

模块二

轴类零件加工

课题一 外圆与端面加工

知识目标

- 掌握 G、F、S、T、M 等功能指令；
- 掌握 G00、G01、G90、G94 指令及其应用；
- 掌握阶梯轴及其加工工艺制定方法。

技能目标

- 能够熟练装夹工件和刀具,迅速找正工件；
- 能够独立完成工件的加工。

相关知识

一、程序的结构

一个完整的程序由程序名、程序内容和程序结束组成,程序内容由若干程序段组成。

例如:

```
O0001;                                程序名
N01 G21 G40;
N10 T0101;
N20 G00 X50 Z2; }                      程序内容
N30 G01 Z0;
...
```


表 2-1 常用辅助功能

指令	含义	指令	含义	指令	含义
M00	程序暂停	M04	主轴反转	M08	冷却液开
M01	选择停止	M05	主轴停止	M09	冷却液关
M02	程序结束	M06	换刀	M98	子程序调用
M30	主轴正转	M30	程序结束	M99	子程序结束

注: M02 指令与 M30 指令的区别在于, 执行完 M02 指令后, 光标停留在 M02 上; 执行完 M30 指令后, 光标停留在程序头。

二、G00、G01、G90 和 G94 指令的应用

1. 快速定位指令 G00

快速定位即刀具以点定位控制方式从刀具所在点快速运动到下一个目标位置。

指令格式

G00 X(U)_ Z(W)_;

指令说明

(1) X、Z 指定刀具终点坐标。

(2) U、W 指定后一点相对前一点的增量坐标。

例 2-1 分别用绝对编程和增量编程编写加工图 2-1 所示零件从 A 点快速定位到 B 点的程序。

绝对编程

G00 X25.0 Z13.0;

增量编程

G00 U0. W-22.0;

G00 指令是模态指令, 其移动速度是由厂家预先设定的。运行 G00 指令时, 刀具的实际运动路线有时不是直线而是折线, 要注意干涉。

G00 指令一般用于加工前的快速定位或快速退刀。

2. 直线插补指令 G01

G01 指令用于规定刀具在 XOZ 平面内以插补联动方式做任意直线运动。

指令格式

G01 X(U)_ Z(W)_ F_;

例 2-2 分别用绝对编程和增量编程编写加工图 2-1 所示零件从 A 点切削到 B 点的程序。

绝对编程

G00 X25.0 Z35.0;

G01 X25.0 Z13.0 F0.2;

增量编程

G00 U-25.0 W0.;

G01 U0. W-22.0 F0.2;

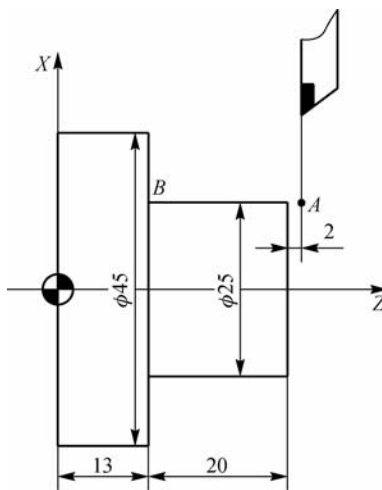


图 2-1 练习零件图



G01 指令后用绝对编程还是增量编程,由编程者根据情况确定。进给速度由 F 指令指定,F 指令是模态指令。

3. 外圆切削单一固定循环指令 G90

G90 指令常用于单一外圆加工和阶梯轴加工,其走刀路线如图 2-2 所示。

指令格式

G90 X(U)_ Z(W)_ F_;

指令说明

- (1)X(U)、Z(W)指定外径或内径切削终点坐标。
- (2)F 指定切削进给量。

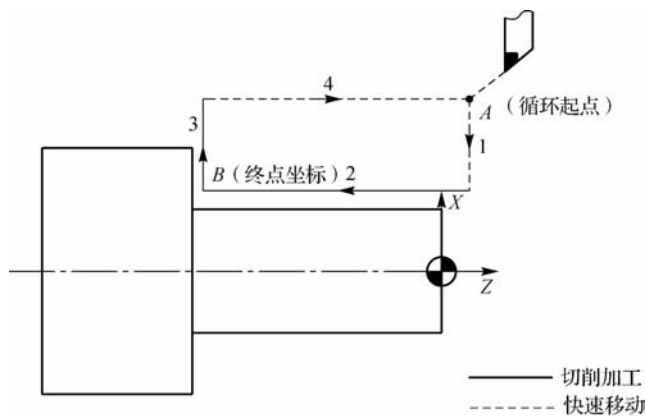


图 2-2 G90 指令走刀路线

4. 端面切削循环指令 G94

G94 指令用于车端面或者粗车外圆,其走刀路线如图 2-3 所示。

指令格式

G94 X(U)_ Z(W)_ F_;

指令说明

- (1)X(U)、Z(W)指定外径或内径切削终点坐标。
- (2)F 指定切削进给量。

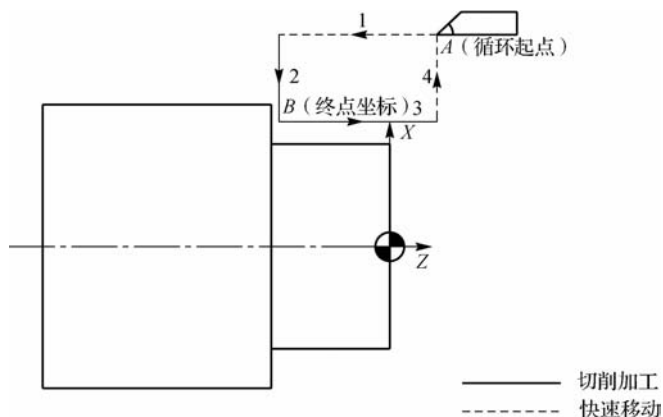


图 2-3 G94 指令走刀路线

例 2-3 加工如图 2-4 所示的零件,编写 $\phi 36$ mm 和 $\phi 32$ mm 外圆的加工程序。

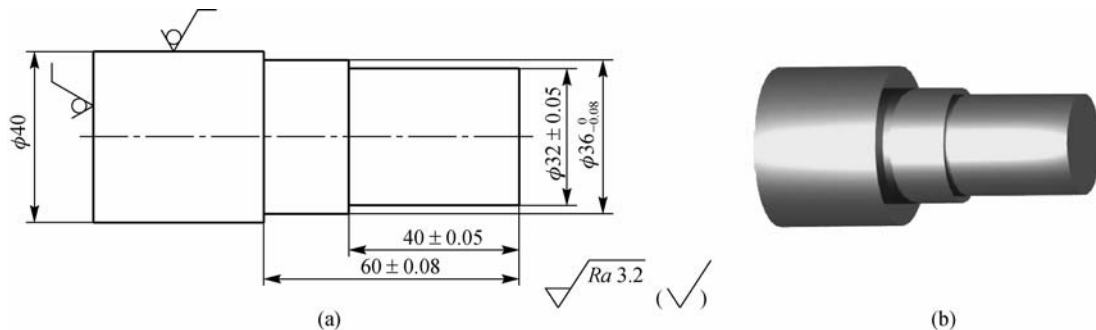


图 2-4 零件图

分析

将工件坐标系原点设定在右端面与中心轴线的交点处。将加工过程分为粗车和精车两个阶段:粗加工时,选择主轴转速为 500 r/min,进给速度为 0.25 mm/r;精加工时,选择主轴转速为 1 000 r/min,进给速度为 0.15 mm/r。

编程

(1)用 G00 指令和 G01 指令编程。

程 序	程序说明
O0001;	
N10 T0101 S500 M03 F0.25;	粗加工
N20 G00 X48.0 Z5.0;	
N30 X36.5;	
N40 G01 Z-59.95;	
N50 G00 X48.0;	
N60 Z5.0;	
N70 X32.5;	
N80 G01 Z-39.95;	
N90 G00 X50.0;	
N100 Z100.0;	
N110 M05;	
N120 M00;	
N130 T0202 S1000 M03 F0.15;	精加工
N140 G00 X48.0 Z5.0;	
N150 X36.0;	
N160 G01 Z-60.0;	
N170 G00 X48.0 Z100.0;	
N180 X32.0;	
N190 G01 Z-40.0;	



续表

程 序	程序说明
N200 G00 X50.0;	
N210 Z100.0;	
N220 M05;	
N230 M30;	程序结束

(2)用 G90 指令编制程序。

程 序	程序说明
O0001;	
N10 T0101 S500 M03 F0.25;	粗加工
N20 G00 X45.0 Z5.0;	
N30 G90 X37.0 Z-59.95;	
N40 X33.0 Z-39.95;	
N50 G00 X100.0 Z100.0;	
N60 M05;	
N70 M00;	
N80 T0202 S1000 M03 F0.15;	精加工
N90 G00 X30.0 Z2.0;	
N100 G01 Z0. ;	
N110 X32.0 Z-1.0;	
N120 Z-40.0;	
N130 X34.0;	
N140 X36.0 Z-41.0;	
N150 Z-60.0;	
N160 X45.0;	
N170 G00 X100.0 Z100.0;	
N180 M05;	
N190 M30;	程序结束



思考与练习

1. G90 指令与 G94 指令的区别是什么?
2. M02 指令与 M30 指令的区别是什么?



技能训练

加工如图 2-5 所示的阶梯轴零件,编写其加工程序。已知毛坯尺寸为 $\phi 45 \text{ mm} \times 62 \text{ mm}$,材料为铝。加工该阶梯轴零件所需的工具、量具、刃具清单见表 2-2,评分标准见表 2-3。

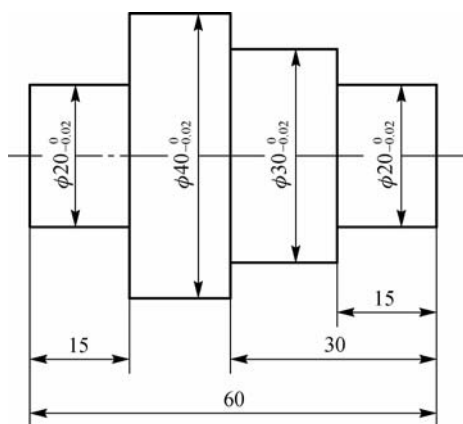


图 2-5 阶梯轴零件

表 2-2 加工阶梯轴零件所需工具、量具、刀具清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	游标卡尺	量程为 0~150 mm, 尺寸精度为 0.02 mm	1	
2	千分尺	量程为 0~25 mm, 25~50 mm, 尺寸精度为 0.01 mm	1	
3	外圆车刀	93°外圆仿形刀	2	
4	其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用

表 2-3 加工阶梯轴评分标准

班级			姓名			学号		
项目	序号	技术要求		配分	评分标准	得分		
外圆部分	1	$\phi 20_{-0.02}^0$ mm(2处)		15	超差 0.01 mm 扣 1 分			
	2	$\phi 40_{-0.02}^0$ mm		15	超差 0.01 mm 扣 1 分			
	3	$\phi 30_{-0.02}^0$ mm		15	超差 0.01 mm 扣 1 分			
长度部分	4	60 mm		9	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	5	15 mm(2处)		9	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	6	30 mm		9	超差 0.02 mm 扣 1 分			
编程与操作	7	切削工艺制定正确		5	不正确全扣			
	8	切削用量合理		5	不合理全扣			
	9	程序正确、简单规范		8	根据情况给分			
	10	操作规范		10	根据情况给分			
综合得分								

1. 确定数控车削加工工艺及工装方案

(1) 数控切削工艺工装分析。

① 选择定位基准和装夹工具。

课题二 圆锥面加工

分课题一 G90 圆锥循环指令车削圆锥面

知识目标

- 掌握圆锥的基本参数和相关尺寸的计算方法；
- 掌握 G90 圆锥循环指令的编程格式。

技能目标

- 能用 G90 圆锥循环指令编制外圆锥面零件的加工程序。

相关知识

一、圆锥的基本参数

在机床和工具中,常遇到使用圆锥面配合的情况,图 2-6(a)所示为车床主轴锥孔与前顶尖锥柄的配合,图 2-6(b)所示为车床尾座锥孔与麻花钻锥柄的配合。

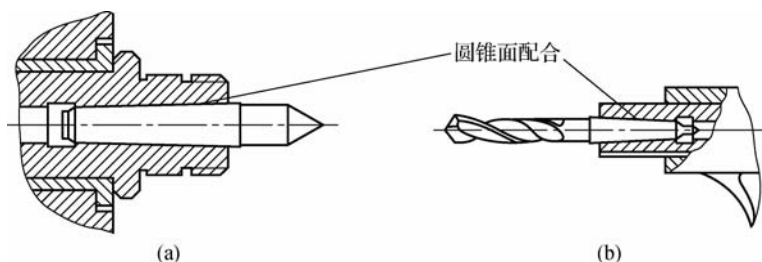


图 2-6 圆锥面配合

圆锥主要有五个基本参数,分别为最大圆锥直径 D 、最小圆锥直径 d 、圆锥长度 L 、锥度 C 和圆锥半角 $\alpha/2$,如图 2-7 所示。

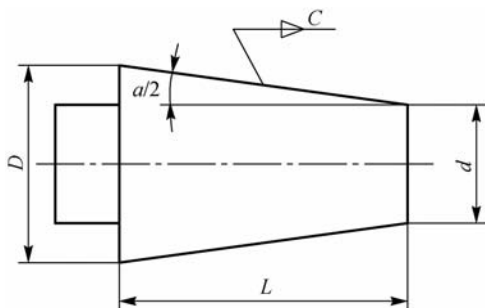


图 2-7 圆锥的基本参数

(1)最大圆锥直径 D 。最大圆锥直径简称为大端直径。

(2) 最小圆锥直径 d 。最小圆锥直径简称为小端直径。

(3) 圆锥长度 L 。最大圆锥直径与最小圆锥直径之间的轴向距离称为圆锥长度。

(4) 锥度 C 。圆锥的最大圆锥直径和最小圆锥直径的差与圆锥长度的比值称为锥度,其表达式为

$$C = \frac{D-d}{L} \quad (2-1)$$

锥度一般用比例或分数形式表示,如 $1:7$ 或 $1/7$ 。

(5) 圆锥半角 $\alpha/2$ 。圆锥角 α 是在通过圆锥轴线的截面内两条素线之间的夹角。圆锥角的一半即为圆锥半角 $\alpha/2$,其表达式为

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2L} = \frac{C}{2} \quad (2-2)$$

由式(2-2)可知,锥度确定后,圆锥半角可以由锥度直接计算出来,因此,圆锥半角与锥度属于同一参数,不能同时标注。

例 2-4 如图 2-8 所示的磨床主轴圆锥,已知锥度 $C=1:5$,最大圆锥直径 $D=45 \text{ mm}$,圆锥长度 $L=50 \text{ mm}$,求最小圆锥直径 d 。

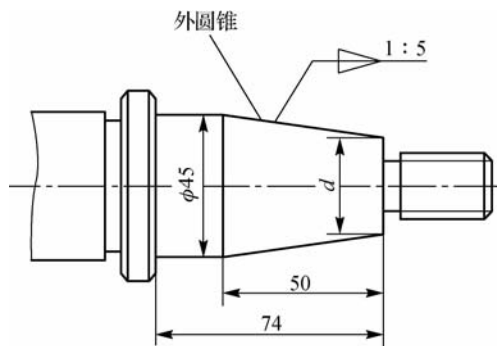


图 2-8 磨床主轴圆锥

解 由式(2-1)得

$$\begin{aligned} d &= D - CL \\ &= \left(45 - \frac{1}{5} \times 50 \right) \text{ mm} \\ &= 35 \text{ mm} \end{aligned}$$

二、G90 锥面循环加工指令

指令格式

G90 X(U)_ Z(W)_ I_ F_;

指令说明

(1) X(U)和 Z(W)指定外径、内径切削终点坐标。

(2) F 指定切削进给量。

(3) I 指定圆锥半径差。圆锥起点半径减去圆锥终点半径之差即为圆锥半径差。当锥面起点 X 坐标大于终点 X 坐标,圆锥半径差为正,反之圆锥半径差为负。



G90 指令走刀路线如图 2-9 所示。

例 2-5 编写如图 2-10 所示零件圆锥部分的加工程序。已知毛坯尺寸为 $\phi 50 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 。

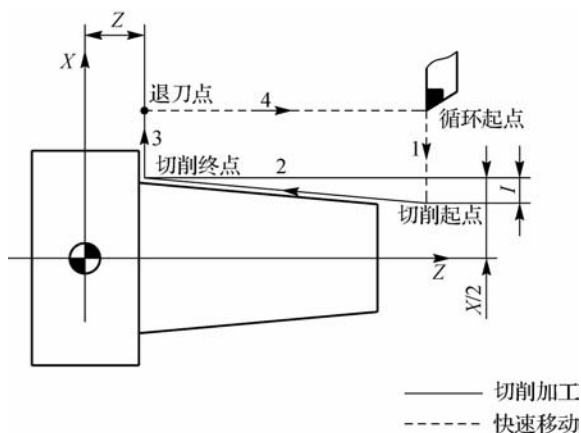


图 2-9 G90 指令走刀路线

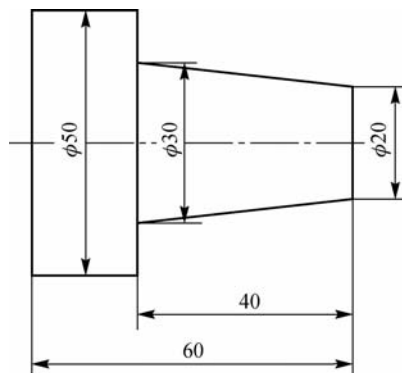


图 2-10 圆锥零件

分析

由式(2-1)得,图 2-10 中零件的圆锥部分锥度为

$$C = \frac{(30 - 20)}{40} = 0.25$$

刀具起始点设在距离端面 5 mm 处,第一刀的小端直径 $d_1 = 50 \text{ mm}$,由式(2-1)得,第一刀的大端直径为

$$D_1 = (50 + 0.25 \times 45) \text{ mm} = 61.25 \text{ mm}$$

编程

以右端面中心处为坐标原点建立工件坐标系,设待切削圆锥大端直径 D 依次为 55 mm, 52 mm, 49 mm, 46 mm, 43 mm, 40 mm, ..., 30 mm,编写如下程序。

程 序	程序说明
O0001;	程序名
N10 T0101 S500 M03 F0.15;	调 1 号外圆刀,主轴转速为 500 r/min,进给量为 0.15 mm/r
N20 G00 X53.0 Z5.0;	刀具快速移动到循环点
N30 G90 X58.0 Z-40.0 I-5.0;	圆锥循环第一刀
N40 X55.0;	圆锥循环第二刀
N50 X52.0;	圆锥循环第三刀
N60 X49.0;	圆锥循环第四刀
N70 X46.0;	圆锥循环第五刀
N80 X43.0;	圆锥循环第六刀
N90 X40.0;	圆锥循环第七刀
...	...
N130 X30.0;	圆锥循环最后一刀
N140 G28 U0 W0;	刀具回参考点
N150 M05;	主轴停
N160 M30;	程序结束



思考与练习

1. 圆锥的基本参数有哪几个?
2. 已知一外锥面,大端直径 $D=80\text{ mm}$,小端直径 $d=60\text{ mm}$,圆锥半角 30° ,求其圆锥部分长度。
3. G90 指令车外锥和外圆的区别是什么?



技能训练

加工如图 2-11 所示的圆锥轴零件。加工该圆锥轴零件所需的工具、量具、刀具清单见表 2-5,评分标准见表 2-6。

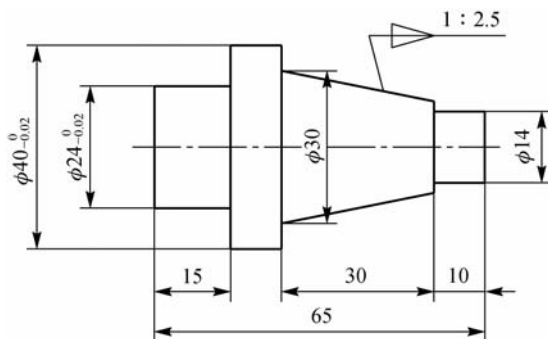


图 2-11 圆锥轴零件

表 2-5 加工圆锥轴零件所需工具、量具、刀具清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	游标卡尺	量程为 0~150 mm,尺寸精度为 0.02 mm	1	
2	千分尺	量程为 0~25 mm,25~50 mm,尺寸精度为 0.01 mm	1	
3	万能角度尺	量程为 $0^\circ\sim 320^\circ$	1	
4	外圆车刀	93° 外圆仿形刀	2	
5	其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用

表 2-6 圆锥轴零件加工评分标准

班级	姓名	学号			
项目	序号	技术要求	配分	评分标准	得分
外圆、圆锥部分	1	$\phi 24_{-0.02}^0\text{ mm}$	12	超差全扣	
	2	$\phi 40_{-0.02}^0\text{ mm}$	12	超差全扣	
	3	$\phi 30\text{ mm}$	10	超差 0.01 mm 扣 1 分	
	4	$\phi 14\text{ mm}$	10	超差 0.01 mm 扣 1 分	

续表

班 级			姓 名			学 号		
项 目	序 号	技术要求		配 分	评分标准	得 分		
长度部分	5	65 mm		8	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	6	15 mm		8	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	7	30 mm		8	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	8	10 mm		8	超差 0.02 mm 扣 1 分			
编程与操作	9	切削工艺制定正确		5	不正确全扣			
	10	切削用量合理		5	不合理全扣			
	11	程序正确、简单规范		8	酌情给分			
	12	操作规范		6				
综合得分								

1. 确定数控车削加工工艺及工装方案

(1) 零件结构及技术要求分析。

(2) 数控切削工艺工装分析。

① 选择定位基准和装夹工具。

② 选择加工方案。

③ 选择刀具。

(3) 确定加工顺序和走刀路线。

① 建立工件坐标系原点。

② 确定起刀点。

③ 确定走刀方案。

(4) 选择合理的切削用量。根据设计的加工方案,选择合适的切削用量,填写表 2-7。

表 2-7 圆锥轴零件加工工艺

工 步 号	工 步 内 容	刀 具 号	切 削 用 量		
			切 削 深 度 /mm	进 给 速 度 / (mm/r)	主 轴 转 速 / (r/min)

分课题二 G71、G70 指令车削圆锥面



知识目标

- 掌握 G71 和 G70 循环指令的编程格式。



技能目标

- 能用 G71 和 G70 循环指令编写圆锥面加工程序。



相关知识

一、G71 粗加工循环指令

指令格式

G71 U Δd Re;

G71 P ns Q nf U Δu W Δw F_ S_ T_;

指令说明

- (1) Δd 为粗车时 X 轴方向每次切削深度,一般 45 钢取 1~2 mm,铝件取 1.5~2.5 mm。
- (2) e 表示 X 轴方向退刀量,一般取 0.5~1 mm。
- (3) ns 为精加工程序段中的第一个程序段序号。
- (4) nf 为精加工程序段中的最后一个程序段序号。
- (5) Δu 为 X 轴方向精加工余量,取 0.4~0.5 mm。
- (6) Δw 为 Z 轴方向精加工余量,取 0.02~0.1 mm。
- (7)F 指定进给量,S 指定主轴转速,T 指定刀具号。粗加工时,F、S、T 指令有效;精加工时,只有处于 ns 到 nf 程序段之间的 F、S、T 指令有效。

注意: ns 程序段必须为 G00/G01 指令编程, ns 到 nf 程序段之间不能包含子程序。

G71 指令加工路线如图 2-12 所示。

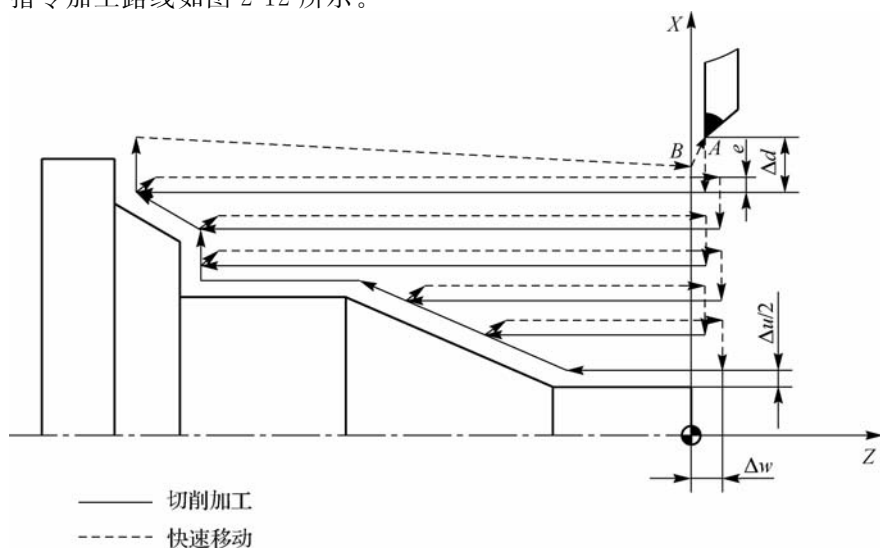


图 2-12 G71 指令加工路线

二、G70 精加工循环指令

指令格式

G70 P \underline{ns} Q \underline{nf} ;

指令说明

- (1) ns 为精加工形状程序段中的开始程序段号。
- (2) nf 为精加工形状程序段中的结束程序段号。

G70 指令在粗加工完后使用。

例 2-6 编写如图 2-13 所示零件的加工程序。已知毛坯尺寸为 $\phi 105 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 。

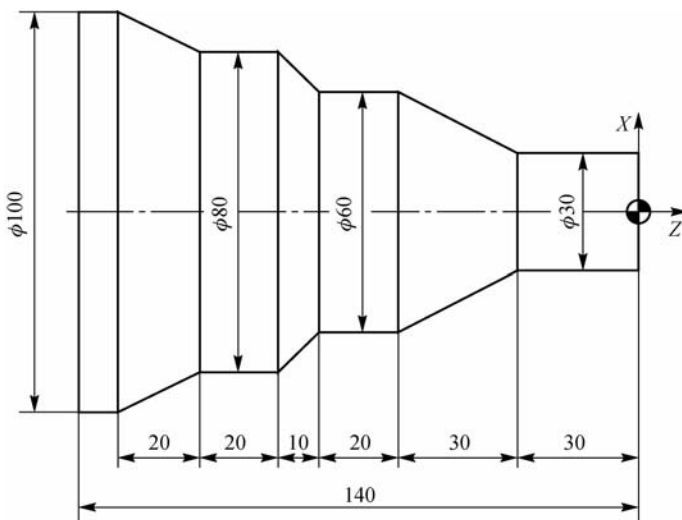


图 2-13 G70 指令加工零件图

以工件右端面中心处为坐标原点建立工件坐标系,编写程序如下。

程 序	程序说明
O1000;	
N10 M03 S500 F0.2;	主轴正转,转速为 500 r/min,进给量为 0.2 mm/r
N20 T0101;	换 1 号刀
N30 G00 X107.0 Z2.0;	快速进刀至循环起点
N40 G71 U2.0 R0.5;	指定粗车时每次的切削深度和退刀距离
N50 G71 P60 Q130 U0.8 W0.02;	指定精车路线及精加工余量
N60 G00 X30.0;	精加工外形轮廓起始程序段
N70 G01 Z-30.0;	
N80 X60.0 Z-60.0;	
N90 Z-80.0;	
N100 X80.0 W-10.0;	
N110 W-20.0;	



续表

程 序	程序说明
N120 X100.0 W-20.0;	精加工外形轮廓结束程序段
N130 W-10.0;	
N140 G00 X100.0 Z100.0;	
N150 M05;	
N160 T0202 S1200 M03 F0.10;	
N170 G00 X107.0 Z2.0;	
N180 G70 P60 Q130;	精加工循环
N190 G00 X100.0 Z100.0;	快速回换刀点
N200 M05;	
N210 M30;	程序结束

三、G72 端面粗车复合循环指令*

G72 指令适用于对大小径之差较大而长度较短的盘类工件端面复杂形状粗车,其走刀方向如图 2-14 所示。

指令格式

G72 W Δd Re;

G72 Pns Qnf U Δu W Δw F_ S_ T;

指令说明

(1) Δd 为粗车时 Z 轴方向每次切削深度。

(2) e 表示 Z 轴方向退刀量。

其余各尺寸字的含义与 G71 指令中各尺寸字的含义完全相同。

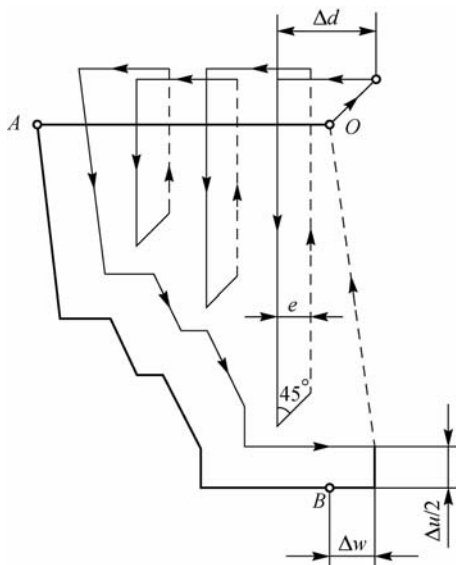


图 2-14 G72 指令走刀路线



思考与练习

1. G71 指令适用的范围是什么?
2. G71 指令和 G72 指令有何区别? 试画出 G72 指令的走刀路线图。



技能训练

编写如图 2-15 所示的圆锥零件的加工程序。加工该圆锥零件所需的工具、量具、刀具清单见表 2-8,评分标准见表 2-9。

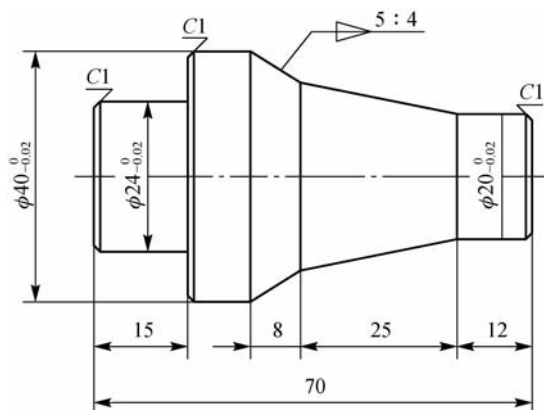


图 2-15 圆锥零件图

表 2-8 加工圆锥零件所需工具、量具、刀具清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	游标卡尺	量程为 0~150 mm,精度为 0.02 mm	1	
2	千分尺	量程为 0~25 mm,25~50 mm,精度为 0.01 mm	1	
3	万能角度尺	量程为 0°~320°	1	
4	外圆车刀	93°外圆仿形刀	2	
5	其他	铜棒、铜皮、垫片、毛刷等常用工具		选用

表 2-9 圆锥零件加工评分标准

班 级			姓 名			学 号		
项 目	序 号	技术要求		配 分	评分标准	得 分		
外圆部分	1	$\phi 24_{-0.02}^0$ mm(2处)		12	超差 0.01 mm 扣 1 分			
	2	$\phi 40_{-0.02}^0$ mm		12	超差 0.01 mm 扣 1 分			
	3	$\phi 20_{-0.02}^0$ mm		12	超差 0.01 mm 扣 1 分			
长度部分	4	70 mm		8	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	5	15 mm		8	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	6	25 mm		8	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	7	8 mm		8	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	8	12 mm		8	超差 0.02 mm 扣 1 分			
编程与操作	9	切削工艺制定正确		5	不正确全扣			
	10	切削用量合理		5	不合理全扣			
	11	程序正确、简单规范		8	酌情给分			
	12	操作规范		6	酌情给分			
综合得分								



课题三 圆弧加工

知识目标

- 掌握 G02 和 G03 圆弧插补指令的编程知识；
- 掌握 G40、G41 和 G42 刀具半径补偿指令的编程知识；
- 掌握 G73 固定形状粗车循环指令的编程知识。

技能目标

- 掌握圆弧插补指令的用法；
- 掌握刀具半径补偿指令的用法；
- 掌握固定形状粗车循环指令的用法。

相关知识

一、圆弧插补指令

圆弧插补指令使刀具沿着圆弧运动，切出圆弧轮廓。圆弧插补运动有顺、逆之分，G02 为顺时针圆弧插补指令，G03 为逆时针圆弧插补指令。顺、逆圆弧插补指令按右手直角笛卡尔坐标系和右手定则判定：建立工件坐标系后，沿 Y 轴负向看，走刀方向绕 Y 轴顺时针方向转动为顺圆，反之为逆圆，如图 2-16 所示。

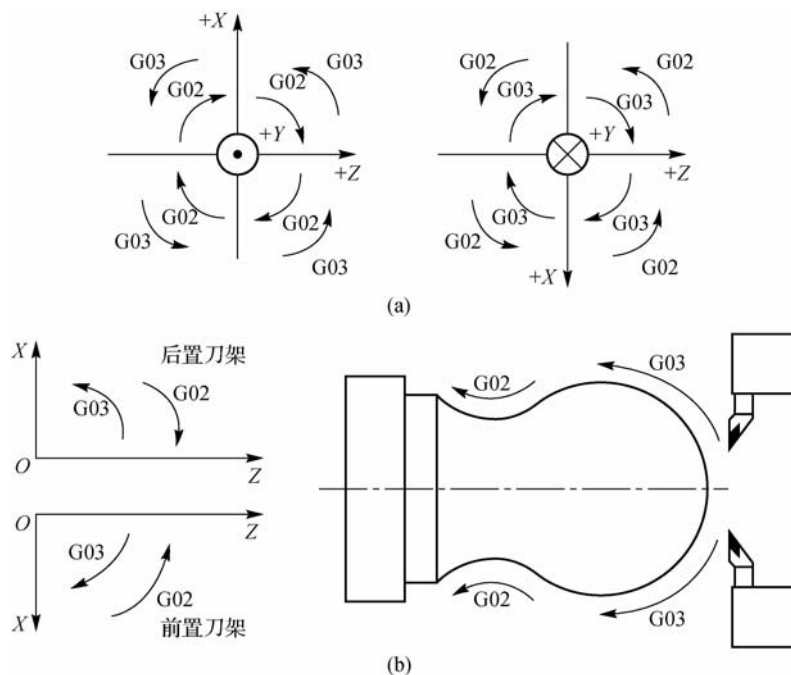


图 2-16 圆弧顺、逆的判断

指令格式

G02 X(U)_ Z(W)_ R_ (I_ K_) F_ ;

G03 X(U)_ Z(W)_ R_ (I_ K_) F_ ;

指令说明

- (1) X、Z 指定圆弧终点在工件坐标系中的绝对坐标值。
- (2) U、W 指定圆弧终点相对于圆弧起点的增量值。
- (3) R 指定圆弧半径。
- (4) F 指定刀具的进给量, 根据切削要求确定。
- (5) I、K 指定圆弧的圆心相对圆弧起点在 X 轴、Z 轴方向的坐标增量。
- (6) R 指定圆弧半径。

当用半径方式指定圆心位置时, 在同一半径的情况下, 从圆弧的起点到终点有两个圆弧的可能性, 为区别两者, 规定圆心角 $\alpha \leq 180^\circ$ 时, 半径为正, 如图 2-17 中的圆弧 1; $\alpha > 180^\circ$ 时, 半径为负, 如图 2-17 中的圆弧 2。

例 2-7 编写如图 2-18 所示零件圆弧的插补程序。

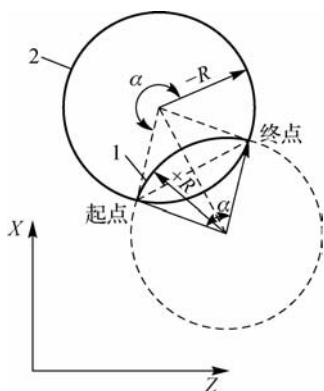


图 2-17 圆弧插补时半径的区分

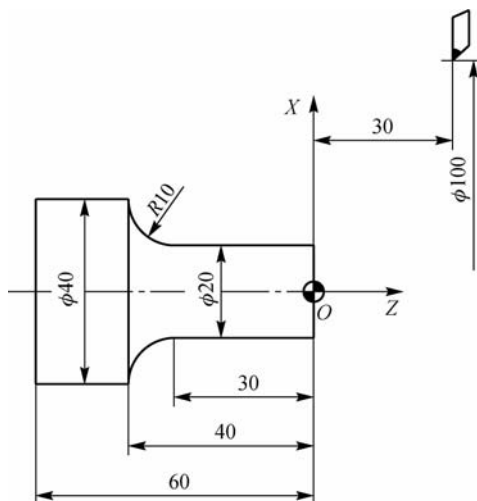


图 2-18 圆弧插补指令编程实例

(1) 用 I、K 指定圆心位置。用绝对编程时, 圆弧插补程序如下。

...

N30 G00 X20.0 Z2.0;

N40 G01 Z-30.0 F0.15;

N50 G02 X40.0 Z-40.0 I10.0 K0 F0.10;

...

用增量编程时, 圆弧插补程序如下。

...

N30 G00 U-80.0 W-28.0;

N40 G01 U0 W-32.0 F0.15;

N50 G02 U20.0 W-10.0 I10.0 K0 F0.10;

...



(2)用 R 指定圆心位置。用绝对编程时,圆弧插补程序如下。

...

```
N30 G00 X20.0 Z2.0;
```

```
N40 G01 Z-30.0 F0.20;
```

```
N50 G02 X40.0 Z-40.0 R10.0 F0.10;
```

...

用增量编程时,圆弧插补程序如下。

...

```
N30 G00 U-80.0 W-28.0;
```

```
N40 G01 U0 W-32.0 F0.20;
```

```
N50 G02 U20.0 W-10.0 R10.0 F0.10;
```

...

使用圆弧插补指令编程时,需要注意以下几点。

- (1)圆弧在多个象限时,该指令可以连续执行。
- (2)在圆弧插补程序段内不能有刀具功能指令。
- (3)用半径指定圆心位置时,只能用于非整圆的圆弧加工,不能用于整圆加工。
- (4)指定比起点到终点的距离的一半还小的半径值时,按 180° 圆弧计算。
- (5)当 I、K 和 R 尺寸字同时被指定时,R 尺寸字优先,I、K 尺寸字无效。

二、刀具半径补偿

1. 刀尖圆弧半径补偿的目的

数控车床编程时,车刀的刀尖理论上是一个点,但通常情况下,为了提高刀具的寿命并降低零件的表面粗糙度,将车刀刀尖磨成圆弧状,刀尖圆弧半径一般取 $0.2 \sim 1.6 \text{ mm}$,如图 2-19 所示。切削时,实际起作用的是圆弧上的各点。在切削圆柱内、外表面及端面时,刀尖的圆弧不影响零件的尺寸和形状,但在切削圆弧面及圆锥面时,就会产生过切或欠切等加工误差,如图 2-20 所示。若零件的精度要求不高或留有足够的精加工余量时,可以忽略此误差,否则应考虑刀尖圆弧半径对零件的影响。

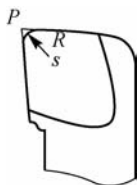


图 2-19 刀尖圆弧与刀尖

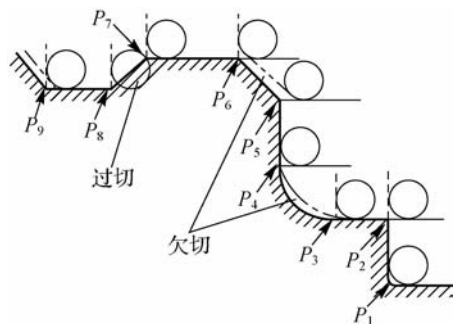


图 2-20 刀尖圆弧造成的过切与欠切

数控车床的刀具半径补偿功能就是通过刀尖圆弧半径补偿来消除刀尖圆弧半径对零件

精度的影响。具有刀具半径补偿功能的数控车床,编程时不用计算刀尖半径的中心轨迹,只需按零件轮廓编程,并在加工前输入刀具半径数据,通过程序中的刀具半径补偿指令,数控装置可自动计算出刀具中心轨迹,并使刀具中心按此轨迹运动。也就是说,执行刀具半径补偿后,刀具中心将自动在偏离工件轮廓一个半径值的轨迹上运动,从而加工出所需要的工件轮廓。

2. 刀尖圆弧半径补偿指令

(1)G41 刀具半径左补偿指令。沿刀具运动方向看,刀具在工件左侧时,称为刀具半径左补偿,如图 2-21(a)所示。

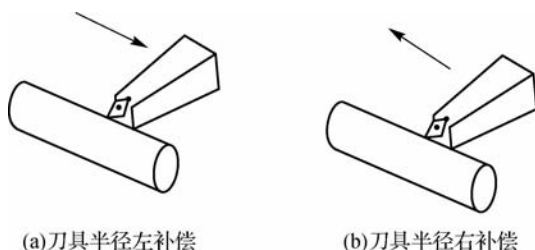


图 2-21 刀具半径补偿

(2)G42 刀具半径右补偿指令。沿刀具运动方向看,刀具在工件右侧时,称为刀具半径右补偿,如图 2-21(b)所示。

(3)G40 取消刀具半径补偿指令。G40 指令为取消刀具半径补偿指令,用于取消刀具半径补偿。

指令格式

G41 G01(G00) X(U)_ Z(W)_ F_;

G42 G01(G00) X(U)_ Z(W)_ F_;

G40 G01(G00) X(U)_ Z(W)_;

指令说明

(1)G41、G42 和 G40 指令都是模态指令。G41 和 G42 指令不能同时使用,即前面的程序段中如果有 G41 指令,就不能接着使用 G42 指令,必须先用 G40 指令取消 G41 指令后,才能使用 G42 指令,否则补偿就不正常。

(2)不能在圆弧指令段建立或取消刀具半径补偿,只能在 G00 或 G01 指令段建立或取消。

(3)指定半径补偿过渡直线段长度必须大于刀尖圆弧半径。

3. 刀具半径补偿的过程

刀具半径补偿的过程分为三步。

(1)建立刀补。刀具中心从编程轨迹重合过渡到与编程轨迹偏离一个偏移量的过程即为建立刀补的过程。

(2)执行刀补。执行 G41 或 G42 指令的程序段后,刀具中心始终与编程轨迹相距一个偏移量。

(3)取消刀补。刀具离开工件,刀具中心轨迹过渡到与编程重合的过程即为取消刀补的过程。图 2-22 所示为刀补建立与取消的过程。

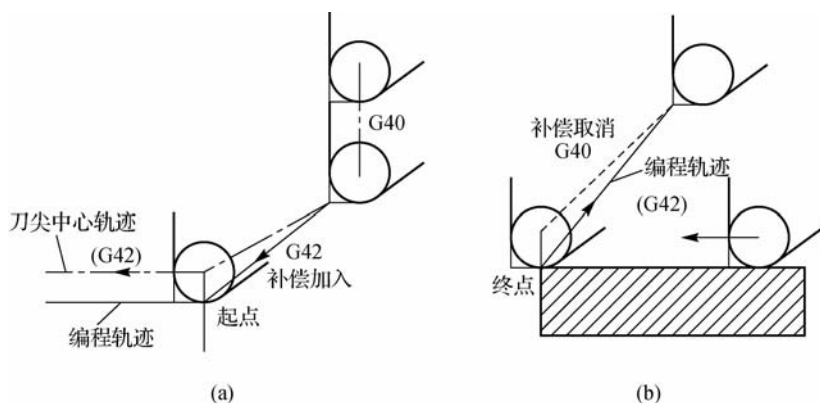


图 2-22 刀具半径补偿的建立与取消

4. 刀尖方位的确定

刀具半径补偿功能执行时除了和刀具刀尖半径大小有关,还和刀尖的方位有关。不同的刀具,刀尖圆弧的位置不同,刀具自动偏离零件轮廓的方向就不同。如图 2-23 所示,车刀方位有 9 个,分别用参数 0~9 表示。例如,车削外圆表面时,方位为 3,将其输入形状画面的 T 中,如图 2-24 所示。

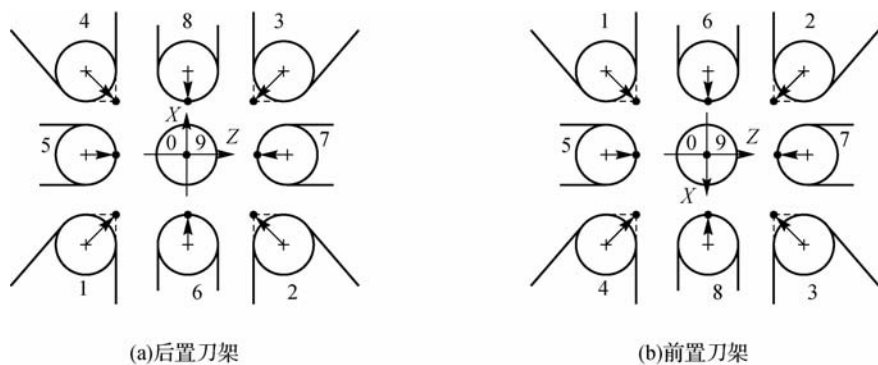


图 2-23 刀尖方位号

例 2-8 编写如图 2-25 所示零件的刀具半径补偿程序。



图 2-24 形状画面

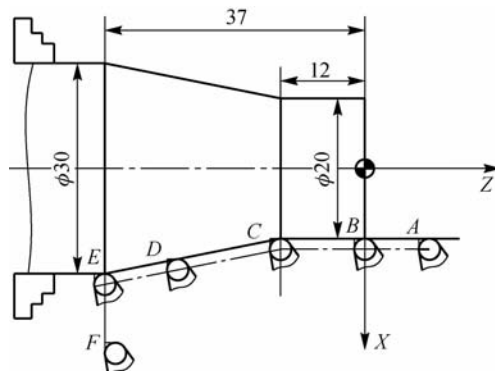


图 2-25 刀具半径补偿实例



以工件右端面中心处为坐标原点建立工件坐标系,编写程序如下。

程 序	程序说明
O0001;	程序名
N10 T0101 S500 M03 F0.20;	换 1 号刀
N20 G00 X20.0 Z10.0;	刀具快速移动到 A
N30 G42 G01 X20.0 Z0.;	右补偿, A—B
N40 Z—12.0;	车外圆, B—C
N50 X30.0 Z—37.0;	车圆锥面, C—E
N60 G40 X50.0;	退刀, E—F, 取消刀补
N70 G00 X100.0 Z100.0;	刀具快速移动到安全点
N80 M05;	主轴停
N90 M30;	程序结束

三、G73 固定形状粗车循环指令

G73 固定形状粗车循环指令在加工中经常使用,既适用于毛坯形状与零件轮廓形状基本接近的铸锻毛坯件,也适用于圆棒料毛坯,另外,该指令还适用于轮廓形状具有递增、递减或曲线凸凹相间规律的工件。

指令格式

G73 U*i* W*k* R*d*;

G73 P*ns* Q*nf* UΔ*u* WΔ*w* F_ S_ T_;

指令说明

- (1) *i* 为 X 方向总退刀量或是粗切时径向切除的总余量。
- (2) *k* 为 Z 方向总退刀量或是粗切时轴向切除的总余量。
- (3) *d* 为粗切次数。
- (4) *ns* 为精加工形状程序段中的开始程序段号。
- (5) *nf* 为精加工形状程序段中的结束程序段号。
- (6) Δ*u* 为 X 轴方向的精加工余量,取 0.2~0.5 mm。
- (7) Δ*w* 为 Z 轴方向的精加工余量,取 0.05~0.1 mm。
- (8) F 指定进给量,单位为 mm/r。
- (9) S 指定主轴转速,单位为 r/min。
- (10) T 指定刀具号。

X 轴方向总退刀量用半径表示,当向 X 轴正方向退刀时,该值为正,反之为负。*i* 与 *k* 值是刀具第一刀车削时退离工件的距离,即刀具从循环点提升的单边距离,确定 *i* 与 *k* 值应该参考毛坯的粗加工的余量大小,以使第一次车削时就有合理的切削深度,车削出屑,防止空走刀。*i* 的表达式为

$$i = X \text{ 轴粗加工余量} - \text{每一次单边吃刀深度}$$

或

$$i = \frac{\text{待加工表面毛坯最大直径} - \text{待加工表面精车前最小直径}}{2} - a_p$$



k 的表达式为

$$k = Z \text{ 轴精加工余量} - \text{每一次 } Z \text{ 向切削深度}$$

G73 指令走刀路线如图 2-26 所示, C 点是循环点。

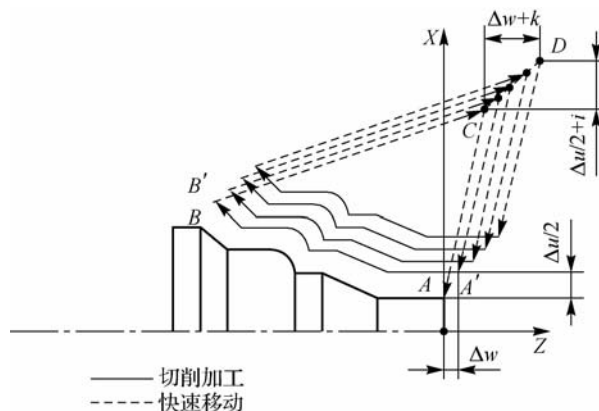


图 2-26 G73 指令走刀路线

例 2-9 使用 G73 指令完成图 2-27 所示零件的加工。已知毛坯为 $\phi 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的圆棒料, 材料为 45 钢, 工件不切断。

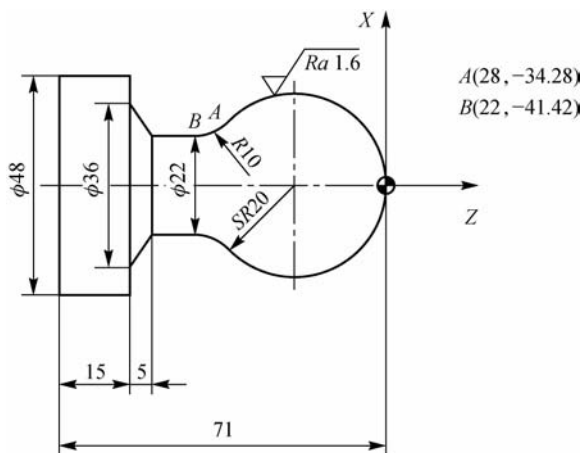


图 2-27 G73 指令加工实例图

分析

选用两把 93° 外圆仿形车刀(刀尖角为 35°), 1 号粗车刀圆弧半径为 0.8 mm , 2 号精车刀圆弧半径为 0.4 mm 。粗车主轴转速为 500 r/min , 进给量为 0.2 mm/r , 切削深度为 1.5 mm ; 精车主轴转速为 2000 r/min , 进给量为 0.10 mm/r , 精车余量为 0.5 mm 。

X 轴方向总退刀量 i 为

$$i = \frac{\text{待加工表面毛坯最大直径} - \text{待加工表面精车前最小直径}}{2} - a_p = \left(\frac{50}{2} - 1.5 \right) \text{ mm} \approx 23 \text{ mm}$$

粗车次数 d 为

$$d = \frac{\text{待加工表面毛坯最大直径} - \text{待加工表面精车前最小直径}}{2a_p} = \frac{25}{3} \approx 8 \text{ 次}$$



编程

以工件右端面中心处为坐标原点建立工件坐标系,编写程序如下。

程 序	程序说明
O0001;	
N10 G40 G97 G99 S500 M03 F0.2 T0101;	换1号外圆车刀,主轴转速500 r/min,进给量0.20 mm/r
N20 G00 X52. Z2. ;	刀具快速定位到循环点
N30 G73 U23. R8. ;	毛坯粗车循环,单边切深1.5 mm,粗车次数八次
N40 G73 P50 Q150 U0.5 W0.02;	Z向精加工余量0.02 mm,X向精加工余量0.5 mm
N50 G42 G00 X0. ;	引入刀具圆弧半径补偿
N60 G01 Z0. ;	
N70 G03 X28. Z-34.28 R20. ;	加工到A点
N80 G02 X22. Z-41.42 R10. ;	加工到B点
N90 G01 Z-51. ;	
N100 X36. W-5. ;	
N110 X48. ;	
N120 W-15. ;	
N130 X50. ;	
N140 G40 X52. ;	取消刀具圆弧半径补偿
N150 G00 X100. Z100. ;	
N160 M05;	
N170 M00;	
N180 T0202 S2000 M03 F0.10;	换2号外圆精车刀,主轴转速2 000 r/min,进给量0.10 mm/r
N190 G00 X52. Z2. ;	刀具快速移动到循环点
N200 G70 P50 Q150;	精车循环
N210 G28 U0. W0. ;	返回参考点
N220 M05;	
N230 M30;	程序结束



思考与练习

1. G02 指令和 G03 指令的应用区别是什么?
2. 圆弧半径什么时候用正值? 什么时候用负值?
3. 刀具半径补偿的目的是什么?



技能训练

加工如图 2-28 所示的圆弧面零件。已知毛坯尺寸为 $\phi 40 \text{ mm} \times 78 \text{ mm}$,材料为 45 钢。加工该零件所需的工具、量具、刀具清单见表 2-11,评分标准见表 2-12。

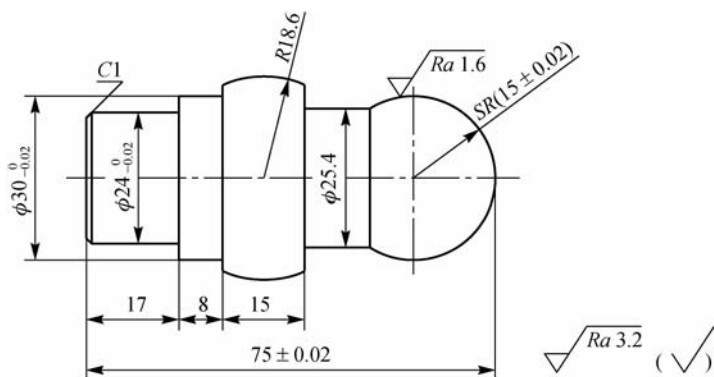


图 2-28 圆弧面零件

表 2-11 加工圆弧面零件所需工具、量具、刀具清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	游标卡尺	量程为 0~150 mm, 尺寸精度为 0.02 mm	1	
2	千分尺	量程为 0~25 mm, 25~50 mm, 尺寸精度为 0.01 mm	1	
3	外圆车刀	93°外圆仿形刀	2	
4	R 规	R15 mm~R25 mm		
5	其他	铜棒、铜皮、垫片、毛刷等常用工具		选用

表 2-12 加工圆弧面评分标准

班 级			姓 名			学 号		
项 目	序 号	技术要求		配 分	评分标准	得 分		
外圆部分	1	$\phi 30_{-0.02}^0$ mm		12	超差 0.01 mm 扣 1 分			
	2	$\phi 24_{-0.02}^0$ mm		12	超差 0.01 mm 扣 1 分			
	3	$\phi 25.4$ mm		8	超差全扣			
外圆部分	4	(75 ± 0.02) mm		10	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	5	15 mm		5	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	6	8 mm		5	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	7	17 mm		5	超差 0.02 mm 扣 1 分			
圆球	8	SR(15 ± 0.02) mm		10	超差 0.02 mm 扣 1 分			
圆弧	9	R18.6 mm		10	超差全扣			
编程与操作	10	切削工艺制定正确		5	不合理扣 2 分			
	11	程序正确、简单规范		5	不合理扣 2 分			
	12	操作规范		5	出错一处扣 2 分			
	13	加工工序卡		8	不合理扣 2 分			
安全文明生产 (倒扣分)	14	安全操作		倒扣	安全事故停止操作 酌情扣 5~30 分			
	15	机床整理		倒扣				
综合得分								



1. 确定数控车削加工工艺及工装方案

(1) 零件结构及技术要求分析。

(2) 数控切削工艺工装分析。

① 选择定位基准和装夹工具。

② 选择加工方案。

③ 选择刀具。

(3) 确定加工顺序和走刀路线。

① 建立工件坐标系原点。

② 确定起刀点。

③ 确定走刀方案。

(4) 选择合理的切削用量。根据设计的加工方案,选择合理的切削用量,填写表 2-13。

表 2-13 圆弧面零件加工工艺

工步号	工步内容	刀具号	切削用量		
			切削深度/mm	进给速度/(mm/r)	主轴转速/(r/min)



小提示

1. 编程思路 1

- (1) 1/2 圆弧用 G71 指令粗加工。
- (2) 1/2 圆弧后的复合成型面用 G73 指令粗加工。
- (3) 用精加工轨迹精车。

2. 编程思路 2

- (1) G73 指令进行复合成型面的粗加工。
- (2) G70 指令进行复合成型面的精加工。

课题四 外螺纹加工

分课题一 直进法车削外三角螺纹



知识目标

- 掌握三角螺纹的基本参数以及相关尺寸计算方法；
- 掌握螺纹加工指令及其应用。



技能目标

- 掌握三角螺纹车刀安装方法和对刀方法；
- 掌握三角螺纹的加工方法、尺寸精度的控制及检验方法。



相关知识

一、螺纹的基础知识

1. 螺纹的基本参数

螺纹的基本参数如图 2-29 所示。

(1) 牙型角 α 。牙型角是相邻两螺纹牙间的夹角。

(2) 牙型高度 h_1 。螺纹牙牙顶到牙底在垂直于螺纹轴线方向上的距离称为牙型高度。

(3) 螺纹大径 d 、 D 。与外螺纹牙顶或内螺纹牙底相切的假想圆柱直径称为螺纹大径。

(4) 螺纹小径 d_1 、 D_1 。与外螺纹牙底或内螺纹牙顶相切的假想圆柱的直径称为螺纹小径。

(5) 螺纹中径 d_2 、 D_2 。假想一个圆柱，其素线通过牙型上沟槽和凸起宽度相等的地方，则该圆

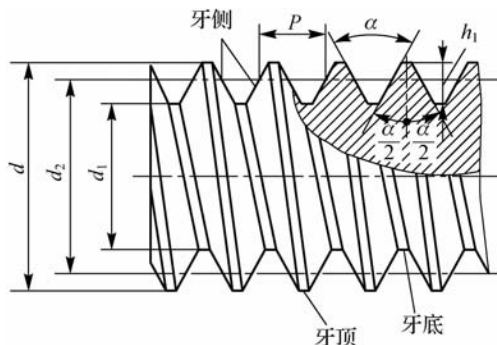


图 2-29 螺纹的基本参数



柱的直径称为螺纹中径。

(6) 螺纹公称直径。螺纹公称直径是代表螺纹尺寸的直径，一般指螺纹大径的基本尺寸。

(7) 螺距 P 。螺距是相邻两螺纹牙在中径线上对应两点间的轴向距离。

2. 螺纹分类

- (1) 螺纹按用途可分为紧固螺纹、管螺纹和传动螺纹。
- (2) 螺纹按牙型可分为三角螺纹、矩形螺纹、圆形螺纹、梯形螺纹和锯齿形螺纹。
- (3) 螺纹按螺旋线方向可分为右旋螺纹和左旋螺纹。
- (4) 螺纹按螺旋线数可分为单线螺纹和多线螺纹。
- (5) 螺纹按母体形状可分为圆柱螺纹和圆锥螺纹。

3. 螺纹标注

普通螺纹的标注方法见表 2-14。

表 2-14 普通螺纹的标注方法

螺纹种类	特征代号	牙型角	标记示例	标记方法
粗牙	M	60°	M16LH-6g-L 示例说明： M 表示公制三角螺纹； 16 表示公称直径； LH 表示左旋； 6g 表示中径和顶径公差带代号； L 表示长旋合长度	①粗牙普通螺纹不标螺距； ②右旋不标旋向代号； ③旋合长度有长旋合长度 L 、中等旋合长度 N 和短旋合长度 S ，中等旋合长度不标注； ④螺纹公差带代号中，前者为中径的公差带代号，后者为顶径的公差带代号，两者相同时则只标一个
细牙			M16×1-6H7H 示例说明： M 表示公制三角螺纹； 16 表示公称直径； 1 表示螺距； 6H 表示中径公差带代号； 7H 表示顶径公差带代号	

4. 三角螺纹的尺寸计算

三角螺纹的尺寸计算见表 2-15。

表 2-15 三角螺纹的尺寸计算

基本参数	外 螺 纹	内 螺 纹	计算公式
牙型角	α		$\alpha=60^\circ$
螺纹大径	d	D	$d=D$
螺纹中径	d_2	D_2	$d_2=D_2=d-0.6495P$
牙型高度	h_1	h_2	$h_1=0.5413P$
螺纹小径	d_1	D_1	$d_1=D_1=d-1.0825P$

5. 螺纹环规

螺纹环规用来检测螺纹尺寸是否合格,分为通规(标志 T)、止规(标志 Z),其外形如图 2-30 所示。检验原则是“通规通,止规止”,即通规全部拧入,止规不能超过一个螺距。

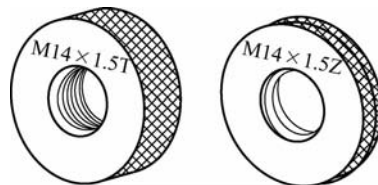


图 2-30 螺纹环规

二、G92 螺纹切削循环指令

G92 螺纹切削循环指令可以切削圆柱螺纹和圆锥螺纹,如图 2-31 所示,图 2-31(a)所示为圆锥螺纹循环,图 2-31(b)所示为圆柱螺纹循环。刀具从循环点开始,按 A—B—C—D 顺序进行自动循环,最后又回到循环起点 A,其过程是:切入—车螺纹—退刀—返回起始点。

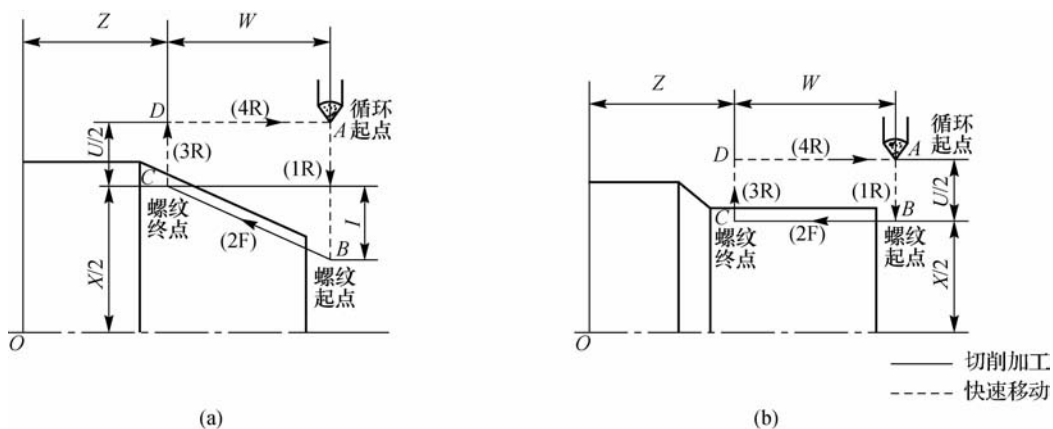


图 2-31 G92 指令走刀路线

指令格式

G92 X(U)_ Z(W)_ R_ F_;

指令说明

- (1) X、Z 指定螺纹终点的绝对坐标。
- (2) U、W 指定螺纹终点相对于螺纹起点的增量坐标。
- (3) F 指定螺纹的导程(单线螺纹时为螺距)。
- (4) R 指定圆锥螺纹起点和终点的半径差,当圆锥螺纹起点坐标大于终点坐标时为正,反之为负;加工圆柱螺纹时,值为零,可以省略。

G92 指令适用于用直进法加工内外表面等螺距($P \leq 2$ mm)螺纹。加工时,有以下几点要求。

- (1) 螺纹小径理论上为

$$d_1 = d - 1.0825P$$

实际经验公式为

$$d_1 = d - 1.3P \quad (2-3)$$

- (2) 切削深度要分成几刀进行,且应递减,如图 2-32 所示。

- (3) 螺纹首尾应各有一段长度不小于 P ,以避免螺纹车削不完整,如图 2-33 所示。

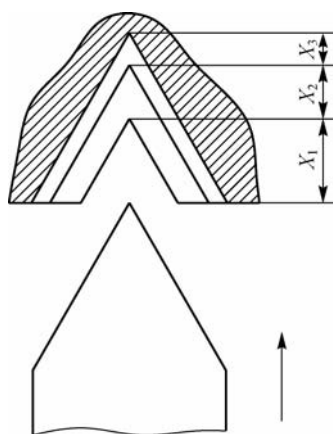


图 2-32 螺纹切深分配图

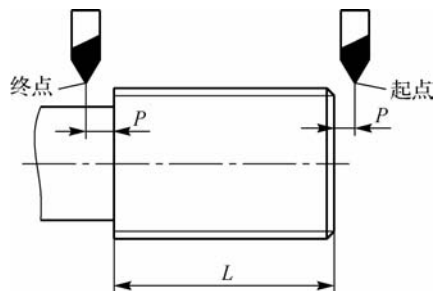


图 2-33 螺纹首尾切削

(4)加工多线螺纹时,应在加工完一个头后,用 G00 或 G01 指令将车刀轴向移动一个螺距,然后再按要求编写车削下一条螺纹的加工程序。

例 2-10 加工如图 2-34 所示圆柱螺纹零件,已知螺纹外径已车至 $\phi 29.8$ mm, 4 mm \times 2 mm 的退刀槽已加工完成,工件材料为 45 钢,用 G92 指令编制该零件螺纹的加工程序。

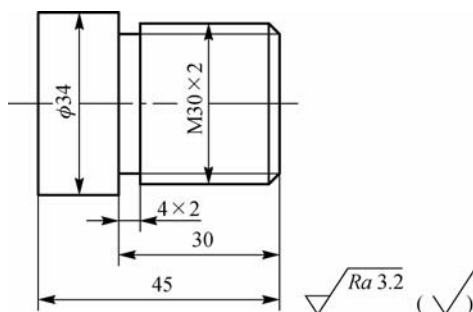


图 2-34 圆柱螺纹加工实例

分析

由式(2-3)得,螺纹小径为

$$\begin{aligned} d_1 &= d - 1.3P \\ &= (30 - 1.3 \times 2) \text{ mm} \\ &= 27.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

编程

以工件右端面中心处为坐标原点建立工件坐标系,编写程序如下。

程 序	程序说明
O0001;	
N10 G40 G97 G99 G21 S800 M03;	主轴正转,程序初始化
N20 T0404;	调 4 号螺纹刀
N30 G00 X31.0 Z5.0;	螺纹加工循环起点



续表

程 序	程序说明
N40 G92 X29.2 Z-28.0 F2.0;	螺纹车削循环第一刀,切深 0.6 mm,螺距 2 mm
N50 X28.5;	第二刀,切深 0.7 mm
N60 X27.9;	第三刀,切深 0.6 mm
N70 X27.5;	第四刀,切深 0.4 mm
N80 X27.4;	第五刀,切深 0.1 mm
N90 X27.4;	光一刀,切深为 0
N100 G00 X200.0 Z100.0;	刀具快速返回换刀点
N110 M05;	主轴停
N120 M30;	程序结束



思考与练习

1. 外螺纹刀装刀时应注意哪些事项?
2. M10、M12、M16、M20 和 M24 螺纹的粗牙螺距分别是多少?



技能训练

加工如图 2-35 所示的螺纹轴零件,编写程序。已知毛坯尺寸为 $\phi 45 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$,材料为 45 钢。加工该零件所需的工具、量具、刃具见表 2-16,评分标准见表 2-17。

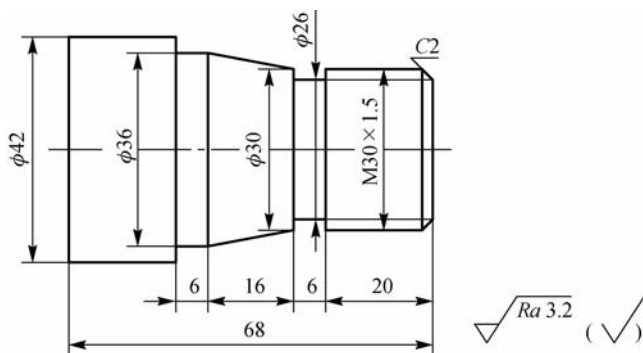


图 2-35 螺纹轴零件

表 2-16 加工螺纹轴零件所需工具、量具、刃具清单

序 号	名 称	规 格	数 量	备 注
1	游标卡尺	量程为 0~150 mm,精度为 0.02 mm	1	
2	千分尺	量程为 0~25 mm,25~50 mm,精度为 0.01 mm	1	
3	螺纹环规	M30×1.5	1	
4	外圆车刀	93°外圆仿形刀(20 mm×20 mm)	2	
5	外螺纹车刀	60°,20 mm×20 mm		
6	切槽刀	刀宽 3 mm	1	
7	其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用



表 2-17 加工螺纹轴零件评分标准

班 级		姓 名		学 号		
项 目	序 号	技术要求		配 分	评分标准	得 分
外圆部分	1	$\phi 42$ mm		8	超差全扣	
	2	$\phi 36$ mm		8	超差全扣	
	3	$\phi 30$ mm		8	超差全扣	
	4	$\phi 26$ mm		8	超差全扣	
	5	Ra 3.2 μ m(6 处)		12	每错一处扣 2 分	
	6	C2 mm		2	每错一处扣 2 分	
长度部分	7	68 mm		3	超差 0.02 mm 扣 1 分	
	8	6 mm(2 处)		10	超差 0.02 mm 扣 1 分	
	9	16 mm		5	超差 0.02 mm 扣 1 分	
	10	20 mm		2	超差 0.02 mm 扣 1 分	
螺 纹	11	M30 \times 1.5		10	超差 0.01 mm 扣 2 分	
编程与操作	12	切削工艺制定正确		5	不合理扣 2 分	
	13	程序正确、简单规范		6	不合理扣 2 分	
	14	操作规范		5	出错一处扣 2 分	
	15	加工工序卡		8	不合理扣 2 分	
安全文明生产 (倒扣分)	16	安全操作		倒扣	安全事故停止操作或 酌情扣 5~30 分	
	17	机床整理		倒扣		
综合得分						

1. 确定数控车削加工工艺及工装方案

(1) 零件结构及技术要求分析。

(2) 数控切削工艺工装分析。

① 选择定位基准和装夹工具。

② 选择加工方案。

③ 选择刀具。

(3) 确定加工顺序和走刀路线。

① 建立工件坐标系原点。

② 确定起刀点。

③ 确定走刀方案。

(4) 选择合理的切削用量。根据设计的加工方案, 选择合理的切削用量, 填写表 2-18。

表 2-18 螺纹轴零件加工工艺

工步号	工步内容	刀具号	切削用量		
			切削深度/mm	进给速度/(mm/r)	主轴转速/(r/min)

2. 编制数控加工程序

程 序	程序说明



续表

程 序	程序说明

3. 加工注意事项

- (1) 高速车外螺纹前,外圆直径要小于公称直径 0.15~0.20 mm。
- (2) 使用螺纹环规检验外螺纹是否合格时,不能用力过猛。若不合格,调整磨耗值后再加工。
- (3) 将螺纹环规、通规全部拧入后再用止规检验外螺纹。

分课题二 车削外圆锥螺纹



技能目标

- 掌握圆锥螺纹车刀的安装及对刀方法;
- 掌握圆锥螺纹加工方法。



相关知识

车外圆锥螺纹同样用 G92 指令,下面以具体实例介绍外圆锥螺纹的加工方法。

例 2-11 用 G92 指令编制如图 2-36 所示零件圆锥螺纹的加工程序。圆锥螺纹外径已加工至小端直径 $\phi 19.8$ mm,大端直径 $\phi 24.8$ mm, $4\text{ mm}\times 2\text{ mm}$ 的退刀槽已加工完成。

分析

螺纹长度两端各留一段长度以保证切削完整,螺纹起点处 Z 轴坐标为 3,由式(2-1)得,起点处螺纹大径为

$$\frac{25-d}{32+3} = \frac{25-20}{32}$$

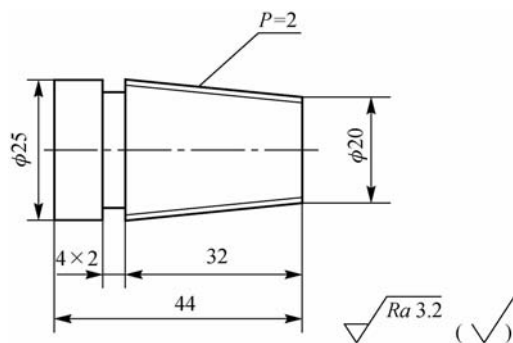


图 2-36 圆锥螺纹加工实例



$$d=19.531\ 25\ \text{mm}\approx 19.5\ \text{mm}$$

螺纹终点处 Z 轴坐标为 -34,由式(2-1)得,终点处螺纹大径为

$$\frac{d'-20}{34}=\frac{25-20}{32}$$

$$d'=25.312\ 5\ \text{mm}\approx 25.3\ \text{mm}$$

所以,螺纹终点和螺纹起点半径之差为

$$R=\left(\frac{19.5}{2}-\frac{25.3}{2}\right)\ \text{mm}=-2.9\ \text{mm}$$

由式(2-3)得,螺纹终点处螺纹小径为

$$d_1=d'-1.3P=(25.3-1.3\times 2)=22.7\ \text{mm}$$

分为七刀切削,每一刀的切削深度分别为 1 mm、0.6 mm、0.4 mm、0.3 mm、0.2 mm、0.1 mm 和 0。

编程

以工件右端面中心处为坐标原点建立工件坐标系,编写程序如下。

程 序	程序说明
O0001;	程序名
N10 G40 G97 G99 S400 M03;	主轴正转,程序初始化
N20 T0101;	选 1 号螺纹刀
N30 G00 X27.0 Z3.0;	螺纹加工循环起点
N40 G92 X24.3 Z-34.0 R-2.9 F2.0;	螺纹车削循环第一刀,切深 1 mm
N50 X23.7;	第二刀,切深 0.6 mm
N60 X23.3;	第三刀,切深 0.4 mm
N70 X23.0;	第四刀,切深 0.3 mm
N80 X22.8;	第五刀,切深 0.2 mm
N90 X22.7;	第六刀,切深 0.1 mm
N100 X22.7;	光一刀,切深为 0
N120 G00 X100.0 Z100.0;	快速返回换刀点
N130 M05;	主轴停
N140 M30;	程序结束



思考与练习

G90 锥面循环加工指令和 G92 螺纹切削指令有何相似之处?



技能训练

编写如图 2-37 所示圆锥螺纹零件的加工程序。已知毛坯尺寸为 $\phi 45\ \text{mm}\times 70\ \text{mm}$,材料



为硬铝。加工该零件所需的工具、量具、刀具清单见表 2-19,评分标准见表 2-20。

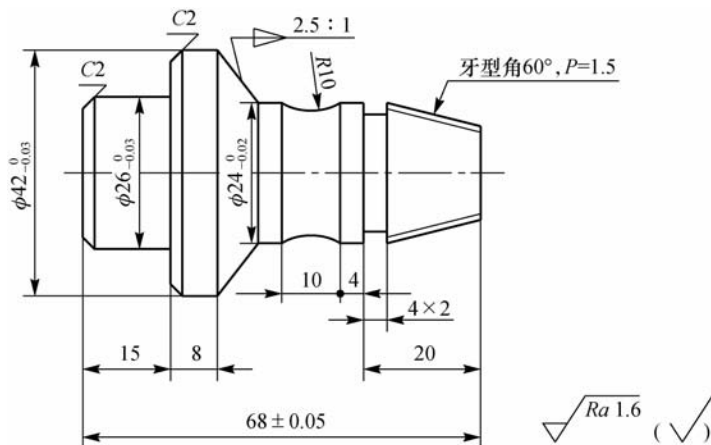


图 2-37 圆锥螺纹零件

表 2-19 加工圆锥螺纹所需工具、量具、刀具清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	游标卡尺	量程为 0~150 mm,精度为 0.02 mm	1	
2	千分尺	量程为 0~25 mm,25~50 mm,精度为 0.01 mm	1	
3	万能角度尺	量程为 0~320°	1	
4	外圆车刀	93°外圆仿形刀	2	
5	切槽刀	刀宽 3 mm	1	
6	外螺纹刀	20 mm×20 mm	1	
7	其他	铜棒、铜皮、垫片、毛刷等常用工具		选用

表 2-20 圆锥螺纹零件评分标准

班级			姓名			学号		
项目	序号	技术要求		配分	评分标准	得分		
外圆部分	1	$\phi 42_{-0.03}^0$ mm		6	超差 0.01 mm 扣 1 分			
	2	$\phi 24_{-0.02}^0$ mm		6	超差 0.01 mm 扣 1 分			
	3	$\phi 26_{-0.03}^0$ mm		6	超差 0.01 mm 扣 1 分			
	4	Ra 1.6 μ m(6 处)		12	每错一处扣 2 分			
长度部分	5	(68±0.05) mm		6	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	6	15 mm		4	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	7	8 mm		4	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	8	20 mm		4	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	9	4 mm(2 处)		4	超差 0.02 mm 扣 1 分			
	10	10 mm		4	超差 0.02 mm 扣 1 分			
圆弧	11	R10 mm		5	超差全扣			
圆锥	12	2.5 : 1		6	超差全扣			



续表

班 级		姓 名		学 号		
项 目	序 号	技术要求		配 分	评分标准	得 分
锥螺纹	13	牙型角 60° , $P=1.5$ mm		10	超差全扣	
倒角	14	C2 mm(2 处)		4	超差全扣	
编程与操作	15	切削工艺制定正确		5	不合理扣 2 分	
	16	程序正确、简单规范		4	不合理扣 2 分	
	17	操作规范		4	出错一处扣 2 分	
	18	加工工序卡		6	不合理扣 2 分	
安全文明生产 (倒扣分)	19	安全操作		倒扣	安全事故停止操作 酌情扣 5~30 分	
	20	机床整理		倒扣		
综合得分						

1. 确定数控车削加工工艺及工装方案

(1) 零件结构及技术要求分析。

(2) 数控切削工艺工装分析。

① 选择定位基准和装夹工具。

② 选择加工方案。

③ 选择刀具。

(3) 确定加工顺序和走刀路线。

① 建立工件坐标系原点。

② 确定起刀点。

③ 确定走刀方案。

(4) 选择合理的切削用量。根据设计的加工方案,选择合适的切削用量,填写表 2-21。

表 2-21 圆锥螺纹零件加工工艺

工步号	工步内容	刀具号	切削用量		
			切削深度/mm	进给速度/(mm/r)	主轴转速/(r/min)

分课题三 斜进法车削外三角螺纹

知识目标

- 掌握 G76 螺纹切削复合循环指令的相关知识。

相关知识

G76 指令用于多次自动循环切削螺纹,设置切深和进刀次数等参数后可自动完成螺纹的加工。使用 G76 指令编程时,刀具为斜进法和分层法进刀,可以避免扎刀现象,经常用于梯形螺纹的加工。G76 指令的走刀路线如图 2-38 所示。

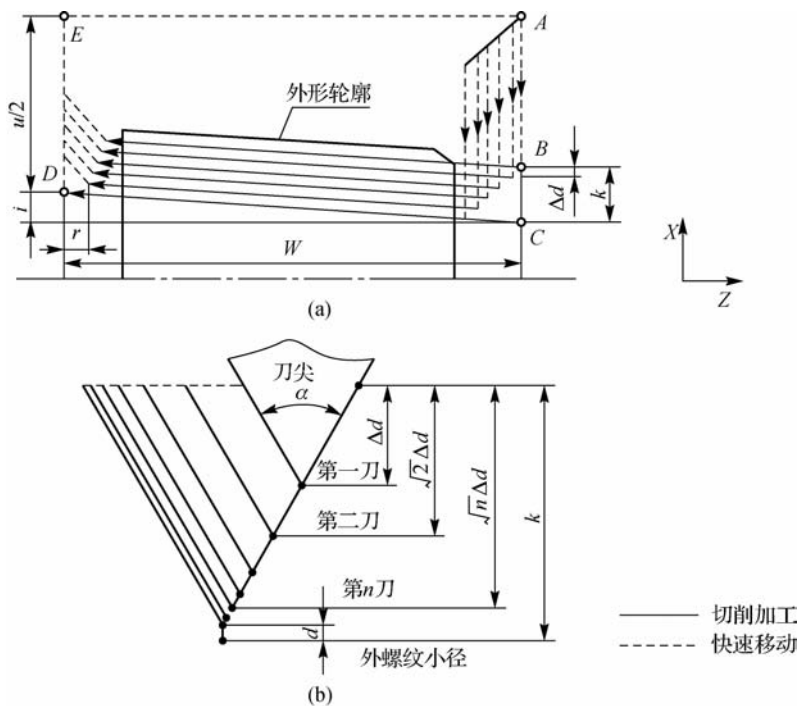


图 2-38 G76 指令走刀路线

指令格式

G76 $\underline{Pmr\alpha}$ $\underline{Q\Delta d_{min}}$ \underline{Rd} ;

G76 $\underline{X(U)}$ $\underline{Z(W)}$ \underline{Ri} \underline{Pk} $\underline{Q\Delta d}$ \underline{Fl} ;

指令说明

(1) m 为精车重复次数,范围为 1~99,该值为模态值; r 为螺纹尾部倒角量(斜向退刀),是螺纹导程的 0.1~9.9 倍,以 0.1 为一挡逐步增加,设定时用 00 到 99 之间的两位整数来表示; α 为刀尖角度,可以从 80° 、 60° 、 55° 、 30° 、 29° 和 0° 六个角度中选择,用两位整数表示,常用 60° 、 55° 和 30° 三个角度。 m 、 r 和 α 用地址符 P 同时指定,例如, $m=2$ 、 $r=1.2l$ 、 $\alpha=60^\circ$ 时,编程指令为 P021260。

(2) Δd_{min} 为切削时的最小切削深度,用半径值指定,单位为 μm 。



- (3) d 为精车余量,用半径值指定。
- (4) X(U)、Z(W)指定螺纹终点坐标。
- (5) i 为螺纹半径差, $i=0$ 时,为圆柱螺纹车削。
- (6) k 为螺纹牙深,用半径值指定,单位为 μm 。
- (7) Δd 为第一次车削深度,用半径值指定,单位为 μm 。
- (8) l 为螺纹导程,单位为 mm 。

例 2-12 用 G76 指令编写如图 2-39 所示零件螺纹的加工程序,螺纹外径已车至 $\phi 29.8 \text{ mm}$ 。已知毛坯材料为 45 钢。

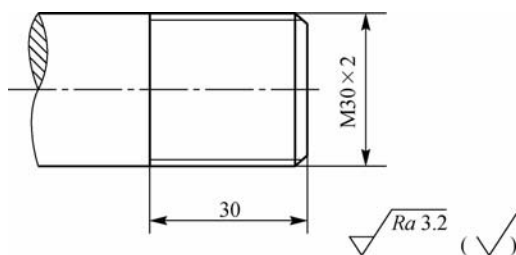


图 2-39 G76 指令加工螺纹

分析

由式(2-3)得,图 2-39 所示零件的螺纹小径为

$$d_1 = 30 - 1.3P = 27.4 \text{ mm}$$

由此可知,螺纹牙深为

$$h_1 = \frac{1}{2}(d - d_1) = 0.65P = 1.3 \text{ mm}$$

取精车重复次数 $m=2$,螺纹尾倒角量 $r=1.1l$,刀尖角度 $\alpha=60^\circ$,最小车削深度 $\Delta d_{\min} = 0.1 \text{ mm} = 100 \mu\text{m}$,精车余量 $d=0.5 \text{ mm} = 50 \mu\text{m}$ 。

编程

以工件右端面中心处为坐标原点建立工件坐标系,编写程序如下。

程 序	程序说明
O0001;	程序名
N10 G40 G97 G99 S800 M03;	主轴正转,转速为 800 r/min
N20 T0101;	螺纹刀 1 号刀
N30 G00 X32.0 Z5.0;	螺纹加工循环起点
N40 G76 P021160 Q100 R50;	螺纹车削复合循环
N50 G76 X27.4 Z-30.0 P1300 Q100 F2.0;	螺纹车削复合循环
N60 G00 X100.0 Z100.0;	回换刀点
N70 M05;	主轴停
N80 M30;	程序结束



思考与练习

用 G76 指令编写如图 2-35 所示零件螺纹部分的加工程序。

分课题四 车削多线螺纹



知识目标

- 熟悉多线螺纹的相关知识。



技能目标

- 掌握多线螺纹的加工方法。



相关知识

螺纹按螺旋线的条数分为单线螺纹和多线螺纹:沿一条螺旋线形成的螺纹称为单线螺纹,沿两条或两条以上的螺纹线所形成的螺纹称为多线螺纹。

1. 导程 Ph

导程是同一条螺旋线上相邻两螺纹牙在中径线上对应两点间的轴向距离, $Ph = nP$, 如图 2-40 所示,单线螺纹的导程等于螺距。

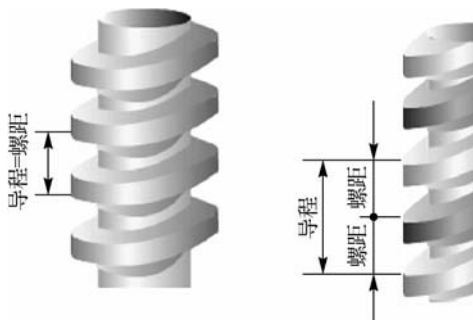


图 2-40 螺纹导程

2. 加工方法

加工多线螺纹常用轴向分头法,即按螺纹的导程车好一条螺旋槽后,把刀具沿轴线方向向前或向后移动一个螺距后,再车削第二条螺旋槽。

3. 多线螺纹尺寸的计算

一般情况下,多线螺纹的螺纹小径为

$$d_1 = d - (1.1 \sim 1.3)P$$

例 2-13 用 G92 指令编写图 2-41 所示零件的加工程序。

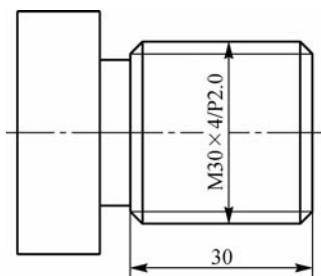


图 2-41 多线螺纹零件螺纹加工

以工件右端面中心处为坐标原点建立工件坐标系,编写程序如下。

程 序	程序说明
O4567;	程序号
N10 T0101 M3 S800;	换 1 号刀,主轴正转
N20 G00 X32. Z5. ;	刀具第一刀定位点,安全位置
N30 G92 X29.2 Z-32.F4. ;	切削螺纹循环
N40 X28.6;	
N50 X28.2;	
N60 X28.0;	
N70 X27.8;	
N80 G00 X32. Z3. ;	刀具第二刀定位点,安全位置
N90 G92 X29.2 Z-32.F4. ;	
N100 X28.6;	
N110 X28.2;	
N120 X28.0;	
N130 X27.8;	
N140 G28 U0. W0. ;	
N150 M05;	
N160 M30;	



思考与练习

编写如图 2-42 所示零件螺纹部分的加工程序。

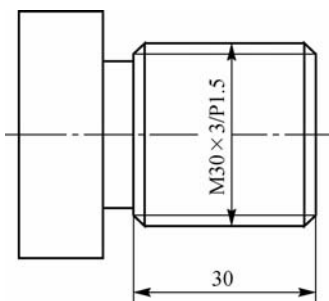


图 2-42 多线螺纹加工练习零件



技能训练

加工如图 2-43 所示多线螺纹零件。已知毛坯尺寸为 $\phi 50 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ ，材料为硬铝。加工该零件所需的工具、量具、刀具清单见表 2-22，评分标准见表 2-23。

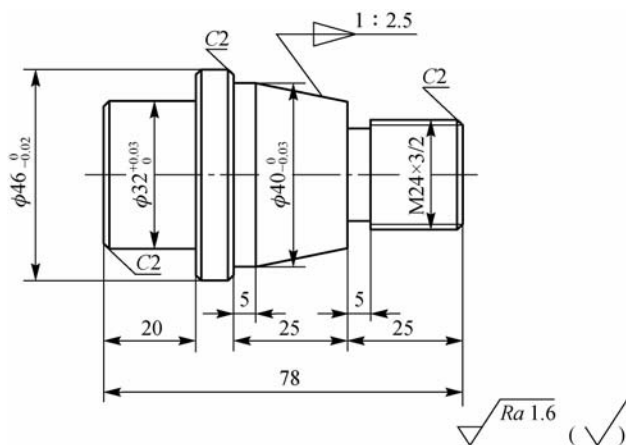


图 2-43 多线螺纹零件

表 2-22 多线螺纹零件加工所需工具、量具、刀具清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	游标卡尺	量程为 0~150 mm, 精度为 0.02 mm	1	
2	千分尺	量程为 0~25 mm, 25~50 mm, 精度为 0.01 mm	1	
3	万能角度尺	量程为 0°~320°	1	
4	外圆车刀	93°外圆仿形刀	2	
5	切槽刀	刀宽 3 mm	1	
6	外螺纹刀	20 mm×20 mm	1	
7	其他	铜棒、铜皮、垫片、毛刷等常用工具		选用

表 2-23 多线螺纹加工评分标准

班级	姓名	学号			
项目	序号	技术要求	配分	评分标准	得分
外圆部分	1	$\phi 46_{-0.02}^0 \text{ mm}$	8	超差 0.01 mm 扣 1 分	
	2	$\phi 32_{+0.03}^0 \text{ mm}$	8	超差 0.01 mm 扣 1 分	
	3	$\phi 40_{-0.03}^0 \text{ mm}$	8	超差 0.01 mm 扣 1 分	
	4	$Ra 1.6 \mu\text{m}$ (6 处)	12	每错一处扣 2 分	
长度部分	5	78 mm	4	超差 0.02 mm 扣 1 分	
	6	25 mm(2 处)	8	超差 0.02 mm 扣 1 分	
	7	5 mm(2 处)	8	超差 0.02 mm 扣 1 分	
	8	20 mm	4	超差 0.02 mm 扣 1 分	
圆锥	9	锥度 1 : 2.5	6	超差全扣	



续表

班 级		姓 名		学 号		
项 目	序 号	技术要求		配 分	评分标准	得 分
螺 纹	10	M24×3/2		10	超差全扣	
倒 角	11	C2 mm		4	超差全扣	
编 程 与 操 作	12	切削工艺制定正确		6	不合理扣 2 分	
	13	程序正确、简单规范		4	不合理扣 2 分	
	14	操作规范		4	出错一处扣 2 分	
	15	加工工序卡		6	不合理扣 2 分	
安全文明生产 (倒扣分)	16	安全操作		倒扣	安全事故停止操作 酌情扣 5~30 分	
	17	机床整理		倒扣		
综合得分						

1. 确定数控车削加工工艺及工装方案

(1) 零件结构及技术要求分析。

(2) 数控切削工艺工装分析。

① 选择定位基准和装夹工具。

② 选择加工方案。

③ 选择刀具。

(3) 确定加工顺序和走刀路线。

① 建立工件坐标系原点。

② 确定起刀点。

③ 确定走刀方案。

(4) 选择合理的切削用量。根据设计的加工方案,选择合理的切削用量,填写表 2-24。

表 2-24 多线螺纹零件加工工艺

工 步 号	工 步 内 容	刀 具 号	切 削 用 量		
			切削深度/mm	进给速度/(mm/r)	主轴转速/(r/min)



续表

工步号	工步内容	刀具号	切削用量		
			切削深度/mm	进给速度/(mm/r)	主轴转速/(r/min)

2. 编制数控加工程序

程 序	程序说明

