

项目一

数车综合练习

本项目包含两个任务：车削锤柄和车复杂台阶轴。

通过本项目的练习，综合掌握学习过的指令和方法，在技能上得到一个提升。

任务一 车削锤柄

前面学习了外圆、锥面、圆弧、螺纹等指令的编写，锤柄零件基本上涵盖了这些车削工艺，通过本任务的学习，继续对前面学习过的知识进行进一步巩固。

任务目标

- 能够掌握粗车循环指令 G71、精车循环指令 G70 的编程方法；
- 了解中心孔相关内容；
- 进一步熟悉切槽的加工方法；
- 进一步熟悉螺纹加工指令编程方法；
- 会使用螺纹规检测螺纹。

任务描述

如图 3-1-1 所示，锤柄由一些圆柱面、锥面、凹槽及螺纹组成。通过分析图样，完成锤柄的工艺设计及加工程序的编制并完成加工。

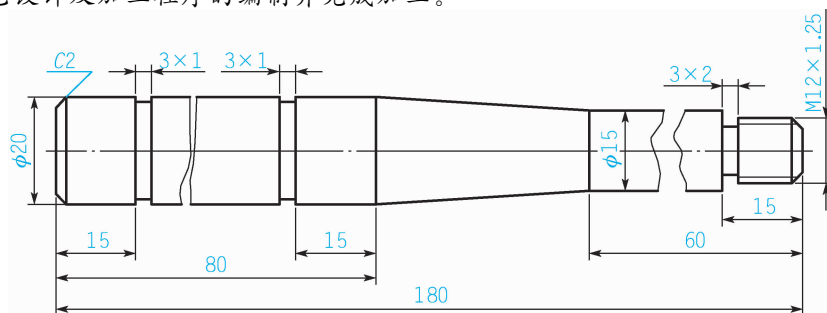


图 3-1-1 锤柄

知识链接

毛坯切削循环指令(G71)

在数控车床编程过程中，最常用的指令为毛坯切削循环指令。

1. 指令格式

格式如下：

```
G00 X_ Z_ ;
G71 U1 (Δd) R(e) ;
G71 P(ns) Q(nf) U2 (Δu) W(Δw) F_ S_ T_ ;
Nns ..... ;
..... ;
Nnf ..... ;
```

} 用以描述精加工轨迹

说明：

- 1) X、Z：循环起点坐标，X 为加工前工件的最大尺寸大 1~2 mm 处，Z 为工件的右端面 2~5 mm 处。
- 2) U₁：表示切削深度(此处为半径值)。
- 3) R：退刀量，为半径值。
- 4) P：精车加工程序起始号。
- 5) Q：精车结束程序号。
- 6) U₂：X 方向精车加工余量大小(直径值)，外轮廓为“+”，内轮廓为“-”。
- 7) W：Z 向精加工余量的大小。
- 8) n_s：精加工形状的第一个程序段号。
- 9) n_f：精加工形状的最后程序段号。
- 10) F、S、T：分别为进给、转速、刀位。

提示：

在使用 G71 时一定要注意，U₁ 为半径值，U₂ 为直径值；在 n_s~n_f 程序段中，任何 F、S 或 T 功能在循环中被忽略，而在 G71 程序段中有效。

2. 指令说明

1) 利用复合形状固定循环功能，只要编写出最终加工路线，给出每次的背吃刀量等加工参数，车床即能自动地对工件重复切削，直到加工完成。

采用复合固定循环需设置一个循环起点，刀具按照数控系统安排的路径一层一层按照直线插补形式分刀车削成阶梯形状，最后沿着粗车轮廓车削一刀，然后返回到循环起点完成粗车循环。

2) 零件轮廓必须满足在 X 、 Z 轴方向同时单调增大或单调减少, 即不可有内凹的轮廓外形。外轮廓加工只能加工从小到大递增的工件。内孔加工只能加工从大到小递减的工件。

精加工程序段中的第一条指令只能用 $G00$ 或 $G01$, 且不可有 Z 轴方向移动指令。

3) $G71$ 指令只是完成粗车程序, 虽然程序中编制了精加工程序, 目的只是定义零件轮廓, 但并不执行精加工程序, 只有执行 $G70$ 时才完成精车程序。



提示:

- 1) 程序中的程序段号必须与 $G71$ 的循环开始段号和循环结束段号对应。
- 2) 循环开始的第一程序段必须为单轴移动, 必须先移动 X 轴。
- 3) $G71$ 中的两个程序段不能合并也不缺少。
- 4) 在单步状态下执行 $G71$ 程序时, 需要按三次循环启动键才开始加工。

参照图 3-1-2 说明 $G71$ 指令的走刀路线是什么?

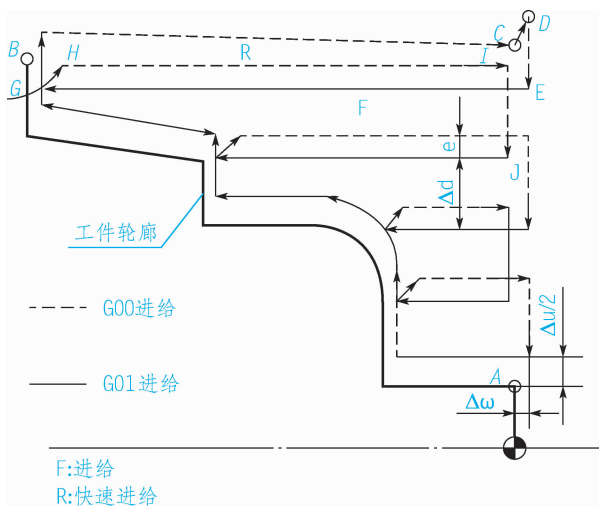


图 3-1-2 $G71$ 走刀路线



精加工复合循环指令($G70$)

用 $G71$ 完成粗加工后, 可以用精车循环指令进行精加工, 保证表面质量。

指令格式如下:

```
G70 P(n_s) Q(n_f)
Nn_s .....;
.....; } 用以描述精加工轨迹
Nn_f .....;
```

※说明:

1) 在精车循环 G70 状态下, n_s 至 n_f 程序段中指定的 F、S、T 有效; 如果 n_s 至 n_f 程序段中不指定 F、S、T 时, 粗车循环中指定的 F、S、T 有效。

2) 执行 G70 循环时, 刀具沿工件的实际轨迹进行切削, 循环结束后刀具返回循环起点。

3) G70 指令用在 G71、G72 和 G73 指令的程序内容之后, 不能单独使用。

任务实施

图样分析

锤柄是轴类零件, 由外圆、圆锥、槽、螺纹等内容组成。该零件材料为 45 钢, 无热处理要求, 棒料毛坯尺寸为 $\phi 22 \text{ mm} \times 185 \text{ mm}$, 粗、精加工外圆、锥体、圆弧和螺纹。根据零件图样分析, 此零件需要外圆刀、切槽刀和螺纹刀。

确定加工方案

根据零件图样、尺寸及毛坯材料, 先加工左端, 采用自定心卡盘装夹。平左右端面后, 右端面钻中心孔, 车左端的外圆及两个凹槽。调头装夹后, 粗车和精车锥体及外圆, 后切槽及车螺纹。

此零件比较细长, 考虑到右端加工螺纹时受力较大, 因此车削右端时, 采用一夹一顶的方式。

确定加工路线

- 1) 车左右端面, 保证总长, 钻中心孔。
- 2) 用自定心卡盘装夹工件毛坯, 伸出卡盘 83 mm, 粗、精车零件左端 $\phi 20 \text{ mm}$ 外圆。
- 3) 切两个宽 3 mm、深 1 mm 的矩形槽。
- 4) 掉头装夹。
- 5) 粗、精车右端的锥体、外圆及螺纹大径外圆。
- 6) 切槽。
- 7) 车螺纹。

填写工艺文件

根据加工路线和图 3-1-3 所示工、量具填写表 3-1-1 和表 3-1-2。



图 3-1-3 工、量具

表 3-1-1 工、量、刀具清单

零件名称		图号		数量		
种类	序号	名称	规格	精度	单位	参考图片
工具						
量具						
刀具						

表 3-1-2 锤柄加工工艺卡

零件图号		数控机床加工工艺卡	机床型号	CAK6150
工序	工艺内容	切削用量		
		$S/(r/min)$	$F/(mm/r)$	a_p/mm
1				
2				
3				
4				

编写程序

1. 建立工件坐标系

根据坐标系建立原则，车左端时，工件原点设在工件左端面与主轴轴线的交点上；车右端时，工件原点设在工件右端面与主轴轴线的交点上。

2. 参考程序

工件的参考程序如表 3-1-3 和表 3-1-4 所示。

表 3-1-3 锤柄左端切削程序

程序	说明
O3101;	
左端外圆、球面的加工	
预备工作	手动控制车削两端面, 保证总长, 钻中心孔
G97 G99 M03 S500 T0101 F0.2;	以 500 r/min 启动主轴正转, 选择 1 号刀及 1 号刀补
G00 X22.0 Z2.0;	快速定位
G71 U2 R1;	单边切深 2 mm, 退刀量 0.5 mm
G71 P10 Q20 U0.5;	精车路线 N10 到 N20
N10 G00 X12;	精车第一段
G01 X20 Z-2;	车倒角
N20 Z-80;	车 $\phi 20$ mm 外圆
X22;	退刀
G00 X100 Z150;	快速回到换刀点
M05;	主轴停
M00;	程序停
M03 S1200 T0101 F0.08;	主轴正转, 转速为 1 200 r/min, 选择 1 号刀及 1 号刀补
G00 X22 Z2;	循环起点
G70 P10 Q20;	左端精加工
G00 X100 Z150;	快速回到换刀点
M05;	正转停
M30;	程序结束
左端切槽	
G97 G99 M03 S300 T0202 F0.15;	主轴转速为 300 r/min, 选择 2 号刀及 2 号刀补
G00 X22 Z-18;	定位到左端第一个槽
G01 X19;	切槽
G04 X1;	停留
X22;	退刀
G00 Z-65;	定位到第二个槽
G01 X19;	切槽
G04 X1;	停留
X22;	退刀
G00 X100 Z150;	快速返回换刀点
M05;	主轴停
M30;	程序结束

表 3-1-4 锤柄右端切削程序

程序	说明
O3102;	
预备工作	车完左端后, 掉头装夹
G97 G99 M03 S500 T0101 F0.2;	以 500 r/min 启动主轴正转, 选择 1 号刀及 1 号刀补

续表

程序	说明
G00 X22.0 Z2.0;	点定位到循环起点
G71 U2 R1;	粗加工切削深度 2 mm, 退刀量 1 mm
G71 P10 Q20 U0.5;	
N10 G00 X4 Z2;	精加工起始行
X11.83 Z-2;	精加工倒角
Z-15;	精加工螺纹大径外圆
X15;	精加工台阶
Z-60;	精加工 $\phi 15$ mm 外圆
N20 X20 Z-100;	精加工圆锥
G00 X100 Z100;	快速回到换刀点
M05;	主轴停止
M00;	程序停
M03 S1200 T0101 F0.08;	主轴正转 1 200 r/min, 选择 1 号刀及 1 号刀补
G00 X22 Z2;	快速定位到循环起点
G70 P10 Q20;	精车右端外圆及圆锥
G00 X100 Z150;	快速回到换刀点
M05;	主轴停止
M00;	程序停
G97 G99 M03 S300 T0202 F0.15;	主轴正转 300 r/min, 选择 2 号刀及 2 号刀补
G00 X17 Z-15;	快速点定位
G01 X12;	车槽
X10;	车至槽底
X17;	退刀
G00 X100 Z150;	快速退回换刀点
G97 G99 M03 S350 T0303;	主轴正转 350 r/min, 选择 3 号刀及 3 号刀补
G00 X12 Z2.5;	快速定位
G92 X11.8 Z-10.5 F1.25;	第一次(车螺纹循环)
X11.2;	第二次
X10.8;	第三次
X10.5;	第四次
X10.2;	第五次
X10.2;	第六次
G00 X100 Z150;	快速回到换刀点
M05;	主轴停
M30;	程序停

加工过程

加工过程如下:

- 1) 安装车刀, 将 1 号、2 号、3 号刀位分别安装粗车、切槽刀和螺纹刀。

- 2) 平端面, 钻中心孔。
- 3) 在自定心卡盘上安装好工件, 顶上顶尖。
- 4) 对刀, 建立左端工件坐标系。
- 5) 确定编程原点, 制定加工路线, 编制程序。
- 6) 程序仿真, 检验程序。
- 7) 加工左端。
- 8) 掉头车右端面, 保证总长。
- 9) 用铜皮包住 $\phi 20$ mm 表面, 装夹, 顶上顶尖。
- 10) 对刀, 建立右端工件坐标系。
- 11) 编制程序, 程序仿真模拟, 检验程序的准确性。
- 12) 调用程序, 机床加工。
- 13) 测量工件, 清理机床。

任务评价

完成上述任务后, 请认真填写表 3-1-5 所示的“锤柄零件加工质量评价表”。

表 3-1-5 锤柄零件加工质量评价表

组别				小组负责人	
成员姓名				班级	
课题名称				实施时间	
评价指标	配分	自评	互评	教师评	
工艺编制	10				
程序编制	10				
工件装夹	5				
机床操作	10				
正确对刀	10				
长度	10				
直径	10				
沟槽	5				
倒角	5				
螺纹	15				
安全操作规程	10				
总 计	100				
教师总评 (成绩、不足及注意事项)					
综合评定等级(个人 30%, 小组 30%, 教师 40%)					

练习与实践

- 1) 使用 G71 指令应该注意哪些问题?
- 2) 掉头加工时如何确保工件的总体长度?
- 3) 一夹一顶装夹工件时, 应该注意哪些问题?
- 4) 如图 3-1-4 所示, 自选毛坯, 长度足够夹持, 编制零件的加工程序。

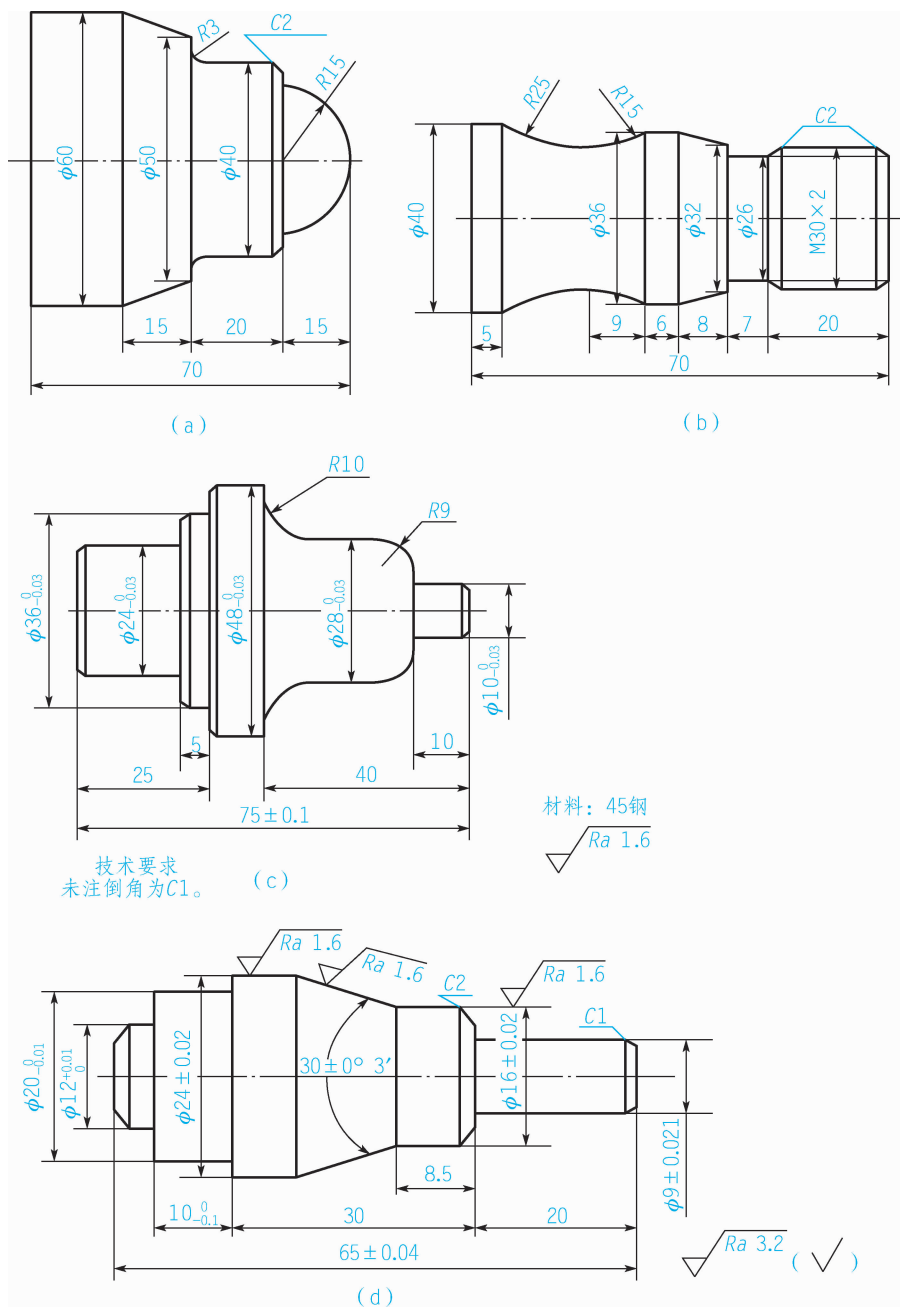


图 3-1-4 轴类零件练习

任务拓展

阅读材料——端面粗车复合循环指令 (G72)

1. 应用场合

端面粗车复合循环指令适用于粗车圆柱棒料毛坯的端面。

端面粗车复合循环指令 G72 与外(内)径粗车复合循环指令 G71 均为粗加工循环指令,其区别在于 G72 切削方向平行于 X 轴,而 G71 是沿着平行于 Z 轴进行切削循环加工的,如图 3-1-5 所示。

2. 指令格式

指令格式如下:

G00 X_ Z_ ;

G72 U1_ R_ ;

G72 P_ Q_ U2_ W_ F_ ;

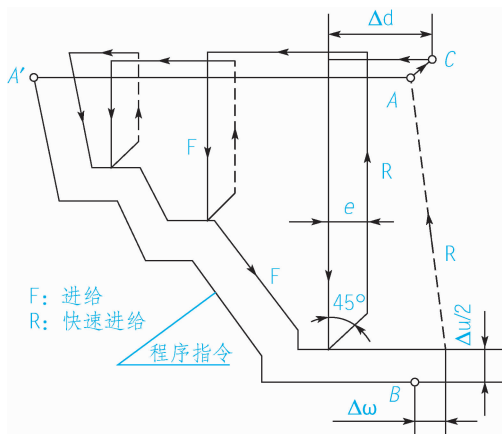


图 3-1-5 G72 切削路线

任务二 车复杂台阶轴

有些台阶轴加工既有外表面加工,也有一些内表面加工。

任务目标

- 通过复杂零件的加工,能说出所加工零件的用途、功能和分类;
- 能识读图样和工艺卡,明确加工技术要求和加工工艺;
- 能根据工艺卡选用合适的量、器具,根据零件的加工要求选择合适的刀具;
- 会用游标卡尺、千分尺、塞规等量具;
- 能根据现场条件,查阅相关资料,确定符合加工技术要求的工、量、夹具;
- 会使用 G71 指令编制程序,了解其走刀路线。

任务描述

如图 3-1-6 所示,工件毛坯为 $\phi 50 \text{ mm} \times 92 \text{ mm}$ 的 45 钢,试编写其数控车加工程序并进行加工。

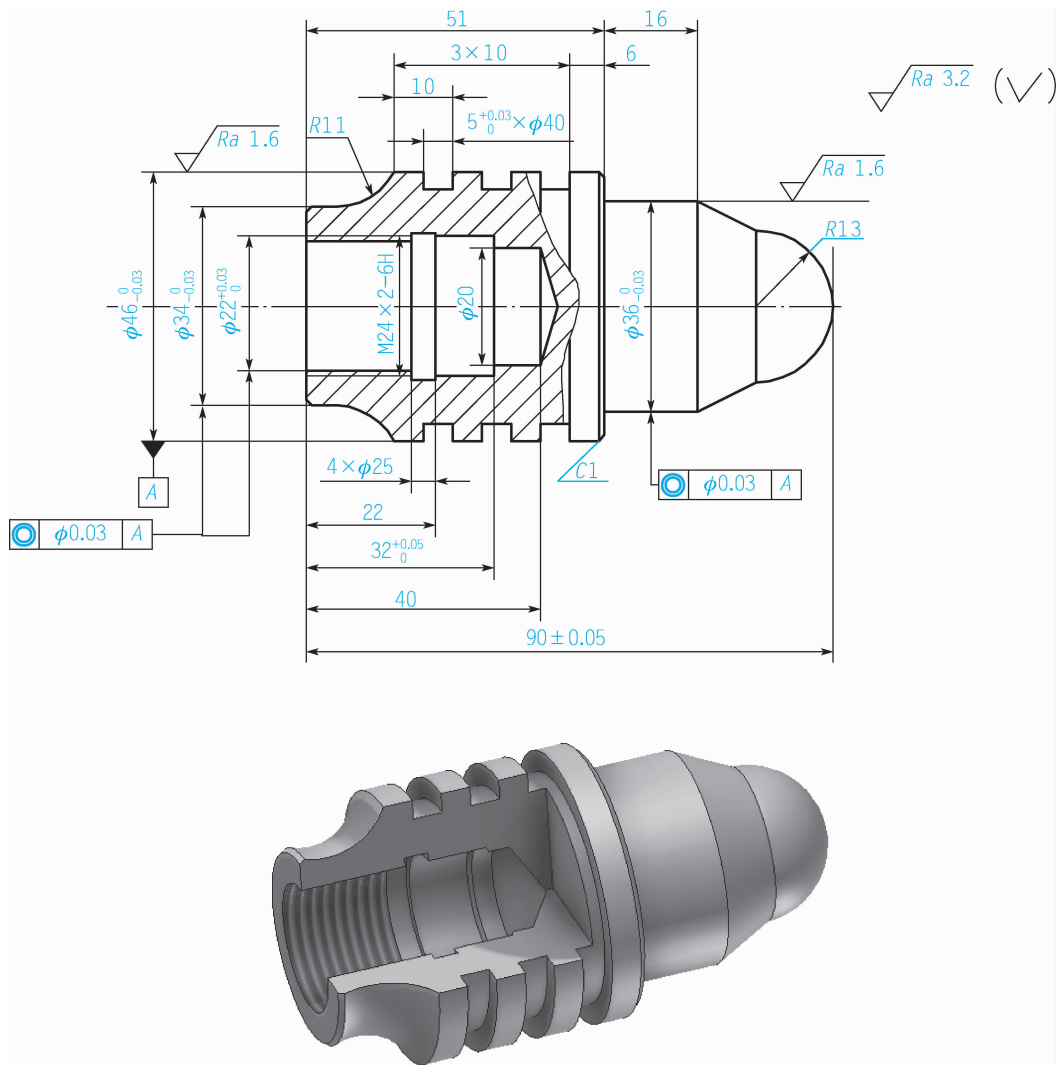


图 3-1-6 复杂台阶轴

知识链接

所用工、量具

所用工、量具如图 3-1-7 所示。

查阅资料，说出图 3-1-7 中工、量具的名称及用途。

查阅书籍，填写表 3-1-6。



图 3-1-7 所用工、量具

表 3-1-6 螺纹环规和塞规的使用注意事项

安全注意事项	
使用前注意事项	
使用时注意事项	
保管时注意事项	

任务实施

工艺准备和要求

1. 工艺准备

本任务选用 FANUC Oi 系统的数控车床，毛坯材料加工前先钻出直径为20 mm、深度为 40 mm 的底孔。加工中使用的工具、刀具、量具、夹具如表 3-1-7 所示。

表 3-1-7 工具、刀具、量具、夹具清单

序号	名 称	规 格	数 量	备 注
1	游标卡尺	0~150 mm(0.02 mm)	1	
2	千分尺	0~25 mm、25~50 mm、50~75 mm(0.01 mm)	各 1	
3	万能量角器	0~320°(2°)	1	
4	螺纹环规	M24×2-6g	1	
5	螺纹塞规	M24×2-6H	1	
6	百分表	0~10 mm(0.01 mm)	1	
7	磁性表座		1	
8	R 规	R7~R14.5 mm, R15~R25 mm	各 1c	
9	内径量表	18~35 mm(0.01 mm)	1	
10	塞尺	0.02~1 mm	1 副	
11	外圆车刀	93°, 45°	1	
12	不重磨外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
13	内、外切槽刀	φ30 mm×5 mm	各 1	

续表

序号	名 称	规 格	数 量	备 注
14	内、外螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
15	内孔车刀	$\phi 20$ mm 盲孔	1	
16	麻花钻	中心钻, $\phi 10$ mm, $\phi 20$ mm	各 1	
17	辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
18	材料	$\phi 50$ mm $\times$ 92 mm	1	
19	其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
20		计算机、计算器、编程用书等		

2. 工艺要求

本任务的工时定额(包括编程与程序手动输入)为 4 h, 其加工要求如表 3-1-8 所示。

表 3-1-8 加工要求

工件编号				总得分			
项目与配分		序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
工件加工评分 (80%)	外形轮廓	1	$\phi 46_{-0.03}^0$ mm	5	超差 0.01 mm 扣 2 分		
		2	$\phi 34_{-0.03}^0$ mm	5	超差 0.01 mm 扣 2 分		
		3	$\phi 36_{-0.03}^0$ mm	5	超差 0.01 mm 扣 2 分		
		4	切槽 $5_{+0.03}^0$ mm $\times\phi 40$ mm	3 $\times$ 3	超差 0.01 mm 扣 1 分		
		5	同轴度 $\phi 0.03$ mm	3 $\times$ 2	超差 0.01 mm 扣 1 分		
		6	锥度正确	3	超差全扣		
		7	R13 mm, R11 mm	2 $\times$ 2	超差全扣		
		8	90 mm $\pm$ 0.05 mm	5	超差 0.01 mm 扣 1 分		
		9	Ra1.6 μ m	3	每错一处扣 1 分		
		10	Ra3.2 μ m	5	每错一处扣 0.5 分		
	内轮廓	11	$\phi 22_{+0}^{+0.03}$ mm, Ra1.6 mm	5/1	超差 0.01 mm 扣 2 分		
		12	M24 $\times$ 2-6H	5	超差全扣		
		13	$\phi 32_{+0}^{+0.05}$ mm	3	超差 0.02 mm 扣 1 分		
		14	内切槽 4 $\times\phi 25$ mm	3	超差全扣		
		15	Ra3.2 μ m	3	每错一处扣 1 分		
	其他	16	一般尺寸 IT12	3	每错一处扣 1 分		
		17	倒角	1	每错一处扣 0.5 分		
		18	工件按时完成	3	未按时完成全扣		
		19	工件无缺陷	3	缺陷一处扣 3 分		
程序与工艺(10%)		20	程序正确、合理	5	每错一处扣 2 分		
		21	加工工序卡	5	不合理每处扣 2 分		
机床操作(10%)		22	机床操作规范	5	出错一次扣 2 分		
		23	工件、刀具装夹	5	出错一次扣 2 分		

续表

项目与配分	序号	技术要求	配分	评分标准	检测记录	得分
安全文明生产(倒扣分)	24	安全操作	倒扣	安全事故、停止操作酌扣 5~30 分		
	25	机床整理	倒扣			



填写工艺卡

填写台阶轴加工工艺卡，如表 3-1-9 所示。

表 3-1-9 台阶轴加工工艺卡

单位名称		产品名称				图号	第一页	
		零件名称			数量	1		
材料种类		材料牌号		毛坯尺寸				
工序号	工序内容	车间	设备	工具			计划 工时	实际 工时
				夹具	量具	刀具		
更改号		拟定	校正		审核		批准	
更改者								
日期								



刀具的选择

分析零件图样，根据工艺卡选择刀具，完成表 3-1-10。

表 3-1-10 刀具的选用

序号	刀具名称	规格	数量	需领用



编写加工程序

选择完成后工件的左右端面回转中心作为编程原点，选择的刀具如下：T01 是外圆车刀，T02 是外切槽刀，T03 是内孔车刀，T04 是内切槽刀，T05 是内螺纹车刀。
其参考程序如表 3-1-11 和表 3-1-12 所示。

表 3-1-11 参考程序(左端)

程序	说明
O3103;	加工左端内外轮廓
G99 G97 M03 S800;	程序初始化, 主轴正转, 800 r/min
T0101 F0.2;	换 1 号外圆车刀
G00 X100 Z100 M08;	刀具至目测安全位置
X52 Z2;	
G71 U2 R0.5;	毛坯切削循环
G71 P80 Q140 U0.5;	
N80 G00 X32 S1500 F0.05;	精加工 S= 1 500 r/min, F= 0.05 mm/r 精加工轮廓描述
G01 Z0;	
X34 Z-1;	
Z-5.2;	
G02 X46 Z-15 R11;	
G01 Z-55;	
N140 X52;	
G70 P80 Q140;	精加工左端外轮廓
G00 X100 Z100;	换外切槽刀
T0202 S500;	
G00 X48 Z-23;	刀具定位
G75 R0.5;	加工第一条外圆槽
G75 X40 Z-25 P2000 Q2000 F0.1;	
G00 Z-33;	刀具重新定位
G75 R0.5;	加工第二条外圆槽
G75 X40 Z-35 P2000 Q2000 F0.1;	
G00 Z-43;	刀具重新定位
G75 R0.5;	加工第三条外圆槽
G75 X40 Z-45 P2000 Q2000 F0.1;	
G00 X100 Z100;	换内孔车刀
T0303 S800;	
G00 X18 Z2;	刀具定位至循环起点
G71 U1 R0.5;	粗车内孔
G71 P200 Q300 U-0.3 F0.2;	精加工余量取负值
N200 G00 X26 S1200 F0.05;	精加工轮廓描述
G01 Z0;	
X22 Z-2;	
Z-40;	
N300 X18;	
G70 P200 Q300;	精车内孔
G00 X100 Z100;	换内切槽刀, 转速取 500 r/min
T0404 S500;	

续表

程序	说明
G00 X20 Z2;	注意刀具定位路径
Z-21;	
G75 R0.5;	
G75 X25 Z-22 P1500 Q1000 F0.1;	内切槽加工
G00 Z2;	注意退刀路径
G00 X100 Z100;	
T0505 S600;	
G00 X21 Z2;	换内螺纹车刀, 换转速为 600 r/min
G76 P020560 Q50 R-0.05;	加工内螺纹, 注意精车余量为负值
G76 X24 Z-20 P1300 Q400 F2;	
G00 X100 Z100;	
M05 M09;	程序结束部分
M30;	

表 3-1-12 参考程序(右端)

程序	说明
O3104;	加工右端内外轮廓
G99 G97 M03 S800;	程序开始部分
T0101 F0.2;	
G00 X100 Z100 M08;	
X52 Z2;	
G71 U2 R0.5;	
G71 P100 Q200 U0.5;	粗车右端轮廓
N100 G00 X0 S1500 F0.05;	确定精车转速与进给量精车轮廓描述
G01 Z0;	
G03 X26 Z-13 R13;	
G01 X36 Z-23;	
Z-39;	
X44;	
X46 Z-40;	
N200 X52;	
G70 P100 Q200;	
G00 X100 Z100;	
M05 M09;	程序结束部分
M30;	

加工过程

按照下面操作步骤，在数控车床上加工台阶轴。

- 1) 安装刀具。
- 2) 先加工左端，用自定心卡盘装夹工件。
- 3) 手动车端面。
- 4) 对刀。
- 5) 调用程序 O3103，加工左端内外轮廓。
- 6) 掉头装夹，用铜皮包住外圆。
- 7) 车右端面，保证总长。
- 8) 调用程序 O3104，加工右端轮廓。
- 9) 测量工件，清理机床。

任务评价

完成上述任务后，请认真填写表 3-1-13 所示的“复杂台阶轴加工质量评价表”。

表 3-1-13 复杂台阶加工质量的评价表

组别				小组负责人	
成员姓名				班级	
课题名称				实施时间	
评价指标	配分	自评	互评	教师评	
会正确编写数控加工程序	15				
能够独立完成工件的加工与尺寸公差 的调试	20				
工件的尺寸与表面质量	20				
熟悉工艺卡片的填写	15				
工、量、刀具的规范使用	10				
课堂学习纪律、完全文明生产	10				
着装是否符合安全规程要求	5				
能实现前后知识的迁移，与同伴团结 协作	5				
总 计	100				
教师总评 (成绩、不足及注意事项)					
综合评定等级(个人 30%，小组 30%，教师 40%)					

练习与实践

- 1) 应该如何保养螺纹规?
- 2) 根据图 3-1-8 完成题目要求。
 - ① 确定工件的装夹方式及加工工艺路线。
 - ② 选择合适的刀具。
 - ③ 填写相关工艺卡片。
 - ④ 编写加工程序。

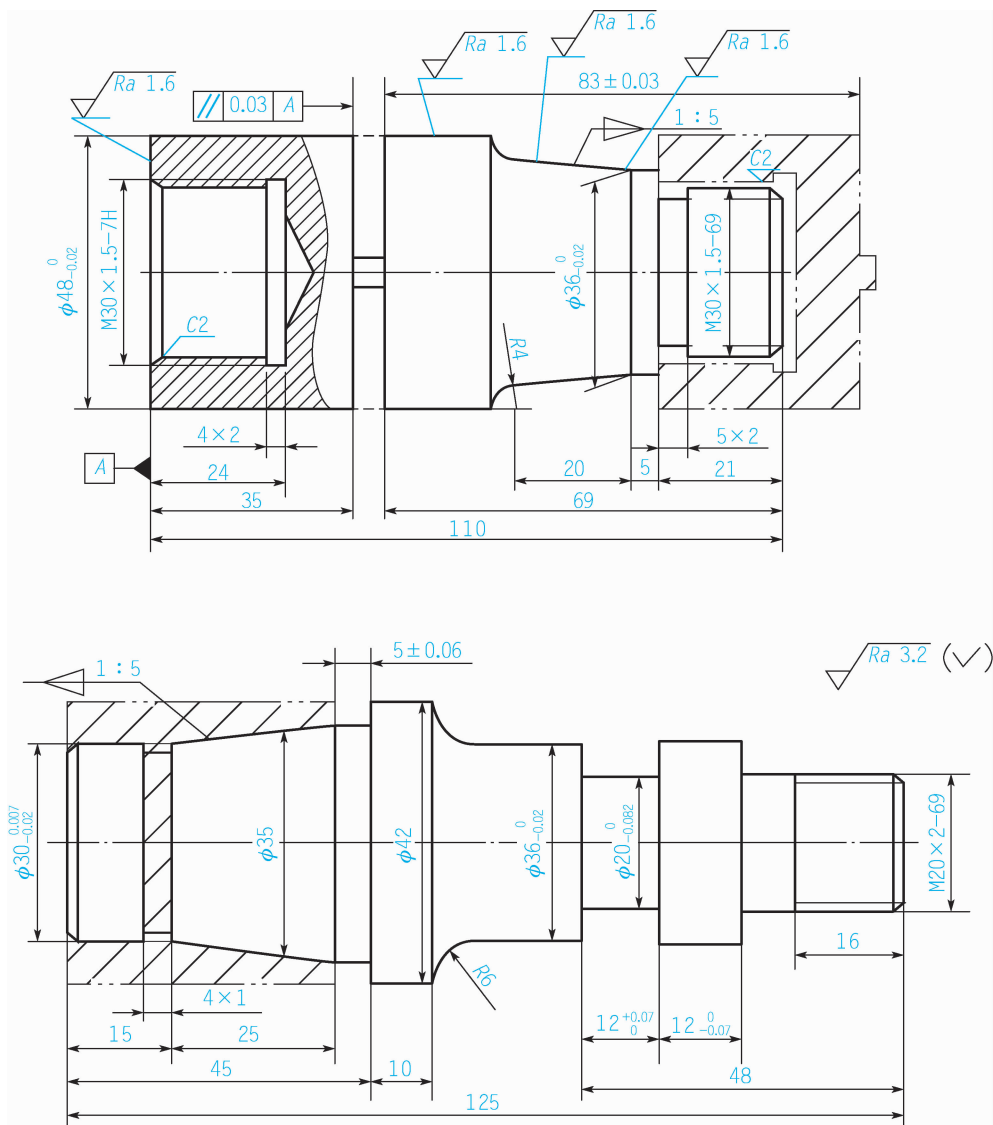


图 3-1-8 练习题

任务拓展

阅读材料 —— 孔的加工知识

1. 车孔的关键技术

车孔的关键技术是解决内孔车刀的刚性和排屑问题。

增加内孔车刀的刚性可采取以下措施：

1) 尽量增加刀柄的截面积，通常内孔车刀的刀尖位于刀柄的上面，这样刀柄的截面积较小，不到孔截面积的 $1/4$ ，若使内孔车刀的刀尖位于刀柄的中心线上，那么刀柄在孔中的截面积可大大地增加。

2) 尽可能缩短刀柄的伸出长度，以增加车刀刀柄刚性，减小切削过程中的振动，此外还可将刀柄上下两个平面做成互相平行的，这样就能很方便地根据孔深调节刀柄的伸出长度。

解决排屑问题主要是控制切屑的流出方向。精车孔时，要求切屑流向待加工表面（前排屑），采用正刃倾角的内孔车刀；加工盲孔时，应采用负刃倾角的内孔车刀，使切屑从孔口排出。

2. 车阶梯孔基础知识

内孔车削指令与外圆车削指令基本相同，关键应该注意，在加工过程中，外圆柱越加工越小，而内孔越加工越大，这在保证尺寸方面尤为重要。对于内外径粗车循环指令 G71，在加工外径时余量 X 为正，但在加工孔时余量 X 应为负，这一点应该特别注意，否则内孔尺寸肯定会增多。