

# 阶梯轴类零件的数控加工工艺与编程

# 引例

图3-1所示为一滑轮轴零件图，属阶梯轴零件。已知其材料为45热轧圆钢，毛坯为 $\phi 35 \times 72\text{mm}$ 棒料。要求制定零件的加工工艺，编写零件的数控加工程序，并通过数控仿真加工调试、优化程序。

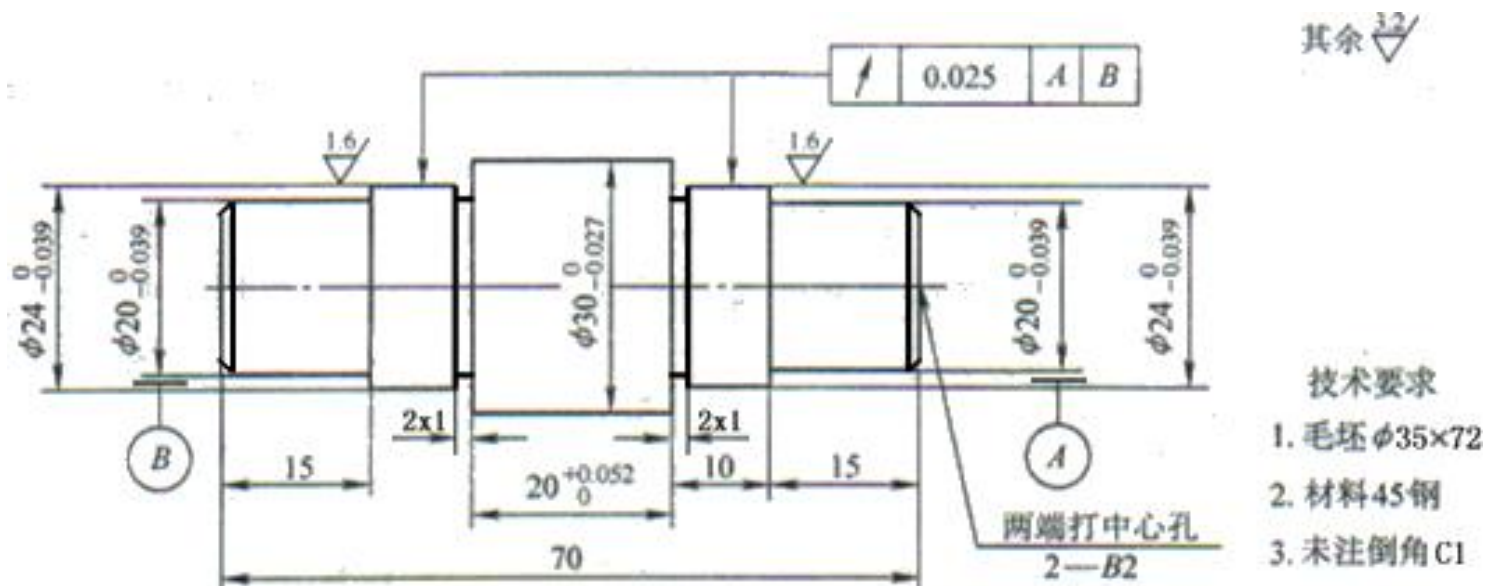


图3-1 滑轮轴零件图

# 1 知识学习

## 1.1 阶梯轴加工工艺特点

### 1. 阶梯轴的结构工艺特点

轴零件的类型很多，常见轴的结构形状如图3-2所示。

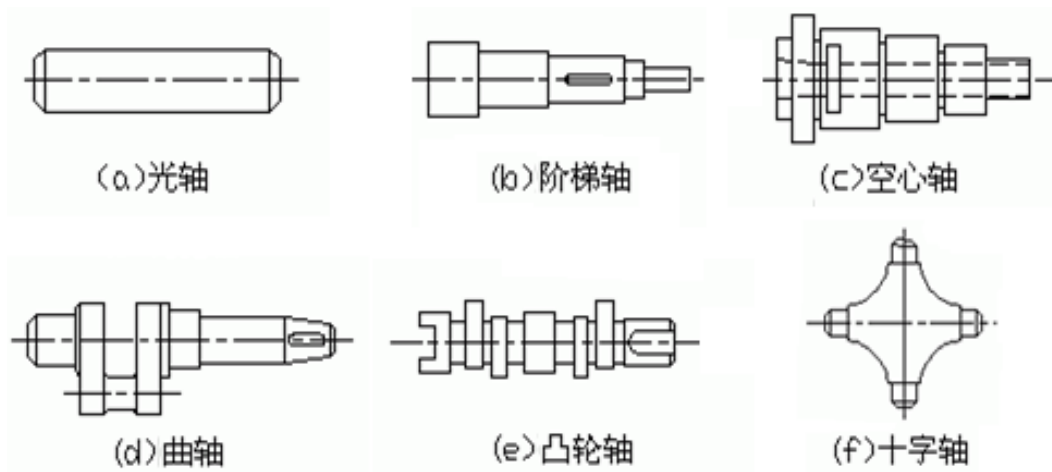


图3-2 轴的结构

轴类零件可由车床加工成型的表面形状有：外圆柱面、内孔、圆锥面、螺纹面、圆弧面等，如图3-3所示。

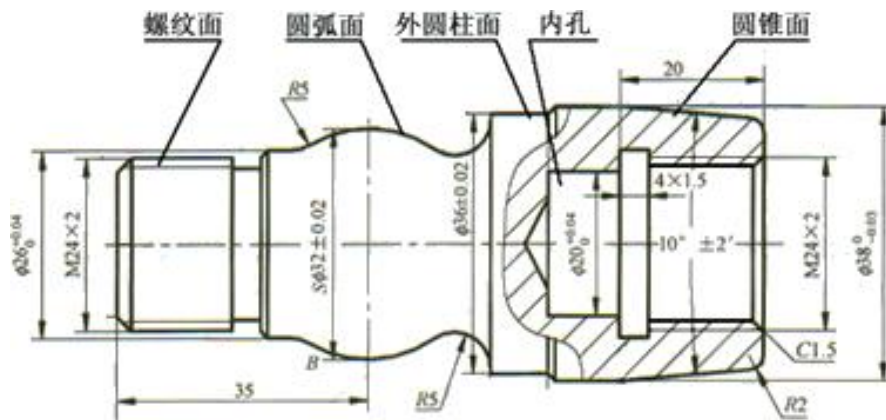


图3-3 轴类零件表面形状

# 1 知识学习

## 2. 阶梯轴加工阶段的划分和加工顺序的安排

一般把加工阶段划分为毛坯处理、粗加工、半精加工、精加工四个阶段。

### (1) 毛坯处理

毛坯备料、锻造和正火

### (2) 粗加工阶段

粗加工：锯去多余部分，车端面、钻中心孔和荒车外圆等。

### (3) 半精加工阶段

半精加工前热处理：对于45钢一般采用调质处理以达到220~240HBS；

半精加工：半精车外圆、端面和钻、车内孔，车工艺锥面(定位锥孔)等。

### (4) 精加工阶段

对于轴表面硬度要求不高，精车就可满足要求的阶梯轴，可直接精车；对于轴表面硬度、精度和粗糙度要求较高的轴或轴段，要做磨削加工。

零件加工用的粗、精基准选定后，总是先加工定位基准面，为后面的工序做好准备。

# 1 知识学习

## 3. 阶梯轴零件加工的刀具选择

阶梯轴零件的数控车削主要有车外圆、端面、沟槽和切断。常用的刀具有外圆车刀和外圆切刀，如图3-4所示。

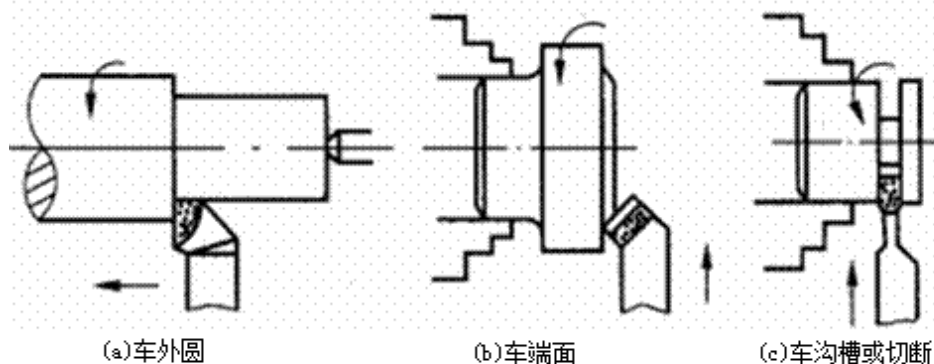


图 3-4 轴类零件车削

### (1) 外圆车刀的选择

粗车削加工阶段应选强度大、排屑好的车刀。一般应选主偏角 $90^\circ$ 、 $93^\circ$ 、 $95^\circ$ ，副偏角较小，前角和后角较小，刃倾角较小，排屑槽排屑顺畅的车刀。

精车加工阶段应选用刀刃锋利、带有修光刃的车刀，并且排屑槽必须使切屑排向工件待加工表面方向。一般应选择主偏角 $95^\circ$ 、 $107^\circ$ 、 $117^\circ$ ，副偏角较小，前角和后角较大，刃倾角较大的车刀。

### (2) 切断刀的选择

根据所切槽宽选择切断刀的宽度；切削刃长度要大于槽深。

### (3) 切刀的装夹

①切刀伸出刀架不宜过长，刀头中心线必须装得与工件轴线垂直。

②切断实心工件时，切刀刀尖必须装得与工件轴线等高。

# 1 知识学习

## 4. 阶梯轴的车削走刀路线

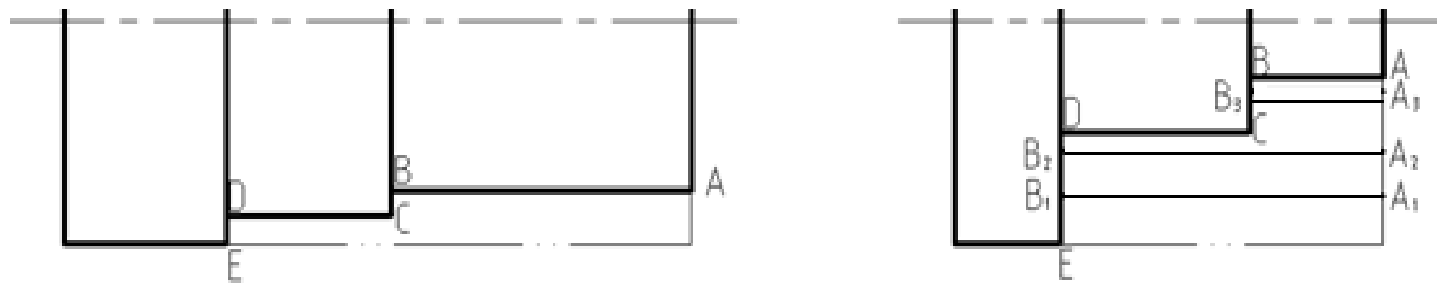
阶梯轴的车削方法分低台阶车削和高台阶车削两种方法。

### (1) 低台阶车削

相邻两圆柱体直径差较小，可用车刀一次切出。加工路线为A→B→C→D→E。如图3-5a所示。

### (2) 高台阶车削

相邻两圆柱体直径差较大，采用分层切削，粗加工路线依次为A1→B1、A2→B2、A3→B3精加工路线为A→B→C→D→E。如图3-5b所示。



(a) 低台阶车削法

(b) 高台阶车削法

图3-5 阶梯轴车削方法

# 1 知识学习

## 1.2 数控系统功能指令

不同的数控系统，其指令的功能不同，编程时需要参考机床制造厂的编程说明书。本书介绍FANUC Oi Mate TC系统的编程指令。

### 1. 准备功能(G指令)

#### (1) 指令功能与格式

准备功能是使机床或数控系统建立起某种加工方式的指令。G代码由地址G和后面的两位数字组成。其G指令见表3-1。

#### (2) 指令使用说明

① FANUC Oi Mate-TC系统G代码有A、B、C三种类型代码，表3-1中为A类型代码。

② G代码按其功能的不同分为若干组。不同组的G代码在同一个程序段中可以出现多个。

③ G代码有两类：模态式G代码和非模态式G代码。非模态式G代码只限于在被指定的程序段中有效，而模态式G代码具有续效性，在后续程序段中，只要同组其他G代码未出现之前一直有效。00组的G代码为非模态，其他均为模态G代码。

# 1 知识学习

## 2. 辅助功能(M功能)

辅助功能是用地址M及两位数字表示的。它主要用来表示机床操作时各种辅助动作及其状态。辅助功能代码及其功能见表3-2。

## 3. 主轴功能(S功能)

主轴功能用于指定机床主轴的转速大小，用地址S和其后的数字组成。其后数值表示主轴转速值。S功能与G96、G97和G50配合使用，可以进行恒线速度控制、恒线速取消和主轴最高速度限定控制。

### (1)恒线速度控制(G96)

编程格式：G96 S\_

S后面的数字表示的是恒定的线速度(m/min)。

如图3-6所示，用G96 S150指令加工 $\Phi 80$ 、 $\Phi 60$ 、 $\Phi 40$ 三段不同轴颈时，其切削点线速度为150m/min，而主轴转速分别为：

$n=597\text{r/min}$ ； $n=795\text{r/min}$ ； $n=1193\text{r/min}$ 。

### (2)恒线速取消(G97)

编程格式：G97 S\_

S后面的数值表示恒线速度控制取消后的主轴每分钟的转数（单位为r/min）。

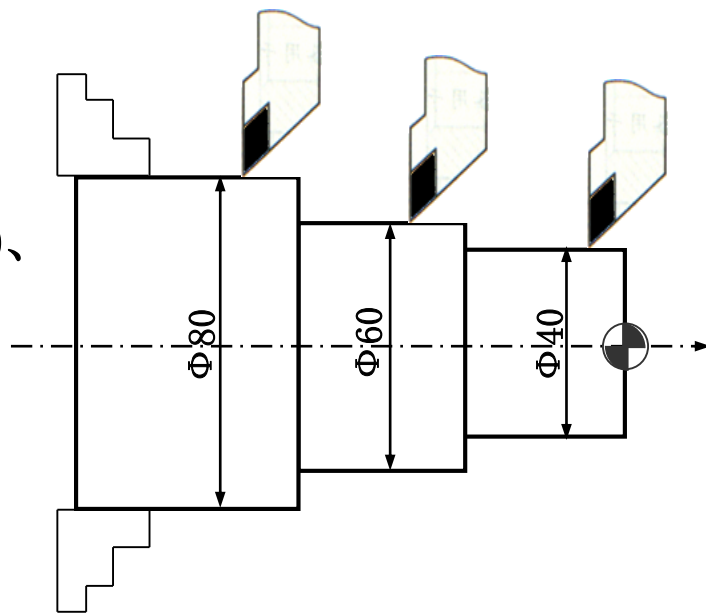


图3-6 恒线速度切削



# 1 知识学习

## (3)主轴最高速度限定(G50)。

编程格式：G50 S\_

指令功能是用S指定的数值设定主轴的最高转速。如G50 S2000表示最高转速限定为2000r/min。

## 4. 进给功能 (F功能)

进给功能用于指定刀具中心运动时的进给速度，用地址F和其后的数字组成。

### (1)每转进给量(G99)

编程格式：G99 F\_

进给量的单位为mm/r。如：G99 F0.2，表示进给量为0.2mm/r。

### (2)每分钟进给量(G98)

编程格式：G98 F\_

进给量的单位为mm/min。如：G98 F200 表示进给量为200mm/min。

### (3)指令使用说明

①编写程序时，第一次编写直线(G01)或圆弧(G02/G03)插补指令时，必须编写F指令，否则，CNC采用F0。

②G98、G99均为模态指令，实际切削进给的速度可由操作面板上的进给倍率修调旋钮在0%~150%之间来调节，但螺纹切削时无效。

# 1 知识学习

## 5. 刀具功能 (T功能)

刀具功能用于指定加工所用刀具和刀具补偿号，用地址T和其后的两位数字或四位数字组成。

### (1)编程格式

T\_

### (2)指令使用说明

T后面是两位数的，表示所选刀具号码；T后面是4位数字的，前两位是刀具号，后两位是刀具补偿号。例如，T0202表示选用2号刀及2号刀具长度补偿和刀尖圆弧半径补偿号。T0200 表示取消刀具补偿。

# 1 知识学习

## 1. 3轴类零件加工基本编程指令

### 1. 工件坐标系设定指令 (G50)

该指令的功能是规定刀具起刀点至工件原点的距离。

#### (1)编程格式

G50 X\_ Z\_ ;

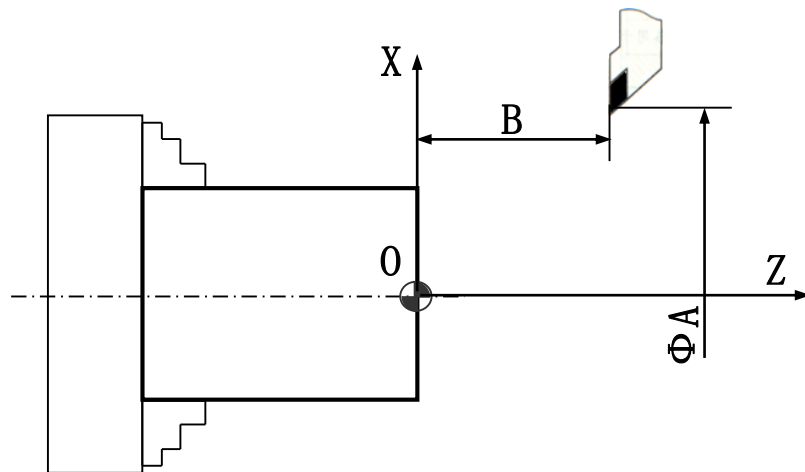


图3-7坐标系设定指令G50

式中：

X、Z——起刀点刀尖(刀位点)相对于加工原点的位置。

在数控车床编程时，所有X坐标值均使用直径值，例如图3-7所示，A的值为100，B的值为80，设置工件坐标系的程序段如下：

G50 X100.0 Z80.0;

执行该程序段后，系统内部即对(X100.0 Z80.0)进行记忆，并显示在显示器上，这就相当于在系统内部建立了一个以工件原点为坐标原点的工件坐标系。

#### (2)指令使用说明

在执行程序段G50 X\_ Z\_前，必须先对刀，通过调整，将刀尖放在程序所要求的起刀点位置上。

# 1 知识学习

## 2. 公制/英制变换(G21、G20)

该指令的功能是指定坐标尺寸的制式。G20指令坐标尺寸以英制输入；G21指令坐标尺寸以公制输入。

### (1)编程格式

G20/G21

### (2)指令使用说明

- ①必须在程序的开头一个独立的程序段指定G20或G21，然后才能输入坐标尺寸。
- ②当系统通电后，NC保留前次关机时的G20或G21；程序中间G20和G21不能转换；G20和G21相互转换时，偏移量相应转换。
- ③FANUC系统需使用小数点输入数字，用于输入十进制的距离、速度、角度或时间。例如：  
Z15.0表示Z向15mm或Z向15英寸；  
G98 F10.0表示速度为10mm/min或10英寸/min；  
G04 X1.0表示暂停1.0s。

# 1 知识学习

## 3. 快速点位运动指令 (G00)

该指令的功能是控制刀具以点位控制方式，从刀具当前点快速移动到目标点。

### (1) 编程格式

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

式中：X(U)、Z(W)——刀具移动目标点坐标。X、Z为绝对坐标，U、W为增量坐标。

如图3-8所示，刀具从A点快速移动到B点，绝对坐标编程格式为：

G00 X6.0 Z6.0;

增量坐标编程格式为：

G00 U4.0 W4.0;

### (2) 指令使用说明

①使用G00指令时，刀具的实际运动路线因机床的数控系统而异，不一定是直线，有可能是折线。使用时，要了解具体的数控系统，要注意刀具是否与工件和夹具发生干涉。对不适合联动的场合，可逐轴单动。

②使用G00指令时，其移动速度由机床参数来设定的，与F指令无关。

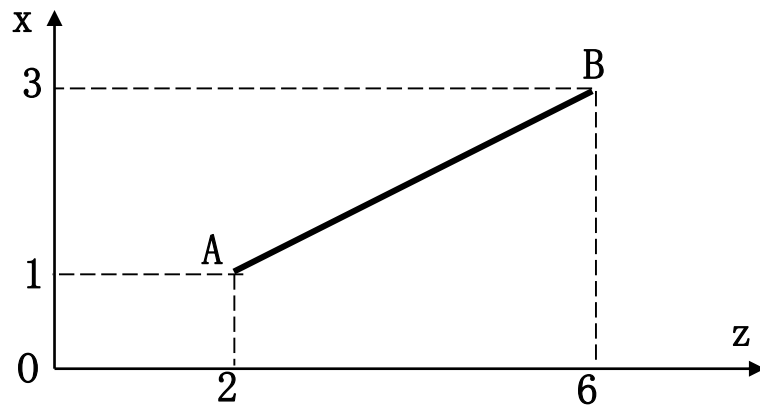


图3-8 刀具由A点移动到B点

# 1 知识学习

## 4. 直线插补指令 (G01)

功能是使刀具以指定进给速度F，从当前点以直线插补方式移动到目标点。

### (1)编程格式

G01 X(U)\_ Z(W)\_ F\_;

### (2)指令使用说明

进给速度由F指令决定，F指令是模态指令。

### (3)应用举例

刀具运动轨迹如图3-9所示，选右端面回转中心O为编程原点。

绝对值编程：

...

N10 G00 X50.0 Z5.0 S800 T0101 M03; (P0→P1)

N20 G01 Z-40.0 F0.3; (P1→P2)

N30 X80.0 Z-60.0; (P2→P3)

N40 G00 X200.0 Z100.0; (P3→P0)

...

增量值编程：

...

N10 G00 U-150.0 W-95.0 S800 T0101 M03; (P0→P1)

N20 G01 W-45.0 F0.3; (P1→P2)

N30 U30.0 W-20.0; (P2→P3)

N40 G00 U120.0 W160.0; (P3→P0)

...

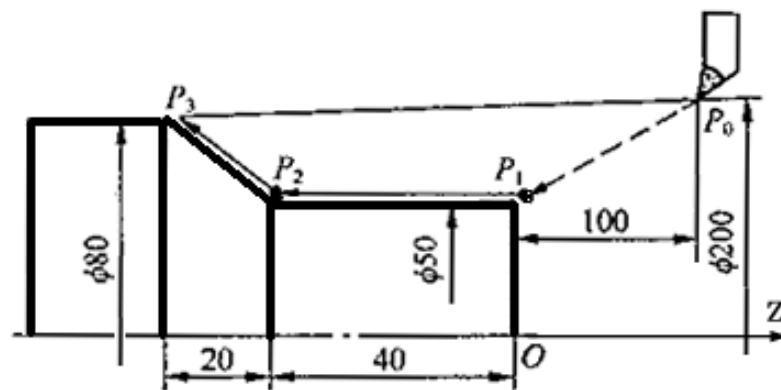


图3-9 直线插补指令G01举例

# 1 知识学习

## 5. 暂停指令 (G04)

指令的功能是使刀具做短时间的停顿。其应用于车削沟槽或钻孔时，为提高槽底或孔底的表面加工质量及有利于切屑充分排出，在加工到孔底或槽底时，暂停适当时间。

### (1)编程格式

G04 X(P)\_

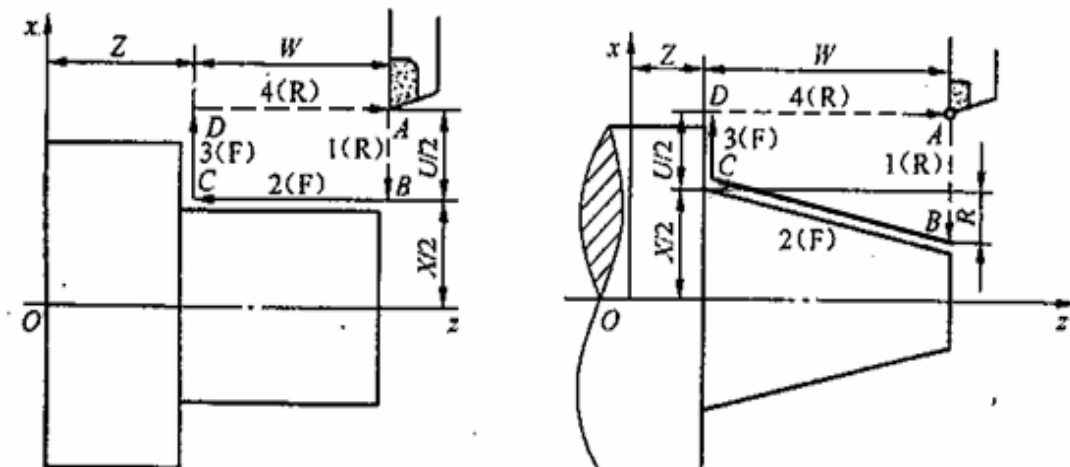
### (2)指令使用说明

地址码X或P为暂停时间。其中：X后面可用带小数点的数，单位为s，如G04 X5.0表示前面的程序执行完后，要经过5s的暂停；地址P后面不允许用小数点，单位为ms。如G04 P1000 表示暂停1s。

# 1 知识学习

## 6. 外径/内径单一固定循环指令 (G90)

单一固定循环可以将加工的一系列连续动作：切入-切削-退刀-返回，用一个循环指令完成。圆柱加工如图3-10a所示，圆锥面加工如图3-10b所示。



(a) 圆柱面单一固定循环

(b) 圆锥面单一固定循环

图3-10单一固定循环指令 (G90)

### (1) 编程格式

① 圆柱面切削循环：G90 X(U) \_ Z(W) \_ F \_ ;

② 圆锥面切削循环：G90 X(U) \_ Z(W) \_ R \_ F \_ ;

式中：X(U)、Z(W)——循环切削终点坐标：

X、Z——每次循环切削终点（图3-10中C点）的绝对坐标值；

U、W——每次循环切削终点相对于循环起点（图3-10中A点）的增量坐标值。

R——圆锥面切削的起点（如图3-10中B点）相对于终点的半径差。



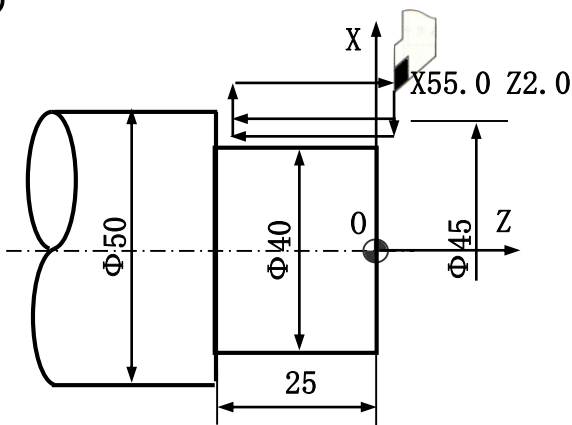
# 1 知识学习

## (2)应用举例

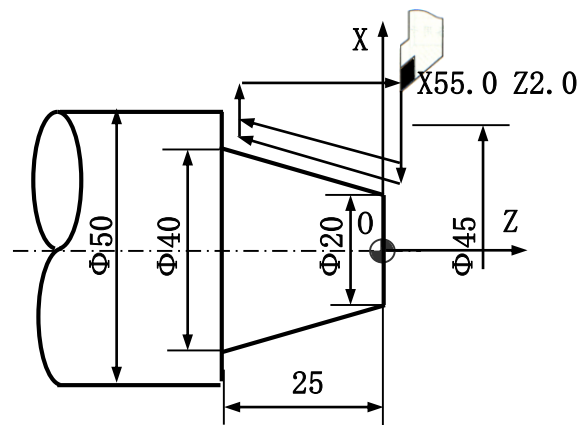
应用G90指令编写图3-11所示的零件加工程序。

### ①圆柱面加工（绝对值编程）

```
T0101;  
M03 S1000;  
G00 X55.0 Z2.0;  
G90 X45.0 Z-25.0 F0.4;  
X40.0;  
G00 X100.0; Z100.0;  
M30;
```



(a) 圆柱面



(b) 圆锥面

图3-11单一循环指令（G90）应用

### ②圆锥面加工（增量值编程）

```
T0101;  
M03 S1000;  
G00 X55.0 Z2.0;  
G90 U-10.0 W-27.0 R-10.0 F0.4;  
U-15.0;  
G00 X100.0; Z100.0;  
M30;
```

注意：G90和尺寸代码都是模态代码。

## 2 引例分析

### 工艺分析

#### 1. 零件图分析

如图3-1所示阶梯轴，该零件结构简单，有3个左右对称的台阶面，尺寸精度要求都较高， $\phi 24\text{mm}$ 外圆有圆跳动公差要求，且 $\phi 24\text{mm}$ 表面粗糙度要求较高 $Ra1.6$ ，其余 $Ra3.2$ 。轴向尺寸中需要控制总长70。

#### 2. 装夹方案

为保证 $\phi 30\text{mm}$ 大外圆的圆跳动公差，选用两顶尖装夹，以轴心线定位，在保证形位公差的前提下加工此工件。选取工件右端面中心为工件坐标系原点。

#### 3. 确定加工顺序及走刀路线

工序一：在普车上车两端面并打好中心孔。

工序二：两顶尖装夹，车削右轮廓至尺寸要求。

工步一：粗 $\phi 30$ 及右端 $\phi 20\text{mm}$ 、 $\phi 24\text{mm}$ 圆柱面。

工步二：车右端宽 $2\text{mm}$ 的沟槽。

工步三：精车 $\phi 30$ 及右端 $\phi 20\text{mm}$ 、 $\phi 24\text{mm}$ 圆柱面至尺寸要求，倒角。

工序三：反头，两顶尖装夹，车削左轮廓至尺寸要求。

工步一：粗车左端 $\phi 20\text{mm}$ 、 $\phi 24\text{mm}$ 圆柱面。

工步二：车左端宽 $2\text{mm}$ 的沟槽。

工步三：精车左端 $\phi 20\text{mm}$ 、 $\phi 24\text{mm}$ 圆柱面至尺寸要求，倒角。

## 2 引例分析

### 4. 刀具与工艺参数

#### (1) 确定刀具

车外圆选用 $93^\circ$  外圆车刀（装刀架1号刀位）；切槽选用宽2mm切刀（装刀架2号刀位）。刀具与工艺参数见表3-3。

表3-3 数控刀具卡

产品名称或代号		xxx	零件名称		滑轮轴	零件图号		3-1
序号	刀具号	刀具名称及规格		数量	刀长(mm)	加工表面		备注
1	T0101	93° 菱形外圆车刀		1		粗、精车外轮廓		
2	T0202	2mm切槽刀		1		车2mm槽		
编制	xxx	审核	xxx	批准	xxx	年 月 日	共 页	第 页

#### (2) 确定切削用量

①背吃刀量的选择。轮廓粗车循环时选 $a_p=2\text{mm}$ ，精车 $a_p=0.2\text{mm}$ 。

②主轴转速的选择。查表1-4选粗车 $v_c=100\text{m/min}$ 、精车 $v_c=120\text{m/min}$ 、切槽 $v_c=70\text{m/min}$ 。用式(1-1)计算主轴转速 $n$ (粗车直径取 $D=35\text{mm}$ ，精车取 $D=30\text{mm}$ ，切槽取 $D=24\text{mm}$ )：粗车 $n=900\text{r/min}$ 、精车 $n=1250\text{r/min}$ ；切槽 $n=900\text{r/min}$ 。

③进给速度的选择。查表1-4（同时考虑工件表面粗糙度的要求，参照表1-3）选择粗车、精车每转进给量。粗车每转进给量为 $0.3\text{mm/r}$ ，精车和切槽每转进给量为 $0.15\text{mm/r}$ 。

## 2 引例分析

### 5. 编写数控加工工序卡

阶梯轴数控加工工序卡见表3-4、3-5。

表3-4

数控加工工序卡1

数控加工工序卡			产品名称			零件名称		零件图号	
						滑轮轴		3-1	
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号			使用设备		车间	
001	00301	双顶尖				CAK6150DJ			
工步号	工步内容	切削用量			刀具		量具名称	备注	
		主轴转速 (r/min)	进给量 (mm/r)	背吃刀量 (mm)	编号	名称			
1	粗车 $\phi 30$ 及右端 $\phi 20$ 、 $\phi 24$ 外圆留1mm余量	900	0.3	2	T0101	93° 外圆车刀	游标卡尺	自动	
2	车右端2mm沟槽	900	0.15		T0202	2mm切槽刀	游标卡尺	自动	
3	精车 $\phi 30$ 及右端 $\phi 20$ 、 $\phi 24$ 外圆至尺寸要求	1250	0.15	0.2	T0101	93° 外圆车刀	游标卡尺	自动	
编制		审核		批准		共1页	第1页		

表3-5

数控加工工序卡2

数控加工工序卡			产品名称			零件名称		零件图号	
						滑轮轴		3-1	
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号			使用设备		车间	
002	00302	双顶尖				CAK6150DJ			
工步号	工步内容	切削用量			刀具		量具名称	备注	
		主轴转速 (r/min)	进给量 (mm/r)	背吃刀量 (mm)	编号	名称			
1	粗车左端 $\phi 20$ 、 $\phi 24$ 外圆留1mm余量	900	0.3	2	T0101	93° 外圆车刀	游标卡尺	自动	
2	车左端2mm沟槽	900	0.15		T0202	2mm切槽刀	游标卡尺	自动	
3	精车左端 $\phi 20$ 、 $\phi 24$ 外圆至尺寸要求	1250	0.15	0.2	T0101	93° 外圆车刀	游标卡尺	自动	
编制		审核		批准		共1页	第1页		

### 3 阶梯轴

用 $\Phi 30\text{mm}$ 的棒料，车削如下阶梯轴。

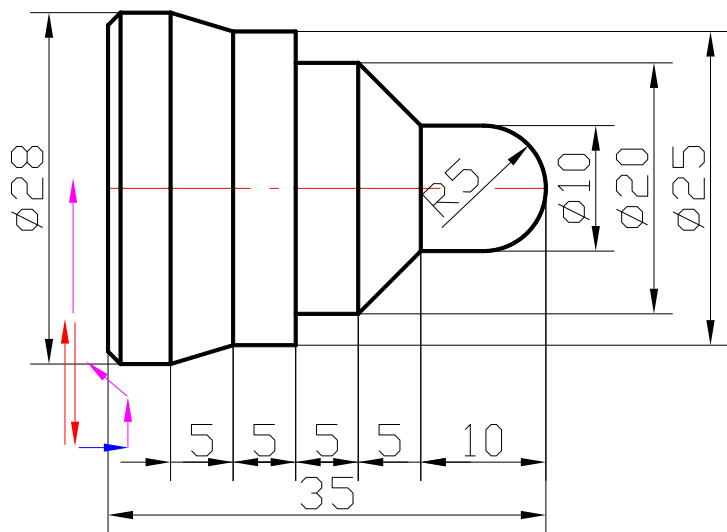


图3-12 阶梯轴零件图

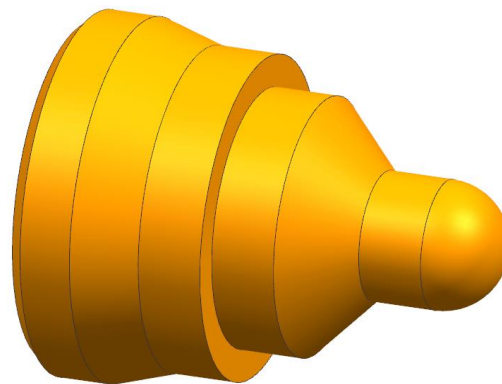


图3-13 阶梯轴三维模型

# 3 阶梯轴

## 编写数控加工工序卡

阶梯轴数控加工工序卡如下：

数控加工工序卡

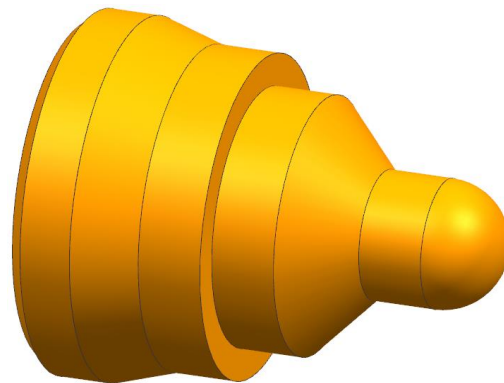
数控加工工序卡			产品名称		零件名称		零件图号		
					阶梯轴		3-2		
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号			使用设备		车间	
001	00303	双顶尖				CAK6150DJ			
工步号	工步内容		切削用量			刀具		量具名称	备注
			主轴转速 (r/min)	进给量 (mm/r)	背吃刀量 (mm)	编号	名称		
1	粗车 $\phi 28$ 、 $\phi 25$ 、 $\phi 20$ 、 $\phi 10$ 外圆		600	0.3	2	T0101	93° 外圆车刀	游标卡尺	自动
2	精车 $\phi 28$ 、 $\phi 25$ 、 $\phi 20$ 、 $\phi 10$ 外圆 至尺寸要求		1200	0.15	0.2	T0101	93° 外圆车刀	游标卡尺	自动
3	倒角，切断		500	0.15	0.2	T0303	3mm切槽刀	游标卡尺	自动
编制	审核		批准			共1页		第1页	

### 3 阶梯轴

编写车削阶梯轴的程序如下：

```
O0001
M3 S600 T0101
G0 X30 Z2
G71 U1 R1 F120
G71 P1 Q2 U0.8 W0.1
N1 G0 X-1
G1 Z0
X0
G3 X10 W-5 R5
G1 Z-10
X20 W-5
W-5
X25
W-5
X28 W-5
N2 Z-38
M3 S1000 T0101
G0 X30 Z2
G70 P1 Q2 S1200 F80
G0 X100 Z50
M5
M0
```

```
T0202 M3 S500
G0 X30 Z-38
G94 X26 F50
G0 W1
G1 X28
G1 X26 W-1
G1 X0
G0 X100
Z50
M30
```



### 3 阶梯轴

#### 操作要点及注意事项：

- (1) 严格按照数控车床的操作规程和安全规程进行操作；
- (2) 开机后，进行数控车床空载运行，检查车床各部分运行状况；
- (3) 对刀时，切槽刀以右刀尖作为编程的刀位点；
- (4) 正确使用游标卡尺、外径千分尺测量相关的尺寸；
- (5) 为保证零件尺寸的准确性，加工可分半精加工和精加工两步骤来进行，或通过修改刀补的方法来执行；
- (6) 发生事故时，要沉着冷静、积极配合工作人员处理。



### 3 阶梯轴

#### 操作步骤及质量检测：

- (1) 准确快速地输入加工程序；
- (2) 通过数控系统图形仿真加工轨迹，进行程序的校验及修整；
- (3) 使用装夹具正确地安装刀具，进行对刀操作，建立工件坐标系；
- (4) 使用自动运行方式对工件进行自动加工操作；
- (5) 加工过程后，按图纸要求检测工件，对工件进行误差与质量分析；
- (6) 加工完成后，按规定要求润滑保养数控车床。

### 3 阶梯轴

阶梯轴的加工实物如下：



谢谢!