

项目三

车削复杂台阶轴

本项目包含三个任务：车螺纹、车锥面台阶轴和车圆弧台阶轴。

通过本项目的学习，可以学会运用一些指令车削较复杂的几何特征，如螺纹、锥面、圆弧面等。

任务一 车螺纹

螺纹是轴类零件主要的典型特征之一。本任务主要学习螺纹的车削。

任务目标

- 通过操作练习，掌握螺纹加工的常用指令；
- 能够对螺纹零件进行数控车削工艺分析；
- 熟练应用螺纹加工指令 G32、G92 进行螺纹加工；
- 掌握运用各种测量手段检测工件精度的方法。

任务描述

螺纹是零件上常见的一种结构，带螺纹的零件是机器设备中重要的零件之一。螺纹的用途十分广泛，能起到连接、传动和紧固作用。图 1-3-1 所示为螺柱，螺纹是普通三角螺纹。本次任务是加工图 1-3-1 所示的零件螺柱。

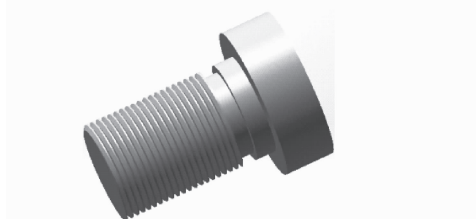
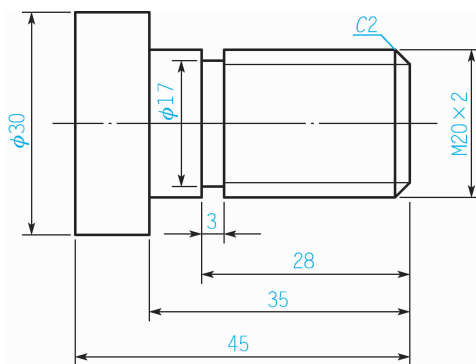


图 1-3-1 螺柱

知识链接

利用数控车床加工螺纹时，由数控系统控制螺距的大小和精度。

工件和螺纹刀具的装夹

1. 工件的装夹

在装夹方式上，最好采用软卡爪且增大夹持面或者一夹一顶的装夹方式，以保证在螺纹切削过程中不会出现因工件松动导致螺纹乱牙，从而使工件报废的现象。

2. 螺纹刀具的装夹

机夹式螺纹车刀如图 1-3-2 所示，分为外螺纹车刀和内螺纹车刀两种。

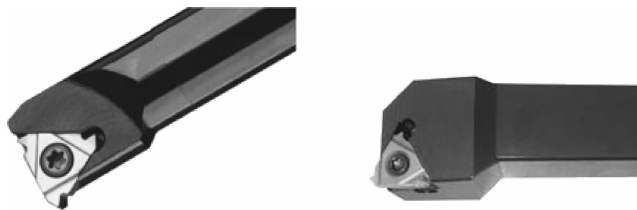


图 1-3-2 机夹式螺纹车刀

装夹外螺纹车刀时，刀尖位置一般应对准工件中心(可根据尾座顶尖高度检查)。车刀刀尖角位置一般对准工件中心线，必须与工件轴线垂直，装刀时可用样板来对刀(图 1-3-3)，刀头伸出不要过长，一般为刀杆厚度的 1.5 倍左右。

装夹内螺纹车刀时，必须严格按样板找正尖角，刀杆伸出长度稍大于螺纹长度，刀装好后应在孔内移动刀架至终点检查是否有碰撞。



图 1-3-3 样板找正尖角

常用螺纹车削方法

数控车床上常用的螺纹切削方法主要有直进法、交错切削法和斜进法等几种，如图 1-3-4 所示。

1. 直进法

如图 1-3-4(a)所示，车螺纹时，螺纹刀刀尖及两侧刀刃都参与切削，每次进刀只做径

向进给,随着螺纹深度的增加,进给量相应减小,否则容易产生“扎刀”现象。这种切削方法可以得到比较正确的牙型,适用于螺距小于 2 mm 和脆性材料的螺纹车削。

2. 交错切削法

如图 1-3-4(b)所示,螺纹车刀分别沿着与左、右牙型一侧平行的方向交错进刀,直至牙底。

3. 斜进法

如图 1-3-4(c)所示,螺纹车刀分别沿着牙型一侧平行的方向斜向进刀,至牙底处。采用这种方法加工螺纹时,螺纹车刀始终只有一个侧刃参与切削,从而使排屑比较顺利,刀尖的受力和受热情况有所改善,在车削中不易引起“扎刀”现象。

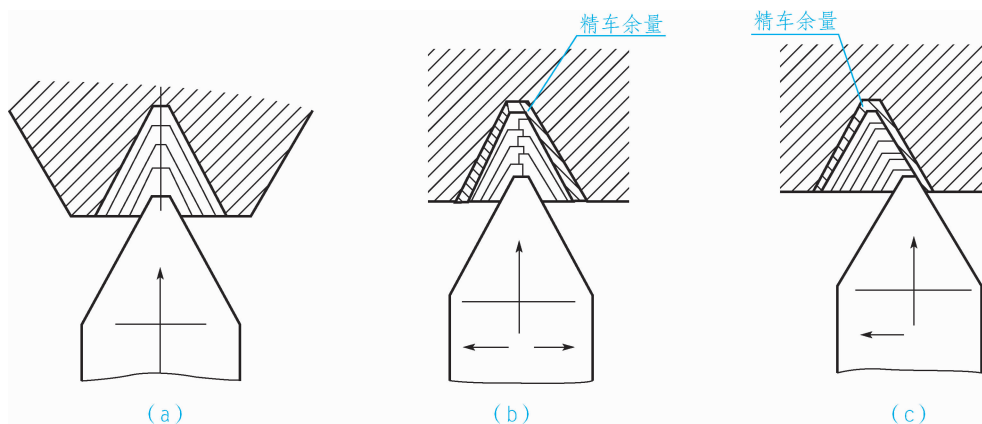


图 1-3-4 螺纹加工的进刀方式
(a)直进法; (b)交错切削法; (c)斜进法

车螺纹相关问题

1. 牙深(牙型高)的计算

牙深表示螺纹的单边高度。对于三角形普通螺纹,计算公式为

$$h=0.6495p$$

式中 h ——牙深;

p ——螺距。

2. 螺纹切削起点与终点的轴向尺寸

由于车螺纹起始时有一个加速过程,结束前有一个减速过程,在这个位移过程中螺距不可能保持均匀,因此车螺纹时两端必须设置足够的升速进刀段和减速退刀段。如图 1-3-5所示, δ_1 为升速进刀段, δ_2 为减速退刀段, δ_1 、 δ_2 一般按下式选取: $\delta_1 \geq 2 \times$ 导程, $\delta_2 \geq (1 \sim 1.5) \times$ 导程。

螺纹轴向尺寸如下:

螺纹切削起点:升速进刀段的起点;

螺纹切削终点:减速退刀段的终点。

若螺纹收尾处没有退刀槽时，一般按 45°退刀收尾。

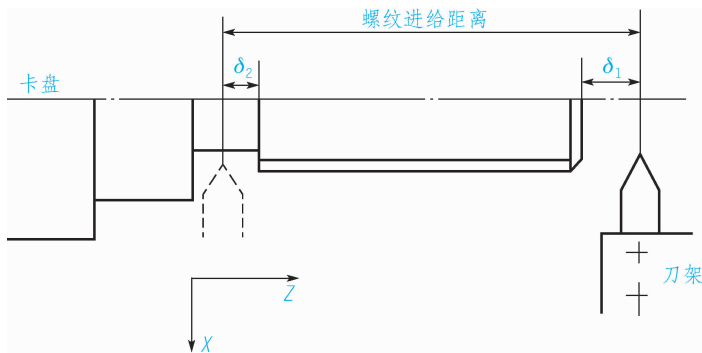


图 1-3-5 升速进刀段和降速退刀段示意图

3. 车螺纹前直径尺寸的确定

车外螺纹时，由于受车刀挤压会使螺纹大径尺寸胀大，使用车螺纹前大径一般应车得比基本尺寸小 0.2~0.4 mm (约 0.13 p)，车好螺纹后牙顶处有 0.125 p 的宽度(p 为螺距)。

螺纹大径、小径的计算公式为

$$d_{\text{大}} = d - 0.13p, \quad d_{\text{小}} = d - 1.3p$$

式中 d ——基本直径；

p ——螺距。

同理，车削三角形内螺纹时，内孔直径会缩小，所以车削内螺纹前的孔径要比内螺纹小径略大些。

4. 分层切削深度

螺纹车削加工为成形车削，刀具为成形刀，切削量较大，螺纹的螺距较大，牙型较深，一般要求分数次进给，每次背吃刀量按递减规律分配。常用螺纹切削的进给次数与背吃刀量如表 1-3-1 所示。

表 1-3-1 常用螺纹切削的进给次数与背吃刀量

单位：mm

米制螺纹								
螺距		1.0	1.5	2	2.5	3	3.5	4
牙深		0.649	0.974	1.299	1.624	1.949	2.273	2.598
进给次数 与背吃刀量	1 次	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.5
	2 次	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
	3 次	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	4 次		0.16	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
	5 次			0.1	0.4	0.4	0.4	0.4
	6 次			0.15	0.4	0.4	0.4	
	7 次					0.2	0.2	0.4
	8 次						0.15	0.3
	9 次							0.2

续表

寸制螺纹								
螺距		24	18	16	14	12	10	8
牙深		0.678	0.904	1.016	1.162	1.355	1.626	2.033
进给次数 与背吃刀量	1 次	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2
	2 次	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
	3 次	0.16	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
	4 次		0.11	0.14	0.3	0.4	0.4	0.5
	5 次			0.13	0.21	0.4	0.5	
	6 次					0.16	0.47	0.17

螺纹指令

1. 单行程螺纹切削指令(G32)

格式如下：

G32 X(U)_ Z(W)_ F_ ；

说明：

- 1)X、Z：每次螺纹切削终点的坐标，非螺纹终点坐标。
- 2)U、W：每次螺纹切削终点相对切削起点(非螺纹起点)的增量坐标。
- 3)F：螺纹的导程，单头螺纹的导程为螺距，多头螺纹的导程为螺距×头数。
- 4)G32：指令的适用范围如图 1-3-6 所示。

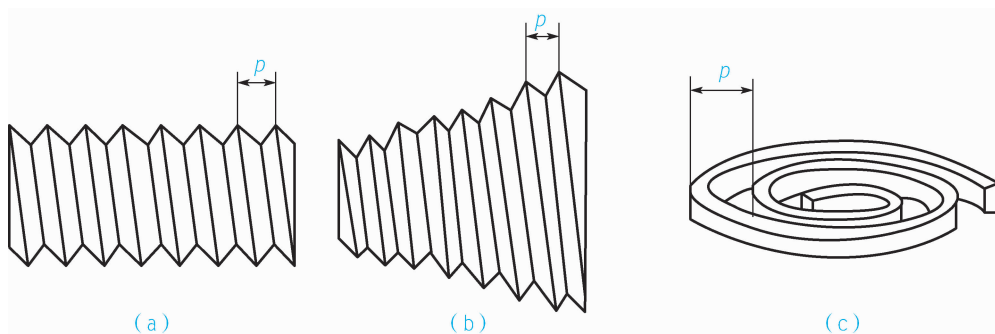


图 1-3-6 G32 指令的适用范围

(a)圆柱螺纹；(b)圆锥螺纹；(c)端面螺纹

2. 螺纹切削固定循环指令(G92)

格式如下：

G92 X(U)_ Z(W)_ R_ F_ ；

说明：

- 1)X_、Z_：绝对值编程时，螺纹切削终点的坐标值。

- 2)U _、W _：增量值编程时，螺纹切削终点相对于起点的增量坐标值。
- 3)R _：加工锥螺纹时，螺纹起点与终点的半径差；加工圆柱螺纹时 R 值为 0，可省略。
- 4)F _：轴向导程。



提示：

采用 G92 指令时，外螺纹车削起始点的坐标值必须大于螺纹退刀点的坐标值。例如：

G00 X40.0 Z5.0；（起始点）

G92 X30.0 Z-30.0（退刀点）

R-5.0 F2.0；

做一做：如图 1-3-7 所示，用 G32 指令编写螺纹加工程序。

已知：螺纹外径已经车至 $\phi 29.8$ mm，4 mm×2 mm 的退刀槽已加工。

1)螺纹加工尺寸计算。螺纹的实际牙型高度 $h=0.6495 \times 2 \approx 1.3$ (mm)；螺纹实际小径 $d_1 = d - 1.3p = 30 - 1.3 \times 2 = 27.4$ (mm)。升速进刀段和减速退刀段分别取 $\delta_1 = 5$ mm， $\delta_2 = 2$ mm。

2)确定加工程序。查表 1-3-1 得双边切深为 2.6 mm，分 5 刀切割，分别为 0.9 mm、0.6 mm、0.6 mm、0.4 mm 和 0.1 mm。

3)编制加工程序(G32 指令)，如表 1-3-2 所示。

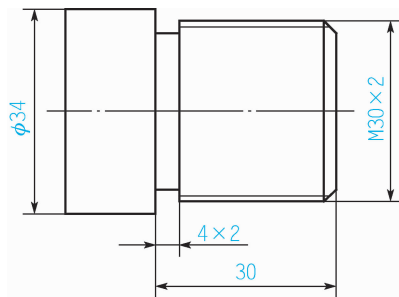


图 1-3-7 圆柱螺纹

表 1-3-2 圆柱螺纹编程实例

程序	说明
O1301	程序名
N10 S400 M03；	主轴正转
N20 T0404；	选择 4 号螺纹刀
N30 G00 X32.0 Z5.0；	螺纹加工起点
N40 X29.1；	自螺纹大径 30 mm 进第一刀，切深 0.9 mm
N50 G32 Z-28.0 F2.0；	螺纹车削第一刀，螺距为 2 mm
N60 G00 X32.0；	X 向退刀
N70 Z5.0；	Z 向退刀
N80 X28.5；	进第二刀，切深 0.6 mm
N90 G32 Z-28.0 F2.0；	螺纹车削第二刀，螺距为 2 mm
N100 G00 X32.0；	X 向退刀
N110 Z5.0；	Z 向退刀
N120 X27.9；	进第三刀，切深 0.6 mm
N130 G32 Z-28.0 F2.0；	螺纹车削第三刀，螺距为 2 mm

续表

程序	说明
N140 G00 X32.0;	X向退刀
N150 Z5.0;	Z向退刀
N160 X27.5;	进第四刀, 切深 0.4 mm
N170 G32 Z-28.0 F2.0;	螺纹车削第四刀, 螺距为 2 mm
N180 G00 X32.0;	X向退刀
N190 Z5.0;	Z向退刀
N200 X27.4;	进第五刀, 切深 0.1 mm
N210 G32 Z-28.0 F2.0;	螺纹车削第五刀, 螺距为 2 mm
N220 G00 X32.0;	X向退刀
N230 Z5.0;	Z向退刀
N240 X27.4;	光一刀, 切深为 0 mm
N250 G32 Z-28.0 F2.0;	光一刀, 螺距为 2 mm
N260 G00 X200.0;	X向退刀
N270 Z100.0;	Z向退刀, 回换刀点
N280 M30;	程序结束

做一做：用 G32 指令切削螺纹存在什么问题？用 G92 来编程呢？请写出 G92 指令加工螺纹的程序。

任务实施

图样分析

零件如图 1-3-1 所示, 毛坯为 $\phi 34$ mm, 粗、精加工外圆表面、倒角、切槽、外螺纹和左端切断等加工。根据零件外形分析, 此零件需要外圆刀和 3 mm 切槽刀以及外螺纹车刀。

确定工件的装夹方案

由于毛坯为棒料, 用自定心卡盘夹紧定位, 一次加工完成。工件伸出一定长度便于切断加工操作。

确定加工路线

工件加工路线如下:

- 1) 外圆粗、精加工。
- 2) 切槽。
- 3) 车削 $M20 \times 2$ 螺纹。
- 4) 切断。

填写工艺文件

做一做：进行工、量、刀具(参考工、量、刀具如图 1-3-8 所示)的选择，并根据加工路线填写表 1-3-3 和表 1-3-4。



图 1-3-8 工、量具

表 1-3-3 工、量、刀具清单

零件名称		台阶轴	图号	1-3-1		
种类	序号	名称	规格	精度	单位	数量
工具						
量具						
刀具						

表 1-3-4 车削螺柱加工工艺卡

零件图号	1-3-1	数控车床加工工艺卡	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				

编写加工程序

1. 建立工件坐标系

根据坐标系建立原则，工件原点设在工件右端面与主轴轴线的交点处。

2. 编制加工程序

螺柱零件切削程序如表 1-3-5 所示。

表 1-3-5 螺柱零件切削程序

程序	说明
O1302;	程序名
外圆粗、精加工	
N10 G99 M03 S600 T0101;	以 600 r/min 启动主轴正转, 选择 1 号刀及 1 号补刀
N20 G00 X35.0 Z2.0;	循环起点
N30 G90 X30.5 Z-50.0 F0.2;	粗车循环 1
N40 X25.0 Z-35.0;	粗车循环 2
N50 X21.5;	粗车循环 3
N60 G00 X18.0 Z0 M03 S1200;	精车起点, 主轴 1 200 r/min
N70 G01 X19.8 Z-1.0 F0.1;	倒角 C1
N80 Z-28.0;	精车螺纹外圆
N90 X20.0;	退刀
N100 Z-35.0;	精车 $\phi 20$ mm 的外圆
N110 X30.0;	退刀
N120 Z-50.0;	精车 $\phi 30$ mm 的外圆
N130 G00 X100.0 Z100.0;	返回退刀点
切槽	
N140 S400 T0202;	主轴以 400 r/min 正转, 选择 2 号刀及 2 号补刀
N150 G00 X23.0 Z-35.0;	切槽起点
N160 G01 X17.0 F0.15;	切槽至底径
N170 X22.0;	退刀
N180 G00 X100.0 Z100.0;	返回退刀点
车螺纹	
N190 S600 T0303;	主轴以 600 r/min 正转, 选择 3 号刀及 3 号补刀
N200 G00 X22.0 Z5.0;	螺纹循环起点
N210 G92 X19.1 Z-26.0 F2.0;	螺纹切削循环 1
N220 X18.5;	螺纹切削循环 2
N230 X17.9;	螺纹切削循环 3
N240 X17.5;	螺纹切削循环 4
N250 X17.4;	螺纹切削循环 5
N260 G00 X100.0 Z100.0;	返回退刀点
N270 M05;	主轴停
N280 M30;	程序结束并返回程序头

加工过程

加工过程如下：

- 1) 机床准备。
- 2) 对刀(3 把刀)。
- 3) 输入程序。
- 4) 程序检验及仿真。
- 5) 自动加工。

检验方法

螺纹环规(图 1-3-9)用于测量外螺纹尺寸的正确性,分为通端和止端。止端环规在外圆柱面上有凹槽。操作时,分别用两个环规往外螺纹上拧。



图 1-3-9 外螺纹环规

检验标准如下：

- 1) 通规不过,说明螺纹中径大了,产品不合格。
- 2) 止规通过,说明中径小了,产品不合格。
- 3) 通规可以在螺纹的任意位置转动自如,止规旋转一到两三圈就拧不动时,说明合格。



想一想：

螺纹加工需要注意哪些问题？



任务评价

完成上述任务后,认真填写表 1-3-6 所示的“螺柱加工评分表”。

表 1-3-6 螺柱加工评分表

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		15			
切削用量的选择		5			
刀具选择、安装正确、规范		5			
工件装夹及找正		5			

续表

评价指标	配分	自评	互评	教师评
机床操作、保养	10			
正确对刀	10			
长度	5			
直径	5			
槽	5			
螺纹	15			
安全文明生产	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) 螺纹加工为什么要设置进刀升速段和退刀降速段?

2) M8、M10、M12、M16 粗牙螺纹的螺距分别是多少?

3) 螺纹车刀安装有何要求?

4) 编写图 1-3-10 所示零件的工程程序并练习加工，材料为 45 钢。

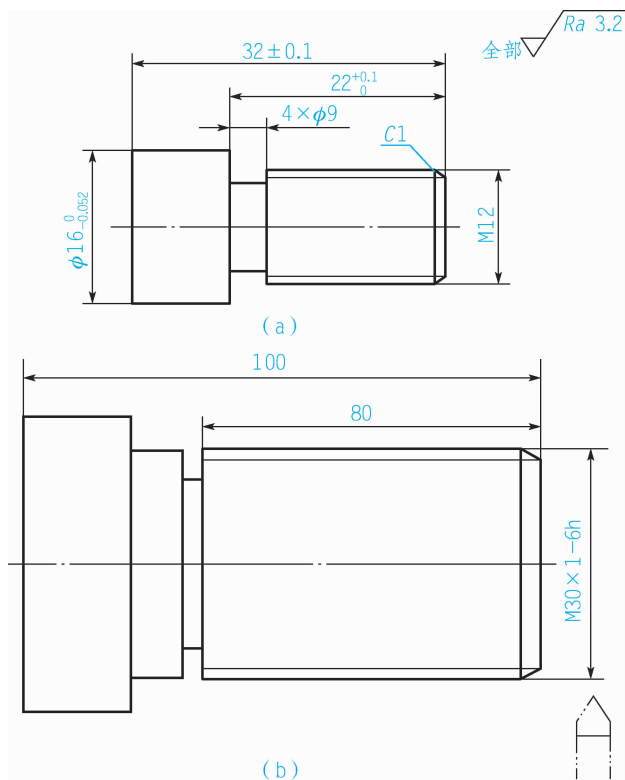


图 1-3-10 螺纹加工

任务拓展

阅读材料一——用 G92 指令加工圆锥螺纹

1. 指令格式

格式如下：

G92 X(U) _ Z(W) _ R _ F _ ;

说明：R 为圆锥螺纹起点和终点的半径差，加工圆柱螺纹时 R 为零，可省略，一般按延伸后的值进行考虑。

R 的正负判别如下：锥面起点坐标大于终点坐标时取正，反之取负；其余各项指定与圆柱螺纹切削指令相同。

2. G92 锥螺纹切削的刀具路径

G92 锥螺纹切削的刀具路径如图 1-3-11 所示。

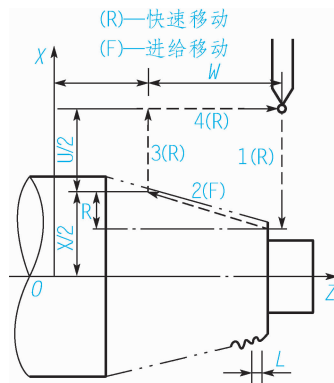


图 1-3-11 锥螺纹切削的刀具路径

阅读材料二——复合螺纹切削循环指令 (G76)

格式如下：

G76 P(m)(r)(α)Q(Δdmin)R(d);

G76 X(U)Z(W)R(I)P(K)Q(Δd)F;

说明：

- 1)m：精加工重复次数；
- 2)r：尾端倒角量，用 00~99 数字表示，表示螺纹的收尾长度为 0.0L~9.9L；
- 3)α：进刀角度，如为 00 则采用直进法加工，如为螺纹刀角度则采用斜进法加工；
- 4)Δdmin：最小切入量，半径值；
- 5)d：精加工余量，半径值；
- 6)X、U、W、Z、F：同 G92 指令中参数；
- 7)I：加工锥螺纹参数；
- 8)K：螺纹牙深，半径值；
- 9)Δd：第一次的切入量，半径值。

在 FANUC 0i 系统中，用地址 P、Q 指定尺寸时，要用脉冲数编程，如 P0.4 尺寸用 P400(400×0.001)表示。

任务二 车锥面台阶轴

锥面是台阶轴的典型特征之一，本任务学习锥面的加工。

任务目标

- 掌握用 G90 指令加工锥面的格式；
- 会绝对坐标和相对坐标的编程方法；
- 能根据不同的情况选择适合的走刀路线；
- 能利用 G90 指令编制锥面加工程序。

任务描述

加工图 1-3-12 所示的带锥面的轴零件。毛坯尺寸为 $\phi 50$ mm，夹持长度足够。

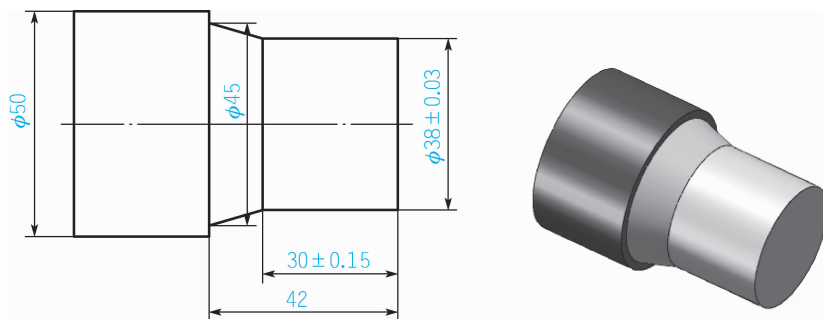


图 1-3-12 锥轴

知识链接

锥面加工路线

数控车床车外圆锥，假设圆锥大径为 D ，小径为 d ，锥长为 L ，车正圆锥的三种加工路线如图 1-3-13 所示。

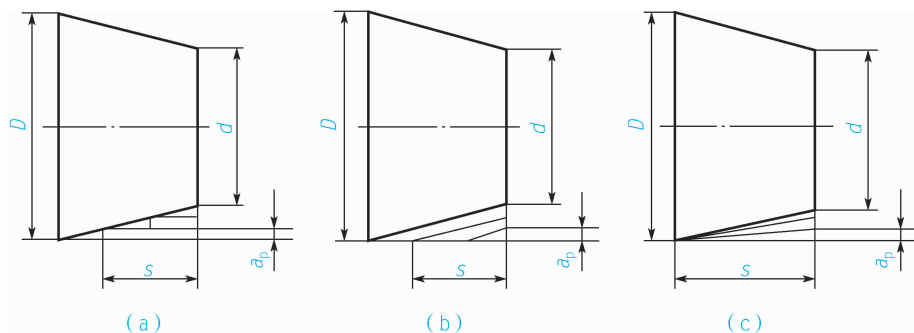


图 1-3-13 圆锥加工路线

按图 1-3-13(a)所示的阶梯切削路线，两刀粗车，最后一刀精车；两刀粗车的走刀距离 S 要做精确的计算，由相似三角形可以得到：

$$\frac{\frac{D-d}{2}}{L} = \frac{\frac{D-d}{2} - a_p}{S}$$

则

$$S = \frac{L \left(\frac{D-d}{2} - a_p \right)}{\frac{D-d}{2}}$$

采用这种加工路线，粗车时，刀具背吃刀量相同，精车时，背吃刀量不同；粗车和精车时的刀具加工路线都最短。

按照图 1-3-13(b)所示的加工路线车正锥时，该路线按平行锥体的母线循环车削，适合车大、小径之差比较大的圆锥。

按照图 1-3-13(c)所示的加工路线车正锥时，因为大、小径余量厚度不同，以小径进刀车削为准，提高效率，大径每刀退刀点可选择较合理的不同点，只需要大致估算终点刀具 S ，编程方便。但是每次切削中背吃刀量是变化的，且刀具切削运动的路线较长。

车倒锥的原理和车正锥的原理相同。

想一想：
圆柱面用 G01，锥体应用什么指令？

用 G01 完成锥面加工

用 G01 指令车外圆时，当沿 Z 轴单轴移动时，可以加工外圆或内圆柱孔；当沿 X 轴单动时，可以车端面、台阶或切槽。

用 G01 指令车锥体时，沿 X 轴和 Z 轴同时移动可加工圆锥面或倒角。

做一做：如图 1-3-14 所示工件，用绝对编程法编制精加工路线程序。

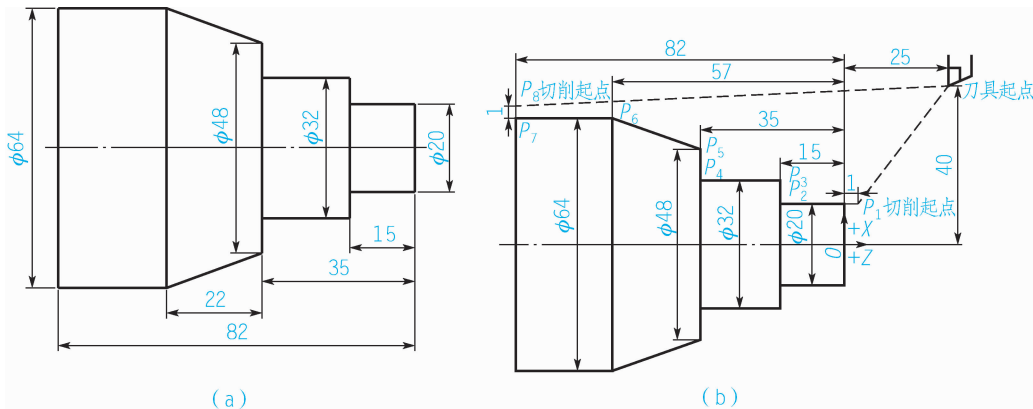


图 1-3-14 G01 编程加工锥体
(a)G01 编程举例；(b)G01 编程各点坐标

- 1)确定工件坐标系：原点设在右端面轴线交点上。
- 2)确定刀具起点：刀具起点为(X80，Z25)
- 3)确定切削各点坐标。切削各点坐标如表 1-3-7 所示。

表 1-3-7 切削各点坐标

坐标点	X	Z	坐标点	X	Z
P ₁	20	1	P ₅	48	-35
P ₂	20	-15	P ₆	64	-57
P ₃	32	-15	P ₇	64	-82
P ₄	32	-35	P ₈	66	-82

工件精加工参考程序如表 1-3-8 所示。

表 1-3-8 工件精加工参考程序

程序	说明
O1303;	程序名
N10 G99 T0101 M03 S800;	换 1 号外圆车刀，主轴正转，转速为 800 r/min
N20 G00 X80 Z25;	刀具起点
N30 G00 X20 Z1;	刀具起点→P ₁
N40 G01 Z-15 F0.1;	P ₁ →P ₂ ，精加工 φ20 mm 外圆，进给量 0.1 mm/rin
N50 X32;	P ₂ →P ₃ ，加工 φ20 mm 到 φ32 mm 台阶
N60 Z-35;	P ₃ →P ₄ ，加工 φ32 mm 外圆
N70 X48;	P ₄ →P ₅ ，加工 φ32 mm 到 φ48 mm 台阶
N80 X64 Z-57;	P ₅ →P ₆ ，加工锥体
N90 Z-82;	P ₆ →P ₇ ，加工 φ64 mm 外圆
N100 X66;	P ₇ →P ₈ ，X 向车出毛坯面
N110 G00 X80 Z25;	P ₈ →刀具起点
N120 M05;	主轴停止
N130 M30;	程序结束



想一想：

在表 1-3-8 中，N50～N100 的程序段没有指定 G 代码，为什么？



锥面循环加工指令(G90)

G90 锥面切削循环如图 1-3-15 所示。

格式如下：

G00 X_ Z_ ; (循环起点)

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

说明：

- 1) X、Z：绝对坐标编程时，圆锥面切削终点坐标。
- 2) U、W：圆锥面切削终点相对于循环起点的坐标增量。
- 3) R： $R=(d_{\text{大}}-d_{\text{小}})/2$ ，锥面的起点坐标大于终点坐标时取“+”，反之取“-”。
- 4) F：进给速度。

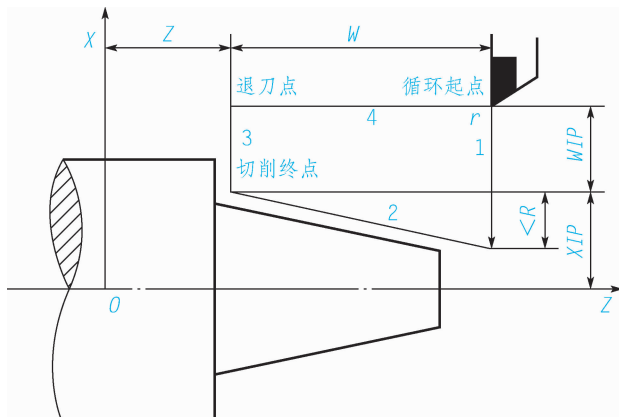


图 1-3-15 G90 锥面切削循环

做一做：如图 1-3-16 所示工件，用 G90 编程法编制锥面加工程序。

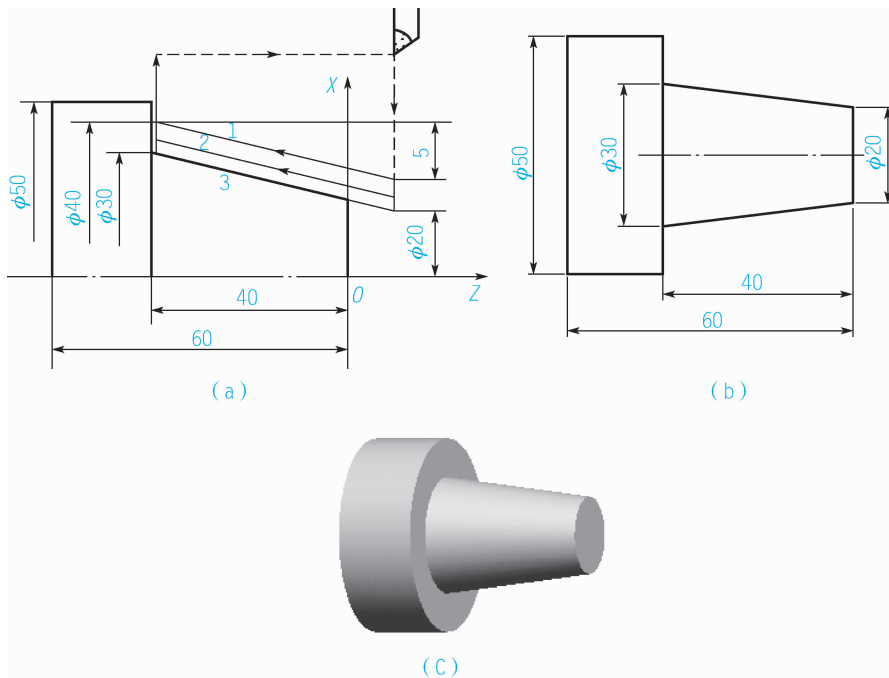


图 1-3-16 圆锥面加工零件图

锥面加工程序参考表 1-3-9。

表 1-3-9 锥面切削循环加工程序

程序	说明
O1304;	程序名
N10 M03 S600 T0101;	主轴正转, 转速为 600 r/min, 调用 1 号刀 1 号刀补
N20 G42 G00 X60.0 Z2.0;	快速到达循环起点
N30 G90 X40.0 Z-40.0 R-5.0 F0.3;	锥面循环第一次
N40 X35.0;	锥面循环第二次
N50 X30.0;	锥面循环第三次
N60 G40 G00 X100.0 Z100.0;	快速返回起刀点
N70 M05;	主轴停
N80 M30;	程序结束返回



想一想:

如图 1-3-16 所示, 如果 G90 切削终点不变, 起点与 R 值变化, 应该怎样编程? 与表 1-3-9 所示 G90 有何区别?

完成加工后, 图 1-3-16(a)所示零件实物如图 1-3-16(c)所示。



任务实施

如图 1-3-12 所示, 工件为简单轴类零件, 该零件由一个锥面和一个圆柱面组成。



图样分析

该零件外形比较简单, 需要加工端面、台阶外圆。毛坯是 $\phi 50$ mm 的 45 圆钢材料, 有足够的夹持长度。对 $\phi 38$ mm 外圆的直径尺寸和长度尺寸有一定的精度要求。零件的工艺处理与普通车床加工工艺相似。



确定工件的装夹方案

该零件是一个 $\phi 50$ mm 的实心轴, 且有足够的夹持长度和加工余量, 便于装夹。采用自定心卡盘夹紧, 能自动定心。以毛坯表面为定位基准面, 装夹时注意跳动不能太大。工件伸出卡盘 50~65 mm, 能保证 42 mm 车削长度, 同时便于切断刀进行切断加工。



确定加工路线

该零件是单件生产, 右端面为工件坐标系原点。选用 93° 硬质合金外圆刀进行粗、精

加工，刀号为 T0101。加工前刀架从任意位置回参考点，进行换刀动作，确保 1 号刀在当前刀位，建立 1 号刀工件坐标系。

填写工艺文件

1. 工、量具清单

工、量具清单如表 1-3-10 所示。

表 1-3-10 工、量具清单

零件名称		锥轴	图号	1—3—12		
种类	序号	名称	规格	精度	单位	数量
工具		自定心卡盘	随机床		个	1
		卡盘扳手	随机床		副	1
		刀架扳手	随机床		副	1
		加力杆	随机床		根	1
		刀具垫片			片	若干
量具		游标卡尺	0~150 mm	0.02 mm	把	1
		外径千分尺	25~50 mm	0.01 mm	把	1

2. 刀具工艺卡

刀具工艺卡如表 1-3-11 所示。

表 1-3-11 刀具工艺卡

零件图号	1—3—12	数控车床加工工艺卡	机床型号	CAK6150
零件名称	锥轴			
刀具表				
刀具号	刀补号	刀具名称	刀具参数	
T01	01	93°外圆端面车刀	D 型刀片	
工序	工艺内容	切削用量		
		S/(r/min)	F/(mm/r)	a_p /mm
1	平端面	800	0.2	1
2	粗车外圆、圆锥	800	0.2	2
3	精车外圆、圆锥	1200	0.05~0.1	0.5~1

编写加工程序

工件的参考加工程序如表 1-3-12 所示。

表 1-3-12 轴加工程序

程序(FANUC 系统)	说明
O1305;	程序名
N10 G99 M03 S800 T0101;	选 1 号刀, 主轴正转, 800 r/min, 进给量单位为 mm/r
N20 G00 X100 Z100;	快速定位到换刀点
N30 G00 X55 Z0;	快速运动到加工点
N40 G01 X0 F0.1;	平端面
N50 G00 X55 Z2;	刀具点定位
N60 X47;	快速走刀至第一刀切削起点
N70 G01 Z-42 F0.2;	粗加工第一刀至 $\phi 38 \text{ mm} \times 42 \text{ mm}$
N80 G00 X55 Z2;	快速回到起刀点
N90 X45.5;	刀具点定位, 快速走刀至第二刀切削点
N100 G01 Z-42 F0.2;	粗加工第二刀至 $\phi 45.5 \text{ mm} \times 42 \text{ mm}$
N110 G00 X55 Z2;	快速回到起刀点
N120 G00 X42;	进至 $\phi 42 \text{ mm}$ 起点
N130 G01 Z-30;	将 $\phi 38 \text{ mm}$ 粗车至 $\phi 42 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$
N140 X45.5 Z-42;	粗车圆锥
N150 G00 Z2;	退刀
N160 X38.5;	进至 $\phi 38.5 \text{ mm}$ 起点
N170 G01 Z-30;	将 $\phi 38 \text{ mm}$ 粗车至 $\phi 38.5 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$
N180 X45.5 Z-42;	粗车圆锥
N190 X51;	退刀
N200 G00 X100 Z100;	快速定位到换刀点
N210 T0101 S1200;	选 1 号刀, 主轴正转, 转速 1 200 r/min
N220 G00 X38 Z2;	快速运动到加工起点
N230 G01 Z-30 F0.1;	精车 $\phi 38 \text{ mm}$ 外圆
N240 X45 Z-42;	精车圆锥
N250 X52;	退刀
N260 G00 X100 Z100;	快速定位到换刀点
N270 M05;	主轴停
N280 M30;	程序结束返回程序头

加工过程

工件的加工过程如下:

- 1) 安装车刀。
- 2) 在自定心卡盘上安装工件, 伸出长度 52 mm。
- 3) 对刀, 建立工件坐标系。

- 4)程序仿真模拟，检验程序的准确性。
- 5)调用程序，机床加工。
- 6)测量工件，清理机床。

任务评价

完成上述任务后，填写表 1-3-13 所示的“锥轴零件加工质量评价表”。

表 1-3-13 锥轴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	15				
切削用量	5				
刀具选用	5				
工件装夹	5				
机床操作	15				
锥度	15				
长度	10				
直径	10				
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)G90 指令与 G94 指令的区别在哪里？
- 2)试运用 G90 指令和 G94 指令分别编写图 1-3-12 所示锥轴零件 $\phi 38\text{ mm}$ 的加工程序。
- 3)如图 1-3-17 所示，试运用 G90 指令和 G94 指令编写零件的加工程序。

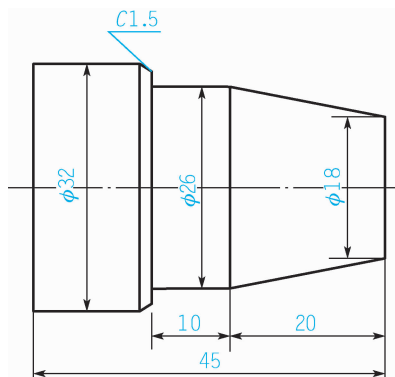


图 1-3-17 锥面加工练习

任务拓展

阅读材料——端面循环加工锥面(G94)

G94 指令的格式如下:

G00 X_ Z_ ;

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

说明:

- 1) X、Z: 定位点的对角点坐标。
- 2) U、W: 锥面切削终点相对于循环起点的有向距离。
- 3) K: 端面切削点到终点位移在 Z 方向的坐标增量。
- 4) F: 进给速度。

G94 指令走刀路线如图 1-3-18 所示。

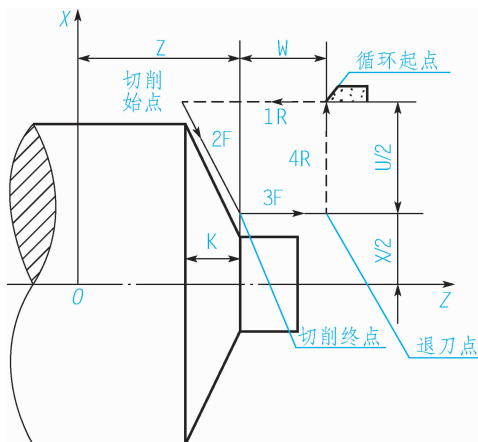


图 1-3-18 G94 循环

任务三 车圆弧台阶轴

圆弧加工是车削加工中常见的加工之一，图 1-3-19 所示为其中较有代表性的零件。

任务目标

- 能够对圆弧面轴类零件进行数控车削工艺分析;
- 掌握 G02/G03 指令的手工编程方法;
- 会判断圆弧的方向, 正确使用 G02/G03 指令;
- 能使用刀补命令, 并会判断刀补方向。

任务描述

分析图 1-3-19 所示带圆弧面的轴类零件的几何特征，制定相应的加工工艺，编制程序加工该零件，并进行检测。

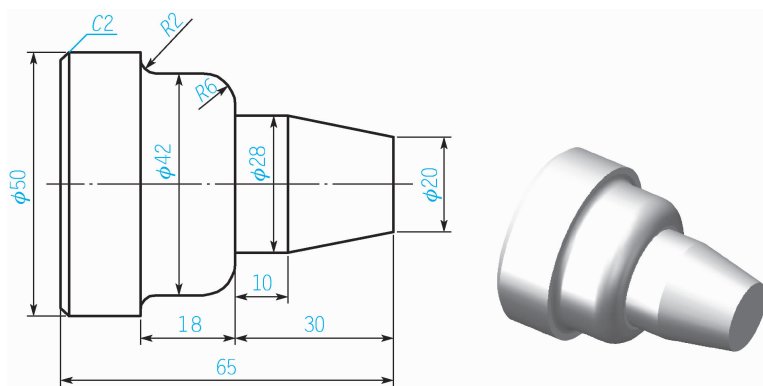


图 1-3-19 圆弧轴

知识链接

圆弧插补指令 (G02/ G03)

圆弧插补指令是模态代码，可将刀具按指定的进给速度沿圆弧插补到所需位置，做圆弧切削运动。

其中，G02 是顺时针圆弧插补指令，G03 是逆时针圆弧插补指令，如图 1-3-20 所示。

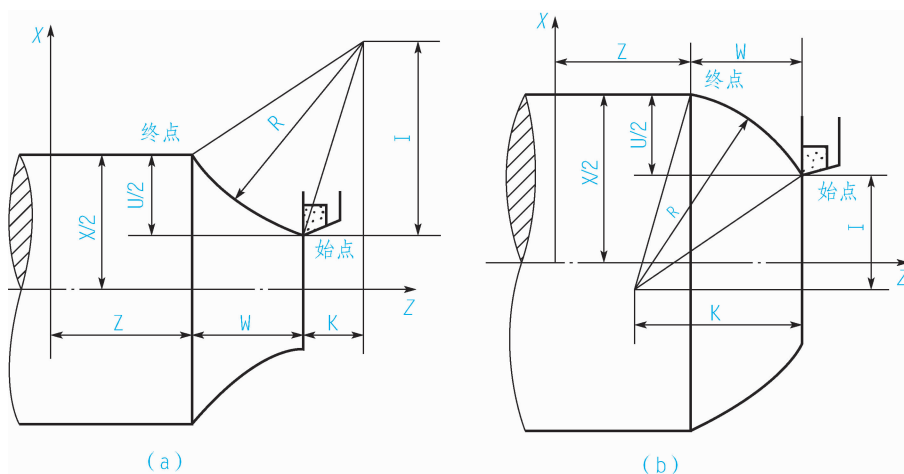


图 1-3-20 圆弧插补

(a) G02 指令；(b) G03 指令

1. 指令格式

格式如下：

$$\left. \begin{array}{l} G02 \\ G03 \end{array} \right\} X(U) _ Z(W) _ \left\{ \begin{array}{l} I_ \\ R_ \end{array} \right\} K_ \left\{ \begin{array}{l} I_ \\ R_ \end{array} \right\} F_ ;$$

说明：

- 1) X、Z：圆弧终点坐标。
- 2) U、W：圆弧终点相对于圆弧起点的坐标差值。
- 3) I、K：圆弧圆心相对于圆弧起点的坐标差值。
- 4) R：圆弧半径。
- 5) F：进给速度。

2. 圆心坐标的确定

如图 1-3-21 所示，指定圆心的编程方式时，I、K 指圆心相对于圆弧起点的坐标的增量。

$I = X_{\text{圆心}} - X_{\text{起点}}$ （半径）， $K = Z_{\text{圆心}} - Z_{\text{起点}}$ （半径）
式中，I、K 在绝对值、增量值编程时都以增量方式指定，在 I_ 直径、半径编程时都是半径值。

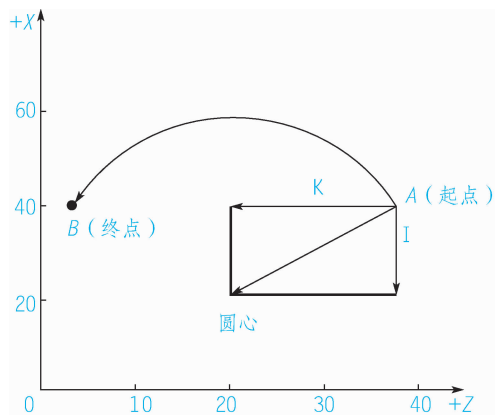


图 1-3-21 圆心坐标的确定

3. 插补方向的判断

先用右手笛卡儿坐标判断第三个坐标的正方向，由第三个坐标的正方向向负方向看，如圆弧为顺时针，就用 G02，反之用 G03。

从图 1-3-22 可以看出，前置刀架圆弧的方向与我们根据日常经验判断出来的相反，而后置刀架圆弧的方向与我们日常经验判断出来的一致。

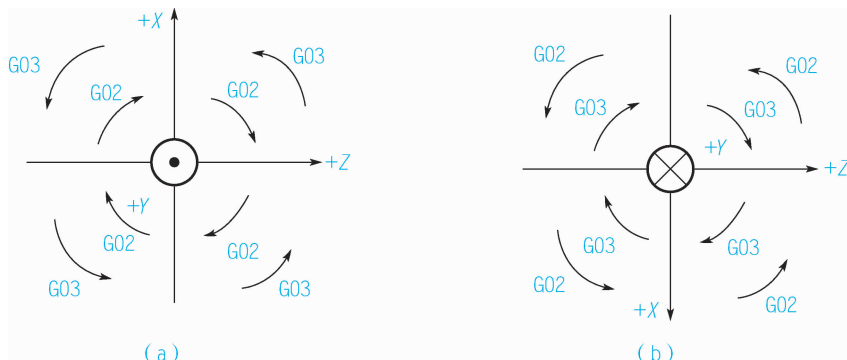


图 1-3-22 G02 和 G03 插补方向

(a) 后置刀架；(b) 前置刀架

做一做：用 G02、G03 编写图 1-3-23 所示圆弧加工程序。

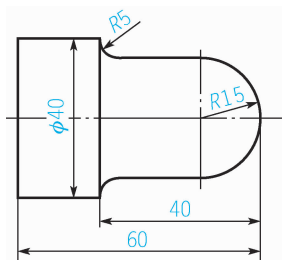


图 1-3-23 圆弧加工举例

工件精加工参考程序如表 1-3-14 所示。

表 1-3-14 工件参考程序

程序	说明
G00 X0 Z2;	快速定位
G01 Z0 F0.2;	移动到切削起点
G03 X30 Z-15 R15 F0.2;	车 R15 mm, 逆时针
G01 Z-35;	车锥体
G02 X40 W-5 R5;	车 R5 mm, 顺时针
G01 Z-60;	车 $\phi 40$ mm 圆柱
G00 X100 Z100;	回换刀点



想一想：

如果用圆心坐标法编制程序，则 R15 mm、R5 mm 圆心坐标分别为多少？试写出程序。



提示：

- 1) X、Z 可以是绝对值也可以是相对值，但 I、K 一定是相对值。
- 2) 用 R 表示圆弧时，如果圆心角小于或等于 180° ，则 R 取正值；如果大于 180° ，则 R 取负值。
- 3) 用 R 不能描述整圆，只能用 I、K 编程。
- 4) 如程序段中有 I、K、R 时，则 R 有效。
- 4) I0、K0 可以省略。



圆弧面加工路线

常见的车削圆弧的加工路线有车锥法、移圆法、车圆法和台阶车削法，如图 1-3-24

所示。

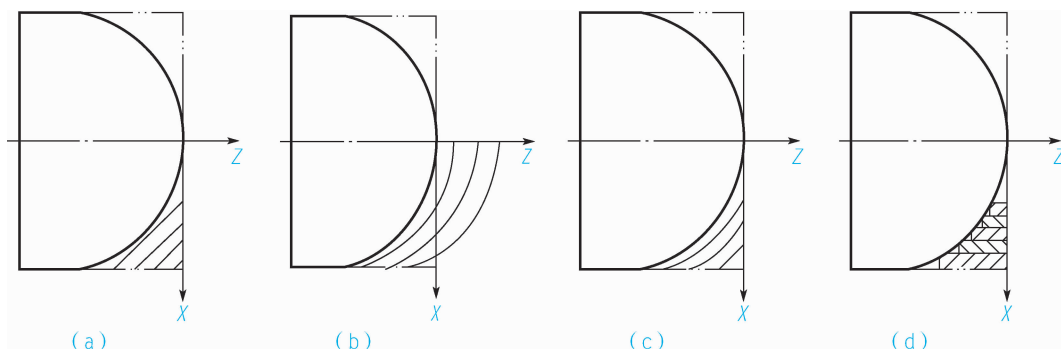


图 1-3-24 车削圆弧的加工路线

(a)车锥法；(b)移圆法；(c)车圆法；(d)台阶车削法

刀尖圆弧半径补偿指令

刀具圆弧半径补偿是通过 G41、G42、G40 代码及 T 代码指定刀尖圆弧半径补偿号，加入或取消半径补偿功能的。其中，G41 用于刀具半径左补偿；G42 用于刀具半径右补偿；G40 用于取消刀具半径补偿，使 G41、G42 指令无效。

刀具补偿指令格式如下：

G41 G00(G01) X(U) Z(W)；

G42 G00(G01) X(U) Z(W)；

G40 G00(G01) X(U) Z(W)；

编程时，刀尖圆弧半径补偿偏置方向的判断如图 1-3-25 所示，向着 Y 轴的负方向并沿刀具的移动方向看，当刀具处于加工轮廓左侧时，称为刀尖圆弧半径左补偿，用 G41 表示；当刀具处于加工轮廓右侧时，称为刀尖圆弧半径右补偿，用 G42 表示。后置刀架的方向与我们日常的经验判断一致，前置刀架的方向正好相反。

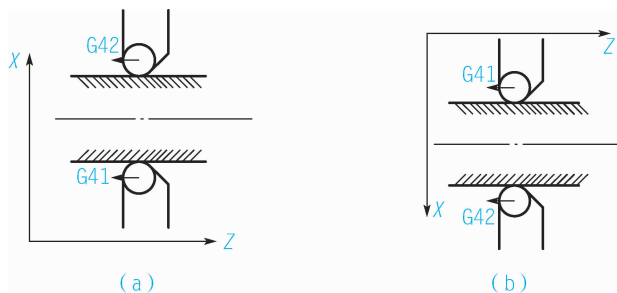


图 1-3-25 G41、G42 的判定

(a)后置刀架；(b)前置刀架

任务实施

图样分析

如图 1-3-19 所示，该零件材料为 45 圆钢，无热处理要求，毛坯尺寸为 $\phi 52$ mm，粗、精加工外圆和台阶表面。根据零件外形分析，此零件需外圆刀和切断刀。

确定工件的装夹方案

轴类零件的定位基准只能选择被加工件的外圆表面或零件端面的中心孔。此零件以毛坯外圆面为粗基准，采用自定心卡盘夹紧，一次加工完成。工件伸出一定长度便于切断操作加工。

确定加工路线

该零件毛坯为棒料，毛坯余量较大(最大处余量为 $52\text{ mm} - 18\text{ mm} = 34\text{ mm}$)，需多次进刀加工。

首先进行粗加工，用切削指令 G01，编程比较繁琐，本零件采用单一形状循环指令 G90，从大到小完成粗加工，留半精车余量 $1 \sim 1.5\text{ mm}$ ，但外形面有锥体和圆弧，粗车完成后会留下不规则的毛坯余量，需进行半精车。余量的范围可估算。

半精车加工时，在精车路线加 0.5 mm 余量基础上自右向左进行。精车加工时，切除 0.5 mm 余量，达到零件设计尺寸精度要求。

填写工艺文件

1. 工、量具清单

工、量具清单如表 1-3-15 所示。

表 1-3-15 工、量具清单

零件名称		台阶轴	图号	1-3-19		
种类	序号	名称	规格	精度	单位	数量
工具		自定心卡盘	随机床		个	1
		卡盘扳手	随机床		副	1
		刀架扳手	随机床		副	1
		加力杆	随机床		根	1
		刀具垫片			片	若干
量具		游标卡尺	$0 \sim 150\text{ mm}$	0.02 mm	把	1
		外径千分尺	$25 \sim 50\text{ mm}$	0.01 mm	把	1

2. 工件刀具工艺卡

工件刀具工艺卡如表 1-3-16 所示。

表 1-3-16 工件刀具工艺卡

零件图号	1—3—19	数控车床加工工艺卡	机床型号	CAK6150
零件名称	圆弧轴			
刀具表				
刀具号	刀补号	刀具名称	加工表面	数量
T01	01	93°车刀	粗车外圆	1
T02	02	93°车刀	精车外圆	1
工序	工艺内容	切削用量		
		$S/(r/min)$	$F/(mm/r)$	a_p/mm
1	平端面粗车外形	600~800	0.2	3
2	半精车外圆	800	0.15	1~2
3	精车外圆	1 200	0.05~0.1	0.5~1

编写加工程序

零件加工参考程序如表 1-3-17 所示。

表 1-3-17 轴加工程序

程序(FANUC 系统)	说明
O1306;	程序名
粗加工	
N10 G99 M03 S800 T0101;	选择 1 号刀, 主轴正转, 800 r/min, 进给量单位为 mm/r
N20 G00 X100 Z100;	快速定位到换刀点
N30 G00 X55 Z0;	快速运动到加工点
N40 G01 X0 F0.1;	平端面
N50 G00 X55 Z2;	刀具点定位, 循环起点
N60 G90X47.0 Z-47.0 F0.2;	G90 粗车外圆循环 1
N70 X44.0 Z-45.0;	G90 粗车外圆循环 2
N80 X38.0 Z-30.0;	G90 粗车外圆循环 3
N90 X33.0;	G90 粗车外圆循环 4
N100 X30;	G90 粗车外圆循环 5
N110 G00 X20.5;	接近锥体小径
N120 G01 Z0 F0.15;	半精加工起点
N130 X28.5 Z-20.0 F0.15;	半精车锥体
N140 Z-30.0;	半精车 $\phi 28$ mm 外圆
N150 X36.5;	车至 R6 mm 圆弧起点
N160 G03 X42.5 Z-33.0 R6;	半精车 R6 mm

续表

程序(FANUC 系统)	说明
N170 G01 Z-46.0;	半精车 $\phi 42$ mm 外圆
N180 G02 X48.5 Z-48.0 R2;	半精车 R2 mm
N190 G01 X50.5;	退刀
N200 Z-70;	半精车 $\phi 50$ mm 外圆
N210 X55.0;	退刀
N220 G00 X100 Z100;	快速返回换刀点
N230 M05;	主轴停
N240 M00;	程序停, 测量工件
精加工	
N250 G99 M03 S1200 T0202;	选择 2 号刀, 主轴正转 1 200 r/min, 进给量单位为 mm/r
N260 G00 X100 Z100;	快速返回换刀点
N270 G42 X19.2 Z2.0;	快速运动到锥体小端延长点, 建立半径补偿
N280 G01 X28.0 Z-20.0 F0.1;	精加工锥体
N290 Z-30.0;	精加工 $\phi 28$ mm 外圆
N300 X30.0;	退刀
N310 G03 X42.0 Z-36.0 R6.0;	精加工 R6 mm 圆弧
N320 G01 Z-46.0;	精加工 $\phi 42$ mm 外圆
N330 G02 X48.0 Z-48.0 R2.0;	精加工 R2 mm 圆弧
N340 G01 X50.0;	退刀
N350 Z-70.0;	精加工 $\phi 50$ mm 外圆
N360 G40 G00 X100 Z100;	取消补偿, 返回换刀点
N370 M05;	主轴停转
N380 M30;	程序结束

加工过程

为了保证加工基准的一致性, 在多把刀具对刀时, 可以先用一把刀具加工出一个基准, 其他各把刀具依此基准进行对刀。

加工过程:

- 1) 机床准备。
- 2) 对刀, 建立工件坐标系(两把刀)。
- 3) 编制程序并输入程序。
- 4) 程序仿真模拟, 检验程序的准确性。
- 5) 调用程序, 机床加工。
- 6) 测量工件, 清理机床。

任务评价

完成上述任务后，认真填写表 1-3-18 表示的“圆弧轴零件加工质量评价表”。

表 1-3-18 圆弧轴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				
切削用量	5				
工件装夹	5				
机床操作	10				
锥度	15				
长度	10				
直径	10				
圆弧	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

一、简答题

- 1) 试述刀具位置补偿的作用。
- 2) 如何判断圆弧的顺逆？
- 3) 为什么要用刀尖半径补偿？刀尖半径补偿有哪几种？其指令各是什么？
- 4) 使用刀尖半径补偿指令时应注意什么？
- 5) 常见圆弧加工的问题有哪些？

二、实训题

编写图 1-3-26 所示零件的加工程序并练习加工，材料为 45 钢。

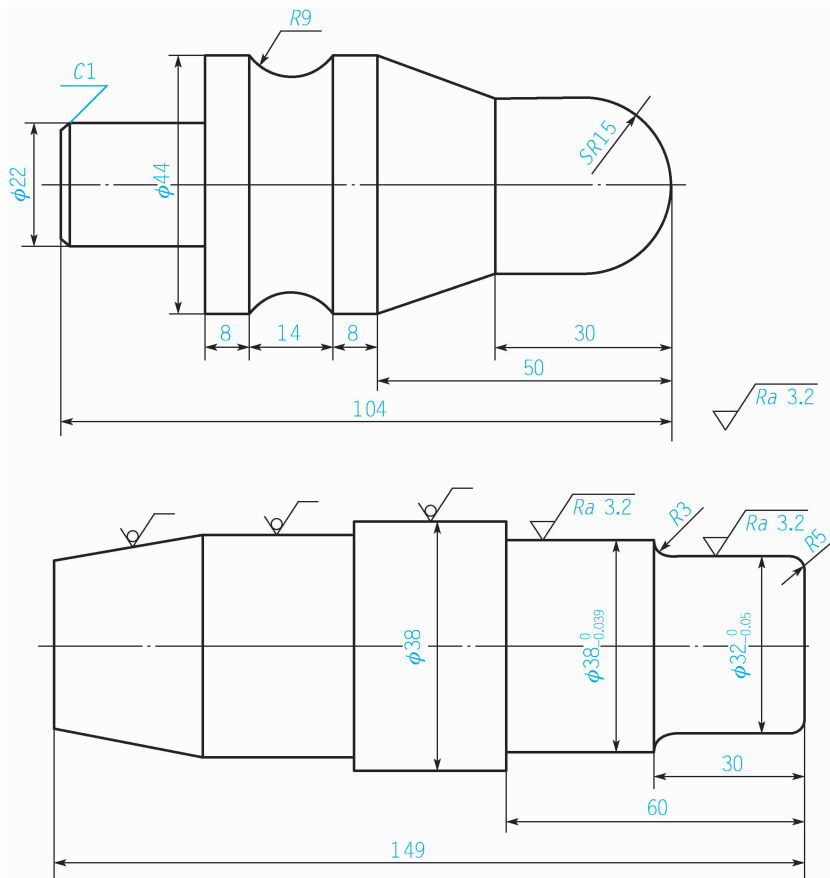


图 1-3-26 轴

任务拓展

阅读材料——刀尖圆弧半径补偿的目的

车刀理想状态下的刀尖是尖角，但是实际上有一定的圆弧角。编程时所指的刀尖是假想的刀尖，与实际的刀尖有一定的差距，如图 1-3-27 所示。因此，按假想刀尖编写的程序在车削外圆、内孔等与 Z 轴平行的表面时是没有误差的，即刀尖圆弧的大小并不起作用；但当车右端面、锥面及圆弧时，就会造成过切或少切，引起加工表面形状误差。如图 1-3-28 所示，数控车床在加工圆弧或圆锥时，如果不考虑圆弧半径 R ，那么加工出来的曲线都会产生误差 δ ，差值是刀尖圆弧半径。刀尖半径补偿前后轮廓对比如图 1-3-29 所示。

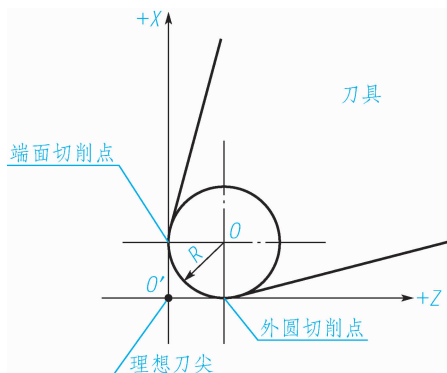


图 1-3-27 刀尖圆弧和刀尖

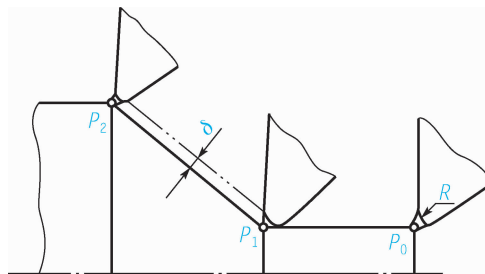


图 1-3-28 车圆锥产生的误差

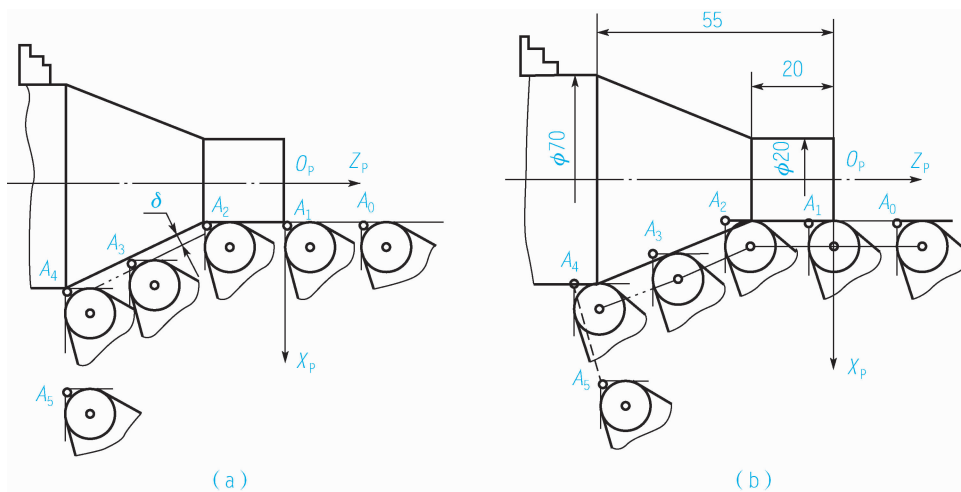


图 1-3-29 刀尖半径补偿前后轮廓对比

(a)无刀具补偿；(b)刀具左补偿