

第 3 章 数控车床的程序编制

数控车床是目前使用最广泛的数控机床之一。数控车床主要用于加工轴类、盘类等回转体零件。通过数控加工程序的运行，可自动完成内外圆柱面、圆锥面、成形表面、螺纹和端面等工序的切削加工，并能进行车槽、钻孔、扩孔、铰孔等工作。车削中心可在一次装夹中完成更多的加工工序，提高加工精度和生产效率，特别适合于复杂形状回转类零件的加工。

3.1 数控车床程序编制的基础

针对回转体零件加工的数控车床，在车削加工工艺、车削工艺装备、编程指令应用等方面都有鲜明的特色。为充分发挥数控车床的效益，下面将结合 HM-077 数控车床的使用，分析数控车床加工程序编制的基础，首先讨论以下三个问题：数控车床的工艺装备；对刀方法；数控车床的编程特点。

3.1.1 数控车床的工艺装备

由于数控车床的加工对象多为回转体，一般使用通用三爪卡盘夹具，因而在工艺装备中，我们将以 WALTER 系列车削刀具为例，重点讨论车削刀具的选用及使用问题。

1、数控车床可转位刀具特点

数控车床所采用的可转位车刀，与通用车床相比一般无本质的区别，其基本结构、功能特点是相同的。但数控车床的加工工序是自动完成的，因此对可转位车刀的要求又有别于通用车床所使用的刀具，具体要求和特点如表 3.1 所示。

表 3.1 可转位车刀特点

要求	特点	目的
精度高	采用 M 级或更高精度等级的刀片； 多采用精密级的刀杆； 用带微调装置的刀杆在机外预调好。	保证刀片重复定位精度，方便坐标设定， 保证刀尖位置精度。
可靠性高	采用断屑可靠性高的断屑槽型或有断屑台和 断屑器的车刀； 采用结构可靠的车刀，采用复合式夹紧结构和 夹紧可靠的其他结构。	断屑稳定，不能有紊乱和带状切屑； 适应刀架快速移动和换位以及整个自动切 削过程中夹紧不得有松动的要求。
换刀迅速	采用车削工具系统； 采用快换小刀夹。	迅速更换不同形式的切削部件，完成多种 切削加工，提高生产效率。
刀片材料	刀片较多采用涂层刀片。	满足生产节拍要求，提高加工效率。
刀杆截形	刀杆较多采用正方形刀杆，但因刀架系统结构 差异大，有的需采用专用刀杆。	刀杆与刀架系统匹配。

2、数控车床刀具的选刀过程

数控车床刀具的选刀过程，如图 3.1 所示。从对被加工零件图样的分析开始，到选定刀具，共需经过十个基本步骤，以图 3.1 中的 10 个图标来表示。选刀工作过程从第 1 图标“零件图样”开始，经箭头所示的两条路径，共同到达最后一个图标“选定刀具”，以完成选刀工作。其中，第一条路线为：零件图样、机床影响因素、选择刀杆、刀片夹紧系统、选择刀片形状，主要考虑机床和刀具的情况；第二条路线为：工件影响因素、选择工件材料代码、确定刀片的断屑槽型代码或 ISO 断屑范围代码、选择加工条件脸谱，这条路线主要考虑工件的情况。综合这两条路线的结果，才能确定所选用的刀具。下面将讨论每一图标的内容及选择办法。

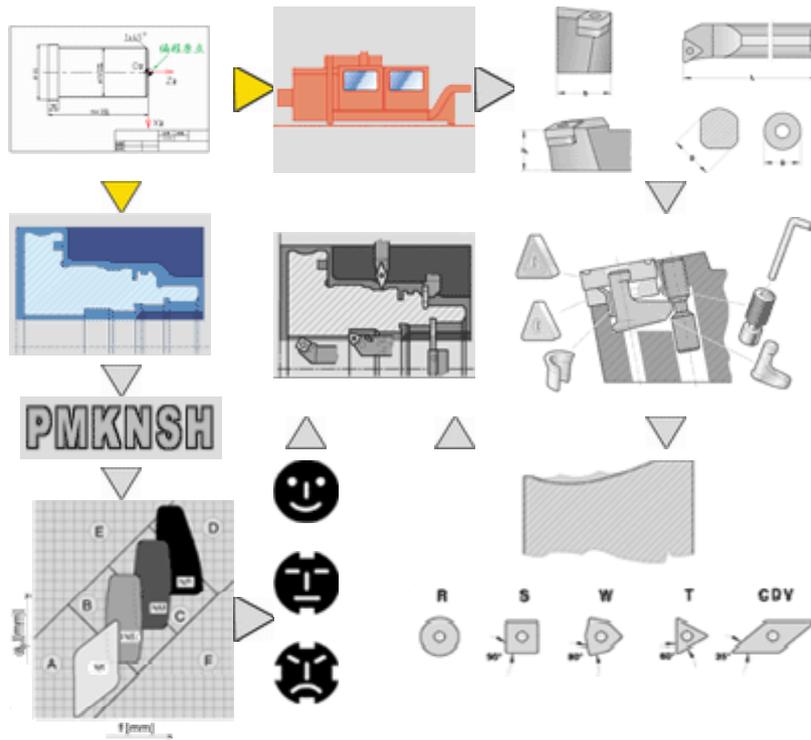


图 3.1 数控车床刀具的选刀过程

(1) 机床影响因素

“机床影响因素”图标如图 3.2 所示。为保证加工方案的可行性、经济性，获得最佳加工方案，在刀具选择前必须确定与机床有关的如下因素：

- 1) 机床类型：数控车床、车削中心；
- 2) 刀具附件：刀柄的形状和直径，左切和右切刀柄；
- 3) 主轴功率；
- 4) 工件夹持方式。

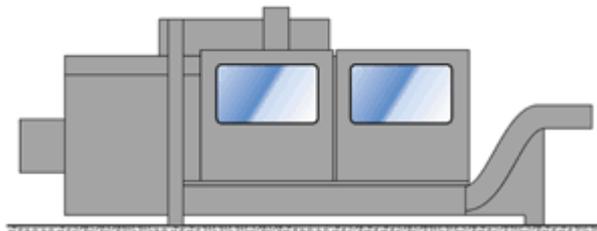


图 3.2 机床影响因素

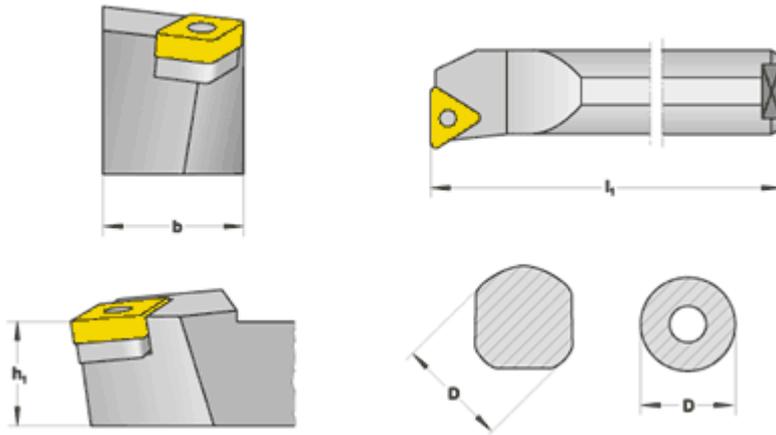


图 3.3 选择刀杆

(2) 选择刀杆

“选择刀杆”图标如图 3.3 所示。其中，刀杆类型尺寸见表 3.2。

表 3.2 刀杆类型尺寸

刀杆类型	外圆加工刀杆
	内孔加工刀杆
	柄部截面形状
刀杆尺寸	柄部直径 D
	柄部长度 l_1
	主偏角

选用刀杆时，首先应选用尺寸尽可能大的刀杆，同时要考虑以下几个因素：

- 1) 夹持方式；
- 2) 切削层截面形状，即切削深度和进给量；
- 3) 刀柄的悬伸。

(3) 刀片夹紧系统

刀片夹紧系统常用杠杆式夹紧系统，“杠杆式夹紧系统”图标如图 3.4 所示。

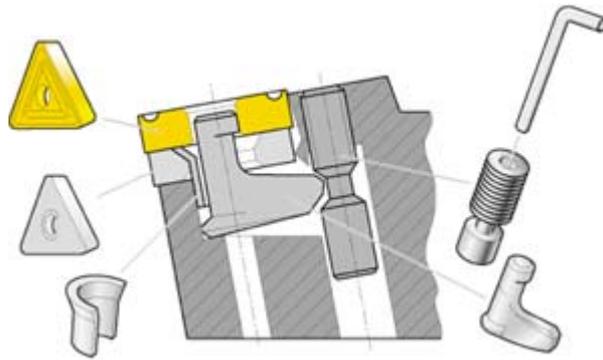


图 3.4 杠杆式夹紧系统

1) 杠杆式夹紧系统

杠杆式夹紧系统是最常用的刀片夹紧方式。其特点为：定位精度高，切屑流畅，操作简便，可与其它系列刀具产品通用。

2) 螺钉夹紧系统

特点：适用于小孔径内孔以及长悬伸加工

(4) 选择刀片形状

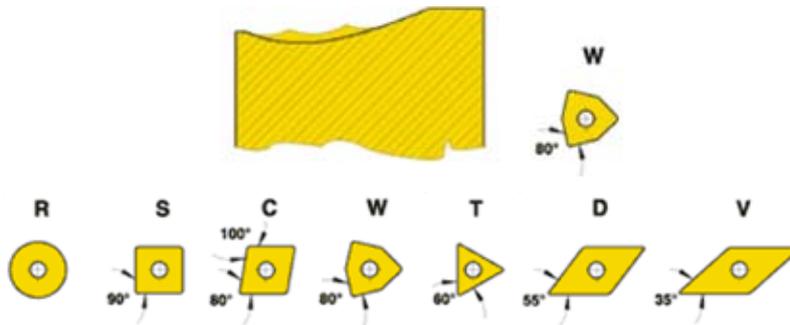


图 3.5 选择刀片形状

“选择刀片形状”图标如图 3.5 所示。主要参数选择方法如下：

1) 刀尖角

刀尖角的大小决定了刀片的强度。在工件结构形状和系统刚性允许的前提下，应选择尽可能大的刀尖角。通常这个角度在 35° 到 90° 之间。

图 3.5 中 R 型圆刀片，在重切削时具有较好的稳定性，但易产生较大的径向力。

表 3.3 刀片形状适用场合

机加工 类型		内孔加工						外圆加工								
可转位 刀片类型		L:D	L:D	L:D	L:D	L:D	L:D	不稳定	稳定	不稳定	稳定	不稳定	稳定	不稳定	稳定	
		2.5	4	2.5	4	2.5	4	2.5	4	2.5	4	2.5	4	2.5	4	
	正型	••	••	••	••					••	•	••	•			
	负型	•		•						•	••	•	••			
	正型					••	••						••	•		
	负型	•		•		•							•	••		
	正型											••				
	负型															
	正型	••	••							•	•					
	负型	•								•	••					
	正型	•	•	•	•	••	••					••	•			
	负型			•		•						•	••			
	正型					••	••	••	••					••	••	••
	负型															
	正型			••	••	••	••			••	•	••	•			
	负型	•		•		•				•	••	•	••			

••-----首选 *-----次选

2) 刀片基本类型

刀片可分为正型和负型两种基本类型。正型刀片：对于内轮廓加工，小型机床加工，工艺系统刚性较差和工件结构形状较复杂应优先选择正型刀片。负型刀片：对于外圆加工，金属切除率高和加工条件较差时应优先选择负型刀片。选择方法见表 3.3。

(5) 工件影响因素

“工件影响因素”图标如图 3.6 所示。
选择刀具时，必需考虑以下与工件有关的因素：

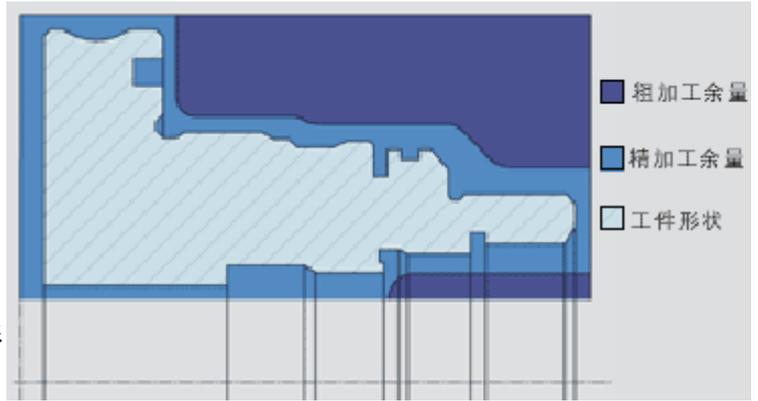


图 3.6 工件影响因素

- 1) 工件形状：稳定性；
- 2) 工件材质：硬度、塑性、韧性、可能形成的切屑类型；
- 3) 毛坯类型：锻件、铸件等；
- 4) 工艺系统刚性：机床夹具、工件、刀具等；
- 5) 表面质量；
- 6) 加工精度；
- 7) 切削深度；
- 8) 进给量；
- 9) 刀具耐用度。

(6)选择工件材料代码

“选择工件材料代码”图标如图 3.7 所示。



图 3.7 选择工件材料代码

表 3.4 选择工件材料代码

加工材料组		代码
钢:	非合金和合金钢 高合金钢 不锈钢, 铁素体, 马氏体	P (蓝)
不锈钢和铸钢:	奥氏体 铁素体——奥氏体	M (黄)
铸铁:	可锻铸铁, 灰口铸铁, 球墨铸铁	K (红)
NF 金属:	有色金属和非金属材料	N (绿)
难切削材料:	以镍或钴为基体的热固性材料 钛, 钛合金及难切削加工的高合金钢	S (棕)
硬材料:	淬硬钢, 淬硬铸件和冷硬模铸件, 锰钢	H (白)

按照不同的机加工性能, 加工材料分成 6 个工件材料组, 他们分别和一个字母和一种颜色对应, 以确定被加工工件的材料组符号代码, 见表 3.4。

(7) 确定刀片的断屑槽型代码或 ISO 断屑范围代码

负型刀片的断屑范围

正型刀片的断屑范围

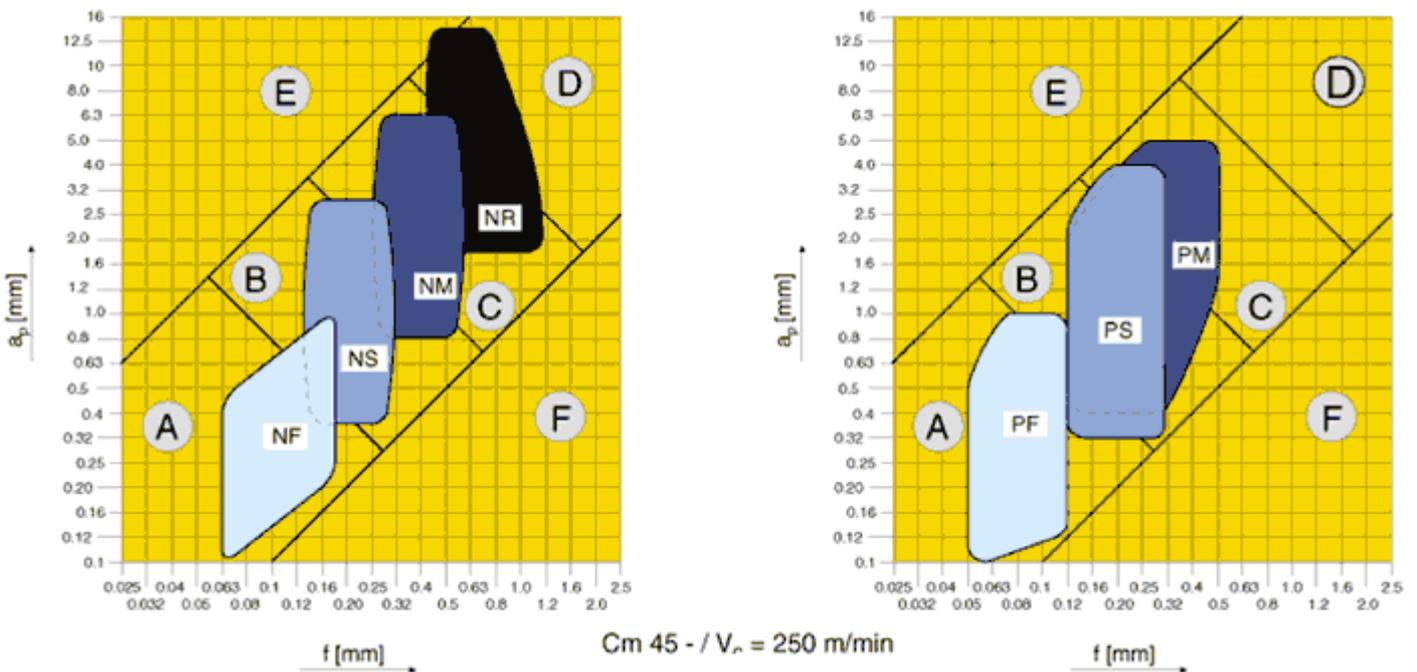


图 3.8 确定刀片断屑槽代码

“确定刀片的断屑槽型代码或 ISO 断屑范围代码”图标如图 3.8 所示。ISO 标准按切削深度 a_p 和进给量的大小将断屑范围分为 A、B、C、D、E、F 六个区, 其中 A、B、C、D 为常用区域, WALTER 标准将断

屑范围分为图中各色块表示的区域，ISO 标准和 WALTER 标准可结合使用，如图 3.8 所示。根据选用标准，按加工的切削深度和合适的进给量来确定刀片的 WALTER 断屑槽型代码或 ISO 分类范围。

(8) 选择加工条件脸谱

“选择加工条件脸谱”图标如图 3.9 所示，三类脸谱代表了不同的加工条件:很好、好、不足。表 3.5 表示加工条件取决于机床的稳定性、刀具夹持方式和工件加工表面。



图 3.9 加工条件脸谱

表 3.5 选择加工条件

加工方式 \ 机床，夹具和工件系统的稳定性	很好	好	不足
无断续切削加工表面已经过粗加工			
带铸件或锻件硬表层，不断变换切深轻微的断续切削			
中等断续切屑			
严重断续切削			

(9) 选定刀具

“选定刀具”图标如图 3.10 所示。选定工作分以下两方面：

1) 选定刀片材料

根据被加工工件的材料组符号标记、WALTER 槽型、加工条件脸谱，就可得出 WALTER 推荐刀片材料代号，见表 3.6 和表 3.7。

2) 选定刀具

根据工件加工表面轮廓，从刀杆订货页码中选择刀杆。

根据选择好的刀杆，从刀片订货页码中选择刀片

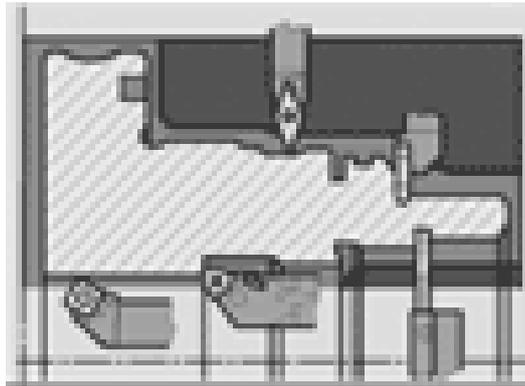


图 3.10 选定刀具

表 3.6 选定刀片材料（选择负型刀片）

工件材料组	ISO 分类范围	WALTER 槽代码			
P (蓝)	AB	...-NS4	WAK10	WAP20	WAM20
	B	...-NS8	WAP10	WAP20	WAP30
	BC	...-NM4	WAP10	WAP20	WAP30
	C	...-NM7	WAP10	WAP20	WAP30
	CD	...-NR7	WAP10	WAP20	WAP30
M (黄)	AB	...-NS4	WAM20	WAM20	WAM20
	BC	...-NM4	WAP30	WAM20	WAM20
	CD	...-NR7	WAP30	WAP30	WAP30
K (红)	-	...-NS4	WAK10	WAP20	WAP20
	-	...-NS8	WAK10	WAP20	WAP30
	-	...-NM4	WAK10	WAK10	WAP30
	-	.NMA	WAK10	WAK10	-

表 3.7 选定刀片材料(选择正型刀片)

工件材料组	ISO 分类范围	WALTER 槽代码			
P (蓝)	AB	...-PS4	WAK10	WAP20	WAM20
	BC	...-PM5	WAP10	WAP20	WAP30
M (黄)	AB	...-PS4	WAM20	WAM20	WAM20
	BC	...-PM5	WAP30	WAP30	WAP30
K (红)	-	...-PS4	WAK10	WAK20	WAP20
	-	...-PM5	WAP10	WAP20	WAP30
N (绿)	-	...-PM2	WK1	WK1	WK1

3.1.2 对刀

数控车削加工中，应首先确定零件的加工原点，以建立准确的加工坐标系，同时考虑刀具的不同尺寸对加工的影响。这些都需要通过对刀来解决。

1、一般对刀

一般对刀是指在机床上使用相对位置检测手动对刀。下面以 Z 向对刀为例说明对刀方法，见图 3.11。

刀具安装后，先移动刀具手动切削工件右端面，再沿 X 向退刀，将右端面与加工原点距离 N 输入数控系统，即完成这把刀具 Z 向对刀过程。

手动对刀是基本对刀方法，但它还是没跳出传统车床的“试切—测量—调整”的对刀模式，占用较多的在机床上时间。此方法较为落后。

2、机外对刀仪对刀

机外对刀的本质是测量出刀具假想刀尖点到刀具台基准之间 X 及 Z 方向的距离。利用机外对刀仪可将刀具预先在机床外校对好，以便装上机床后将对刀长度输入相应刀具补偿号即可以使用，如图 3.12 所示。

3、自动对刀

自动对刀是通过刀尖检测系统实现的，刀尖以设定的速度向接触式传感器接近，当刀尖与传感器接触并发出信号，数控系统立即记下该瞬间的坐标值，并自动修正刀具补偿值。自动对刀过程如图 3.13 所示。

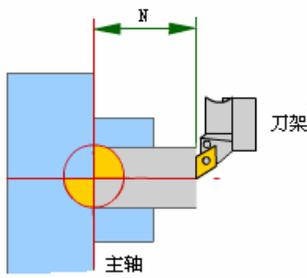


图 3.11 相对位置检测对刀



图 3.12 机外对刀仪对刀

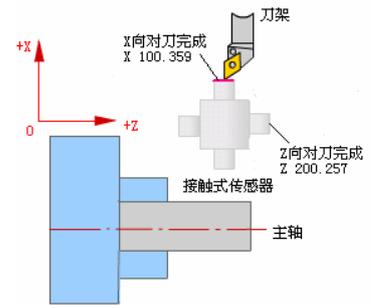


图 3.13 自动对刀

3.1.3 数控车床的编程特点

1、加工坐标系

加工坐标系应与机床坐标系的坐标方向一致，X轴对应径向，Z轴对应轴向，C轴（主轴）的运动方向则以从机床尾架向主轴看，逆时针为+C向，顺时针为-C向，如图 3.14 所示：

加工坐标系的原点选在便于测量或对刀的基准位置，一般在工件的右端面或左端面上。

2、直径编程方式

在车削加工的数控程序中，X轴的坐标值取为零件图样上的直径值，如图 3.15 所示：图中 A 点的坐标值为（30，80），B 点的坐标值为（40，60）。采用直径尺寸编程与零件图样中的尺寸标注一致，这样可避免尺寸换算过程中可能造成的错误，给编程带来很大方便。

3、进刀和退刀方式

对于车削加工，进刀时采用快速走刀接近工件切削起点附近的某个点，再改用切削进给，以减少空走刀的时间，提高加工效率。切削起点的确定与工件毛坯余量大小有关，应以刀具快速走到该点时刀尖不与工件发生碰撞为原则。如图 3.16 所示。

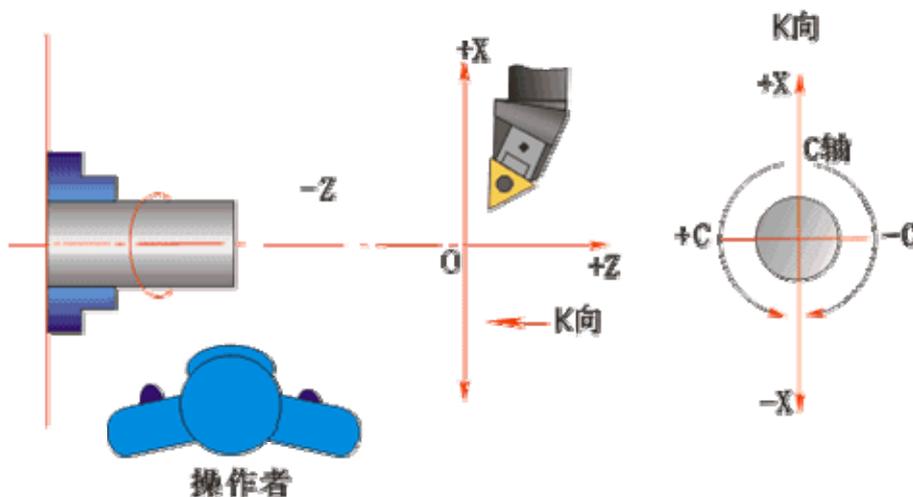


图 3.14 数控车床坐标系

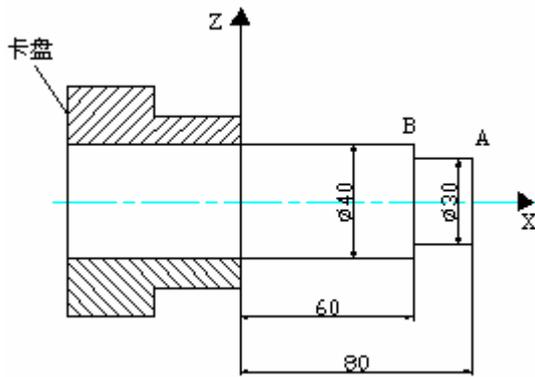


图 3.15 直径编程

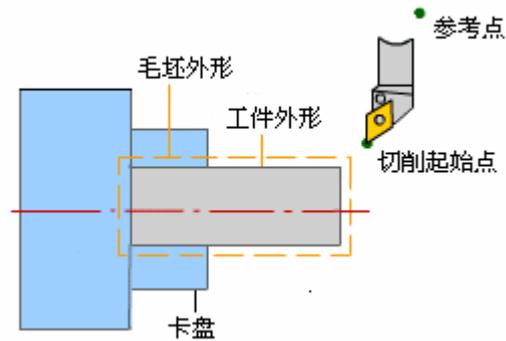


图 3.16 切削起始点的确定

3.2 数控车床的基本编程方法

数控车削加工包括内外圆柱面的车削加工、端面车削加工、钻孔加工、螺纹加工、复杂外形轮廓回转面的车削加工等，在分析了数控车床工艺装备和数控车床编程特点的基础上，下面将结合配置 FANUC-0T 数控系统的 HM-077 数控车床重点讨论数控车床基本编程方法。

3.2.1 F 功能

F 功能指令用于控制切削进给量。在程序中，有两种使用方法。

1、每转进给量

编程格式 G95 F[~]

F 后面的数字表示的是主轴每转进给量，单位为 mm/r。

例：G95 F0.2 表示进给量为 0.2 mm/r。

2、每分钟进给量

编程格式 G94 F[~]

F 后面的数字表示的是每分钟进给量，单位为 mm/min。

例：G94 F100 表示进给量为 100mm/min。

3.2.2 S 功能

S 功能指令用于控制主轴转速。

编程格式 S~

S 后面的数字表示主轴转速，单位为 r/min。在具有恒线速功能的机床上，S 功能指令还有如下作用。

1、最高转速限制

编程格式 G50 S~

S 后面的数字表示的是最高转速：r/min。

例：G50 S3000 表示最高转速限制为 3000r/min。

2、恒线速控制

编程格式 G96 S~

S 后面的数字表示的是恒定的线速度：m/min。

例：G96 S150 表示切削点线速度控制在 150 m/min。

对图 3.17 中所示的零件，为保持 A、B、C 各点的线速度在 150 m/min，则各点在加工时的主轴转速分别为：

$$A: n=1000 \times 150 \div (\pi \times 40) = 1193 \text{ r/min}$$

$$B: n=1000 \times 150 \div (\pi \times 60) = 795 \text{ r/min}$$

$$C: n=1000 \times 150 \div (\pi \times 70) = 682 \text{ r/min}$$

3、恒线速取消

编程格式 G97 S~

S 后面的数字表示恒线速度控制取消后的主轴转速，如 S 未指定，将保留 G96 的最终值。

例：G97 S3000 表示恒线速控制取消后主轴转速 3000 r/min。

3.2.3 T 功能

T 功能指令用于选择加工所用刀具。

编程格式 T~

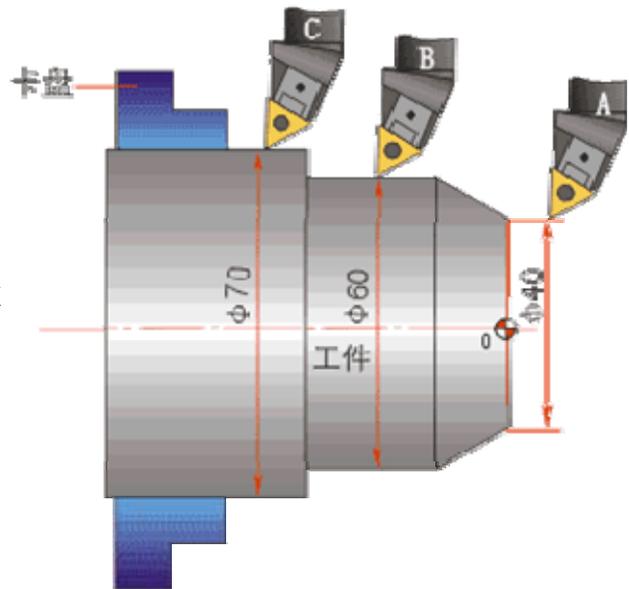


图 3.17 恒线速切削方式

T 后面通常有两位数表示所选择的刀具号码。但也有 T 后面用四位数字，前两位是刀具号，后两位是刀具长度补偿号，又是刀尖圆弧半径补偿号。

例：T0303 表示选用 3 号刀及 3 号刀具长度补偿值和刀尖圆弧半径补偿值。T0300 表示取消刀具补偿。

3.2.4 M 功能

M00：程序暂停，可用 NC 启动命令（CYCLE START）使程序继续运行；

M01：计划暂停，与 M00 作用相似，但 M01 可以用机床“任选停止按钮”选择是否有效；

M03：主轴顺时针旋转；

M04：主轴逆时针旋转；

M05：主轴旋转停止；

M08：冷却液开；

M09：冷却液关；

M30：程序停止，程序复位到起始位置。

3.2.5 加工坐标系设置

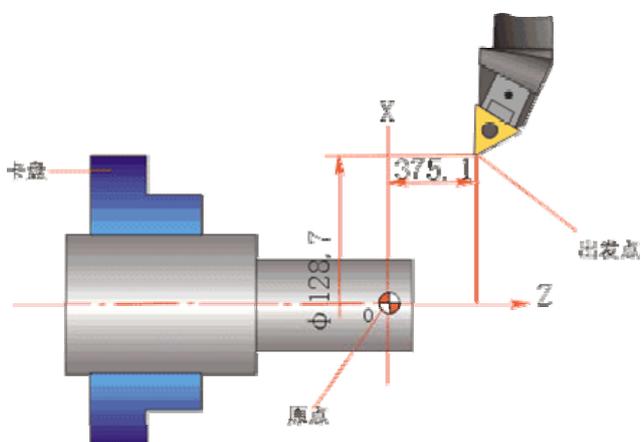
编程格式 G50 X~ Z~

式中 X、Z 的值是起刀点相对于加工原点的位置。G50 使用方法与 G92 类似。

在数控车床编程时，所有 X 坐标值均使用直径值，如图 3.19 所示。

例：按图 3.18 设置加工坐标的程序段如下：

G50 X128.7 Z375.1



3.18 设定加工坐标系

3.2.6 倒角、倒圆编程

1、45° 倒角

由轴向切削向端面切削倒角，即由 Z 轴向 X 轴倒角，i 的正负根据倒角是向 X 轴正向还是负向，如图 3.19a 所示。其编程格式为 $G01 Z(W) \sim I \pm i$ 。

由端面切削向轴向切削倒角，即由 X 轴向 Z 轴倒角，k 的正负根据倒角是向 Z 轴正向还是负向，如图 3.19b 所示。

编程格式 $G01 X(U) \sim K \pm k$ 。

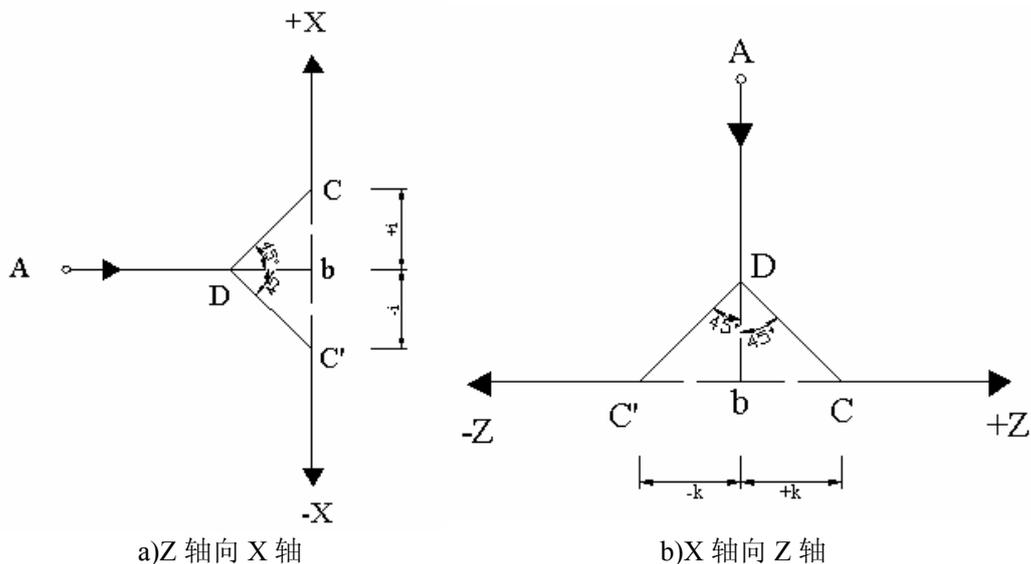


图 3.19 倒角

2、任意角度倒角

在直线进给程序段尾部加上 C~，可自动插入任意角度的倒角。C 的数值是从假设没有倒角的拐角交点距倒角始点或与终点之间的距离，如图 3.20 所示。

例：G01 X50 C10

X100 Z-100

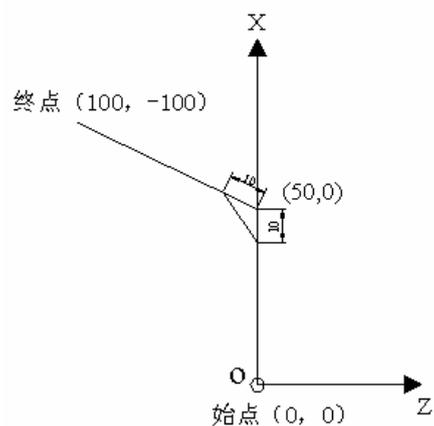


图 3.20 任意角度倒角

3、倒圆角

编程格式 G01 Z(W) ~ R±r 时，圆弧倒角情况如图 3.21a 所示。

编程格式 G01 X(U) ~ R±r 时，圆弧倒角情况如图 3.21b 所示。

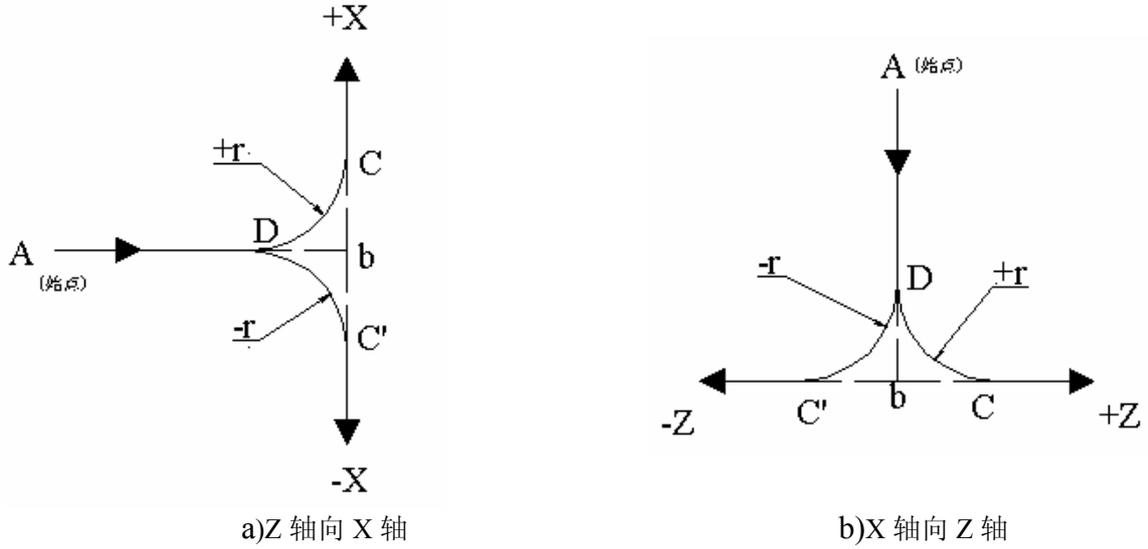


图 3.21 倒圆角

4、任意角度倒圆角

若程序为 G01 X50 R10 F0.2

X100 Z-100

则加工情况如图 3.22 所示。

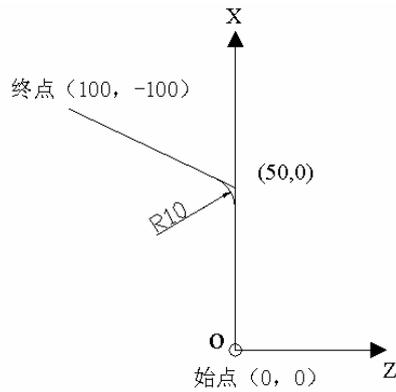


图 3.22 任意角度倒圆角

例：加工图 3.23 所示零件的轮廓，程序如下：

```
G00 X10 Z22
G01 Z10 R5 F0.2
X38 K-4
Z0
```

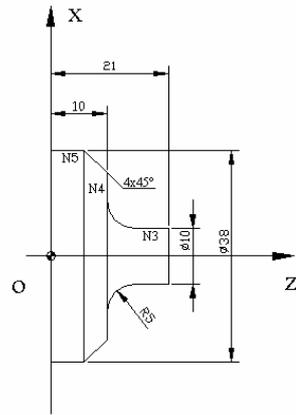


图 3.23 应用例图

3.2.7 刀尖圆弧自动补偿功能

编程时，通常都将车刀刀尖作为一点来考虑，但实际上刀尖处存在圆角，如图 3.24 所示。当用按理论刀尖点编出的程序进行端面、外径、内径等与轴线平行或垂直的表面加工时，是会产生误差的。但在进行倒角、锥面及圆弧切削时，则会产生少切或过切现象，如图 3.25 所示。具有刀尖圆弧自动补偿功能的数控系统能根据刀尖圆弧半径计算出补偿量，避免少切或过切现象的产生。

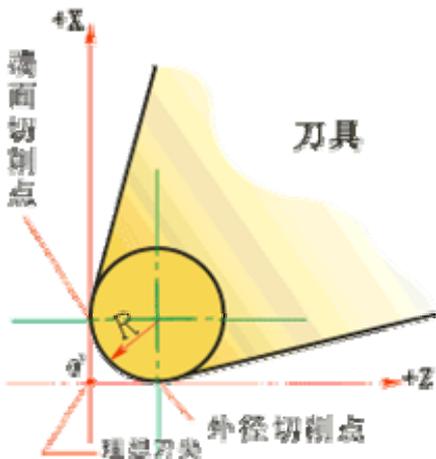


图 3.24 刀尖圆角 R

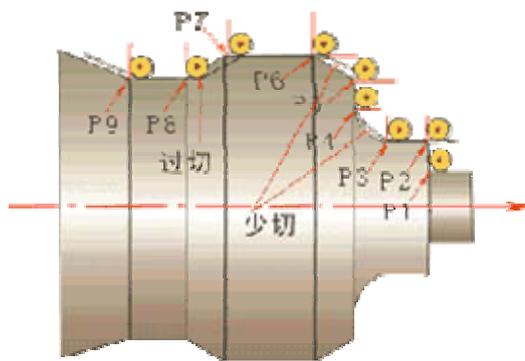


图 3.25 刀尖圆角 R 造成的少切与过切

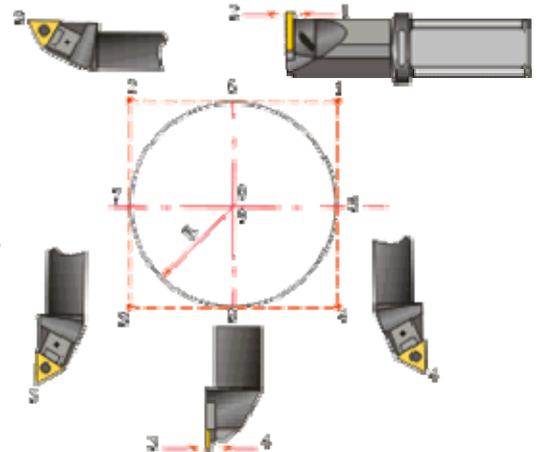


图 3.26 刀尖圆角 R 的确定方法

G40--取消刀具半径补偿，按程序路径进给。

G41--左偏刀具半径补偿，按程序路径前进方向刀具偏在零件左侧进给。

G42--右偏刀具半径补偿，按程序路径前进方向刀具偏在零件右侧进给。

在设置刀尖圆弧自动补偿值时，还要设置刀尖圆弧位置编码，指定编码值的方法参考图 3.26。

例：应用刀尖圆弧自动补偿功能加工图 3.27 所示零件：

刀尖位置编码：3

N10 G50 X200 Z175 T0101

N20 M03 S1500

N30 G00 G42 X58 Z10 M08

N40 G96 S200

N50 G01 Z0 F1.5

N60 X70 F0.2

N70 X78 Z-4

N80 X83

N90 X85 Z-5

N100 G02 X91 Z-18 R3 F0.15

N110 G01 X94

N120 X97 Z-19.5

N130 X100

N140 G00 G40 G97 X200 Z175 S1000

N150 M30

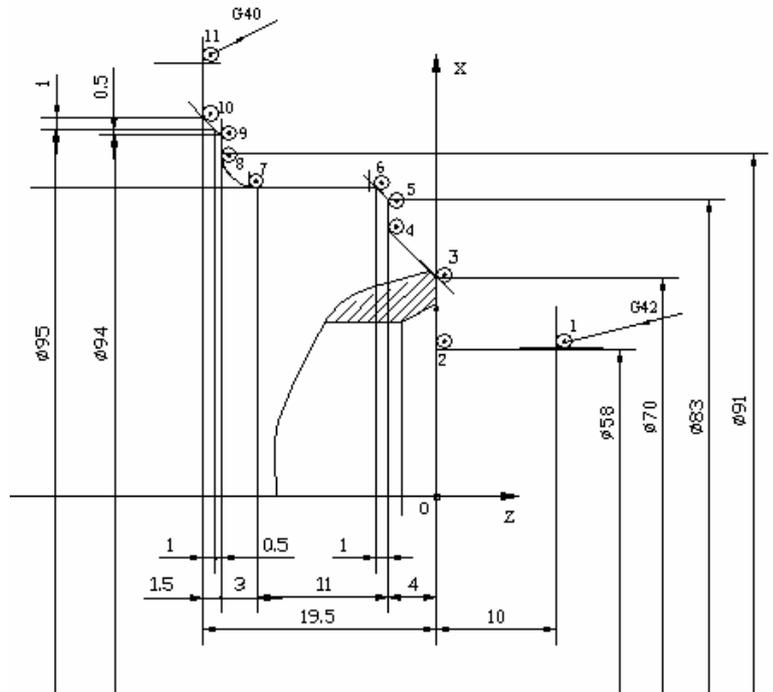


图 3.27 刀具补偿编程

3.2.8 单一固定循环

单一固定循环可以将一系列连续加工动作，如“切入-切削-退刀-返回”，用一个循环指令完成，从而简化程序。

1、圆柱面或圆锥面切削循环

圆柱面或圆锥面切削循环是一种单一固定循环，圆柱面单一固定循环如图 3.28 所示，圆锥面单一固定循环如图 3.30 所示。

(1) 圆柱面切削循环

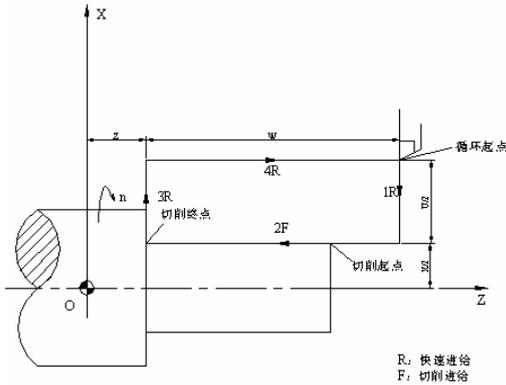


图 3.28 圆柱面切削循环

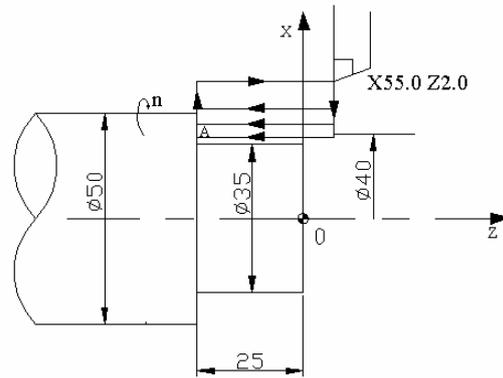


图 3.29 G90 的用法（圆柱面）

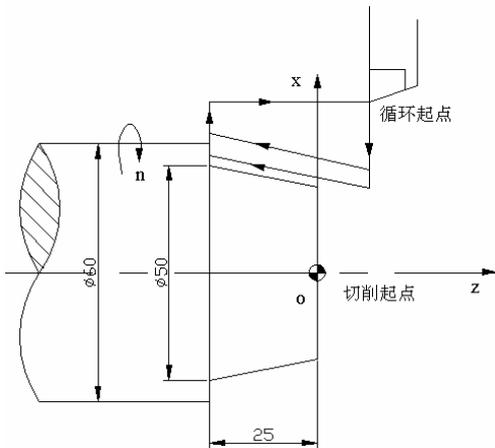


图 3.30 圆锥面切削循环

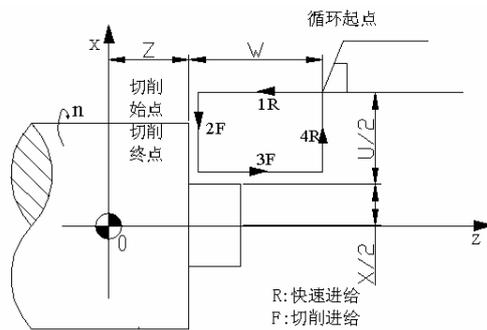


图 3.31 端面切削循环

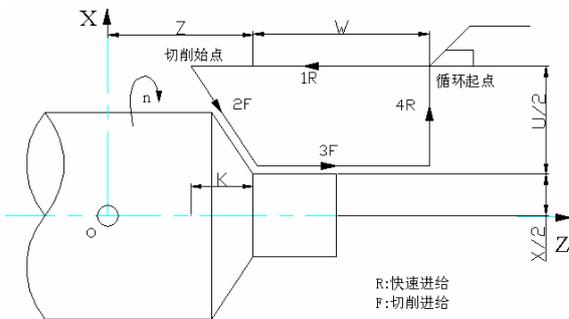


图 3.32 锥面端面切削循环

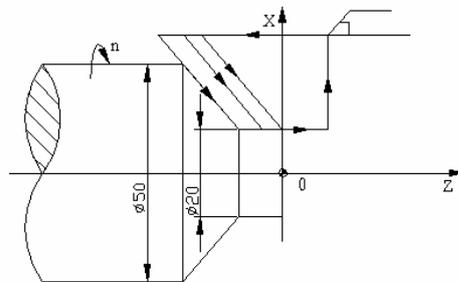


图 3.33 G94 的用法（锥面）

编程格式 G90 X(U) ~ Z(W) ~ F~

式中：X、Z—圆柱面切削的终点坐标值；

U、W—圆柱面切削的终点相对于循环起点坐标分量。

例：应用圆柱面切削循环功能加工图 3.29 所示零件。

```
N10 G50 X200 Z200 T0101
```

```
N20 M03 S1000
```

```
N30 G00 X55 Z4 M08
```

```
N40 G01 G96 Z2 F2.5 S150
```

```
N50 G90 X45 Z-25 F0.2
```

```
N60 X40
```

```
N70 X35
```

```
N80 G00 X200 Z200
```

```
N90 M30
```

(2) 圆锥面切削循环

编程格式 G90 X(U) ~ Z(W) ~ I~ F~

式中：X、Z—圆锥面切削的终点坐标值；

U、W—圆锥面切削的终点相对于循环起点的坐标；

I—圆锥面切削的起点相对于终点的半径差。如果切削起点的 X 向坐标小于终点的 X 向坐标，I 值为负，反之为正。如图 3.30 所示。

例：应用圆锥面切削循环功能加工图 3.30 所示零件。

.....

```
G01 X65 Z2
```

```
G90 X60 Z-35 I-5 F0.2
```

```
X50
```

```
G00 X100 Z200
```

.....

2、端面切削循环

端面切削循环是一种单一固定循环。适用于端面切削加工，如图 3.31 所示。

(1) 平面端面切削循环

编程格式 G94 X(U)~ Z(W)~ F~

式中：X、Z- 端面切削的终点坐标值；

U、W-端面切削的终点相对于循环起点的坐标。

例：应用端面切削循环功能加工图 3.31 所示零件。

.....

G00 X85 Z5

G94 X30 Z-5 F0.2

Z-10

Z-15

.....

(2) 锥面端面切削循环

编程格式 G94 X(U)~ Z(W)~ K~ F~

式中：X、Z- 端面切削的终点坐标值；

U、W-端面切削的终点相对于循环起点的坐标；

K- 端面切削的起点相对于终点在 Z 轴方向的坐标分量。当起点 Z 向坐标小于终点 Z 向坐标时 K 为负，反之为正。如图 3.32 所示。

例：应用端面切削循环功能加工图 3.33 所示零件。

.....

G94 X20 Z0 K-5 F0.2

Z-5

Z-10

.....

3.2.9 复合固定循环

在复合固定循环中，对零件的轮廓定义之后，即可完成从粗加工到精加工的全过程，使程序得到进一步简化。

1、外圆粗切循环

外圆粗切循环是一种复合固定循环。适用于外圆柱面需多次走刀才能完成的粗加工，如图 3.34 所示。

编程格式：

G71 U(Δd) R(e)
 G71 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s)
 T(t)

式中：

Δd —背吃刀量；

e—退刀量；

ns—精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf—精加工轮廓程序段中结束程序段的段号；

Δu —X 轴向精加工余量；

Δw —Z 轴向精加工余量；

f、s、t—F、S、T 代码。

注意：

1、ns→nf 程序段中的 F、S、T 功能，即使被指定也对粗车循环无效。

2、零件轮廓必须符合 X 轴、Z 轴方向同时单调增大或单调减少；X 轴、Z 轴方向非单调时，ns→nf 程序段中第一条指令必须在 X、Z 向同时有运动。

例：按图 3.35 所示尺寸编写外圆粗切循环加工程序。

```

N10 G50 X200 Z140 T0101
N20 G00 G42 X120 Z10 M08
N30 G96 S120
N40 G71 U2 R0.5
N50 G71 P60 Q120 U2 W2 F0.25
N60 G00 X40 //ns
N70 G01 Z-30 F0.15
N80 X60 Z-60
N90 Z-80
    
```

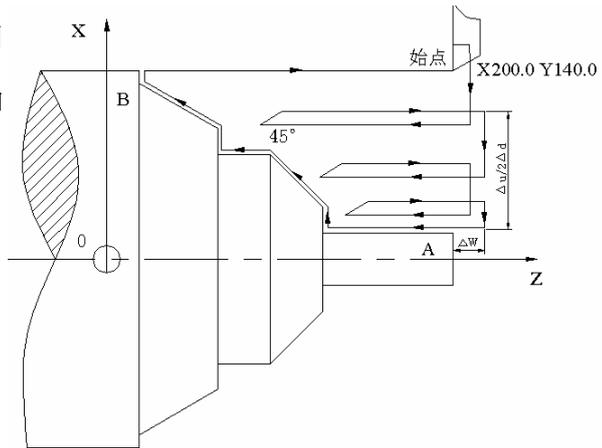


图 3.34 外圆粗切循环

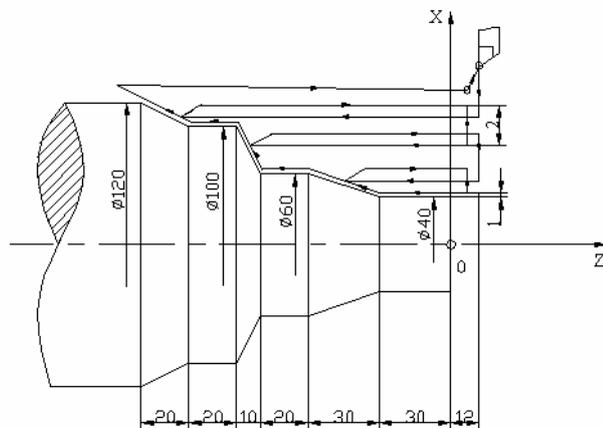


图 3.35 G71 程序例图

N100 X100 Z-90

N110 Z-110

N120 X120 Z-130 //nf

N130 G00 X125

N140 X200 Z140

N150 M02

2、端面粗切循环

端面粗切循环是一种复合固定循环。端面粗切循环适于 Z 向余量小，X 向余量大的棒料粗加工，如图 3.36 所示。

编程格式

G72 U(Δd) R(e)

G72 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t)

式中：

Δd -背吃刀量；

e-退刀量；

ns-精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf-精加工轮廓程序段中结束程序段的段号；

Δu -X 轴向精加工余量；

Δw -Z 轴向精加工余量；

f、s、t-F、S、T 代码。

注意：

(1) ns→nf 程序段中的 F、S、T 功能，即使被指定对粗车循环无效。

(2) 零件轮廓必须符合 X 轴、Z 轴方向同时单调增大或单调减少。

例：按图 3.37 所示尺寸编写端面粗切循加工程序。

N10 G50 X200 Z200 T0101

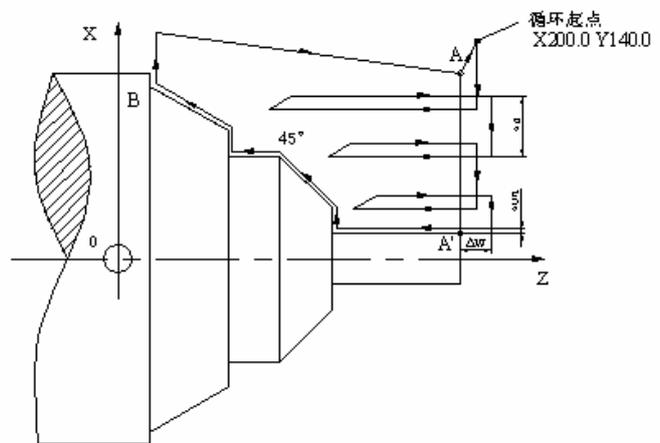


图 3.36 端面粗加工切削循环

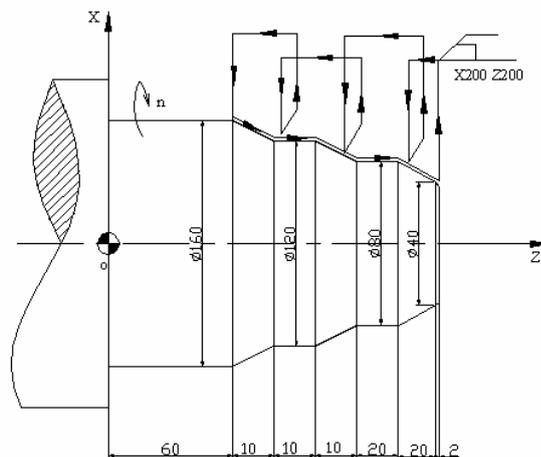


图 3.37 G72 程序例图

```

N20 M03 S800
N30 G90 G00 G41 X176 Z2 M08
N40 G96 S120
N50 G72 U3 R0.5
N60 G72 P70 Q120 U2 W0.5 F0.2
N70 G00 X160 Z60 //ns
N80 G01 X120 Z70 F0.15
N90 Z80
N100 X80 Z90
N110 Z110
N120 X36 Z132 //nf
N130 G00 G40 X200 Z200
N140 M30

```

3、封闭切削循环

封闭切削循环是一种复合固定循环，如图 3.38 所示。封闭切削循环适于对铸、锻毛坯切削，对零件轮廓的单调性则没有要求。

编程格式 G73 U(i) W(k) R(d)

G73 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t)

式中：i--X 轴向总退刀量；

k--Z 轴向总退刀量（半径值）；

d--重复加工次数；

ns--精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf--精加工轮廓程序段中结束程序段的段号；

Δu --X 轴向精加工余量；

Δw --Z 轴向精加工余量；

f、s、t--F、S、T 代码。

例：按图 3.39 所示尺寸编写封闭切削循环加工程序。

```

N01 G50 X200 Z200 T0101
N20 M03 S2000
N30 G00 G42 X140 Z40 M08
N40 G96 S150
N50 G73 U9.5 W9.5 R3
N60 G73 P70 Q130 U1 W0.5 F0.3
N70 G00 X20 Z0 //ns
N80 G01 Z-20 F0.15
N90 X40 Z-30
N100 Z-50
N110 G02 X80 Z-70 R20
N120 G01 X100 Z-80
N130 X105 //nf
N140 G00 X200 Z200 G40
N150 M30

```

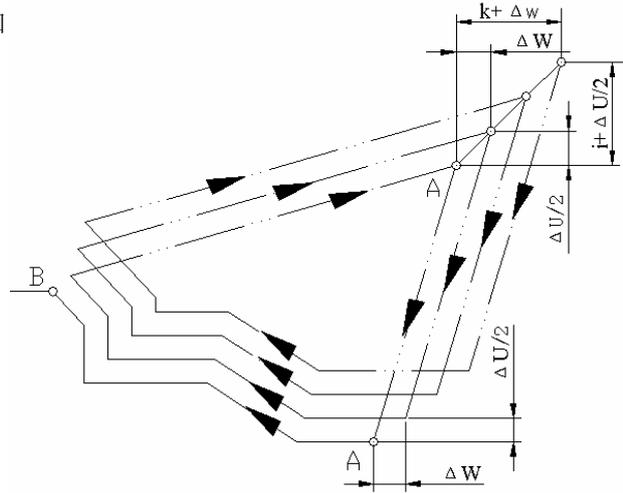


图 3.38 封闭切削循环

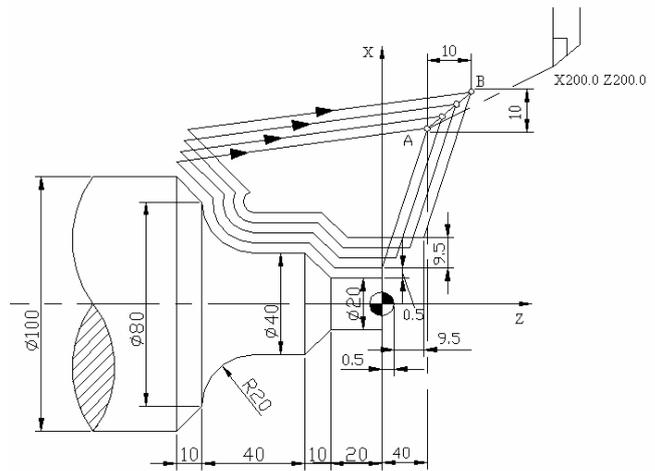


图 3.39 G73 程序例图

4、精加工循环

由 G71、G72、G73 完成粗加工后，可以用 G70 进行精加工。精加工时，G71、G72、G73 程序段中的 F、S、T 指令无效，只有在 ns----nf 程序段中的 F、S、T 才有效。

编程格式 G70 P(ns) Q(nf)

式中：ns-精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf-精加工轮廓程序段中结束程序段的段号。

例：在 G71、G72、G73 程序应用例中的 nf 程序段后再加上“G70 Pns Qnf”程序段，并在 ns----nf 程序段中加上精加工适用的 F、S、T，就可以完成从粗加工到精加工的全过程。

3.2.10 深孔钻循环

深孔钻循环功能适用于深孔钻削加工，如图 3.40 所示。

编程格式 G74 R(e)

G74 Z(W) Q(Δk) F

式中：e -- 退刀量；

Z(W) -- 钻削深度；

Δk -- 每次钻削长度（不加符号）。

例：采用深孔钻削循环功能加工图 3.40 所示深孔，试编写加工程序。其中：e=1， $\Delta k=20$ ，F=0.1。

N10 G50 X200 Z100 T0202

N20 M03 S600

N30 G00 X0 Z1

N40 G74 R1

N50 G74 Z-80 Q20 F0.1

N60 G00 X200 Z100

N70 M30

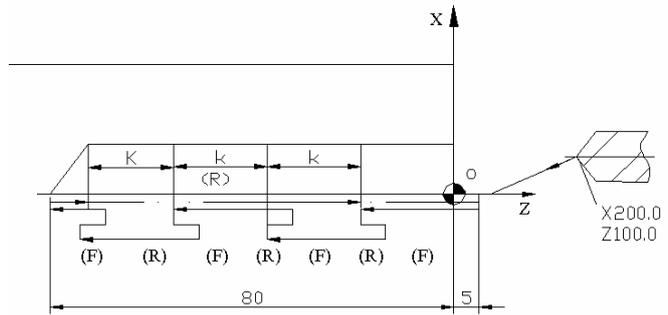


图 3.40 深孔钻削循环

3.2.11 外径切槽循环

外径切削循环功能适合于在外圆面上切削沟槽

或切断加工。

编程格式 G75 R(e)

G75 X(U) P(Δi) F~

式中：e -- 退刀量；

X(U) -- 槽深；

Δi -- 每次循环切削量。

例：试编写进行图 3.41 所示零件切断加工的程

序。

G50 X200 Z100 T0202

M03 S600

G00 X35 Z-50

G75 R1

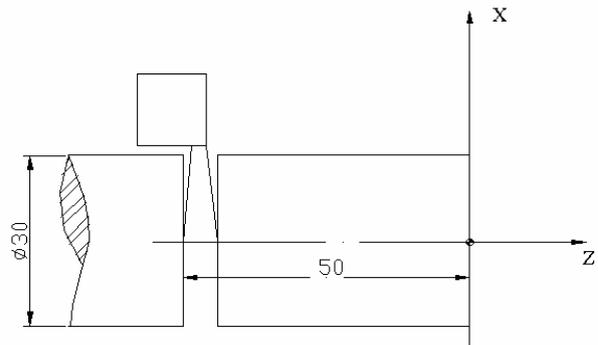


图 3.41 切槽加工

G75 X-1 P5 F0.1

G00 X200 Z100

M30

3.2.12 螺纹切削指令

该指令用于螺纹切削加工。

1、基本螺纹切削指令

基本螺纹切削方法见图 3.42 所示。

编程格式 G32 X(U)~ Z(W)~ F~

式中：

X(U)、Z(W) - 螺纹切削的终点坐标值；X 省略时为圆柱螺纹切削，Z 省略时为端面螺纹切削；X、Z 均不省略时为锥螺纹切削；(X 坐标值依据《机械设计手册》查表确定)

F - 螺纹导程。

螺纹切削应注意在两端设置足够的升速进刀段 δ_1 和降速退刀段 δ_2 。

例：试编写图 3.42 所示螺纹的加工程序。（螺纹导程 4mm，升速进刀段 $\delta_1=3\text{mm}$ ，降速退刀段 $\delta_2=1.5\text{mm}$ ，螺纹深度 2.165 mm）。

.....

G00 U-62

G32 W-74.5 F4

G00 U62

W74.5

U-64

G32 W-74.5

G00 U64

W74.5

.....

例：试编写图 3.43 所示圆锥螺纹的加工程序。（螺纹导程 3.5mm，升速进刀段 $\delta_1=2\text{mm}$ ，降速退刀段 $\delta_2=1\text{mm}$ ，螺纹深度 1.0825 mm）。

```
G00 X12
G32 X41 W-43 F3.5
G00 X50
W43
X10
G32 X39 W-43
G00 X50
W43
```

2、 螺纹切削循环指令

螺纹切削循环指令把“切入-螺纹切削-退刀-返回”四个动作作为一个循环（如图 3.44 所示），用一个程序段来指令。

编程格式 G92 X(U)~ Z(W)~ I~ F~

式中：X(U)、 Z(W) - 螺纹切削的终点坐标值；

I - 螺纹部分半径之差，即螺纹切削起始点与切削终点的半径差。

加工圆柱螺纹时， $I=0$ 。加工圆锥螺纹时，当 X 向切削起始点坐标小于切削终点坐标时，I 为负，反之为正。

例：试编写图 3.45 所示圆柱螺纹的加工程序。

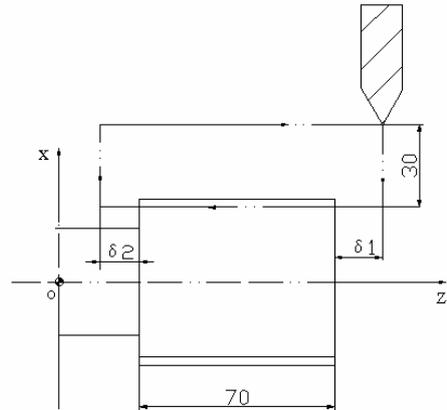


图 3.42 圆柱螺纹切削

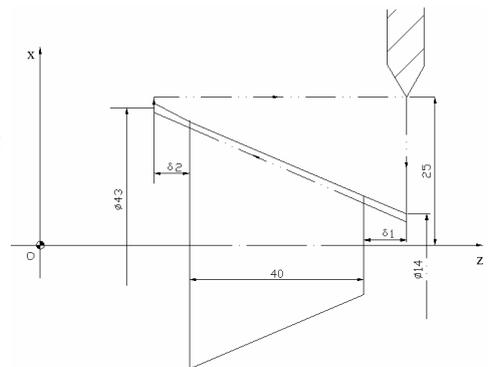


图 3.43 圆锥螺纹切削

.....
 G00 X35 Z104
 G92 X29.2 Z53
 F1.5
 X28.6
 X28.2

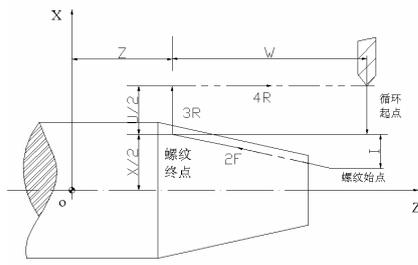


图 3.44 螺纹切削循环

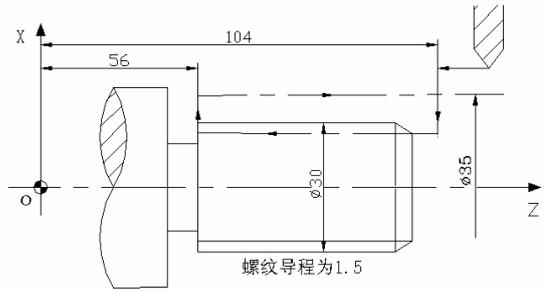


图 3.45 圆柱螺纹切削循环

X28.04
 G00 X200 Z200

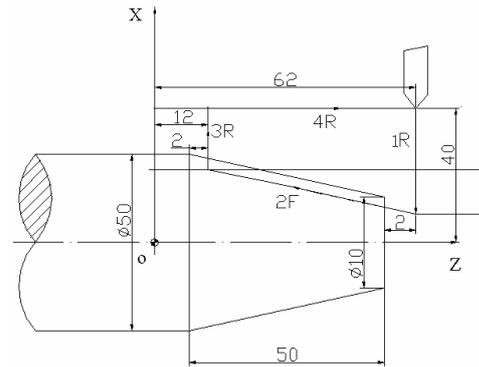


图 3.46 圆锥螺纹切削循环应用

.....
 例：试编写图

3.46 所示圆锥螺纹的
 加工程序。

.....
 G00 X80 Z62
 G92 X49.6 Z12 I-5 F2
 X48.7
 X48.1
 X47.5
 X47
 G00 X200 Z200

3、 复合螺纹切削循环指令

复合螺纹切削循环指令可以完成一个螺纹段的全部加工任务。它的进刀方法有利于改善刀具的切削条件，在编程中应优先考虑应用该指令，如图 3.47 所示。

编程格式 G76 P (m) (r) (α) Q (Δd_{min}) R(d)

G76 X(U) Z(W) R(I) F(f) P(k) Q(Δd)

式中： m - 精加工重复次数；

r - 倒角量；

α - 刀尖角；

Δd_{min} —最小切入量；

d-精加工余量；

X(U) Z(W) - 终点坐标；

I - 螺纹部分半径之差，即螺纹切削起始点与切削终点的半径差。加工圆柱螺纹时， $i=0$ 。加工圆锥螺纹时，当 X 向切削起始点坐标小于切削终点坐标时，I 为负，反之为正。

k - 螺牙的高度（X 轴方向的半径值）；

Δd - 第一次切入量（X 轴方向的半径值）；

f - 螺纹导程。

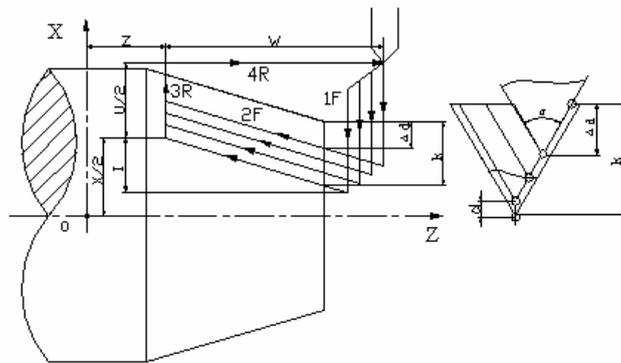


图 3.47 复合螺纹切削循环与进刀法

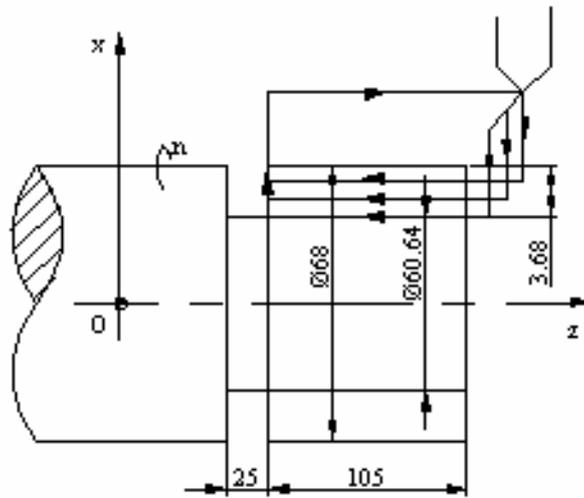


图 3.48 复合螺纹切削循环应用

例：试编写图 3.48 所示圆柱螺纹的加工程序, 螺距为 6mm。

G76 P 02 12 60 Q0.1 R0.1

G76 X60.64 Z23 R0 F6 P3.68 Q1.8

3.3 数控车削加工综合举例

下面以图 3.49 所示的零件来分析数控车削工艺制订和加工程序的编制。

3.3.1 确定工序和装夹方式

该零件（如图 3.49 所示）毛坯是直径 145mm 的棒料。分粗精加工两道工序完成加工。夹紧方式采用通用三爪卡盘。

根据零件的尺寸标注特点及基准统一的原则，编程原点选择零件左端面。

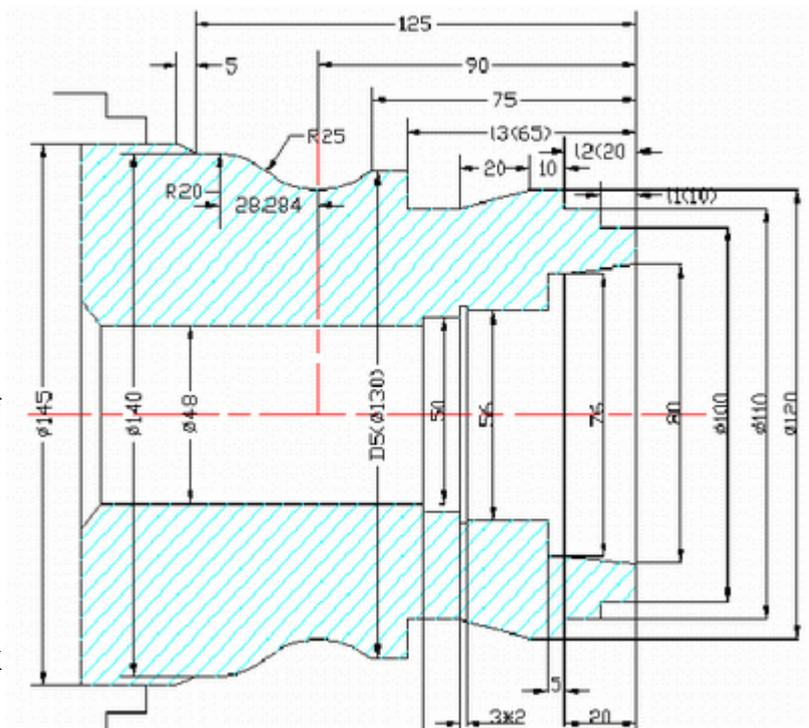


图 3.49 典型零件图

3.3.2 设计和选择工艺装备

1、选择刀具

以选用 WALTER 的刀具为例：

(1) 刀杆选择

根据零件轮廓选择图示刀杆类型，见图 3.50。

根据切削深度，机床刀夹尺寸，从产品目录样本中选择刀杆型号 PDJN R/L 2525 M11，见表 3.8。

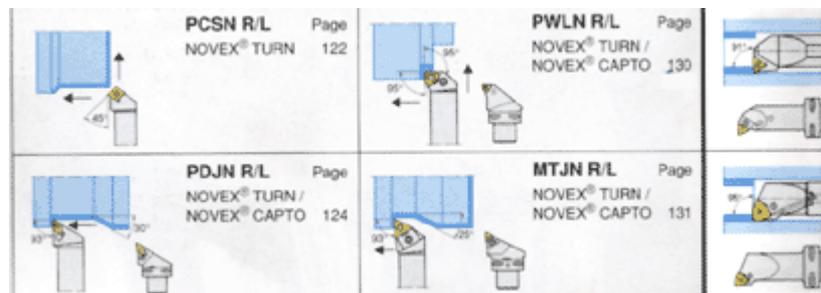


图 3.50 刀杆选择

表 3.8 刀杆型号

Tool	Designation	$h = h_1$ mm	b mm	d_m mm	f mm	l_1 mm
NOVEX® TURN $\kappa = 93^\circ$ 	PDJN R/L 1616 H11	11	16	16	20	100
	PDJN R/L 2020 K11	11	20	20	25	125
	PDJN R/L 2525 M11	11	25	25	32	150
	PDJN R/L 3225 P11	11	32	25	32	170
	PDJN R/L 2020 K15	15	20	20	25	125
	PDJN R/L 2525 M15	15	25	25	32	150
	PDJN R/L 3225 P15	15	32	25	32	170
	PDJN R/L 3232 P15	15	32	32	40	170
NOVEX® CAPTO $\kappa = 93^\circ$ 	C4-PDJN R/L-27050-11	11		40	27	50
	C5-PDJN R/L-35060-11	11		50	35	60
	C6-PDJN R/L-45065-11	11		63	45	65
	C4-PDJN R/L-27050-15	15		40	27	50
	C5-PDJN R/L-35060-15	15		50	35	60
	C6-PDJN R/L-45065-15	15		63	45	65

(2) 工件材料 45 钢

选择工件材料组 P，见表 3.9。

表 3.9 工件材料组

工件材料组		代码
钢	非合金和合金钢 高合金钢 不锈钢, 铁素体, 马氏体	P (蓝)
不锈钢和铸钢	奥氏体 铁素体——奥氏体	M (黄)
铸铁	可锻铸铁, 灰口铸铁, 球墨铸铁	K (红)
NF 金属	有色金属和非金属材料	N (绿)
难切削材料	以镍或钴为基体的热固性材料 钛, 钛合金及难切削加工的高合金钢	S (棕)
硬材料	淬硬钢, 淬硬铸件和冷硬模铸件, 锰钢	H (白)

(3) 加工条件

加工条件见表 3.10。

表 3.10 加工条件

加工方式	机床, 夹具和工件系统的稳定性		
	很好	好	不足
无断续切削加工表面已经过粗加工			
带铸件或锻件硬表层, 不断变换切深 轻微的断续切削			
中等断续切屑			
严重断续切削			

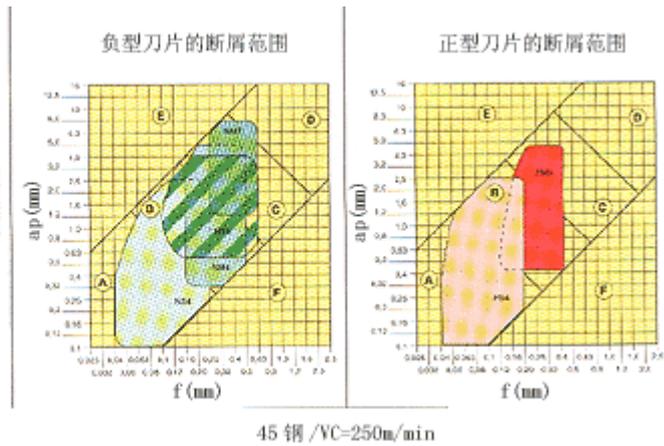
(4) 断屑槽型

断屑槽型选择见图 3.51。

根据粗加工切削深度 3mm, 进给量 0.4mm/r, 选择负型刀片 NM7 槽型。

根据精加工切削深度 0.5mm, 进给量 0.1mm/r, 选择正型刀片 NS4 槽型。

根据需加工的切深和进给量，来确定槽型代码及相应的 ISO 分类范围。



45 钢 /VC=250m/min
图 3.51 断屑槽型

(5) 刀具材料

粗加工材料为 WAP10，精加工材料为 WAK10，见表 3.11。

表 3.11 刀具材料

工件材料组	ISO 分类范围	WALTER 槽代码			
P (蓝)	AB	...-NS4	WAK10	WAP20	WAM20
	B	...-NS8	WAP10	WAP20	WAP30
	BC	...-NM4	WAP10	WAP20	WAP30
	C	...-NM7	WAP10	WAP20	WAP30
	CD	...-NR7	WAP10	WAP20	WAP30
M (黄)	AB	...-NS4	WAM20	WAM20	WAM20
	BC	...-NM4	WAP30	WAM20	WAM20
	CD	...-NR7	WAP30	WAP30	WAP30
K (红)	-	...-NS4	WAK10	WAP20	WAP20
	-	...-NS8	WAK10	WAP20	WAP30
	-	...-NM4	WAK10	WAK10	WAP30

工件材料组	ISO 分类范围	WALTER 槽代码			
P (蓝)	AB	...-PS4	WAK10	WAP20	WAM20
	BC	...-PM5	WAP10	WAP20	WAP30
M (黄)	AB	...-PS4	WAM20	WAM20	WAM20
	BC	...-PM5	WAP30	WAP30	WAP30
K (红)	-	...-PS4	WAK10	WAK20	WAP20
	-	...-PM5	WAP10	WAP20	WAP30
N (绿)	-	...-PM2	WK1	WK1	WK1

G71 U1.5 R1
G71 P10 Q20
N10 G00 X99 Z0.1
G01 X100 Z-0.4 F0.1
Z-10
X109
X110 Z-10.5
Z-20
X119
X120 Z-20.5
Z-30
X110 Z-50
Z-65
X129
X130 Z-65.5
Z-75
G02 X131.111 Z-105.714 R25 (I20 K-15)
G03 X140 Z-118.284 R20 (I-15.555 K-12.571)
G01 Z-125
X145 Z-130
N20 X150 F0.35
G00 U80 W218
T0202
G70 P10 Q20
G00 U80 W218
M30

本章提示:

数控车削加工程序的特点在于,虽然主要针对二维空间回转体零件的加工,但循环功能指令丰富,再配合系列繁多的不同刀具,就使数控车削工艺灵活多变。编者为您提供各种循环功能指令的动画资料、数控车床编程和加工操作的录像资料。若想了解数控车床的更多情况,请浏览www.mingjing.com;若想了解数控车削刀具的更多情况,请浏览www.walter-ag.com。

思考题与练习题

一、判断题

1. () 数控车床与普通车床用的可转位车刀,一般有着本质的区别,其基本结构、功能特点都是不相同的。
2. () 选择数控车床用的可转位车刀时,钢和不锈钢属于同一工件材料组。
3. () 使用 G71 粗加工时,在 ns---nf 程序段中的 F、S、T 是有效的。
4. () 45° 倒角指令中不会同时出现 X 和 Z 坐标。
5. 刀尖点编出的程序在进行倒角、锥面及圆弧切削时,则会产生少切或过切现象。

二、选择题

1. G96 S150 表示切削点线速度控制在_____。
A、150m/min; B、150r/min; C、150mm/min; D、150mm/r。
2. 程序停止,程序复位到起始位置的指令_____。
A、M00; B、M01; C、M02; D、M30。
3. 圆锥切削循环的指令是_____。
A、G90; B、G92; C、G94; D、G96。
4. 90° 外圆车刀的刀尖位置编号_____。
A、1; B、2; C、G3; D、4。
5. 从提高刀具耐用度的角度考虑,螺纹加工应优先选用_____。
A、G32; B、G92; C、G76; D、G85。

三、简答题

1. 试分析数控车床 X 方向的手动对刀过程。
2. 选择加工图 3.52、3.53、3.54 所示零件所需刀具，编制数控加工程序。
3. 简述刀尖圆弧半径补偿的作用？

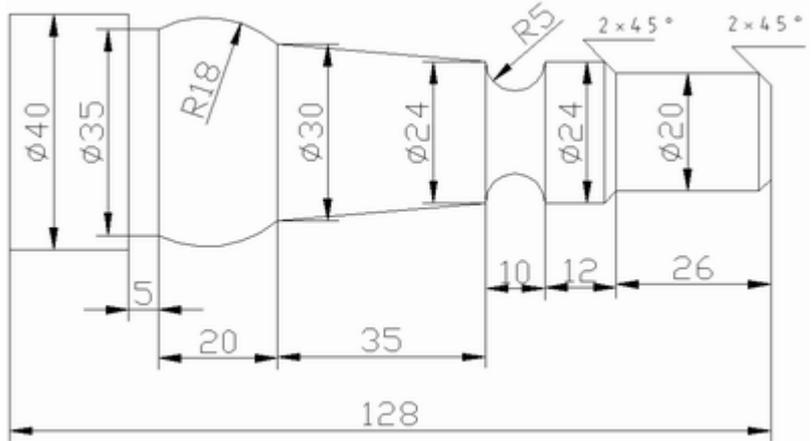


图 3.52 习题图 1

4. 设置假设刀尖点位置编码的方法？
5. 简述圆锥切削循环指令中 I 的指定方法？
6. 试写出普通粗牙螺纹 M48×2 复合螺纹切削循环指令。

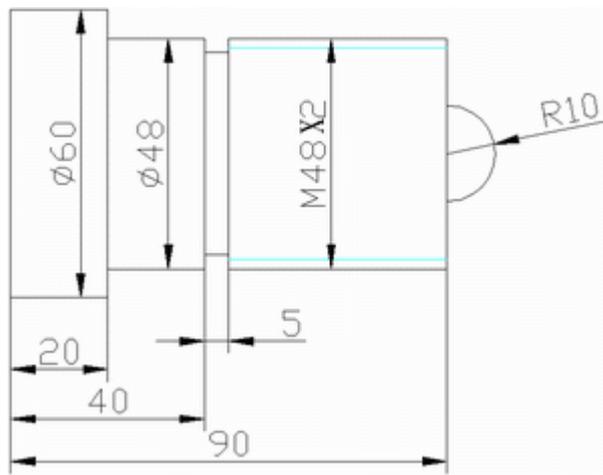


图 3.53 习题图 2

7. 简述 G71, G72, G73 指令的应用场合有何不同。
8. 用固定循环指令加工如图 3.55 所示零件，试分析下述程序并填充完成该加工程序。

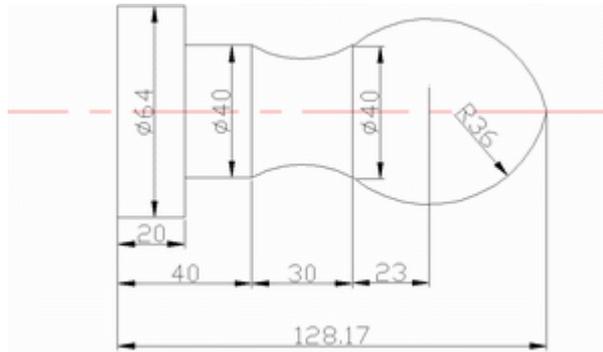


图 3.54 习题图 3

```

G50 X200 Z350 T0101
M03 S1000
G00 X60 Z2
G73 U9.5 W0 R4
___ P10 Q20 U1
W0.5 F0.2
___ G00 X41.9 Z292 M08
G01 X47.9 ___ F0.1

```

