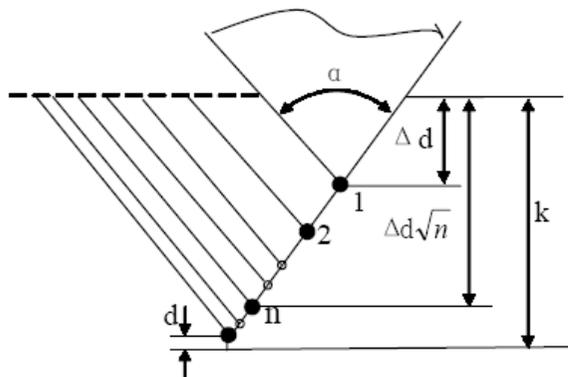


图10-7 G76循环单边切削及其参数

注意：

按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为 $\Delta d (\sqrt{n} - \sqrt{n-1})$ 。

图10-7中，C到D点的切削速度由F代码指定，而其它轨迹均为快速进给。

## 六、实训内容

(一)、练习图1，如图10-8、图10-9、图10-10所示。

(二)、加工要求：

(1) 学生独立完成零件的工艺分析和编程；

(2) 学生将自编的数控程序输入数控系统空运行检查，教师确认正确无误后，由学生独立操作将该零件加工完成。

## 五、容易产生的问题和注意事项

(一)、合理确定加工路线

数控车床是用来加工旋转体类零件的。由于车削零件毛坯多为棒料或锻坯，加工余量较大且不均匀，因此在编程中，粗车的加工路线往往是要考虑的主要问题。

影响数控车削加工的因素很多，必须根据具体情况确定合理的工艺方案，选择最佳的切削条件，选择最短的刀具路径，正确地选择加工刀具、刀具材料，选择换刀点，减少换刀次数，以提高效率；充分利用机床数控系统的指令功能，以简化编程，才能充分发挥数控加工的效益。

(二)、合理选择零点设定功能

所谓“零点”，就是程序运行的起点，又称“起刀点”，也就是刀具相对零件运动的起点。对刀点选定后，便确定了机床坐标系和工件坐标系的关系。

刀具在机床上的位置是由“刀位点”的位置来表示的，所谓刀位点，对车刀而言是指它们的刀尖；对钻头是指它的底面中心。

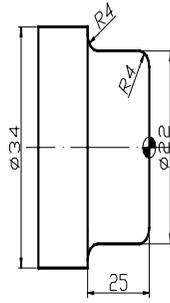


图 10-8 内外圆弧

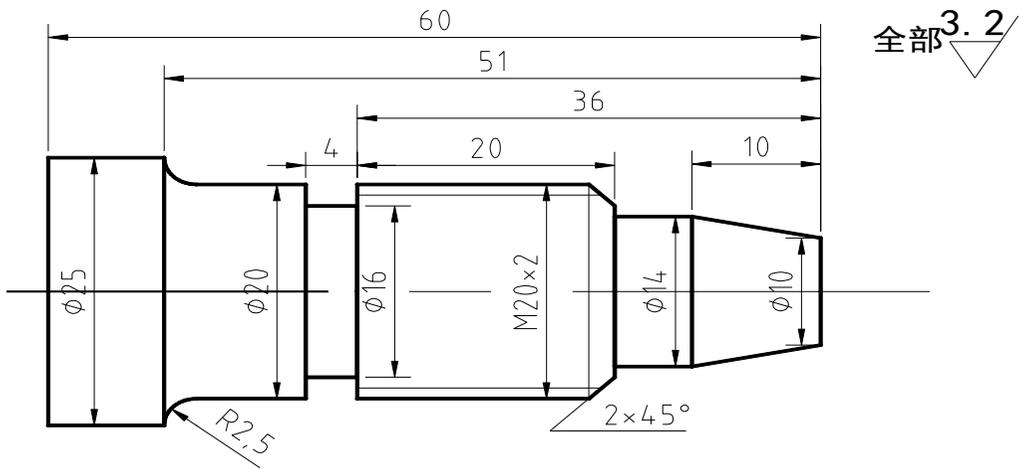


图 10-9 综合件 1

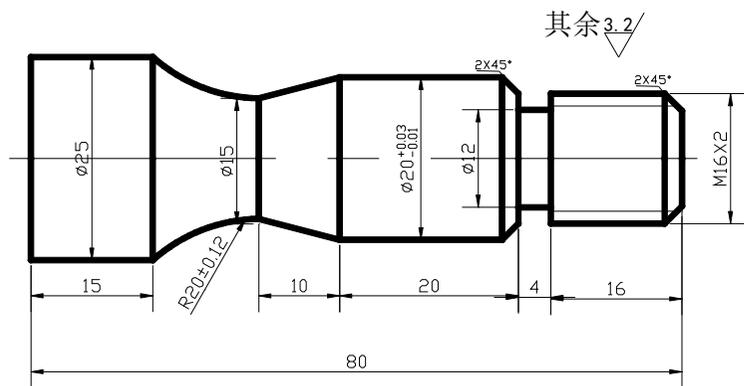


图 10-10 综合件 2

## 第 11 次 课

### 教学课题：

课题十一 典型数控车削零件的手工编程与加工实训

### 教学目的：

- (1) 了解衡量程序的标准；
- (2) 熟练掌握复合循环指令的使用；
- (3) 能灵活应用子程序功能和复合循环功能编制数控加工程序。

### 教学重点及处：

重点：能灵活应用子程序功能和复合循环功能编制数控加工程序

处理方法：多练习编程

### 教学难点及处理方法：

难点：能灵活应用子程序功能和复合循环功能编制数控加工程序

处理方法：多练习编程

### 教学方法：

集中讲授、示范操作、分散练习

教具：

数控车床

时间分配：

讲解示范 8 学时

巡回指导 28 学时

结束指导 4 学时

## 课题十一 典型数控车削零件的手工编程与加工实训

### 一、课前准备：

设备：数控车床 7 台

材料： $\Phi 40$  的铝棒 7 根

工具：卡盘、刀架扳手各 7 套，油壶 7 个

刀具： $90^\circ$  外圆刀、切断刀、 $60^\circ$  螺纹刀、仿形刀各 7 把

量具：300mm 钢尺、1 ~ 200mm 游标卡尺、0 ~ 25mm 千分尺、25 ~ 50mm 千分尺 7 套。

### 二、工艺分析、编程步骤

#### (一)、产品图样分析

- (1) 尺寸是否完整？
- (2) 产品精度、粗糙度等要求。
- (3) 产品材质、硬度等。

#### (二)、工艺处理

- (1) 加工方式及设备确定。
- (2) 毛坯尺寸及材料确定。
- (3) 装夹定位的确定。
- (4) 加工路径及起刀点、换刀点的确定。
- (5) 刀具数量、材料、几何参数的确定。
- (6) 切削参数的确定。

#### ① 背吃刀量：

影响背吃刀量的因素有：粗、精车工艺、刀具强度、机床性能、工件材料及表面粗糙度。

#### ② 进给量：进给量影响表面粗糙度。

影响进给量的因素有：

a、粗、精车工艺。粗车进给量应较大，以缩短切削时间；精车进给量应较小以降低表面粗糙度。一般情况下，精车进给量小于  $0.2\text{mm/r}$  为宜，但要考虑刀尖圆弧半径的影响；粗车进给量大与  $0.25\text{mm/r}$ 。

b、机床性能。如功率、刚性。

c、工件的装夹方式。

- d、刀具材料及几何形状。
- e、背吃刀量。
- f、工件材料。工件材料较软时，可选择较大进给量；反之，可选较小进给量。

③ 切削速度：切削速度的大小可影响切削效率、切削温度、刀具耐用度等。

影响切削速度的因素有：刀具材料、工件材料、刀具耐用度、背吃刀量与进给量、刀具形状、切削液、机床性能。

### （三）、数学处理

- 1) 编程零点及工件坐标系的确定
- 2) 各节点数值计算

### （四）、其它主要内容

- 1) 按规定格式编写程序单
- 2) 按“程序编辑步骤”输入程序，并检查程序。
- 3) 修改程序。

### 三、综合编程实例

例：编制图11-1 所示零件的加工程序。工艺条件：工件材质为45#钢，或铝；毛坯为直径 $\Phi 54\text{mm}$ ，长200mm 的棒料；刀具选用：1 号端面刀加工工件端面，2 号端面外圆刀粗加工工件轮廓，3 号端面外圆刀精加工工件轮廓，4 号外圆螺纹刀加工导程为3mm，螺距为1mm 的三头螺纹。

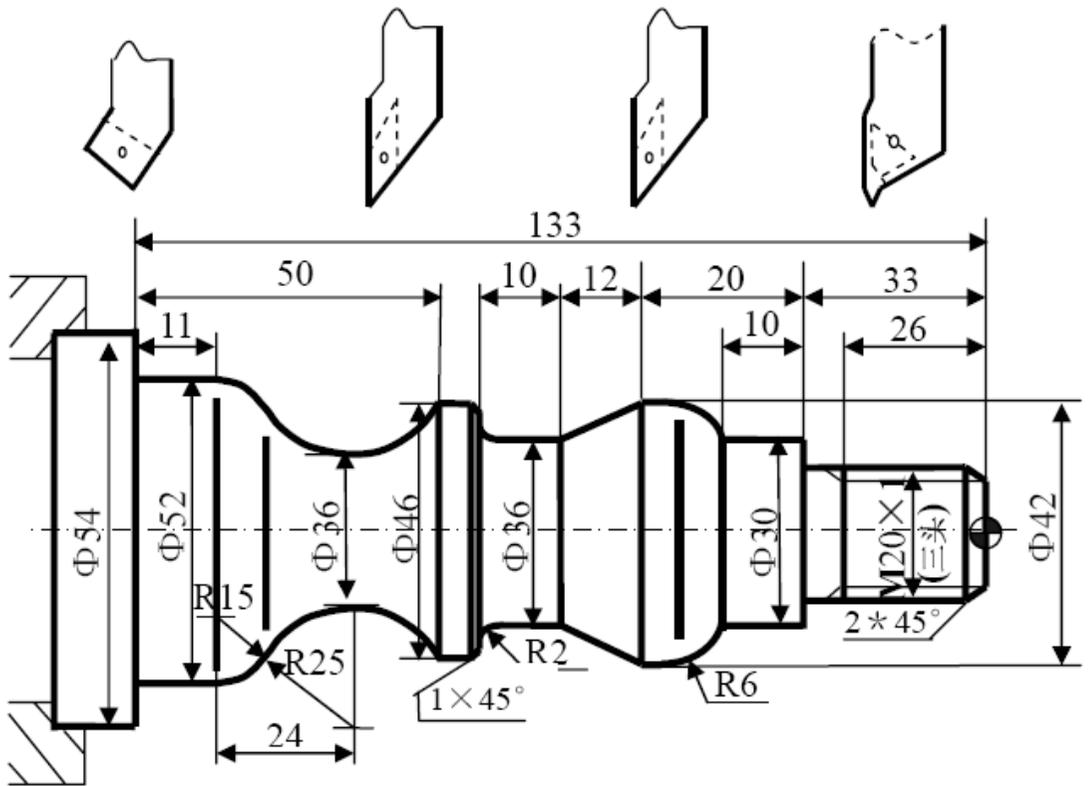


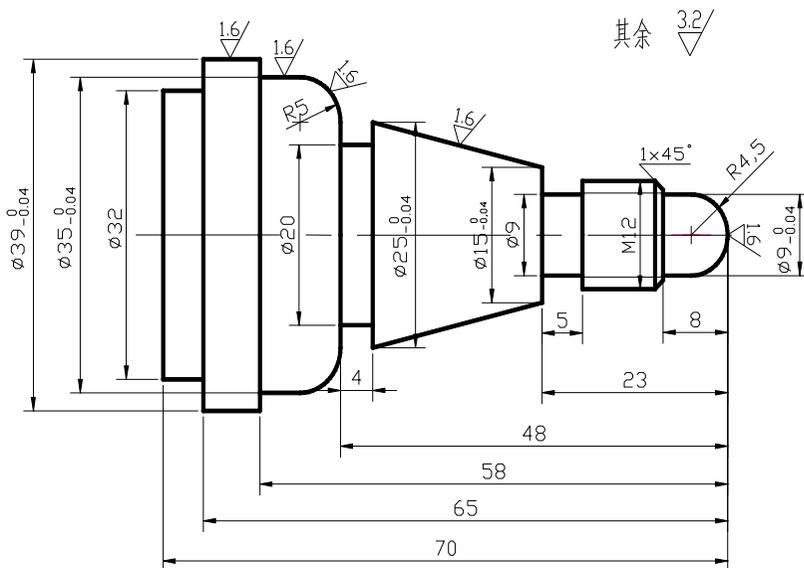
图11-1 综合编程实例

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| %1234                      |                      |
| N1 T0101                   | (换一号端面刀, 确定其坐标系)     |
| N2 M03 S500                | (主轴以400r/min正转)      |
| N3 G00 X100 Z80            | (到程序起点或换刀点位置)        |
| N4 G00 X60 Z5              | (到简单端面循环起点位置)        |
| N5 G81 X0 Z1.5 F100        | (简单端面循环, 加工过长毛坯)     |
| N6 G81 X0 Z0               | (简单端面循环加工, 加工过长毛坯)   |
| N7 G00 X100 Z80            | (到程序起点或换刀点位置)        |
| N8 T0202                   | (换二号外圆粗加工刀, 确定其坐标系)  |
| N9 G00 X60 Z3              | (到简单外圆循环起点位置)        |
| N10 G80 X52.6 Z-133 F100   | (简单外圆循环, 加工过大毛坯直径)   |
| N11 G01 X54                | (到复合循环起点位置)          |
| N12 G71 U1 R1 P16 Q32 E0.3 | (有凹槽外径粗切复合循环加工)      |
| N13 G00 X100 Z80           | (粗加工后, 到换刀点位置)       |
| N14 T0303                  | (换三号外圆精加工刀, 确定其坐标系)  |
| N15 G00 G42 X70 Z3         | (到精加工始点, 加入刀尖圆弧半径补偿) |

|  |                              |
|--|------------------------------|
| N16 G01 X10 F100                                   | (精加工轮廓开始, 到倒角延长线处)           |
| N17 X19.95 Z-2                                     | (精加工倒 $2 \times 45^\circ$ 角) |
| N18 Z-33   | (精加工螺纹外径)                    |
| N19 G01 X30  | (精加工Z33处端面)                  |
| N20 Z-43   | (精加工 $\Phi 30$ 外圆)           |
| N21 G03 X42 Z-49 R6                                | (精加工R6圆弧)                    |
| N22 G01 Z-53                                       | (精加工 $\Phi 42$ 外圆)           |
| N23 X36 Z-65                                       | (精加工下切锥面)                    |
| N24 Z-73   | (精加工 $\Phi 36$ 槽径)           |
| N25 G02 X40 Z-75 R2                                | (精加工R2过渡圆弧)                  |
| N26 G01 X44  | (精加工Z75处端面)                  |
| N27 X46 Z-76                                       | (精加工倒 $1 \times 45^\circ$ 角) |
| N28 Z-84   | (精加工 $\Phi 46$ 槽径)           |
| N29 G02 Z-113 R25                                  | (精加工R25圆弧凹槽)                 |
| N30 G03 X52 Z-122 R15                              | (精加工R15圆弧)                   |
| N31 G01 Z-133                                      | (精加工 $\Phi 52$ 外圆)           |
| N32 G01 X54  | (退出已加工表面, 精加工轮廓结束)           |
| N33 G00 G40 X100 Z80                               | (取消半径补偿, 返回换刀点位置)            |
| N34 M05  | (主轴停)                        |
| N35 T0404  | (换四号螺纹刀, 确定其坐标系)             |
| N36 M03 S200                                       | (主轴以200r/min正转)              |
| N37 G00 X30 Z5                                     | (到简单螺纹循环起点位置)                |
| N38G82X19.3Z-20R-3E1C2P120F3                       | (加工两头螺纹, 吃刀深0.7)             |
| N39G82X18.9Z-20R-3E1C2P120F3                       | (加工两头螺纹, 吃刀深0.4)             |
| N40G82X18.7Z-20R-3E1C2P120F3                       | (加工两头螺纹, 吃刀深0.2)             |
| N41G82X18.7Z-20R-3E1C2P120F3                       | (光整加工螺纹)                     |
| N42 G76C2R-3E1A60X18.7Z-20 K0.65U0.1V0.1Q0.6P240F3 |                              |
| N43 G00 X100 Z80                                   | (返回程序起点位置)                   |
| N44 M30  | (主轴停、主程序结束并复位)               |

#### 四、实训内容

(一)、练习图如图 11-2 所示。



练习要求：

- (1) 学生独立完成练习图 11-2 的工艺分析，并编写出工艺卡片；
- (2) 学生独立完成练习图 11-2 的程序编制；
- (3) 学生独立完成练习图 11-2 的对刀操作；
- (4) 学生独立完成练习图 11-2 的加工。
- (5) 交件待检。

五、容易产生的问题和注意事项

- (1) 程序必须校验正确方能使用；
- (2) 对刀后必须校验刀补；
- (3) 首件试切必须采用单段方式加工。