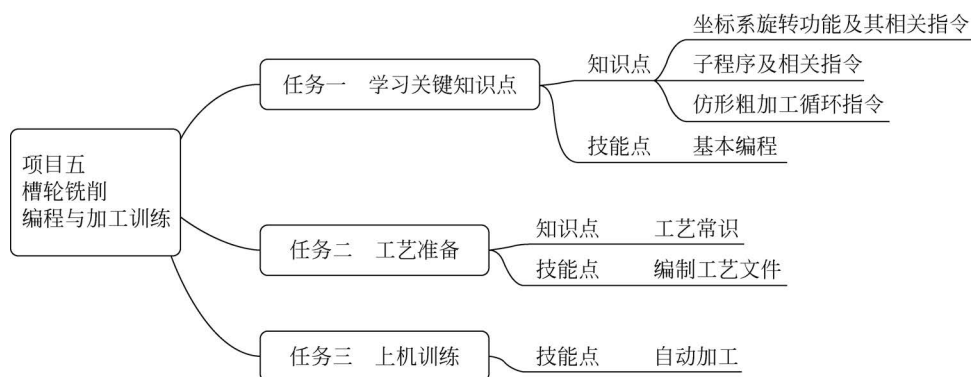


项目五 槽轮铣削编程与加工训练

➤ 思维导图



➤ 学习目标

知识目标

- (1) 了解槽轮的工作原理。
- (2) 了解槽轮在本机构中的用途和关键要求。

能力目标

- (1) 掌握坐标系旋转指令的使用方法。
- (2) 掌握子程序指令的使用方法。
- (3) 掌握铣削刀具的选择与使用方法。
- (4) 能够独立确定加工工艺路线,并正确填写工艺文件。
- (5) 能够正确操作数控加工中心,并根据加工情况调整加工参数。
- (6) 能够根据零件结构特点和精度合理选用量具,并正确、规范地测量相差尺寸。

素养目标

- (1) 培养学生的科学探究精神和态度。
- (2) 培养学生的工程意识。
- (3) 培养学生的团队合作能力。

任务一 学习关键知识点

5.1 数控机床坐标系旋转功能及原理

在数控编程时,为了描述机床的运动,简化程序编制的方法及保证记录数据的互换性,数控机床的坐标系和运动方向均已标准化,ISO 和我国都拟定了命名的标准。机床坐标系(machine coordinate system, MCS)是以机床原点 O 为坐标系原点,并遵循右手笛卡儿直角坐标系建立的,由 X 轴、 Y 轴、 Z 轴组成的直角坐标系。机床坐标系是用来确定工件坐标系的基本坐标系,是机床上固有的坐标系,并设有固定的坐标原点。

在实际应用中,往往会遇到一些零件属于相同几何尺寸的特征,且分布在某一点周围的情况,也有些零件的工程图采用了旋转的局部视图来表示几何尺寸。这时,为了编程的方便,常常采用将原有工件坐标系旋转的方法进行数控编程。

对于立式加工中心,常用的旋转变换为 XOY 平面内的变换。如图 5-1 所示,为点 $A(x, y)$ 绕点 $O'(x_0, y_0)$ 旋转 θ 角到 $A'(x', y')$ 的示意图。

假设旋转的中心位于坐标原点,坐标 (x, y) 旋转到 (x', y') 后,可以很容易得到旋转后的坐标为

$$\begin{cases} x' = x \cos \theta - y \sin \theta \\ y' = x \sin \theta + y \cos \theta \end{cases}$$

这个变换为基本的旋转变换,写成矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} x' & y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

在实际应用中,回转的中心经常不是工作坐标系的原点,如图 5-1 所示,旋转中心在点 $O'(x_0, y_0)$ 的位置。所以,在进行坐标系旋转时,需要进行坐标的转换,即临时将坐标系移动到旋转中心 $O'(x_0, y_0)$ 处,再按旋转中心位于坐标原点时的方法进行旋转。此时,向数控系统输送坐标,再将坐标数值转换为原工件坐标系中的坐标值。

将坐标中心移动到临时位置 $O'(x_0, y_0)$ 后,原点 A 的坐标值可表示为

$$\begin{cases} x' = x - x_0 \\ y' = y - y_0 \end{cases}$$

这个变换写成矩阵形式为

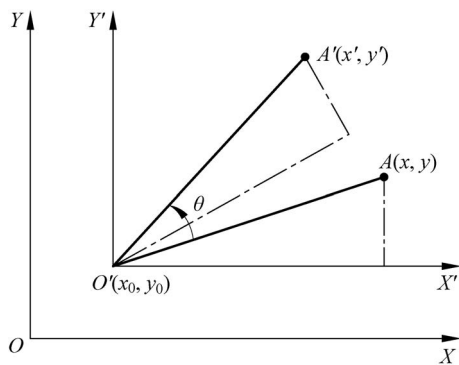


图 5-1 机床坐标系旋转

$$\begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & 1 \end{bmatrix}$$

所以,在 XOY 工件坐标系中以几何方法表示出旋转后的点 $A'(x', y')$ 坐标为

$$\begin{cases} x' = (x - x_0)\cos\theta - (y - y_0)\sin\theta + x_0 \\ y' = (x - x_0)\sin\theta + (y - y_0)\cos\theta + y_0 \end{cases}$$

用矩阵的形式可以表示为

$$\begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & 1 \end{bmatrix}$$

则将

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & 1 \end{bmatrix}$$

称为在 XOY 平面中绕点 (x_0, y_0) 旋转的变换矩阵。

在数控机床上,通常将这类变换计算过程写入模态调用宏程序中,并将其定义为准备功能代码 G, FANUC 0i 系统所对应的 G 代码为 G68 指令、G69 指令。指令格式如下。

(1) 应用坐标旋转功能,指令格式为:

G68 X< x_0 >Y< y_0 >R< θ >;

其中, (x_0, y_0) 为旋转中心坐标, θ 为旋转角度,以逆时针方向为正方向。

(2) 取消坐标旋转功能,指令格式为:

G69;

如图 5-2 所示,在加工直角 $\triangle ABC$ 时,按传统编程方法需要使用三角函数方法计算出点 B、点 C 的坐标值,然后进行切削。在应用坐标系旋转方法编程时,可以将 $\triangle ABC$ 看作其全等 $\triangle AB'C'$ 绕点 A 逆时针旋转 30° 得到的。此时,点 B'、点 C' 的坐标值可以非常方便地计算出来,其程序如表 5-1 所示。

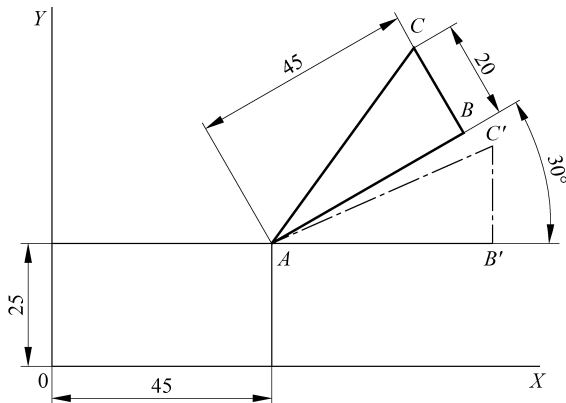


图 5-2 坐标旋转编程实例

表 5-1 坐标系旋转指令编程实例

程 序 语 句	注 解
G0 X45 Y25;	快速定位到起点 A 处
G1 Z-2 F500;	Z 向切入工件
G68 X45 Y25 R20;	定义坐标系旋转模式启动,以点(45,25)为基准旋转 20°
G1 X90;	向点 B' 切削
Y45;	向点 C' 切削
G69;	取消坐标系旋转模式
G1 X45 Y25;	向点 A 切削

5.2 子程序的格式与应用

在一个加工程序中,如果其中有些加工内容完全相同或相似,为了简化程序,可以把这些重复的程序段单独列出,按一定的格式编写成单独的程序,并单独加以命名,这组程序段称为子程序。主程序在执行过程中如果需要某一子程序,则可以通过调用指令来调用该子程序。子程序执行完后,又返回主程序,继续执行后面的程序段。通常子程序不可以作为独立的加工程序使用,它只能通过调用,实现加工中的局部动作。

5.2.1 子程序的格式

子程序和主程序在格式上并无本质区别,主要是结束标记不同。主程序使用 M02 指令或 M30 指令表示程序结束,而子程序使则用 M99 指令表示程序结束,并自动返回调用它的程序。如表 5-2 所示为一个主程序调用一个子程序后,两者之间的格式对比。

表 5-2 主程序与子程序格式对比

主 程 序	子 程 序
O0001;	O1234;
T1 M6;	G1 Z F2 F500;
S2000 M3;	G1 X80 F1000;
G0 G90 G54 X20 Y20;	Y80;
G43 Z10 H1;	X20;
M98 P0011234;	Y20;
G0 Z100;	G1 Z10;
M5;	M99;
M30;	

在命名子程序时,应避开系统指定的特征功能,或者机床生产商个性化定义的子程序号。

5.2.2 子程序的调用

FANUC 0i 系统子程序常用的调用指令格式为:

M98 P○○○○△△△△;

其中, $\bigcirc\bigcirc\bigcirc$ 为调用次数, 数值范围为 001~999, 在输入时数字前边的“0”可以省略, 当调用次数为 1 次时, “1”也可以省略; $\triangle\triangle\triangle\triangle$ 为子程序号, 取值范围为 0001~9999, 在输入时数字前的“0”不可以省略。

当调用次数更多时, 采用参数 L 指定调用次数, 子程序调用格式为:

M98 P $\triangle\triangle\triangle\triangle$ L $\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc$;

当程序号也大于 5 位时, 子程序调用的格式为:

M98 P $\triangle\triangle\triangle\triangle\triangle\triangle\triangle\triangle$ L $\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc$;

当程序不以数字命名, 而使用字符型命名时, 子程序调用格式为:

M98 < $\triangle\triangle\triangle\triangle$ > L $\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc\bigcirc$;

子程序不仅可以被主程序调用, 同时, 也可以被其他子程序调用, 这种方法称为子程序的嵌套, 如图 5-3 所示。根据系统的不同, 其子程序的嵌套级数也不相同, 一般 FANUC 0 系统可以嵌套 4 级, 较新的系统如 FANUC 0i MF 可以嵌套 15 级。

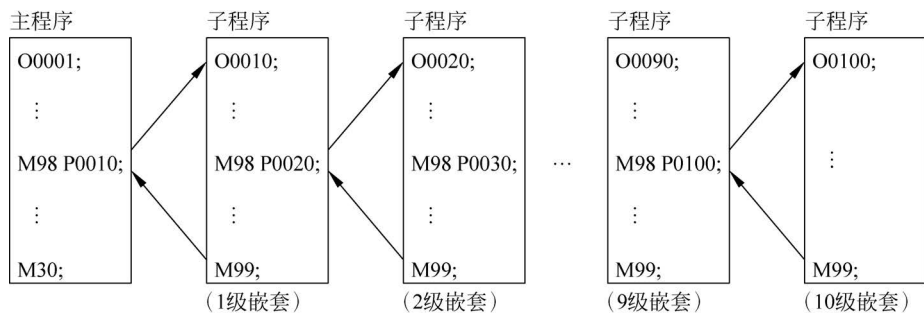


图 5-3 FANUC 0i MF 子程序嵌套示意图

5.2.3 子程序在相似形状重复加工时的应用

在相似形状重复加工时, 多涉及分布在以不同的起点开始的位置; 所以, 通常在主程序中使用绝对坐标指令编程进行定位; 在子程序中使用相对坐标指令编程, 实现形状重复。加工如图 5-4 所示的零件, 通常可参考表 5-3 的方法使用子程序编程。

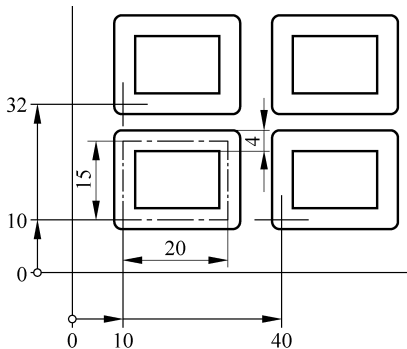


图 5-4 相似形状重复加工编程

表 5-3 相似形状重复加工编程示例

主 程 序		子 程 序	
O0001;	主程序号	O1234;	子程序号
T1 M6;	调用 T1 刀具	G1 Z-2 F500;	Z 向切入工件
S2000 M3;	主轴以 2000r/min,正转	G1 G91 X20 F1000;	以相对坐标方向向右移动 20mm
G0 G90 G54 X10 Y10;	定位到 G54 坐标系绝对坐标(10,10)	Y15;	向上移动 15mm
G43 Z10 H1;	长度补偿号 H01,到起始位置	X-20;	向左移动 20mm
M98 P1234;	调用子程序 O1234 一次	Y-15;	向下移动 15mm
G0 X40 Y10;	快速定位到点(40,10)处	G1 G90 Z10;	以绝对坐标抬刀至起始位置
M98 P1234;	调用子程序 O1234 一次	M99;	子程序返回
G0 X40 Y32;	快速定位到点(40,32)处		
M98 P1234;	调用子程序 O1234 一次		
G0 X10 Y32;	快速定位到点(10,32)处		
M98 P1234;	调用子程序 O1234 一次		
G0 Z100;	快速抬刀到安全位置		
M5;	主轴停转		
M30;	主程序结束,复位		

5.2.4 子程序在分层加工时的应用

如图 5-5 所示零件,在加工时,刀具无法一次性切削至 Z 轴方向 30mm 深度处,若以每层切深 2mm 编写程序,则相同的零件面 XY 轮廓需要重复 15 次。如果零件轮廓复杂,则会造成程序行数量过大。此时,使用子程序功能可以将轮廓加工的部分全部放在子程序中,在子程序中第一行以相对坐标指令指定每层切削的深度,然后以绝对坐标指令编写轮廓加工程序。在子程序结束时,不要编写抬刀指令,而且在子程序结束时,终点的坐标(x, y)要与子程序开始时相同。

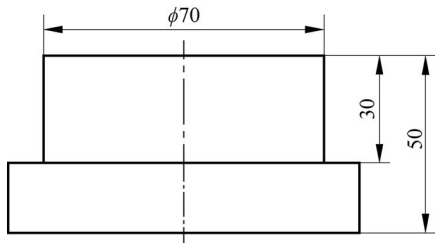


图 5-5 分层加工编程

在主程序中使用 M98 指令调用子程序,指定调用次数。应注意调用次数必须为整数,因此,需要灵活控制每层切深,选择的每层切深可以整除总切深。

$$\text{int}[\text{调用次数}] = \text{总切削深度} \div \text{每层切削深度}$$

以子程序方式编写的分层加工示例如表 5-4 所示。

表 5-4 分层加工编程示例

主 程 序		子 程 序	
O0001;		O1234;	
T1 M6;		G1 G91 Z-2 F500;	每层相对当前位置下切深 2mm
S2000 M3;		G1 G90 G41 X45 Y10 D1;	绝对坐标指令方式,引入刀补
G0 G90 G54 X60 Y0;	选择毛坯外点(60,0)处下刀	G3 X35 Y0 R10;	以 R10 圆弧切入轮廓
G43 Z10 H1;		G2 I-35 J0;	切削轮廓
G1 Z0 F500;	提前运动到分层加工起始位置	G3 X45 Y-10 R10;	以 R10 圆弧切出轮廓
M98 P151234;	调用子程序 O1234,共调用 15 次	G1 G40 X60 Y0;	取消刀补,返回起始点
G1 Z10;		M99;	子程序返回
G0 Z100;			
M5;	抬刀		
M30;			

任务二 工 艺 准 备

5.3 零件图分析

如图 5-6 所示,根据零件的使用要求,选择 45 钢作为槽轮零件的毛坯材料,毛坯下料尺寸定为 $\phi 215 \times 25$ 。

零件 $\phi 35$ 为关键尺寸,需要与轴承配合,可以在车削加工中通过镗孔获得;零件外圆尺寸在整个机床中为大间隙配合,所以粗加工即可;4 处 R80 为间隙配合,通过粗铣获得;20 槽要求位置精度较高,与拨销滑动摩擦配合,所以,要求有较低的侧面表面粗糙度,需要进行精铣加工。

注意: 此零件为手动操作件,所以在加工完成后,应去除加工毛刺,保证锐角充分倒钝,以确保在使用过程中的人身安全。

本训练任务针对铣加工,进行工序设计制订工序卡片,如表 5-6 所示。

表 5-6 铣加工工序卡片

[illegible]

5.5 数控加工程序编写

根据工序加工工艺,编写加工程序,如表 5-7 所示。

表 5-7 槽轮数控加工程序

段号	程序语句	注 释
	O0001;	主程序
	T1 M6;	
	S1500 M3;	
	G0 G90 G54 X120 Y0;	
	G43 Z10 H1;	
N1	G1 Z0 F500;	定位至 R80 圆弧铣削起点
	M98 P111001;	调用加工 R80 圆弧,共调用 11 次,加工到深度 Z-22
	G1 Z10;	
	G68 X0 Y0 R90;	坐标旋转 90°加工第二个
	G1 Z0 F500;	
	M98 P111001;	
	G1 Z10;	
	G68 X0 Y0 R180;	坐标旋转 180°加工第三个
	G1 Z0 F500;	
	M98 P111001;	
	G1 Z10;	
	G68 X0 Y0 R270;	坐标旋转 270°加工第四个
	G1 Z0 F500;	
	M98 P111001;	
	G1 Z10;	
	G69;	
N2	G68 X0 Y0 R45;	坐标旋转 45°,粗加工槽
	G0 X120 Y0;	
	G1 Z0 F500;	
	M98 P111002;	调用槽加工程序,共调用 11 次,每次切削 2mm
	G1 Z10;	
	G68 X0 Y0 R135;	
	G0 X120 Y0;	
	G1 Z0 F500;	
	M98 P111002;	
	G1 Z10;	
	G68 X0 Y0 R225;	
	G0 X120 Y0;	
	G1 Z0 F500;	
	M98 P111002;	
	G1 Z10;	
	G68 X0 Y0 R315;	
	G0 X120 Y0;	
	G1 Z0 F500;	
	M98 P111002;	
	G1 Z10;	
	G69;	
N3	G68 X0 Y0 R45;	
	G0 X120 Y0;	

续表

段号	程 序 语 句	注 释
	M98 P1003;	精加工 45°槽
	G68 X0 Y0 R135;	
	G0 X120 Y0;	
	M98 P1003;	精加工 135°槽
	G68 X0 Y0 R225;	
	G0 X120 Y0;	
	M98 P1003;	精加工 225°槽
	G68 X0 Y0 R315;	
	G0 X120 Y0;	
	M98 P1003;	精加工 315°槽
	G0 Z100;	
	M5;	
	M30;	
	%	
	O1001;	粗加工 R80 圆弧子程序
	G1 G91 Z-2 F500;	
	G1 G90 G41 X100 Y62.45 D1;	
	G3 Y-62.45 R80;	
	G1 G40 X120 Y0;	
	M99;	
	%	
	O1002;	粗加工槽子程序
	G1 G91 Z-2 F500;	
	G1 X40;	
	X120;	
	M99;	
	%	
	O1003;	精加工槽子程序
	G1 Z-21 F500;	
	G1 G41 X120 Y16.557 D1;	
	X95.527 Y10;	
	X40;	
	G3 Y-10 R10;	
	G1 X95.527;	
	X120 Y-16.557;	
	G1 G40 X120 Y0;	
	G1 Z10;	
	M99;	

任务三 上机训练

5.6 设备与用具

- 设备：AVL650e 立式加工中心。
- 刀具： $\phi 16$ 立铣刀。
- 夹具：K11-320 三爪自定心卡盘(配芯轴)。
- 工具：什锦锉刀。
- 量具：0~150mm 游标卡尺、0.02mm 杠杆百分表(配安装架)。
- 毛坯： $\phi 212\times 20$ (车加工后)。
- 辅助用品：卡盘扳手、橡胶锤、毛刷等。

5.7 开机检查

检查机床外观各部位(如防护罩、脚踏板等部位)是否存在异常；检查机床润滑油、冷却液是否充足；检查刀架、夹具、导轨护板上是否有异物；检查机床面板各旋钮状态是否正常；在开机后,检查机床是否存在报警等。可参考表 5-8 对机床状态进行点检。

表 5-8 机床开机准备卡片

检 查 项 目		检 查 结 果	异 常 描 述
机械部分	主轴部分		
	进给部分		
	换刀机构		
	夹具系统		
电器部分	主电源		
	冷却风扇		
数控系统	电气元件		
	控制部分		
	驱动部分		
辅助部分	冷却系统		
	压缩空气		
	润滑系统		

5.8 零件加工

输入数控加工程序,运行程序完成零件的数控加工。

5.9 零件检测

在零件加工完成后,应当认真清理工件,并按照质量管理的相关要求,对加工完成的零件进行相关检验,保证生产质量。机械加工零件“三级”检验卡片如表 5-9 所示。

表 5-9 机械加工零件“三级”检验卡片

零部件图号		零部件名称		工 序 号			
材料		送检日期		工序名称			
检验项目	自检结果	互检结果	专业检验	备注			
检验结论	☐合格 ☐不合格 ☐返修 ☐让步接收 检验签章：_____ 年 月 日						
不符合项描述							

项 目 总 结

通过槽轮数控铣削加工,需要掌握数控铣削程序的基本格式和基本切削加工指令的使用方法。能够熟练应用基本切削加工指令 G1 指令、G2 指令、G3 指令进行零件切削;能够灵活应用坐标旋转指令 G68 指令、G69 指令及子程序指令 M98 指令、M99 指令编写加工程序。

掌握立式加工中心的基本操作方法,包括开关机、刀具安装、工件找正、对刀、程序编辑、图形校验、数控加工程序调试及自动运行等。

通过任务训练,养成良好的职业素养,培养正确的加工中心安全操作规范,养成基本的机械加工质量意识。

课 后 习 题

1. 填空题

(1) 在机床通电后,应首先检查_____是否正常。

(2) 为应对采用了旋转局部视图来表示几何尺寸的工程图, 常常采用将原有工件_____的方法进行数控编程。

(3) 子程序和主程序在格式并无本质区别, 主要是_____不同, 主程序使用_____指令表示程序结束, 而子程序使用 M99 指令表示程序结束, 并自动返回调用它的程序。

(4) 系统子程序常用的调用指令格式为: _____。

(5) 在开机检查时, 应该检查机床_____ (如防护罩、脚踏板等部位) 是否存在异常; 检查机床_____、_____是否充足; 检查刀架、夹具、导轨护板上是否有异物; 检查机床面板各旋钮状态是否正常; 在开机后, 检查机床是否存在报警等。

2. 判断题

- (1) 子程序返回主程序的指令为 M98 指令。 ()
- (2) 在加工完成后, 应去除加工毛刺, 保证锐角充分倒钝, 以确保在使用过程中的人身安全。 ()
- (3) 通常子程序可以作为独立的加工程序使用。 ()
- (4) 子程序不仅可以被主程序调用, 同时, 也可以被其他子程序调用, 这种方法称为子程序的嵌套。 ()
- (5) 使用 M98 指令调用子程序, 指定调用次数, 调用次数必须为整数。 ()

3. 选择题

- (1) 机床坐标系的原点称为()。
- A. 工件零点 B. 编程零点 C. 机械原点 D. 空间零点
- (2) 取消坐标系旋转指令为()指令。
- A. G65 B. G66 C. G68 D. G69
- (3) 子程序返回指令为()指令。
- A. M96 B. M97 C. M98 D. M99
- (4) 在用轨迹法切削槽类零件时, 槽两侧表面, ()。
- A. 一面为顺铣、一面为逆铣 B. 两面均为顺铣
- C. 两面均为逆铣 D. 不需要做任何加工
- (5) 加工内廓类零件时, ()。
- A. 不用留有精加工余量
- B. 为保证顺铣, 刀具要沿工件表面左右摆动
- C. 为保证顺铣, 刀具要沿内廓表面逆时针运动
- D. 刀具要沿工件表面任意方向移动

4. 简答题

简述子程序的应用场合。

自我学习检测评分表如表 5-10 所示。

表 5-10 自我学习检测评分表

项 目	目 标 要 求	分 值	评 分 细 则	得 分	备 注
学习关键 知识点	(1) 掌握坐标系旋转指令的使用方法 (2) 掌握子程序指令的使用方法	20	理解与掌握		
工艺准备	(1) 能够正确识读零件图 (2) 能够独立确定加工工艺过程,并正确填写工艺文件 (3) 能够根据工序加工工艺,编写正确的加工程序	30	理解与掌握		
上机训练	(1) 能够根据零件结构特点和精度合理选用量具,并正确、规范地测量相关尺寸 (2) 掌握槽轮铣削的操作流程 (3) 能够正确操作数控加工中心,并根据加工情况调整加工参数	50	(1) 理解与掌握 (2) 操作流程		



思政小课堂