

## 加工中心零件的编程及仿真加工

### 3.1 任务 1 槽类零件的编程及仿真加工

#### 【学习目标】

- (1) 学习仿真加工中工件安装、刀具选择和建立坐标系等基本操作。
- (2) 掌握数控加工中心常用 F、S、T、M 和 G00/G01 代码。
- (3) 具有使用 G00/G01 指令编写简单加工程序的初步能力。
- (4) 具有使用仿真软件验证程序正确性的能力。

#### 【任务描述】

如图 3-1 所示,零件材料为硬铝合金,毛坯  $100 \times 100 \times 30$ ,使用 3 轴立式数控加工中心,单件生产,编写加工程序,运用 VNUC 4.3 软件仿真加工。

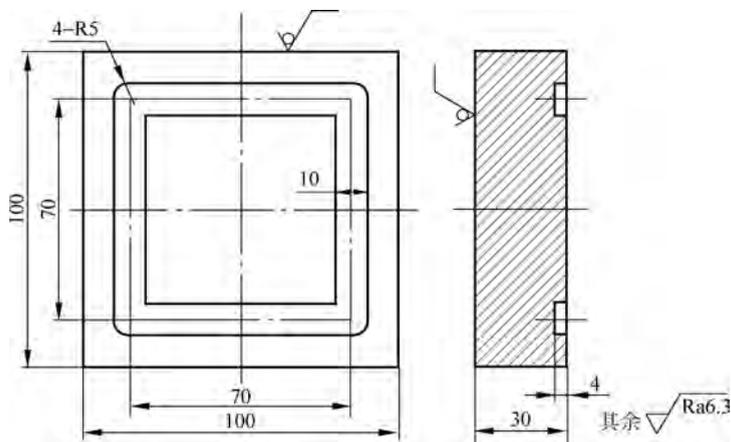


图 3-1 槽类零件

#### 【相关知识】

##### 1. 数控铣、加工中心安全和操作规范

###### 1) 安全文明生产规定

- (1) 认真贯彻执行“安全第一,预防为主”的方针及国家有关安全生产的法律法规,并定期

检查制度的落实情况。

(2) 定期进行安全生产教育和安全知识培训,操作者严格执行各种工艺流程、工艺规范和安全操作规程,不得违章作业。

(3) 根据季节变换切实做好防火、防涝及防盗工作,并制定相关措施,配备消防器材。

## 2) 数控铣、加工中心安全操作规程

(1) 进入数控实习车间的操作者要戴好眼镜等防护用品,工作服要扎好袖口,头发过长应卷入工作帽中,不得戴手套及穿凉鞋,不得在实习现场嬉戏、打闹及进行任何与实习无关的活动。

(2) 开机后,检查报警信息,及时排除报警,检查机床换刀机械手及刀库位置是否正确。

(3) 加工中心运转时,操作人员不得擅自离开岗位,加工过程中不得打开防护门,以免发生危险。

## 2. 加工中心仿真加工

### 1) 启动软件

单机版用户双击计算机桌面上的 VNUC4.3 图标,或从 Windows 的程序菜单中依次打开 Legalsoft→VNUC4.3→“单机版”→“VNUC4.3 单机版”命令。

### 2) 选择机床数控系统

打开菜单“机床”→“选择机床”命令,在“选择机床与数控系统”对话框中选择控制系统类型和相应的机床,如图 3-2 所示,并单击“确定”按钮,此时界面如图 3-3 所示。



图 3-2 “选择机床与数控系统”对话框

### 3) 激活机床

单击“启动”按钮,松开“急停”按钮,激活机床。

### 4) 回零

单击“回零”按钮 ,选择 X、Y、Z 方向键,当指示灯亮起完成各轴回零操作。



图 3-3 数控加工中心界面

#### 5) 设置并安装工件

单击菜单栏“设定毛坯”按钮，弹出“毛坯零件按钮”对话框，单击“新毛坯”选项，弹出如图 3-4 所示的对话框，夹具选择虎钳。如图 3-5 所示，毛坯在夹具体中的位置可以进行调整，以满足加工需求。



图 3-4 新毛坯定义

#### 6) 选择并安装刀具

单击菜单栏“设定刀具”按钮，弹出“刀具库”对话框，完成相应的刀具建立与安装，确认后退出“刀具库”对话框，如图 3-6 所示。

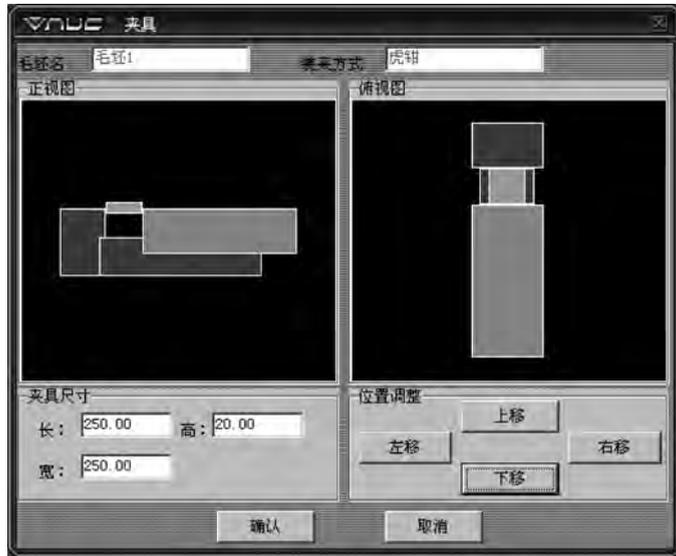


图 3-5 夹具选择

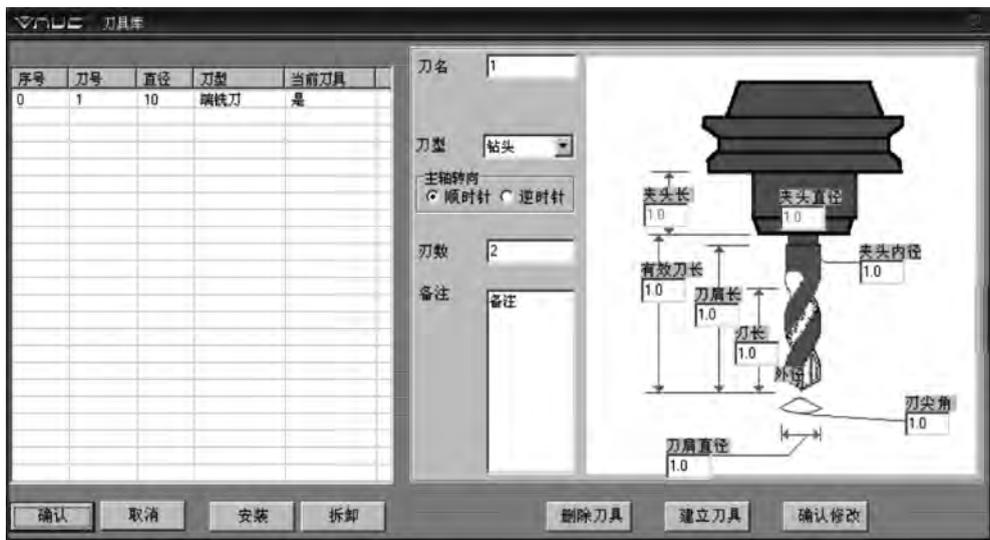


图 3-6 “刀具库”对话框

### 7) 输入程序

程序的输入可以通过键盘或鼠标完成,也可以导入程序。

### 8) 建立工件坐标系

(1) 基准工具完成 X、Y 向对刀。

① 选择基准工具。如图 3-7 所示,选择菜单栏工艺流程选项,下拉列表中选择“标准工具”进行对刀。

② 主轴正转。MDI 模式下输入“M03 S500;”单击“循环启动”按钮,主轴正转。

③ X 向对刀。利用手动快进模式调节基准工具靠近毛坯左侧,当接近工件侧面改为手轮模式,单击菜单可进行手轮的显示与隐藏切换。然后利用菜单“工具/辅助视图”调出塞尺,选

择合适塞尺厚度,用手轮调整基准工具靠近毛坯,直至塞尺检查“合适”为止。如图 3-8 所示,单击“工具”→“辅助视图”命令可关闭辅助视图,收起塞尺。

单击 POS 键,按下相对键,单击 X 键后,按起源键,此时相对坐标为 X0,如图 3-9 所示。

将基准工具上移、右移,用同样的方法接近毛坯右侧面,直至塞尺检查合适,如图 3-10 所示,记下此时 X 的相对值,并将基准工具移至 X 相对值的一半处,完成 X 向对刀,如图 3-11 所示。在操作面板上选择 OFFSET 键中的坐标系选项,键入“0”,单击“测量”键,完成坐标 G54 的 X 值设定。

④ Y 向对刀。采用与 X 相同方法完成 Y 向对刀,并进行坐标系设置,如图 3-12 所示。

(2) 塞尺完成 Z 向对刀。

Z 向对刀选用 1 号刀具,换下基准工具,利用塞尺检验合适后,单击 OFFSETTING 键,按下坐标系键,将光标移至 Z 值处,输入“1.0”,单击“测量”键,完成 Z 向对刀,如图 3-13 所示。



图 3-7 调用基准工具

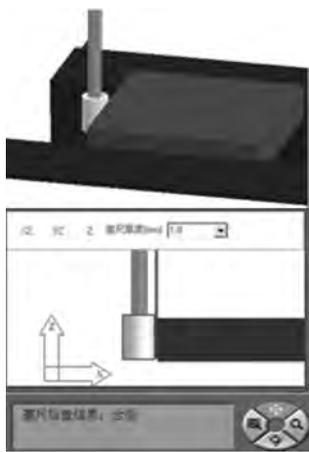


图 3-8 塞尺检测



图 3-9 相对坐标设置

### 9) 自动加工

编辑模式下调出程序,在加工模式下,用循环启动开始加工零件。

## 3. 编程基础

### 1) 主轴功能

主轴功能主要表示主轴转速或线速度,主轴功能用字母 S 和其后面的数字表示,单位为 r/min 或 m/min, S 为模态指令。

### 2) 进给功能

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,单位为 mm/min)或 G95(每转进给量,单位为 mm/r)。

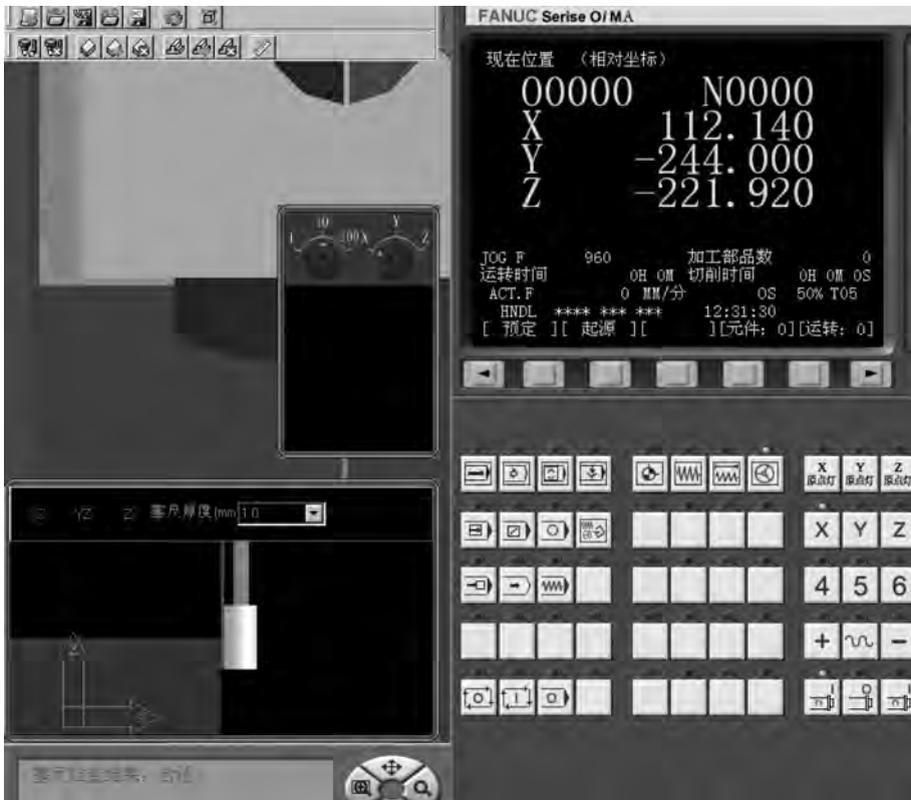


图 3-10 X 右侧面对刀

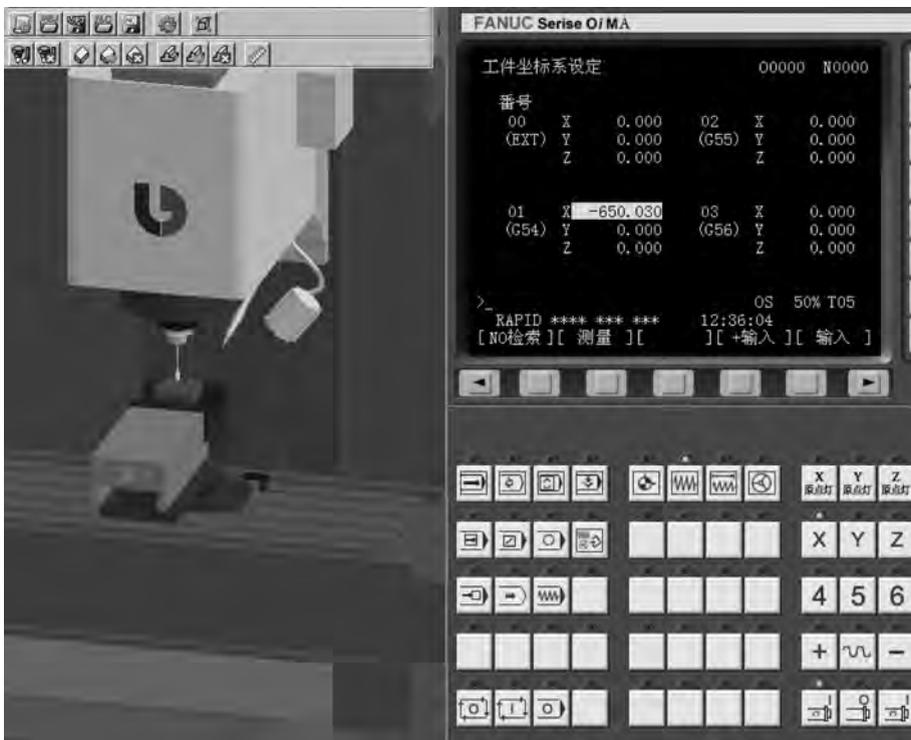


图 3-11 G54 X 坐标设置



图 3-12 G54 Y 坐标设置



图 3-13 G54 中 Z 坐标设置

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,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 和螺纹切削 G33 时,倍率开关失效,进给倍率固定在 100%。

### 3) 刀具功能

T 代码用于选刀,其后的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,然后等待至 M06 指令作用时自动完成换刀。

T 指令同时调入刀补寄存器中的刀补值(刀补长度和刀补半径),T 指令为非模态指令,但被调用的刀补值一直有效,直到再次换刀调入新的刀补值。

### 4) 辅助功能

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及机床各种辅助功能的开关动作。

#### (1) 程序暂停 M00。

当 CNC 执行到 M00 指令时,将暂停执行当前程序,以方便操作员进行刀具和工件的尺寸测量、工件调头、手动变速等操作。暂停时,机床的主轴进给及冷却液停止,而全部现存的模态信息保持不变。要继续执行后续程序,重按操作面板上的“循环启动”键。

#### (2) 程序结束 M02。

M02 编在主程序的最后一个程序段中,当 CNC 执行到 M02 指令时,机床的主轴进给冷却液全部停止,加工结束。使用 M02 的程序结束后,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) 程序结束 M30。

M30 和 M02 功能基本相同,只是 M30 指令还兼有控制返回到零件程序头(O)的作用。使用 M30 的程序结束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”键即可。

#### (4) 主轴控制指令 M03、M04、M05。

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。

M03、M04 为模态前作用 M 功能,M05 为模态后作用 M 功能,M05 为缺省功能。M03、M04、M05 可相互注销。

#### (5) 冷却液打开停止指令 M07、M09。

M07: 指令将打开冷却液管道。

M09: 指令将关闭冷却液管道。

M07 为模态前作用 M 功能,M09 为模态后作用 M 功能,M09 为缺省功能。

### 5) 准备功能

准备功能指令如表 3-1 所示。

表 3-1 常用 G 代码含义

代码	组	意义	代码	组	意义	代码	组	意义
* G00	01	快速点定位	G28	00	回参考点	G52	00	局部坐标系设定
G01		直线插补	G29		参考点返回	G53		机床坐标系编程
G02		顺圆插补	* G40	09	刀径补偿取消	* G54	11	工件坐标系 1~6 选择
G03		逆圆插补	G41		刀径左补偿	G59		
G33	螺纹切削	G42	刀径右补偿		G92	工件坐标系设定		
G04	00	暂停延时	G43	10	刀长正补偿	G65	00	宏指令调用
G07	16	虚轴指定	G44		刀长负补偿			
G09	00	准停校验	* G49		刀长补偿取消			
* G11	07	单段允许	* G50	04	缩放关	G73~ G89	06	钻、镗循环
G12		单段禁止	G51		缩放开			
* G17	02	XY 加工平面	G24	03	镜像开	* G90	13	绝对坐标编程
G18		ZX 加工平面	* G25		镜像关	G91		增量坐标编程
G19		YZ 加工平面	* G61	12	精确停止校验	* G94	14	每分钟进给方式
G20	英制单位	G64	连续方式		G95	每转进给方式		
* G21	08	公制单位	G68	05	旋转变换	G98	15	回初始平面
G22		脉冲当量	* G69		旋转取消	* G99		回参考平面

注：① 表内 00 组为非模态指令，只在本程序段内有效。其他组为模态指令，一次指定后持续有效，直到碰到本组其他代码。  
② 标有 \* 的 G 代码为数控系统通电启动后的默认状态。

#### 6) G54~G59——建立工件坐标系

G54~G59 是系统预定的 6 个工件坐标系，可根据需要任意选用。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)可用 MDI 方式输入，系统自动记忆，如图 3-14 所示。工件坐标系一旦选定，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。G54~G59 为模态功能，可相互注销，G54 为默认值。

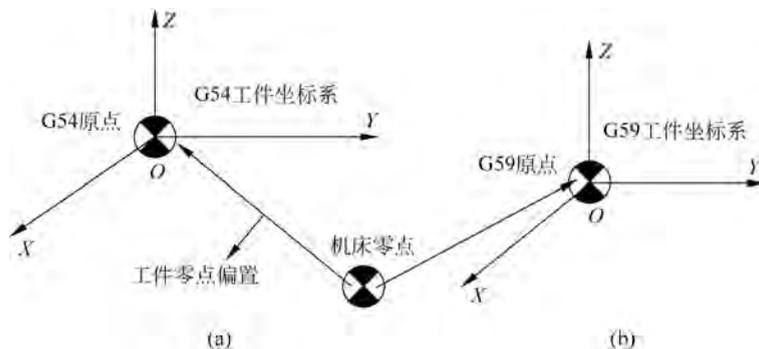


图 3-14 选择工件坐标系指令 G54~G59

如图 3-15, 要求刀具从当前点移动到 A 点, 再从 A 点移动到 B 点, 使用工件坐标系 G54 和 G59 的程序如下。

```
O100;
N10 G54 G00 G90 X30 Y40;
N20 G59;
N30 G00 X30 Y30;
```

在使用 G54~G59 指令时应注意,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。

### 7) G00——快速定位指令

格式:

G00 X\_Y\_Z\_;

说明:

(1) G00 指令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。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。

(2) 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。操作人员必须格外小心,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,再放心地执行 G00 指令。

### 8) G01——直线插补指令

格式:

G01 X\_Y\_Z\_;

说明: 指令多坐标(2、3 坐标)以联动的方式,按程序段中规定的合成进给速度 F,使刀具相对于工件按直线方式,由当前位置移动到程序段中规定的位置。当前位置是直线的起点,为已知点,而程序段中指定的坐标值为终点坐标。不移动的坐标轴可省略。

### 9) G90/G91 绝对/增量尺寸编程指令

绝对值编程 G90 与相对值编程 G91

格式:

G90 G\_X\_Y\_Z\_;

G91 G\_X\_Y\_Z\_;

说明:

(1) 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。

(1) 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。

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 和 G91 为模态功能,可相互注销,G90 为缺省值。

## 【任务实施】

### 1. 图样分析

该零件主要加工正方形槽,槽宽 10mm,槽深 4mm,正方形槽表面粗糙度为 Ra6.3。

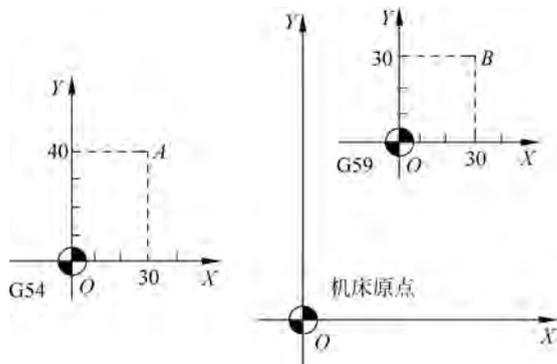


图 3-15 G54~G59 的应用

## 2. 加工工艺方案

数控加工工艺性分析涉及面很广,在此仅从数控加工的可能性和方便性两方面加以分析。

### 1) 零件图纸是否符合编程方便的原则

(1) 零件图上的尺寸标注方法应适应数控加工的特点。在数控加工零件图上,应以同一基准标注尺寸或直接给出坐标尺寸。这种标注方法既便于编程,也便于尺寸之间的相互协调,在保证设计基准、工艺基准、检测基准与编程原点设置的一致性方面带来很大的方便。由于零件设计人员一般在尺寸标注中较多地考虑装配等使用特性方面,而不得不采用局部分散的标注方法,这样就会给工序安排与数控加工带来许多不便。由于数控加工精度和重复定位精度都很高,不会因产生较大的积累误差而破坏使用特性,因此可将局部的分散标注法改为同一基准标注尺寸或直接给出坐标尺寸的标注法。

(2) 构成零件轮廓的几何元素的条件应充分。在手工编程时,要计算每个节点坐标。在自动编程时,要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义。因此在分析零件图时,要分析几何元素的给定条件是否充分。如圆弧与直线、圆弧与圆弧在图样上相切,但根据图上给出的尺寸,在计算相切条件时变成了相交或相离状态。由于构成零件几何元素条件的不充分,编程便无法下手。遇到这种情况时,应与零件设计者协商解决。

### 2) 零件结构工艺性分析

(1) 零件的内腔和外形最好采用统一的几何类型和尺寸,这样可以减少刀具规格和换刀次数,使编程方便,生产效率提高。

(2) 内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小,因而内槽圆角半径不应过小。如图 3-16 所示,零件工艺性的好坏与被加工轮廓的高低、转接圆弧半径的大小有关,图 3-16(b)与图 3-16(a)相比,转接圆弧半径大,可以采用较大直径的铣刀来加工。加工平面时,进给次数也相应减少,表面加工质量也会好一些,所以工艺性较好。通常  $R < 0.2H$  ( $H$  为被加工零件轮廓面的最大高度)时,可以判定零件的该部位工艺性不好。

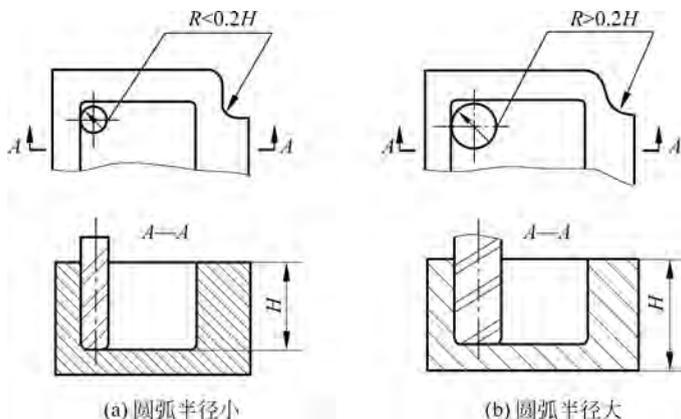


图 3-16 数控加工工艺性对比

(3) 零件铣削底平面时,槽底圆角半径  $r$  不应过大。如图 3-17 所示,圆角半径  $r$  越大,铣刀端刃铣削平面的能力越差,效率也越低。当  $r$  大到一定程度时,甚至必须用球头刀加工,这是应该尽量避免的。因为铣刀与铣削平面接触的最大直径  $d = D - 2r$  ( $D$  为铣刀直径)。当  $D$  一定时, $r$  越大,铣刀端刃铣削平面的面积越小,加工表面的能力越差,工艺性也越差。

(4) 应采用统一的基准定位。在数控加工中,若没有统一的基准定位,就会因工件的重新安装而导致加工后的两个面上轮廓位置及尺寸不协调。因此要避免上述问题的产生,保证两次装夹加工后其相对位置的准确性,应采用统一的基准定位。零件上最好有合适的孔作为定位基准孔,若没有,则要设置工艺孔作为定位基准孔(如在毛坯上增加工艺凸耳或在后续工序要铣去的余量上设置工艺孔)。若无法制造出工艺孔时,最起码也要用经过精加工的表面作为统一基准,以减少两次装夹产生的误差。

此外,还应分析零件所要求的加工精度、尺寸公差等是否可以得到保证,有无引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。

(1) 采用平口钳装卡,毛坯高出钳口 10mm 左右。

(2) 用  $\phi 10$  键槽铣刀铣削正方形槽,铣削深度 4mm。走刀路线为  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow A$ ,如图 3-18 所示。

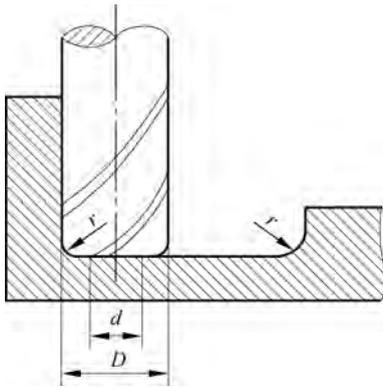


图 3-17 零件底面圆弧对加工工艺的影响

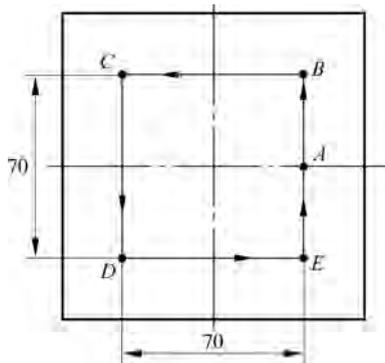


图 3-18 数控加工走刀路线

### 3. 程序编程

以工件上表面对称中心为工件坐标系原点,加工程序如表 3-2 所示。

表 3-2 槽件加工程序

程 序	说 明	程 序	说 明
O3001	程序名	Y35.0 F120;	直线插补至 B 点,进给量 120mm/min
G91 G28 Z0;	返回 Z 轴参考点		
M06 T01;	换 1 号键槽刀	X-35.0;	直线插补至 C 点
G54 G90 G00 X35.0 Y0;	绝对坐标,第一工件坐标系,快速定位到 A 点	Y-35.0;	直线插补至 D 点
		X35.0;	直线插补至 E 点
G00 Z50.0;	刀具快速定位至 Z50.0	Y0;	直线插补至 A 点
M03 S1200;	主轴正传,转速为 1200r/min	G00 Z5.0;	快速抬刀至 Z5.0
M08;	切屑液开	Z150.0;	抬刀至 Z150.0
Z5.0;	刀具快速定位至 Z5.0	M09;	冷却液关
G01 Z-4.0 F60;	直线插补至 Z-4.0,进给量 60mm/min	M05;	主轴停止
		M30;	程序结束并返回起点

#### 4. 仿真加工

启动软件→选择机床与数控系统→激活机床→回零→设置工件并安装→选择刀具并安装(注意仿真软件中无键槽铣刀,用立铣刀代替)→输入 O3001 号加工程序→建立工件坐标系→自动加工,仿真加工结果如图 3-19 所示。



图 3-19 数控加工仿真图

#### 【同步训练】

零件如图 3-20 和图 3-21 所示,材料硬铝合金,毛坯  $100 \times 100 \times 30$ ,编写加工程序,使用仿真软件验证程序并加工。

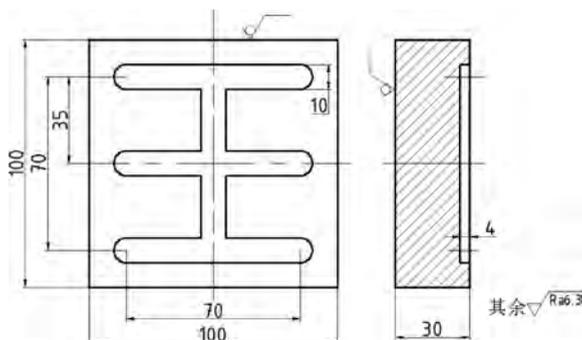


图 3-20 同步训练 1

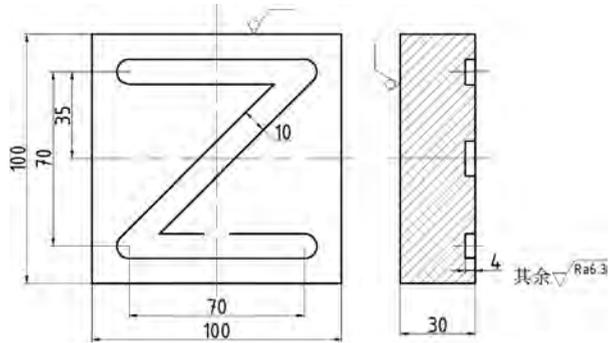


图 3-21 同步训练 2

## 3.2 任务 2 凸台零件的编程及仿真加工

### 【学习目标】

- (1) 熟悉凸台零件加工工艺。
- (2) 掌握 G02/G03、G40/G41/G42 和 M98/M99 指令及应用。
- (3) 学习仿真加工中对刀操作。
- (4) 具有使用 G02/G03、G40/G41/G42 和 M98/M99 指令,编写凸台零件加工程序的能力。
- (5) 具有使用仿真软件验证凸台零件程序正确性的能力。

### 【任务描述】

如图 3-22 所示的零件材料为硬铝合金,毛坯  $100 \times 100 \times 30$ ,使用 3 轴立式数控加工中心,单件生产,编写加工程序,运用 VNUC 4.3 软件进行仿真加工。

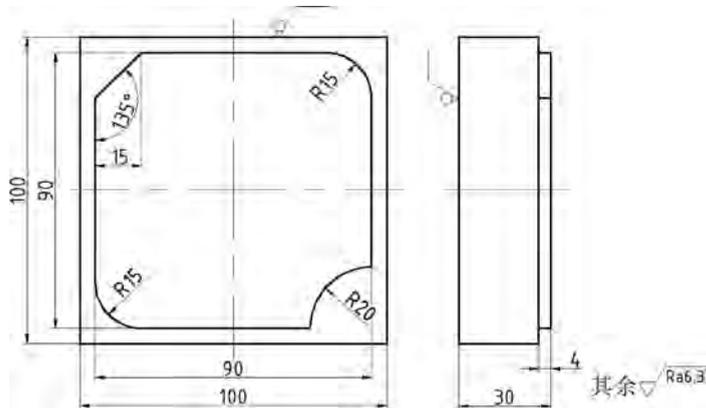


图 3-22 凸台零件

### 【相关知识】

#### 1. 加工工艺

##### 1) 顺铣与逆铣

切削工件外轮廓时,绕工件外轮廓顺时针走刀为顺铣,绕工件外轮廓逆时针走刀为逆铣,

如图 3-23(a)所示。切削工件内轮廓时,绕工件内轮廓逆时针走刀为顺铣,绕工件内轮廓顺时针走刀为逆铣,如图 3-23(b)所示。加工工件时,常采用顺铣,其优点是刀具切入容易,切削刃磨损慢,加工表面质量较高。

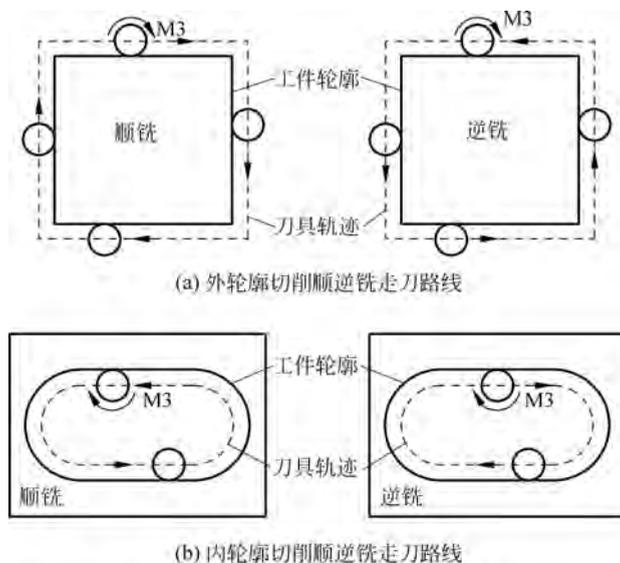


图 3-23 顺逆铣走刀路线

## 2) 切削用量的选择

选择切削用量的原则是在保证工件加工精度和刀具耐用度的前提下,获得最高的生产率和最低的成本。

### (1) 背吃刀量 $a_p$ 。

当侧吃刀量  $a_e < d/2$  ( $d$  为铣刀直径)时,  $a_p = (1/3 \sim 1/2)d$ ; 当  $d/2 \leq a_e < d$  时,  $a_p = (1/4 \sim 1/3)d$ ; 当  $a_e = d$  (满刀时),  $a_p = (1/5 \sim 1/4)d$ 。

### (2) 进给速度 $F$ 。

粗铣时进给量主要依据刀具强度、机床、夹具等工艺系统刚性来选择。在强度刚度许可的条件下,进给量应尽量取大值;精铣时一般取较小值。

### (3) 铣削速度 $v_c$ 。

粗铣时切削温度高,为了保证铣刀的耐用度,主轴转速要低一些;精铣时主轴转速要高一些。

## 3) 加工顺序

### (1) 基准面先行原则。

用作基准的表面应优先加工出来,定位基准的表面越精确,装夹误差就越小。

### (2) 先粗后精。

铣削按照先粗铣后精铣的顺序进行。当工件精度要求较高时,在粗、精铣之间加入半精铣。

### (3) 先面后孔。

一般先加工平面,再加工孔和其他尺寸,利用已加工好的平面不仅定位可靠,而且在其上加工孔更为容易。

(4) 先主后次。

装配基准面应先加工零件的主要工作表面,次要表面可放在主要加工表面加工到一定程度后,精加工之前进行。

4) 加工刀具

常用铣削刀具具有盘铣刀、立铣刀、键槽铣刀、球头铣刀等,如图 3-24 所示。

(1) 盘铣刀主要用于加工平面,尤其适合加工大面积平面。

(2) 立铣刀是数控加工中最常用的一种铣刀,主要用于加工台阶面以及平面轮廓。大多数立铣刀的端面刃不过中心,不宜直接 Z 向进刀。

(3) 键槽铣刀主要用于加工封闭的键槽。

(4) 球头铣刀主要用于加工空间曲面零件。

铣削加工常用刀具的刀位点如图 3-25 所示。



图 3-24 常用铣刀类型



图 3-25 刀具的刀位点

5) 进刀与退刀路线

利用铣刀侧刃铣削平面轮廓时,为了保证铣削轮廓的完整平滑,应采用切向切入、切向切出的走刀路线,如图 3-26 所示。

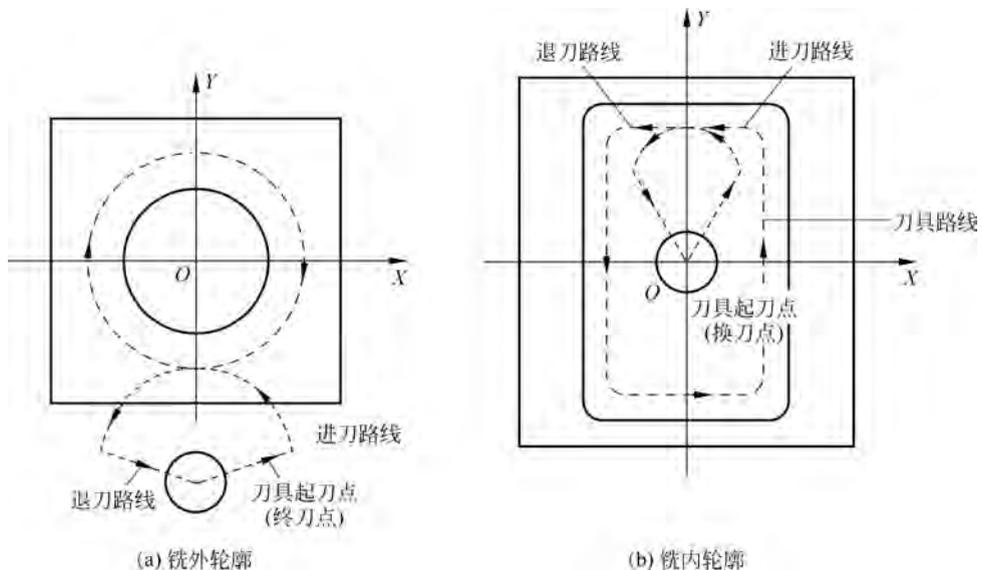


图 3-26 进刀与退刀路线

## 6) Z 向进刀路线

当加工外轮廓时,通常选择直接进刀法,从毛坯外进刀,如图 3-27 所示。

## 2. 编程基础

## 1) G40/G41/G42——刀具半径补偿指令

## (1) 功能。

使用该指令编程时只需按零件轮廓编程,不需要计算刀具中心运动轨迹,从而简化计算和程序编制。

## (2) 指令格式。

以 XY 平面为例。

```
G41/G42 G00/G01 X_ Y_ D_ (F_ );
```

```
...
```

```
G40 G00/G01 X_ Y_ (F_ );
```

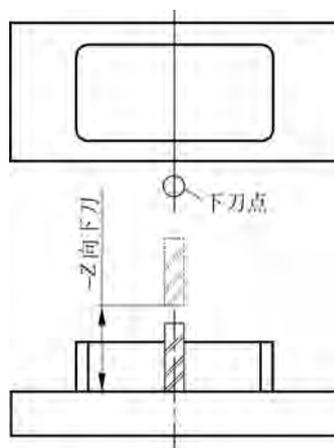


图 3-27 进刀路线

其中: G41/G42——刀具半径左/右补偿,沿着刀具前进的方向看,刀具在工件轮廓的左/右侧,如图 3-28 所示;

G40——刀具半径补偿取消;

X、Y——建立、取消刀具半径补偿时目标点坐标;

D——刀具半径补偿号。

## (3) 注意事项。

- ① 在执行直线移动命令时建立或取消刀具半径补偿。
- ② 使用时应指定所在的补偿平面,且不可以切换补偿平面。
- ③ 进、退刀圆弧半径必须大于刀具半径值。

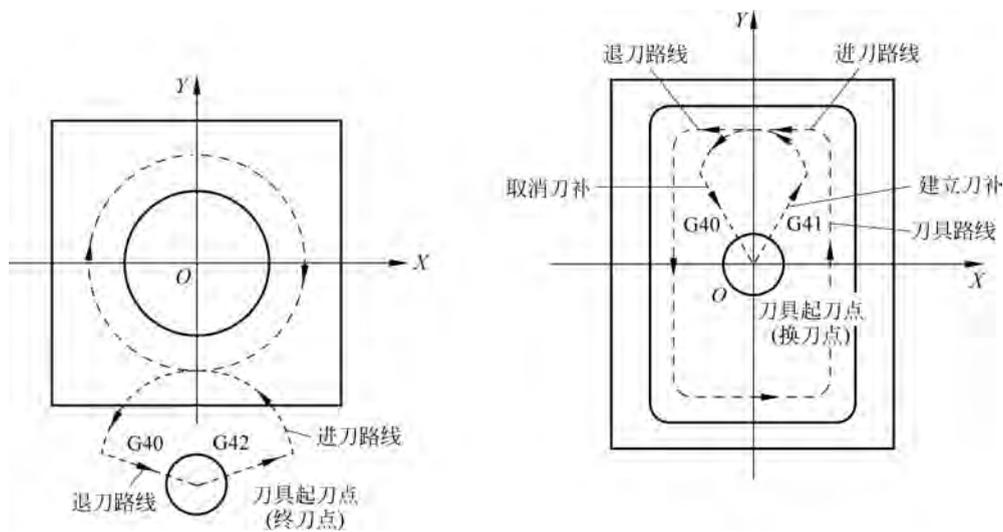


图 3-28 刀具半径补偿

## 2) 坐标平面选择 G17、G18、G19

说明:

(1) G17、G18、G19 分别表示规定的操作在 XY、ZX、YZ 坐标平面内,如图 3-29 所示。

(2) G17、G18、G19 为模态功能,可相互注销,G17 为缺省值。

(3) 移动指令与平面选择无关。例如执行指令 G17 G01 Z10 时,Z 轴照样会移动。

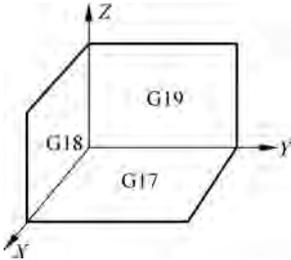


图 3-29 坐标平面选择指令  
G17、G18、G19

## 3) G02/G03 圆弧插补指令

(1) 功能。

使刀具在指定的平面内按给定进给速度进行顺时针圆弧(G02)或逆时针圆弧(G03)切削加工,如图 3-30 所示。

(2) 指令格式。

G17 G02(G03)X\_Y\_R\_(I\_J\_)F\_;

G18 G02(G03)X\_Z\_R\_(I\_K\_)F\_;

G19 G02(G03)Y\_Z\_R\_(J\_K\_)F\_;

其中: G02/G03——顺/逆时针圆弧插补指令,从指定平面相垂直的坐标轴的正向往负向看,

G02 圆弧为顺时针旋转,G03 圆弧为逆时针旋转,如图 3-31 所示;

X、Y、Z——圆弧终点坐标;

R——圆弧半径, $0^\circ < \text{圆心角} < 180^\circ$ 时取正, $180^\circ \leq \text{圆心角} < 360^\circ$ 时取负;

I/J/K——圆心 X/Y/Z 坐标相对圆弧起点 X/Y/Z 坐标的增量;

F——进给速度。

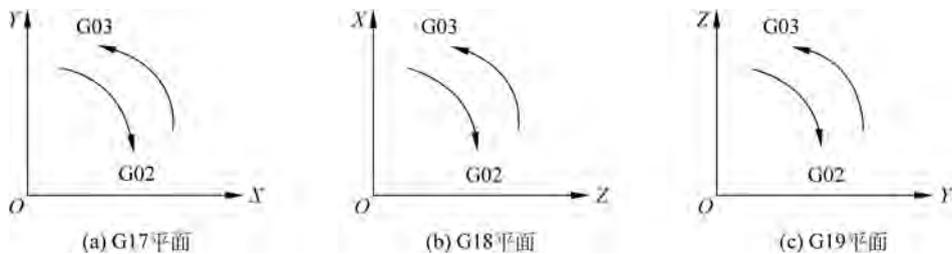


图 3-30 G02/G03 圆弧插补平面图

(3) 注意事项。

① I、J、K 为零时可以省略。

② 在同一程序段中,若 I、J、K 与 R 同时出现,R 有效。

③ 加工整圆时只能用圆心坐标 I、J、K 编程。

④ 螺旋线进给。

指令格式:

G17 G02(G03)X\_Y\_R\_(I\_J\_)Z\_F\_;

G18 G02(G03)X\_Z\_R\_(I\_K\_)Y\_F\_;

G19 G02(G03)Y\_Z\_R\_(J\_K\_)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坐标轴终点,其余参数的意义同圆弧进给。

使用 G03 对图 3-32 所示的螺旋线编程,程序如下。

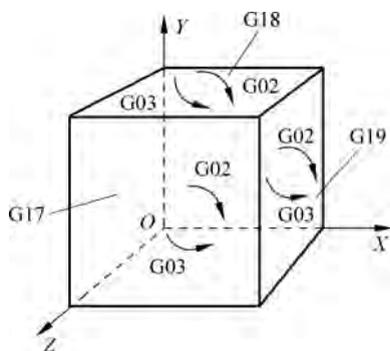


图 3-31 各平面 G02/G03 圆弧插补示意图

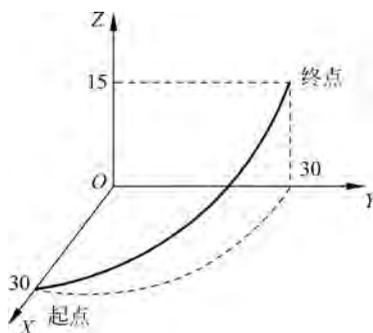


图 3-32 螺旋线编程

G90 编程时:

```
G90 G17 F300;
G03 X0 Y30.0 R30.0 Z15.0;
```

G91 编程时:

```
G91 G17 F300;
G03 X-30.0 Y30.0 R30.0 Z15.0;
```

4) 子程序调用 M98 及从子程序返回 M99

一次装夹加工多个形状相同或刀具运动轨迹相同的零件,即一个零件有重复加工部分的情况下,为了简化加工程序,把重复轨迹的程序段独立编成一程序进行反复调用,这重复轨迹的程序称为子程序,而调用子程序的程序称主程序。如图 3-33 所示为子程序调用执行过程。

说明:

(1) 调用子程序的格式

```
M98 P_ L_;
```

说明:

M98——用来调用子程序;

P——被调用的子程序号;

L——重复调用次数,省略重复次数,则认为重复调用次数为 1 次。例如,M98 P123 L3;  
表示程序号为 123 的子程序被连续调用 3 次。

(2) 子程序的格式

```
O**** ;子程序名
:
M99 ;子程序结束
```

说明: M99 表示子程序结束,执行 M99 使控制返回到主程序。

在子程序开头必须规定子程序号作为调用入口地址,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。

**【实例 3-1】** 加工如图 3-34 所示的六个方形凸台轮廓,高度为 4mm,已知刀具起始位置为(0,0,50),试编制程序。

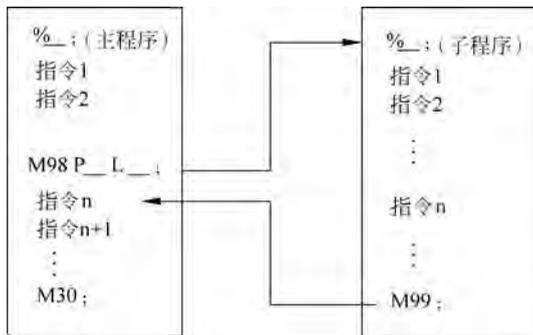


图 3-33 子程序调用执行过程

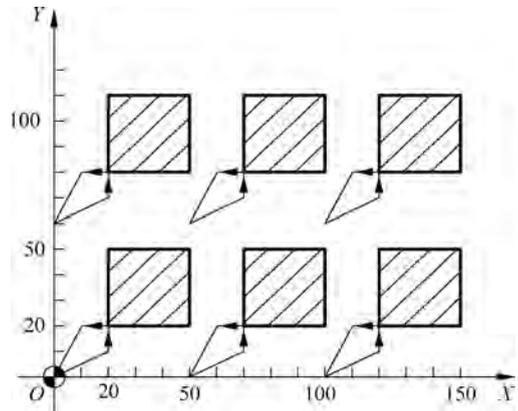


图 3-34 子程序调用

程序如下：

O100;	主程序
N10 G92 X0 Y0 Z50.0;	设定工件坐标系
N20 M03 S500 M07;	启动主轴,冷却液开
N30 G90 G00 Z3.0;	快速定位到工件零点上方 3mm
N40 M98 P99 L3;	调用子程序 O99,并连续调用 3 次,完成 3 个方形轮廓的加工
N50 G90 G00 X0 Y60.0;	快速定位到加工另 3 个方形轮廓的起始点位置
N60 M98 P99 L3;	调用子程序 O99,并连续调用 3 次,完成 3 个方形轮廓的加工
N70 G90 G00 X0 Y0 Z50.0;	回到起刀点
N80 M05 M09;	主轴停,冷却液关
N90 M30;	程序结束
O99;	子程序,加工一个方形轮廓的轨迹路径
N10 G91 G01 Z-7.0 F100;	相对坐标编程,进切深到工件表面以下 4mm 处
N20 G41 X20.0 Y10.0 D01;	建立刀具半径左补偿
N30 Y40.0;	直线插补
N40 X30.0;	直线插补
N50 Y-30.0;	直线插补
N60 X-40.0;	直线插补
N70 G40 X-10.0Y-20.0;	取消刀补
N80 G00 Z7.0;	快速退刀
N90 G00 X50.0	
N100 M99;	子程序结束

在使用子程序编程时,应注意主、子程序使用不同的编程方式。一般主程序使用 G90 指令,而子程序使用 G91 指令,避免刀具在同一位置加工。

## 【任务实施】

### 1. 图样分析

零件主要加工对象是一个由两个 R15 的凸圆弧、一个 R20 的凹圆弧与直线连接而成的凸台。

## 2. 加工工艺方案

(1) 利用平口钳装夹毛坯,使毛坯高出钳口 20mm 左右。

(2) 用  $\phi 16$  三刃立铣刀铣凸台,余量手工切除,走刀路线由  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \dots \rightarrow B \rightarrow J \rightarrow A$ , 如图 3-35 所示。

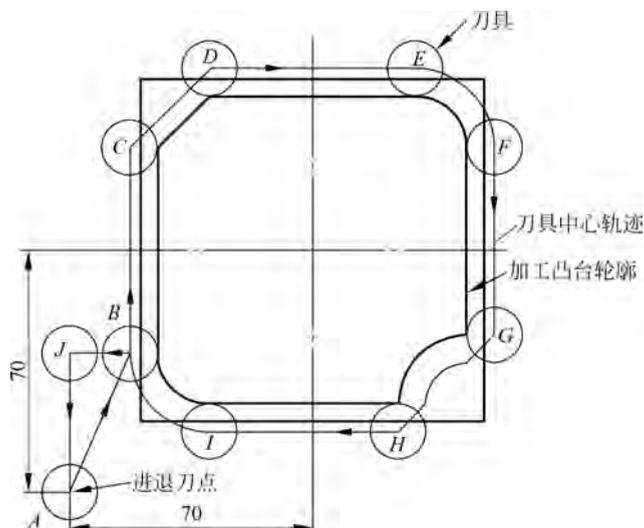


图 3-35 数控加工走刀路线

## 3. 程序编程

以工件上表面对称中心为工件坐标系原点,加工程序如表 3-3 所示。

表 3-3 凸台轮廓加工程序

程 序	说 明
O3002	程序名
G91 G28 Z0;	返回 Z 轴参考点
M06 T01;	换 1 号 $\phi 16$ 三刃立铣刀
G54 G90 G00 X-70.0 Y-70.0;	绝对坐标,第一工件坐标系,快速定位到 A 点
G00 Z50.0;	刀具快速定位至 Z50.0
M03 S1000;	主轴正转,转速为 1000r/min
M08;	切屑液开
Z5.0;	刀具快速定位至 Z5.0
G01 Z-4.0 F240;	直线插补至 Z-4.0,进给量 240mm/min
G41 X-45.0 Y-30.0 D01;	直线插补至 B 点,增加刀具半径补偿,Y 值可取更小些 Y-33.0,直线切入
Y30.0;	直线插补至 C 点
X-30.0 Y45.0;	直线插补至 D 点
X30.0;	直线插补至 E 点
G02 X45.0 Y30.0 R15.0;	圆弧插补至 F 点
G01 Y-25.0;	直线插补至 G 点
G03 X25.0 Y-45.0 R20.0;	圆弧插补至 H 点
G01 X-30.0;	直线插补至 I 点

续表

程 序	说 明
G02 X-45.0 Y-30.0 R15.0;	圆弧插补至 B 点
G01 X-70.0;	直线插补至 J 点
G40 X-70.0 Y-70.0	直线插补至 A 点,取消刀具半径补偿
G00 Z5.0;	快速拾刀至 Z5.0
Z150.0;	拾刀至 Z150.0
M09;	冷却液关
M05;	主轴停止
M30;	程序结束并返回起点

#### 4. 仿真加工

启动软件→选择机床与数控系统→激活机床→回零→设置毛坯并安装→基准工具 X、Y 方向对刀→刀具 Z 向对刀→输入 O3002 程序→自动加工→测量尺寸,仿真结果如图 3-36 所示。



图 3-36 数控加工仿真零件图

#### 【同步训练】

零件如图 3-37 和图 3-38 所示,材料硬铝合金,毛坯  $100 \times 100 \times 20$ ,编写加工程序,使用仿真软件验证程序并加工。

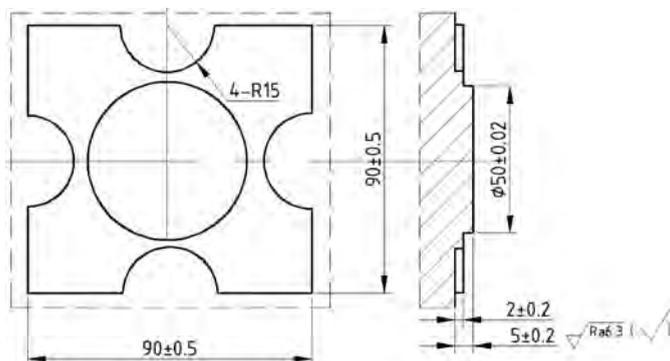


图 3-37 同步训练 1

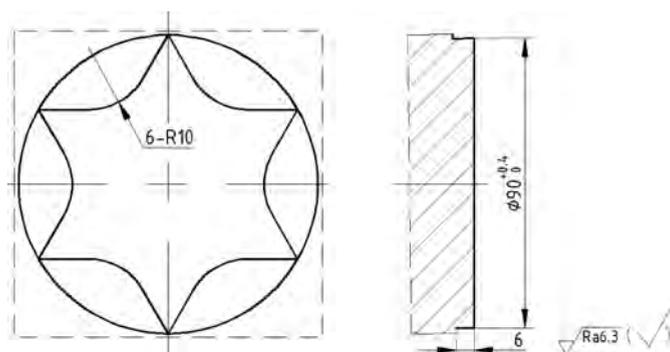


图 3-38 同步训练 2

### 3.3 任务3 型腔零件的编程及仿真加工

#### 【学习目标】

- (1) 熟悉型腔零件加工工艺。
- (2) 掌握 G43/G44/G49 和 G10 指令及应用。
- (3) 学习仿真加工中刀具的 Z 向对刀操作。
- (4) 具有读图、识图的能力。
- (5) 具有编写型腔零件加工程序的能力。
- (6) 具有使用仿真软件验证型腔零件程序正确性的能力。

#### 【任务描述】

如图 3-39 所示零件材料为硬铝合金,毛坯  $100 \times 100 \times 30$ ,使用 3 轴立式加工中心,单件生产,编写加工程序,运用 VNUC 4.3 软件进行仿真加工。

#### 【相关知识】

##### 1. 加工工艺

###### 1) 刀具的选择

型腔铣削时,采用的刀具一般有键槽铣刀和普通立铣刀。

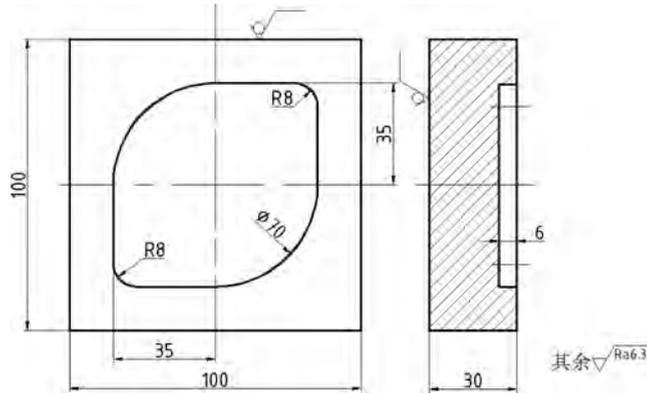


图 3-39 型腔零件

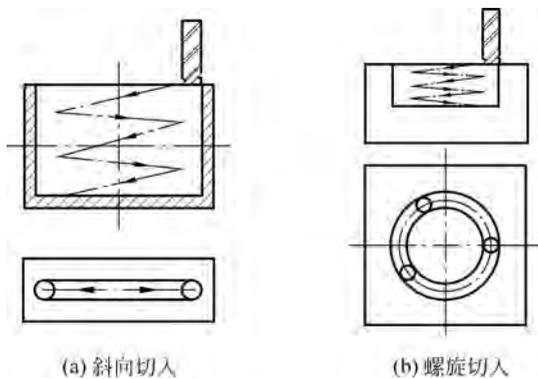
键槽铣刀其端部刀刃通过中心,可以垂直下刀,但由于只有两刃切削,加工时的平稳性比较差,加工工件的表面粗糙度较大,因此适合小面积或被加工零件表面粗糙度要求不高的型腔加工。

普通立铣刀具有较高的平稳性和较长使用寿命,但是由于大多数立铣刀端部切削刃不过中心,所以不宜直接沿  $Z$  向切入工件。一般先用钻头预钻工艺孔,然后沿工艺孔垂直切入。适合大面积或被加工零件表面粗糙度要求较高的型腔加工。

## 2) 刀具 $Z$ 向切入方法

键槽铣刀可以直接沿  $Z$  向切入工件。

立铣刀不宜直接沿  $Z$  向切入工件,可以采用以下两种方法:方法一先用钻头预先加工出工艺孔,然后沿工艺孔垂直切入工件;方法二选择斜向切入或螺旋切入的方法,如图 3-40 所示。

图 3-40  $Z$  向切入方法

## 3) 粗加工走刀路线

粗加工走刀路线有行切法、环切法和先行切后环切法,如图 3-41 所示。

行切法走刀路线较短,但是加工出的表面粗糙度不好;环切法获得的表面粗糙度好于行切法,但是刀位点计算复杂;先行切后环切法既可以获得较短的走刀路线又能获得较好的表面粗糙度。

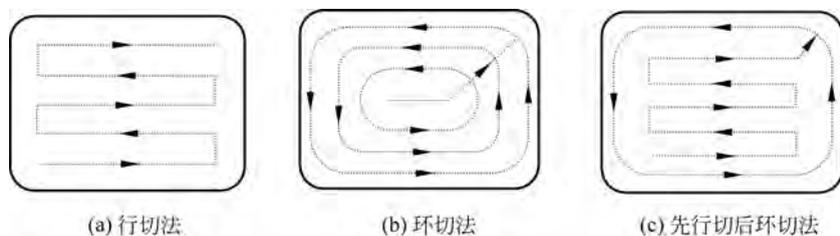


图 3-41 粗加工走刀路线

## 2. 编程基础

### 1) G43/G44/G49 刀具长度补偿指令

#### (1) 功能。

当由于刀具磨损、更换刀具等原因使刀具长度发生变化时,该指令使得数控机床能够根据实际使用的刀具尺寸自动调整差值。刀具长度补偿指令主要针对刀具轴向(Z 方向)的补偿。它能使刀具在 Z 方向上的实际偏移量在程序给定值基础上增加或减少一个偏置量,由 G43 和 G44 两个指令实现。G43 为刀具长度正补偿,G44 为刀具长度负补偿,G49 取消刀具长度补偿。

#### (2) 指令格式。

G43 G00/G01 Z\_H\_;

G44 G00/G01 Z\_H\_;

G49 G00/G01 Z\_;

其中: G43——刀具长度正方向补偿,即  $Z \text{ 实际值} = Z \text{ 程序指令值} + H$  代码中的偏置值,编程时一般使用 G43 指令,通过改变 H 指令的刀具偏置值的正负来实现向正或负方向移动,如图 3-42 所示;

G44——刀具长度负方向补偿,即  $Z \text{ 实际值} = Z \text{ 程序指令值} - H$  代码中的偏置值;

G49——取消刀具长度补偿;

Z——目标点坐标;

H——刀具长度补偿值的存储地址。

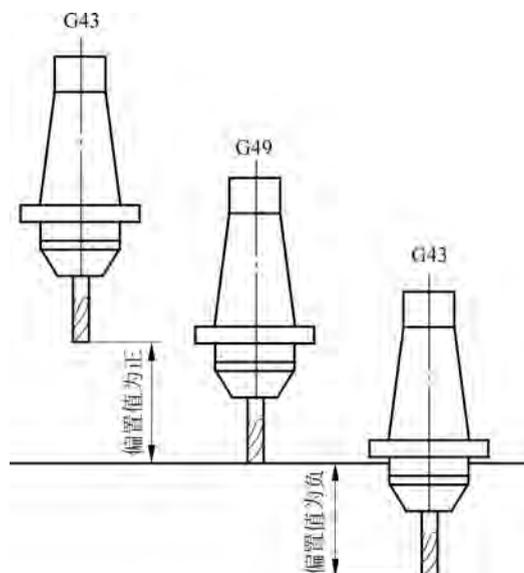


图 3-42 刀具长度补偿 G43

(3) 注意事项。

① 刀具沿 Z 轴方向第一次移动时建立刀具长度补偿。

② 使用 G43、G44 指令时,不管是 G90 指令有效还是 G91 指令有效,刀具移动的最终 Z 方向位置,都是程序中指定的 Z 与 H 指令的对应偏置量进行计算。

③ G43、G44 为模态代码,除用 G49 取消刀具长度补偿外,也可用 H00 指令。

如图 3-43 所示,当执行 G43 时,用已存放在刀具参数表中的数值与 Z 坐标相加,即 Z 实际值 = Z 指令值 + ( $H_{xx}$ ); 当执行 G44 时,用已存放在刀具参数表中的数值与 Z 坐标相减,即 Z 实际值 = Z 指令值 - ( $H_{xx}$ )。其中, ( $H_{xx}$ ) 是指 xx 寄存器中的补偿量,其值可以是正值或者是负值。当刀长补偿量取负值时,G43 和 G44 的功效将互换。另外,需要注意的是,当偏置号改变时,新的偏置值并不加到旧偏置值上。例如:设 H01 的偏置值为 20,H02 的偏置值为 30,执行程序 G90 G43 Z100 H01,Z 将达到 120;执行程序 G90 G43 Z100 H02,Z 将达到 130。

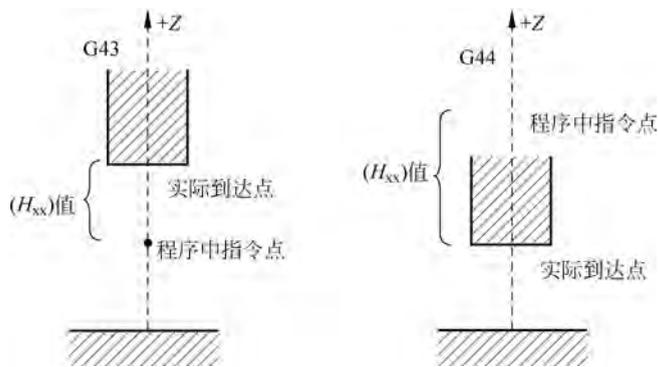


图 3-43 G43 与 G44 的区别

刀具长度补偿指令通常用在下刀或提刀的程序指令 G00 或 G01 中,使用多把刀具时,通常是每一把刀具对应一个刀长偏置号,下刀时使用 G43 或 G44,该刀具加工结束后提刀时使用 G49 取消刀长补偿。如图 3-44 所示为刀具长度补偿实例,程序如下。

设 ( $H02$ ) = 160mm 时:

N10 G92 X0 Y0 Z0;	设定当前点 O 为程序零点
N20 G90 G00 G44 Z10.0 H02;	指定点 A, 实际到点 B
N30 G01 Z - 20.0;	实际到点 C
N40 Z10.0;	实际返回点 B
N50 G49 G00 Z0;	实际返回点 O
⋮	

设 ( $H02$ ) = -160mm 时:

N10 G92 X0 Y0 Z0;
N20 G90 G00 G43 Z10.0 H02;
N30 G91 G01 Z - 30.0;
N40 Z30.0;
N50 G49 G00 Z150.0;
⋮

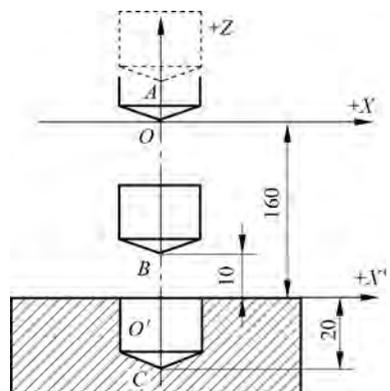


图 3-44 刀具长度补偿实例

从上述程序例中可以看出,使用 G43、G44 相当于平移了 Z 轴原点,即将坐标原点 O 平移到了 O' 点处,后续程序中的 Z 坐标均相对于 O' 进行计算。使用 G49 时则又将 Z 轴原点平移回到了 O 点。

同样地,也可采用 G43 H00 或 G44 H00 来替代 G49 的取消刀具长度补偿功能。

## 2) G10 用程序输入补偿值指令

(1) 功能。

在程序中运用编程指令指定刀具的补偿值。

(2) 指令格式。

H 的几何补偿值编程格式: G10 L10 P\_ R\_;

H 的磨损补偿值编程格式: G10 L11 P\_ R\_;

D 的几何补偿值编程格式: G10 L12 P\_ R\_;

D 的磨损补偿值编程格式: G10 L13 P\_ R\_;

其中: P——刀具补偿号,即刀具补偿存储器页面中的“番号”;

R——刀具补偿量。G90 有效时,R 后的数值直接输入到“番号”中相应的位置;G91 有效时,R 后的数值与相应“番号”中的数值相叠加,得到一个新的数值替换原有数值。

如图 3-45 所示,利用 G10 指令编写刀具半径补偿值分别为 R8、R22、R32。

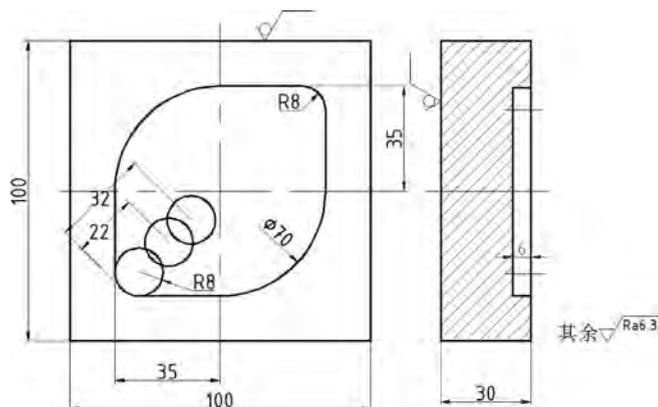


图 3-45 G10 补偿位置示意图

## 【任务实施】

### 1. 图样分析

加工表面是由两段 R35 的圆弧、两段 R8 的圆弧以及四段直线连接而成的型腔轮廓,表面粗糙度为 Ra6.3。与前一任务对比,增加了内轮廓加工。

### 2. 加工工艺方案

#### 1) 加工方案

(1) 利用平口钳装夹毛坯,使毛坯高出钳口 10mm 左右。

(2) 利用盘铣刀手动铣削毛坯上表面,保证工件高度为 20mm。

(3) 利用  $\phi 16$  钻头加工工艺孔。

(4) 用  $\phi 16$  三刃立铣刀粗铣型腔轮廓,工件单边留 0.2mm 精加工余量。采用直进法切削,粗铣型腔的刀具路线如图 3-46 所示。

(5) 用  $\phi 12$  三刃立铣刀精铣型腔轮廓,采用圆弧切向进退刀法,刀具路线如图 3-47 所示。

#### 2) 程序编程

加工程序如表 3-4~表 3-6 所示。

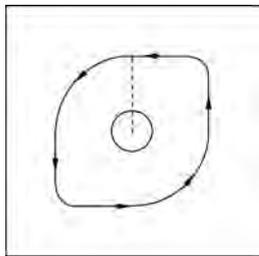


图 3-46 数控加工走刀路线

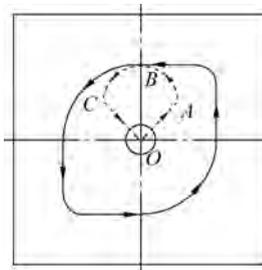


图 3-47 加工进刀路线

表 3-4 型腔零件加工程序

程 序	说 明	程 序	说 明
O3003	程序名	M05;	主轴停止
G91 G28 Z0;	返回 Z 轴参考点	M09;	关闭切削液
M06 T01;	换 1 号 $\phi 16$ 三刃立铣刀	G91 G28 Z0;	返回 Z 轴参考点
G54 G90 G00 X0 Y0;	绝对坐标,第一工件坐标系,快速定位到零点	M06 T02;	换取 2 号刀 $\phi 12$ 三刃立铣刀
G00 Z50.0;	刀具快速定位至 Z50.0	G54 G90 G00 X0 Y0;	绝对坐标,第一工件坐标系,快速定位到零点
M03 S1000;	主轴正转,转速为 1000r/min	M03 S1200;	主轴正转,转速为 1200r/min
M08;	切屑液开	M08;	切屑液开
G43 G00 Z50.0 H01;	建立刀具长度补偿并定位	G43 G00 Z50.0 H02;	建立刀具长度补偿并定位
Z5.0;	刀具快速定位至 Z5.0	Z5.0;	刀具快速定位至 Z5.0
G01 Z-6.0 F60;	直线插补,进给量 60mm/min	G01 Z-6.0 F60;	直线插补,进给量 60mm/min
G10 L12 P1 R32.0	输入半径补偿值 32mm	G10 L12 P2 R6.0	输入半径补偿值 6mm
M98 P3013;	调用子程序 O3013 一次	M98 P3023	调用子程序 O3023 一次
G10 L12 P1 R22.0	输入半径补偿值 22mm	G00 G49 Z150.0;	快速抬刀
M98 P3013;	调用子程序 O3013 一次	M05;	主轴停止
G10 L12 P1 R8.2;	输入半径补偿值 8.2mm	M09;	关闭切削液
M98 P3013;	调用子程序 O3013 一次	M30;	程序结束并返回起点
G00 Z150.0;	快速抬刀		

表 3-5 粗铣型腔轮廓加工程序

程 序	说 明
O3013	粗加工子程序名
G41 G01 Y35.0 D01 F400;	直线插补到点(0,35),建立刀具半径左补偿
G03 X-35.0 Y0 R35.0;	粗铣型腔轮廓
G01 Y-35.0;	
X0;	
G03 X35.0 Y0 R35.0;	
G01 Y35.0;	
X0;	
G40 X0 Y0;	退刀至 X0 Y0,取消刀具半径补偿
M99;	子程序结束

表 3-6 精铣型腔轮廓加工程序

程 序	说 明
O3023	精加工子程序名
G41 G01 X15.0 Y20.0 D02 F400;	直线插补到点(15,20),建立刀具半径左补偿
G03 X0 Y35.0 R15.0;	圆弧切向进刀点(0,35)
G03 X-35.0 Y0 R35.0;	精铣型腔轮廓
G01 Y-27.0;	
G03 X-27.0 Y-35.0 R8.0;	
G01 X0;	
G03 X35.0 Y0 R35.0;	
G01 Y27.0;	
G03 X27.0 Y35.0 R8.0;	
G01 X0;	圆弧切向退刀至(-15.0,20.0)
G03 X-15.0 Y20.0 R15.0;	
G40 G01 X0 Y0;	退刀,取消刀具半径补偿
M99;	子程序结束

### 3. 仿真加工

启动软件→选择机床与数控系统→激活机床→回零→设置毛坯并安装→基准工具 X、Y 方向对刀→T01、T02 两把刀具 Z 向对刀→输入程序→自动加工→测量尺寸,仿真结果如图 3-48 所示。



图 3-48 数控加工仿真零件图

## 【同步训练】

零件如图 3-49~图 3-51 所示,材料硬铝合金,毛坯  $100 \times 100 \times 30$ ,编写加工程序,使用仿真软件验证程序并加工。

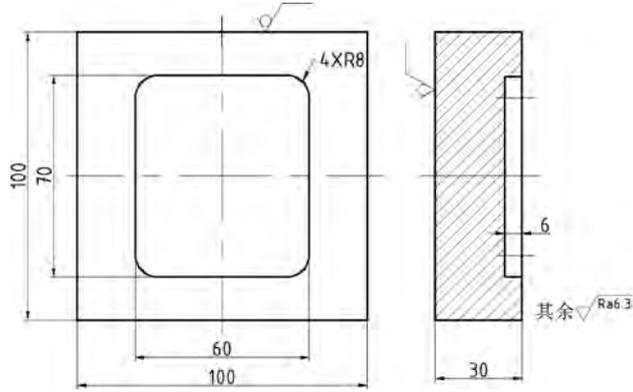


图 3-49 同步训练 1

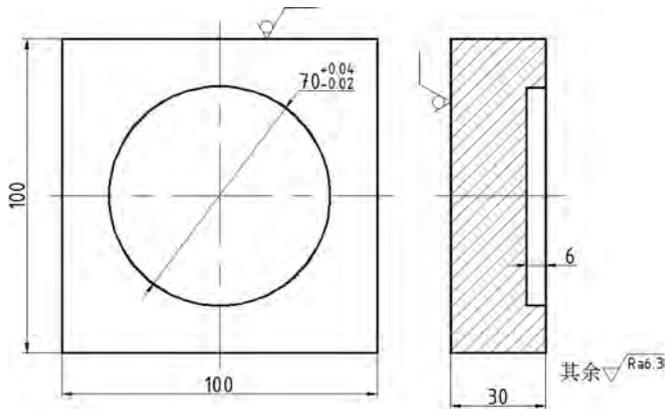


图 3-50 同步训练 2

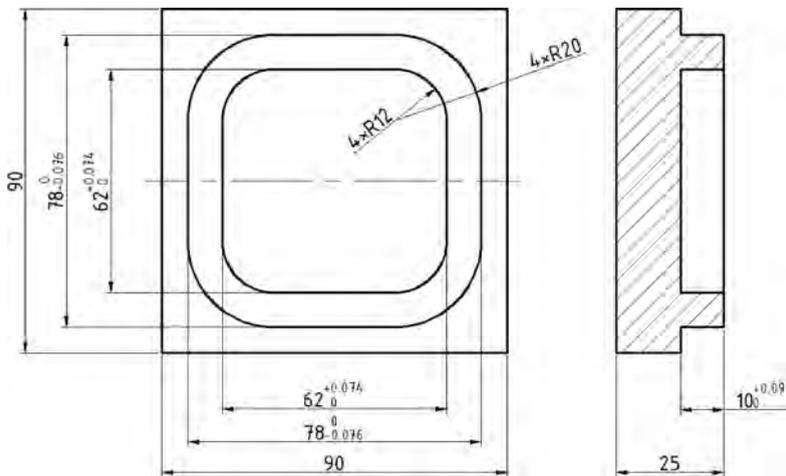


图 3-51 同步训练 3

### 3.4 任务4 孔系零件的编程及仿真加工

#### 【学习目标】

- (1) 熟悉孔的加工方法、加工刀具及加工路线。
- (2) 掌握 G81、G82、G83、G85、G76、G74、G84 指令及应用。
- (3) 具有零件图的识读能力。
- (4) 具有使用孔加工固定循环指令编写孔系零件加工程序的能力。
- (5) 具有使用仿真软件验证程序正确性的能力。

#### 【任务描述】

如图 3-52 所示的孔系零件,材料硬铝合金,毛坯  $100 \times 100 \times 20$ ,使用 VDF850 立式数控加工中心,单件生产,编写加工程序,运用 VNUC 4.3 软件进行仿真加工。

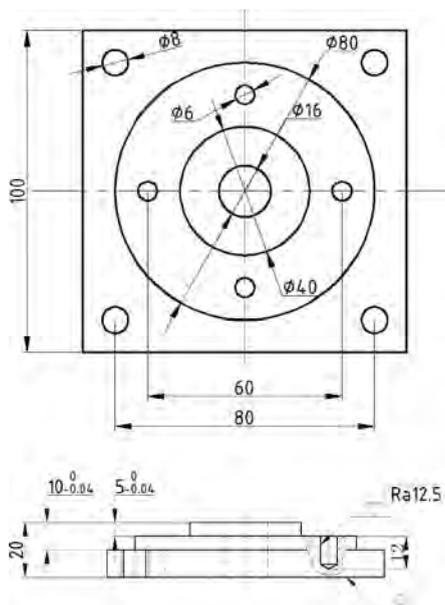


图 3-52 孔系零件

#### 【相关知识】

##### 1. 加工工艺方案

无论是手工编程还是自动编程,在编程以前都要对所加工的零件进行工艺分析。所谓数控加工工艺,就是采用数控机床加工零件的一种方法。程序编制人员进行工艺分析时,要有机床说明书、编程手册、切削用量表、标准工具、夹具手册等资料,根据被加工工件的材料、轮廓形状、加工精度等选用合适的机床,制订加工方案,确定零件的加工顺序,各工序所用刀具、夹具和切削用量等,以求高效率地加工出合格的零件。

##### 1) 加工方法

孔系零件一般采用钻、镗、铰等工艺,其尺寸精度主要由刀具保证,而位置精度主要由机床或夹具导向保证。数控机床一般不采用夹具导向进行孔系加工,而是直接依靠数控机床的坐

标控制功能满足孔间的位置精度要求。这类零件通常采用数控钻、镗、铰类机床或加工中心进行。从功能上讲,数控铣床或加工中心覆盖了数控钻、镗床,而用于机械行业的纯金属切削类数控钻床作为商业化产品几乎没有市场生存空间。目前,对于一般单工序的简单孔系加工,通常采用数控铣或数控镗床进行加工;而对于复合工序的复杂孔系加工,一般采用加工中心在一次装夹下,通过自动换刀依次进行加工。

常见孔加工方法有钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻螺纹等。

- (1) 钻孔。钻孔是用钻头在实体材料上加工孔的一种方法。
- (2) 扩孔。扩孔是用扩孔钻对已有孔进行扩大孔径的加工方法。
- (3) 铰孔。铰孔是用铰钻加工锥形沉孔或平底沉孔。
- (4) 铰孔。铰孔是用铰刀对孔进行精加工的操作方法。
- (5) 镗孔。镗孔是用镗刀对孔进行精加工方法之一。
- (6) 攻螺纹。用丝锥在工件孔中切削出内螺纹的加工方法。

在生产实践中,公称直径在 M24 以下的螺纹孔,一般采用攻螺纹的方式加工。攻内螺纹前应先加工螺纹底孔。一般用下列经验公式计算内螺纹底孔直径  $d_0$ 。

对于钢件及韧性金属:

$$d_0 \approx d - P$$

对于铸铁及脆性金属:

$$d_0 \approx d - (1.05 \sim 1.1)P$$

式中:  $d_0$ ——底孔直径;

$d$ ——螺纹公称直径;

$P$ ——螺距。

攻不通孔螺纹时,因丝锥不能攻到底,所以钻孔的深度要大于螺纹的有效长度。一般钻孔的深度=螺纹孔深度+ $0.7d$ 。

## 2) 加工刀具

孔加工刀具如图 3-53 所示。

### (1) 中心钻。

中心钻的作用是在实体工件上加工出中心孔,以便在孔加工时起到定位和引导钻头的作用。

### (2) 普通麻花钻。

普通麻花钻是钻孔最常用的刀具。麻花钻有直柄和锥柄之分。

### (3) 扩孔钻。

扩孔钻和普通麻花钻结构有所不同。它有 3~4 条切削刃,没有横刃。

### (4) 铰钻。

铰钻有柱形铰钻、锥形铰钻和端面铰钻。铰钻是标准刀具,也可以用麻花钻改磨成铰钻。

### (5) 铰刀。

加工中心上经常使用的铰刀是通用标准铰刀。通用标准铰刀有直柄、锥柄和套式三种。

### (6) 镗刀。

镗刀的种类很多,按加工精度可分为粗镗刀和精镗刀。精镗刀目前较多的选用可调精镗刀。

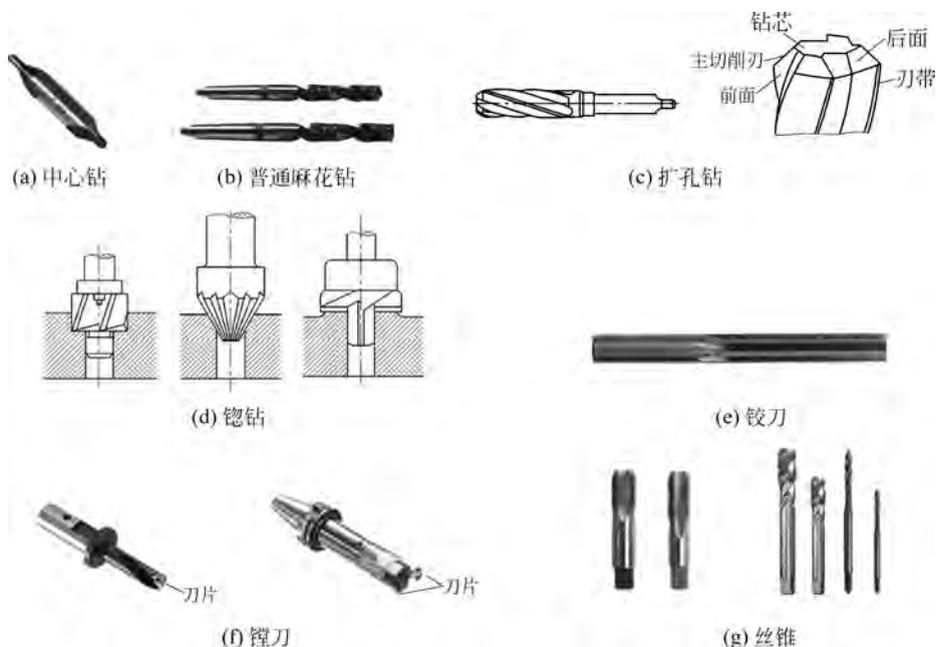


图 3-53 孔加工刀具

### (7) 丝锥。

常用的丝锥有直槽和螺旋槽两大类。直槽丝锥加工容易、精度略低、切削速度较慢；螺旋槽丝锥多用于数控加工中心上攻盲孔，加工速度较快，精度高，排屑较好，对中性好。

### 3) 加工路线

加工孔时，一般是先将刀具在  $XY$  平面内快速定位运动到孔中心线的位置上，然后刀具再沿  $Z$  向(轴向)运动进行加工。所以孔加工进给路线的确定包括以下内容。

#### (1) 确定 $XY$ 平面内的加工路线。

孔加工时，刀具在  $XY$  平面内的运动属点位运动，确定加工路线时，主要考虑定位要迅速。也就是在刀具不与工件、夹具和机床碰撞的前提下空行程时间尽可能短。例如，加工图 3-54(a) 所示的零件时，按图 3-54(b) 所示的加工路线进给比按图 3-54(c) 所示的加工路线节省定位时间近一半。这是因为在定位运动情况下，刀具由一点运动到另一点时，通常是沿  $X$ 、 $Y$  坐标轴方向同时快速移动，当  $X$ 、 $Y$  轴各自移距不同时，短移距方向的运动先停，待长移距方向的运动停止后刀具才达到目标位置。图 3-54(b) 所示的方案使沿两轴方向的移距接近，所以定位过程迅速。

#### (2) 定位要准确。

安排加工路线时，要避免机械进给系统反向间隙对孔位精度的影响。例如，镗削图 3-55(a) 所示零件上的四个孔。按图 3-55(b) 所示的加工路线加工，由于 4 孔与 1、2、3 孔定位方向相反， $Y$  向反向间隙会使定位误差增加，从而影响 4 孔与其他孔的位置精度。按图 3-55(c) 所示的加工路线，加工完 3 孔后往上多移动一段距离至  $P$  点，然后再折回来在 4 孔处进行定位加工，这样方向一致，就可避免反向间隙的引入，提高了 4 孔的定位精度。

有时定位迅速和定位准确两者难以同时满足，在上述两例中，图 3-55(b) 是按最短路线加工，但不是从同一方向趋近目标位置，影响了刀具定位精度。图 3-55(c) 是从同一方向趋近目标位置，但不是最短路线，增加了刀具的空行程。这时应抓主要矛盾，若按最短路线加工能保

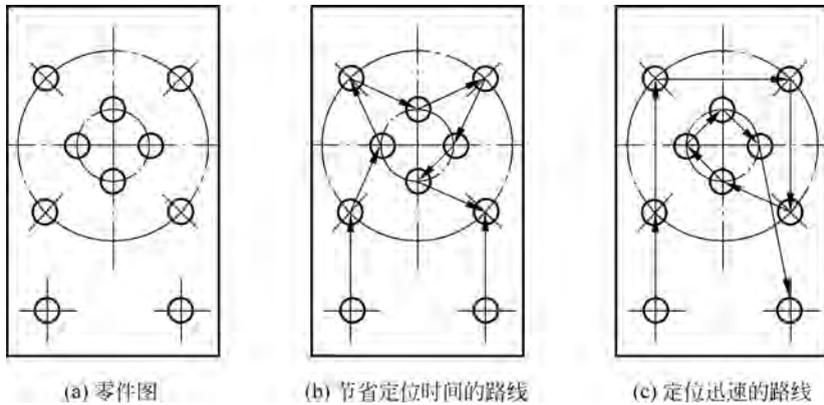


图 3-54 最短加工路线设计示例

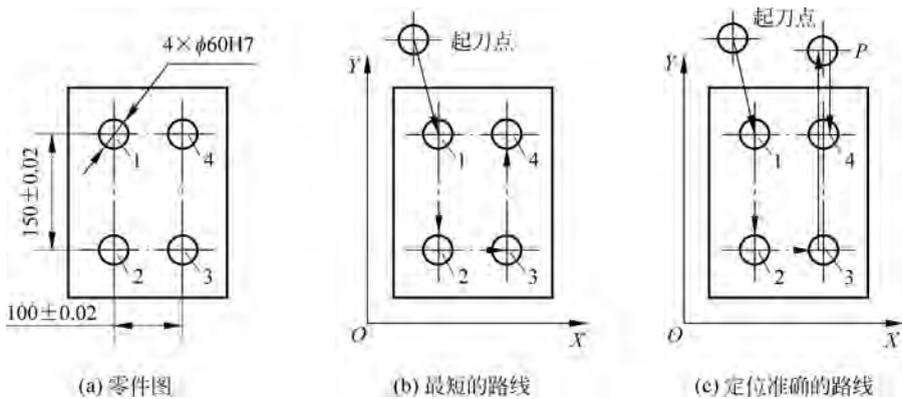
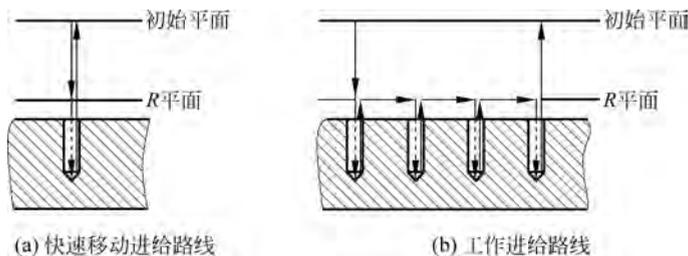


图 3-55 准确定位加工路线设计示例

证定位精度,则取最短路线;反之,应取能保证定位准确的路线。

(3) 确定  $Z$  向(轴向)的加工路线。

刀具在  $Z$  向的加工路线分为快速移动进给路线和工作进给路线。刀具先从初始平面快速运动到距工件加工表面一定距离的  $R$  平面(距工件加工表面一定切入距离的平面)上,然后按工作进给速度进行加工。图 3-56(a)所示为加工单个孔时刀具的加工路线。对多孔进行加工,为减少刀具空行程进给时间,加工中间孔时,刀具不必退回到初始平面,只要退回到  $R$  平面即可,其加工路线如图 3-56(b)所示。

图 3-56 刀具  $Z$  向加工路线设计示例

在工作进给路线中,工作进给距离  $Z_F$  包括加工孔的深度  $H$ 、刀具的切入距离  $Z_c$  和切出距离  $Z_o$ (加工通孔)。如图 3-57 所示,图中  $T_1$  为刀头尖端长度,加工不通孔时,工作进给距离

为  $Z_F = Z_a + H + T_1$ ; 加工通孔时, 工作进给距离为  $Z_F = Z_a + H + Z_0 + T_1$ , 式中刀具切入、切出距离的经验数据如表 3-7 所示。

表 3-7 经验数据表

加工方式	已加工表面	毛坯表面
钻孔	2-3	5-8
扩孔	3-5	5-8
镗孔	3-5	5-8
铰孔	3-5	5-8
铣削	3-5	5-10
攻螺纹	5-10	5-10

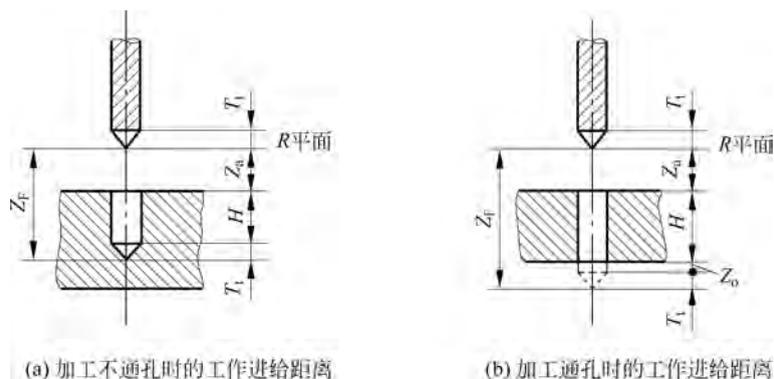


图 3-57 工作进给距离计算图

## 2. 编程基础

### 1) 固定循环的动作

如图 3-58 所示的孔加工固定循环通常由以下 6 个动作组成。

动作 1——X、Y 轴定位, 刀具快速定位到孔加工的位置。

动作 2——快进到 R 点, 刀具自初始点快速进给到 R 点(准备切削位置)。

动作 3——孔加工, 以切削进给方式执行孔加工的动作。

动作 4——在孔底的动作, 包括暂停、主轴准停、刀具移位等动作。

动作 5——返回到 R 点, 继续下一步的孔加工。

动作 6——快速返回到初始点, 孔加工完成。

说明:

(1) 初始点(或称初始平面)是为安全进刀切削而规定的一个平面。初始平面到工件表面的距离可以任意设定一个安全的高度上, 当使用一把刀具加工若干孔时, 只有空间存在障碍需要跳跃或全部孔加工完成时, 才使用 G98, 使刀具返回初始平面。

(2) R 点(或称 R 平面)。R 平面又叫 R 参考平面, 这个平面是刀具切削时由快进转为工进的高度平面, 距工件表面的距离主要考虑工件表面尺寸的变化, 一般可取 2~5mm。循环中使用 G99, 刀具将返回到该平面的 R 点。

(3) 孔底平面。加工盲孔时孔底平面就是孔底 Z 轴高度, 加工通孔时一般刀具还要伸长超过工件底平面一段距离, 保证全部孔深的加工, 钻削时还应考虑钻头的钻尖对孔深的影响。

孔加工循环与平面选择指令(G17、G18 或 G19)无关,即不管选择了哪个平面,孔加工都在 XY 平面上定位,并在 Z 轴方向上进行孔加工。

## 2) 固定循环指令组的程序格式

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 3-59 所示,其中图 3-59(a)是采用 G90 的表示,图 3-59(b)是采用 G91 的表示。

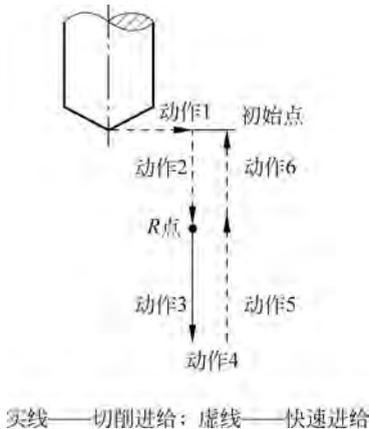


图 3-58 固定循环动作

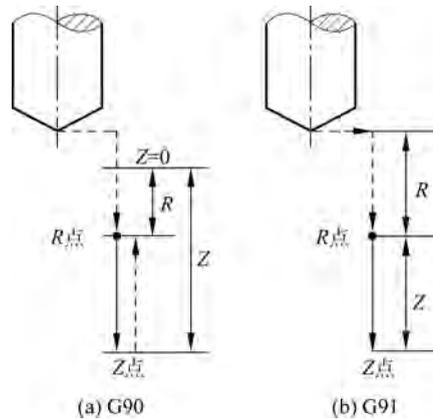


图 3-59 固定循环的数据形式

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:

```
G98(G99)G_X_Y_Z_R_Q_P_I_J_K_F_;
```

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);

Z——R 点到孔底的距离(G91)或孔底坐标(G90);

R——初始点到 R 点的距离(G91)或 R 点的坐标(G90);

Q——每次进给深度(G73/G83);

P——刀具在孔底的暂停时间;

I、J——刀具在轴反向位移增量(G76/G87);

K——指定孔加工的循环次数,只对等间距孔有效,须以增量方式指定;

F——切削进给速度。

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。在使用固定循环编程时,一定要在前面的程序段中指定 M03 或 M04,使主轴启动。固定循环指令不能和后指令 M 代码(如 M00、M05)同时出现在同一程序段。在固定循环中,刀具半径补偿 G41、G42 无效,刀具长度补偿(G43、G44)有效。取消固定循环(G80),该指令能取消固定循环,同时 R 点和 Z 点也被取消。

## 3) 固定循环指令

(1) 钻孔循环(G81)与带停顿的钻孔循环(G82)。

格式:

```
G98(G99)G81 X_Y_Z_R_F_L_;
G98(G99)G82 X_Y_Z_R_P_F_L_;
```

说明: G81 指令用于正常的钻孔,包括 X、Y 坐标定位、快进、工进和快速返回等动作。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。

(2) 攻左旋螺纹(G74)与攻右旋螺纹(G84)。

格式:

```
G98(G99)G74(G84)X_Y_Z_R_P_F_L_;
```

说明: G74 用于加工左旋螺纹,执行该指令时,主轴反转,在 XY 平面快速定位后快速移动到 R 点,执行攻螺纹达到孔底后,主轴正转回到 R 点,主轴恢复反转,完成攻丝作业。反之,执行 G84(攻右旋螺纹)。G74、G84 指令动作循环如图 3-60 和图 3-61 所示。

攻螺纹时,进给量 F 根据不同的进给模式指定。当常用 G94(mm/min)模式时, $F = \text{导程} \times \text{转速}$ ;当采用 G95(mm/r)模式时, $F = \text{导程}$ 。

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

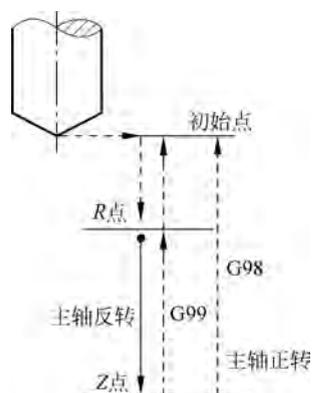


图 3-60 G74 指令动作图

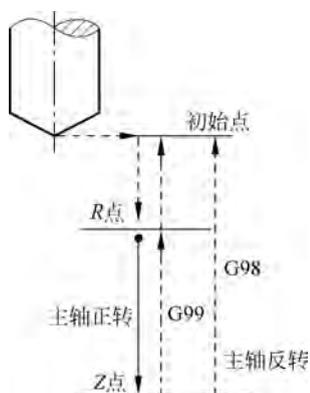


图 3-61 G84 指令动作图

**【实例 3-2】** 用 G81、G84 编制如图 3-62 所示螺纹孔的加工程序,设刀具起点为(0,0,50),切削深度为 10mm。

先用 G81 钻孔,参考程序如下:

```
O1000
N10 G92 X0 Y0 Z50.0;
N20 G91M03 S600;
N30 G99 G81 X30.0 Y30.0 Z-12.0 R-48.0 F200;
N40 G91X30.0 L3;
N50 Y40.0;
N60 X-30.0 L3;
```

```
N70 G90 G80 X0 Y0 Z50.0 M05;
N80 M30;
```

再用 G84 攻丝,程序如下:

```
O2000
N10 G92 X0 Y0 Z50.0;
N20 G91 M03 S200;
N30 G99 G84 X30.0 Y30.0 R-42.0 Z-18.0 F100;
N40 X30.0 L3;
N50 Y40.0;
N60 X-30.0 L3;
N70 G90 G80 X0 Y0 Z50.0 M05;
N80 M30;
```

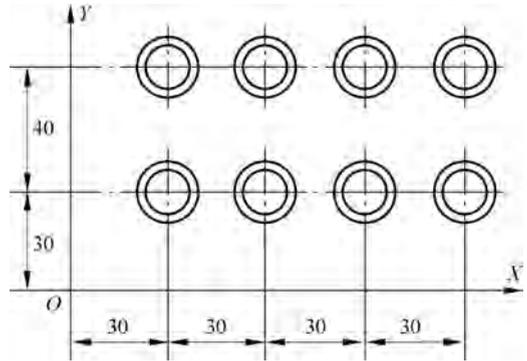


图 3-62 固定循环应用例题

(3) 高速深孔加工循环(G73)。

格式:

```
G98(G99)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 指令动作循环如图 3-63 所示; G83 指令动作循环如图 3-64 所示。

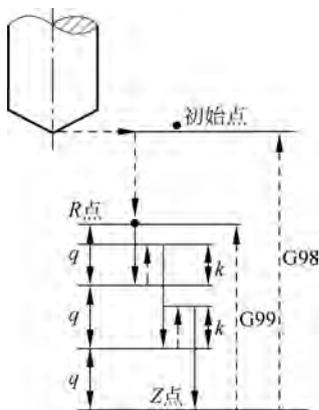


图 3-63 G73 指令动作图

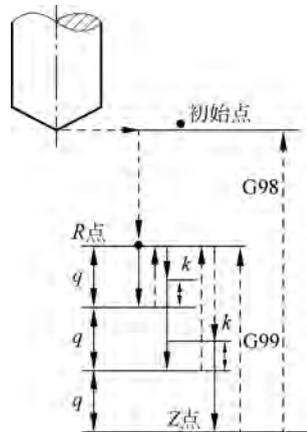


图 3-64 G83 指令动作图

G73 用于 Z 轴的间歇进给,每次进给深度由 Q 指定,且每次工作进给后都快速退回一段距离 K,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。

例如,如图 3-63 所示深孔加工,设起刀点(0,0,50),孔底坐标(20,30,-30),参考点距工件表面 2mm,每次进给深 6mm,每次退刀距离 3mm。用 G73 指令编程如下:

```
O0001
N10 G92 X0 Y0 Z50.0;
N20 M03 S600;
N30 G99 G73 X20.0 Y30.0 Z-38.0 R2.0 Q6.0 K3.0 F100.0;
N40 G80 G00 X0 Y0 Z50.0 M05;
```

N50 M30;

(4) 深孔(啄钻)加工循环(G83)。

格式:

G98(G99)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。

G73 指令动作循环如图 3-63 所示。

G83 该指令适用于加工较深的孔(见图 3-64),与 G73 不同的是每次刀具间歇进给后退至 R 点,可把切屑带出孔外,以免增加切削阻力。

(5) G76(精镗孔循环)与 G87(反镗孔循环)。

格式:

G98(G99)G76(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。

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,如图 3-65 所示。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。

G87 反镗孔,指令动作循环描述如下(见图 3-66)。

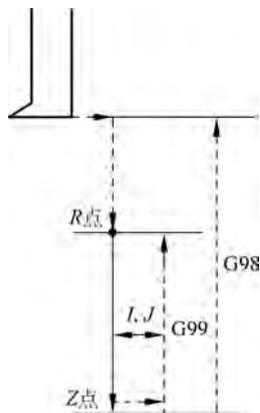


图 3-65 G76 指令动作图



图 3-66 G87 指令动作图

- ① 在 X、Y 轴定位,主轴定向停止。
- ② 在 X、Y 方向分别向刀尖的反方向移动 I、J 值。
- ③ 定位到 R 点(孔底)。
- ④ 在 X、Y 方向分别向刀尖方向移动 I、J 值。
- ⑤ 主轴正转,在 Z 轴正方向上加工至 Z 点。
- ⑥ 主轴定向停止。
- ⑦ 在 X、Y 方向分别向刀尖反方向移动 I、J 值。

- ⑧ 返回到初始点(只能用 G98)。
- ⑨ 在 X、Y 方向分别向刀尖方向移动 I、J 值。
- ⑩ 主轴正转。

**【实例 3-3】** 设起刀点为(0,0,50),孔底坐标为(30,30,-20),参考点距工件表面(或孔底以下)2mm,主轴在孔底定向停止后,向刀尖反方向移动距离  $I=5\text{mm}$ ,用 G76 或 G87 指令编程如下:

```

O0001
N10 G92 X0 Y0 Z50.0;
N20 M03 S600;
N20 G98 G76 X30.0 Y30.0 Z-20.0 R2 I5.0 P2 F60.0;
(或 N20 G98 G87 X30.0 Y30.0 Z-20.0 R-22.0 I-5.0 P2 F60.0;)
N30 G80 G00 X0 Y0 Z50.0 M05;
N40 M30;

```

(6) 镗孔循环(G85、G86、G88、G89)。

G85 指令与 G84 指令相同,但在孔底时主轴不反转。

G86 指令与 G81 指令相同,但在孔底时主轴停止然后快速退回。

G88 指令格式:

G98(G99)G88 X\_Y\_Z\_R\_P\_F\_L\_;

G88 动作循环如图 3-67 所示,描述如下。

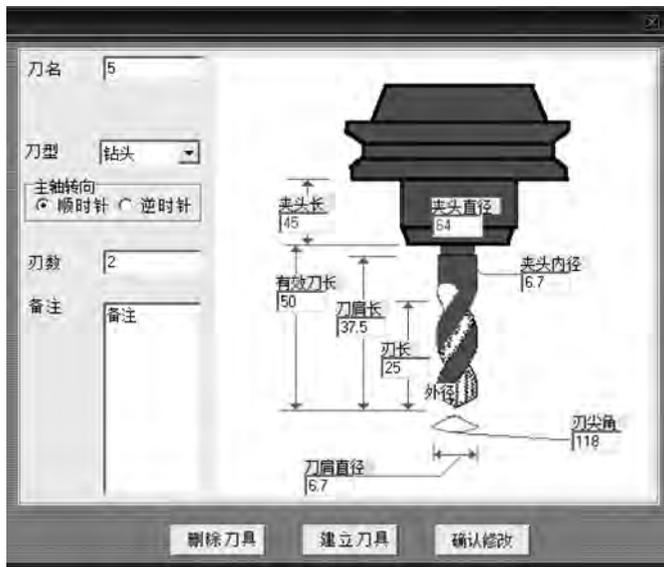


图 3-67 钻头的选择

- 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。

G89 指令与 G86 指令相同,但在孔底有暂停。

### 3. 仿真加工

本任务需要用到钻头(以  $\phi 6.7$  钻头为例)和铰刀( $\phi 16$ )。钻头的选择如图 3-67 所示,铰刀的选择如图 3-68 所示。因为 VNUC 4.3 仿真软件中没有提供中心钻和丝锥,所以在仿真时用钻头代替中心钻和丝锥。

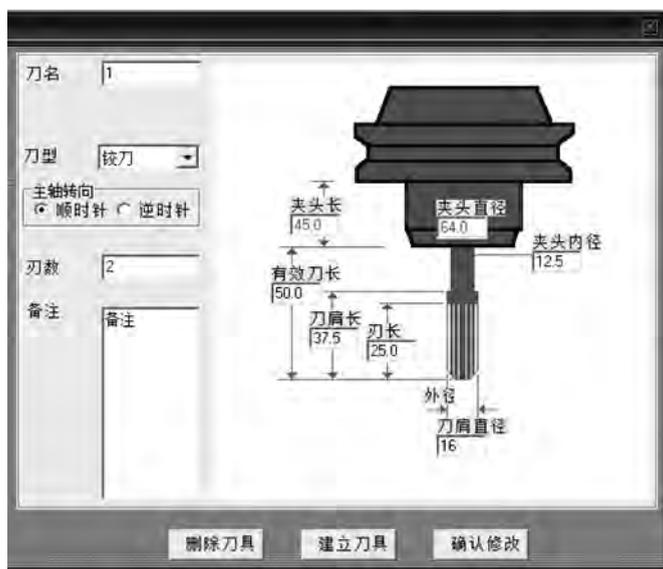


图 3-68 铰刀的选择

## 【任务实施】

### 1. 图样分析

零件的加工部位有  $4 \times \phi 6$  深孔,  $4 \times M8$  螺纹孔,重点保证的尺寸有  $\phi 16 H7$ ,此外还需加工两个高度为 5mm 直径分别为圆形凸台。

### 2. 加工工艺方案

#### 1) 加工方案

(1) 采用平口钳装夹,毛坯高出钳口 15mm 左右。

(2) 用  $\phi 80$  盘铣刀手动铣削毛坯上表面,保证工件高度 30mm。

(3) 用  $\phi 20$  立铣刀粗铣  $\phi 80$  凸台,单边留 0.1mm 精加工余量。

(4) 用  $\phi 20$  立铣刀粗铣  $\phi 40$  凸台,单边留 0.1mm 精加工余量。

(5) 用  $\phi 10$  立铣刀精铣  $\phi 80$  凸台和  $\phi 40$  凸台,采用圆弧进刀的方法,刀具自  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow$  顺时针方向加工凸台,沿  $C \rightarrow D \rightarrow A$  退刀,加工路线如图 3-69 所示。

(6) 用  $\phi 10$  立铣刀精铣  $\phi 40$  凸台,采用圆弧进刀的方法。

(7) 采用中心钻钻中心孔。

钻中心孔加工路线:  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9$ ,如图 3-70 所示。

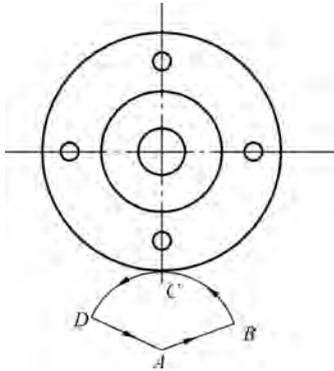


图 3-69 进退刀路线

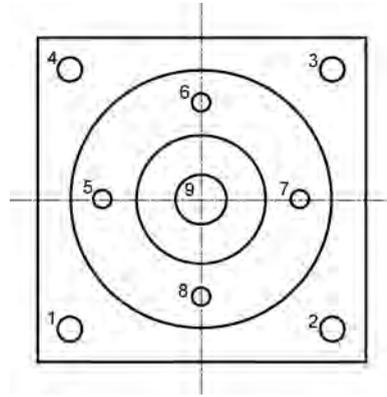


图 3-70 加工路线示意图

- (8) 用  $\phi 6$  钻头钻 4 个  $\phi 4$  深孔。
- (9) 用  $\phi 6.8$  钻头钻 4 个 M8 螺纹底孔。
- (10) 用 M8 丝锥攻 4 个 M8 螺纹孔。
- (11) 用  $\phi 15.8$  钻头钻  $\phi 16H7$  孔, 单边留有 0.1mm 铰削余量。
- (12) 用  $\phi 16H7$  铰刀铰  $\phi 16H7$  孔。

## 2) 刀具的选用

刀具的选用如表 3-8 所示, 加工工序如表 3-9 所示。

表 3-8 数控加工刀具卡

零件名称		孔加工零件		零件图号	3-52		
序号	刀具号	刀具名称	数量	加工表面	半径补偿号及补偿值	长度补偿号	备注
1		$\phi 80$ 盘铣刀	1	铣削上表面		H01	手动
2	T01	$\phi 20$ 立铣刀	1	粗铣 $\phi 80$ 、 $\phi 40$ 凸台	D01(10.0)	H02	
3	T02	$\phi 10$ 立铣刀	1	精铣 $\phi 80$ 、 $\phi 40$ 凸台	D02(5.0)	H03	
4	T03	中心钻	1	钻中心孔		H04	
5	T04	$\phi 6$ 钻头	1	钻 $\phi 6$ 深孔		H05	
6	T05	$\phi 6.7$ 钻头	1	钻 M8 螺纹底孔		H06	
7	T06	M8 丝锥	1	攻 M8 螺纹孔		H07	
8	T07	$\phi 15.8$ 钻头	1	钻 $\phi 16H7$ 底孔		H08	
9	T08	$\phi 16H7$ 铰刀	1	铰 $\phi 16H7$ 孔		H09	

表 3-9 数控加工工序卡

单位名称				零件名称	零件图号		
				孔系零件	3-52		
程序号	夹具名称	使用设备	数控系统		场地		
O2411~O2418	平口钳	XH714D	FANUC 0i Mate-MC		数控实训中心		
工步号	工步内容		刀具号	主轴转速 $n/(r \cdot \min^{-1})$	进给量 $(F/\text{mm} \cdot \min^{-1})$	背吃刀量 $a_p/\text{mm}$	备注
1	平口钳装夹工件, 盘铣刀将上表面铣平, 保证 20mm 的高度						手动

续表

工步号	工步内容	刀具号	主轴转速 $n/(r \cdot \min^{-1})$	进给量 $(F/\text{mm} \cdot \min^{-1})$	背吃刀量 $a_p/\text{mm}$	备注
2	粗铣 $\phi 80$ 凸台	T01	600	40		
3	粗铣 $\phi 40$ 凸台		600	40		
4	精铣 $\phi 80$ 凸台	T02	800	50		03401
5	精铣 $\phi 40$ 凸台		800	50		03402
6	钻中心孔	T03	2000	20		03403
7	钻 $\phi 6$ 孔	T04	1400	30		03404
8	钻 M8 螺纹底孔	T05	1200	20		03405
9	攻 M8 螺纹孔	T06	100	125		03406
10	钻孔	T07	350	30		03407
11	铰 $\phi 16H7$ 孔	T08	100	10		03408

### 3. 编制加工程序

#### 1) 数值计算

(1) 工件原点。选择工件上表面中心作为工件坐标系原点。

(2) M8 螺纹底孔计算。经查表, M8 粗牙螺纹的螺距为 1.25。对于钢件及韧性金属, 根据经验公式  $d_0 \approx d - P = 8 - 1.25 = 6.75\text{mm}$ , 螺纹底孔直径取 6.8mm。

(3) 经查表  $\phi 16H7$  尺寸为:  $\phi 16_{0}^{+0.021}$ 。

#### 2) 加工程序

$\phi 80$ 、 $\phi 40$  的圆凸台粗加工应用精加工程序, 在运行程序前修改 D01、D02 的数值, 实现粗加工。

(1)  $\phi 80$  的圆凸台精加工程序如表 3-10 所示。

表 3-10  $\phi 80$  圆凸台精加工程序

程 序	说 明
O3401;	程序号
G91G28Z0;	返回 Z 轴参考点
M06T02;	换 02 号刀具
M03S800;	主轴正转, 转速为 800r/min
M08;	切削液打开
G90G54G43G00Z100.0H02;	绝对坐标, 第一工件坐标系, Z 向快速定位至 Z100, 建立 02 号刀具长度补偿
G00X0Y - 75.0;	快速定位到 A 点
G41G01X30.0Y - 70.0D01F50;	直线插补到 B 点, 建立刀具半径左补偿, 进给速度 50mm/min
G03X0Y - 40.0R30.0;	圆弧切入工件到 C 点
G02X0Y - 40.0I0J40.0;	圆弧插补加工 $\phi 80$ 凸台
G03X - 30.0Y - 70.0R30.0;	圆弧切出工件到 D 点
G40G00X0Y - 75.0;	取消刀具半径回 A 点
G00Z2.0;	快速抬刀至 Z2.0mm
X0Y0Z150.0;	回到 X0Y0Z150.0 点
M30;	程序结束

(2)  $\phi 40$  的圆凸台精加工程序如表 3-11 所示。

表 3-11  $\phi 40$  圆凸台加工程序

程 序	说 明
O3402;	程序号
G91G28Z0;	返回 Z 轴参考点
M06T02;	换 02 号刀具
M03S800;	主轴正转,转速为 800r/min
M08;	切削液打开
G90G54G43G00Z100.0H02;	绝对坐标,第一工件坐标系,Z 向快速定位至 Z100.0,建立 02 号刀具长度补偿
G00X0Y-35.0;	快速定位到点(0,-35.0)
G41G01X13.0Y-27.5D02F80;	直线插补到点(13.0,-27.0),建立刀具半径左补偿,进给速度 80mm/min
G03X0Y-20.0R15.0;	圆弧切入工件到点(0,-20.0)
G02X0Y-20.0I0J20.0;	圆弧插补加工 $\phi 80$ 凸台
G03X-13.0Y-27.5R15.0;	圆弧切出工件到点(-13.0,-27.0)
G40G00X0Y-35.0;	取消刀具半径回点(0,-35.0)
G00Z2.0;	快速抬刀至 Z2.0
X0Y0Z150.0;	回到点(0,0,150.0)
M30;	程序结束

(3) 钻中心孔加工程序如表 3-12 所示。

表 3-12 钻中心孔加工程序

程 序	说 明
O3403;	程序号
G91 G28 Z0;	返回 Z 轴参考点
M06 T03;	换 03 号刀具(中心钻)
G90 G54 G43 G00 Z100.0 H03;	绝对坐标,第一工件坐标系,Z 向快速定位至 Z100,建立 03 号刀具长度补偿
M03 S2000;	主轴正转,转速为 2000r/min
M08;	切削液开
G99 G81 X-40.0 Y-40.0 Z-12.0 R-7.0 F20;	钻中心孔 1,孔位(-40,-40),加工中心孔深至 Z-12,R 平面确定在 Z-7 处,刀具返回 R 平面,进给量为 20mm/min
X40.0;	钻中心孔 2
Y40.0;	钻中心孔 3
G98 X-40.0;	钻中心孔 4,刀具返回初始平面
X-30.0 Y0 Z-8.0 R-2.0;	钻中心孔 5,R 平面确定在 Z-2 处
X0 Y30.0;	钻中心孔 6
X30.0 Y0;	钻中心孔 7
X0 Y-30.0;	钻中心孔 8
G99 X0 Y0 Z-3.0 R3.0;	钻中心孔 9,R 平面确定在 Z3 处,刀具返回 R 平面
G80;	取消固定循环
G00 Z150.0;	快速抬刀至 150mm
M30;	程序结束并返回起点

(4)  $\phi 6$  深孔钻削程序如表 3-13 所示。

表 3-13  $\phi 6$  深孔钻削加工程序

程 序	说 明
O3404;	程序号
G91 G28 Z0;	返回 Z 轴参考点
M06 T04;	换 04 号刀具( $\phi 4$ 钻头)
G90 G54 G43 G00Z100.0H04;	绝对坐标,第一工件坐标系,Z 向快速定位至 Z100,建立 04 号刀具长度补偿
M03 S1400;	主轴正转,转速为 1500r/min
M08;	切削液开
G98G83X - 30.0Y0Z - 22.0R - 2.0Q3.0F30;	钻孔 5,孔位(-30.0,0),加工孔深至 Z-22,R 平面确定在 Z-2 处,每次进刀 3mm,刀具返回初始平面,进给量为 30mm/min
X0Y - 30.0;	钻孔 6
X30.0 Y0;	钻孔 7
X0 Y - 30.0;	钻孔 8
G80;	取消固定循环
G00 Z150.0;	快速抬刀至 Z150
M30;	程序结束并返回起点

(5) M8 螺纹底孔加工程序如表 3-14 所示。

表 3-14 M8 螺纹底孔加工程序

程 序	说 明
O3405;	程序号
G28 G91 Z0 ;	返回 Z 轴参考点
M06 T05;	换 05 号刀具( $\phi 6.8$ 钻头)
G90 G54 G43 G00 Z100.0 H05;	绝对坐标,第一工件坐标系,Z 向快速定位至 Z100,建立 05 号刀具长度补偿
M03 S1200;	主轴正转,转速为 100r/min
M08;	切削液开
G99G81X - 40.0Y - 40.0R - 7.0Z - 22.0F20;	攻螺纹 1,进给量为 125mm/min
X40.0;	攻螺纹 2
Y40.0;	攻螺纹 3
G98 X - 40.0;	攻螺纹 4,返回初始平面
G80;	取消固定循环
G00 Z150.0;	快速抬刀至 Z150
M30;	程序结束并返回起点

(6) M8 螺纹加工程序如表 3-15 所示。

表 3-15 M8 螺纹加工程序

程 序	说 明
O3406;	程序号
G91 G28 Z0;	返回 Z 轴参考点
M06 T06;	换 06 号刀具(M8 丝锥)
G90 G54 G43 G00 Z100.0 H06;	绝对坐标,第一工件坐标系,Z 向快速定位至 Z100,建立 06 号刀具长度补偿
M03 S100;	主轴正转,转速为 100r/min
M08;	切削液开
G99G84X - 40.0Y - 40.0Z - 23.0R - 7.0 F125;	攻螺纹 1,进给量为 125mm/min
X40.0;	攻螺纹 2
Y40.0;	攻螺纹 3
G98 X - 40.0;	攻螺纹 4,返回初始平面
G80;	取消固定循环
G00 Z150.0;	快速抬刀至 Z150
M30;	程序结束并返回起点

(7)  $\phi 15.8$  钻孔加工程序如表 3-16 所示。

表 3-16  $\phi 15.8$  钻孔加工程序

程 序	说 明
O3407;	程序号
G91 G28 Z0;	返回 Z 轴参考点
M06 T07;	换 07 号刀具( $\phi 15.8$ 钻头)
G90 G54 G43 G00 Z100.0 H07;	绝对坐标,第一工件坐标系,Z 向快速定位至 Z100,建立 07 号刀具长度补偿
M03 S350;	主轴正转,转速为 350r/min
M08;	切削液开
G99 G83 X0 Y0 Z - 23.0R3.0Q3.0 F30;	钻孔 9,加工孔深至 Z-23,R 平面确定在 Z3 处,每次进刀 3mm 刀具返回 R 平面,进给量为 30mm/min
G80;	取消固定循环
G00 Z150.0;	快速抬刀至 Z150
M30;	程序结束并返回起点

(8)  $\phi 16H7$  铰孔加工程序如表 3-17 所示。

表 3-17  $\phi 16H7$  铰孔加工程序

程 序	说 明
O3408;	程序号
G91 G28 Z0;	返回 Z 轴参考点
M06 T08;	换 08 号刀具( $\phi 16H7$ 铰刀)
G90 G54 G43 G00 Z100.0 H08;	绝对坐标,第一工件坐标系,Z 向快速定位至 Z100,建立 08 号刀具长度补偿

续表

程 序	说 明
X0 Y0;	快速点定位至(0,0)
Z5.0;	快速定位至 Z5
M03 S100;	主轴正转,转速为 100r/min
M08;	切削液开
G01 X0 Y0 Z-23.0 F10;	铰孔 9,进给量 10mm/min
Z5.0;	抬刀至 Z5.0
G00 Z150.0;	快速抬刀至 Z150.0
M30;	程序结束并返回起点

#### 4. 仿真加工

启动软件→选择机床与数控系统→激活机床→回零→设置毛坯并安装→基准工具 X、Y 方向对刀→刀具 T01 至 T08 Z 向对刀→分别输入 O3401 至 O3408 程序→自动加工→测量尺寸,仿真结果如图 3-71 所示。

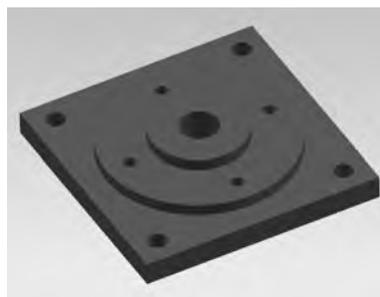


图 3-71 加工仿真图

#### 【同步训练】

零件如图 3-72 和图 3-73 所示,材料硬铝合金,编写加工程序,使用仿真软件验证程序正确性并加工。

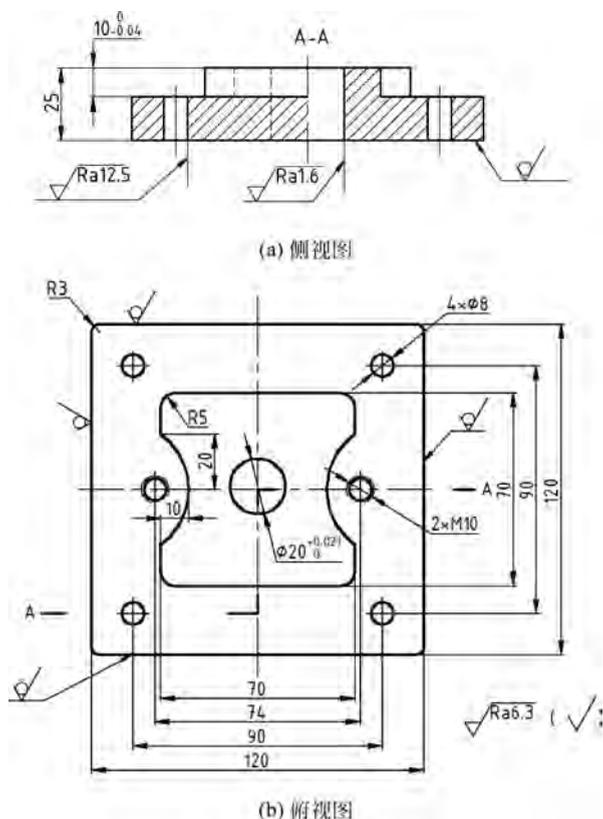


图 3-72 同步训练 1

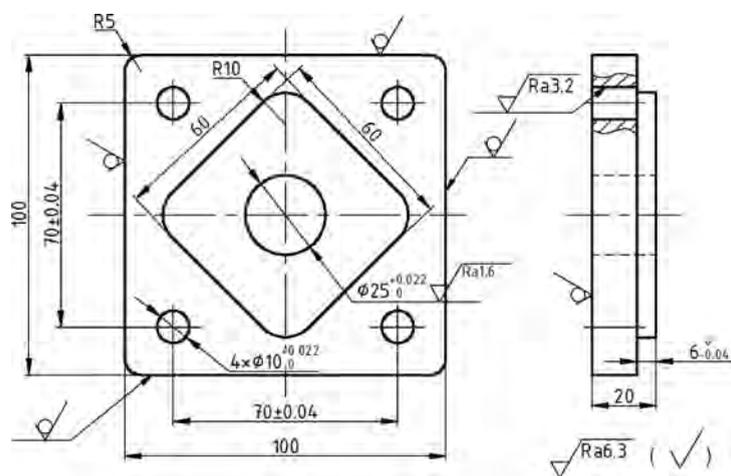


图 3-73 同步训练 2